

Sofia Delin
SLU, Inst. för mark och miljö
2012-12-20

Slutrapport avseende SLF-projekt H0933250

Fosforgödslingeffekt hos olika organiska gödselmedel

Bakgrund och syfte

Det finns många gödselmedel baserade på restprodukter med högt fosforinnehåll, exempelvis köttmjöl, minkgödsel, avloppsslam m.m. Mineralgödsel är dyrt, vilket ökar intresset för gödsling med alternativa gödselmedel. Fosforgödslingseffekten av dessa medel är dock dåligt undersökt. För lantbrukarna är det viktigt att känna till vilken gödslingseffekt man kan räkna med från olika produkter, så att grödan får sitt behov tillgodosett och så att inte lantbrukaren betalar för fosfor som inte har något gödselvärde. Fosfor i restprodukter förekommer i olika former, både organiska och oorganiska med olika löslighetsgrad. Dessutom har olika gödselmedel olika pH-effekt, vilket påverkar fosfors tillgänglighet. Även om de flesta restprodukter någon gång har testats i odlingsförsök i fält, är det svårt att dra några slutsatser om hur lämpliga dessa produkter är betraktat som fosforgödselmedel, eftersom fosfor sällan är det mest begränsande växtnäringsämnet. Fokus i fältförsök hamnar istället oftast på gödselmedlens kväveeffekt.

Syftet med den här undersökningen var att med hjälp av kontrollerade krukförsök uppskatta ettårseffekten av fosfor från ett stort antal restprodukter av olika karaktär. Syftet var också att jämföra dessa effekter med analysvärden på extraherbart fosfor från gödselmedlen med olika extraktionsmedel, för att se hur bra dessa värden är på att beskriva fosforgödslingens värde i olika produkter. Parallellt med krukförsöken skedde också inkubationer för att även undersöka effekten på markens P-AL-värde och om detta avspeglar fosforgödslingseffekten i krukförsöken. Fosforgödslingseffekt av restprodukterna på längre sikt beaktas inte i den här studien, men är naturligtvis också viktig för bedömningen av restprodukternas totala fosforgödslingens värde.

Material och metoder

Fosforgödslingseffekten av femton potentiella gödselmedel baserade på restprodukter testades dels i krukförsök och dels i inkuberingsförsök. I båda fallen användes en sandig jord (5 % ler och 2,2 % mull) med låg fosforstatus (P-AL tal 3,0 mg 100g⁻¹) och normalt pH (pH 6,2). Då markens aluminium- och järninnehåll kan ha betydelse för fosforbindningsförmågan bestämdes oxalatlösligt Fe och Al, vilket var ca 850 mg Al kg⁻¹ samt 1770 mg Fe kg⁻¹, vilket innebär en måttlig sorberade förmåga av fosfor. En del av jorden kalkades med kalkstensmjöl (CaCO₃) med en mängd som enligt teorin ska höja pH till 7,2. Både inkubering och krukförsök utfördes sedan i både kalkad och okalkad jord. Detta för att kunna särskilja effekter av tillförd fosfor och eventuella kalkningseffekter av restprodukten, eftersom pH i hög grad påverkar fosfortillgängligheten i marken. Gödselmedlen valdes ut för att representera ett brett spektrum av olika restprodukter med högt fosforinnehåll, men också med ett par varianter inom varje typ av restprodukt där man kan ha misstanke att fosfortillgängligheten kan skilja åt (tabell 1). De omfattar tre bottenaskor (led 1-3), drank från etanoltillverkning (led 4), tre sorters stallgödsel (led 5-7), två mjöl baserade på slakteriprodukter (led 8-9), två olika biogödsel från biogasanläggningar med olika substrat (led 10-11), tre olika avloppsslam med olika fällningskemikalier för fosfor (led 12-14) och en

fast fraktion från separerad nötflytgödsel bestående av MgO fälld fosfor (struvit) samt en del organiskt material (led 15).

Tabell 1. Undersökta restprodukter och deras fosforinnehåll.

