

# Fånggröda för fosfor

*Barbro Ulén, Jian Liu, Göran Bergkvist SLU, institutionen Mark och Miljö, Box 7014, SE-750 07 Uppsala, Sweden. barbro.ulen@slu.se, Tel 018-671251*

## Sammanfattning och slutsatser

Fånggröda odlas för att minska kväveförluster men kan avge fosfor efter frost. Detta visades i laboratoriestudier av skott och rötter från perenna arter (engelskt rajgräs, hundäxing, cikoria och rödklöver) samt ettåriga arter (honungsört, vitsenap och två varieteter av oljerättika). Innehållet av vattenextraherad fosfor var tydligt högre efter frost än före. Skotten hade i snitt 43 % högre innehåll av vattenextraherad fosfor än rötterna. Oljerättika och vitsenap innehöll signifikant mera extraherbar fosfor efter frost än andra arter medan cikoria och honungsört hade lägst. Upprepad frysning/tinings tycktes innebära mer fosforfrigörning än en enda lång frysperiod. Störst var frigörningen från skotten men under mycket kallt och vått väder bör man inte negligera bidraget från rötterna.

I fältexperiment på tre platser innehöll det ovanjordiska växtmaterialet 1-6 kg P ha<sup>-1</sup>. Efter tre vintrar överlevde 55-76% av de perenna arterna. Fånggrödan i lysimetrarna minskade inte det potentiella läckaget mätt med regnsimulering. Bakgrundsläckaget från själva jorden var stor i förhållande till fånggrödans inverkan. Det potentiella fosforläckaget från grödan ökade efter frost, och med stor variation mellan år/arter. Rajgräs och oljerättika tenderade att läcka mer fosfor än övriga fem testade arter, medan cikoria var lovande som fosforfånggröda och hade lågt fosforläckage både före och efter frysning.

## BAKGRUND

Fånggrödor odlas under perioderna mellan två huvudgrödor för att minska läckaget av framför allt kväve. De kan antingen sås in tillsammans med huvudgrödan eller efter det att huvudgrödan har skördats. Vanligen plöjs den ner innan den följande grödan sås. Att odla fånggröda har blivit vanligt i Sverige där man infört subventioner. I delar av södra Sverige odlades fånggröda på två tredjedelar av den åkerarealen som skördades före september (men som inte såddes med höstgröda) år 2011. Engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) är den vanligaste fånggrödan men det finns också ett stort intresse för att odla fånggrödor som är en bättre förfrukt för den följande grödan än rajgräs. Sådana fånggrödor tillhör vanligen den korsblomminga familjen *Brassicaceae* t.ex. rättika (*Raphanus sativus* L.) och vitsenap (*Sinapis alba* L.). De är vanliga på gårdar där man inte odlar närbesläktade oljeväxter. Fånggrödor som tillhör *Brassicaceae* sås vanligen några få veckor före skörd av huvudgrödan eller omedelbart efter skörden. Växternas vävnader, både ovanför marken och från rötterna, är dock tänkbara källor för fosforläckage speciellt om de skadas av frost. Förutom det vanliga kravet att en fånggröda ska vara lätt att etablera och kunna ta upp så mycket kväve som möjligt efter det att huvudgrödan har skördats, bör därför en fånggröda också kunna hålla kvar så mycket som möjligt av fosfor i sina vävander under vintern.

Fosforförluster från växternas vävnader är speciellt viktiga under förhållanden med upprepade frysning och tining under vintern. Fenomenet har rapporterats från t ex gräs och luzern sedan 40 år tillbaka, liksom under senare tid från gräsbevuxna kantzoner och från fånggrödor (Bechmann et al. 2005; Sturite et al. 2007). De flesta studierna har skett med avklippt växtmaterial. Frostskadan beror på att växtcellerna spricker efter isbildning vilket leder till att vatten extraheras från närliggande celler. Skadan leder till frigörning av fosfor från cellerna och förlusten kan öka med ökat antal cykler med tining-frysning (FT). Stier m.fl. (2003)

observerade att för gräs började frysningen hos rötterna medan skotten följde senare. Därför kan mönstret för hur fosforfrigörningen sker skilja sig mellan skotten och rötterna.

Det finns många delade meningar om den framtida klimatförändringen. Många har emellertid förutspått ett ökat antal cykler med frysning-tining under de kommande 50-100 åren och att cyklerna blir allt intensivare. Detta kan vara fallet särskilt i regioner som har långa perioder med temperaturer under noll, eftersom man kan förvänta sig mer fluktuationer runt noll-strecket i sådana områden. Dessa cykler kan snabbt följas av regn eller snösmältning som kan verka som extraktionsmedel för fosfor.

