

Slutrapport projekt: H0633185
En fullständig rapport är publicerad:

Mattsson, L., Ulén, B., Ericson, L. & Johansson, G. 2010. [Fosforkoncentrationer i yt- mark- och dräneringsvatten i relation till gödsling och fosforstatus hos en mjälajord i Västerbotten.](#) *Phosphorus concentrations in surface- soil- and subsurface water in relation to fertilization and phosphorus status in a silty soil in Västerbotten.* SLU, Rapporter från mark och miljö, Rapport 8.

Följande text är en förkortad version av rapporten.

Inledning

Jordbruksmarken står för den större delen av fosfortransporten till sjöar och hav i samtliga EU-länder, åtminstone i de fall där man förbättrat reningen av avloppsvatten. Ytavrinning tillsammans med avrinning via dräneringssystemen har också beräknats vara den huvudsakliga vägen för fosfortransport från jordbruksmarken runt Östersjön (Helsinki Commission, 2009). Många faktorer som styr denna transport, till exempel klimat och typ av jord, är svåra eller omöjliga att kontrollera. Däremot är fosforgödslingen en kontrollerbar faktor som på både kort och lång sikt kan påverka fosforförlusterna. En hög koncentration av växttillgänglig fosfor i jorden kan leda till ökad risk för fosforläckage genom markprofilen och via dräneringssystem, speciellt av löst reaktiv fosfor (DRP). Fosfor kan dessutom på sikt transporteras ner i markprofilen till djupare lager (Börling et al., 2004).

De höga fosfornivåerna i den odlingsbara jorden har gjort det nödvändigt att studera förhållandet mellan koncentrationerna av fosfor i ytvatten, markvatten och dräneringsvatten från jordbruksmark i relation både till jordens fosfornivåer och till fosforgödslingen. I föreliggande rapport studeras fosforupptaget hos grödan och hur träffsäkra gödslingsrekommendationer för fosfor är för en jord med olika fosforstatus. I detta sammanhang är jämförelser mellan olika metoder för att bestämma fosforstatus i matjorden också relevant.

Studierna genomfördes i ett långliggande bördighetsförsök vid Röbbäcksdalen (Carlgren & Mattsson, 2001). Dessutom görs jämförelser med en 30-årig mätserie av fosforkoncentrationerna i avrinnande vatten från ett intilliggande observationsfält.

Material och metoder

Bördighetsförsöket

Bördighetsförsöket anlades 1969. Jordarten är måttligt mullhaltig lerig mo (Mattsson, 1979). Växtföljden domineras av korn och vall. Fältet är ytplanerat enligt ett tegsystem med ryggar och svackor för effektiv ytvattenavledning. Tegryggarna lutar omkring 8% ner mot svackorna.

P-gödslingsförsöket

Försöksgödsling

Rutor med låg, medel och hög fosforstatus i bördighetsförsöket delades i 4 småparceller om 22,5 m². På dessa tillfördes fosfor i P20 motsvarande 0, 10, 35 eller 60 kg P ha⁻¹. All övrig

gödsling följde originalförsökets försöksplan. År 1 odlades vall II som skördades två gånger och år 2 potatis.

Provtagning av jord och gröda

Matjorden (0-20 cm) provtogs före gödslingen våren 2007, samt vår och höst efter skörd 2008. Samtliga prover analyserades med avseende på $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, P-AL (Egnér et al. 1960) och Olsen-P (Olsen et al. 1954). P-halten i grönmassa i vall bestämdes i båda delskördarna. P-halten i knölarna bestämdes.

Provtagning av yt- och markvatten

Ytvattnet från småparcellerna samlades upp med hjälp av s.k. Gerlachtråg (Ulén 1997, Ulén & Kalisky, 2005). Trågen var installerade tills snösmältningen var över våren 2009. Provtagning gjordes så snart ytavrinning förekommit.