	Fosforinnehåll (kg/ton)
1. Havreaska	50
2. Rapshalmsaska	10
3. Vetehalmsaska	6,3
4. Drank	4,9
5. Kycklinggödsel	9,2
6. Minkgödsel	18
7. Nötflytgödsel	0,9
8. Benmjöl	93
9. Köttmjöl	26
10. Rötrest (slakt)	1,4
11. Rötrest (växt)	1,2
12. Aluminiumfällt slam	7,4
13. Järnfällt slam	8,0
14. Kalkfällt slam	1,8
15. Struvit (nötgödsel)	4,9

Krukförsök

Fosforgödslingeffekten av restprodukterna testades i krukförsök med engelskt rajgräs (*Lolium perenne*) vid två olika pH, med tre upprepningar per gödselmedel och pH-värde. För en del restprodukter kan fosfor behöva lite tid på sig att frigöras innan den blir växttillgänglig. Alla gödselmedel blandades därför med jord ca två månader innan sådd, undantaget led 15, som levererades sent och därför blandades med jorden först en vecka före sådd. I vart och ett av leden 1-15 tillsattes restprodukt i förhållande till dess innehåll av totalfosfor så att fosforgivan motsvarande 12 kg P per ha. Dessa led jämfördes med tre kontroller med 0, 6 respektive 12 kg P per ha tillsatt med handelsgödsel P (P20) vid sådd. Rajgräset såddes med 40 frön per kruka i treliterskrukor med 3,3 kg jord, där gödseln var väl inblandad i jorden den övre halvan av krukorna. Krukorna vattnades till 70 % av vattenhållande förmåga två gånger i veckan. Kväve, kalium, svavel, magnesium och mikronäring tillfördes med mineralgödsel i sådan mängd att de inte ansågs kunna begränsa tillväxten. Mineralgödselkväve doserades med hänsyn till respektive restprodukts innehåll av lättillgängligt kväve så att den sammanlagda mängden skulle bli densamma i alla led (120 + 120 kg N per ha). Hälften av kvävet tillsattes vid sådd och andra hälften efter första klippningen, medan övriga makronäringsämnen tillsattes med samma dos i alla led och endast vid sådd. Mikronäring tillfördes i samband med vattning en gång i veckan. Gräset klipptes efter 5 och 11 veckor. Skördemängd och dess fosforinnehåll analyserades. Fosfor och torrsubstansskörd i led 1-15 (tabell 1) jämfördes sedan med responsen på fosfor- och torrsubstansskörd från fosforgödsling med mineralgödsel i kontrolleren för att avgöra hur lättillgänglig fosfor i restprodukterna varit jämfört med mineralgödsel.

Inkubering med P-AL analys

Till vardera 300 g jord i 500 ml plastbägare tillsattes gödsel (tabell 1) motsvarande 62 mg totalfosfor (eller 23,5 mg P per 100g torr jord). Detta är en mycket hög gödslingsnivå jämfört

med en normal engångsdos i fält, vilket valdes för att tydligare se eventuella skillnader mellan led. Jorden inkuberades i 15°C i 4 eller 12 månader för att sedan analyseras på P-AL, P-HCl och pH. För varje gödselmedel inkuberades tre upprepningar i okalkad jord och tre upprepningar i kalkad jord i 4 månader. Ytterligare tre extra upprepningar med okalkad jord inkuberades i 12 månader. Vid samtliga inkuberingar fanns ett kontrollled med ogödslad jord. Vid 12-månadersinkuberingen fanns också ett led med mineralgödsel fosfor. Jorden stod i öppna plastbägare för att tillåta avgång av koldioxid som annars kan verka försurande. För att jorden i bägarna inte skulle torka ut vattnades de en gång per vecka med avjoniserat vatten till ca 60 % av vattenhållande förmåga.