Förutom att utvärdera fosforläckaget från tänkbara fånggrödor för fosfor med avseende på frysning och tining ville vi utvärdera eventuella samband mellan fosforfrigörning och rötternas form och egenskaper. Speciellt ville vi ha svar på följande frågor: Skiljer sig fosforkoncentrationen och mängden extraerbar fosfor mellan fånggrödorna och ökar frigörningen och utlakningen av fosfor från biomassan efter upprepad frysning-tining?

## MATERIAL OCH METODER

### 1. Fånggrödor från växthus

Vi undersökte de perenna arterna: engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.), hundäxing (*Dactylis glomerata* L.), cikoria (*Cichorium intybus* L.), och rödklöver (*Trifolium pratense* L.) samt de ettåriga arterna: honungsört (*Phacelia tanacetifolia* L.), vitsenap (*Sinapis alba* L.), och två varieteter av rättika (*Raphanus sativus* L.). Den ena varieteten var oljerättika (*oleifera*) som är en vanlig fånggröda i Danmark och södra Sverige. Den andra varieteten var *longipinnatus*, ”Strukturator” som förväntas förbättra markens struktur genom att fördela det organiska materialet i marken med sin snabbt växande pålrot. Vi odlade fram fånggrödorna i växthus och växterna delades upp i skott (färska blad) och rötter (inklusive så mycket som möjligt av grenar och finrötter). Innan proceduren med frysning extraherades ett prov med vatten för att få fram den initiala frigörningen av fosfor från intakt växtmaterial. Detta gjordes med 100 mL destillerat vatten i en skakapparat (hastigheten 16 rpm) under en timma vid rumstemperatur

**Tabell 1.** Led med förklaring, tidsföljd för kombinationer av frysning/tining som illustrerar möjliga klimatkomponenter i ett vinterklimat och fosfortest (P). Fosfortestet innebar extrahering med vatten av fånggrödor från växthus. I jordkolonner be vuxna med fånggrödor från fältförsök praktiserades regnsimulering med 7 cykler i stället för 4

Led	Förklaring	Tidsföljd <sup>#</sup>	Komponenter under vinterförhållanden
NF	Noll antal frysningar	N-N-P- N-N-P- N-N-P- N-N-P	Vinter utan någon hård kyla
1FT	En lång period med frysning och tining och 4 P test	F-F-F-F-F-F-F-T- P-P-P-P	Extrem kall vinter följd av en enda snösmältningsperiod
4 KFT	Fyra på varandra följande perioder med frysning och tining och 4 P test	F-T- F-T- F-T- F-T- P-P-P-P	Flera köldknäppar men bara en period med slutlig snösmältning eller regn
4 DFT	Fyra perioder av frysning och tining var och en med efterföljande P test	F-T-P- F-T-P- F-T-P- F-T-P	Flera kalla perioder som var och en alltid följs av snösmältning eller regn

# N = ingen frysning; F = frysning; T = tining; P = fosfortest.

**Tabell 2.** Rötternas form; typ, längd (RL), yta (RA), volym (RV) och förhållandet mellan SA och RV

Fånggröda	Rot typ	RL ( m g <sup>-1</sup> )	SA (dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	RV (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	SA/RV (cm <sup>-1</sup> )
Rättika ( <i>R. longipinnatus</i> )	Köttig pålrot	58	7,2	7,1	101
Vitsenap	Grund pålrot	35	4,5	4,8	94
Rättika ( <i>R. oleiformis</i> )	Köttig pålrot	25	3,2	3,2	100
Honungsrört	Utbredda fina rötter	49	5,9	5,8	102
Rödklöver	Tunna djupa pålrötter	85	10,7	10,9	98
Cikoria	Bastant kraftig pålrot	21	2,4	2,3	104
Engelskt rajgräs	Finfibriga rötter	52	5,5	4,6	120
Hundäxing	Finfibriga rötter	62	5,3	3,6	147

(20 ± 2 °C). Vattenextrakten filtrerades med 00H filter paper (Munktell Filter AB, Falun, Sweden) och detta analyserades på fosfor (VEP) efter lagring i glasflaskor vid 4 °C. Vi testade 3 kombinationer med temperturbehandling och efterföljande VEP-test tillsammans med behandling utan någon frysning (Tabell 1) för att simulera några extrema komponenter i Nordiskt vinterklimat. Antalet på varandra följande frysning-tinings-cykler begränsades till 4 baserat på ett inledande försök med oljerättika och vitsenap. Endast obetydligt mer fosfor frigördes vid fler än 4 repetitioner. Behandling 1 (NF) innebar att provet hölls vid +4 °C under 20 timmar följt av en enda vattenextraktion. Denna procedur upprepades 4 ggr. För behandling 2 var proven kontinuerligt frysta vid -18 °C under 62 timmar, tinades vid +18 °C under 10 timmar, följt av fyra repetitioner med vattenextraktioner var 5:e timma. För behandling 3 hölls växtmaterialet fruset vid -18 °C under 10 timmar och tinades vid +18 °C under 10 timmar. Frysning-tiningscyklerna upprepades 4 ggr före vattenextraktionen. För behandling 4 hölls växtmaterialet fruset vid -18 °C under 10 timmar och tinades vid +18 °C under 10 timmar följt av en enda vattenextraktion. Denna procedur upprepades 4 ggr.

