

11. Udvaskning af organisk kulstof efter kløvergræs

Finn P. Vinther, Elly M. Hansen og Jørgen Eriksen

Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugsproduktion og Miljø

Opløst organisk stof danner grundlaget for mange af de biogeokemiske processer der foregår i jorden. Der er foretaget talrige undersøgelser af dannelse og tab af organisk stof fra skovjorde, hvorimod kun få er gennemført i landbrugsjord. Det vides at græsmarker øger jordens pulje af organisk stof, men kendskabet til det organiske stofs skæbne efter ompløjning af græsmarker er mangelfuldt. Formålet med denne undersøgelse var at bestemme størrelsesorden for udvaskning af opløst organisk kulstof (DOC) og den samlede mængde mobilt organisk kulstof (MOC) i dyrkningssystemer med kløvergræs, med særlig fokus på perioden efter ompløjning af græsmarken. Undersøgelserne er gennemført dels i Foulum i et markforsøg anlagt med henblik på at måle kvælstofudvaskning og eftervirkning af kløvergræs af forskellig alder, og dels i Sønderjylland i et markforsøg anlagt for at afprøve forskellige strategier til reduktion af N-udvaskningen. Jordvand fra forskellige dybder blev udtaget med sugeceller og analyseret for C-indhold, hvorefter udvaskningen blev beregnet vha. modelleret afstrømning. Målingerne i Foulum viste, at koncentrationen af DOC aftog med dybden: 21 – 31 mg C l⁻¹ i 30 cm, 7 – 12 mg C l⁻¹ i 60 cm og 6 - 11 mg C l⁻¹ i 90 cm. Værdierne var højere i en eksisterende 9. års kløvergræs end efter ompløjning af 1. års eller 8. års kløvergræs. Med en afstrømning på 218 mm blev den samlede udvaskning til en meters dybde i Foulum i ompløjet 1. års og 8. års, og i en eksisterende 9. kløvergræs beregnet til henholdsvis 15, 15 og 27 kg DOC ha⁻¹ i løbet af en 4-måneders periode fra november 2002 til marts 2003. I Sønderjylland varierede koncentrationen af DOC i 70-100 cm's dybde mellem 9 og 40 mg C l⁻¹ og koncentrationen af MOC mellem 16 og 63 mg C l⁻¹. Den samlede afstrømning her var 596 - 645 mm, afhængig af forsøgsbehandling, hvilket resulterede i en udvaskning af DOC på 95 – 192 kg C ha⁻¹ år⁻¹ og af MOC på 174 – 310 kg C ha⁻¹ år⁻¹.

11.1 Indledning

Opløst organisk stof (DOM) i jordvæsken har stor betydning for omsætning og transport af næringsstoffer, idet det fungerer som energikilde for mikrobiologiske processer i jorden, f.eks. denitrifikationen (Burford og Bremner, 1975; Bradley et al., 1995). Jordtype og dyrkningsforhold har afgørende indflydelse på mængden af organisk stof i jorden, og for hvor stor en del af det organiske stof, der kan udvaskes i form af opløst organisk kulstof (DOC) og kvælstof (DON).

I litteraturstudier af Chantigny (2003) og Zsolnay (1996) fremgår det bl.a., at der er foretaget talrige undersøgelser af DOC i skovjord og i overfladevand, hvorimod kun få er gennemført vedr. indhold og udvaskning af DOC i dyrket jord. På trods af en stor variation mellem de foreliggende undersøgelser, synes de dog at pege i retning af at skovjord > græsmarksjord > landbrugsjord i omdrift mht. til indhold af DOC. Således angiver Zsolnay (1996), at indholdet af DOC i skovjorde varierede mellem 5 og 400 mg C l⁻¹, mens indholdet i landbrugsjord varierede mellem 0 og 70 mg C l⁻¹ med de højeste koncentrationer i græsmarksjord.


Dyrkning af græs øger generelt indholdet af organisk stof i jorden (Christensen og Johnston, 1997; Soussana et al., 2004), idet der i løbet af græssets levetid foregår en minimal forstyrrelse af jorden samtidig med at der opbygges et tæt rodsystem (Eriksen et al., 2004), hvorfra der udskilles store mængder rodexudater (Tisdall og Oades, 1979). Rødder og rhizodeposition udgør således et betydeligt lager af C i græsmarken og spiller derfor en væsentlig rolle som energikilde for den mikrobielle omsætning og jordens C-balance (Helal og Sauerbeck, 1986; Milchunas et al., 1985).

Formålet med denne undersøgelse var at bestemme størrelsesordenen for udvaskning af organisk stof fra kløvergræssædskifter med fokus på udvaskningen efter opløjning af græsmarken.

11.2 Metoder

11.2.1 Forsøgslokaliteter


Undersøgelserne fandt dels sted i et afgræsningsforsøg i Foulum, beliggende på en lerblandet sandjord (JB3-4), og dels på et økologisk landbrug på grovsandet jord (JB1-3) i Sønderjylland.