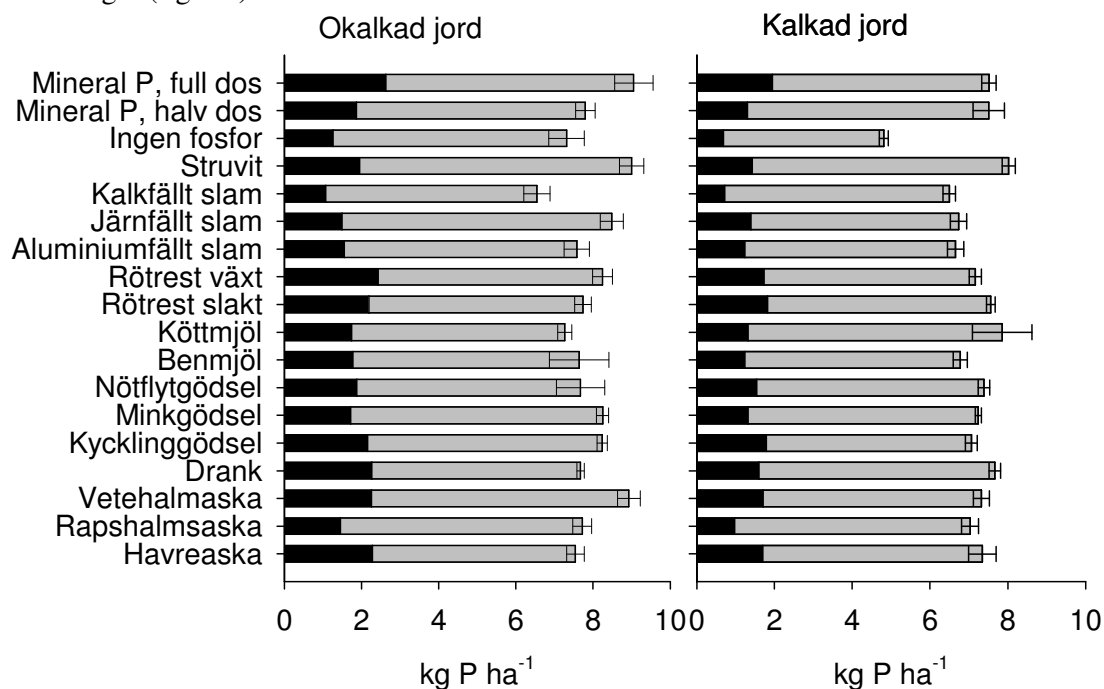
Extraktioner

I syfte att se om någon extraktionsmetod avspeglar fosfortillgängligheten hos de olika restprodukterna analyserades de med avseende på vattenlösligt fosfor (EES 2003/2003), citratlösligt fosfor (EES 2003/2003) och ammoniumlaktatlösligt fosfor (P-AL; SS028310 + T1). Extraherad andel av totalfosfor plottades sedan mot fosforgödslingseffekten i ett diagram.

Resultat

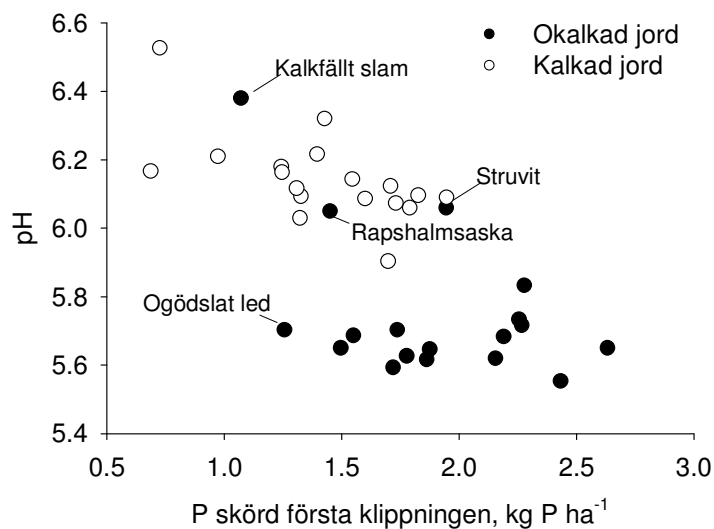
Fosforgödslingseffekt

Fosforgödslingvärdet varierade beroende på om man studerade en eller två skördar, om man studerade skörd av torrsubstans eller fosfor samt om man studerade den kalkade eller den okalkade jorden. Fosfor- och ts-skörd var lägre i kalkade krukor än i okalkade (figur 1). I den okalkade jorden hade kalkfällt slam och rapshalmsaska inte någon signifikant effekt på skörd jämfört med ogödslad led, vilket de däremot hade i den kalkade jorden där skörden i ogödslad led var lägre (figur 1).