Växtmaterialet (torkat vid 40 °C) maldes och totalfosfor bestämdes efter oxidativ uppslutning med koncentrerad salpetersyra och efterföljande fosforbestämning med ICP, (Perkin Elmer, Wellesley, America). Fosfor i vatten bestämdes spektrofotometriskt enligt molybdenblåmetoden vid våglängden 904 nm. Löst reaktiv fosfor bestämdes utan oxidation och totalfosfor efter oxidation med persulfat och svavelsyra enligt internationell standard (ISO, 2003). Den allra mesta fosfor var i löst reaktiv form i vattenextrakten.

Färska rötter (100-170 g) skannades med en Epson perfection 4990 PHOTO scanner (Epson America Inc., California, US) efter det att finrötterna separerats från varandra. Skannern gjorde rasterbilder med upplösningen 4800 x 9600 pixelpunkter per inch (dpi). För att bestämma rotmorfologin (längd, yta och volym) användes Professional WinRHIZO 2007a software (Régent Instruments, Quebec, Canada).

## 2. Fånggrödor från fältförsök

I fält odlades fånggrödorna på tre platser (Brunnby, Linnés Hammarby och Lanna) under 1, 2 respektive 3 år (2009-2011). Alla tre platserna har en jord med hög ler- och mjälahalt (40-50% för båda komponenterna) men Lanna representerar ett nederbördsrikare och mildare klimat. Antalet frysning-tinings tillfällen har under senare vintrar varierat mellan 6 och 15 baserat på lufttemperaturen.

**Tabell 3.** Vattenextraherad fosfor (VEP) (g P kg<sup>-1</sup>) från skott, rötter och hela växten av varje fånggröda före (NF) och efter frysning-tining med behandlingar enligt tabell 1

Fånggröda	NF #	1FT #	4 KFT #	4 DFT #	Medelvärde
<b>Skott</b>					
Rättika ( <i>R. longipinnatus</i> )	0,01 a (A)	1,11 c (C)	1,36 d (D)	1,61 e (E)	1,02 d (*)
Vitsenap	0,03 a (A)	0,89 b (C)	1,01 c (C)	0,89 d (C)	0,85 c (*)
Rättika ( <i>R. oleiformis</i> )	<0,01 a (A)	0,34 a (B)	0,60 b (D)	0,46 c (C)	0,35 b (*)
Honungsört	<0,01 a (A)	0,28 a (C)	0,36 a (C)	0,35 ab (C)	0,25 a (*)
Cikoria	<0,01 a (A)	0,31 a (C)	0,35 a (CD)	0,43 bc (D)	0,27 a (*)
Engelskt rajgräs	<0,01 a (A)	0,27 a (B)	0,38 a (C)	0,33 a (BC)	0,25 a
Honungsört	<0,01 a (A)	0,33 a (CD)	0,40 a (D)	0,28 a (BC)	0,25 a
Medelvärde	<0,01 (A)	0,50 (C)	0,64 (D)	0,62 (D)	0,44 (*)
<b>Rötter</b>					
Rättika ( <i>R. longipinnatus</i> )	0,05 ab (A)	0,59 c (B)	0,59 e (B)	0,64 d (B)	0,47 d
Vitsenap	0,12 b (A)	0,52 c (B)	0,47 d (B)	0,45 c (B)	0,39 c
Rättika ( <i>R. oleiformis</i> )	0,01 a (A)	0,34 b (B)	0,36 c (B)	0,30 b (B)	0,25 b
Honungsört	<0,01 a (A)	0,16 a (B)	0,13 a (B)	0,13 a (B)	0,11 a
Cikoria	<0,01 a (A)	0,16 a (B)	0,11 a (B)	0,14 a (B)	0,10 a
Engelskt rajgräs	0,04 ab (A)	0,29b (BC)	0,23 b (B)	0,28 b (BC)	0,21 b
Honungsört	0,04 ab (A)	0,26 ab (BC)	0,23 b (B)	0,31 b (BC)	0,21 b
Medelvärde	0,04 (A)	0,33 (B)	0,30 (B)	0,32 (B)	0,25
<b>Hela växten</b>					
Rättika ( <i>R. longipinnatus</i> )	0,03 b (A)	0,85 e (B)	0,97 f (C)	1,13 d (D)	0,75 e
Vitsenap	0,08 b (A)	0,71 d (B)	0,74 e (B)	0,67 c (B)	0,55 d
Rättika ( <i>R. oleiformis</i> )	<0,01 a (A)	0,34 c (B)	0,48 d (C)	0,38 b (B)	0,30 c
Honungsört	<0,01 a (A)	0,22 a (B)	0,24 ab (B)	0,24 a (B)	0,18 a
Cikoria	<0,01 a (A)	0,24 ab (B)	0,23 a (B)	0,28 a (B)	0,18 a
Engelskt rajgräs	0,02 a (A)	0,24 ab (B)	0,26 ab (B)	0,24 a (B)	0,23 b
Honungsört	0,02 a (A)	0,28 bc (B)	0,30 bc (B)	0,30 a (B)	0,23 b
Medelvärde	0,02 (A)	0,42 (B)	0,47 (C)	0,47 (C)	0,35