Fritt markvatten provtogs genom vakuumextraktion från stationära sugsondrar av glas (Eijkelkamp, Nederländerna) installerade till ett djup av 28 cm med 45° vinkel mot markytan. Sex sugsondrar utnyttjades som representerade fyra olika kombinationer av gödsling och fosforstatus. De provtogs samtidigt som ytvattentrågen. Provvolymererna blev många gånger små.

Observationsfältet

Observationsfältet är beläget i nära anslutning till det ovan beskrivna bördighetsförsöket. Jordarten är även här en mjälajord med ett inslag av lera, speciellt i fältets övre del. Matjorden har en måttlig fosforstatus med ett genomsnittligt P-AL-värde på 10, och en koncentration av totalfosfor (P-HNO_3) som motsvarar 0,010% av jordens torrsvikt. Den AL-extraherade fosfor motsvarar därmed omkring 10% av totalfosforinnehållet, vilket är en typisk andel för observationsfält med visst lerinslag i matjorden (Ulén & Eriksson, 2009).

Resultat

Fosforhalter i olika typer av vatten under olika säsonger

Bördighetsförsöket

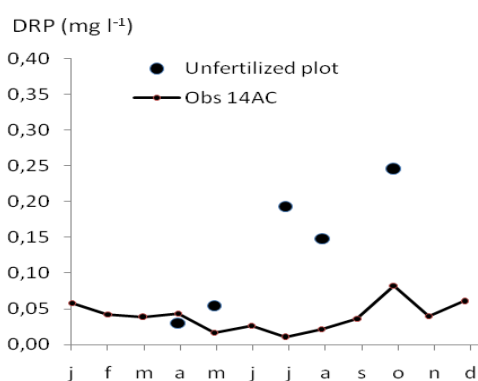
Fosforhalterna i ytvattentrågen i bördighetsförsöket var mycket höga den första sommaren efter gödslingen. 18 dagar efter gödslingen uppmättes mellan 0,9 - 712 mg L^{-1} DRP, 58 dagar efter gödslingen 0,3 - 160 mg L^{-1} DRP och 99 dagar efter gödslingen 0,2 - 0,8 mg L^{-1} DRP. Fortfarande den 15 oktober uppmättes upp till 2 mg L^{-1} DRP. Efterföljande vår och sommar, efter sättnings av potatis, observerades höga halter (upp till 1,6 mg L^{-1}). I samband med sommarregn (18 augusti 2007 och 11 juli 2008) var halterna också höga från de helt ogödslade rutorna som hade marktäckning av vall resp. potatisblast (figur 1a) med enstaka värden på upp till 3,5 respektive 0,8 mg L^{-1} DRP.

I ytvattentrågen från ogödslade rutor var de lösta fosforhalterna höga under sommar och höst (figur 1a) medan den icke reaktiva fosfor (NRP) var som högst i samband med avrinning på våren (figur 1c). I genomsnitt var ungefär hälften av fosfor i löst reaktiv form, men variationen var stor.

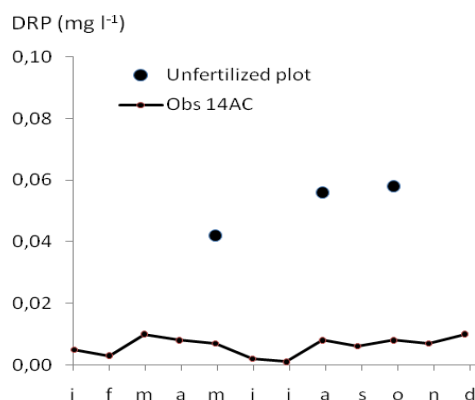
Observationsfältet

De lösta halterna i ytvatten från observationsfältet har sällan överstigit $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ DRP under vegetationsperioden. Vintertid (oktober-april) var däremot halterna tillfälligt förhållandevis höga och i genomsnitt var de högst efter höstregnen i oktober (figur 1a). Halterna fosfor i annan form än DRP var ofta förhållandevis låga i samband med snösmältningen april-maj (figur 1c). Under sommaren och hösten var däremot koncentrationen NRP i ytvattnet från ytvatten-trågen av samma storleksordning (ca $0,15 \text{ mg L}^{-1}$) som de som uppmättes i ytvattentråg från bördighetsförsökets parceller.