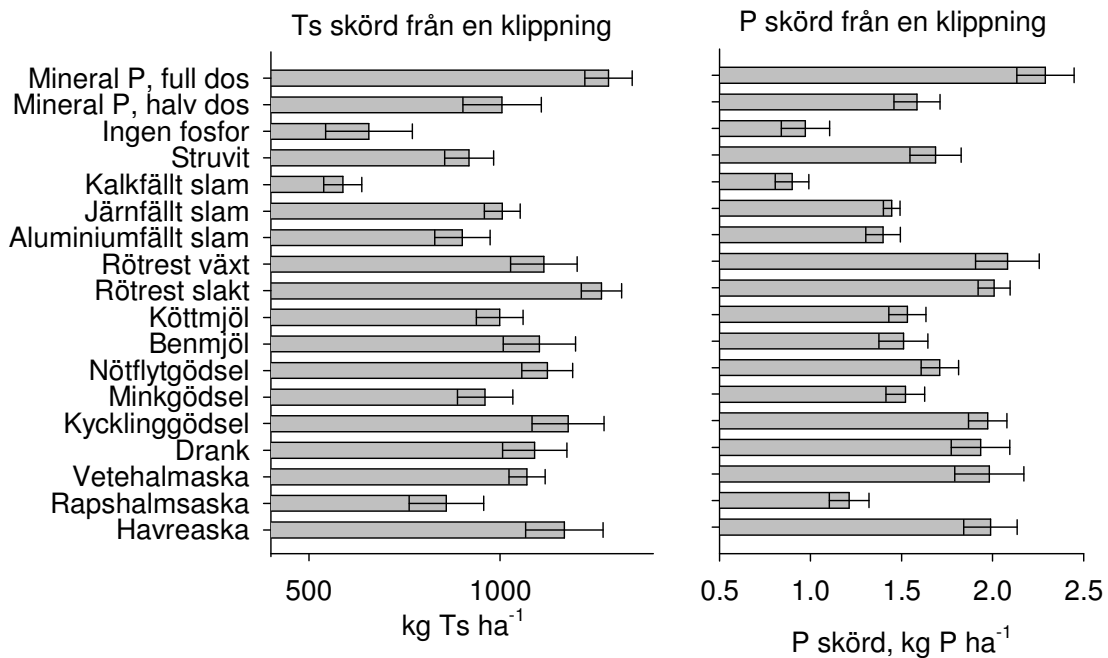
Figur 1. Fosforskörd i första och andra klippning i okalkad och kalkad jord, där felstaplarna anger medelfelet.

Att det blev olika effekt av just kalkfällt slam och rapshalmsaska beroende på om jorden var kalkad eller inte, beror sannolikt på deras pH-effekt på okalkad jord. Just dessa två led hade en kalkningseffekt, som innebar att pH i de okalkade krukorna blev ungefär samma som i de kalkade (figur 2). Detta var fallet även för struvitblandningen, vilket däremot inte avspeglas i skörderesultaten.



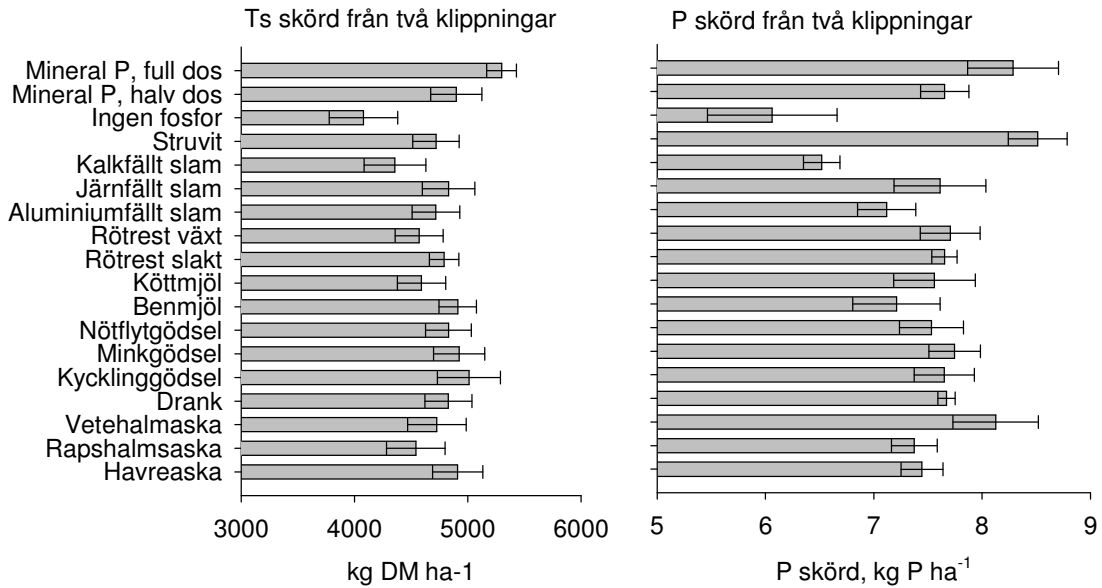
Figur 2. Några gödselbehandlingar hade högt pH även i okalkat led, varav två hade låg P skörd som inte skiljde sig statistiskt från ogödslat led.

