

Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbehandling, vårbyg og efterafgrøde

Ecological investigations of the soil microflora and fauna in agricultural systems with reduced cultivation, spring barley and catch crop

Caspar Andersen¹, Finn Eiland og Finn P. Vinther²

INDHOLDSFORTEGNELSE		Side
Resumé		258
Summary		259
Indledning		260
Materialer og metoder		260
Forsøgsarealer		260
Prøveudtagninger		261
Klimatiske forhold		261
Kemiske analyser		261
Mikrobiologiske analyser		261
Analyser af jordbundens fauna		265
Kulstofbalancer		266
Kvælstofbalancer		266
Resultater og diskussion		266
Jordens mikrobielle biomasse og aktivitet		266
Biomasse C og N		266
Bakterieantal		269
FDA-aktiv svampebiomasse		269
Mikrobiologisk aktivitet målt ved jordens CO ₂ produktion		270
Mikrobiologisk aktivitet målt ved jordens ATP indhold		270
Dehydrogenase-, cellulase- og fosfataseaktivitet		273
Andelen af svampe og bakterier		274
Biologisk kvælstofbinding		275
Denitrifikation		278
Kvælstofmineralisering		281

¹ Zoologisk Institut, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Bülowsvej 13, 1870 Kbh. V.

² Afdeling for Mikrobiologi og Mikrobiel Økologi, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Rolighedsvej 21, 1958 Kbh. V.

Profilundersøgelse	283
Regnorme	283
Antal og biomasse	283
Artssammensætning og struktur	285
Biologi i relation til behandlingerne	287
Omsætning af organisk stof	288
Nematoder og enchytraeer	289
Kulstofregnskab	289
Vekselvirkninger mellem biologiske og dyrkningsmæssige parametre	291
Konklusion	293
Erkendtlighed	294
Litteratur	294

Resumé

Kvælstofbinding, denitrifikation, kvælstofmineralisering, samt mikro- og makroorganismernes biomasse- og aktivitet blev undersøgt i perioden fra 1979 til 1982 i jorde dyrket med vårbyg, henholdsvis med og uden en efterafgrøde af gul sennep. Jordbehandlingerne var enten pløjning (0–20 cm) eller fræsning (0–5 cm). Forsøgene lå på følgende jordtyper: Grovsand (Jydevad, uvandet- og vandet afdeling); finsand (Tylstrup); fin lerblandet sand (Roskilde); fin sandblandet ler (Rønhave) og ler (Højer marsk).

Den mikrobielle biomasse (0–5 cm) var større i lerjorde end i sandjorde. Mikrobiel biomasse C (0–20 cm) varierede mellem 265 kg C/ha på grovsand og 703 kg C/ha på lerjord. Kvælstofindholdet immobiliseret i biomasserne svarede til 40 og 105 kg N/ha. Mikrobiel biomasse og aktivitet (biomasse C, CO₂ produktion og ATP indhold) var i de fleste jorde større i det øverste 0–5 cm lag i fræsede parceller end pløjede. Brug af en efterafgrøde kombineret med pløjning eller fræsning øgede både mikrobiel biomasse og aktivitet. Pløjede parceller (Roskilde og Jydevad) havde en stor mikrobiel aktivitet ned til 20 cm målt ved ATP indholdet, mens aktiviteten var mindre i 5–20 cm laget, når jorden var fræset i de øverste 5 cm.

Den relative andel af svampe og bakterier var i gennemsnit for fire af jordene henholdsvis 80% og 20% af den totale mikrobielle aktivitet.

Der blev målt større biologisk kvælstofbinding i lerjordene (3–5 kg N/ha/år) end i sandjordene (1–3 kg N/ha/år). For denitrifikationens vedkommende blev der ligeledes målt de største aktiviteter i lerjordene. Tabet via denne proces var 39 kg N/ha/år i Roskilde lerjord og i Jydevad sandjord kun 8 kg N/ha/år. Tællinger af kvælstofbindende og denitrificerende bakterier viste de samme tendenser som aktivitetsmålingerne. Kvælstofmineraliseringen kan ud fra laboratoriemålinger og balanceberegninger anslås til at være mellem 150 og 200 kg N/ha/år ved Roskilde og mellem 100 og 150 kg N/ha/år ved Jydevad.

Regnorme hørende til slægten *Aporrectodea* påvirkes kraftigere af fræsning end *Lumbricus terrestris*, som derimod påvirkes kraftigere af pløjning end *Aporrectodea* arterne. Fræsningens effekt på *Aporrectodea* var mindst i den sværeste lerjord. Efterafgrøden havde overalt en meget positiv indvirkning på regnormebestanden. Den største indvirkning havde den på *Lumbricus terrestris*. I sandjorden var regnormebestanden meget lav (1–2 individer/m²). I lerjordene var der fra 20–50 individer/m², undtagen i behandlinger uden efterafgrøde på den lokalitet, hvor *Lumbricus terrestris* var den dominerende art (5–8 individer/m²). I grovsand (Jydevad) påvirkes nematoderne i større

udstrækning end enchytraeerne af de forskellige behandlinger. Effekten af efterafgrøde var positiv, hvorimod forskelle i effekten af jordbehandlingen skal ses i relation til lokaliseringen af det organiske stof, samt udtøringsfænomener.

Tendenser i kulstofbalancen synes i lerjordene at tyde på et vist underskud, som kan opvejes af efterafgrøden. Dog viste én lerjord (Højer marin ler) en betydelig højere respiration end de øvrige lerjorde. I sandjord synes der at være en tendens til ophobning af organisk stof på grund af en langsommere omsætning.

Nøgleord: Mikrobiel biomasse, mikrobiel aktivitet, ATP indhold, biologisk kvælstofbinding, denitrifikation, kvælstofmineralisering, regnorme, nematoder, enchytraeer, reduceret jordbehandling.

Summary

Biomass and activity of soil micro- and macroorganisms including nitrogen fixation, denitrification and mineralization were examined over the period 1979 to 1982. Samples were used from experimental plots with a monoculture of spring barley with or without a catch crop of yellow mustard (*Sinapis alba*), combined with either ploughing (0–20 cm) or rotavation (0–5 cm). The plots were located on the following soil types: Coarse sand (irrigated and non-irrigated), fine sand, sandy loam, loam and silt loam soil. The microbial biomass (0–5 cm) was higher in clay soils than in sandy soils. Microbial biomass C (0–20 cm) varied between 265 kg C/ha (coarse sand) and 703 kg C/ha (silt loam). The corresponding nitrogen contents immobilized in the biomass were 40 kg N/ha and 105 kg N/ha. In most soils microbial biomass and activity (biomass C, CO₂ production and ATP content) in the 0–5 cm layer were higher in rotavated plots than in ploughed plots. In rotavated plots on sandy loam (Roskilde) and coarse sand (Jyndevad) microbial activity measured by ATP content was reduced in the 5–20 cm layer, whereas in ploughed plots microbial activity was high down to 20 cm. The catch crop increased microbial biomass and activity irrespective of mechanical treatment. In four of the soils the average contribution of fungi and bacteria to the total microbial activity was 80% and 20% respectively.

Biological nitrogen fixation in the loam soils (3–5 kg N/ha/yr) was higher than in the sandy soils (1–3 kg N/ha/yr). Similarly denitrification was highest in the loamy soils. The loss of nitrogen by denitrification was 39 kg N/ha/yr in sandy loam (Roskilde) and 8 kg N/ha/yr in coarse sandy soil (Jyndevad). Counts of nitrogen fixing and denitrifying bacteria showed the same trends as the activity measurements. From laboratory measurements and calculations of nitrogen balances, mineralization was estimated to 150–200 kg N/ha/yr in the loamy soils and 100–150 kg N/ha/yr in the sandy soils.

Rotavation influenced members of the earthworm genus *Aporrectodea* more than it did *Lumbricus terrestris*, which on the other hand was influenced more by ploughing than rotavation. The negative effect of rotavation depends upon the time of soil treatment and is most likely caused by exposure of cocoons and newly hatched earthworms to the soil surface. Mechanical damage to the larger worms must also be included. The influence of rotavation was less severe in the most clayey soil. The catch crop exerted an overall positive influence on the earthworms, especially on *Lumbricus terrestris*. In the sandy soil the earthworm population was very low (1–2 earthworm/m²). In the more clayey soils the population ranged from 20–50 worms/m², except in the treatments without catch crop on the locality, where *Lumbricus terrestris* was dominating. Here only 5–8 worms/m² were found. In the coarse sandy soil nematodes were influenced more by the different treatments than were enchytraeids. Also here, there was an overall positive influence of the catch crop on number and biomass. However, the influence of the mechanical treatment must also be seen in relation to effects of the vertical distribution of organic matter and moisture conditions.

Carbon balances indicate a trend towards a carbon deficit in the investigated clay soils, which appears to be counterbalanced by the catch crop. One clay soil, however (marine silt loam), showed a considerable higher carbon output than the other soils. In the sandy soil there was a trend towards an accumulation of organic matter, indicated by a higher C:N ratio and lower soil respiration.

Key words: Microbial biomass, microbial activity, ATP content, biological nitrogen fixation, denitrification, nitrogen mineralization, earthworms, nematodes, enchytraeids, reduced cultivation.

Indledning

Ser man på naturjord i f.eks. en skov, som er et meget stabilt system, vil der være lighedspunkter mellem en sådan jord og en dyrket jord med reduceret jordbehandling og efterafgrøde, såvel som afgørende principielle forskelle. Naturjorden er afhængig af næringsstoffer stammende fra nedbrydning af planterester og døde dyr. Den dyrkede jord tilføres planteneringsstoffer til erstatning for dem, der fjernes med afgrøderne, og her spiller mennesket en altafgørende rolle ved at styre »naturen« ved hjælp af mekanisk jordbehandling af forskellig art, sprøjtning mod skadelige organismer og tilførsel af gødning.

Når jordbundsdyr og mikroorganismer nedbryder døde plantedele, sker der en ændring af forholdet mellem kulstof og kvælstof, idet jordbundsorganismene skaffer sig energi ved at nedbryde det døde plantemateriale til kuldioxid og vand og samtidig danne nyt stof i form af nyt væv. En del af kuldioxiden kan igen optages i de grønne plantedele. Dette fald i C/N forholdet bevirker en nettomineralisering af N, således at kvælstoffet igen kan udnyttes af planterne. I en skov regner man med, at op til 60% af den kvælstof, der bindes i planterne, kan gencirkuleres pr. år.

Undersøgelsens formål har været at beskrive effekten af en efterafgrøde af gul sennep (*Sinapis alba* L.) i vedvarende byg i forbindelse med henholdsvis pløjning og fræsning på jordbundsorganismene og jordens organiske stof. Dette blev gjort ved at måle mikrobiel biomasse og aktivitet, kvælstofbinding, denitrifikation og kvælstofmineralisering, regnormefaunaens sammensætning, biomasse og respiration, samt biomasse og respiration af enchytraeer og nematoder. Desuden blev de experimentelle data omregnede til markforhold og ud fra høstudbytter, skønnede værdier

for halm, stub, rødder og spild, samt kvælstof i nedbør og udvaskning, er der blevet beregnet en kulstof og en kvælstofbalance.

Materialer og metoder

Forsøgsarealer

Undersøgelserne blev gennemført i forsøg »Efterafgrøde og jordbehandling ved ensidig korn dyrkning« på Statens Forsøgsstationer, Jydevad, Tylstrup, Roskilde, Rønhave og Højer. Markforsøgene blev påbegyndt i 1973 for at undersøge virkningerne af forskellige jordbehandlinger (pløjning og fræsning) og dyrkning af en efterafgrøde af gul sennep (*Sinapis alba* L.) på udbyttet af byg. I undersøgelserne indgår fire behandlinger:

- 1) Pløjning uden efterafgrøde (PU)
- 2) Pløjning med efterafgrøde (PM)
- 3) Fræsning uden efterafgrøde (FU)
- 4) Fræsning med efterafgrøde (FM)

I forsøget anvendtes kunstgødning, og de her beskrevne undersøgelser blev foretaget i forsøgsled med gødningsniveauer, der er normale for en bygafgrøde på den pågældende jordtype. I Roskilde blev der anvendt parceller gødet med 90 kg N, 20 kg P og 48 kg K/ha/år og i Jydevad uvandet og vandet afdeling parceller med 120 kg N, 30 kg P og 72 kg K/ha/år tilført i april-maj. Efter høst af bygafgrøden i august-september, blev efterafgrøden sået, og den tilførtes ekstra 40 kg N/ha. I november-december blev efterafgrøden nedmuldet ved pløjning (0-20 cm dybde) og ved fræsning (0-5 cm dybde). Parcellerne uden efterafgrøde blev behandlet på tilsvarende måde. For en mere detaljeret gennemgang af forsøget (jordtype, markbehandlinger, såtider, vanding, høstudbytte m.m.) se Rasmussen & Olsen (1983).

