

Fosforläckage vid uppgödsling och tärande av markens fosforförråd

Annika Lindvall och Barbro Ulén

Bakgrund

Eutrofiering av ytvatten är ett vanligt problem i såväl Sverige som många andra delar av världen, och koncentrationen av näringsämnen i sjöar och floder är högre i områden med intensivt jordbruk jämfört med områden som inte odlats (Sharpley and Rekolainen, 1997, Brady and Weil, 2002). Eutrofiering orsakar algblomningar, syrebrist och ändrad artsammansättning, som i sin tur påverkar möjligheterna att använda en sjö för t.ex. dricksvattenförsörjning eller rekreation (Sharpley and Rekolainen, 1997). Fosfor är ett livsnödvändigt ämne för både växter och djur. Att tillföra fosfor till jordbruksmark är nödvändigt för att upprätthålla en god produktion av grödor under lång tid, men fosforförlusterna från jordbruket behöver minskas om miljömålen för bättre vattenkvalitet ska kunna uppnås. I Sverige är det nu stort fokus på Östersjön och problemen med eutrofiering. Såväl de svenska miljömålen som Sveriges åtaganden i 'The Baltic Sea Action Plan' kräver att näringsförlusterna från jordbruket minskar, eftersom jordbruket står för en stor andel av fosfor och kvävet som når egentliga Östersjön från Sverige (Brandt and Ejhed, 2003). Hur fosforförlusterna från jordbruket ska minskas i den omfattning som krävs är dock ännu oklart.

Mellan 1950- och 1970-talen användes mycket handelsgödsel i Sverige för att öka skördarna, och detta gjorde att fosforinnehållet i jordbruksmarken ökade kraftigt. Den största ökningen skedde i södra Sverige där även djurtätheten var hög (Andersson et al., 2000). Man tänker sig ofta att risken för fosforförluster ökar när koncentrationen av växttillgänglig fosfor i jorden ökar, vilket också har visats i flera studier, bland annat Hesketh och Brookes (2000) och Pautler och Sims (2000). Växttillgänglig fosfor i jord (även kallad lättlöslig fosfor) analyseras oftast med en metod som kallas P-AL i Sverige. Jordbruksverkets rekommendationer för fosforgödsling grundar sig huvudsakligen på P-AL talet och jordens förråd av P-AL delas in i fem klasser, klass I-V, där fosforstatusen är högst i klass V (SJB, 2003). Senare har fosforklass IV delats upp i två klasser IVa och IVb. Ersättningsprincipen och hänsynstagande till markens fosforstatus har varit vägledande för Jordbruksverkets gödslingsrekommendationer för fosfor under lång tid. Vid lägre P-AL tal finns ekonomiska motiv att gödsla upp med fosfor, medan det vid högre P-AL tal finns både ekonomiska och miljömässiga skäl att tära på förrådet (SJB, 2008).

Ett sätt att minska risken för fosforläckage från jordar med höga fosforhalter är att odla grödor med djupa rotsystem som kan ta upp stora mängder fosfor och därigenom minska fosfornivån i jorden (Eghball et al., 2003). Denna metod kallas ibland för "fosformining" eller "fytoläkning". Rajgräs har visat sig vara en lämplig gröda för detta eftersom den växer snabbt och koncentrerar fosfor i ovanjordiska delar (Koopmans et al., 2004, Sharma et al., 2004).

Syftet med den här studien var:

- att undersöka om en förrådsgödsling med fosfor för tre år enligt Jordbruksverkets rekommendationer påverkar läckaget av fosfor hos olika jordar och P-AL klasser.
- att undersöka hur mycket fosfor som kan föras bort från jordar med hög P-AL klass genom att odla och skörda gräsvall men inte gödsla med fosfor.

Material och metoder

Fosforgödsling enligt Jordbruksverkets rekommendationer De långliggande bördighetsförsöken startades mellan 1957-1969 och består av 12 försöksfält på olika platser i Sverige. De flesta ligger i södra Sverige och Mellansverige. Jordarna täcker in en rad olika egenskaper med avseende på textur, struktur, lermineralogi, porositet, innehåll av organiskt material mm. Fälten har gödslats enligt samma strategi sedan starten och har nått fyra nivåer av fosforstatus efter en gödsling som bygger på ersättningsprincipen. Nivå A har inte fått någon fosforgödsel, i nivå B har samma mängd fosfor tillförts varje år som förs bort med skörden och i nivå C och D har jorden tillförts mer fosforgödsel än vad som tagits bort med skörden med syftet att uppnå långsam (C) respektive snabb (D) ökning av fosforinnehållet i jorden (Carlgren and Mattsson, 2001).