Om man bara studerar skörden från den första klippningen från både kalkade och okalkade krukor (figur 3), hade rötrest, vetehalms- och havreaska, kycklinggödsel och drank den bästa fosforeffekten. De hade alla en fosforskörd som var statistiskt signifikant högre än alla de övriga restprodukterna. Deras effekt var ca 80 % så stor som mineralgödsel fosfor, som gav signifikant högre skörd. Kalkfällt slam och rapshalmsaska hade sämst effekt, i synnerhet det kalkfällda slammet vars effekt inte var signifikant skilt från ogödslat led. Att rötrest och askor (utan negativ kalkverkan) har bra effekt kan förklaras med deras höga andel mineralfosfor. Att rapshalmsaska och kalkfällt slam hade sämre effekt kan som redan nämnts förklaras med deras kalkverkan.



Figur 3. Ts- och fosforskörd efter en klippning (medelvärde från kalkad och okalkad jord) där LSD= 116 kg ts ha⁻¹ resp. 0,2 kg P ha⁻¹.

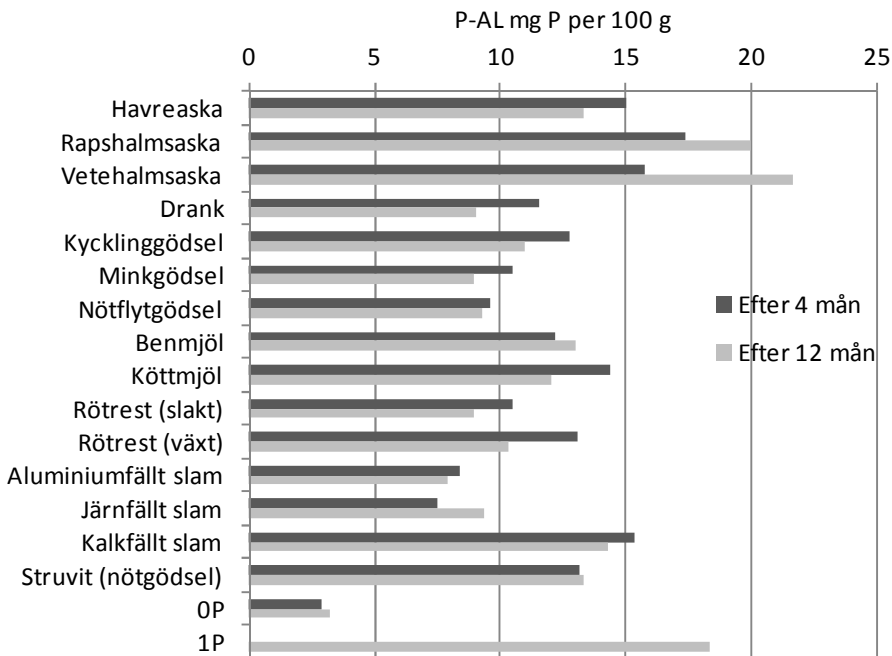
När båda klippningarna studerades (figur 4) var däremot de signifikanta skillnaderna få. Inte ens de två mineralgödslade kontrolleden skilde sig signifikant från varandra. De flesta restprodukterna gav ungefär lika stora fosforskördar som ledet med halv fosfordos. Detta innebär att fosfor i restprodukterna kunde ersätta ungefär hälften så stor mängd med mineralgödsel. Bara i ledet med kalkfällt slam var fosforskörderna signifikant lägre än i andra led med restprodukter, vilket kan förklaras med den negativa inverkan som kalk hade på den här jorden. Kalkfällt slam har förmodligen bättre effekt på andra jordar med lägre pH eller annan buffringsförmåga. I andra studier har nämligen kalkbehandlat slam tvärtom haft en bättre fosforeffekt än slam utan kalk (Linderholm, 1997; Krogstad et al., 2005). Den positiva effekten av struvitblandningen på fosforskörd förbryllar då det samtidigt gav en ganska låg ts-skörd. Över huvud taget kan man sätta ett stort frågetecken kring denna produkt, då dess sammansättning inte är särskilt väl definierad och den tillsattes till jorden mycket senare än övriga gödselmedel.