Småbokstäver (a, b, c, d, e) indikerar statistiska skillnader mellan varje kolumn; stora bokstäver inom parentes (A, B, C, D, E) indikerar statistiska skillnader inom varje rad när behandlingarna för skott och rötter jämfördes för hela växten. Stjärna inom parentes visar signifikanta skillnader mellan medelvärden för skott och rötter för samma fånggröda ( $\alpha=0.05$  och  $n=3$ ) för alla jämförelser

Jordkolonner (2 dm djupa och 2 dm i radie) inklusive fånggrödan provtogs på senhösten då fånggrödan hade börjat vintra in. Det skedde med hjälp av traktorhydraulik då plaströr varsamt pressade ner i den fuktiga jorden, varefter kolonnerna grävdes upp försiktigt. Varje fånggröda (inklusive nollprov utan fånggröda) hade fyra upprepningar. Lysimetrarna med fånggrödan förvarades i ett svalt växthus i avvaktan på laboratorie-experimenten då de utsattes för frysning-tinings behandlingar (frysning -18°C, 12 tim. och tining 18°C, 12 tim.) och regnsimulering, alla med 7 repetitioner. Som regn användes utspätt kranvatten med pH 8,2 och en koncentration av totalfosfor på mindre än 0,02 mg L<sup>-1</sup>.

Utrustningen för regnsimuleringen har beskrivits av Liu et al. (2012). Varje regnsimulering varade i 5 timmar och skedde med en rotation av 6 sekunder (trycket 0.5 bar) och 53 sekunder utan vattendroppar vilket motsvarade 70 mm läckage med en intensitet av 10 mm tim<sup>-1</sup>. Mängden perkolerande vatten beräknades efter 24 timmar då en ny regnsimulering utfördes. Detta intervall var ofta tillräckligt för att det mesta vattnet skulle dränera före följande regnsimulering. Undantaget var några lysimetrar med stående vatten och resultaten från dessa har uteslutits.

**Tabell 4.** Överlevnad (%) på våren i fältförsöken

Överlevnad		Överlevnad	
<i>Fleråriga arter</i>		<i>Ettåriga arter</i>	
Rajgräs	76	Oljerättika, vanlig	0
Hundäxing	76	Oljerättika, Strukturator	0
Cikoria	55	Vitsenap	0
Rödklöver	69	Honungsört	0

## RESULTAT OCH DISKUSSION

### 1. Fånggrödor från växthus

Det fanns inga klara skillnader mellan längd, yta och volym mellan de olika arterna vare sig de med pålrot, med utsträckta finrötter eller med fibrösa rötter (Tabell 2). Den totala fosforkoncentrationen i rötterna ökade signifikant med ökad längd, yta och volym för fånggrödor med pålrötter. Trots att rödklöver hade den största längden, ytan och volymen av alla arter hade denna art den minsta biomassan och fosforupptaget. Oljerättika och honungsört hade det högsta fosforupptaget och det mesta skedde i rötterna.

Den med vatten extraherbara fosfor (VEP) skiljde sig statistiskt säkert mellan olika fånggrödor, mellan skott och rötter, mellan frysning och icke-frysning och mellan extraktionssekvenserna (Tabell 3). Ingen av arterna frigjorde särskilt mycket fosfor från skotten utan VEP före frysning motsvarade bara 0-3% av VEP efter frysning. Frigörningen av fosfor från skotten var högre med än utan frysning för alla arter och i medeltal frigjorde skotten från båda varieteterna rättika och vitsenap mer fosfor än andra arter beräknat för alla behandlingar (allt detta statistiskt säkert). Det fanns också en tendens till högre VEP efter flera diskontinuerliga frysning/tinings-repetitioner än efter en enda lång frysning.