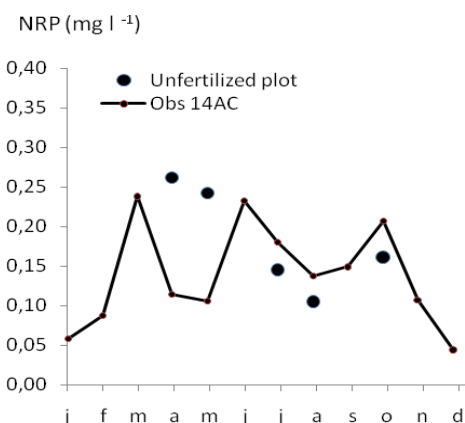
a) Ytvatten
Surface water



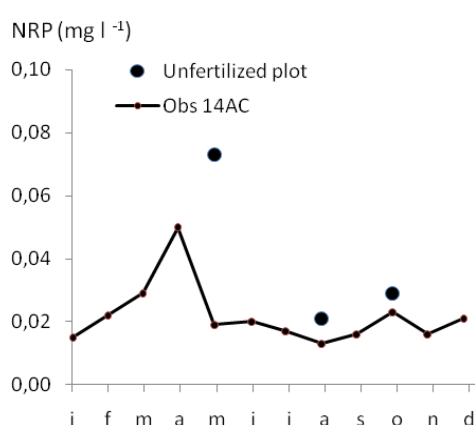
b) Markvatten/dräneringsvatten
Soil water/drainwater



c)



d)



Figur 1. Månadsmedelhalter av löst reaktiv fosfor (DRP) i a) ytvatten från tråg från ogödslade rutor (2007-2009) och från bomberingsdiken från observationsfältet (Obs 14AC) (1976-2009); b) i fritt markvatten från sugsondrar i ogödslade rutor (2007-2009) och i dräneringsvatten från Obs 14AC (1976-2009). Månadsmedelhalter av icke-reaktiv fosfor (NRP) i ytvatten c) från tråg från ogödslade rutor (2007-2008) och från bomberingsdiken från Obs 14AC (1976-2009); d) i fritt markvatten från sugsondrar (2007-2009) och i dräneringsvatten från Obs 14AC (1976-2009). Observera olika skalor.
Figure 1. Monthly average concentrations of dissolved reactive phosphorus (DRP) in surface water from a) surface water troughs from unfertilized plots (2007-2009) and from the patch ditches from the observation field Obs 14AC (1976-2009); b) in soil water from suction probes (2007-2009) and in drainwater from Obs 14AC (1976-2009). Monthly average concentrations of non-reactive phosphorus (NRP) in surface water c) from surface water troughs from unfertilized plots (2007-2008) and from path ditches from Obs 14AC (1976-2009); d) in soil water from 3-6 suction probes (2007-2009) and in drainwater from Obs 14AC (1976-2009). Please, note different scales.

Tabell 1. P-AL och P-Olsen, mg 100⁻¹ g, i matjorden. Medeltal följda av samma bokstav inom en kolumn är inte signifikant skilda från varandra
 Table 1. P-AL and Olsen P, mg 100⁻¹ g, in the top-soil. Means followed by the same letter in a column are not significantly different