 **Figur 11.1. Skematisk oversigt over forsøget i Foulum med angivelse af hvilke afgrøder og gødningsmængder, der blev anvendt forud for måleperioden fra oktober 2002 til april 2003. A og B angiver forsøgsbehandlinger, hvor opsamling af jordvand blev foretaget med henholdsvis keramiske sugeceller installeret i 100 cm, og teflon sugeceller installeret i 30, 60 og 90 cm.**

2002												2003			
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
A.															
1. års kløvergræs			Vårhvede (0, 115 & 230N)						Efterafgrøde (alm. rajgræs)						
2. års kløvergræs			Vårhvede (0, 115 & 230N)						Efterafgrøde (alm. rajgræs)						
8. års kløvergræs			Vårhvede (0, 115 & 230N)						Efterafgrøde (alm. rajgræs)						
B.															
1. års kløvergræs			Vårhvede (0N)						Efterafgrøde (alm. rajgræs)						
2. års kløvergræs			Vårhvede (0N)						Efterafgrøde (alm. rajgræs)						
8. års kløvergræs			9. års kløvergræs						9. års kløvergræs						

Afgræsningsforsøget i Foulum var anlagt med henblik på at måle kvælstofudvaskning og eftervirkning af kløvergræs af forskellig alder (Eriksen and Mogensen, 2001), hvor henholdsvis en 1. års, 2. års og 8. års kløvergræs blev opløjet i foråret 2002, hvorefter der blev sået vårhvede med udlæg af alm. rajgræs som efterafgrøde. Vårhveden blev dyrket ved gødningsniveauerne 0, 115 og 230 kg total-N i gylle (tabel 11.1A). I afgræsningsforsøget i Foulum blev der i 1996 blevet installeret keramiske sugeceller i 100 cm dybde, og disse blev i oktober 2002 suppleret med teflon-sugeceller i 30, 60 og 90 cm i udvalgte parceller, hvor der havde været ugødet vårhvede efter henholdsvis 1. og 8. års kløvergræs (tabel 11.1B). Desuden blev der installeret teflon-sugeceller i 30, 60 og 90 cm's dybde under en eksisterende 9. års kløvergræs (tabel 11.1B). Opsamling af jordvand fra sugecellerne blev foretaget i perioden fra oktober 2002 til april 2003.

Forsøget i Sønderjylland blev anlagt i foråret 2003 efter ompløjning af to kløvergræsmarker (3. og 5. års), hvor 3. års marken befandt sig ca. 500 m fra gården og indgik i et kornrigt sædskifte, mens 5. års marken befandt sig i umiddelbar nærhed af gården og indgik i et græsrigt sædskifte med meget afgræsning (tabel 11.2). Efter ompløjning blev der i hver mark anlagt forsøg med en række forsøgsbehandlinger i fire gentagelser til afprøvning af to forskellige metoder til reduktion af N-udvaskningen: 1) udlæg af en kraftigvoksende efterafgrøde (ital. rajgræs) og tidlig høst af byg som grønkorn og 2) udlæg af langsomt voksende efterafgrøde (sildig alm. rajgræs) og høst af byg ved modenhed. Disse to forsøgsbehandlinger blev sammenlignet med en forsøgsbehandling, hvor byg blev høstet ved modenhed, og hvor det efterfølgende efterår blev benyttet til mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved to gange fræsning den 26/9 og 21/10. Afgrøderne i alle tre forsøgsbehandlinger blev gødet med enten 0, 60 eller 120 kg ammonium-N pr. ha i gylle, nedfældet i pløjet jord. Udvaskningen blev bestemt fra maj 2003 til maj 2004 vha. sugeceller installeret i fem udvalgte forsøgsbehandlinger (tabel 11.2), hvoraf der i to behandlinger, efterfølgende kaldet henholdsvis ”grønkorn, 0N” og ”bar jord, 120N”, blev foretaget målinger af C-indhold.

 **Tabel 11.2. Skematisk oversigt over forsøget i Sønderjylland med angivelse af hvilke afgrøder og gødningsmængder, der blev anvendt forud for måleperioden fra maj 2003 til maj 2004. I de to forsøgsbehandlinger markeret med * blev der målt organisk kulstof.**

2003											2004					
D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
3. el. 5. års kløvergræs*				Vårbyg (0N)							Efterafgrøde (ital. rajgræs)					
3. el. 5. års kløvergræs				Vårbyg (0N)							Efterafgrøde (alm. rajgræs)					
3. el. 5. års kløvergræs				Vårbyg (0N)							Bar jord (2 x fræsning)					
3. el. 5. års kløvergræs				Vårbyg (120N)							Efterafgrøde (ital. rajgræs)					
3. el. 5. års kløvergræs*				Vårbyg (120N)							Bar jord (2 x fræsning)					

11.2.2 Opsamling af jordvand

Opsamling af jordvand blev foretaget med 8 til 14 dages intervaller igennem måleperioden, som i Foulum var fra oktober 2002 til april 2003, og i Sønderjylland fra maj 2003 til maj 2004. I Sønderjylland blev sugecellerne i foråret 2003 installeret 1 meters dybde, men som følge af høj grundvandsstand, blev de imidlertid hævet til 70 cm den 8/12 2003, hvor de forblev i resten af måleperioden.

11.2.3 Forbehandling og analyse af jordvand

Opsamlet jordvand blev opbevaret ved -18°C indtil analyser kunne foretages. Jordvand fra Foulum blev filtreret gennem et 0.45 µm filter inden analyse for total kulstof blev foretaget på en Shimadzu 5050 TOC Analyzer. Prøverne fra Sønderjylland blev dels analyseret uden forbehandling og dels efter centrifugering i 5 min. ved 5000 omdr. per min. Prøver fra Foulum blev analyseret for opløst organisk kulstof (DOC), og prøver fra Sønderjylland blev analyseret for både DOC og en mobil fraktion af organisk kulstof (MOC), dvs. den fraktion der kan passere sugecellernes porer på ca. 1 µm.

