

Sædskiftets indflydelse på jordens indhold af organisk stof. I.

Forsøg i rammeanlæg med halmnedmuldning og anvendelse af staldgødning, 1956-1986

*Effect of cropping system on the soil organic matter content. I.
Small-plot experiments with incorporation of straw and animal manure,
1956-1986*

BENT TOLSTRUP CHRISTENSEN

Resumé

Virkningen af forskellige afgrødesystemer (ugødet brak, stråafgrøder med eller uden halmnedmuldning, vårsæd/kløvergræs/vintersæd/roer sædskifte med husdyrgødning eller handelsgødning, alene rodfrugter, og 3 år kløvergræs + 1 år roer) på jordens indhold af C og N blev fulgt over en 30 års periode. Der anvendtes overjord med et relativt højt indhold af organisk stof (JB 4), samt opgravet undergrundssand og -ler med et lavt indhold af organisk stof.

For undergrundsjord fandtes en stigning i jordens indhold af C og N. Ugødet brak gav en svag stigning, mens stråafgrøder med halmnedmuldning og sædskifte med husdyrgødning på under-

grundssand bevirkede en årlig stigning i jordens C indhold på 0,020 pct.

På overjorden medførte alle afgrødesystemer et fald i indholdet af organisk stof. Ugødet brak bevirkede et årligt fald på 0,033 pct. C, mens de øvrige behandlinger gav et årligt fald i C indholdet på mellem 0,008 pct. og 0,025 pct.

Den indbyrdes virkning af de forskellige afgrødesystemer var stort set den samme, idet de behandlinger, der medførte de største stigninger i undergrundssandets indhold af organisk stof, samtidigt medførte de mindste fald i overjorden.

Ændringerne i jordens indhold af N fulgte i store træk ændringer fundet i C indhold.

Nøgleord: Afgrødesystem, organisk stof, halmnedmuldning, husdyrgødning, handelsgødning.

Summary

The effect of different cropping systems (unmanured fallow, cereal crops with or without

straw incorporation, spring cereal/clovergrass/winter cereal/root crop rotation with animal man-

ure or mineral fertilizer, exclusively root crops, and 3 yr. clovergrass + 1 yr. root crop) on the content of C and N in soil was followed for a period of 30 years. Top soil from a loamy sand having a relatively high organic matter content, and sand and clay subsoils with low contents of organic matter were used.

All treatments increased the content of C and N in the subsoil. The fallow treatment gave a slight increase, while cereal crops with straw incorporation and crop rotation with animal manure showed an annual increase in the C content of 0.020 p.c. Corresponding values for cereal crops with straw removal, crop rotation with mineral fertilizers and the cropping system with 75 p.c.

clovergrass were 0.010-0.016 p.c. C.

A decrease in the organic matter content of the top soil was observed in all treatments. Unmanured fallow gave an annual decrease of 0.033 p.c. C, the other cropping systems reduced the C content by 0.008-0.025 p.c. per year.

The relative effect of the different cropping systems on the various soils was similar. The treatments producing the largest increases in the organic matter content of the subsoil sand were also those which caused the smallest reductions in the top soil.

Changes in soil N content essentially followed those found for C content.

Key words: Soil organic matter, cropping system, straw incorporation, animal manure, mineral fertilizer.

Indledning

Indholdet af organisk stof i dyrket jord afhænger af såvel naturgivne som menneskeskabte forhold. Af naturgivne forhold kan nævnes geologisk alder og udgangsmateriale, klima samt vegetationstype og dræningsforhold forud for opdyrkningen. I nogle tilfælde kan topografiske forhold spille en rolle, men da ofte i vekselvirkning med vegetationstypen.

Af menneskeskabte forhold kan først og fremmest nævnes selve opdyrkningen, der som regel bevirker et indledende brat fald i jordens indhold af organisk stof (8, 9, 15, 18). Dette fald kan strække sig over 20 til 100 år og tilskrives ofte den ændrede vegetationstype og den jordbearbejdning, der følger med opdyrkningen. For jord, der har været dyrket gennem længere tid, er de vigtigste menneskeskabte påvirkninger af jordens organiske stofindhold afledt af jordbearbejdningssystem, afgrødevalg, gødskningssystem og jordens vandstatus (dræning).

Efter det indledende fald reduceres indholdet af organisk stof i jorden med aftagende hastighed. Teoretisk set vil indholdet af organisk stof med tiden indstille sig i en ny ligevægt, hvor opbygning og nedbrydning af organisk stof foregår med samme hastighed. Dette forudsætter af dyrkningssystemet holdes uændret. Da tidsrummet for opnåelse af en ligevægt oftest er meget langt (50 til flere hundrede år), vil en egentlig ligevægtstilstand næppe blive opnået i praksis, idet

dyrkningssystemet sjældent holdes uændret i så lang en periode.

Set over en kortere årrække afhænger jordens indhold af organisk stof i vid udstrækning af mængden af organisk materiale, der indgår i opbygningen af organisk stof i jorden. I denne forbindelse er sædskifte (afgrødevalg), gødskningsniveau og brug af organiske gødninger (husdyrgødning og halmnedmuldning) vigtigt. Gødskningsniveauets indflydelse er indirekte, idet det regulerer afgrødens størrelse og dermed mængden af afgrøderester, der efterlades.