Figur 4. Ts- och fosforskörd efter två klippningar (medelvärde från kalkad och okalkad jord) där LSD= 462 kg ts ha⁻¹ resp. 0,6 kg P ha⁻¹.

Effekt på jordens P-AL

P-AL talet i den inkuberade jorden höjdes i storleksordningen 40-100% jämfört med det led som fått mineralgödselsfosfor (figur 3), vilket stämmer ganska bra med fosforeffekten i krukförsöken. Det finns dock inget samband mellan vilka restprodukter som har höjt P-AL-talet i jorden mest och vilka som haft bäst effekt i krukförsöket. Höjningen av pH har i denna jord medfört högre P-AL men lägre fosforskörd.

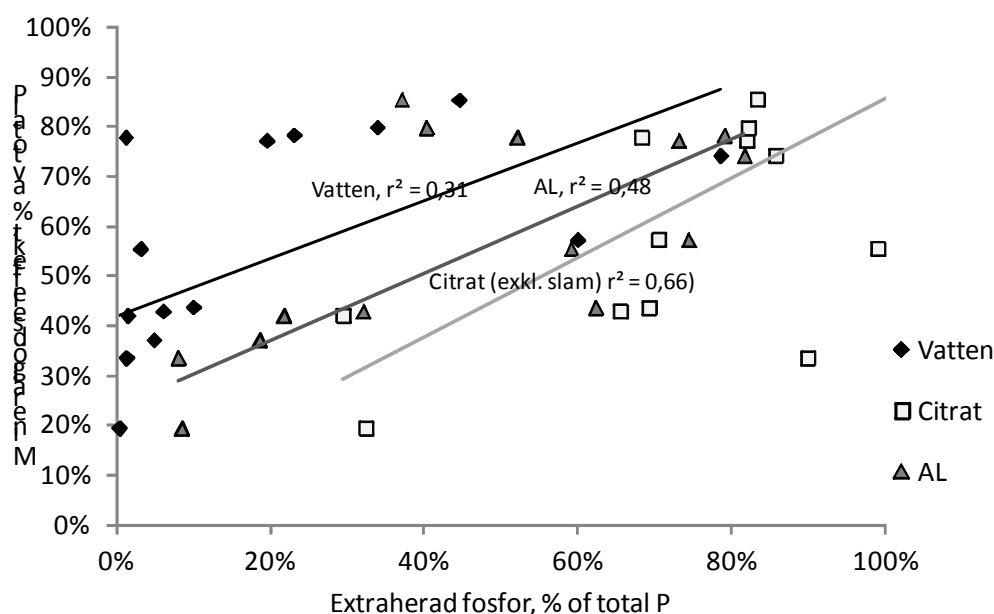


Figur 5. P-AL i inkuberad jord efter 4 respektive 12 månader.

Fosfor extraktioner på gödsel och samband med fosforeffekt

Det fanns ett positivt, men inte särskilt starkt, samband mellan fosforgödslingseffekt mätt från första klippningen och andelen fosfor extraherat från restprodukterna (figur 6). Bäst samband blev det med ammoniumlaktat ($r^2=0,48$). Citratextraktion fungerade om man bortsåg från avloppsslammen ($r^2=0,66$). Med ammoniumlaktat och citrat var andelen extraherad fosfor på ungefär samma nivå som mineralgödseffekten. Vattenextraktion däremot innebar att allt för liten del extraherades i jämförelse med gödslingseffekten för flertalet produkter.

Fosforeffekten från två klippningar hade lägre variation och fosforeffekten var i regel högre än vad extraktionsgraden angav. Men det fanns ändå fortfarande en korrelation mellan fosfor extraherad med ammoniumlaktat och mineralgödsvärdet räknat från båda klippningarna, och den var bättre om gödsvärdena endast beräknades från kalkad jord ($r^2=0,49$) än när både kalkad och okalkad jord beaktades ($r^2=0,22$). Tog man bort slammen var ammoniumlaktat och citrat likvärdiga.