Under hösten 1999 togs det ut 38 lysimetrar från fem av de långliggande bördighetsförsöken: Ekebo och Fjärdingslöv i södra Sverige samt Högåsa, Klostergården och Kungsängen i Mellansverige. Dessa jordar representerar bl.a. olika textur och pH (tabell 1). Från varje fosfornivå togs det ut två lysimetrar, förutom vid Ekebo, där det inte gick att ta ut lysimetrar från B-nivån. Lysimetrarna består av ostörda jordkolonner i plaströr som är 29,5 cm i diameter och 118 cm långa. Själva jordpelaren är ungefär 90 cm djup och motsvarar normalt dräneringsdjup. Lysimetrarna placerades utomhus i en station på Ultuna där de utsattes för naturligt klimat och nederbörd. Lysimeterstationen har beskrivits i detalj av Bergström och Johansson (1991). Under en första treårsperiod odlades korn och inga lysimetrar fosforgödslades (Djodjic et al., 2004).

Tabell 1. Textur, lerhalt och pH i matjorden från de aktuella bördighetsförsöken (Börling, 2003) och från ett fält på Listerlandet (Ulén, 1999)

Lokal	Textur	Lerhalt (%)	pH
Högåsa	Loamy sand	7	5,8
Ekebo	Loam	17	6,5
Fjärdingslöv	Sandy loam	19	7,5
Klostergården	Silty clay loam	37	6,9
Kungsängen	Clay	59	6,9
Listerlandet	Sand	9	6,2

Vallfröblandning med engelskt rajgräs och timotej såddes under våren 2005. Samtidigt gödslades lysimetrarna med handelsgödsel beroende på fosforklass enligt Jordbruksverkets rekommendationer så att jordar i den lägsta fosforklassen tillfördes mest fosfor (tabell 2). Fosforgödslingen år 2005 motsvarade tre års behov. Lysimetrarna gödslades varje år med kväve (110 kg N per hektar och år 2005 och 2006, 140 kg N per hektar och år 2007 och 2008) och år 2008 också med kalium (100 kg K per hektar). Vattnet som rört sig genom lysimetrarna samlades upp och analyserades med avseende på löst reaktiv fosfor (DRP) och totalfosfor (TotP) enligt EU:s standardmetoder. Skillnaderna mellan totalfosfor och DRP benämns här som övrig fosfor (ÖvrP). Vallen skördades, torkades och vägdes när den hade växt till sig. Fosforinnehållet i den bortförda vallskörden analyserades från fosfornivå A och D år 2007 och från samtliga fosfornivåer år 2008.

Tabell 2. Fosfornivå, fosforklass, gödselgivor 2005, samt läckage av DRP (kg/ha), avrinning (AVR) (mm) och flödesviktade koncentrationer DRP (mg/l) under treårsperioderna 1999-2002 (okt 1999 till sep 2002) och 2005-2008 (maj 2005 till april 2008). Läckage och avrinning visas som medelvärden från två replikat. Högra kolumnen visar flödesviktade koncentrationer av ÖvrP under den sista perioden. Resultat från lysimetrar utan någon fosforgödsling 2005 visas i fetstil