P-status	P-gödsl. P-fert.	P-AL, mg 100 ⁻¹ g			P-Olsen, mg 100 ⁻¹ g		
		Vår 1 Spring 1	Vår 2 Spring 2	Höst 2 Autumn 2	Vår 1 Spring 1	Vår 2 Spring 2	Höst 2 Autumn 2
Låg <i>Low</i>	0	5,2 ^a	4,0	5,0	1,9 ^a	3,4	3,0
	10		4,6	6,3		4,1	5,0
	35		5,3	6,7		3,8	6,8
	60		6,1	5,5		3,9	5,1
	Medel <i>Mean</i>			5,0 ^a	5,9 ^a		3,8 ^a
Måttlig <i>Medium</i>	0	15,6 ^b	14,2	12,9	4,4 ^b	9,9	5,8
	10		14,6	13,1		9,9	8,4
	35		15,7	12,0		9,9	6,0
	60		14,8	10,7		9,9	7,3
	Medel <i>Mean</i>			14,8 ^b	12,2 ^b		9,9 ^b
Hög <i>High</i>	0	26,8 ^c	26,6	21,2	7,2 ^c	7,8	7,4
	10		28,2	25,0		9,1	8,7
	35		30,0	19,0		9,1	8,5
	60		28,3	20,6		8,9	5,8
	Medel <i>Mean</i>			28,3 ^c	21,4 ^c		8,7 ^c
LSD _{0,05}		2,9	2,2	2,2	0,4	1,3	2,2
N		2	8	8	2	8	8

Fosfor i matjord

Tidigare P-gödsling har haft ett klart och tydligt inflytande på P-status (tabell 1). Vårvärdena år 1 både för P-AL och för P-Olsen ökade 3 till 5 gånger i rutor med stark tidigare P-gödsling jämfört med rutor som erhållit ersättningsgödsling. Den nytillförda fosfor i givor från 0 till 60 kg ha⁻¹ påverkade däremot inte analysvärdena nämnvärt. De aktuella P-givorna tillfördes både våren år 1 (2007) och våren år 2 (2008).

Skörd, fosforupptag och gödslingsrespons

Vallskörden reagerade oregelbundet för både P-status och P-gödsling (tabell 2). Läget var något annorlunda i potatis. Där erhöles en viss effekt på skördens storlek både för P-status och P-gödsling. De största skördarna erhöles vid måttlig P-status. P-upptaget i vall påverkades i någon mån av stigande P-status eller från 20 till 25 kg P ha⁻¹ i medeltal. I potatis ökade P-upptaget med stigande P-status framför allt genom att halten i knölarna ökade (tabell 2).

Tabell 2. Ts-skörd vall, kg ha⁻¹, P-halt,%, och upptag av P, kg ha⁻¹, samt knölskörd, t ha⁻¹ friskvikt, P-halt i knölar, %, och upptag av P, kg ha⁻¹ i knölar. Medeltal följda av samma bokstav inom en kolumn är inte signifikant skilda från varandra

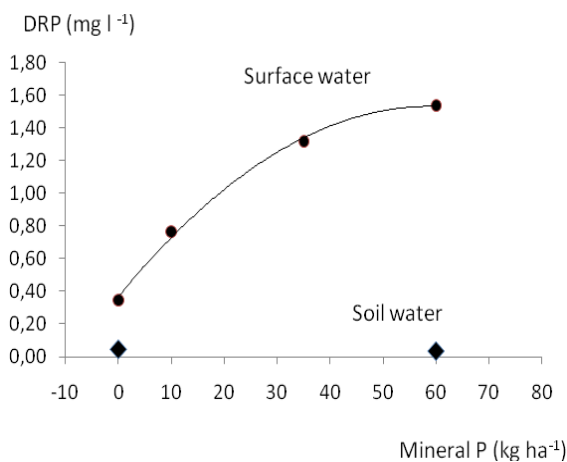
Table 2. Herbage yields of ley, kg ha⁻¹ D.M. P concentrations and tuber yield, tonnes ha⁻¹ fresh weight, P concentrations and P uptake, kg ha⁻¹ in tubers. Means followed by the same letter in a column are not significantly different