Figur 6. Mineralgödseffekt (från en klippning) beroende på extraheringsgrad av fosfor med olika extraktionsmetoder för de femton olika restprodukterna.

Diskussion

Slutsatser

- Restprodukter med hög andel av fosfor i mineralform (t.ex. askor och rötrest) gav en signifikant högre skörd än många andra produkter vid första klippningen.
- Det var ingen tydlig skillnad i fosforeffekt mellan merparten av de olika produkterna på den sammanlagda skörden från två klippningar.
- I jämförelse med mineralfosfor (P20) var fosforeffekten i de flesta restprodukterna 40-60% sett över båda klippningarna.
- Produkter med kalkverkan, i synnerhet kalkfällt slam, gav sämre fosforeffekt på den aktuella jorden, särskilt på kort sikt.

- Extraktion av fosfor med ammoniumlaktat (P-AL) på den färska produkten avspeglade i viss mån fosforgödslingseffekten. Citratextraktion fungerade också, men inte på avloppsslam.

Referenser

- Krogstad, T., Sogn, T. A., Asdal, Å. & Sæbø, A. (2005). Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorus in soil. *Ecological Engineering* 25, 51-60.
- Linderholm, K. (1997) Fosfors växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska. VA-FORSK rapport 1997-6. Stockholm: VAV AB

Publikationer

- Delin, S., Nyberg, A. and Stenberg, B. 2011. Analyzing phosphorus and nitrogen fertilizer values of different residues. Presentation at NJFseminar 443, Utilization of manure and other residues as fertilizers, NJF-report 7:8, 12-15.
- Delin, S., Sundin, S., Nyberg, A. 2013. Phosphorus fertilizer effects of sewage sludge and other residues. *Paper submitted to 1st International IWA Conference on Holistic Sludge Management i Västerås.*
- Delin, S., Nyberg, A. 2013. Fertilization value of phosphorus in different residues. *Abstract submitted to 15th RAMIRAN International Conference Recycling of organic residues for agriculture: from waste management to ecosystem services.*
- Delin, S. 2013. Fertilization value of phosphorus in different residues. Manuscript. (*skickas in till tidskrift inom kort*)
- Delin, S. Nyberg, A. Fosforgödslingseffekt hos olika organiska gödselmedel. Institutionen för mark och miljö, Rapport ? (*publiceras inom kort*)
- Roland, B. 2011. Alternativ fosfortillförsel hälften så bra – på kort sikt. Arvensis September 2011..
- Sundin, S. 2011. Kortsiktig fosforeffekt av avloppsslam : krukförsök i växthus där järn-, aluminium- respektive kalkfällt slam använts som fosforgödselmedel. Avancerad nivå, A1E. Uppsala: SLU, Institutionen för mark och miljö Examensarbeten 2011:13.

Övrig resultatförmedling

Referensgrupp

Frågor som kommit upp under projektets gång har diskuterats med personer i referensgruppen, såsom Pär-Johan Löf (Lantmännen), Leif Brohede (Eurofins), Lennart Mattsson (SLU) och Katarina Börling (Jordbruksverket). Dessutom har projektplanen diskuterats med Kersti Linderholm, doktorand inom området vid SLU i Alnarp samt Anne Falk Øgaard, Anne Bøen och Trond Haraldsen Knapp vid Bioforsk i Norge och Tore Krogstad vid Universitetet for miljø- og biovitenskap, Norge. Projektet presenterades och diskuterades också vid SLF's fosforsprograms seminarium i Uppsala våren 2010.

Examensarbete

Sofi Sundin, student vid SLU Ultuna, skrev sitt examensarbete inom projektet och har förutom en presentation på SLU presenterat arbetet på ett seminarium arrangerat av LRF samt på en poster vid ett NJF-seminarium i Falköping.

Presentationer

Muntliga presentationer vid:

- Jordbruksverkets ekodag i Örebro i Februari 2011.
- NJF-seminarium i Falköping November 2011
- Regional Växtodlingskonferens i Uddevalla 2012.
- Kurs för ekologiska odlare på Lovanggruppen December 2012.

Preliminärt även på:

- 15th RAMIRAN International Conference Recycling of organic residues for agriculture: from waste management to ecosystem services, Versailles
- 1st International IWA Conference on Holistic Sludge Management, Västerås.