Landbrugets strukturudvikling og den medfølgende specialisering i planteavl eller animalsk produktion har haft en væsentlig indflydelse på udformningen af sædskiftet. Sædskiftet har i mange tilfælde ændret sig fra mere alsidige skifter (fx vårsæd/kløvergræs/vintersæd/roer) og anvendelse af såvel husdyrgødning som handelsgødning, til enten specialiserede grovfoderproduktioner med anvendelse af større mængder husdyrgødning eller til kornrige salgsafgrødeproduktioner med anvendelse af handelsgødning alene. Sidstnævnte dyrkningssystem kan, specielt hvor halmen fjernes, forventes at medføre et fald i jordens indhold af organisk stof, medens grovfoder-systemet kan forventes at øge indholdet.

I 1956 blev der ved Statens Forsøgsstation, Askov, anlagt to fastliggende forsøg til belysning af sædskiftets og gødningsformens (herunder halmnedmuldning) indflydelse på jordens indhold af

organisk stof. Det ene blev anlagt som markforsøg og belyser alene sædskiftets virkning. Resultater herfra vil blive behandlet i en senere beretning.

Det andet forsøg, der behandles her, belyser ud over sædskiftet også betydningen af halmnedmuldning og anvendelse af husdyrgødning. Forsøget blev anlagt i rammeanlæg, og udviklingen i jordens indhold af C og N blev fulgt i en periode på 30 år. Der anvendtes opgravet undergrunds-sand og -ler samt overjord udtaget på fin lerblandet sandjord (JB 4).

Materialer og metoder

Jord og rammeanlæg

Ved forsøget blev anvendt tre jordtyper, hvis teksturmæssige sammensætning fremgår af tabel 1. Jordtypen U-SAND er undergrundssand opgravet fra 0,5-1,0 m dybde i mark G4 (Askov sandmark), mens U-LER er undergrundsler udtaget fra 0,5-1,0 m dybde i det areal, hvor rammeanlægget er placeret (E mark). O-LER er udtaget i overjorden (0-25 cm) samme sted. Ved udtagningstidspunktet havde jorden ligget i vedvarende græs i en længere årrække. Indholdet af organisk stof var derfor relativt højt.

Rammeanlægget består af nedgravede betonringe med en dybde på 50 cm og en diameter på 70 cm. I rammernes nederste 35 til 50 cm placeredes undergrundsjord fra E marken, hvorefter rammerne blev fyldt med forsøgsjord. Ved 25 cm dybde anbragtes et galvaniseret grovmasket net til markering af »pløjelagets« dybde.

Ved anlæg af forsøget i 1956 og efterfølgende hvert fjerde år blev der udtaget jordprøver til bestemmelse af total-C og total-N indhold, idet jorden fra overfladen og ned til metalnettet blev opgravet og blandet. Efter udtagning af jordprøve blev jorden atter placeret i rammen. Forsøget blev afsluttet med udtagning af jordprøver forår 1987.

Analyser for C og N

Total-C indholdet blev bestemt ved tørforbrænding på en LECO Carbon Analyser tilsluttet en infrarød CO₂-detektor. Total-N bestemtes ved Kjeldahl nedbrydning og anvendelse af Tecator Kjeltec Auto Analyser. Resultater for enkelte jordprøver, indsamlet i begyndelsen af forsøgsperioden, blev kontrolleret ved analyse efter ovenstående metode, idet den tidligere analysemetode var lidt afvigende fra den nu anvendte.

Tabel 1. Forsøgsjordernes gennemsnitlige pH, indhold af organisk stof og tekstur ved forsøgets afslutning (forår 1987). Tal i parentes angiver standard afvigelsen (U-SAND og O-LER, n = 14; U-LER, n = 2).

Average pH, content of organic matter and textural analyses of the soils at the end of the experiment (spring 1987). Numbers in parentheses are standard deviations (U-SAND and O-LER, n = 14; U-LER, n = 2).

Jordtype <i>Soil type</i>	pH (H ₂ O)	Pct. af tørstof <i>P.c. of dry matter</i>					
		Org. stof <i>Organic matter</i>	Ler <i>Clay</i> <2 µm	Silt <i>Silt</i> 2-20 µm	Fin sand <i>Fine sand</i>		Grov sand <i>Coarse sand</i> 200-2000 µm
					1 20-63 µm	2 63-200 µm	
U-SAND ¹⁾	6,1	0,9 (0,3)	3,1 (0,4)	1,7 (0,5)	4,2 (0,6)	24,9 (1,2)	65,2 (1,8)
O-LER ²⁾	6,3	4,4 (0,5)	9,8 (0,7)	13,4 (0,7)	16,1 (0,6)	25,6 (0,5)	30,7 (0,9)
U-LER ³⁾	6,2	1,5 (0,4)	19,4 (1,5)	15,3 (0,1)	11,8 (0,4)	24,9 (1,1)	27,2 (0,4)

¹⁾ Undergrundssand opgravet fra 0,5-1 m dybde
Subsoil sand taken from 0.5-1 m depth

²⁾ Overjord fra 0-25 cm
Top soil (0-25 cm depth)

³⁾ Undergrundsler opgravet fra 0,5-1 m dybde
Subsoil clay taken from 0.5-1 m depth

Tabel 2. Forsøgsplan og mængden af gødning tilført i perioden 1956-1986 i form af handels- og husdyrgødning. Den tilførte N-mængde i husdyrgødning er beregnet (6 g total-N/kg fast staldgødning).

Experimental design and amounts of animal manure and mineral fertilizer applied during 1956-1986. N applied in animal manure was calculated assuming 6 g total N/kg manure.