Lokal	P nivå	P-AL klass	P-giva (kg/ha) 2005	DRP (kg/ha) 1999-2002	DRP (kg/ha) 2005-2008	AVR (mm) 1999-2002	AVR (mm) 2005-2008	DRP (mg/l) 1999-2002	DRP (mg/l) 2005-2008	ÖvrP (mg/l) 2005-2008
Högåsa ^a	A	II	75	0,65	0,55	689	550	0,09	0,10	0,02
	B	II	75	0,64	0,65	546	441	0,13	0,15	0,02
	C	IV	15	0,57	0,39	540	315	0,10	0,11	0,03
	D	IV	15	0,20	0,26	555	413	0,04	0,06	0,04
Ekebo	A	I	105	0,31	0,17	533	481	0,07	0,04	0,03
	C	IV	30	0,11	0,09	713	489	0,02	0,02	0,02
	D	IV/V	30	0,07	0,11	557	524	0,01	0,02	0,02
Fjärdingslöv ^b	A	I	105	1,02	0,85	963	782	0,11	0,11	0,03
	B	II	75	0,81	0,70	853	807	0,10	0,09	0,02
	C	IV	30	0,41	0,82	815	698	0,05	0,12	0,02
	D	IV/V	0	1,63	1,00	806	733	0,20	0,13	0,02
Klostergården	A	II	75	0,28	0,19	768	636	0,04	0,03	0,02
	B	II	75	0,19	0,20	760	603	0,03	0,03	0,02
	C	IV	0	0,53	0,44	695	607	0,08	0,07	0,02
	D	IV/V	0	0,19	0,27	686	628	0,03	0,04	0,02
Kungsängen	A	I	105	1,55	0,23	782	646	0,20	0,04	0,12
	B	I	105	1,20	0,27	701	637	0,17	0,04	0,12
	C	III	45	0,99	0,27	685	587	0,14	0,05	0,13
	D	III	0	0,76	0,38	703	697	0,11	0,05	0,10

^a Koncentrationerna DRP från Högåsa var signifikant högre ($p < 0,05$) än motsvarande koncentrationer från Ekebo, Klostergården och Kungsängen.

^b Koncentrationerna DRP från Fjärdingslöv var signifikant högre ($p < 0,05$) än motsvarande koncentrationer från Ekebo, Klostergården och Kungsängen.

Tabell 3. Statistiska p-värden från regressionsanalyser och t-tester vid jämförelse av flödesviktade koncentrationer av DRP mellan treårsperioderna 1999-2002 och 2005-2008 för lysimetrar från de långliggande bördighetsförsöken

Lokal	p-värde regressionsanalys	p-värde t-test
Högåsa	0,000	0,081
Ekebo	0,003	0,447
Fjärdingslöv	0,839	0,946
Klostergården	0,000	0,783
Kungsängen	0,059	0,000

Fosformining Åtta lysimetrar där antingen fosforinnehållet i matjorden var högt, fosformättningen i alven var hög, eller där det tidigare uppmätta läckaget var stort fosforgödlades inte (tabell 2). I den här studien görs också jämförelser med jord från ett fält från Listerlandet i Blekinge varifrån tre lysimetrar togs ut 1992. Fältet har under perioden 1960-1990 fått stora mängder minkgödsel och nått mycket hög fosforstatus i jorden. Dessa tre lysimetrar har inte fosforgödslats på 16 år förutom att de fått grön gödselkompost och en liten mängd urin 1992-1998. De har däremot kvävegödslats sedan 2005 och kaliumgödslats sedan 2007 med 110-140 kg N per hektar och 100 kg K per hektar. Fosforläckaget har mätts under åren 1992-2002 samt 2005-2008.

Statistiska metoder Data bestod av upprepade mätningar på samma lysimetrar under flera år. Därför användes en blandad modell, "mixed model approach" enligt Littell et al. (2006), i statistikprogrammet SAS (2003) för den statistiska analysen. Specifika frågeställningar om jämförelser mellan jordar vid olika behandlingar och jämförelser mellan åren besvarades med hjälp av post-hoc test. Samtliga variabler som användes i analysen beräknades årsvis. De variabler som analyserades var transport av totalfosfor, transport av DRP och transport av ÖvrP, flödesviktade koncentrationer av samma ämnen, samt avrinning och skörd. Dessutom gjordes parade t-test och regressionsanalyser i statistikprogrammet Minitab, för att jämföra medelvärden från perioderna 1999-2002 och 2005-2008 samt för att jämföra P-AL tal före och efter fosformining.