P-status	Vall II Ley II						Potatis Potatoes			
	P-gödsl P-fert. kg ha ⁻¹	Sk 1 Hvst 1 kg ha ⁻¹	Sk 2 Hvst 2 kg ha ⁻¹	P% 1 % 1	P% 2 % 2	Upptag Uptake kg ha ⁻¹ P	Skörd Yield t ha ⁻¹	P% %	Upptag Uptake kg ha ⁻¹ P	
Låg <i>Low</i>	0	4900	4080	0,21	0,21	18,9	19,2	0,21	4,8	
	10	4910	2660	0,23	0,26	18,1	18,6	0,23	6,4	
	35	5430	3190	0,27	0,26	22,9	20,0	0,27	7,5	
	60	4770	3290	0,26	0,27	21,3	16,6	0,24	5,6	
Medel <i>Mean</i>		5000 ^{ab}	3300	0,24 ^a	0,25	20,3 ^a	18,6 ^a	0,24 ^a	6,2 ^a	
Måttlig <i>Medium</i>	0	4780	3350	0,26	0,24	20,1	24,1	0,28	9,9	
	10	4500	3990	0,27	0,25	22,1	20,8	0,28	8,4	
	35	4830	3570	0,28	0,25	22,3	25,2	0,29	10,4	
	60	4460	2770	0,28	0,30	20,7	30,0	0,27	12,0	
Medel <i>Mean</i>		4640 ^a	3420	0,27 ^b	0,26	21,3 ^a	25,0 ^b	0,28 ^b	10,2 ^b	
Hög <i>High</i>	0	5260	3140	0,28	0,24	22,7	21,8	0,34	11,1	
	10	4970	2780	0,29	0,26	21,6	18,4	0,36	10,5	
	35	5290	4030	0,32	0,28	28,3	22,4	0,35	11,4	
	60	5020	3590	0,33	0,28	26,6	24,5	0,34	12,1	
Medel <i>Mean</i>		5130 ^b	3380	0,31 ^c	0,27	24,8 ^b	21,8 ^a	0,35 ^c	11,4 ^b	
LSD _{0,05}		415	n.s.	0,02	0,02	2,2	3,8	0,03	2,1	
N		8	8	8	8	8	8	7	7	

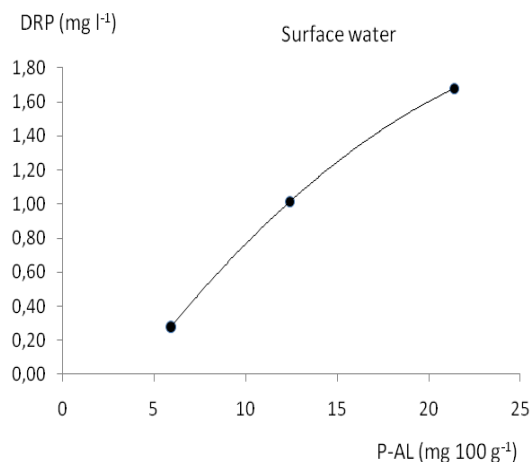
Fosforhalter i vatten i relation till gödsling och fosforstatus

I genomsnitt ökade halten DRP i ytvattnet i relation till gödslingen med mineralgödsel (figur 2a). Koncentrationerna DRP utan någon fosforgödsling var signifikant lägre ($p < 0,05$) än vid mineralgödsling med 60 kg ha⁻¹ med T-test. Koncentrationerna DRP ökade också i ytvattnet i relation till fosforstatus i jorden (figur 2b). T-test visade att vid låg fosforstatus (P-AL 6 mg 100 g⁻¹) var halterna signifikant lägre ($p < 0,05$) jämfört med motsvarande halter vid högre fosforstatus (P-AL 12 respektive 21 mg 100 g⁻¹).