Forsøgsled <i>Treatment</i>	Afgrødesystem <i>Cropping system</i>	Jordtype <i>Soil type</i>	I alt tilført 1956-1986 <i>Total applied 1956-1986</i>		
			HA ²⁾ g N/m ²	HU ³⁾	
				g N/m ²	kg/m ²
1	Ubevokset, ugødet <i>Fallow, unmanured</i>	U-SAND	0	0	0
		O-LER	0	0	0
2	Stråafgrøder, halm fjernet <i>Cereal crops, straw removed</i>	U-SAND	381	0	0
		O-LER	255	0	0
3	Stråafgrøder, halm nedmuldet <i>Cereal crops, straw incorporated</i>	U-SAND	381	0	0
		O-LER	255	0	0
4	Sædskitte ¹⁾ , alene handelsgødning <i>Crop rotation, mineral fertilizer only</i>	U-SAND	291	0	0
		O-LER	205	0	0
5	Sædskitte ¹⁾ , med husdyrgødning <i>Crop rotation with animal manure</i>	U-SAND	94	200	33,4
		O-LER	69	200	33,4
6	Rodfrugter <i>Root crops</i>	U-SAND	590	0	0
		O-LER	565	0	0
7	3 år kløvergræs + 1 år roer <i>3 yr clovergrass + 1 yr root crop</i>	U-SAND	265	0	0
		O-LER	198	0	0
8	Sædskitte ¹⁾ , alene husdyrgødning <i>Crop rotation, animal manure only</i>	U-LER	0	450	73,9
9	Sædskitte ¹⁾ , alene handelsgødning <i>Crop rotation, mineral fertilizer only</i>	U-LER	269	0	0

¹⁾ Sædskitte = vårsæd/kløvergræs/vintersæd/roer

Crop rotation = spring cereals/clovergrass/winter cereals/root crops

²⁾ HA = handelsgødning, mineral fertilizer

³⁾ HU = husdyrgødning, animal manure

Forsøgsplan

Tabel 2 viser en oversigt over forsøgsplanen, hvori indgik 9 forsøgsled. Ledene 1 til 7 var placeret på såvel U-SAND som O-LER med to gentagelser. Led 8 og 9 gennemførtes alene på U-LER med en ramme pr. led, men med samme sædskifte som i led 8 og 5.

Forsøgsled 1 blev holdt ubevokset og ugødet i hele forsøgsperioden. I led 2 og 3 dyrkedes alene stråafgrøder. Fordelingen af afgrøder i forsøgsperioden var 6 pct. havre, 13 pct. vinterhvede, 16 pct. rug, 19 pct. majs, 19 pct. hør og 26 pct. vårbyg. Der tilførtes alene handelsgødning svarende til gennemsnitlig 123 kg N/ha pr. år på U-SAND og 82 kg N/ha pr. år på U-LER. I modsætning til led 2 blev halmen nedmuldet i led 3.

Afgrødesystemet i led 4 og 5 var et sædskifte (vårbyg med udlæg/kløvergræs/vintersæd/roer) med afgrødefordelingen 10 pct. kálroer, 13 pct. bederoer, 13 pct. rug, 13 pct. vinterhvede, 26 pct.

vårbyg og 26 pct. kløvergræs. I led 4 anvendtes alene handelsgødning (U-SAND 94 kg N/ha pr. år, O-LER 66 kg N/ha pr. år), mens der i led 5 også indgik fast staldgødning forud for roer (48 t/ha hvert 4. år).

I led 6 dyrkedes udelukkende rodfrugter med anvendelse af handelsgødning. Afgrøderne fordelte sig med 13 pct. pastinakrod, 26 pct. kálroer, 26 pct. gulerod og 35 pct. bederoer. Den gennemsnitlige årlige tilførsel af N var 190 kg N/ha for U-SAND og 182 N/ha for O-LER.

Afgrødesystemet i led 7 var tre år med kløvergræs efterfulgt af et år med roer, hvilket gav afgrødefordelingen 10 pct. kálroer, 13 pct. bederoer og 77 pct. kløvergræs. På grund af det store islet af kløvergræs var tilførselen af N fordelt med 1 del til 2. års græs, 2 dele til 3. års græs og 4 dele til roer. Den gennemsnitlige årlige tilførsel var 85 kg N/ha til U-SAND og 64 kg N/ha til O-LER.