I medeltal frigjorde rötterna endast 43 % av den fosfor som extraherades från skotten. All frysning medförde signifikant mera VEP från rötterna jämfört med utan frysning, på samma sätt som frigörningen från skotten. Efter frysning-tining minskade dock VEP i rötterna signifikant snabbare än för skotten för alla arter. Redan efter tre extraktioner verkade fosforförrådet vara tömt. Skillnaderna mellan de tre olika kombinationerna av frysning/tining och extraktion var liten. Fosforfrigörningen minskade i ordningen rättika > vitsenap > oljerättika = engelskt rajgräs = hundäxing > honungsört = cikoria som ett medelvärde av alla mätningar.

När man tog hänsyn till både skotten och rötterna hade de båda varieteterna av rättika och vitsenap statistiskt säkert högre VEB än de andra fånggrödorna.

I den här studien överskattades möjligen resultaten från skotten eftersom dessa representerades av färsk blad som vanligen har en högre fosforkoncentration än resten av grönmassan (Aerts och Chapin, 1999). Fosforfrigörningen från skott och rötter var högre från ettåriga växter än fleråriga. Det enda undantaget var honungsört. Den högre fosforfrigörningen från de ettåriga växterna kan bero på att de hade en högre fosforkoncentration i vävnaderna, något som överensstämmer med laboratorieresultat av Miller m.fl. (1994). I den undersökningen kom dock bara ungt. 30% av fosforläckaget från de unga skotten av oljerättika efter frysning. I fältstudier av de Baets m.fl. (2011) observerades att rötterna av (ettåriga) vitsenap, oljerättika, honungsört och havre var känsligare för frost än de fina och förgrenade rotsystemen hos flerårigt rajgräs och råg. Det positiva resultatet av honungsört i vår studie är en smula förvånande eftersom Hansen m. fl. (2000) rapporterade att denna art är frostkänslig och kan

**Tabell 5.** Fosforinnehållet i ovanjordisk fånggröda ( $P \text{ kg ha}^{-1}$ ). Understa raden P-AL talet i matjorden

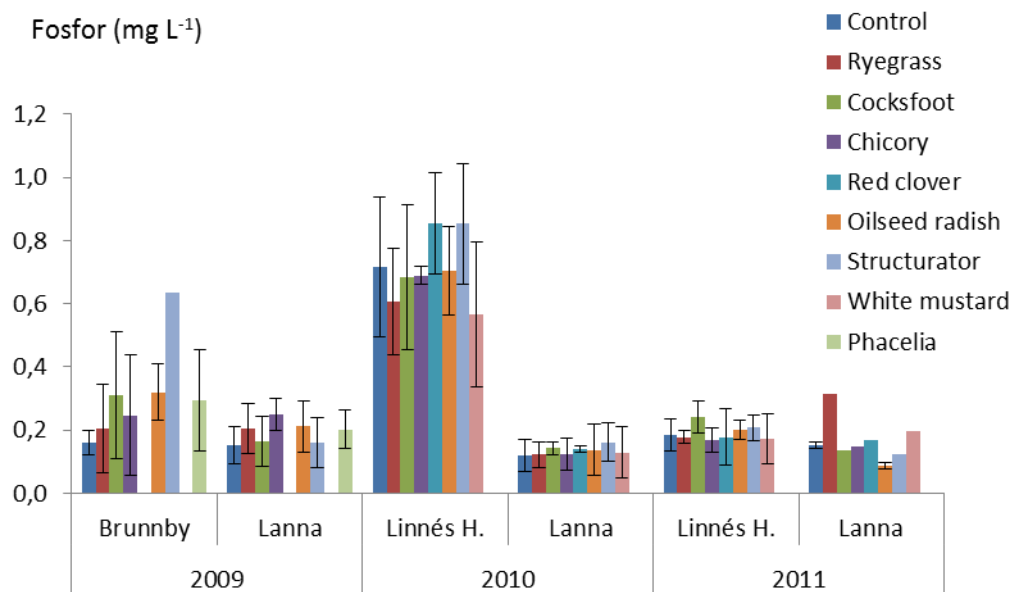
År	Brunnby 2009	Linnés H I 2010	Linnés H II 2011	Lanna 2009-2011
<b>Perenna</b>				
Rajgräs	3,5	6,2	2,8	1,5
Hundäxing	4,1	4,9	3,9	1,0
Cikoria	2,2	7,7	2,6	0,4
Rödklöver	-	4,1	1,5	0,6
<i>Medelvärde</i>	3,3	5,7	2,7	0,9
<b>Ettåriga</b>				
Oljerättika, vanlig	3,4	5,6	4,6	1,2
Oljerättika Structurator	2,7	7,2	5,0	1,2
Vitsenap	-	6,0	4,1	0,6
Honungsört	5,1	-	-	1,8
<i>Medelvärde</i>	3,7	6,2	4,6	1,2
<b>Fosforstatus</b>				
P-AL (mg 100 kg <sup>-1</sup> )	4,2	14,2	5,1	3,8