a) Olika gödslingsgivor
Differing fertilization



b) Olika fosfornivåer i marken
Differing soil P status

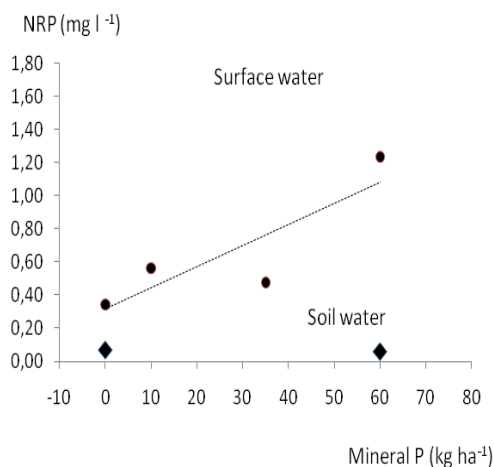


Figur 2. Medelkoncentrationer av löst reaktiv fosfor (DRP) i a) ytvatten (surface water) från parceller vid fyra olika givror med mineralgödsel av fosfor och i markvatten (soil water) från sugsondrar (juli 2007-maj 2009) vid två olika gödslingsgivor samt b) parceller som representerar tre olika historiska gödslingsstrategier och därmed olika fosfornivåer i matjorden.

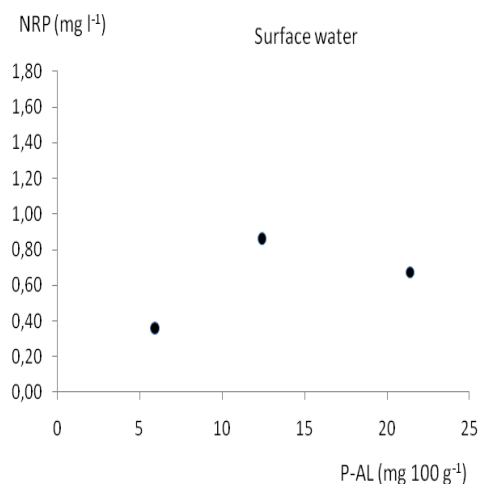
Figure 2. Average concentrations of dissolved reactive phosphorus (DRP) in a) surface water from plots with four different applications of mineral fertilizers of phosphorus and soil water from suction probes (July 2007-May 2009) and b) plots representing three historic different fertilization strategies, and hence P levels in the topsoil.

Koncentrationerna DRP ökade också i ytvattnet i relation till fosforstatus i jorden (figur 2b). Vid låg fosforstatus (P-AL 6 mg 100 g⁻¹) var halterna signifikant lägre ($p < 0,05$) jämfört med motsvarande halter vid högre fosforstatus (P-AL 12 respektive 21 mg 100 g⁻¹). DRP-halterna i ytvattentrågen där P-AL låg omkring 10 var ungefär 0,7 mg L⁻¹.

a) Olika gödslingsgivor
Differing fertilization



b) Olika fosfornivåer i marken
Differing soil P status



Figur 3. Medelkoncentrationer av icke-reaktiv fosfor (NRP) i a) ytvatten (surface water) och i markvattnet (soil water) från sugsondrar (juli 2007-maj 2009) med fyra olika givror med mineralgödsel av fosfor och b) i ytvatten som representerar tre olika historiska gödslingsstrategier och därmed olika fosfornivåer i matjorden.

Figure 3. Average concentrations of non-reactive phosphorus (DRP) in a) surface water and soil water from suction probes (July 2007-May 2009) from plots with a) four different applications of mineral fertilizers of phosphorus and b) plots representing three historic different fertilization strategies, and hence P levels in the topsoil.

Även halten NRP i ytvattnet tenderade att öka med ökad gödsling (figur 3a). Halterna NRP var i genomsnitt lägst vid låg fosforstatus men varierade oregelbundet från parceller med högre fosforstatus (figur 3b). Samtliga värden i trägen var högre än de från observationsfältet som i sin tur var något högre än motsvarande halter i det fria markvattnet.