Undersøgelserne er udført på følgende jordtyper: Jyndeved, grovsandet jord (JB1); Tylstrup, finsandet jord (JB2); Roskilde, fin lerblandet sandjord (JB4); Rønhave, fin sandblandet lerjord (JB6) og Højer, lerjord (JB7).

Prøveudtagninger

Prøveudtagningerne til mikrobiologiske og kemiske analyser blev foretaget i perioden fra oktober 1979 til august 1982 på Roskilde og Jyndeved forsøgsstationer, suppleret med et mindre antal prøveudtagninger i 1981 og 1982 på Højer, Rønhave og Tylstrup forsøgsstationer. Der er udtaget prøver fra to ens parceller fra hver af de fire forskellige behandlinger. I perioder med plantevækst er prøverne taget imellem rækkerne. Til kemiske analyser og målinger af mikrobiel biomasse og aktivitet udtoges pr. parcel, 10 jordsøjler (28 mm diam.) fra dybderne 0–5 cm og 5–20 cm. De blev bragt uforstyrret til laboratoriet, og efter 24 timer fra prøveudtagningstidspunktet blev prøverne blandet således, at hver portion repræsenterede én parcel og én dybde. Til bestemmelse af kvælstofbinding og denitrifikation blev der udtaget 2 jordsøjler (35 mm diam.) pr. parcel fra dybderne 0–5 cm og 5–20 cm. Alle analyser blev påbegyndt hurtigst muligt.

Indsamling af materiale til bestemmelse af regnormefaunaens størrelse og sammensætning blev foretaget i maj og oktober fra 1979–1982. Ved Rønhave og Højer blev regnormene indsamlet ved en kombination af formalinmetoden, 10–20 l 0,4% formalin, og håndsortering af de øverste 15 cm af jorden. I Roskilde blev regnormene indsamlet ved gravning og håndsortering til en dybde af 40 cm. Der blev taget 3 prøver à 0,5 m² i 3 gentagelser af hver af de 4 behandlinger, PU, PM, FU og FM i alt 9 prøver pr. behandling. Regnormene blev konserveret i 4% formalin med senere opbevaring i 70% alkohol.

Udtagning af jordprøver til bestemmelse af nematod- og enchytraefaunaen ved Jyndeved foretoges i oktober 1980 og maj 1981. Indsamlingen blev foretaget med et jordbor med et overfladeareal på 10 cm² indtil 15 cm dybde. Der blev taget 6 prøver pr. behandling.

Klimatiske forhold

Den gennemsnitlige lufttemperatur varierede gennem årene imellem –5°C og 16°C både ved Roskilde og Jyndeved (fig. 1). Temperaturerne var næsten ens på de to stationer, skønt de er beliggende i forskellige egne af landet. Jordtemperaturen var i gennemsnit omkring 1°C højere i overfladen (0–5 cm) end i 5–20 cm laget igennem forår og sommer, og modsat om vinteren. Den gennemsnitlige månedlige nedbør er målt af *Meteorologisk Institut* (fig. 1).

Kemiske analyser

Ved hver prøveudtagning blev der udtaget prøver til kemiske analyser, som udførtes på Statens Planteavlslaboratorium i Vejle. Følgende analyser blev udført med danske standardprocedurer (*Landbrugsministeriet*, København, 1972): Organisk C (*Ter Meulen*), totalt N (*Kjeldahl*), NO₃-N og NH₄-N i 2 M KCl ekstrakter, pH i jorden i CaCl₂, Ft (P opløselig i 0,2 N H₂SO₄; 0,03 mg P/g tør jord), Kt (ombytteligt K; 0,01 mg K/g tør jord), jordens vandindhold (tørring ved 105°C i 24 timer) (tabel 1), og volumenvægt. Alle resultater er udtrykt i forhold til tørvægt.

Mikrobiologiske analyser

Følgende mikrobiologiske analyser udførtes på jordprøverne:

1) Biomasse C ved kloroformdampningsmetoden (*Jenkinson & Powlson*, 1976; *Eiland*, 1981). Ved at dampe en jordprøve med chloroform dræbes hovedparten af mikroorganismene i jorden, og disse tjener da som let tilgængelig organisk næring for de overlevende eller ved podning tilførte mikroorganismer. Dette medfører større kuldioxid-udskillelse i en dampet jord end i en ubehandlet jord. Forskellen betragtes da som et udtryk for den mikrobielle biomasse inden dampning, omfattende både de inaktive og aktive mikroorganismer.

2) Antal bakterier bestemt med standard pladespredningsmetoden (*Eiland et al.*, 1979). En jordsuspension homogeniseres ved behandling i en Waringblender, og en fortyndingsserie fremstilles under anvendelse af en saltopløsning, som fortyndingsmedium. Pladespredningerne gøres

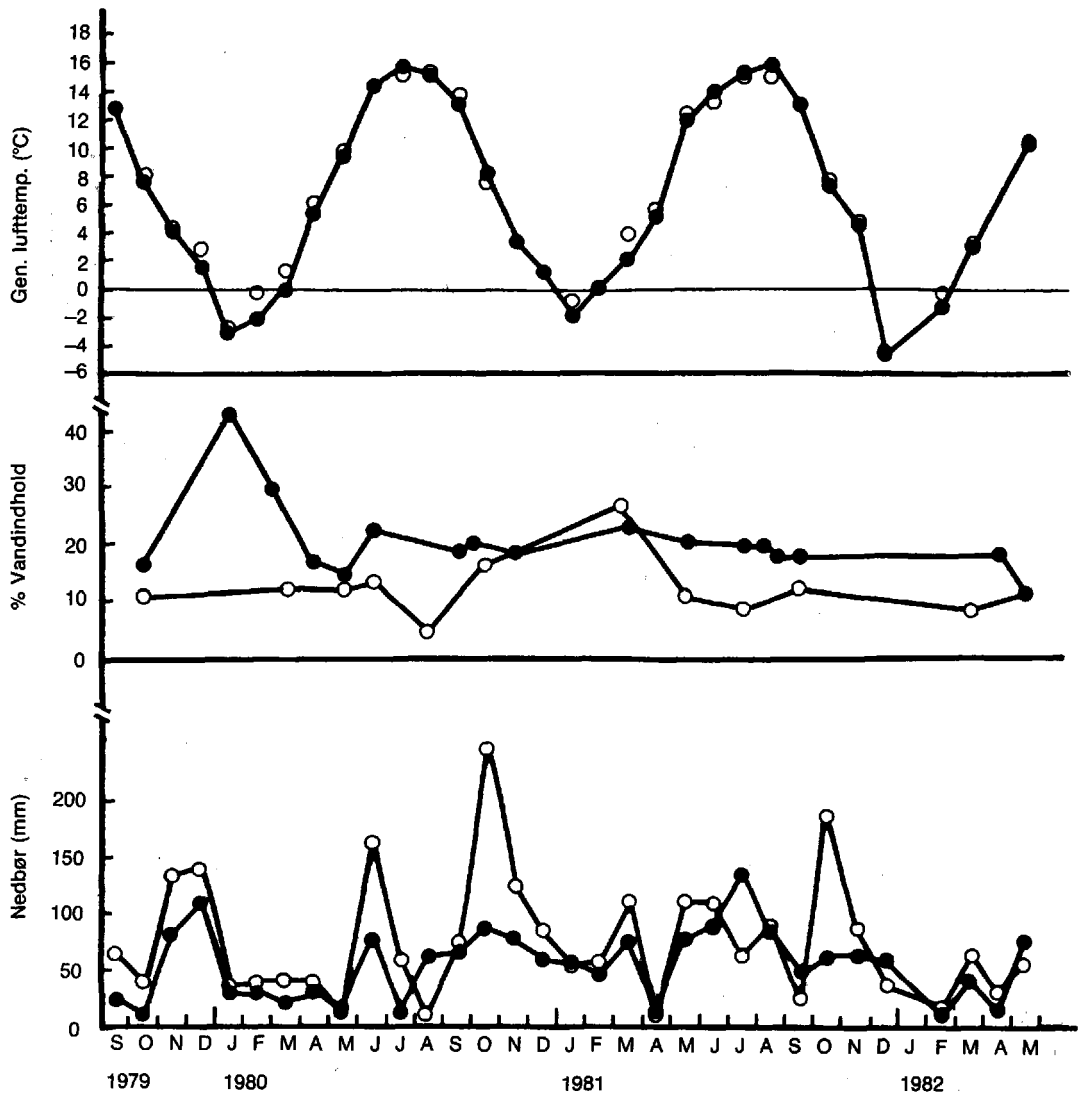


Fig. 1. Gennemsnitlig lufttemperatur, vandindhold i jorden og nedbør i 1979-1982.
 Average air temperature, soil moisture content and precipitation in 1979-1982.
 ● Roskilde ○ Jyndevad

selektive for bakterier ved tilsætning af et svampeantibiotikum (actidion) til et agarsubstrat. Ved inkubering af agarsubstrat tilsat en jordsuspension udvikles de enkelte mikroorganismer til kolonier. Efter tælling af disse kan antal og biomasse af levedygtige mikroorganismer i den oprindelige prøve beregnes.

Kolonitællinger af bakterier i jord repræsenterer kun en del af den samlede bakterieflora, da ikke alle mikroorganismer vil kunne vokse på et og samme substrat. Det er dog muligt at få et udtryk for en del af de bakterier, som tager aktivt del i omsætningen af det organiske materiale i jorden.

Tabel 1. Karakterisering af de undersøgte jorde
Characteristics of the soils used

Lokalitet	Forsøgs- behand- ling	Organisk C		Total-N		C:N		H ₂ O		pH		Vol.-vægt		NO ₃ -N		NH ₄ -N		Ft		Kt	
		0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm
Roskilde	PU	1,77	1,63	0,15	0,15	11,8	10,9	19,5	19,3	6,4	6,5	1,0	1,5	3,6	1,1	2,1	0,8	9,7	9,1	13,0	10,8
	PM	1,64	1,64	0,16	0,15	10,3	10,9	20,5	19,7	6,4	6,4	1,1	1,5	3,8	1,5	1,4	0,6	7,6	7,5	10,2	9,3
	FU	1,78	1,66	0,17	0,16	10,5	10,4	19,1	18,8	6,6	6,7	1,0	1,5	3,8	1,1	1,7	0,5	10,4	9,0	16,9	13,3
	FM	1,83	1,71	0,17	0,16	10,8	10,7	20,7	19,8	6,4	6,4	1,0	1,5	4,2	1,4	2,5	0,6	9,2	8,3	17,2	13,1
Jyndevad uvandet	PU	1,74	1,87	0,11	0,11	15,8	17,0	12,3	12,4	5,8	5,9	1,1	1,4	1,5	1,0	1,0	0,4	6,8	6,5	6,7	5,5
	PM	1,75	1,79	0,11	0,12	15,9	14,9	12,4	12,2	5,8	5,8	1,1	1,5	1,9	0,8	1,1	0,4	6,6	5,8	5,9	4,7
	FU	1,78	1,85	0,11	0,12	16,2	15,4	12,9	11,2	6,1	6,1	1,1	1,4	1,5	1,1	0,9	0,3	8,8	7,9	8,0	6,6
	FM	1,75	1,99	0,11	0,12	15,9	16,6	12,5	12,4	6,0	6,0	1,1	1,4	2,3	1,0	1,0	0,3	7,9	7,3	8,5	6,4
Jyndevad vandet	PU	1,54	1,61	0,10	0,10	15,4	16,1	12,6	13,6	6,1	6,1	1,1	1,4	1,2	0,9	1,1	0,6	6,8	6,3	6,3	5,6
	PM	1,46	1,65	0,10	0,11	14,6	15,0	14,1	14,1	6,0	6,1	1,1	1,4	1,3	1,0	1,0	0,5	5,9	5,9	5,9	4,2
	FU	1,59	1,66	0,11	0,11	14,5	15,1	13,5	12,8	6,2	6,3	1,1	1,5	1,1	0,7	0,7	0,3	7,9	7,4	7,3	6,3
	FM	1,66	1,60	0,11	0,10	15,1	16,0	13,9	12,7	6,2	6,2	1,1	1,5	1,4	0,7	0,8	0,3	7,9	6,8	7,5	5,5
Tylstrup	PU	1,51	1,54	0,12	0,12	12,6	12,8	15,2	9,2			1,4	1,4					10,7	10,3	26,9	9,8
	PM	1,54	1,54	0,11	0,12	14,0	12,8	13,7	9,4			1,4	1,4					11,6	10,3	27,0	10,1
	FU	1,67	1,65	0,13	0,13	12,8	12,7	13,8	9,4			1,5	1,5					12,1	11,2	25,2	14,6
	FM	1,69	1,70	0,14	0,13	12,1	13,1	15,7	10,4			1,5	1,5					13,6	11,3	32,7	16,3
Rønhave	PU	1,45	1,31	0,13	0,12	11,2	10,9	19,5	20,8			1,3	1,5					8,5	7,0	20,7	13,4
	PM	1,53	1,35	0,15	0,13	10,2	10,4	18,2	18,3			1,5	1,7					8,7	7,3	22,3	13,7
	FU	1,57	1,29	0,16	0,12	9,8	10,8	20,0	20,3			1,4	1,6					10,5	8,4	32,5	17,6
	FM	1,60	1,31	0,16	0,13	10,0	10,1	19,2	18,9			1,3	1,6					10,8	8,2	34,1	19,6
Højer	PU	1,88	1,30	0,19	0,17	9,9	7,6	24,7	30,0			1,0	1,5					7,4	7,2	16,7	14,1
	PM	1,97	1,47	0,19	0,20	10,4	7,4	26,6	30,0			1,2	1,6					7,5	7,4	19,7	15,7
	FU	1,84	1,53	0,18	0,18	10,2	8,5	23,8	28,0			1,2	1,4					7,5	7,1	16,3	12,3
	FM	1,90	1,43	0,19	0,17	10,0	8,4	24,8	29,2			1,2	1,5					7,2	6,9	19,3	12,3

