

FOSFOREROSIONENS FÖRÄNDRING EFTER FÖRBÄTTRAD MARKSTRUKTUR

Barbro Ulén, avdelning för Vattenvårdslära, SLU

Bakgrund

Fosforförluster från jordbruksmark är ett stort miljöproblem. Om markens koncentration av organiskt material är lågt ökar risken för instabilitet hos jordaggregaten (Skøien, 1993) och därmed risken för stora fosforförluster. När jorden blir blöt finns det en ökad risk att strukturen kollapsar och att de finkornigare fraktionerna i jorden (ler och mjäla) mobiliseras. Jordbearbetning och val av gröda har visat sig inverka på fosforförlusterna både från struktursvaga mjälajordar (Ulén, 2001) och från dränerade lerjordar (Ulén & Jakobsson, 2005). Genom bra och upprepade odlingsmetoder bör markens struktur kunna byggas upp och markhydrologin förändras. I amerikanska försök (McCool, 2001) har skillnaden i erosion mellan jordar som brukats på olika sätt blivit mycket tydliga men först efter en längre tid (13 år).

Ett principförsök med ytavrinning anlades på en utpräglad struktursvag jord vid Hedemora. Jordens organiska halt minskade kraftigt de senaste tre decennierna på grund av minskad vallodling. Eftersom andelen höstplöjd jordbruksmark är stor i denna trakt har erosionen, och den med denna sammanhängande fosforförlusten, alltid setts som ett stort problem.

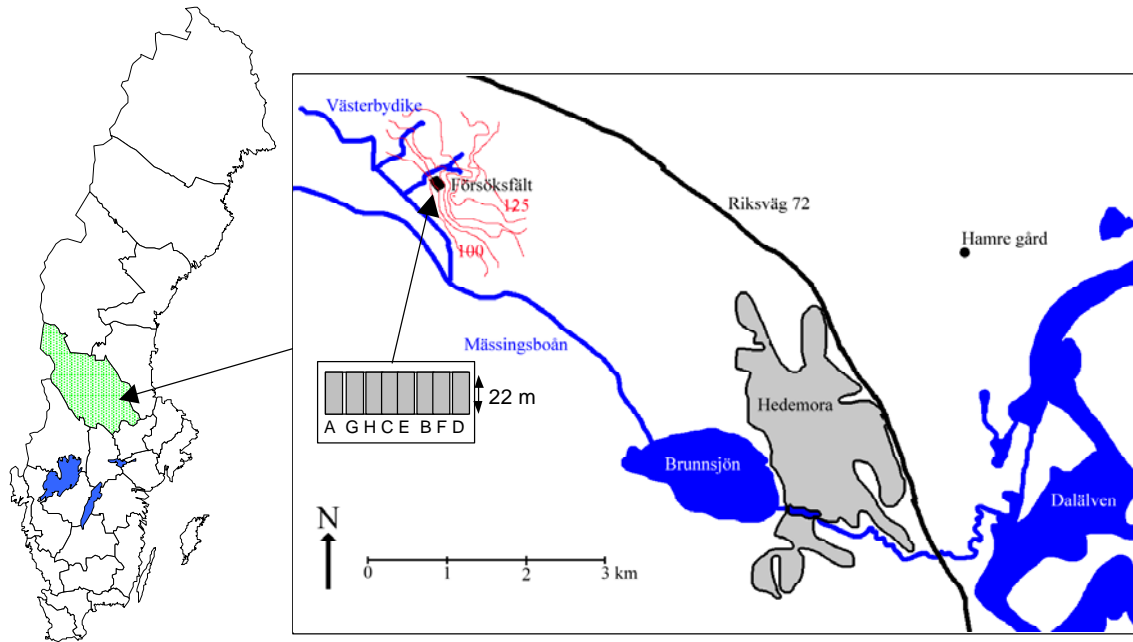
De första årens studier från principförsöket visade klart att förlusten av fosfor påverkades av jordbearbetningen. Avsikten med att fortsätta studien var att se om en fortsatt upprepning av samma odlingsmetoder hade medfört sådan förändrade markfysikaliska egenskaper att erosionen också ändrats i motsvarande grad. Resultaten från hela försöken och erosionsproblemen i Hedemoraområdet har redovisats på ett par konferenser (Ulén & Kalisky, 2003; Ulén, 2005) och flera internationell publikation (Ulén & Jakobsson 2005; Ulén & Kalisky 2005a och b).