Resultat och diskussion

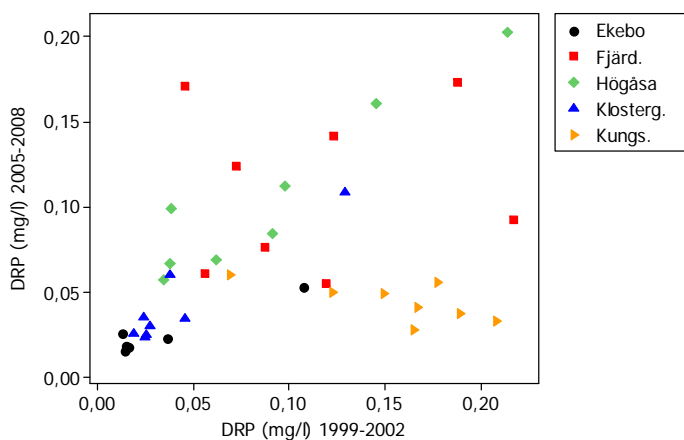
Avrinning och fosforläckage Avrinningen (mängden läckagevatten) var generellt något större under 1999-2002 än 2005-2008; i genomsnitt var avrinningen 234 mm/år under 1999-2002 och 198 mm/år under 2005-2008. I tabell 2 visas avrinningen och läckaget av DRP under de båda treårsperioderna 1999-2002 och 2005-2008. Den statistiska analysen med blandad modell visade att fosforläckagen och avrinningen från lysimetrarna var olika stora beroende på vilket bördighetsförsök jorden kom ifrån, trots att alla lysimetrar var exponerade för samma klimat. De flödesviktade DRP-halterna i läckagevattnet var signifikant högre ($p < 0,05$) från Högåsa än från Ekebo, Klostergården och Kungsängen, och likaså var DRP-halterna signifikant högre från

Fjärdingslöv än från Ekebo, Klostergården och Kungsängen. Den statistiska analysen visade även att det fanns skillnader i fosforläckage och avrinning mellan olika år ($p < 0,05$). Däremot fanns det inga statistiskt säkra skillnader i fosforläckage eller avrinning mellan lysimetrar som representerade olika nivåer av fosforstatus (A, B, C och D) under hela perioden. Det uppmättes inte heller några statistiskt säkra skillnader i läckage till följd av de olika fosforgivorna 2005.

Koncentrationerna ÖvrP var låga (omkr. 0,02 mg/l) från alla lysimetrar utom de från Kungsängen (0,12 mg/l). Koncentrationerna var inte lägre under 2005-2008 jämfört med den första perioden (1999-2002). Vallgröda verkar därför inte haft någon filtrerande effekt på partiklar och fosfor bunden till denna.

I ett pågående försök med lysimetrar som endast är 20 cm långa och som tagits ut från de långliggande bördighetsförsöken från Fjärdingslöv, Ekebo och Bjärtorp ökar däremot läckaget av fosfor från nivå A till D med ett tydligt mönster. Att vi inte sett samma mönster i resultaten från de djupa lysimetrarna tyder på att alven har en stor påverkan på läckaget i dessa. Beroende på alvens kemiska egenskaper och vattnets transportväg genom denna så kan fosfor både bindas och frigöras från alven, eller så kan vattnet och fosfor passera alven genom makroporer utan att reagera med jordmaterialet.

I figur 1 jämförs flödesviktade koncentrationer av löst reaktiv fosfor från perioderna 1999-2002 och 2005-2008. I tabell 3 visas resultat från regressionsanalyser och parade t-test för dessa båda perioder. Resultaten tyder på att det endast är från Kungsängen som det var statistiskt säkra skillnader i flödesviktad koncentration av DRP mellan treårsperioderna. Under den första perioden med korn var halten DRP i genomsnitt 0,16 mg/l medan den under den andra perioden med vall var 0,05 mg/l. Eftersom koncentrationerna ÖvrP inte minskade utan tvärtom tenderade att vara högre den andra perioden var dock läckaget av TotP oförändrat 1999-2008.