Gennemsnit af alle prøver udtaget i perioden 1979-1982.
Average of all samples taken during the period 1979-1982.

PU = Pløjning uden efterafgrøde; PM = Pløjning med efterafgrøde; FU = Fræsning uden efterafgrøde; FM = Fræsning med efterafgrøde.

PU = Ploughing without a catch crop; PM = Ploughing with a catch crop; FU = Rotavation without a catch crop; FM = Rotavation with a catch crop.

3) Den FDA-aktive svampebiomasse blev bestemt med fluorescein diacetat (FDA) farvningsmetoden, hvor svampene måles i et fluorescensmikroskop (Söderström, 1977). Det er kun en mindre del af den samlede svampemængde, der bestemmes, men sandsynligvis den mest aktive svampefraktion.

4) CO₂ produktion blev bestemt ved titrering efter inkubering af jord som beskrevet af Eiland *et al.* (1979). Respirationsmålingen giver et udtryk for den totale aktuelle aktivitet. Resultaterne afhænger af mængden af levende mikroorganismer og af den tilstedeværende mængde af omsætteligt organisk stof. Resultaterne er korrigeret til marktemperatur (Krogh, 1914). Eksperimentelt udførte forsøg, hvor CO₂ produktionen blev målt på de forskellige jordtyper ved forskellige temperaturer, gav det samme kurveforløb som Kroghs kurve.

5) ATP indhold bestemtes med luciferin-luciferase metoden (Eiland, 1979). I 1979 og 1980 er ATP indholdet i jorden bestemt med en H₂SO₄ ekstraktion teknik (Eiland, 1979) og i 1981 og 1982 ved brug af H₂SO₄-PO₄-NRB-metoden (Eiland, 1983). ATP indholdet i jorden ekstraheres og mængden bestemmes ved måling af lysudviklingen ved reaktion mellem ATP og et enzymssystem (luciferin-luciferase), som udvindes fra ildfluer. Ved måling af ATP fra jordprøverne uden nogen forbehandling af jorden er ATP indholdet bedre korreleret til den aktuelle mikrobielle aktivitet, end til den mikrobielle biomasse. ATP indholdet stammer fra levende bakterier, svampe, protozoer og alger.

6) Jordens dehydrogenaseaktivitet blev bestemt ved reaktion med et tetrazolium-salt (p-jodnitrotetrazoliumviolet), som af dehydrogenaserne reduceres til vand-uopløseligt, farvet trifenyiformazan, som kan ekstraheres fra jorden og måles spektrofotometrisk (Curl & Sandberg, 1961; Eiland *et al.*, 1979).

Dehydrogenaseaktiviteten må nærmest opfattes som et udtryk for den totale, potentielle, mikrobiologiske aktivitet i det undersøgte materiale, og derigennem et indirekte udtryk for mængden af levende celler. Dehydrogenaseaktivitet i jord stammer ikke kun fra levende celler, men

også fra døde celler, rodexudater og fra »frie« enzymer.

7) Cellulaseaktivitet målt spektrofotometrisk efter jordinkubering med carboxymethylcellulose og inkubering i 24 timer. Derefter bestemtes cellulaseaktiviteten ved at måle indholdet af reduceret sukker i prøven (Benefield, 1971). Cellulasen har betydning for omsætningen af cellulose.

8) Fosfataseaktivitet blev bestemt ved at måle det frigjorte p-nitrofenol efter at jord var blevet inkuberet med p-nitrofenyl fosfat (Tabatabai & Bremner, 1969). Fosfataseaktiviteten har betydning for omsætningen af det organiske fosfor.

9) Svampe- og bakteriefractionen blev bestemt ved selektivt at måle henholdsvis bakterie- og svamperespirationen. Dette blev gjort ved tilsætning af specifikke hæmmere (actidion og streptomycin) samt glukose efterfulgt af regelmæssige målinger af respirationshastigheden i 8 timer (Anderson & Domsch, 1975).

Glukose (1%) blev blandet med talkum i en morter før tilsætning til jord (0,5 g talkum/100 g tør jord). Der blev til de undersøgte jorde tilsat følgende mængder streptomycin (strep.) og actidion (act.): Jyndevad, Tylstrup, Roskilde og Rønhavejordene, 2000 ppm strep. og 3000 ppm act.; Højerjord, 3000 ppm strep. og 4000 ppm act. Jordprøverne blev forinkuberet 1 uge ved 25°C med et vandindhold svarende til 60% af markkapacitet, hvorefter jordportioner (30 g) blev placeret i 300 ml serumflasker med gummimembran. CO₂ produktionen målt på gaschromatograf (EC detektor, 250°C; Poropak Q kolonne, 35°C, 2000 × 2 mm) med 1 times intervaller i jord tilsat glukose (A), glukose + strep. (B), glukose + act. (C) og glukose + strep. + act. (D). Beregning af CO₂ produktionen pr. time blev udført ved at subtrahere resultaterne fra målingerne en time tidligere. Bakteriernes og svampenes respiration blev beregnet for hver time med følgende formler: Bakteriernes respiration = 100 (A-B/A-D) og svamperespiration = 100 (A-C/A-D). For at resultaterne er rigtige skal følgende betingelser være opfyldt: $A - [(A-B) + (A-C)] = D \pm 5\% D$ og $A-B/AC$ må ikke vise konstant stigning eller fald.

10) Til måling af den biologiske kvælstofbinding blev anvendt acetylenreduktionsmetoden.

Målingerne blev foretaget ved at inkubere intakte jordsøjler i glasbeholdere forsynet med en gummimembran, hvorigennem luftprøver kan udtages med en lufttæt injektionssprøjte. Senest dagen efter prøveudtagningen blev inkuberingen påbegyndt. Efter at have udtaget ca. 10% af luften i inkuberingsbeholderen blev en tilsvarende mængde acetylen injiceret. Efter 15–20 timers inkubering, hvor acetylen fik lejlighed til at diffundere ind i jordprøven, blev en luftprøve på 0,1 ml udtaget og injiceret i en Perkin Elmer F 11 gaschromatograf forsynet med en flammeioniseringsdetektor, hvorpå acetylen og ethylen kan måles. Denne procedure blev gentaget 24 timer senere, og ud fra forskellen mellem disse to målinger blev produktionen af ethylen beregnet. Inkuberingen blev foretaget under temperaturforhold, der så vidt muligt svarede til temperaturen i marken ved prøveudtagningen.

De tekniske detaljer i forbindelse med måling af acetylen og ethylen er beskrevet af *Idris et al.* (1981).

11) Måling af denitrifikationen er foretaget med acetylen-inhiberings-metoden.

Denitrifikationen blev målt på de samme jordprøver, hvorpå måling af den biologiske kvælstofbinding blev foretaget. Behandlingen af prøverne, tilsætning af acetylen og inkubering er omtalt i det foregående afsnit. Efter forudgående inkubering på 15–20 timer blev en luftprøve på 0,5 ml udtaget og injiceret i en Perkin Elmer Sigma 4 gaschromatograf forsynet med en »electroncapture-detector«, der er særlig følsom over for N_2O . 24 timer senere blev endnu en luftprøve analyseret, og ud fra forskellen mellem disse to målinger blev produktionen af N_2O beregnet.

En mere fyldestgørende beskrivelse af de tekniske detaljer i forbindelse med måling af N_2O findes i *Vinther et al.* (1982).

12) Mineraliseringen blev bestemt ved en inkuberingsmetode. Til disse undersøgelser blev der fra hver behandling udtaget 4–5 delprøver i dybden 0–20 cm. Disse blendedes grundigt og 500 g blev afvejet og inkuberet i en glasbeholder ved en tilsvarende temperatur som ved udtagningstids-

punktet. Ved inkuberingens start og efter 4 uger blev der foretaget bestemmelse af NH_4-N og NO_3-N ved dampdestillation af en jordekstrakt (ekstrahering med 2 N KCl i 1 time) efter Magnessiumoxyd-Devardareagens-metoden (*Bremner*, 1965). Nettomineraliseringen blev derefter beregnet som forskellen mellem uorganisk kvælstof ved begyndelsen og slutningen af inkuberingen.

Analysen af jordbundens fauna

1) I laboratoriet blev regnormene vejret og identificeret til art og sorteret i udviklingsstadier: adulte med bælte; subadulte uden bælte, men med sekundære køns karakterer (hanlige kønssporer, genitalpapiller og pubertetspapiller), juvenile uden sekundære køns karakterer og nyklækkede individer.

2) Regnormenes iltoptagelse blev målt på et Gilson differential respirometer ved 12°C. Regnormene blev taget fra kulturer, som holdtes ved 12°C og anbragtes i respirationskamre med jord, ca. 1 g biomasse i 40 g jord. Dette system sikrer, at regnormenes adfærd svarer nogenlunde til den naturlige. Efter 1 døgn akklimatisering i respirationskamrene målt iltoptagelsen over 3–4 timer. Desuden målt jordrespirationen i kamre uden regnorme. Jordrespirationen trækkes fra den målte respiration i kamrene med orme. Den udviklede CO_2 blev absorberet i 1 N KOH. Respirationen målt hos adulte, juvenile og nyklækkede *Aporrectodea caliginosa* samt adulte og juvenile *A. tuberculata*. Den målte iltoptagelse reduceredes til standardbetingelser (*Eiland et al.*, 1979). Derefter omregnedes iltoptagelsen til udskilt CO_2-C ved anvendelse af en RQ værdi = 0,82.

3) Regnormenes stofomsætning kan angives ved ligningen: $C = R + P + FU$, hvor C = consumption, R = respiration, P = produktion (dannelse af nyt væv) og FU = faeces og urin. Assimilationen eller »total energy flow« $A = R + P$. Alle værdier i kcal (*Petrusewicz & MacFadyen*, 1970). Produktionen kan bestemmes efter formelen $\log P = 0,8233 \log R - 0,2367$ (*McNeil & Lawton*, 1970). *Crossley et al.* (1971) fandt et A/C forhold på ca. 0,10, hvilket blev benyttet til at estimere consumption. Der regnes med et ener-

giindhold på 4,0 kcal/g i det indtagne organiske stof (tørvægt) og et kulstofindhold på 50%. Regnormenes produktion kan også omregnes til organisk tørstof og biomasse. 1 g orme tørstof = 4,92 kcal og tørstof procenten = 17%. (Phillipson *et al.*, 1978).