Mål

Avsikten med detta projekt är att minimera fosforerosionen genom uthålliga jordbearbetnings- och odlingsåtgärder.

Tabell 1. Försöksplan

Led	Odlingsmetod	Djup	Djup	Djup		
1A	Konventionell plöjning, höst	21	Harvning 3 ggr, vår	5		
2C	Plöjningsfri odling, tallriksharv., höst	10	Kultivering 2 ggr, höst	15	Harvning, 4 ggr, vår	5
3E	Djupkultiv varje höst, kultivering 2 ggr	15	Djupkultivering, höst	40	Kulturharv 4 ggr höst	5
4H	Tillf. org. mat., tallriksharv. 3 ggr, höst	10	Kultivering 2 ggr, höst	15		
5G	Vintergrön, Vall / höstsäd, höstplöjning	21	Jordfräsning, höst	5	Harvning, 3 ggr, höst	5
6B	Konventionell plöjning, vår	21	Harvning 3 ggr, vår	5		
7F	Insådd fånggröda, vårplöjning	21	Harvning 3 ggr, vår	5		
8D	Direktsådd, vår					



Figur 1. Försöksplatsens läge

Material och metoder

Försöksfält och jord Försöksfältet med struktursvag mjälalättlera var beläget i södra Dalarna, strax utanför Hedemora. Fältet sluttar ca 10% mot ett biflöde (Västerbydike) till Mässingsboån. Försöket var delat i åtta 22 m långa försöksrutor som jordbearbedes på olika sätt (Tabell 1). Jorden i rutorna hade inledningsvis en jämn textur och övre markskiktet (0-30cm) i alla rutorna hade ungefär samma fosforhalt och samma låga innehåll av totalt organiskt kol (1.43 ± 0.13). Vid försökets början svarade också jordaggregaten på en likartad sätt när jord från de olika leden utsattes för regnsimulering (Tjell, 1993). Samma mängder partiklar i olika storleksklasser duschades ut och vattnet från alla rutorna hade samma fosforhalt.

Odlingsåtgärder Det organiska material som tillfördes led 4 (Tabell 1) motsvarade 6 ton ha^{-1} och utgjordes av gräsklipp från en omställningsmark. Materialet harvades ned i markytan på hösten. I led 5 var grödan vartannat år (jämn) höstvet och vartannat (udda) vall. Som fånggröda i led 7 användes engelskt rajgräs de första fyra åren och senare klöver. Det direktsådda ledet 8, hade vissa år (1994 och 1997) stora problem med ogräs. Dessa år behandlades ledet med ogräsbekämpningsmedel och marken var därefter täckt med död ogräsvegetation.

Tabell 2. Odlingsmetoder, årlig förlust (medelvärde) via avrinnande vatten på markytan av suspenderat material (SS), partikulärt bunden fosfor (PP) och löst reaktiv fosfor (RP) 1993-2004, samt förändring av jordaggregatens struktur och hållfasthet mellan åren 1992-1997.

Nr	Åtgärder	Ytvattenförlust			Aggregatens egenskaper		
		SS	PP	RP	Struktur	Hållfasthet	
		(kg ha ⁻¹ år ⁻¹)					
1	Konventionell höstplöjning	644	0,32	0,04	±0	±0	
2	Ingen bearbetning förutom med tallriksredskap höst	365	0,28	0,02	±0	+	*
3	Djupkultivering höst	398	0,24	0,04	±0	+	**
4	Tillförsel med extra organiskt material, ingen plöjning	293	0,22	0,05	+	+	***
5	Vall/höstvete med höstbearbetning	358	0,19	0,06	- ^a	- ^a	**
6	Konventionell vårplöjning	223	0,15	0,05	±0	±0	
7	Konventionell vårplöjning och fånggröda	273	0,15	0,04	±0	±0	
8	Direktsådd vår	108	0,14	0,16	+	+	*

^a År med höstvete

* Marginell förändring av hållfastheten ($0.05 < p \leq 0.10$)