Led 8 og 9 fulgte sædfølgen i led 4 og 5, men af-

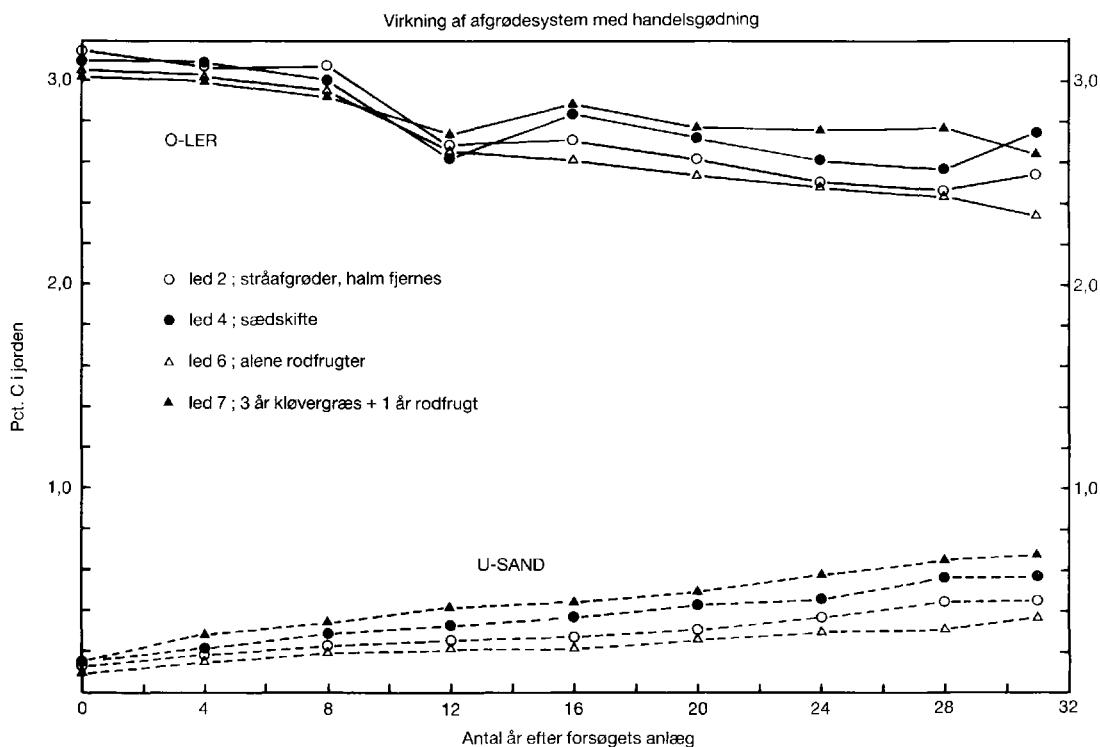


Fig. 1. Virkningen af afgrødesystemet på jordens indhold af C ved anvendelse af handelsgødning alene. Se tabel 1 og 2 for yderligere forklaring.

The effect of cropping system on the content of C in soil when mineral fertilizer is applied exclusively. See Table 1 and 2 for further legend.

veg gødningsmæssigt fra disse. I led 8 tilførtes udelukkende staldgødning, mens led 9 alene tildeltes handelsgødning. De med disse to gødningsformer tildelte N mængder var forskellige, idet led 8 tilførtes gennemsnitlig 25 t husdyrgødning/ha pr. år (svarende til ca. 145 kg total - N/ha), mens led 9 fik en årlig N mængde på 87 kg N/ha.

Resultater

Virkningen af afgrødesystemet på jordens indhold af C ved anvendelse af handelsgødning alene fremgår af fig. 1. For U-SAND ses led 7 (3 år kløvergræs + 1 år roer) at give det højeste C indhold, mens led 6 (alene rodfrugter) udviser det laveste. Desuden ses led 4 (sædskifte) at give anledning til et højere C niveau end led 2 (alene stråafgrøder, halm fjernes). For U-SAND opnåedes ved alle afgrødesystemer en stigning i C indholdet i løbet af forsøgsperioden.

Modsat fandtes for afgrødesystemer på O-LER

en nedgang i C indholdet i forhold til indholdet ved forsøgets start. Den indbyrdes virkning af de forskellige systemer var imidlertid som for U-SAND, idet det mindste C indhold i jorden generelt fandtes for led 6 og det højeste for led 7.

Virkningen af brak og af halmnedmuldning i stråafgrødesystemet fremgår af fig. 2. For O-LER ses i alle tilfælde et fald i jordens C indhold i løbet af forsøgsperioden. Det største fald fandtes for den ugødde brak (led 1), mens halmnedmuldning (led 3) i forhold til halm fjernet (led 2) formindskede faldet. Samme relative virkning af de tre behandlinger genfandtes for U-SAND, idet stråafgrøder med halmnedmuldning medførte et højere C indhold, end hvor halmen blev fjernet. For U-SAND gav ugødet brak en svag stigning i løbet af forsøgsperioden.

Fig. 3 viser udviklingen i jordens C indhold efter anvendelse af sædskifte på U-SAND, U-LER og O-LER, og efter anvendelse af enten handels-

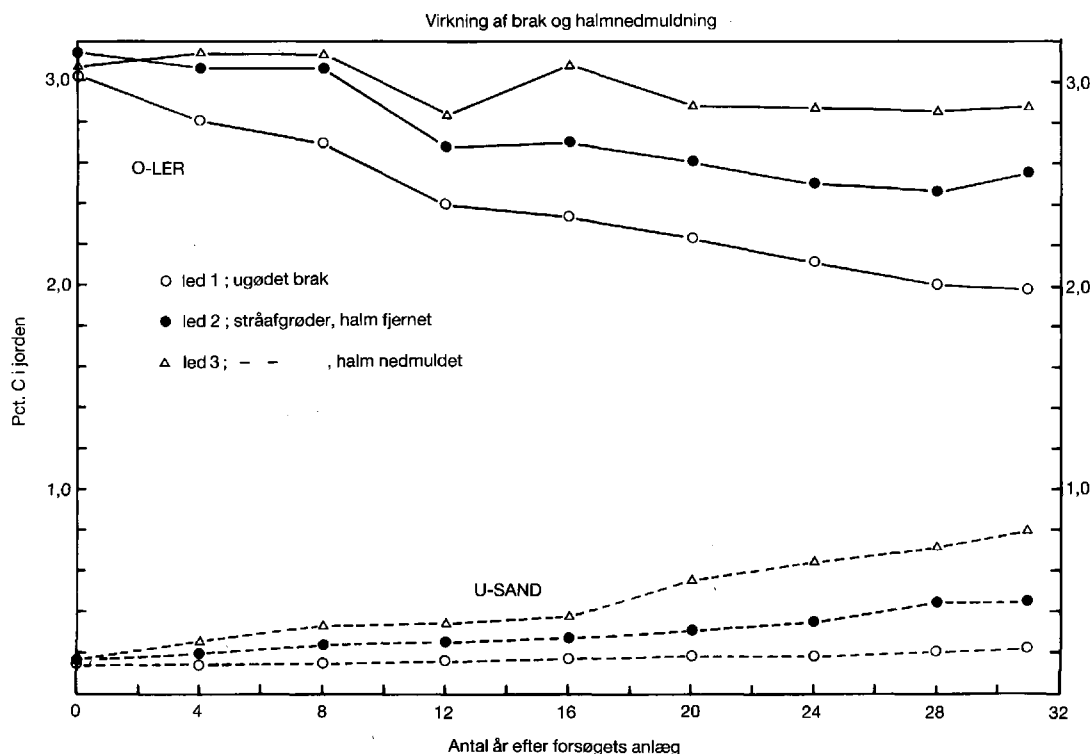


Fig. 2. Virkningen af ugødet brak og halmnedmuldning på jordens indhold af C. Se tabel 1 og 2 for yderligere forklaring.