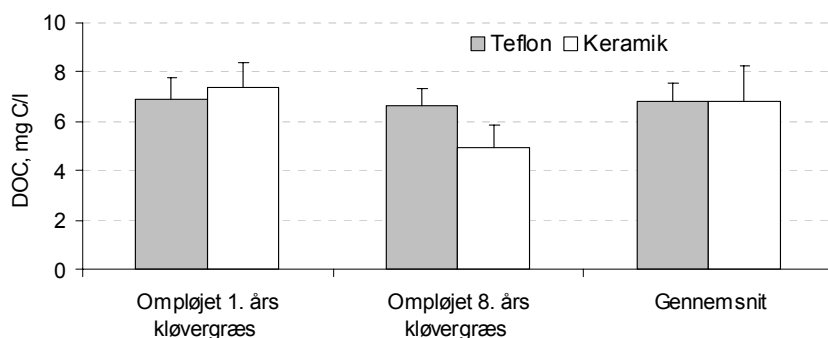
11.2.4 Beregning af C-udvaskning

Udvaskning af MOC og DOC blev beregnet ved at multiplicere middelkoncentrationen mellem to udtagningsstidspunkter med afstrømningen for den pågældende periode. Afstrømning blev beregnet

vha. vandbalancemodellen Evacrop (Olesen og Heidmann, 1990), hvor input var daglige meteorologiske målinger (nedbør, temperatur og fordampning), afgrødetype, såtidspunkt og jordfysiske parametre.

11.3 Resultater

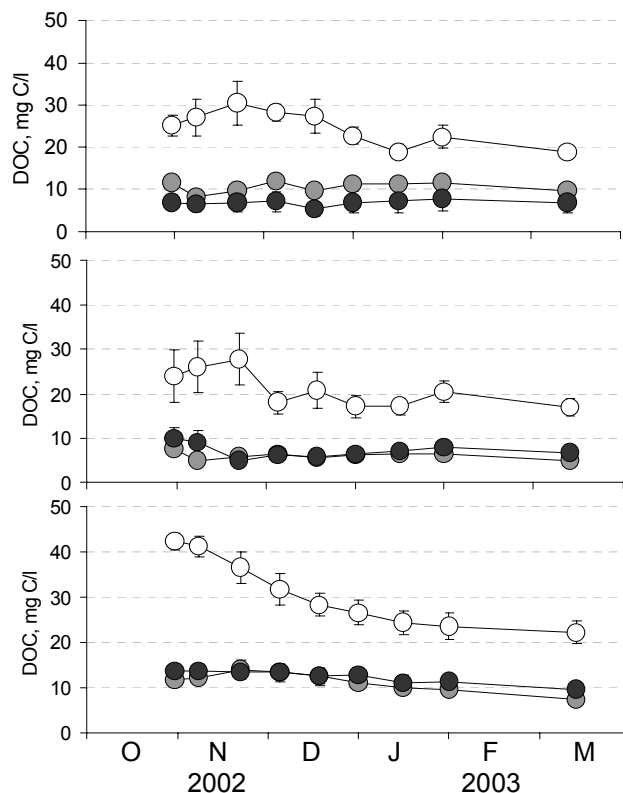
En sammenligning af DOC-koncentrationen i jordvand udtaget med keramiske eller teflon sugeceller i 1 m's dybde viser, at der ikke er signifikant forskel mellem de to typer sugeceller (figur 11.1). Dette er i overensstemmelse med tidligere undersøgelser af Guggenberger & Zech (1992), som i en skovjord fandt at keramiske sugeceller, som var installeret 2-3 år før målinger, var i ligevægt med jordvandet, og derfor ikke tilbageholdt kulstof i det keramiske materiale, hvilket ellers kan være tilfældet for nye keramiske sugeceller. De væsentlig dyrere teflon sugeceller er bl.a. kendetegnet ved ikke at tilbageholde kulstof.



Figur 11.1. Middelkoncentration af opløst organisk kulstof (DOC) i jordvand udtaget i perioden 02/12 02 til 18/03 03 med henholdsvis teflon- og keramiske sugeceller i ca. 1 meters dybde.