** Signifikant förändring av hållfastheten ($0.01 < p \leq 0.05$)

*** Stor signifikant förändring av hållfastheten ($p \leq 0.01$)

Ytavrinning och fosfor i ytvattnet Uppsamling för ytvattenprov startade hösten 1994 och skedde med hjälp av 0,5 m breda uppsamlingskärl (Gerlachtråg; Gerlach, 1967). Två eller fyra parallella tråg grävdes försiktigt ner i nedre kanten på varje ruta varje höst (utom vid uppehåll år 2001 och 2002). Vattenproven samlades upp varje vecka då det förekommit avrinning på markytan. Parallella vattenprov från samma led slogs ihop till ett samlingsprov. Analyser av totalfosfor (TP), partikulärt bunden fosfor (PP) mätt som skillnaden mellan TP på filtrerat och ofiltrerat prov, löst reaktiv fosfor (RP) mätt på filtrerat prov och suspenderat material (SS) utfördes enligt Europeiska standardmetoder. Enda undantaget från standardmetoden var att filtreringen gjordes med filter med mindre porstorlek (0,2 µm) för att bättre kunna skilja av det finpartikulära lermaterialet. Analyserna utfördes på ackrediterat laboratorium (SWEDAC) vid avdelning för Vattenvårdslära, SLU.

Eftersom jorden är mycket lätttröglig medförde erosionen och frysningen av marken att uppsamlingskärlen ändrade läge och en del ytvatten passerade förbi. Avrinningen mättes därför genom att ytvattnet samlats upp med ett gummiklätt dike från två rutor, varefter mängderna registrerats med hjälp av vippkärl. Detta gjordes från ruta 3 som höstbearbetades och 6 som inte bearbetades förrän på våren. Avrinningen från dessa antogs representera leden 1, 2 och 4 respektive 5 och 7 med avseende på mängden ytavrinnande vatten. Från ruta 8 var avrinnande mängd liten och beräknades från uppsamlade mängder i trägen.

Ämnestransporterna beräknades genom att avrinningen multiplicerats med de uppmätta halterna. Årstransporter redovisas i agrohydrologiska år: första juli till sista juni.

Jordaggregatens sprödhet (struktur) och hårdhet vid sönderdelning bestämdes enligt Watt & Dexter (1998) dels år 1992 och dels 1997 efter fem år med upprepad behandling (Björkman 1998). Efter ytterligare sex år (2004/2005) analyserades övre matjordens (0-10 cm) innehåll av organiskt kol (TOC). Detta år, efter tolv år med upprepad jordbehandling, undersöktes också aggregatstabiliteten (Czyz et al., 2002) i samma skikt, vilket redovisas som fraktionen dispergerbar lera i förhållande till jordens totala lerhalt. Det fanns inga upprepningar i försöken av samma åtgärd och därför kunde ingen egentlig statistisk bearbetning göras. Fyra åtgärder som innebar bearbetning av jorden under hösten (1-4) jämfördes därför med fyra åtgärder (5-8) som endast innebar jordbearbetning vart annat år eller ingen bearbetning alls.

Tabell 3. Koncentration i övre markskiktet (0-10cm) av total organisk kol (TOC) och aggregat stabilitet (Stabilitet) uttryckt som förlorad mängd ler (%) under 2004/2005 samt och skörd i relation till resultat vid konventionell plöjning (%) 1993-2004

Nr	Åtgärd	Markkaraktär		Skörd
		TOC (%)	Stabilitet (%)	relativ (%)
1	Konventionell höstplöjning	1,79	-4,9	100
2	Ingen bearbetning förutom med tallriksredskap höst	1,82	-5,2	106
3	Djupkultivering tre ggr höst	1,75	-5,2	102
4	Tillförsel med extra organiskt material, ingen plöjning	2,17	-2,8	117
5	Vall/höstvete med höstbearbetning	1,89	-3,9 ^b	-
6	Konventionell vårplöjning	1,66 ^a	-1,6	107
7	Konventionell vårplöjning och fånggröda	1,69 ^a	-1,2	103
8	Direktsådd vår	2,10	-2,2	64

^a medelvärde höst/vår

^b medelvärde från ett år med vall och ett med höstvete

Resultat och diskussion

Ytavrinning Ytavrinningen varierade mycket olika år och var episodisk. Störst var avrinning de båda vintrarna 98/99 och 00/01 då det i genomsnitt rann av 180 respektive 195 mm på markytan. Medelavrinningen var 84 mm för mätperioden 93/01 och 80 mm under mätperioden 2003/2004.