4) I laboratoriet blev nematoderne ekstraheret fra delprøver på 2 g jord, ved hjælp af en overfladespændingsteknik (Nielsen, personlig kommunikation), hvor prøverne anbringes i en tragte af trådvæv (1 × 1 mm) på linsepapir. Tragten sættes i et døgn i et bægerglas med vand, hvor tragten spids netop berører vandoverfladen. Enchytraeerne blev uddrevet i våde Tullgren tragte af gradient typen med opvarmning fra oven og køling af tragtenes underside.

5) Den gennemsnitlige vægt af nematoder pr. individ bestemtes til 0,63 µg/individ efter Hutha & Koskenniemi (1975).

6) Nematodernes respiration bestemtes efter formlen $R = 1,40W^{0,72}$ (Klekowski *et al.*, 1972). R målt i µl O₂ × 10⁻³/individ/time, hvor W er den gennemsnitlige vægt pr. individ i µg. Ligningen gælder for t = 20°C.

7) Biomassen af enchytraeer bestemtes efter et længde/vægt forhold (O'Connor, 1971).

8) Enchytraernes respiration bestemtes efter formlen $\log Y = a + b \log X$ (Hutha & Koskenniemi, 1975), hvor X = kropsvægten i µg og Y = iltoptagelse i µl O₂ × 10⁻³/individ/time, og a og b er konstanter. Ligningen gælder for t = 16°C. Den beregnede respiration for både nematoder og enchytraeer korrigeredes til respirationen ved 12°C ved hjælp af Kroghs kurve (Krogh, 1914), Q₁₀ = 3,0 og 2,08. Iltoptagelsen omregnedes til udskilt CO₂ - C ved hjælp af de samme energetiske konstanter som for regnorme.

Kulstofbalancer

Kerneudbyttet og efterafgrødens størrelse stammer fra Rasmussen & Olsen (1983). Kulstofindhold i bygkerner er anslået til 50% af tørstoffet og kulstofindholdet i halmen er anslået til 60% af kulstoffet i bygkerne. Rodkulstof er anslået til halmkulstof plus 10% fra stub. Kulstof i rodexudater er sat til 60% af rodkulstof (Lynch & Panting, 1980).

Gencirkuleret kulstof stammer fra efterafgrøde, stub, rødder og rodexudater, samt visne blade, der er faldet af under væksten; desuden fra spild ved høst af kerner, avner, stak og halm, som blev antaget at være ækvivalent med mængden af såsæd (18 g C/m²).

Kvælstofbalancer

Kvælstofbalancer for Roskilde og Jyndeved (vandet afd.) er primært opstillet med det formål at beregne netto-kvælstofmineraliseringen i de to jordtyper. Afgrødernes maksimale kvælstofindhold er anslået på grundlag af målinger foretaget af Andersen & Jensen (1983). På begge lokaliteter er biomasse- og kvælstofbestemmelser foretaget i parceller tilført 120 kg N/ha. Denitrifikationen i Roskilde er beregnet på grundlag af målinger foretaget i vækstsæsonen 1981 (Vinther, 1983).

Der er i undersøgelsesperioden ikke foretaget målinger af kvælstofudvaskning og N-indhold i nedbør. Disse størrelser er derfor anslået på grundlag af målinger foretaget af Hansen & Pedersen (1975), Bennetzen (1978) og Jørgensen (1978), der har fundet værdier for kvælstofudvaskning ved Roskilde og Jyndeved på henholdsvis 19 kg/ha og 59 kg/ha, og tilført kvælstof via nedbør til henholdsvis 12 kg/ha og 14 kg/ha.

Resultater og diskussion

Jordens mikrobielle biomasse og aktivitet

Biomasse C og N

Den mikrobielle biomasse bestemt med klormetode i 0-20 cm dybde på sandblandet ler i Roskilde var størst forår, sommer og efterår 1980-1982 (fig. 2) og faldt til det laveste niveau i vinteren 1980-1981, hvilket sandsynligvis er forårsaget af celledød på grund af frost i jorden. I grovsand ved Jyndeved blev den mindste biomasse fundet i juli 1981, hvor en udtørring af jorden resulterede i en reduktion af de levende celler (fig. 2). Denne tendens sås også i vandet jord, selv om biomassen var lidt større end i den uvandede. I gennemsnit af alle udtagne prøver i forsøgsbehandlingerne i 0-5 cm dybden havde lerjord (Højer, Rønhave og Roskilde) en større biomasse end sandjord (Jyndeved og Tylstrup) (fig. 3). De fræsede parceller (0-5 cm) havde en

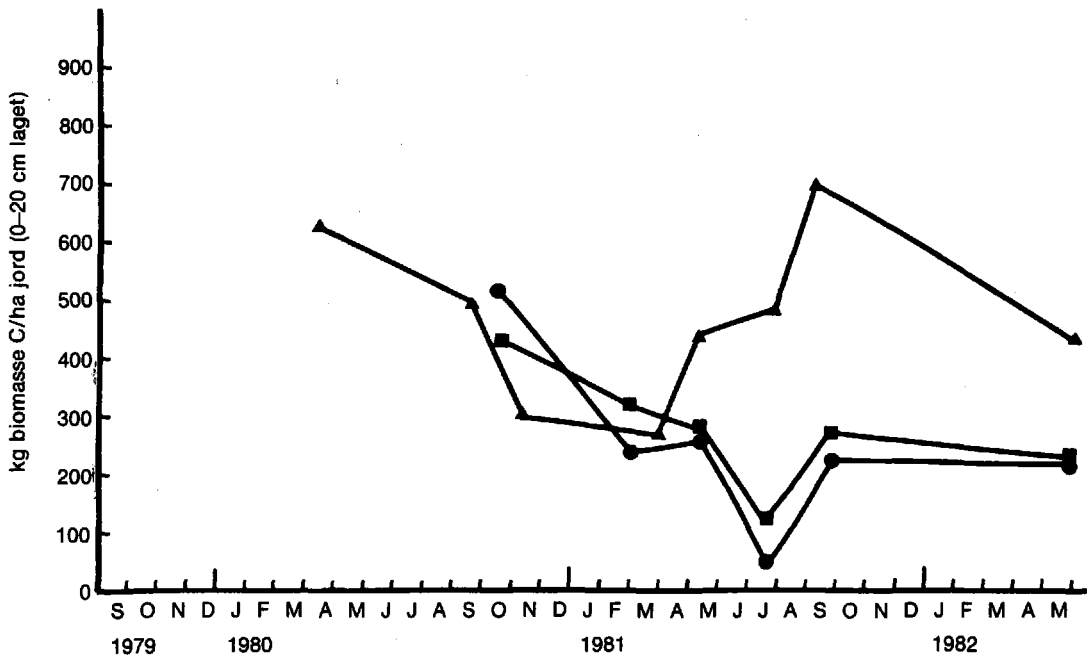


Fig. 2. Den mikrobielle biomasse bestemt med kloroformdampningsmetoden.
The microbial biomass determined by the chloroformfumigation method.

- ▲ Roskilde
- Jydevad uvandet (*non irrigated*)
- Jydevad vandet (*irrigated*)

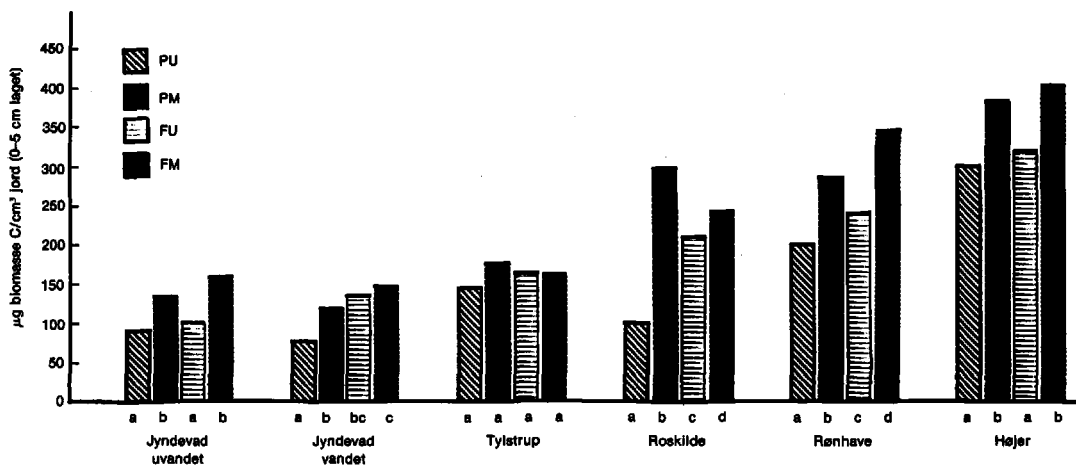


Fig. 3. Mikrobiel biomasse i de fire forsøgsbehandlinger på forskellige jordtyper.
Microbial biomass in the four experimental treatments on different soil types.

Søjler med samme bogstav inden for hver lokalitet er ikke signifikant forskellig ($p < 0,05$).
Columns with the same letter on each of the localities are not significantly different ($p < 0,05$).
Forkortelser som i tabel 1.
Abbreviations as in table 1.

signifikant større biomasse end de pløjede ($p < 0,05$) ved Jyndeved (vandet afdeling), Roskilde og Rønhave (fig. 3). Desuden var der en signifikant større biomasse i parceller med efterafgrøde end i de tilsvarende uden ($p < 0,05$) ved Jyndeved (uvandet afdeling), Roskilde, Rønhave og Højer (fig. 3).

Tabel 2 viser indholdet af biomasse-kulstof og kvælstof i de forskellige jorde angivet som et gennemsnit af alle prøveudtagninger og forsøgsbehandlinger i 0–20 cm. Kulstoffet varierede mellem 265 kg biomasse C/ha i vandet sandjord fra Jyndeved og 703 kg biomasse C/ha i lerjord fra Højer. De tilsvarende tal for kvælstof var 40 kg og 105 kg biomasse N/ha. Der er kalkuleret med 50% kulstof af tørvægtbiomassen (Alexander, 1977) og et kvælstofindhold på 15% af kulstoffet (Anderson & Domsch, 1980).

Tabel 2. Indhold af C og N i jordens mikrobielle biomasse i 0–20 cm
Content of C and N of soil microbial biomass in the 0–20 cm depth

Lokalitet	Biomasse C kg/ha	Biomasse N kg/ha
Jyndeved uvandet	268	40
Jyndeved vandet	265	40
Tylstrup	326	49
Roskilde	420	63
Rønhave	538	81
Højer	703	105

Gennemsnit af 4 jordbehandlinger og alle prøver udtaget i perioden 1979–1982.

Average of 4 soil treatments and all samples taken in the period 1979–1982.

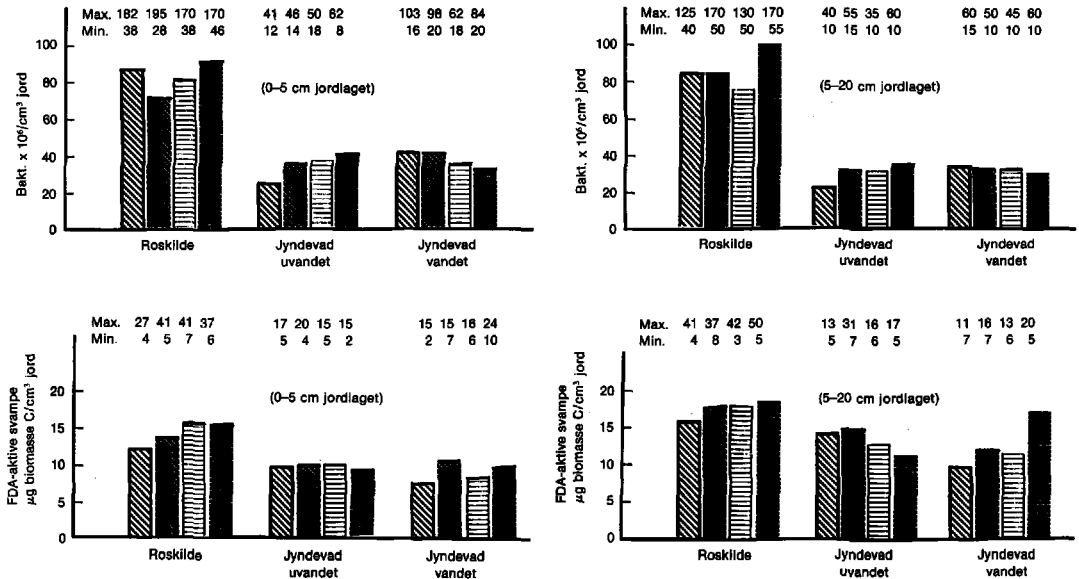


Fig. 4. Antal bakterier og mængden af FDA-aktive svampe i jordene.
Number of bacteria and the amount of FDA-active fungi in the soils.