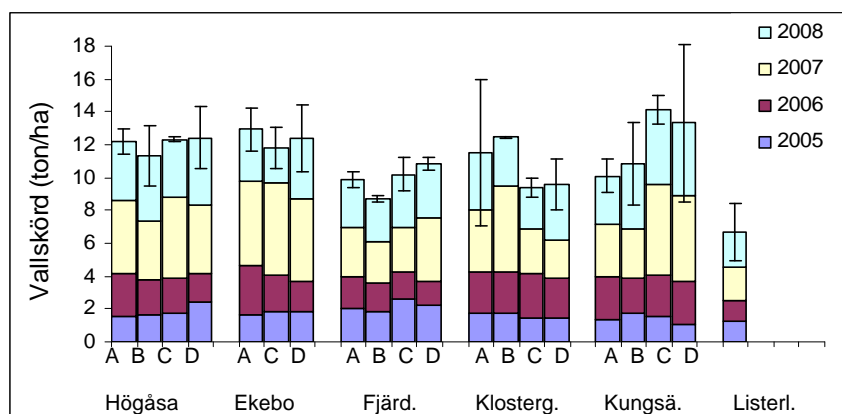


Figur 1. Flödesviktad koncentration av löst reaktiv fosfor (DRP) 1999-2002 plottad mot samma koncentration 2005-2008.

Tabell 4. Fosforinnehåll i skörden under 2007 och 2008. Växtmaterial från två replikat (två lysimetrar) slogs ihop vid analysen av fosforinnehållet. Resultat från lysimetrar utan någon fosforgödsling 2005 ges i fetstil. Under 2007 togs bara en skörd, under 2008 togs tre skördar. Högra kolumnen visar beräknat medelvärde 2007-2008

Lokal	P-nivå	P-AL klass	P-giva (kg/ha)	P % av torrsubstans i skörden				Medel
				juni -07	juli -08	aug.-08	okt. -08	
Högåsa	A	II	75	0,18	0,13	0,37	0,25	0,23
	B	II	75	-	0,11	0,22	0,26	0,20
	C	IV	15	-	0,22	0,26	0,27	0,24
	D	IV	15	0,22	0,20	0,32	0,30	0,26
Ekebo	A	I	105	0,20	0,15	0,25	0,24	0,21
	C	IV	30	-	0,17	0,26	0,33	0,24
	D	IV/V	30	0,24	0,23	0,31	0,37	0,29
Fjärdingslöv	A	I	105	0,24	0,15	0,28	0,31	0,25
	B	II	75	-	0,14	0,31	0,32	0,26
	C	IV	30	-	0,18	0,35	0,39	0,30
	D	IV/V	0	0,28	0,19	0,22	0,38	0,27
Klostergården	A	II	75	0,20	0,12	0,28	0,26	0,22
	B	II	75	-	0,19	0,31	0,30	0,26
	C	IV	0	-	0,23	0,38	0,41	0,32
	D	IV/V	0	0,29	0,16	0,36	0,41	0,33
Kungsängen	A	I	105	0,23	0,15	0,29	0,26	0,23
	B	I	105	-	0,15	0,30	0,28	0,24
	C	III	45	-	0,15	0,28	0,28	0,24
	D	III	0	0,25	0,15	0,32	0,26	0,25

Skördar och vallgrödans fosforinnehåll Mängd skördad vall i lysimetrarna åren 2005-2008 visas i figur 2. I den statistiska analysen hittades inga skillnader i skörd mellan olika gödslingsgivor 2005, eller mellan olika nivåer av fosforstatus (A, B, C och D). Skördarna var alltså inte



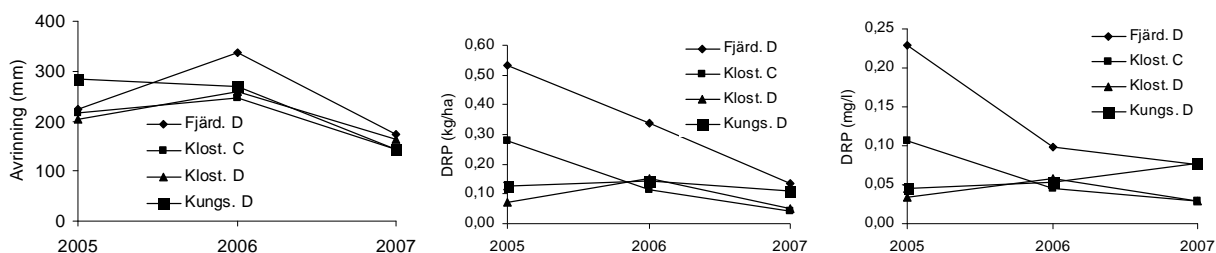
Figur 2. Mängd skördad vall i lysimetrarna (ton torrsubstans per hektar) under fyra år.

lägre från Fjärdingslöv D, Klostergården C och D och Kungsängen D, som inte fosforgödslades, jämfört med övriga lysimetrar från de långliggande försöken. Skörden minskade inte heller mellan åren 2006 och 2008, trots att lysimetrarna endast fosforgödslades under 2005.