Koncentrationer Koncentrationerna PP och SS varierade mycket. I genomsnitt var de höga och motsvarade 0,30 resp. 430 mg l⁻¹. Högst var halterna från den konventionellt höstplöjda rutan (1). Kvoten mellan halterna indikerar fosforhalten i det eroderade materialet. Denna var mellan 0,05 och 0,08 % från alla led utom för det direktsådda där halten var 0,13%. Fosforhalten i det eroderade materialet låg därmed oftast på samma nivå som i ytjorden där den i genomsnitt var 0,06%.

Relativt höga koncentrationer reaktiv fosfor (RP) i vattnet uppträdde ofta vid det första avrinningstillfället på hösten och ibland på senvintern. Koncentrationerna var dock i genomsnitt betydligt lägre (0,05 mg l⁻¹) jämfört med koncentrationen PP. Högst var koncentrationerna RP från direktsått led (medeltal 0,27 mg l⁻¹) Det vintergröna ledet (5) hade däremot ungefär samma koncentrationer RP som övriga led. Lägst RP halter hade led 2 (0,03 mg l⁻¹) som samtidigt hade höga PP halter (0,36 mg l⁻¹).

Transporter med ytvatten Liksom avrinningen varierade förlusten av fosfor kraftigt mellan olika år. Stora förluster inträffade åren 94/95, 98/99 och 00/01. Åren 96/96, och i viss mån också 99/00, var däremot förlusterna små.

Förlusterna av fosfor i partikulär form (Tabell 2) var i genomsnitt fem gånger större än RP förlusterna som i genomsnitt motsvarade 0,06 kg ha⁻¹ år⁻¹. Ett undantag utgjorde förluster från direktsådd ruta (8) som motsvarade en fosfatfosförlust på 0,16 kg P/ha. Denna utgjorde i detta fall en betydande del (47%) av den totala fosfor.

Transporten av fosfor har varierade så mycket mellan åren att någon trend har inte kunnat beräknas.

Tabell 4 Skillnad i erosion (förlust av suspenderat material), förlust av partikelbunden fosfor (PP), och löst reaktiv fosfor (DRP) vid ytvattenavrinning tillsammans med aggregatstabilitet och jordens koncentration av totalt organisk kol TOC då led 1-4 jämförs med 5-8

Parameter	
Erosion (kg ha ⁻¹ år ⁻¹)	+185*
PP förlust (kg ha ⁻¹ år ⁻¹)	+0.11**
DRP förlust (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	-0.04
Aggregate stabilitet (%)	+2.3**
TOC (%) ^a	+0.05

Jordaggregatens egenskaper Efter fem år med upprepad jordbearbetning hade jordaggregatens egenskaper förändrats i flera led. Ökad hållfasthet hos aggregaten indikerades för plöjningsfri odling, direktsådd, vintergrön mark och ledet med tillförsel av organiskt material (Tabell 2).

Variationen i aggregatstabilitet mellan de 8 rutorna vid experimentets start var mindre än 10%. På liknade sätt var variationen i koncentrationen organiskt material mindre är 7%. Efter de 12 åren med upprepad behandling hade variationen ökat till 34 resp 14%. Högsta koncentrationen TOC återfanns i ledet med tillsats av organiskt material och med direktsådd (Tabell 3). Överlag var dock koncentrationerna fortfarande låga. Aggregatstabiliteten hade förbättrats signifikant i rutorna 5-8 (utan eller nästan utan jordbearbetning) medan däremot mer ler dispergerade från rutorna 1-4, som alla bearbetats. Bättre bördighet, dvs. högre TOC-halt bör ha inneburit en bättre aggregatstabilitet. En signifikant bättre aggregatstabilitet och därmed sammanhängande fosforhalt i vattnet vid vall jämfört med höstplöjning har visats i ett Mellansvenskt lerområde (Melakari, 2005).