frigöra stora mängder kväve efter frostskada. Dessutom var extrakten från honungsört mörkare än extrakten från de andra arterna och färgen kan antas bero från celler som brustit. I motsatts till detta var rötterna från cikoria fasta och de har beskrivits som motståndskraftiga mot frost (Neefs m fl., 2000), liksom hela växten (Skinner och Gustine, 2002). Därför tycks cikoria vara en lovande fånggröda av de arter som testades här.

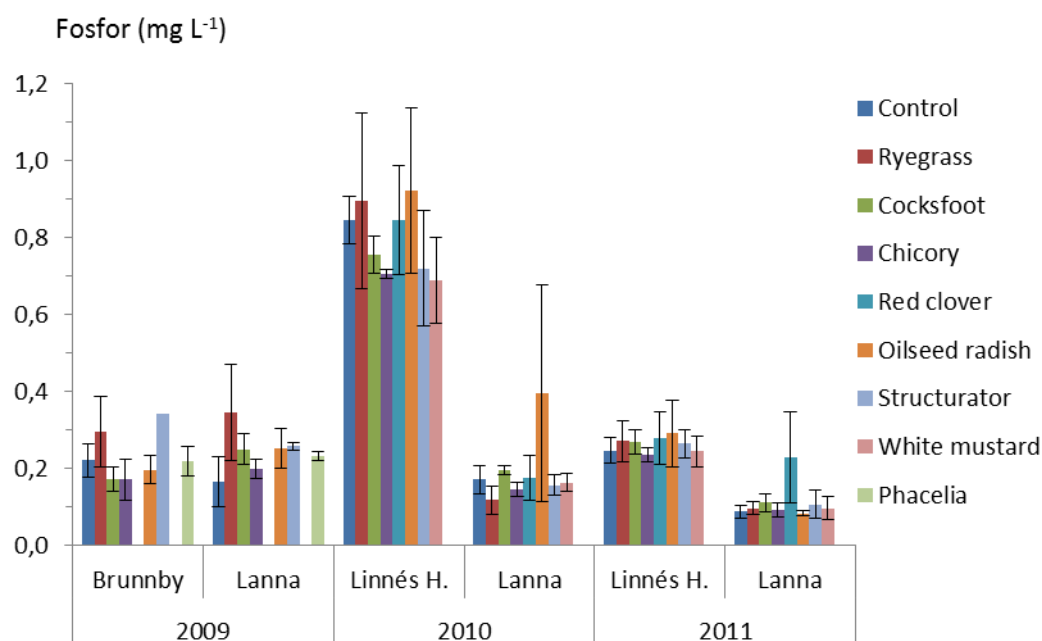
Skotten tycktes bidra mest till fosforförlusterna efter frost, med statistiskt säkert mera frigörning än rötterna. Denna del av växten är direkt exponerad för kyla, speciellt när det inte finns snötäcke, och borde därför lida mer av fler frysning-tinings-cykler än rötterna. Å andra sidan bör man också ha i åtanke att eftersom rötterna är levande borde växten kunna återta förlorad fosfor. Dessutom representerar rötterna en väsentlig del av fosfor i hela växten.

Det fanns inget klart mönster som visade skillnaderna i VEP mellan alla pålrötter och fibrösa rötter. De köttiga pålrötterna tenderade att frigöra mer fosfor än de smalare rötterna. För de fyra pålrötterna som användes i extraktionsförsöket ökade frigörningen av totalfosfor med ökad rotlängd, yta och volym på ett konsekvent sätt för pålrötterna. Köttiga pålrötter med högre morfologiskt index kan lättare ta upp fosfor från jorden och lagra dem i rötterna än de fibrösa rötterna. På motsvarande sätt förväntades de köttiga pålrötterna att lättare frigöra fosfor efter frost. För samma enhet av rotbiomassan hade Structurator (rättika) mer än två gånger mer längd, yta och volym än oljerättikan. Detta indikerar en snabbare växt och penetrationsförmåga vilket också resulterade i en större frigörningspotential för fosfor efter frost. De fibrösa rötterna av de två gräsen (engelskt rajgräs och hundäxing) hade samma fosforfrigörning vilket var förväntat, eftersom de hade ungefär lika stor specifik yta.