■ PU ■ PM ▨ FU ■ FM

Forkortelser som i tabel 1.

Abbreviations as in table 1.

Bakterieantal

Antal bakterier bestemt med pladespredningsmetoden i perioden 1979 til 1981 varierede i alle forsøgsled mere i sandblandet ler ved Roskilde end i grovsandet jord ved Jyndeved, uvandet og vandet afdeling (fig. 4). På begge lokaliteter var der større variationer i 0–5 cm end i 5–20 cm, selv om de gennemsnitlige bakterietal fra forsøgsperioden var af samme størrelsesorden i de 2 lag. Som et gennemsnit af alle prøveudtagninger i hvert forsøgsled i hver af de to dybder var der omkring dobbelt så mange bakterier i Roskilde

som i Jyndeved uvandet og vandet afdeling (fig. 4). Der var et lidt højere bakterietal i den vandede afdeling end i den uvandede. Kun små forskelle blev fundet mellem behandlingerne.

FDA-aktiv svampebiomasse

Flere FDA-aktive svampe blev fundet i marts 1980 end ved resten af prøveudtagningerne i begge dybder på de tre forsøgssteder. I alle forsøgene var der flere svampe i 5–20 cm end i 0–5 cm (fig. 4). I det øvre lag ved Roskilde havde forsøgsledene FU og FM et større indhold af svampe end

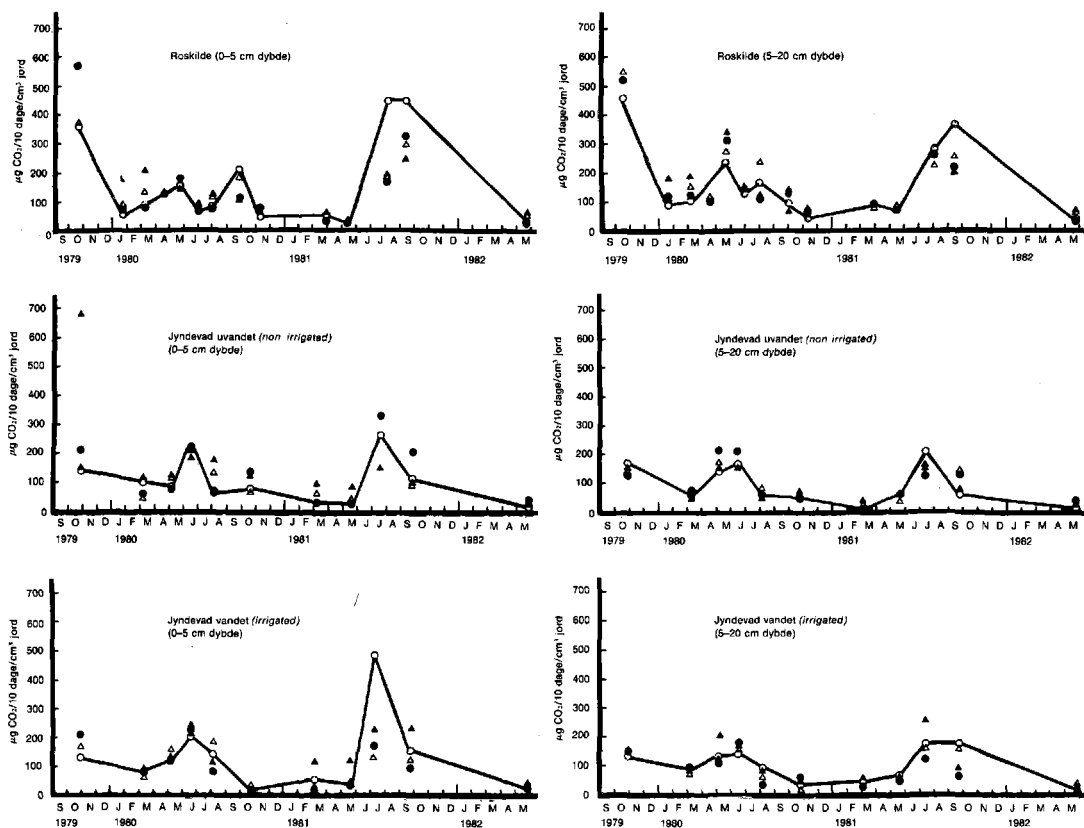


Fig. 5. CO₂ produktion målt gennem forsøgsperioden.
CO₂ production measured during the experimental period.

- Pløjning uden efterafgrøde
Ploughing without a catch crop
- Pløjning med efterafgrøde
Ploughing with a catch crop

- △ Fræsning uden efterafgrøde
Rotavation without a catch crop
- ▲ Fræsning med efterafgrøde
Rotavation with a catch crop

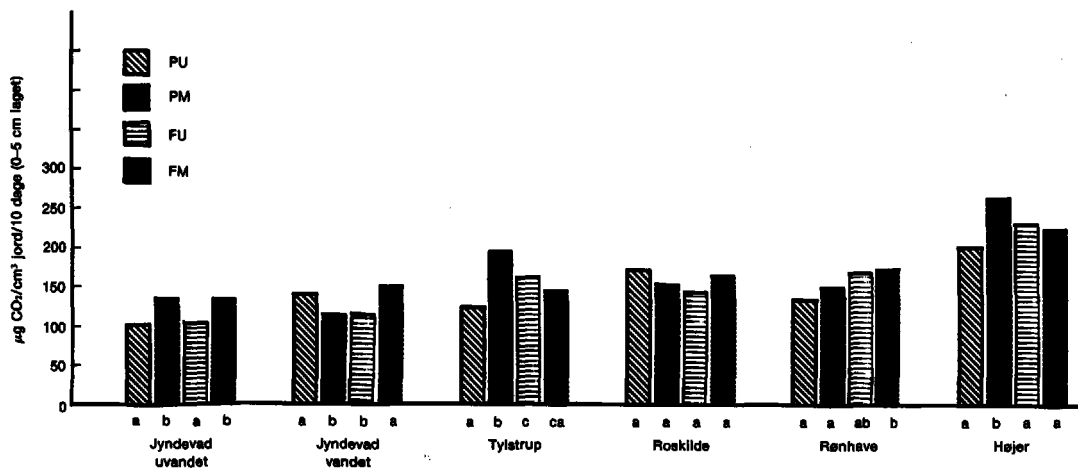


Fig. 6. CO₂ produktion i de fire forsøgsbehandlinger på forskellige jordtyper.
CO₂ production in the four experimental treatments on different soil types.

Søjler med samme bogstav indenfor hver lokalitet er ikke signifikant forskellig ($p < 0,05$).

Columns with the same letter on each of the localities are not significantly different ($p < 0,05$).

Forkortelser som i tabel 1.

Abbreviations as in table 1.

PU og PM. Der var ingen forskelle mellem behandlingerne i de 2 dybder ved Jyndeved uvandet afdeling, mens den vandede afdeling i begge dybder havde en større biomasse af FDA-aktive svampe i forsøgsleddene PM og FM end i PU og FU.

Mikrobiologisk aktivitet målt ved jordens CO₂ produktion

Fig. 5 viser CO₂ produktionen gennem forsøgsperioden i 0–5 cm og 5–20 cm dybde for Roskilde og Jyndeved, uvandet og vandet afdeling. Den største CO₂ produktion blev fundet forår og efterår på lerblandet sandjord ved Roskilde, mens grov sandjord ved Jyndeved, uvandet og vandet afdeling havde den største CO₂ produktion om sommeren. I alle forsøgene var der lidt mindre toppe af udskilt CO₂ i 5–20 cm end i 0–5 cm dybde, selv om den gennemsnitlige CO₂ produktion kun gav mindre forskelle mellem de to dybder (tabel 3). Som helhed fulgte CO₂ produktionen jordtemperaturen i marken, mens andre variationer så ud til at være forårsaget af jordens vandindhold (fig. 1) og indhold af let nedbrydeligt organisk stof.

CO₂ produktionen i 0–5 cm dybde var i gennemsnit for hele forsøgsperioden højere i Højer lerjord end i de andre jordtyper (fig. 6). På ingen af lokaliteterne målt væsentlige forskelle mellem behandlingerne. Dette skyldes sandsynligvis, at CO₂ produktionen blev målt i laboratoriet over en 10 dages periode ved 25°C, hvorved der kan ske en vis udligning af forskellene.

Mikrobiologisk aktivitet målt ved jordens ATP indhold

Ved måling af jordens ATP indhold kort tid efter prøveudtagning får man et bedre udtryk for den mikrobielle aktivitet, end ved måling af CO₂ produktionen over længere tid i laboratoriet. Man skal dog være opmærksom på, at måling af ATP indholdet på udtørrede lerjorde giver for store værdier, da frit ATP under disse forhold kan adsorberes til lerkolloider (Eiland, upubliceret).

I fig. 7 er vist ATP indholdet i 0–5 cm og 5–20 cm dybde ved Roskilde og Jyndeved, uvandet og vandet afdeling gennem forsøgsperioden 1979–1982. På lerblandet sandjord ved Roskilde fandtes i alle fire forsøgsled det største ATP indhold om efteråret 1979 og 1981, med mindre toppe

i de mellemliggende perioder. Forsøgsleddene PU og PM havde ved en del af prøveudtagningerne et lidt større ATP indhold i 5–20 cm end i 0–5 cm dybde (fig. 7), mens det gennemsnitlige ATP indhold kun gav mindre forskelle mellem dybderne i disse forsøgsled (tabel 3). I FU og FM var det gennemsnitlige ATP indhold større i 0–5 cm end i 5–20 cm dybde. Ved Jynde vad uvandet og vandet afdeling var der forårs- og efterårstoppe gennem forsøgsperioden i begge dybder og i alle forsøgsled (fig. 7). FU og FM havde ligesom ved Roskilde et gennemsnitligt større ATP indhold i 0–5 cm end 5–20 cm dybde (tabel 3). Der fandtes i FM leddet på vandet afdeling ved Jynde vad et bety-

deligt højere ATP indhold i 0–5 cm dybde end i 5–20 cm, hvilket må skyldes en kombineret effekt af fræsning, efterafgrøde og vanding.

Resultaterne fra Roskilde og Jynde vad viser, at den mikrobielle aktivitet er større i overfladen, hvor der fræses end i det underliggende lag, mens der er bedre mulighed for en konstant stor mikrobiel aktivitet ned til 20 cm dybde ved pløjning af jorden.

ATP indholdet taget som gennemsnit af forsøgsbehandlingerne i 0–5 cm faldt i følgende orden (fig. 8): Højer > Rønhave > Roskilde > Tylstrup > Jynde vad vandet > Jynde vad uvandet.

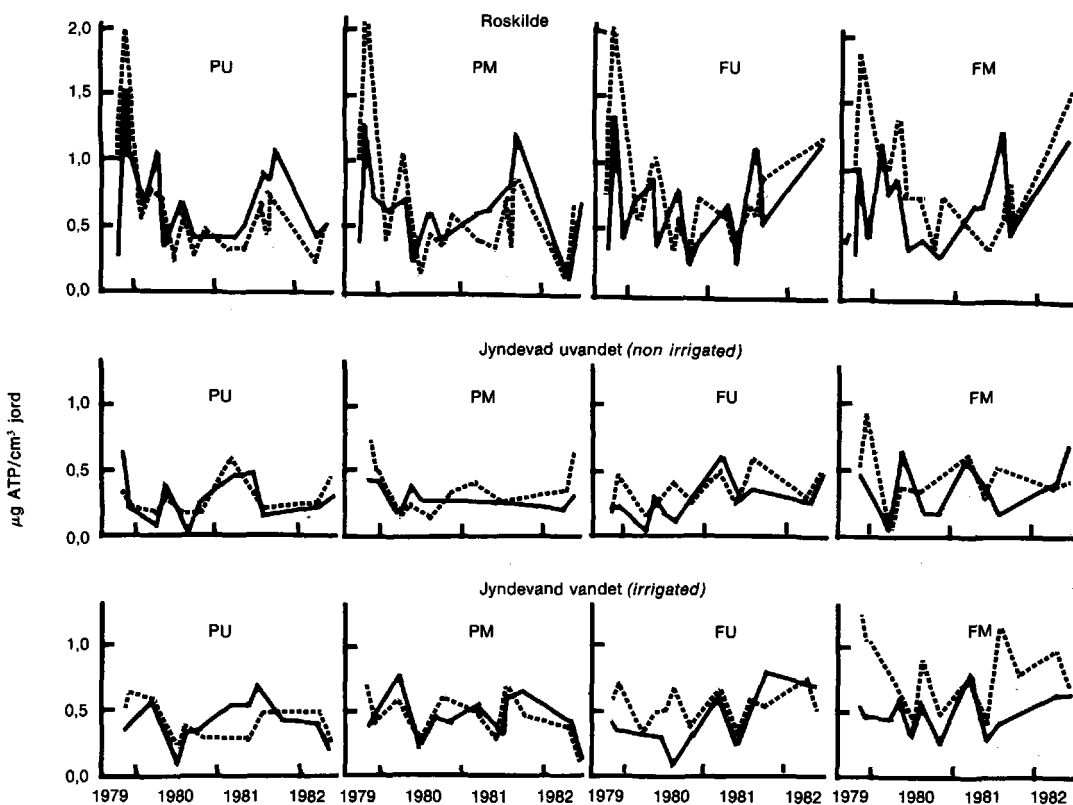


Fig. 7. ATP indhold målt gennem forsøgsperioden. Forkortelser som i tabel 1.
ATP content measured during the experimental period. Abbreviations as in table 1.