11.3.1 Lerblandet sandjord - Foulum

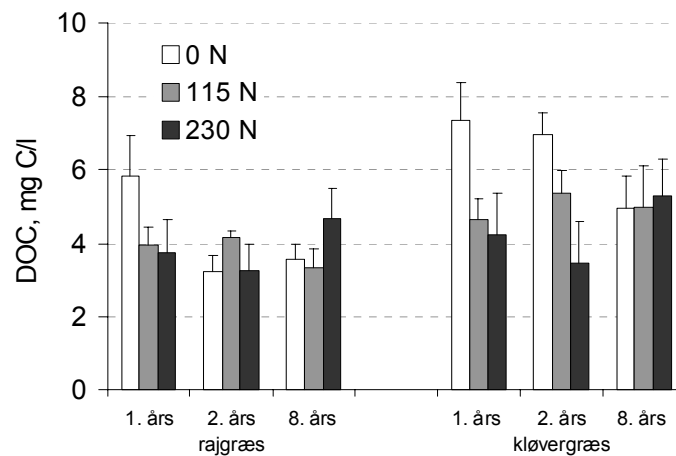
Koncentrationen af DOC i 30 cm's dybde i de to ompløjede forsøgsled varierede i starten af perioden mellem 20 og 30 mg C l⁻¹ og faldt i løbet af vinteren til ca. 20 mg C l⁻¹ (figur 11.2AB). I 9. års kløvergræs var koncentrationen i starten ca. 40 mg C l⁻¹ og faldt ligeledes til omkring 20 mg C l⁻¹ (figur 11.2C). I dybderne 60 og 90 cm sås ikke et tilsvarende fald igennem perioden, men en konstant koncentration på ca. 10 mg C l⁻¹ i 60 cm og 6-10 mg C l⁻¹ i 90 cm. Middelkoncentrationen for hele måleperioden var signifikant højere i 30 cm, end i 60 og 90 cm's dybde. Det yderligere fald i middelkoncentrationen fra dybden 60 til 90 cm var kun signifikant i 1. års ompløjet kløvergræs. Middelkoncentrationen var i alle tre dybder signifikant højere i 9. års kløvergræs end i de to ompløjede forsøgsled.



Figur 11.2. Koncentrationer af opløst organisk kulstof (DOC) i jordvand udtaget i 30 cm (○), 60 cm (◐) og 90 cm (●) med teflon sugeceller i perioden 29/10 02 til 12/03 03 efter høst af ugødet vårhvede. Vårhveden blev sået efter ompløjning af 1. års (A. øverst) eller 8. års (B. midterst) kløvergræs. Tilsvarende viser C (nederst) koncentrationen af DOC under 9. års kløvergræs.

Resultater af målinger med keramiske sugeceller, som blev foretaget i 1 meters dybde under rajgræs og kløvergræs af forskellig alder og ved forskellige gødningsniveauer, er vist i figur 11.3. Koncentrationen af DOC som gennemsnit af de tre gødningsniveauer var ikke væsentlig forskellig, men dog signifikant højere under kløvergræs end under rajgræs med værdier på henholdsvis 5,3 og 4,0 mg C l⁻¹. I forsøgsled med 0 og 115 kg N/ha var koncentrationen af DOC signifikant højere efter kløvergræs end efter rajgræs, hvorimod der ikke var nogen forskel mellem de to græstyper hvor vårhveden var gødet med 230 kg N ha⁻¹ (tabel 11.3). Endvidere havde gødnings-niveauet en effekt på DOC, idet koncentrationen efter ompløjning af kløvergræs var signifikant højere i ugødet end

gødede forsøgsled (tabel 11.3). Der var imidlertid ikke forskel på om vårhveden var gødet med 115 eller 230 kg N ha⁻¹. Efter ompløjning af rajgræs gjorde de samme tendenser sig gældende, uden at være signifikante (tabel 11.3).



Figur 11.3. Middelkoncentration af opløst organisk kulstof (DOC) i jordvand udtaget i 1 m med keramiske sugeceller i perioden 02/12 02 til 18/03 03. Målingerne er foretaget i vinterperioden efter høst af vårhvede gødet med henholdsvis 0, 115 og 230 kg total-N ha⁻¹ i kvæggylle. Vårhveden blev sået efter ompløjning af 1. års, 2. års eller 8. års rajgræs eller kløvergræs.

Tabel 11.3. Middelkoncentration af opløst organisk kulstof (DOC) for perioden 02/12 02 til 18/03 03 ved tre gødningsniveauer. Målingerne er foretaget i vinterperioden efter høst af vårhvede gødet med henholdsvis 0, 115 og 230 kg total-N ha⁻¹ i kvæggylle. Vårhveden blev sået efter ompløjning af kløvergræs eller rajgræs.

Kg tot-N/ha	Kløvergræs	Rajgræs	LSD ₉₅
0	6,4	4,2	1,0
115	5,0	4,0	0,5
230	4,3	3,8	0,9
LSD ₉₅	0,9	0,8	

Den modellerede afstrømning i måleperioden på 4,5 måneder var 218 mm og udvaskningen af DOC blev beregnet til 15 kg C ha⁻¹ efter ompløjning af 1. og 8. års kløvergræs, og 27 kg C ha⁻¹ under en 9. års kløvergræs.