The effect of unmanured fallow and straw incorporation on the content of C in soil. See Table 1 and 2 for further legend.

gødning alene eller husdyrgødning (alene eller i kombination med handelsgødning). For U-SAND og O-LER gav anvendelse af husdyrgødning i sædskiftet generelt anledning til et lidt højere C indhold i jorden, end hvor der udelukkende anvendes handelsgødning. Sammenholdes led 8 (alene tilført husdyrgødning) med led 9 (alene tilført handelsgødning) ses også, at C indholdet i U-LER generelt var højere efter tilførsel af husdyrgødning.

Regressionsberegning

De i forsøget bestemte værdier for jordens C og N indhold blev behandlet i lineær regressionsanalyse af typen $y = a + bx$, hvor y er lig pct. C eller pct. N i jorden, og x er lig antal år efter forsøgets anlæg.

I tabel 3 er vist resultater fra beregninger udført på værdier for U-SAND. Der er i de fleste tilfælde opnået høje korrelationskoefficienter og

samtidigt en god overensstemmelse mellem målte og beregnede værdier for C og N indhold i jorden ved forsøgets anlæg. Generelt opnåedes et bedre resultat for C indhold end for N indhold. For U-SAND gav stråafgrøder med halmnedmuldning (led 3) og sædskifte med husdyrgødning (led 5) anledning til en gennemsnitlig årlig stigning i jordens C indhold på 0,020 pct., hvilket i løbet af 30 år medførte en 4 til 5-dobling af indholdet af organisk stof. Stråafgrøder uden halmnedmuldning (led 2), sædskifte alene med handelsgødning (led 4), og afgrødesystemet med 75 pct. kløvergræs (led 7) gav anledning til en årlig stigning i jordens C indhold på 0,010-0,016 pct. Ved dyrkning udelukkende af rodfrugter (led 6) fandtes en årlig stigning på 0,006 pct. Ved brak uden gødningstilførsel steg indholdet 0,002 pct. om året. Samtlige led på U-SAND gav en stigning i jordens indhold af organisk stof, der set over en periode på 30 år varierede mellem 50 og 436 pct. i forhold til ind-

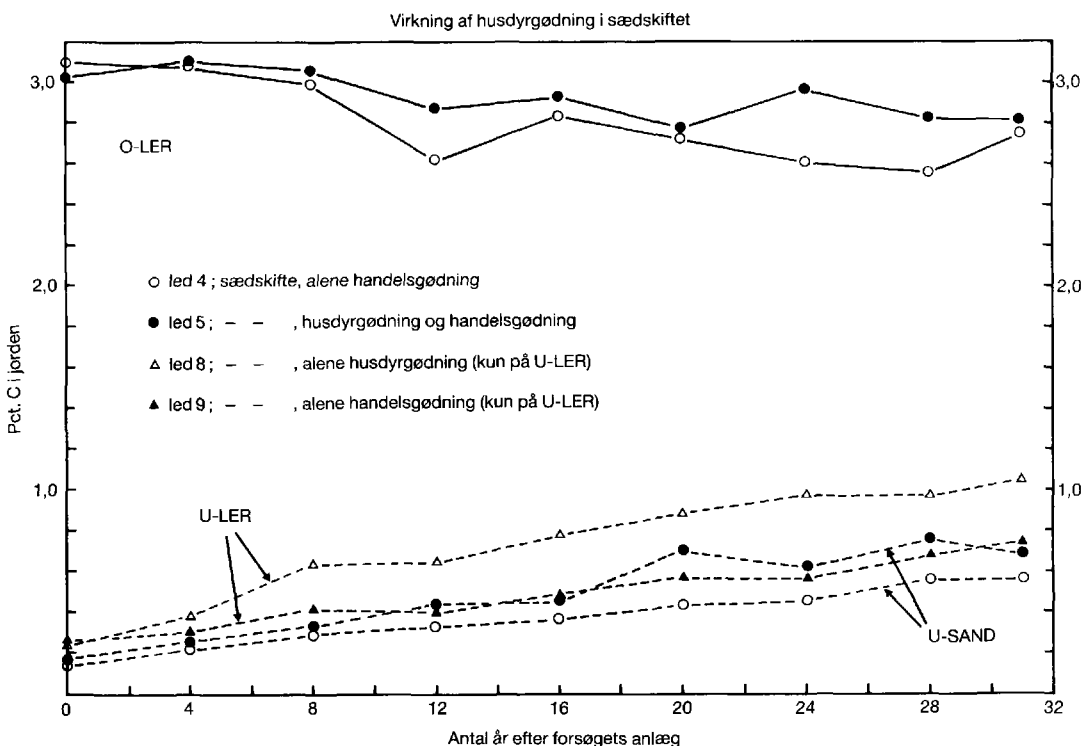


Fig. 3. Virkningen af anvendelse af husdyrgødning i sædskiftet på jordens indhold af C. Se tabel 1 og 2 for yderligere forklaring.