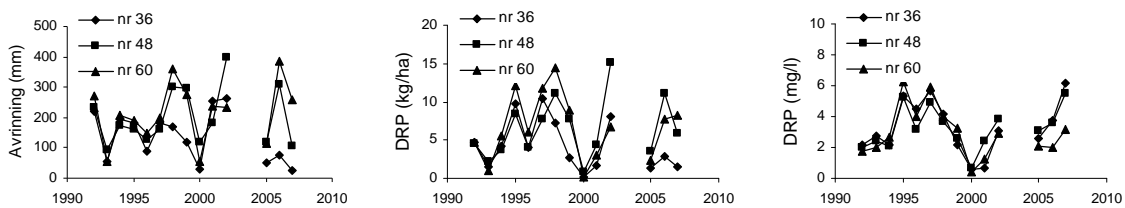
Fosforhalterna i den skördade vallen tenderade däremot att öka med ökad fosforstatus i marken, och var oftast höga även i de lysimetrar som inte fosforgödslats (tabell 4).

Fosformining Resultat från lysimetrar med hög fosforstatus från de långliggande bördighetsförsöken Fjärdingslöv, Klostergården och Kungsängen som har skördats men inte gödslats med fosfor visas i Figur 3. Generellt var avrinningen och fosforläckaget lägre det sista året. Från ”fosformining-lysimetrarna” har det i medeltal läckt ut 0,17 kg DRP per hektar och år (sammanlagt 0,52 kg per hektar) under perioden maj 2005 till april 2008, och från övriga lysimetrar från bördighetsförsöket i medeltal 0,13 kg DRP per hektar och år. Vallskördarna har genomgående varit låga i försöken och i medeltal beräknades ungefär 18 kg TotP per ha förts bort med skörden under samma period från fosformining-lysimetrarna.

Resultat från lysimetrarna från Listerlandet visas i figur 4. I medeltal har 5,8 kg DRP läckt ut per hektar och år under 1992-2007. Variationen i avrinning och läckage var dock stor mellan olika år. Det syntes ingen tydlig tendens till att läckaget skulle minska under de 16 åren. Inte heller kunde det påvisas någon signifikant minskning i P-AL i matjorden (p-värde = 0,487). När lysimetrarna togs ut var P-AL i matjorden i medeltal 43,1 mg/100g och år 2008 var motsvarande värde 38,5 mg/100g. Med denna statistiskt osäkra skillnad som utgångspunkt och med antagandet att densiteten på jorden i lysimeterarna var 1,25 (kg/dm³) skulle dock den växttillgängliga fosfor i jorden ha minskat med ungefär 30 kg/ha och år under de 16 åren. Under tre år med vallskörd i mitten på 90talet beräknades vallgrödan ta upp nära 90 kg P/år (Ulén, 1999) men 2005-2008 har vallskördarna varit små (figur 2), trots N-K gödningen. Att ingen läckageminskning noterats efter ”fosforminingen” kan delvis berott på svårigheterna att få till bra vallskördar i lysimeterförsöken, som dock åskådliggjort att det tar lång tid innan fosforinnehållet i jorden minskar.



Figur 3. Avrinning, transport av löst reaktiv fosfor (DRP), och flödesviktad koncentration DRP från lysimetrar som inte gödslats med fosfor. Siffrorna är medelvärden från två replikat.



Figur 4. Avrinning, transport av löst reaktiv fosfor (DRP) och flödesviktad koncentration av DRP för tre lysimetrar med höga P-AL tal. Läckaget uppmättes inte åren 2003-2004.