Skörd Medelskörden mellan åren från höstplöjt led varje år sattes till 100 för att underlätta jämförelser (Tabell 3). Skörden från ledet med tillförd organisk substans hade de största relativa skördarna. Direktsådd (1) gav betydligt lägre skörd än övriga jordbearbetningar (Tabell 2). Ogräsförekomsten var ofta riklig och täckte en stor del av markytan (20-50%) vid skördetid flera år. I övriga led var ogräsförekomsten däremot liten. Sen uppkomst minskade också skörden i det direktsådda ledet en del år. Höstplöjning eller höstbearbetning (1 och 3) har i medeltal gett ungefär samma skörd som vårplöjning med (7) eller utan fånggröda (6). Led 5 med höstvete gav dålig skörd 1993. Samtidigt med vete på hösten såddes vallen in och konkurrensen med gräset blev för stor. Vid nästa vetegröda, 1995, såddes därför inte vallen förrän på våren. Detta ledde dock till en mycket dålig vallutveckling och nysådd av vall fick göras våren 1996. 1997 gav en dålig höstveteskörd trots en god utveckling på våren.

Slutsatser

De olika jordbearbetningsmetoderna i de olika leden har påverkat fosforns rörlighet och skördeutfallet. Bäst beträffande förlust av totalfosfor har vårplöjning av marken varit och sämst konventionell höstplöjning. Båda har givit ungefär samma skörd. Bäst ur skördesynpunkt har varit om jorden tillförts organiskt material. Sämst ur skördesynpunkt har varit direktsådd gröda och från det ledet förlorades också mest fosfatfosfor med ytvattnet. De olika jordbearbetningsmetoderna i de olika leden påverkade de markfysikaliska egenskaperna och fosforns rörlighet.

Referenser

- Björkman, N. 1998. Markfysikaliska mätningar. Stencil. Avdelningen för jordbearbetning, Institutionen för markvetenskap, SLU.
- Czyz, E.A., Dexter, A.R., Terelak, H., 2002. Content of readily-dispersed clay in the arable layer of some Polish soils. I Pagliai, M & Jones, R (Editors). Sustainable Land Management-Environmental Protection - A Soil Physical Approach. Advances in Geocology 35. Catena verlag, Germany. S 115-123.
- Gerlach, T. 1967. Hillslope throughs for measuring sediment movement. Rev. Geomorph. Dynamique 4:173.
- McCool, D. K. 2001. Abstract, NJF Seminar Snowmelt and erosion. April 2001, NHL, Oslo, Norway. Abstract book 49 pp Jordforsk report 41/01:24
- Melakari, A. 2005. Aggregatstabilitet, jordbearbetning och fosforförluster i ett typområde på jordbruksmark. Seminarier och examensarbeten nr 51. Vattenvårdslära, SLU.
- McCool, D. K. 2001. Runoff and erosion from ephemeral frozen soil. International symposium "Snowmelt and erosion and related problems". 28-30 March 2001, NHL, Ås, Norge.
- Skøien S., 1993. Long-term effects of crop rotation, manure and straw on soil aggregation. Norw. J Agric Sci 1;7:231-247.
- Tjell, D. 1994. Fosforförluster från åkermark via yterrosion och inre erosion. Seminarier och examensarbeten nr 23. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU.
- Ulén, B. & Kalisky, T. 2003. Implementation of the Water Framework Directive – a case study. Final EU COST 832 meeting, Cambridge 30/7-2/8 2003
- Ulén, B., Aronsson, H., Torstensson, G. & Mattsson, L. 2004. Svårt förutsäga utlakning i växtföljder – enstaka händelser betyder mest. FAKTa Jordbruk 11, 2004.
- Ulén, B., 2005. Soil erosion and some recent trends in phosphorus losses from arable land in Sweden. In proceeding from 4th Scape workshop The importance of soil protection and conservation in the Boreal climate zone. Ås 9-11 May 2005, Norway.
- Ulén, B. & Jakobsson, C. 2005 Potential for improving soil use and management to reduce phosphorus losses to water in Sweden. Science of the Total Environment 344, 37-50.
- Ulén, B., Aronsson, H., Torstensson, G. & Mattsson, L. 2005. Nutrient turnover and risk of waterborne phosphorus emissions in crop rotations on a clay soil in south-west Sweden. Soil Use Management 21, 221-230.
- Ulén, B. & Kalisky, T. 2005a. 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 (published on-line Sept. 2005).
- Ulén, B. & Kalisky, T. 2005b. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment – Lesson from implementation of the EU Water Framework Directive. Environmental Science & Policy 8 (published on-line Sept. 2005).
- Watts, C.W. & Dexter, A.R. 1998. Soil friability: theory measurements and the effects of management and organic carbon content. European J Soil Sci. 49, 73-83.