----- 0–5 cm dybde (depth)
—— 5–20 cm dybde (depth)

Tabel 3. Biomasse C, CO₂ produktion og ATP indhold i lerblandet sand (Roskilde) og uvandet- og vandet grovsand (Jyndeved)

Biomass C, CO₂ production and ATP content in sandy loam soil (Roskilde) and non-irrigated and irrigated sandy soil (Jyndeved)

Lokalitet Jorddybde	Forsøgs- behandling	Biomasse C $\mu\text{g biomass C/cm}^3$		CO ₂ produktion $\mu\text{g CO}_2/\text{cm}^3$		ATP indhold $\mu\text{g ATP/cm}^3$	
		0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm	0-5 cm	5-20 cm
Roskilde	PU	107	136	174	162	0,74	0,86
	PM	298	218	153	179	0,83	0,84
	FU	213	259	147	175	0,83	0,79
	FM	240	202	165	176	0,94	0,79
Jyndeved uvandet	PU	95	116	105	95	0,32	0,35
	PM	133	195	132	105	0,40	0,34
	FU	105	103	105	109	0,38	0,34
	FM	159	172	134	95	0,46	0,41
Jyndeved vandet	PU	77	118	141	106	0,44	0,44
	PM	118	148	111	86	0,46	0,49
	FU	133	139	116	102	0,57	0,51
	FM	147	177	151	119	0,83	0,61

Gennemsnit af alle prøver udtaget i perioden 1979-1982.

Average of all samples taken in the period 1979-1982.

Forkortelser som i tabel 1.

Abbreviations as in table 1.

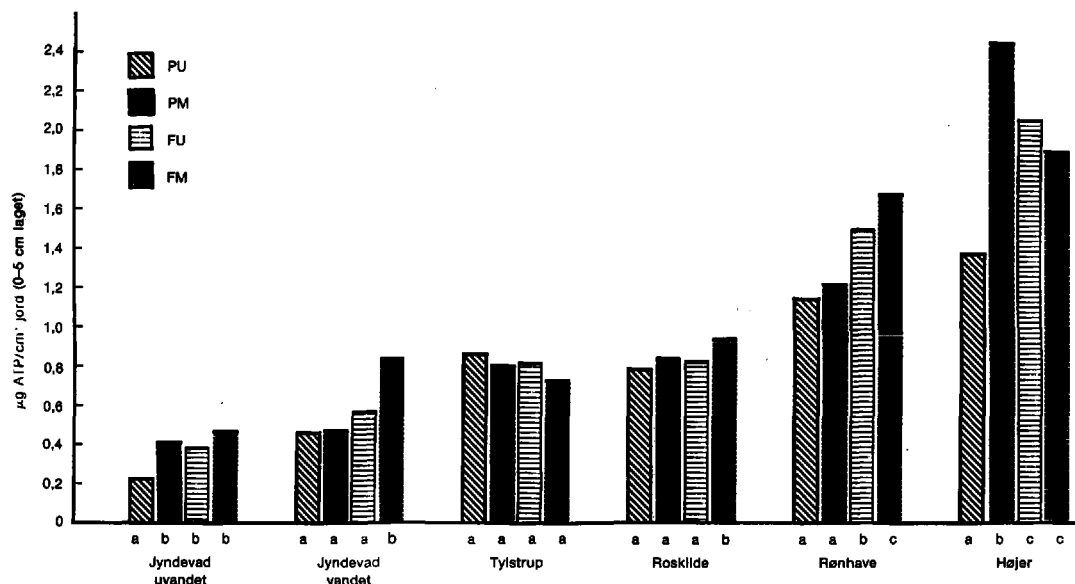


Fig. 8. ATP indhold i de fire forsøgsbehandlinger på forskellige jordtyper.

ATP content in the four experimental treatments on different soil types.

Søjler med samme bogstav indenfor hver lokalitet er ikke signifikant forskellig ($p < 0,05$).

Columns with the same letter on each of the localities are not significantly different ($p < 0,05$).

Forkortelser som i tabel 1.

Abbreviations as in table 1.

Der var en signifikant positiv korrelation ($p < 0,05$) mellem jordtyperne for biomassemålingerne (kloroformdampningsmetoden) og ATP indholdet ($r = 0,973$).

I FU var der i de fleste af jordene en større biomasse og et højere ATP indhold end i PU, mens der ikke var nogle forskelle på den målte CO_2 produktion mellem de to behandlinger (fig. 6 og 8). Nedmuldning af efterafgrøden ved fræsning eller pløjning gav en signifikant større biomasse og et højere ATP indhold end de tilsvarende jordbehandlinger uden efterafgrøde i en række af de undersøgte jorde.

Lynch og Panting (1980) fandt på lerjord i 0–8 cm dybde en større biomasse i ikke behandlet jord end i pløjet jord. *Powelson og Jenkinson* (1981) fandt, at biomasse kulstof og ATP indhold i 0–20 cm dybde ikke var forskellig i tre undersøgte jorde, og kun lidt større uden jordbehandling i en meget lerholdig jord.

De små forskelle fundet af *Powelson og Jenkinson* (1981) skyldes sandsynligvis, at de har målt i 0–20 cm dybde i modsætning til *Lynch og Panting* (1980), som målte i 0–8 cm dybde. Som helhed blev der i undersøgelserne ved Roskilde og Jyndevad fundet større forskelle mellem forsøgsbehandlingerne med hensyn til biomassens størrelse og ATP indhold i overfladejorden (0–5 cm) end i pløjelaget (5–20 cm).

Dehydrogenase-, cellulase- og fosfataseaktivitet

Dehydrogenase-, cellulase- og fosfataseaktivitet blev bestemt i 1979 og 1980 ved Roskilde og Jyndevad i 0–5 cm og 5–20 cm dybde. Gennemsnitstal og maximum- og minimumsværdier fra forsøgsperioden er angivet i fig. 9. Alle enzymbestemmelser gav en højere aktivitet i 5–20 cm end i 0–5 cm. Ved Roskilde (0–5 cm) var dehydrogenaseaktiviteten større i FU og FM end i PU og PM. Der var ingen forskelle mellem forsøgsbehandlingerne ved Jyndevad uvandet og vandet afdeling og heller ikke imellem de 3 øvrige lokaliteter. Fosfataseaktiviteten var i gennemsnit af forsøgsbehandlingerne (henholdsvis 0–5 cm og 5–20 cm) større ved Roskilde end ved Jyndevad. Fræsning med efterafgrøde gav en større aktivitet end de andre behandlinger. I Roskilde lå aktiviteten i PU

lavest. Cellulaseaktiviteten var større ved Roskilde end ved Jyndevad uvandet og vandet afdeling. I gennemsnit af forsøgsbehandlingerne var der en større cellulaseaktivitet i den vandede afdeling end i den uvandede. Ved Roskilde (0–5 cm) gav PU en lavere aktivitet end de andre behandlinger. Ved Jyndevad var der ingen forskelle mellem forsøgsleddene i uvandet afdeling, medens PM i den vandede afdeling gav den største aktivitet. I 5–20 cm var forskellen mellem forsøgsbehandlingerne normalt mindre end i overfladen.

I almindelighed øger jordbehandling mikrobiel biomasse og aktivitet (*Sommers & Biederbeck*, 1973). Denne effekt er imidlertid meget afhængig af den årstid, hvorpå jordbehandlingen foregår. Mikroorganismernes antal og aktivitet er normalt større i overfladen, hvor der benyttes reduceret jordbehandling, end hvor afgrøderester er nedmuldet ved pløjning. Dette gjaldt som helhed også i disse undersøgelser. I forsøg, hvor stubrester af vinterhvede blev dækket med jord, var mængden af svampe, actinomyceter og bakterier højere i overfladelaget (0–5 cm) fra reduceret jordbehandling end i jorde, hvor stubresterne blev nepløjet (*Dawson et al.*, 1948; *Norstadt & McCalla*, 1969). *Suzuki et al.* (1969) fandt, at mikrobielle populationer i 20–30 cm dybde sædvanligvis var større i pløjede jorde end i dem, der kun har fået overfladebehandling. ATP indholdet var også ved Roskilde og Jyndevad uvandet jord lidt større i pløjelagets dybde (5–20 cm) i pløjede led end i de led, der var ubehandlet i denne dybde, dvs. kun fræset i overfladen.

Ved reduceret jordbehandling findes der normalt et højere indhold af C og N i overfladen, end i den jord der er dyrket med konventionel jordbehandling (*Blevins et al.*, 1977; *Campbell et al.*, 1976; *Lal*, 1976). Denne tendens kunne også ses ved flere af de her undersøgte lokaliteter (tabel 1).

I 0–5 cm dybde fandtes der i de fleste af de undersøgte jorde en højere mikrobiel biomasse og aktivitet ved fræsning end ved pløjning. I forbindelse med både pløjning og fræsning gav efterafgrøden en stigning i den mikrobielle biomasse og aktivitet i 0–5 cm dybde, sammenlignet med de tilsvarende forsøgsled uden efterafgrøde.

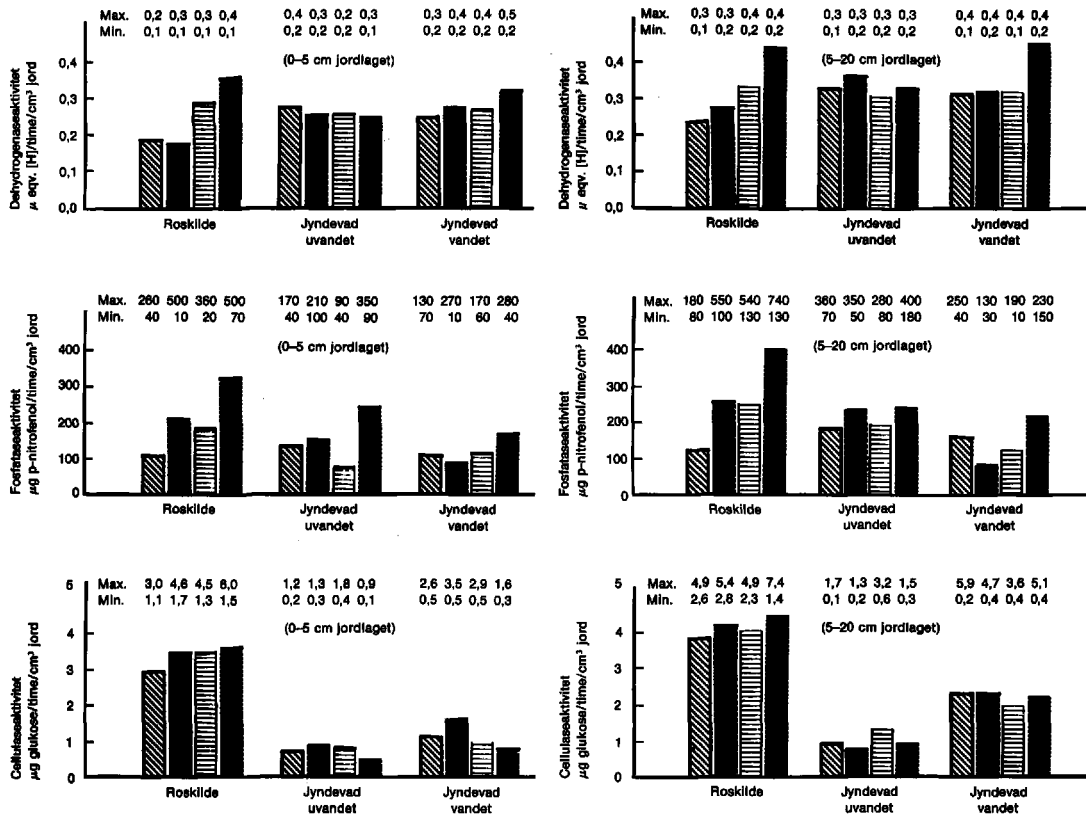


Fig. 9. Dehydrogenase, fosfatase og cellulaseaktivitet i jordene.
 Dehydrogenase, phosphatase and cellulase activity in the soils.