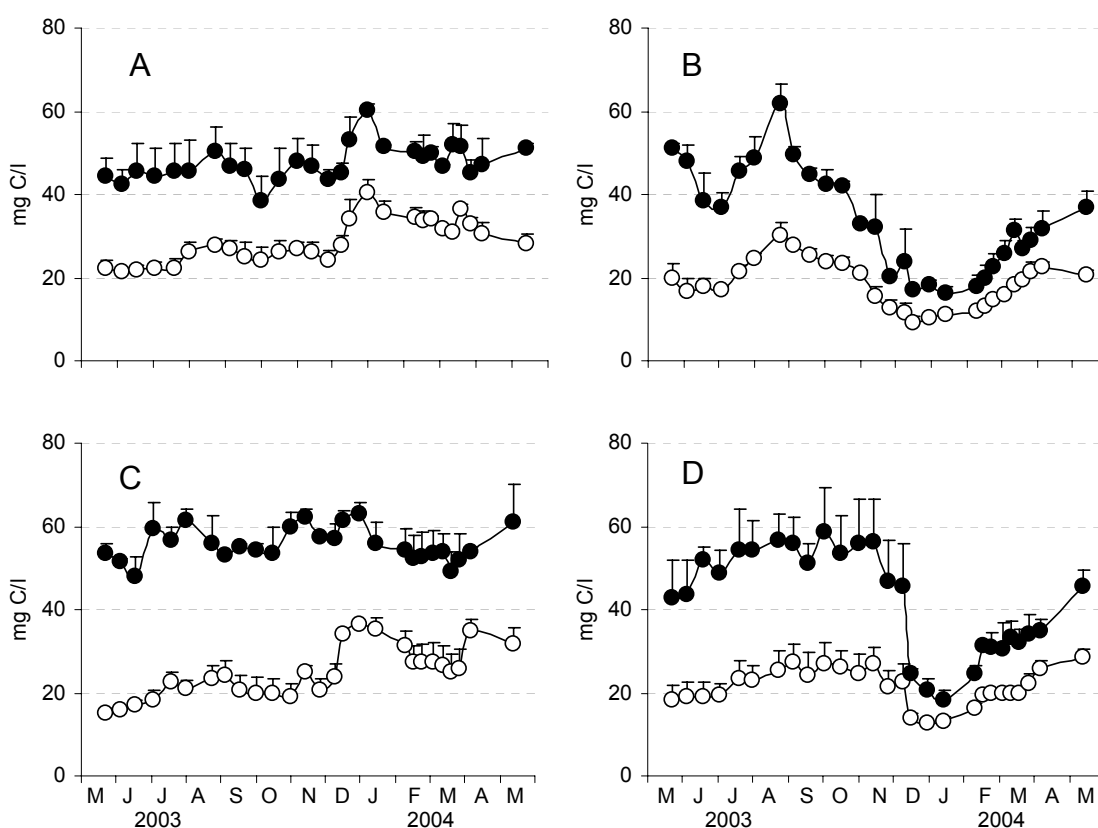
11.3.2 Sandjord - Sønderjylland

De to marker med 3. og 5. års kløvergræs placeret henholdsvis ca. 500 m fra gården og i umiddelbar nærhed af gården var forskellige mht. tekstur (tabel 11.4). Således var indholdet af humus i 3. års marken næsten det dobbelte af indholdet i 5. års marken, mens lerindholdet var noget højere. Det betyder, at 3. års marken kan karakteriseres som en JB3-jord og 5. års marken som en JB1.

Tabel 11.4. Alder af ompløjet kløvergræs, placering i forhold til gården og jordens tekstur (%) i de to marker der indgik i undersøgelsen.

Alder	Placering	Humus	Ler	Silt	Grovsilt	Finsand	Grovsand	Total C
3. års	500 m fra gården	9,9	6,7	5,1	7,6	20,0	50,8	5,8
5. års	Ved gården	5,5	4,6	3,6	3,1	27,4	55,8	3,2

Koncentrationerne af opløst organisk C (DOC) og mobilt C (MOC) igennem måleperioden fra maj 2003 til maj 2004 er vist i figur 11.4. Forskellen mellem DOC og MOC var generelt størst i den første halvdel af måleperioden fra maj til november 2004, hvor koncentrationen af MOC var 2-3 gange større end koncentrationen af DOC, og forskellen var tilsyneladende større efter ompløjning af 5. års marken end 3. års marken. I den resterende del af perioden var forskellen mellem DOC og MOC mindre markant med en MOC-koncentration på 1,5-2 gange DOC-koncentrationen.

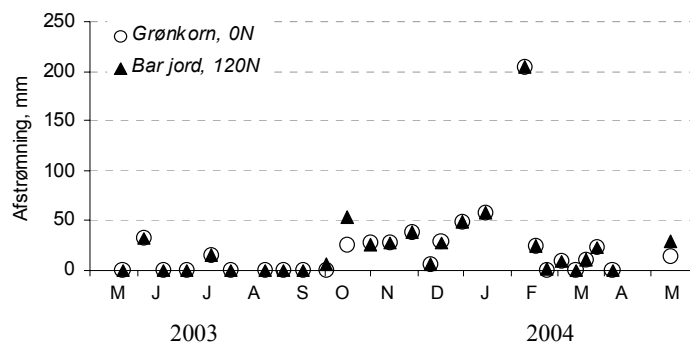


Figur 11.4. Jordvandets indhold af opløst (○) og mobilt organisk kulstof (●) i forsøgsbehandlingerne grønkorn, 0N (A og C) og bar jord, 120N (B og D) efter ompløjning af henholdsvis 3. (A og B) og 5. (C og D) års kløvergræs.