Baserat på medelhalterna under tvåårsperioden från ytvattentrågen har skillnaden i fosfortal haft ett något större inflytande på halten DRP än olika P-gödsling under de senaste två åren. För NRP som uppvisade ett otydligare mönster kan inte motsvarande slutsats dras.

I förhållande till ytvattnet är fosfortransporten via dräneringsvattnet ringa eftersom både vattenvolymer och koncentrationerna är lägre. Speciellt alven är också rik på sulfater och natrium och på samma sätt är det sura dräneringsvattnet rikt på sulfater och natrium. Vid låga pH-värden (<5,1) kan fosfor, som föreligger som tvåvärt fosfat bindas kemiskt till metallerna järn, aluminium och mangan (Brady, 1999).

Diskussion

Fosforhalter i ytvatten

Höga halter av DRP uppmättes i ytvatten från helt ogödslade parceller under växtsäsongen och skulle kunna bero på läckage från vallgrödan respektive potatisblasten. Sådant läckage har t.ex. observerats från gräsbevuxna kantzoner i samband med regn (Uusi-Kämpä, 2005; Stutter, m.fl. 2009). De mycket höga halterna som uppmättes under försommaren 2007 efter

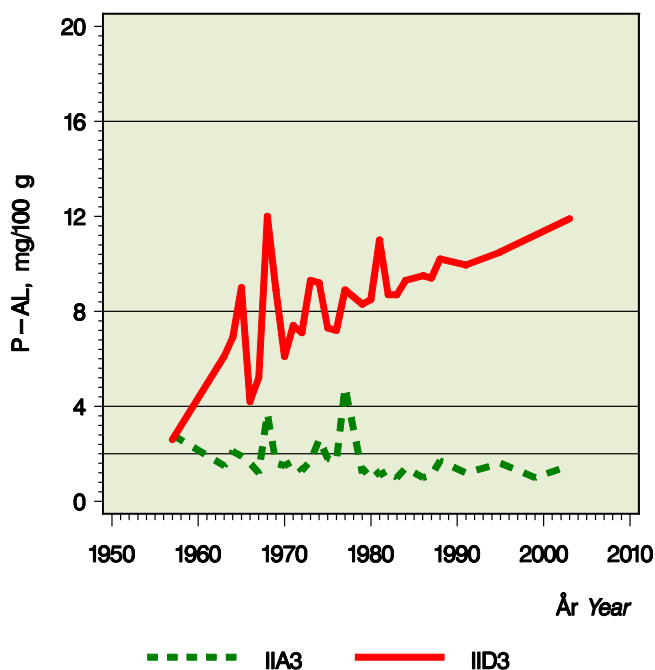
det att mineralgödseln ytsprits på vällen skulle kunna bero på att gödselkornen på markytan inte lösts upp ordenligt förrän efter mycket lång tid. I ytvattnet från observationsfältet har man istället uppmätt höga halter DRP (omkring $0,4 \text{ mg L}^{-1}$) samtidigt med höga halter NRP och med en förhöjning av halten suspenderat material ($> 40 \text{ mg L}^{-1}$) framför allt under höstar.

Fosforhalter i fritt markvatten

De ofta ganska låga koncentrationer av DRP, som uppmättes från sugsonderna, i genomsnitt $0,044 \text{ mg L}^{-1}$ var inte helt oväntad. Med använd teknik mäts koncentrationen av fosfor i ett relativt stationärt porvatten, medan snabba förändringar beroende på kraftigt regn eller preferentialflöden sällan registreras.

P-AL och P-Olsen

När försöket startades beskrev både extraktion med P-AL och med P-Olsen, fosforstatus på ett tillfredsställande sätt. Den nytillförda fosfor var dock inte lika spårbar i analyserna. Detta är troligen en tillfällighet. Tillförd fosfor spåras vanligtvis väl med P-AL (figur 4). Helledragen linje visar P-AL när 30 kg P utöver ersättningsnivån tillförs årligen, medan streckad linje visar hur P-AL utvecklas när P inte tillförs.