■ PU ■ PM ▨ FU ■ FM

Forkortelser som i tabel 1.
 Abbreviations as in table 1.

Andelen af svampe og bakterier

I jordprøver fra forsøgsleddet FM i Rønhave, Roskilde, Tylstrup og Jynde vad u vandet afdeling målt den relative andel af svampe- og bakterieaktivitet som beskrevet af Anderson og Domsch (1975) (tabel 4). Det gennemsnitlige indhold af svampe og bakterier i alle jordene var henholdsvis 80% og 20% af den totale mikrobielle population. Disse andele af svampe og bakterier er af samme størrelsesorden, som fundet i andre jorde. Anderson og Domsch (1975) fandt, at svampe/ bakterieforholdet i 3 tyske landbrugsjorde var henholdsvis 70/30, 65/35 og 80/20.

Tabel 4. Andel af svampe- og bakterierespiration i forskellige jorde

Contribution of fungi- and bacteria respiration in different soil types

Lokalitet	Udtagningsdato	Svampe (%)	Bakterier (%)
Roskilde	21/10-81	73	27
Rønhave	21/9 -81	83	17
Jynde vad	21/9 -81	88	12
Tylstrup	14/9 -81	77	23
\bar{x}		80	20

Alle jordprøver er fra forsøgsleddet »Fræsning med efterafgrøde«.

All soil samples are taken from the treatment »Rotavation with a catch crop«.

Biologisk kvælstofbinding

Ved anvendelse af acetylenreduktionsmetoden til måling af den aktuelle kvælstofbindingsaktivitet i marken er det nødvendigt at foretage målinger på jordprøver i så uforstyrret naturlig lejring som muligt. Man kan ikke som ved kemiske analyser anvende blandingsprøver bestående af mange delprøver. Dette bevirker, at der altid vil være en meget stor variation mellem de enkelte måleresultater, hvilket kan gøre det vanskeligt at opnå statistisk sikre forskelle. En anden vanskelighed består i, at måleresultaterne er stærkt påvirket af vejrliget umiddelbart før prøveudtagningerne. Har det nylig regnet, fås en høj aktivitet, medens tørt vejr i dagene forud for prøveudtagningen vil resultere i lav aktivitet.

Rimeligt pålidelige oplysninger om forholdene på en given lokalitet forudsætter derfor et omfattende antal målinger. De i fig. 10 afbildede resultater, som viser variationerne i kvælstofbindingsaktiviteten på de to lokaliteter, Roskilde og Jyndevad gennem hele forsøgsperioden, er beregnet

som gennemsnit af alle fire behandlinger og begge prøveudtagningsdybder (0-5 og 5-20 cm). Hvert punkt på kurverne repræsenterer gennemsnittet af målingerne på 16 enkeltprøver. Ved denne regningsmåde viser der sig en høj grad af parallelitet mellem den vandede og den uvandede afdeling ved Jyndevad, gennemgående med en lidt højere aktivitet i den vandede end i den uvandede del. Roskildejorden afviger herfra bl.a. ved langt større udsving i de målte aktiviteter, som på de fleste tidspunkter var tydeligt højere end ved Jyndevad. Variationerne i kvælstofbindingsaktiviteten beror hovedsagelig på svingninger i jordtemperatur og jordfugtighed samt på de tilgængelige mængder af omsætteligt organisk materiale (Jensen, 1981). Der er ikke foretaget målinger i de egentlige vintermåneder, fordi aktiviteten i denne periode på grund af den lave temperatur må formodes at være praktisk taget ophørt det meste af tiden. Modelforsøg i laboratoriet med jord fra Roskilde (upubliceret), har vist en meget svag aktivitet ved 5°C og derunder, og at aktiviteten

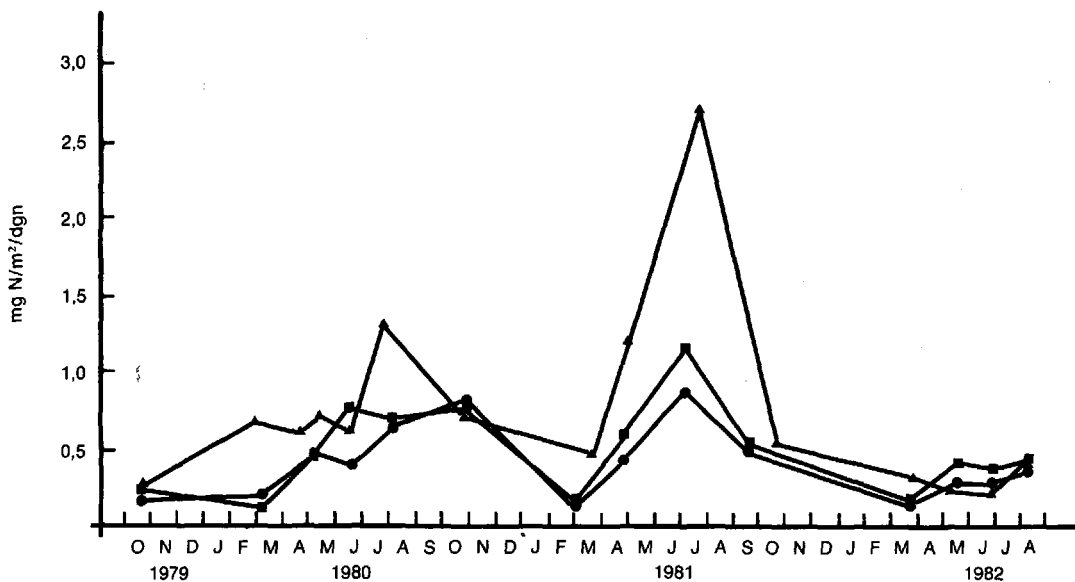


Fig. 10. Biologisk kvælstofbindingsaktivitet igennem undersøgelsesperioden.
Nitrogen fixation activity during the investigation period.

- ▲ Roskilde
- Jyndevad uvandet (*non irrigated*)
- Jyndevad vandet (*irrigated*)

stiger kraftigt med stigende temperatur i alt fald indtil 30–35°C. Temperaturen i danske jorde vil derfor altid være under det optimale for kvælstofbindingen og dermed aktivitetsbegrænsende.

Virkningen af jordfugtighed er hovedsagelig af indirekte karakter og forårsaget af jordvandets indflydelse på iltforholdene. De fleste fritlevende, kvælstofbindende bakterier fungerer bedst ved ganske lave iltpændinger (1% O₂ eller derunder) og hæmmes kraftigt af en atmosfære med normalt iltindhold (Jensen, 1981). Aktiviteten reduceres derfor til et minimum, når jorden er tør og dens porer luftfyldte. Dette er formentlig forklaringen på de meget lave aktiviteter målt i sommeren 1982.

For materialet som helhed var der ingen signifikant forskel mellem aktiviteten i 0–5 cm og i 5–20 cm dybde. I Roskildejorden var der dog en tendens til en lidt højere aktivitet i 5–20 cm laget, hvilket især var mærkbart i tørre perioder, hvor overfladejorden hurtigt tørrede ud. I Jyndevedjorden synes aktiviteten snarere at være højest i 0–5 cm laget, og det kan måske hænge sammen med, at vandindholdet og dermed iltforhold i den grove sandjord er ens i de to undersøgte dybder.

Kvælstofbindingsaktiviteten blev også målt på prøver udtaget fra dybereliggende jordlag ned til 100 cm dybde. Resultaterne viste imidlertid, at kvælstofbindingen i disse dybder er af så ringe omfang, at den er uden betydning for den totale kvælstofbinding på arealet. Den lave aktivitet i jorden under pløjelaget skyldes uden tvivl mangel på omsætteligt organisk stof, der kan levere energi til de kvælstofbindende bakterier. Det er sandsynligvis også først og fremmest denne faktor, der påvirker, at kvælstofbindingsaktiviteten i de udtagne prøver er tydeligt påvirket af rodmassen i prøven.

De i fig. 10 viste resultater er alene baseret på prøver, der i vækstsæsonen er taget mellem planterækkerne. Bygplanternes indvirkning på kvælstofbindingen blev undersøgt i en særlig forsøgsserie (Roskilde forsøgsstation), hvor prøver blev udtaget såvel mellem som i planterækkerne. Prøverne blev endvidere udtaget fra parceller med to forskellige gødskningsniveauer (30 og 120 kg N/ha). Målingerne viste, at kvælstofbindings-

aktiviteten gennemsnitligt var ca. dobbelt så høj i prøver med planter som i prøver udtaget mellem planterækkerne. Det viste sig endvidere, at forskellen var størst ved det høje kvælstofniveau. I prøver uden planter var der højere aktivitet ved 30 kg N/ha end ved 120 kg N/ha, hvorimod prøver med planter viste praktisk taget samme aktivitet ved de to kvælstofniveauer (Vinther, 1982).

Målinger udført på prøver med planter under identiske temperatur- og fugtighedsbetingelser viste en jævnt stigende aktivitet gennem byggens vækstperiode indtil slutningen af juni, hvorefter den igen aftog, åbenbart korreleret med byggens fotosynteseaktivitet. Det viste sig desuden, at hæmningsvirkningen af det tilførte kvælstof kunne måles indtil 6–7 uger efter gødskningen. De opnåede resultater tyder på, at plantevækstens stimulerende virkning på kvælstofbindingsaktiviteten både beror på produktion af rodexudater, der kan udnyttes som næring af de kvælstofbindende bakterier, og på, at planterne ved deres næringsoptagelse reducerer koncentrationen af lettilgængelige kvælstofforbindelser, som ellers ville hæmme de kvælstofbindende bakteriers aktivitet.

På grundlag af de udførte aktivitetsmålinger blev der foretaget beregninger af den totale kvælstofbinding på arealerne. Det viste sig, at der som gennemsnit for hele forsøgsperioden blev bundet 3,3 kg N/ha/år ved Roskilde, medens kvælstofbindingen ved Jyndeved beløb sig til 2,1 kg N/ha/år, ens for den vandede og uvandede afdeling.

Effekten af de fire behandlinger, PU, PM, FU, FM, på de fem lokaliteter er vist i fig. 11. Det fremgår heraf, at aktiviteten i FM ved Roskilde var signifikant ($p < 0,05$) højere end i de øvrige behandlinger, og det største bidrag til den gennemsnitligt større aktivitet i Roskilde i forhold til Jyndeved stammer fra denne behandling. Selv om denne behandling udelades af beregningen, vil den gennemsnitlige aktivitet dog stadig være større ved Roskilde end ved Jyndeved.