Sammanfattning

38 lysimetrar som representerar fem olika jordar, vardera med 3-4 olika fosforstatus (två replikat av varje) förrådsgödslades med fosfor motsvarande rekommendationerna och odlades med vall under tre år. Läckaget av löst reaktiv fosfor från dessa var i medeltal 0,14 kg per hektar och år. Detta skiljde sig inte från en tidigare treårsperiod då jordarna inte fosforgödslats alls och då fosforläckaget enbart härstammade från markfosfor. Signifikanta skillnader uppmättes däremot mellan de olika jordarna vars egenskaper är avgörande för fosforläckaget. Alvens egenskaper har också indirekt visat sig ha en stor betydelse. Efter sex års odling av 8 lysimetrar utan någon fosforgödsling alls var fosforläckaget lika stort som från övriga 30 lysimetrar. Att ”skörda bort” fosfor i jorden från en starkt uppgödslad jord från Listerlandet visade sig vara svårt. Efter 16 år var läckaget fortfarande mycket högt, men skördarna minskade.

Slutsatser och nytta för näringen

För fosforläckaget är effekten av en fosforgödsling, enligt Jordbruksverkets rekommendationer, obetydlig. Man får en betydligt större variation i fosforläckaget beroende på olika jordars kemiska och fysikaliska egenskaper. Man får också en betydligt större variation i läckaget olika år beroende på väderleken under de enskilda åren. Jordbruksverkets rekommendationer är därför bra och kan följas.

Försöken visar också att ”fosformining” genom att ”bygga ner ” förråden med löslig fosfor i marken är en långsam metod och att det antagligen krävs flera decenniers bortförsel av goda och fosforrika skördar för att få en minskning av fosfor i marken och därmed av fosforläckaget. Det är därför viktigt att inte nå dithän att man bygger upp onödiga fosforreserver i marken.

Publikationer och resultatförmedling till näringen

Annan rapportering har ännu inte hunnit ske.

Referenser

- Andersson, A., J. Eriksson, and L. Mattson. 2000. Phosphorus accumulation in Swedish agricultural soils. 5110, Swedish Environmental Protection Agency.
- Bergström, L. and R. Johansson. 1991. Leaching of Nitrate from Monolith Lysimeters of Different Types of Agricultural Soils. *Journal of Environmental Quality* **20**:801-807.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2002. The nature and properties of soils. 13th ed. edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Brandt, M. and H. Ejhed. 2003. Transport, retention och källfördelning – Belastning på haven. 5247, Swedish Environmental Protection Agency.
- Börling, K. 2003. Phosphorus Soprtion, Accumulation and Leaching. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Agraria* 428.
- Carlgren, K. and L. Mattsson. 2001. Swedish soil fertility experiments. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* **51**:49-78.
- Djordjic, F., K. Börling, and L. Bergström. 2004. Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. *Journal of Environmental Quality* **33**:678-684.
- Eghball, B., J. F. Shanahan, G. E. Varvel, and J. E. Gilley. 2003. Reduction of high soil test phosphorus by corn and soybean varieties. *Agronomy Journal* **95**:1233-1239.
- Hesketh, N. and P. C. Brookes. 2000. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality* **29**:105-110.
- Koopmans, G. F., W. J. Chardon, P. A. I. Ehlert, J. Dolfing, R. A. A. Suurs, O. Oenema, and W. H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *Journal of Environmental Quality* **33**:965-975.
- Littell, R., G. Milliken, W. Stroup, R. Wolfinger, and O. Schabenberger. 2006. SAS for mixed models. 2 edition. SAS Institute Inc.
- Pautler, M. C. and J. T. Sims. 2000. Relationships between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. *Soil Science Society of America Journal* **64**:765-773.
- SAS. 2003. SAS/Stat User's Guide. SAS Institute Inc.
- Sharma, N. C., S. V. Sahi, J. C. Jain, and K. G. Raghothama. 2004. Enhanced accumulation of phosphate by *Lolium multiflorum* cultivars grown in phosphate-enriched medium. *Environmental Science & Technology* **38**:2443-2448.
- Sharpley, A. N. and S. Rekolainen. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. Pages 1-53 in H. Tunney, O. T. Carton, P. C. Brookes, and A. E. Johnston, editors. Phosphorus loss from soil to water. CAB International, Guildford, UK.
- SJB. 2003. Riktlinjer för gödsling och kalkning, Jordbruksverket 2004.
- SJB. 2008. Riktlinjer för gödsling och kalkning, Jordbruksverket 2009.
- Ulén, B. 1999. Leaching and balances of phosphorus and other nutrients in lysimeters after application of organic manures or fertilizers. *Soil Use and Management* **15**, 56-61.