Behandlingarna med frysning-tinings ökade fosforfrigörning signifikant från skotten med i medeltal 40-50 ggr, jämfört med utan frysning. Detta ger en tydlig fingervisning om att fånggrödan kan öka fosforfrigörningen under extremt kalla vintrar. Trots att fånggröda kan frigöra mycket fosfor under en enda cykel kunde man förvänta ökade fosforförlusterna med ökat antal cykler upp till en viss gräns. Frigörning av fosfor från behandlingar med upprepade cykler var också högre än från en enda lång cykel för skotten. På samma sätt observerade Bechmann m.fl. (2005) att VEP i biomassa från skotten ökade logaritmiskt med antalet cykler.



Figur 1. Fosforkoncentration i läckagevatten före fryssning med kontroll (control) utan fånggröda till vänster.



Figur 2. Fosforkoncentration i läckagevatten efter fryssning/tining av fånggrödan och jorden jämfört med före fryssningen.

Deras förklaring var att, bara några celler skadas under det första fryssningstillfället men flera under påföljande fryssning beroende på växtens fysiologi. Laboratorieförsöken indikerade att skotten hos oljerättika med kortare pålrot var mer känsliga för fryssning/tining under våta vinterförhållanden och att hundäxing var känsligare under torra förhållanden.

Växten känslighet för frost och läckage från de olika delarna kan också variera med tiden. Det mesta av fosfor i rötterna frigjordes efter det första frysningstillfället och mycket lite under senare. Detta antyder att rötterna är mer känsliga för fosfor än skotten under samma frysningstillfällen och under så kalla förhållanden som i försöket. Stier m.fl. (2003) visade också att rötterna hos flerårigt rajgräs och gröe började frysa snabbare än skotten under samma temperatur. Kleyling m.fl. (2012) studerade frostska hos rötterna hos luddtåtel och ljung orsakade av olika kombinationer av frysning vid temperaturer som pendlade mellan  $-10^{\circ}\text{C}$  ~  $5^{\circ}\text{C}$ . Precis som i vår studie fann de också att rotskadorna ökade vid tjäle. I samband med klimatförändringar bör man hålla i minnet att växtens motståndskraft mot frost kan öka genom acklimatisering (Thomashow, 1999). Man bör också ha i åtanke att växter odlade i växthus inte är förberedda för naturliga vinterförhållanden och att komplementär studier behövs med växter som fått växa naturligt och förberett sig för vintern.

## 2. Fånggrödor från fältförsök

För de fleråriga fånggrödorna överlevde mellan 55 och 76 (%) som medelvärde för de tre lokalerna (Tabell 4). De ettåriga arterna överlevde inte alls. Däremot tog de ettåriga arterna upp mer fosfor i skotten än de perenna arterna (Tabell 5). Under senhösten (slutet av oktober till början av november) då växterna vintrat in och slutat växa, innehöll skotten  $1\text{-}6\text{ kg P ha}^{-1}$ . Vi fann inga systematiska skillnader mellan olika arter, olika ställen och år, men det största fosforupptaget skedde i jordar med högst fosforinnehåll (P-AL tal). Att odla fånggrödor på fält med hög fosforstatus borde därför vara mer effektivt för att reducera fosfor i jorden än att odla dem på platser med lågt P-AL tal.

Före frysning minskade inte fånggrödan fosforläckaget enligt experimenten med regnsimulering. Bakgrundsläckaget från själva jorden var högt i förhållande till vad fånggrödan bidrog med (Figur 1). Det gällde speciellt försöksplatsen Linnés Hammarby I (år 2010) med högt P-AL tal i marken jämfört med Linnés Hammarby II (år 2011). De höga värdena kan också bero på utvecklade rotsystem som tjänar som kanaler för vattentransporten i matjordscyldrarna. Själva experimenten var också begränsade i och med att alla regnsimuleringar skedde under kort tid.

Efter exponering för frost ökade fosforläckaget jämfört med före, men det var stor variation mellan olika år och mellan olika arter (Figur 2). De vanliga fånggrödorna engelskt rajgräs och oljerättika tenderade att läcka mer fosfor än andra testade arter efter exponering för frost. Cikoria hade lågt fosforläckage både före och efter frysning och verkade vara en lovande fånggröda för fosfor.