The effect of animal manure in the crop rotation on the content of C in soil. See Table 1 and 2 for further legend.

Tabel 3. Beregnede ændringer i U-SANDs indhold af C og N. *r* angiver korrelationskoefficienten og beregnede værdier fremkommer ved lineær regression af typen $y = a + bx$, hvor $y = \text{pct. C eller pct. N i jorden}$ og $x = \text{antal år fra forsøgsstart}$. Relativ ændring er beregnet som $(\text{absolut ændring} \times 100)/(\text{indhold ved forsøgets anlæg})$.

Calculated changes in the content of C and N in U-SAND. r indicates the correlation coefficient and calculated values are based on the linear regression formula $y = a + bx$, where $y = \text{p.c. C or p.c. N in soil}$ and $x = \text{number of years after start of experiment}$. Relative change has been calculated as $(\text{absolute change} \times 100)/(\text{initial content})$.

Forsøgsled <i>Treatment</i>	<i>r</i>	Indhold målt ved anlæg <i>Initial content, measured</i>	Beregnet indhold <i>Calculated content</i>		Ændring efter 30 år <i>Change after 30 years</i>		Årlig ændring pct. abs. <i>Annual change p.c. abs.</i>
			ved anlæg <i>initially</i>	efter 30 år <i>after 30 years</i>	pct. abs. <i>p.c. abs.</i>	pct. rel. <i>p.c. rel.</i>	
1 C	0,932	0,14	0,14	0,21	0,07	50	0,0024
	0,805	0,012	0,013	0,021	0,008	62	0,0003
2 C	0,960	0,15	0,14	0,43	0,29	207	0,0099
	0,912	0,011	0,015	0,037	0,022	147	0,0007
3 C	0,961	0,14	0,14	0,75	0,61	436	0,0204
	0,987	0,010	0,014	0,057	0,043	307	0,0014
4 C	0,989	0,14	0,16	0,57	0,41	256	0,0137
	0,983	0,011	0,014	0,052	0,038	271	0,0013
5 C	0,949	0,15	0,18	0,76	0,58	322	0,0193
	0,969	0,011	0,016	0,069	0,053	331	0,0018
6 C	0,914	0,15	0,15	0,34	0,19	127	0,0064
	0,854	0,010	0,014	0,032	0,018	129	0,0006
7 C	0,982	0,15	0,19	0,67	0,48	253	0,0159
	0,939	0,011	0,018	0,057	0,039	217	0,0013

pct. abs. = pct. absolut, *p.c. absolute change*

p.c. rel. = p.c. relativt, *p.c. relative change*

holdet ved forsøgets anlæg.

For de to led, der gennemførtes på U-LER, fandtes en årlig stigning i jordens indhold af C på 0,015-0,026 pct., svarende til en 2-3-dobling af indholdet over 30 års perioden (tabel 4). På baggrund af regressionsberegningerne var der for hele perioden en større relativ stigning i C indhold end i N indhold.

Udviklingen i O-LER jordens indhold af C og N er beregnet i tabel 5. For samtlige led fandtes et fald. Det årlige fald i C indholdet blev beregnet til 0,033 pct. for ugødet brak. Den mindste nedgang fandtes for stråafgrøder med halmnedmuldning (led 3), sædskifte med anvendelse af husdyrgødning (led 5) og afgrødesystemet med 75 pct. kløvergræs (led 7). Set over hele forsøgsperioden var nedgangen ved disse afgrødesystemer 8 til 12 pct. i forhold til indholdet ved forsøgets anlæg. Tilsva-

rende gav sædskifte med anvendelse af handelsgødning alene (led 4) et fald på ca. 14 pct., mens faldet i jordens indhold af organisk stof ved stråafgrøder uden halmnedmuldning (led 2) og ved dyrkning udelukkende af rodfrugter (led 6) var 22-24 pct. Ugødet brak (led 1) reducerede på 30 år det organiske stofindhold i jorden med 34-38 pct.

Generelt fulgte de relative ændringer i jordens N indhold samme mønster som fundet for C indholdet. For U-SAND fandtes en forskel for afgrødesystemet med stråafgrøder uden halmnedmuldning, idet C indholdet i forsøgsperioden steg 207 pct., mens N indholdet steg 147 pct. Tilsvarende gjaldt led 8 på U-LER. For led 9 opnåedes en lav korrelation mellem N indhold og antal år efter forsøgsanlæg.

Tabel 4. Beregnede ændringer i U-LER jordens indhold af C og N. Se tabel 3 for yderligere forklaring.
Calculated changes in the content of C and N in U-LER. See Table 3 for further legend.

Forsøgsled <i>Treatment</i>	r	Indhold målt ved anlæg <i>Initial content, measured</i>	Beregnet indhold <i>Calculated content</i>		Ændring efter 30 år <i>Change after 30 years</i>		Årlig ændring pct. abs. <i>Annual change p.c. abs.</i>
			ved anlæg <i>initially</i>	efter 30 år <i>after 30 years</i>	pct. abs. <i>p.c. abs.</i>	pct. rel. <i>p.c. rel.</i>	
8 C	0,968	0,22	0,33	1,09	0,77	235	0,0256
N	0,920	0,031	0,044	0,106	0,062	141	0,0021
9 C	0,990	0,22	0,24	0,70	0,46	192	0,0154
N	0,569	0,031	0,044	0,064	0,020	45	0,0007

Diskussion

Led 2 og 3 blev tilført samme mængde N (tabel 2), og tilsvarende var de i led 4 og 5 tilførte mængder N i rimelig overensstemmelse. Derimod var tilførselen af N i led 8 væsentlig højere end i led 9. Denne forskel i gødningsniveau kan have indvirket på afgrødernes størrelse og dermed på mængden af afgrøderester, der blev tilbageført til jor-

den. Afgrødernes størrelse blev imidlertid ikke bestemt, hvorfor betydningen af forskelle i tilførte N mængder ikke kan belyses nærmere.