Figur 4. Utvecklingen i P-AL då 30 kg P tillförs årligen (helledragen) utöver ersättningsnivån jämfört med behandling utan P-tillförsel. Normal N-nivå. Provtagning höst efter skörd. (Mattsson opubl. [Serie R3-9001, Orup M-län](#)).

Figure 4. Development in P-AL for 30 P kg ha⁻¹ yr⁻¹ (solid) on top of replacement of P compared with the treatments without P. Average N-level. Soils sampled after harvest (Mattsson unpubl. [Series R3-9001, Orup M-county](#)).

Sammanfattning

I ett tvåårigt fältförsök studerades fosforkoncentrationer i yt-, mark- och dräneringsvatten i mark med olika fosforstatus. Effekter av stigande mängder fosfor jämfördes med avseende på skördar och fosforhalt i skörd. Växttillgänglig fosfor i marken bestämdes med P-AL respektive P-Olsen.

I mätningarna varierade koncentrationerna av löst reaktiv fosfor (DRP) mellan 0,05 och 1,56 och koncentrationen icke-reaktiv fosfor (NRP) mellan 0,06 och 3,60 mg L⁻¹ i ytvatten som samlats i tråg nära markytan.

Koncentrationen DRP i ytvattnet från ett intilliggande fält som observerats under mer än 30 år var i allmänhet lägre än från försöksparcellerna, i medeltal 0,05 mg L⁻¹.

I ett begränsat antal parceller var sugsondrar installerade för att fånga upp fritt markvatten. Jämfört med ytvattnet var fosforkoncentrationerna i detta vatten måttligt höga. I genomsnitt 0,039 mg L⁻¹ DRP respektive 0,062 mg L⁻¹ NRP. Årsvariation observerades inte i detta vatten, som antagligen representerar relativt stationärt vatten i större markporer.

Referenser

- Brady, N.C. & Well, R.R. 1999. The nature and properties of soils 12th edition. Prentice Hall, New Jersey, 881 pp.
- Börling, K., Barberis, E., Otabbong, E. 2004. Impact of long-term inorganic phosphorus fertilization on accumulation, sorption and release of phosphorus in five Swedish soil profiles. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **69**, 11-21.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, **26**, 199-215.
- Carlgren, K. & Mattsson, L. 2001. Swedish soil fertility experiments. *Acta Agricultura Scandinavica* 51, 49-78.
- Helsinki Commission (2009) Baltic Sea Environment Proceedings No. 115A, Eutrophication in the Baltic Sea, An integrated thematic assessment of the effect of nutrient enrichment in the Baltic Sea regions. Executive Summary, Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki, Finland.
- Mattsson, L. 1979. Kväveintensitet vid olika markbördighet. Jordanalydata vid försöksstarten. SLU, Inst. för markvetenskap, avd. för växtnäringslära, Rapport 121 (In Swedish, English summary).
- Olsen, R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. & Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA
- Stutter, M.I., Langan, S.J., & Lumsdon, D.G., 2009. Vegetated buffer strips can lead to increased release of phosphorus to waters: a biogeochemical assessment of the mechanism. *Environmental Science & Technology* **43**, 1858-1863.
- Ulén, B. 1997. Nutrient losses by surface run-off from soils with winter cover crops and spring ploughed soils in the south of Sweden. *Soil & Tillage Research* **44**, 165-177.

- Ulén, B. & Kalisky, T. 2005. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment – Need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* **8**, 477-488.
- Ulén, B. & Eriksson, A.K. 2009. Observationsfält med lerjord- karakterisering av fosfors löslighet och sorption. Observation fields with clay soils – characterization of soil phosphorus solubility and sorption. *Ekohydrologi, Institutionen för Mark och Miljö rapport 2*, Uppsala ISBN 978-91-86197-59-9.
- Uusi-Kämpä, J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* **24**, 491-502.