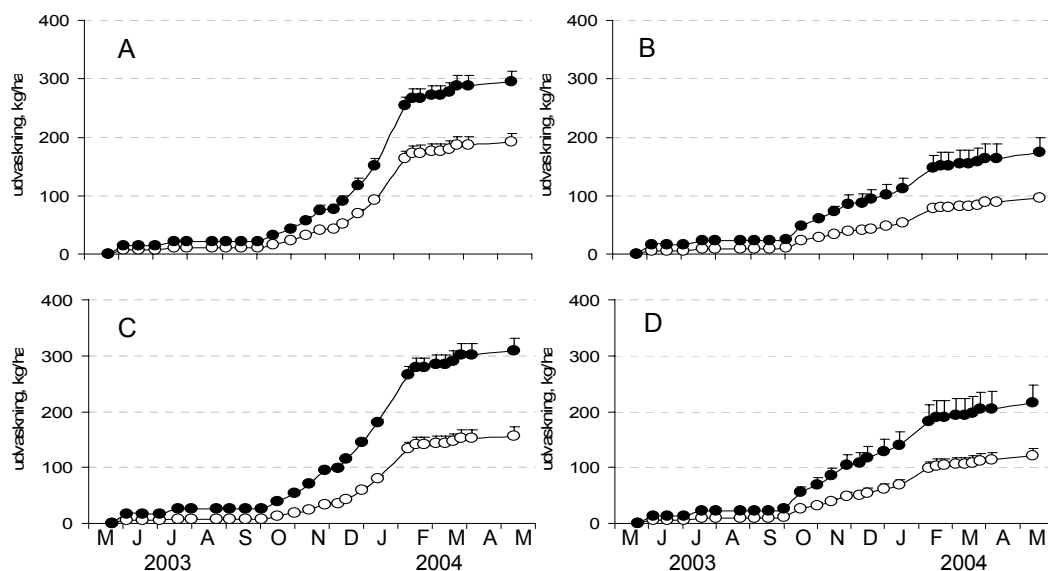
Karakteristisk for begge marker var at koncentrationen af DOC forblev på et forholdsvis konstant eller svagt stigende niveau igennem hele måleperioden i begge forsøgsbehandlinger (figur 11.4), hvorimod der blev observeret et betydeligt fald i koncentrationen af MOC i forsøgsbehandlingerne *bar jord, 120N* (Figur 11.4BD); dog mest markant i 5. års marken (Figur 11.4., D). Det markante fald i koncentrationen blev observeret umiddelbart efter at sugecellerne blev flyttet fra 100 til 70 cm's dybde, hvilket kan være en del af årsagen, idet sugecellerne muligvis er flyttet op over udvasknings-fronten. Dette understøttes af at der i en periode på to måneder forud for flytningen af

sugecellerne var en forholdsvis stor afstrømning (157 mm) i forsøgsbehandlingen *bar jord, 120N* (figur 11.5). Herved er MOC ”flyttet” længere ned i rodzonen, samtidig med at der i disse parceller uden planter ikke blev produceret rodexudater og dermed ikke organisk C. I perioden efter det markante fald skete der igen en stigning i koncentrationen af både MOC og DOC, hvilket muligvis kan skyldes mineralisering af jordens organiske materiale med efterfølgende frigivelse organisk C til vandfasen.

Samtidig med det markante fald i koncentration i forsøgsbehandlingerne *bar jord, 120N* var der en mindre stigning i både MOC- og DOC-koncentrationen i behandlingerne *grønkorn, 0N* (figur 11.4AC). Dette kan måske forklares med, at der i denne forsøgsbehandling blev beregnet en lavere afstrømning (125 mm) i perioden før flytningen af sugecellerne, samtidig med den veludviklede efterafgrøde via rodexudater til stadighed formodes at producere organisk C.



Figur 11.5. Afstrømning i forsøgsbehandlingerne *grønkorn, 0N* og *bar jord, 120N*.



Figur 11.6. Akkumuleret udvaskning af opløst (○) og mobilt organisk kulstof (●) i forsøgsbehandlingerne *grønkorn, 0N* (A og C) og *bar jord, 120N* (B og D) efter ompløjning af henholdsvis 3. (A og B) og 5. års (C og D) kløvergræs.

Den samlede afstrømning igennem måleperioden blev beregnet til henholdsvis 596 og 645 mm i behandlingerne grønkorn, 0N og bar jord, 120N. Den akkumulerede udvaskningen af organisk C (figur 11.6) kunne således beregnes til 95 – 192 kg DOC ha⁻¹ år⁻¹ og 174 - 310 kg MOC ha⁻¹ år⁻¹.

Udvaskningen af C var tilsyneladende større fra den plantedækkede jord med 156 – 192 kg DOC ha⁻¹ år⁻¹ og 296 - 310 kg MOC ha⁻¹ år⁻¹ end fra bar jord med 95 – 121 kg DOC ha⁻¹ år⁻¹ og 174 - 217 kg MOC ha⁻¹ år⁻¹. Det kan dog ikke afgøres om forskellene alene skyldes forskelle i plantedække, eller om flytningen af sugecellerne fra 100 til 70 cm's dybde også har påvirket forsøgsbehandlingerne forskelligt. Der var derimod ingen forskel mellem de to marker, selv om man ville forvente en større udvaskning fra en ompløjet 5. års kløvergræs med høj afgræsningsintensitet end fra en 3. års med mindre afgræsning. Denne sandsynlige forskel bliver muligvis udlignet af forskelle i jordens tekstur, hvor 3. års marken havde et væsentlig højere humusindhold end 5. års marken (tabel 11.4).