I modsætning til markforsøg udelukker ramme-forsøg, at der ved langvarige forsøg overslæbes jord mellem parceller. En eventuel overslæbning kan udjævne effekten af de i forsøget undersøgte behandlinger (16).

Tabel 5. Beregnede ændringer i O-LER jordens indhold af C og N. Se tabel 3 for yderligere forklaring.
Calculated changes in the content of C and N in O-LER. See Table 3 for further legend.

Forsøgsled <i>Treatment</i>	r	Indhold målt ved anlæg <i>Initial content, measured</i>	Beregnet indhold <i>Calculated content</i>		Ændring efter 30 år <i>Change after 30 years</i>		Årlig ændring pct. abs. <i>Annual change p.c. abs.</i>
			ved anlæg <i>initially</i>	efter 30 år <i>after 30 years</i>	pct. abs. <i>p.c. abs.</i>	pct. rel. <i>p.c. rel.</i>	
1 C	0,967	3,02	2,93	1,93	-1,00	-34	-0,0333
N	0,953	0,225	0,213	0,132	-0,081	-38	-0,0027
2 C	0,919	3,15	3,12	2,44	-0,68	-22	-0,0227
N	0,925	0,234	0,225	0,174	-0,051	-23	-0,0017
3 C	0,687	3,07	3,11	2,85	-0,26	-8	-0,0085
N	0,687	0,230	0,224	0,198	-0,026	-12	-0,0009
4 C	0,770	3,10	3,05	2,59	-0,46	-15	-0,0153
N	0,771	0,228	0,220	0,191	-0,029	-13	-0,0010
5 C	0,553	3,02	3,06	2,81	-0,25	-8	-0,0082
N	0,692	0,233	0,230	0,212	-0,018	-8	-0,0006
6 C	0,941	3,07	3,06	2,32	-0,74	-24	-0,0247
N	0,909	0,229	0,223	0,171	-0,052	-23	-0,0017
7 C	0,822	3,01	3,03	2,66	-0,37	-12	-0,0122
N	0,646	0,226	0,222	0,205	-0,017	-8	-0,0006

Samtidigt modvirker den anvendte markering af overgangen mellem »pløjelag« og underjord (placering af net i 25 cm dybde), at underjord opblandes i overjorden. En opblanding vil i markforsøg kunne ske ved en gradvis større pløjedybde, eller hvis pløjedybden holdes konstant, ved en af dyrkningssystemet afledt stigning i jordens volumenvægt. En øget volumenvægt medfører et fald i overjordens dybde. Begge forhold vil kunne bewirke en nedgang i overjordens indhold af organisk stof, idet indholdet som regel er lavere i underjord end i overjord. Anvendelsen af ramme-forsøg udelukker imidlertid ikke virkningen af regnormes transport af jord mellem overjord og underjord.

Hvert fjerde år blev overjorden opgravet og blandet forud for udtagning af jordprøver. Denne mekaniske påvirkning af jorden kan have givet anledning til en (set i forhold til markforsøg) ekstraordinær mineralisering af organisk stof.

Imidlertid må bearbejdningen af jorden i rammerne i forbindelse med dyrkningen vurderes som mindre intensiv, og dermed mindre frem-mende for mineraliseringen, end den sædvanlige jordbearbejdning i forbindelse med gennemførelse af markforsøg. Såfremt betydningen af de to ovennævnte og modsat rettede forhold kan antages at overveje hinanden, må de i rammeforsøget opnåede resultater forventes at kunne overføres til markforhold.

Ved regressionsberegningerne (tabel 3, 4 og 5) anvendtes et lineært udtryk af typen $y = a + bx$, hvor y er pct. C eller pct. N i jorden og x er antal år efter forsøgets anlæg. Konstanterne a og b angiver henholdsvis pct. C eller pct. N ved anlæg ($x = 0$), og den gennemsnitlige årlige ændring i jordens indhold af C eller N (hældningskoefficienten). Brugen af ovennævnte udtryk medfører, at den årlige ændring i jordens indhold af organisk stof er uafhængig af antal år efter forsøgets anlæg og af ændringer i mængden af organisk stof i jorden i løbet af forsøgsperioden.

Ud fra overvejelserne i indledningsafsnittet samt undersøgelser af plantematerialenes nedbrydningsforløb og af udviklingen i indholdet af organisk stof i jorden (5, 6, 14, 17, 19, 20, 21) forekommer et liniært udtryk ikke teoretisk tilfredsstillende sammenlignet med mere komplicerede udtryk (eksponentielle, asymptotiske eller potens funktioner).

En gennemgang af de opnåede resultater (fig. 1, 2 og 3) synes imidlertid ikke at retfærdiggøre

anvendelse af mere komplicerede udtryk, ligesom flere studier (7, 10, 11, 12, 13) har givet resultater, hvor anvendelse af et simpelt lineært udtryk medfører en god korrelation. At et sådant udtryk på tilfredsstillende måde kan anvendes i nærværende sammenhæng kan skyldes, at den undersøgte periode er kort sammenlignet med den tid, det vil tage at opnå en ny ligevægt mellem opbygning og nedbrydning af organisk stof, og at ændringerne i jordens indhold af organisk stof i mange tilfælde er forholdsvis små. Anvendelsen af et lineært udtryk medfører imidlertid, at de beregnede b værdier kun med forbehold har gyldighed uden for forsøgsperioden. Specielt ved vurderinger af udviklingen over meget lange tidsrum vil de beregnede b værdier ikke kunne anvendes.