## Referenser

- Aerts R, Chapin III FS (1999) The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Adv Ecol Res* 30(C):1-67
- Bechmann ME, Kleinman PJA, Sharpley AN, Saporito LS (2005) Freeze-thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *J Environ Qual* 34:2301-2309
- De Baets S, Poesen J, Meersmans J, Serlet L (2011) Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena* 85:237-244
- Hansen EM, Thomsen IK, Djurhuus J, Kyllingsbæk A, Jørgensen V, Thorup-Kristensen K (2000) Efteraftrøder: Dyrkning, kvælstofoptagelse, Kvælstofudvaskning og eftervirkning. Danmarks Jordbrugsforskning (DJF) rapport Markbrug nr 37. In Danish



- ISO 15681-1 (2003) Water quality - Determination of phosphate and total phosphorus by flow analysis (CFA and FIA). Part 1: Method by flow injection analysis (FIA). International Standard Organization
- Kreyling J, Peršoh D, Werner S, Benzenberg M, Wöllecke J (2012) Short-term impacts of soil freeze-thaw cycles on roots and root-associated fungi of *Holcus lanatus* and *Calluna vulgaris*. *Plant Soil* 353:19-3
- Liu, J., Aronsson, H., Ulén, B., Bergström, L. (2012): Potential phosphorus leaching from sandy topsoils with different fertilizer histories before and after application of pig slurry. *Soil Use and Management* (in press)
- Miller MH, Beauchamp EG, Lauzon JD (1994) Leaching of nitrogen and phosphorus from the biomass of three cover crop species. *J Environ Qual* 23:267-272
- Neefs V, Leuridan S, Van Stallen N, De Meulemeester M, De Proft MP (2000) Frost sensitiveness of chicory roots (*Cichorium intybus* L.). *Sci Hortic-Amsterdam* 86:185-195
- Skinner RH, Gustine DL (2002) Freezing tolerance of chicory and narrow-leaf plantain. *Crop Sci* 42:2038-2043
- Stier JC, Foliault DL, Wisniewski M, Palta JP (2003) Visualization of freezing progression in turfgrasses using infrared video thermography. *Crop Sci* 43:415-420
- Sturite I, Henriksen TM, Breland TA (2007) Winter losses of nitrogen and phosphorus from Italian ryegrass, meadow fescue and white clover in a northern temperate climate. *Agr Ecosyst Environ* 120:280-290
- Thomashow MF (1999) Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annu Rev Plant Phys* 50:571-599
- Uusi-Kämpä J (2005) Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecol Eng* 24:491-502

## **PUBLIKATIONER OCH ANNAN RESULTATSFÖRMEDLING**

### **Vetenskapliga artiklar**

- Liu, J., Khalaf, R., Ulén, B. & Bergkvist, G. 2013. Potential phosphorus release from catch crop shoots and roots after freezing-thawing. *Plant and Soil* (Submitted).
- Liu, J., Ulén, B. & Bergkvist, G. 2013. Phosphorus leaching from topsoil columns with cover crops after repeated freeze-thaw cycles. Manuscript to be submitted.
- Liu J. Mitigation of phosphorus losses from agricultural land with focus on applications of pig slurry and use of cover crops (in prep). Thesis to be defended in autumn 2013.

### **Övrig internationell resultatförmedling**

- Liu, J., Ulén, B. & Bergkvist, G 2010. Potential Catch Crops for Phosphorus Leaching. Poster presentation at the COST 869 workshop "Riparian Buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscape", 25-28 April 2010, Ballater, Scotland.
- Liu, J., Khalaf, R., Ulén, B. 2011. Potential phosphorus release from eight catch crops. Poster presentation at the final meeting COST 869. "Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters". 12-14 October 2011, Keszthely, Hungary.
- Liu, J 2012. Catch crop to mitigate phosphorus (P) leaching under cold climate. Konferensbidrag ASA-CSSA-SSA International meeting, Cincinnati, Ohio 22-26 October 2012.
- Aronsson, H., Ulén, B., Liu J 2012. Overview of catch crops and buffer strips in Sweden. Workshop "Training session on agro-environmental measures". Videoconference Baltic Compass, 27 Sept. 2012 Riga, Lettland.

### **Övrig resultatförmedling till näringen har bl a skett genom:**

- Jordbruksverkets rapport 2012:21 Gröda mellan grödorna – samlad kunskap om fånggrödor. Kap 2.3 Fånggrödans effekter på fosforförluster.
- Föredrag och efterföljande posterutställning på "Fosfor i fokus – ökad kunskap ger en bra strategi för fosforhushållning" Greppa näringen kurs i Uppsala 20 november 2012.
- Planeras: Föredrag Svea-försöken 2013. Notis på greppa näringens hemsida samt på SLU:s hemsida i samband med Jians disputation.