11.4 Diskussion

Der er i litteraturen divergerende opfattelser af hvordan opløst organisk stof (DOM) defineres, idet det ikke er helt entydigt hvor stor en fraktion af det mobile organiske stof (MOM), der medregnes til DOM-fraktionen. MOM anses almindeligvis for at være den del af det organiske stof der under naturlige forhold i jorden bliver transporteret med porevandet (Zsolnay, 1996). MOM er således den totale mængde organisk stof, der kan registreres i vand fra lysimetre, dræn eller sugeceller. MOM består af partikulært bundet organisk stof (POM) og af kolloidbundet og opløst organisk stof, der i reglen under et beteges DOM. For at adskille MOM og DOM foretages en centrifugering eller filtrering gennem 0,4-0,6 mm filter. Mængden af MOM eller DOM kvantificeres i reglen ved at måle indholdet af kulstof (C), hvorved man oftest kan sætte lighedstegn mellem MOM og MOC, såvel som mellem DOM og DOC. I denne undersøgelse har vi i forsøget i Foulum målt fraktionen af DOC, der kan passere et 0,45 mm filter, og forsøget i Sønderjylland en fraktion af DOC, der er tilbage efter centrifugering, samt den del af MOC, der blev opsamlet med keramiske sugeceller.

I et litteraturstudie af Zsolnay (1996) er undersøgelser vedr. organisk stof i jordvand samlet, og det fremgår bl.a. heraf at 15 af de 20 refererede undersøgelser på daværende tidspunkt omhandlede MOC i skovjorde, én om MOC fra vulkansk aske, én om rismarker, og altså kun 3 om decideret landbrugsjord. Derudover var der refereret tre undersøgelser, hvor sammenligninger af indholdet af DOC mellem skov- og landbrugsjord var foretaget. Selv om der er kommet enkelte undersøgelser til siden da, viser statistikken, at vores nuværende viden om dannelse og transport af MOM i overvejende grad er hentet fra undersøgelser i skovjorde, og at vor viden om landbrugsjord i denne henseende er mangelfuld. Der er dog gennemført en del undersøgelser af hvordan forskellige dyrkningsfaktorer og arealanvendelser i landbruget påvirker den ekstrahérbare pulje af organisk stof i jorden (Chantigny, 2003). Denne pulje af organisk stof ekstrahéres ved at ryste jordprøven i vand, hvorved også organisk stof fra mindre porer frigøres, idet jordens struktur forstyrres. Denne ekstrahérbare pulje er således oftest større end MOM målt i uforstyrret jord, men beskriver dog potentialet for hvad den pågældende jord maksimalt kan frigive til puljen af MOM.

Sammenfattende om ekstrahérbart i landbrugsjord kan det udledes, at når græsmarksjord med en stor biomasse af rødder omlægges til andre afgrøder så falder indholdet af ekstrahérbart organisk stof, og dermed sandsynligvis også indholdet af DOC (Chantigny, 2003). Dette er i overensstemmelse med, at vi fandt et højere indhold af DOC under en eksisterende 9. års kløvergræs end under ompløjet kløvergræs, samt at indholdet af specielt MOC var højere under en veludviklet efterafgrøde end i bar jord.

I denne undersøgelse fandt vi at indholdet af DOC i pløjelaget varierede mellem 21 og 31 mg C/l, hvilket er lidt lavere end de 30-70 mg C/l målt af Beyer et al. (1993), men i overensstemmelse de 22 mg C l⁻¹ fundet af Monreal og McGill (1989). McTiernan et al. (2001) målte udvaskning af DOC i et ugødet og N-gødet (ca. 300 kg N ha⁻¹) markforsøg med afgræsning af kløvergræs, hvor jordvand blev opsamlet fra dræn i 55 cm's dybde. Målingerne blev foretaget over en to måneders periode fra november til januar, hvor der var en samlet afstrømning på 274 mm. McTiernan et al. (2001) fandt at indholdet af DOC i en lerjord varierede mellem ca. 3 og ca. 50 mg C l⁻¹, hvilket er i god overensstemmelse med vores målinger, i betragtning af at vores målinger fandt sted i sandede jorde. Endvidere fandt McTiernan et al. (2001), at indholdet af DOC faldt i løbet af måleperioden, svarende til vores observationer i den eksisterende 9. års kløvergræs.

Det samlede udvaskningstab af organisk stof afhænger selvsagt af afstrømningens størrelse, og der vil derfor være en betydelig variation mellem sted og år. I markforsøget i Foulum blev udvaskning af DOC beregnet til 15-27 kg C ha⁻¹ for en periode på ca. 4 måneder og i Sønderjylland 95-192 kg C ha⁻¹ år⁻¹, hvilket er i sammen størrelsesorden som McTiernan et al. (2001), der beregnede en udvaskning på 42-118 kg C ha⁻¹ i løbet af en kun to måneder. Det skal dog bemærkes, at sidstnævnte undersøgelse blev foretaget på en lerjord, hvor makropore-flow i forbindelse med kraftige nedbørshændelser antages at øge transporten af organisk stof ned gennem profilet (Jørgensen og Fredericia, 1992). I et litteraturstudie fandt Hope et al. (1994), at udvaskningen af DOC fra større afvandingsområder varierede mellem 7,9 og 89,9 kg C ha⁻¹ år⁻¹, med de største værdier fra humusrige jorde.

Selv om de målte mængder af MOC og DOC kun repræsenterer en lille del (< 0,5%) af jordens totale kulstofindhold, menes denne mobile fraktion dog at udgøre den vigtigste energikilde for denitrificerende bakterier i dybere jordlag. Jarvis og Hatch (1994) påviste således et betydeligt potentiale for denitrifikation i indtil ca. en meters dybde under græsmarker, ligesom Vinther et al. (1999) påviste en klar sammenhæng mellem ekstrahérbart organisk C og antal denitrificerende bakterier i makroporer i 2-3 meters dybde, og dermed et stort potentiale for denitrifikation i dybere jordlag under vandmættede forhold (Jørgensen et al., 2004).