Udviklingen i jordens indhold af organisk stof afhang af indholdet ved forsøgets anlæg. Såfremt jorden havde et meget lavt indhold som udgangspunkt (U-SAND og U-LER), fandtes i alle tilfælde en stigning i det organiske stofindhold, selv ved behandlingen ugødet brak. Stigningen i den udgødede brak må tilskrives ufuldstændig plantebekæmpelse, vindtransport af plantemateriale, samt algevækst. Omvendt fandtes ved alle afgrødesystemer et fald i jordens indhold af organisk stof, når dette ved forsøgets anlæg var relativt højt (O-LER). Disse forhold antyder, at der på langt sigt må opnås en ligevægtstilstand i jordens indhold af organisk stof, som vil ligge mellem de to udgangsniveauer.

Det indbyrdes forhold mellem afgrødesystemernes virkning på indholdet af organisk stof i jorden var stort set det samme uanset jordtypen, idet de behandlinger, der medførte det mindste fald i O-LER jorden, også gav de største stigninger i U-SAND jorden. Den største opbygning af organisk stof opnåedes med stråafgrøder med halmnedmuldning, sædskifte med husdyrgødning og afgrødesystemet med 75 pct. kløvergræs. Bortset fra ugødet brak gav stråafgrøder uden halmnedmuldning og udelukkende rodfrugtdyrkning anledning til den mindste opbygning.

I dette forsøg blev udviklingen i jordens indhold af organisk stof fulgt ved analyse for jordens totale indhold af C og N. Denne type undersøgelse giver imidlertid ikke information om ændringer i sammensætningen eller nedbrydeligheden af det organiske stof i jorden som følge af behandlingerne. Tidligere undersøgelser har vist, at såvel brug af handelsgødning som halmnedmuldning hovedsageligt bidrager til opbygning af mere

stabilt organisk stof i jorden, hvorimod husdyrgødning også bidrager til puljen af mere let-omsætteligt organisk stof (1, 2, 3, 4).

Litteratur

1. Christensen, B. T. 1986. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size separates. *J. Soil Sci.* 37, 125-135.
2. Christensen, B. T. 1987. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19, 429-435.
3. Christensen, B. T. 1987. Use of particle size fractions in soil organic matter studies. *Intecol Bull.* 15, 113-123.
4. Christensen, B. T. 1988. Effects of animal manure and mineral fertilizer on the total carbon and nitrogen contents of soil size fractions. *Biol. Fertil. Soils* 5, 304-307.
5. Janssen, B. H. 1984. A simple method for calculating decomposition and accumulation of »young« soil organic matter. *Plant and Soil* 76, 297-304.
6. Jenkinson, D. S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *J. Soil Sci.* 28, 424-434.
7. Johnston, A. E. 1973. The effects of ley and arable cropping systems on the amounts of soil organic matter in the Rothamsted and Woburn ley-arable experiments. Rep. Rothamsted Exp. Stn. 1972, part 2, 131-159.
8. Juma, N. G. & McGill, W. B. 1986. Decomposition and nutrient cycling in agro-ecosystems. I: Mitchell, M. J. & Nakas, J. P. (red.): Microfloral and Faunal Interactions in Natural and Agro-Ecosystems. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 74-136.
9. Mann, L. K. 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.* 142, 279-288.
10. Odell, R. T., Melsted, S. W. & Walker, W. M. 1984. Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow plot soils under different treatments, 1904-1973. *Soil Sci.* 137, 160-171.
11. Persson, J. 1981. Influence of mineral and organic fertilizers on the humus balance and humus formation. I: Dutil, P. & Jacquin (red.): Colloque Humus-Azote 7-10 Juillet 1981 – Reims (France), 81-86.
12. Rasmussen, P. E., Allmaras, R. R., Rohde, C. R. & Roager, N. C. 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44, 596-600.
13. Reuter, G. 1981. Zwanzig Jahre Rostocker Dauer-versuche zur Humusbildung im Boden. 1. Mitteilung: Versuchsbedingungen und Entwicklung der Humusgehalte. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 25, 277-285.
14. Schjønning, P. 1986. Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg. II. Indflydelse af halm og stubbearbejdning på jordens indhold af kulstof, kvælstof, kalium og fosfor. Tidsskr. Planteavl 90, 141-149.
15. Schlesinger, W. H. 1986. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. I: Trabalka, J. R. & Reichle, D. E. (red.): The Changing Carbon Cycle – A Global Analysis. Springer-Verlag, New York, 194-220.
16. Sibbesen, E. 1986. Soil movement in long-term field experiments. *Plant and Soil* 91, 73-85.
17. Sørensen, L. H. 1987. Organic matter and microbial biomass in a soil incubated in the field for 20 years with ^{14}C -labelled barley straw. *Soil Biol. Biochem.* 19, 39-42.
18. Tiessen, H., Stewart, J. W. B. & Bettany, J. R. 1982. Cultivation effects on the amounts and concentrations of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. *Agron. J.* 74, 831-835.
19. Van der Linden, A. M. A., Van Veen, J. A. & Frissel, M. J. 1987. Modelling soil organic matter levels after long-term applications of crop residues, and farmyard and green manures. *Plant and Soil* 101, 21-28.
20. Voroney, R. P., Van Veen, J. A. & Paul, E. A. 1981. Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Can. J. Soil Sci.* 61, 211-224.
21. Wieder, R. K. & Lang, G. E. 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology* 63, 1636-1642.

Manuskript modtaget den 15. september 1988.