Undersøgelserne her har omfattet målinger af mobilt organisk stof og beregninger af C-udvaskning til ca. 1 meters dybde i dyrkningssystemer med kløvergræs. Der er imidlertid behov for yderligere undersøgelser vedr. transport og omsætning af organisk stof også fra mere kornrige dyrkningssystemer, samt undersøgelser af hvilken betydning det organiske stof har for denitrifikationen i dybere jordlag.

11.5 Konklusion

Målinger af jordvandet indhold af MOC og DOC under eksisterende kløvergræs og efter ompløjning viste, at den samlede C-udvaskning over en 4-måneders periode fra en lerblandet sandjord varierede mellem 15 og 27 kg DOC ha⁻¹ og i en grovsandet jord var udvaskningen i løbet af et år efter ompløjning af kløvergræs 95-192 kg DOC ha⁻¹ og 174-310 kg MOC ha⁻¹, med de højeste værdier under en veludviklet efterafgrøde. Der sker således et betydeligt tab af organisk stof ved udvaskning, men som dog formodes at øge potentialet for denitrifikation i dybere jordlag.

Erkendtlighed

En stor tak til medarbejdere ved Jyndevad forsøgsstation, som i al slags vejr har udtaget prøver i marken, og til Gitte Hastrup og Jørgen M. Nielsen for analysering af prøverne. Ligeledes takkes Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO), som via projekterne ØKOVAND og NITGRASS har finansieret undersøgelsen.

11.6 Referencer

- Beyer, L., Blume, H.P., Henss, B. & Peters, M., 1993. Soluble aluminium-organic and iron-organic complexes and carbon cycle in Hapludalfs and Haplorthods under forest and cultivation. *Sci. Total Environ.* 138, 57-76.
- Bradley, P.M., McMahon, P.B. & Chapelle, F.H., 1995. Effects of carbon and nitrate on denitrification in bottom sediments of an effluent-dominated river. *Water Res.* 31, 1063-1068.
- Burford, J.R. & Bremner, J.M., 1975. Relationships between the denitrification capacities of soils and total water-soluble and readily decomposable soil organic matter. *Soil Biol. Bio-chem.* 7, 389-394.
- Chantigny, M.H., 2003. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113, 357-380.
- Christensen, B.T. & Johnston, A.E., 1997. Soil organic matter and soil quality - Lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. *Dev. Soil Science* 25, 399-430.
- Eriksen, J. & Mogensen, J., 2001. Forfrugtsværdi og N-udvaskning efter ompløjning af flerårige græsmarker med forskellige forhistorier. DJF rapport Markbrug nr. 46.
- Eriksen, J., Vinther, F.P. & Søgaard, K., 2004. Nitrate leaching and N₂-fixation in grasslands of different composition, age and management. *J. Agric. Sci., Camb.* 142, 141-151.
- Guggenberger, G. & Zech, W., 1992. Sorption of dissolved organic carbon by ceramic P 80 suction cups. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 151-155.
- Helal, H.M. & Sauerbeck, D., 1986. Effects of plant roots on carbon metabolism of soil microbial biomass. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 149, 181-188.
- Hope, D., Billett, M.F. & Cresser, M.S., 1994. A review of the export of carbon in river water fluxes and processes. *Environ. Poll.* 84, 301-324.
- Jarvis, S.C. & Hatch, D.J., 1994. Potential for denitrification at depth below long-term grass swards. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1629-1636.

- Jørgensen, P.R. & Fredericia, J., 1992. Mitigation of nutrients, pesticides and heavy metals in fractured clayey till. *Geotechnique* 42, 67-77.
- Jørgensen, P.R., Urup, J., Helstrup, T., Jensen, M.B., Eiland, F. & Vinther, F.P., 2004. Transport and reduction of nitrate in clayey till underneath forest and arable land. *J. Contam. Hydrol.* 73, 207-226.
- McTiernan, K.B., Jarvis, S.C., Scholefield, D. & Hayes, M.H.B., 2001. Dissolved organic carbon losses from grazed grasslands under different management regimes. *Water Res.* 35, 2565-2569.
- Milchunas, D.G., Lauenroth, W.K., Singh, J.S., Cole, C.V. & Hunt, H.W., 1985. Root turnover and production by ^{14}C dilution: implications of carbon partitioning in plants. *Plant Soil* 88, 353-365.
- Monreal, C.M. & McGill, W.B., 1989. Kinetic analysis of cystine cycling through the solution of Gray Luvisols and an Andept soil. *Soil Biol. Biochem.* 21, 674-679.
- Olesen, J.E. & Heidmann, T., 1990. EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning og afstrømning fra rodzonen. Version 1.01. Arbejdsnotat nr.9, Afd. for Jordbrugsmeteorologi, Tjele, Danmark
- Soussana, J.F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevallier, T. & Arrouays, D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use Manage.* 20, 219-230.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M., 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17, 429-441.
- Vinther, F.P., Eiland, F., Lind, A.M. & Elsgaard, L., 1999. Microbial biomass and numbers of denitrifiers related to macropore channels in agricultural and forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 31, 603-611.
- Zsolnay, A., 1996. Dissolved humus in soil water. I: Piccolo, A. (red.) *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier Science B. V., s. 171-223.