Det er vanskeligt at forklare, hvorfor netop disse behandlinger adskiller sig så stærkt fra de øvrige, og hvorfor dette i så udpræget grad kun er tilfældet ved Roskilde. Generelt skulle man for-

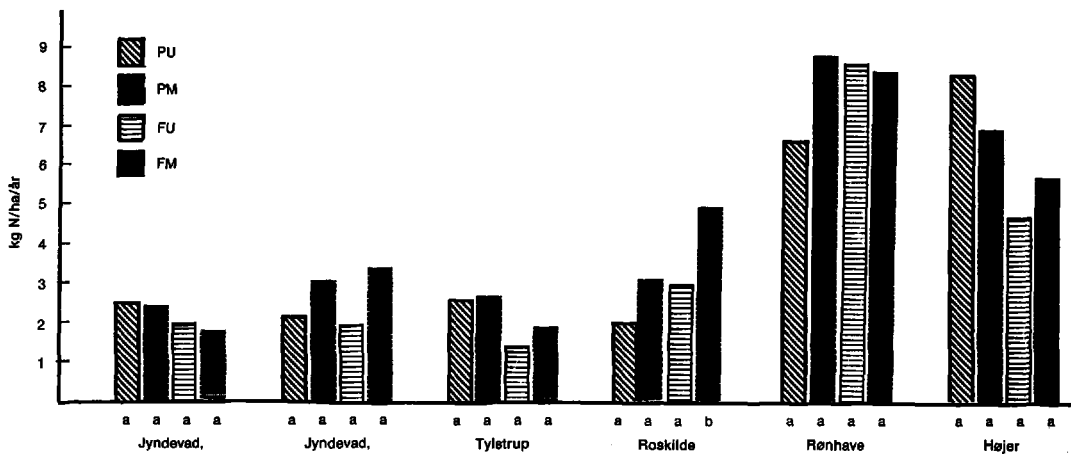


Fig. 11. Biologisk kvælstofbinding i de fire behandlinger på forskellige jordtyper. Søjler med samme bogstav indenfor samme lokalitet er ikke signifikant forskellige ($p < 0,05$). Forkortelser som i tabel 1.
Biological nitrogen fixation in the four treatments at different soil types. Columns with the same letter within the same locality are not significantly different ($p < 0,05$). Abbreviations as in table 1.

vente, at anvendelse af efterafgrøder ville have en stimulerende virkning på kvælstofbindingen, fordi den ekstra tilførsel af organisk materiale både skulle medføre en øget næringstilførsel til de kvælstofbindende bakterier og et øget iltforbrug i jorden resulterende i en nedsat iltspænding. Når disse virkninger ikke har været særligt mærkbare i disse forsøg, beror det formentlig på, at mængden af organisk materiale tilført med efterafgrøderne har været små i forhold til den samlede tilførte stofmængde. Resultaterne tyder endvidere på, at de lerholdige jorde (Rønhave og Højer) har en højere kvælstofbindingsaktivitet end sandjordene (Tylstrup og Jynde vad) med den lettere Roskildejord ind imellem.

De i denne undersøgelse fundne værdier for ikke-symbiotisk kvælstofbinding er i god overensstemmelse med, hvad der er fundet i udenlandske undersøgelser foretaget under lignende dyrkningsforhold. I en hvedeafgrøde i Californien målte man således en kvælstofbinding på ca. 4 kg N/ha/år (Steyn & Delwiche, 1970), og i en etårig græsafgrøde i England fandt man, at fritlevende kvælstofbindende bakterier maksimalt bandt 5 kg N/ha/år (Lockey & Cowling, 1977).

Tællinger og isoleringer af kvælstofbindende bakterier blev foretaget for alle fem undersøgte lokaliteter. Nogle af resultaterne er publiceret tidligere (Idris *et al.*, 1981). Bakterier af slægten *Azospirillum*, der er særligt tilpasset vækst og aktivitet i planternes rhizosfære, var til stede på alle lokaliteter, men i meget varierende antal. Den var tydeligt mest dominerende på sandjordene, især Jynde vad, medens de lerholdige jorde indeholdt en mere blandet flora af kvælstofbindende bakterier omfattende bl.a. *Azotobacter* og forskellige sporedannende bakterier.

I laboratorieforsøg med *Azospirillum* har man konstateret en kvælstofbindingseffektivitet svarende til 3–5 mg N/g organisk næringsstof (Okon *et al.*, 1977; Papan & Werner, 1981). Hvis effektiviteten er den samme under naturlige forhold i marken, vil det betyde, at en kvælstofbinding af den konstaterede størrelse (3–5 kg N/ha/år) kræver et forbrug af omkring 1000 kg organisk stof/ha/år, hvilket svarer til ca. 20% af den samlede årlige tilførsel af organisk stof, eller ca. 50% af kulstof udskilt i form af rodexudater, som her er sat til 60% af rodkulstof (Lynch & Panting, 1980). Martin (1977) målte kulstofudskillelsen i rodex-

udater (hvede) til ca. 20% af den totale assimilation, hvilket giver en endnu højere værdi end Lynch og Panting's (1980).

Selv om man anvender det sidstnævnte skøn (Martin, 1977), forekommer det usandsynligt, at de kvælstofbindende bakterier, der kun udgør en lille procentdel af den samlede mikroflora, skulle kunne lægge beslag på så stor en brøkdel af den samlede organiske stoftilførsel. Da de kvælstofbindende bakterier er stærkt knyttet til rhizosfæren, kan en mulig forklaring være, at rodexudaterne udgør en endnu større del af den samlede stofproduktion, end man tidligere har kunnet måle.

Under alle omstændigheder er det imidlertid overvejende sandsynligt, at det er den til rådighed værende mængde af organisk næring, der sætter den absolutte grænse for, hvor store kvælstofmængder der kan bindes af de fritlevende kvælstofbindende bakterier.

Denitrifikation

Målinger af denitrifikationen ved acetyleninhiberingsmetoden forudsætter, ligesom for kvælstofbindingens vedkommende, anvendelse af intakte jordprøver og er derfor forbundet med de samme vanskeligheder. Også her er det nødvendigt at indsamle et stort datamateriale, før statistisk signifikante forskelle kan påvises.

Resultaterne af denitrifikationsmålingerne ved Roskilde og Jydevad, er afbildet i fig. 12, hvor hver kurve ligesom i fig. 10 repræsenterer gennemsnittet af alle fire behandlinger og begge prøveudtagningsdybder. Hvert enkelt punkt repræsenterer også her gennemsnittet af målingerne på 16 enkeltprøver.

Ligesom for kvælstofbindingens vedkommende er aktivitetsniveauet gennemgående højere ved Roskilde end ved Jydevad, og selve kurveforløbene har også nogen lighed med kurverne i fig. 10. Denne lighed er let forklarlig, fordi de to

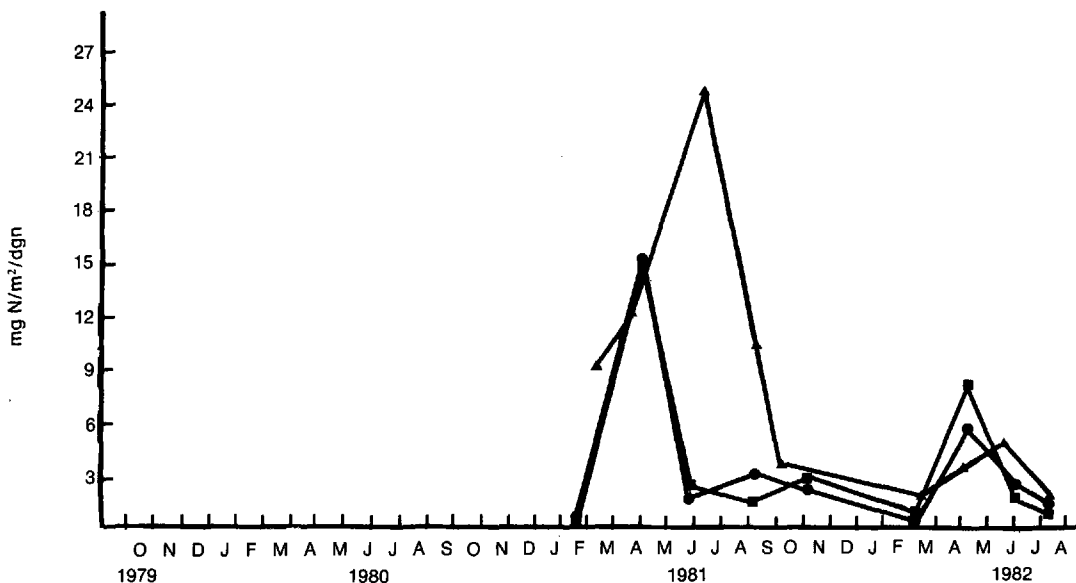


Fig. 12. Denitrifikationsaktivitet igennem undersøgelsesperioden.
Denitrification activity during the investigation period.

- ▲ Roskilde
- Jydevad uvandet (non irrigated)
- Jydevad vandet (irrigated)

processer påvirkes på samme måde af svingninger i temperatur og jordfugtighed og af mængden af omsættelig organisk materiale. Det lave niveau i 1982 sammenlignet med 1981 skyldes uden tvivl den relativt varme og tørre sommer i 1982, og den høje aktivitet i Roskildejorden i juni 1981 falder direkte sammen med en periode med stor nedbør (sml. fig. 1). På et væsentligt punkt afviger de to processer imidlertid fra hinanden, nemlig i forholdet til nitratkoncentrationen i jorden. En høj koncentration af nitrat virker hæmmende på kvælstofbindingen, men stimulerende på denitrifikationen. Denne forskel kommer især tydeligt frem, hvis man sammenligner kurveforløbene for Jynde vad i 1981. Denitrifikationsprocessen har sit maksimum i april-maj kort efter gødsningen, hvorefter den hurtigt daler til et lavt niveau resten af året. Kvælstofbindingen er derimod maksimal midt på sommeren, hvor det tilførte gødnings-N stort set er opbrugt af planterne. I Roskilde ses denne forskel ikke (1981), og det kan måske forklares ved, at nitratkoncentrationens påvirkning her helt overskygges af virkningerne af det varierende vandindhold i jorden.

Der kunne ikke påvises signifikante forskelle mellem de to prøveudtagningsdybder (0-5 og 5-20 cm). Dog synes der ved Roskilde at være en tendens til højere aktivitet i 5-20 cm dybden i overfladen. Ved Jynde vad gik tendensen mod højest aktivitet i 5-20 cm dybde i den vandede afdeling og i 0-5 cm dybde i den uvandede afdeling. Denne forskel er vanskelig at forklare, men er som nævnt heller ikke statistisk signifikant. Supplerende målinger på prøver udtaget fra dybereliggende jordlag (ned til 100 cm) viste, at der ikke finder nogen påviselig denitrifikation sted under 20 cm dybde. Den eneste undtagelse herfra var, at der i Jynde vads vandede afdeling kunne måles en svag aktivitet i 20-40 cm dybde, men dog ikke af et sådant omfang, at det får betydning for den totale denitrifikation.

De i fig. 12 afbildede resultater er alle baseret på målinger på jordprøver uden planter udtaget i vækstsæsonen mellem planterækkerne. I en supplerende forsøgsserie er foretaget sammenlignende målinger af prøver udtaget mellem rækkerne og prøverne udtaget i rækkerne, og det

viste sig, at prøver med planter i gennemsnit har en ca. 3 gange større denitrifikation end prøver uden planter (Vinther, 1983). Planternes stimulerende virkning på denitrifikationsprocessen kan forklares dels ved, at rodeksudater udnyttes som næring af de denitrificerende bakterier, dels - og måske især - ved at såvel rodrespiration som den kraftige mikrobiologiske aktivitet i rhizosfæren fremkalder et fald i iltspændingen omkring planterødderne.

Når denne aktivitet omkring planterne inkluderes i beregningerne, finder man, at det totale kvælstoftab ved denitrifikation i gennemsnit i den undersøgte periode var 39,3 kg N/ha/år ved Roskilde, medens der ved Jynde vad var et tab på henholdsvis 7,8 og 8,1 kg N/ha/år i de vandede og i de uvandede parceller. Dette svarer for Roskildes vedkommende til 36% og i Jynde vad til 6% af den tilførte kvælstofgødning. Denne forskel mellem Roskilde og Jynde vad er signifikant ($p < 0,05$).

Effekten af de fire behandlinger, PU, PM, FU, FM er vist i fig. 13. Ved Roskilde var denitrifikationen lavere ($p < 0,05$) i FM end i de øvrige behandlinger, men derudover kunne der ikke konstateres signifikante forskelle mellem behandlingerne på de fem lokaliteter. Derimod var der en tydelig effekt af jordtypen. De lerholdige jorde (Roskilde, Rønhave og Højer) havde en højere aktivitet end sandjordene (Tylstrup og Jynde vad). Især var aktiviteten høj i den lerholdige morænejord ved Rønhave. Resultaterne minder om de tilsvarende resultater for biologisk kvælstofbinding (fig. 11), men forskellen mellem lerjorde og sandjorde er størst for denitrifikationens vedkommende. Den gennemsnitligt større denitrifikation i lerjordene beror efter al sandsynlighed på, at der lettere fremkommer en nedsat iltspænding eller helt anaerobe forhold i sådanne jorde end i sandjordene. Undersøgelser af aktiviteten af renkulturer af denitrificerende bakterier efter podning i steriliseret jord viste samme forskel mellem ler- og sandjorde (Vinther et al., 1982).

Denne forskel i denitrifikationsaktiviteten mellem ler- og sandjorde er tidligere observeret i danske jorde (Lind, 1980) og i engelske jorde

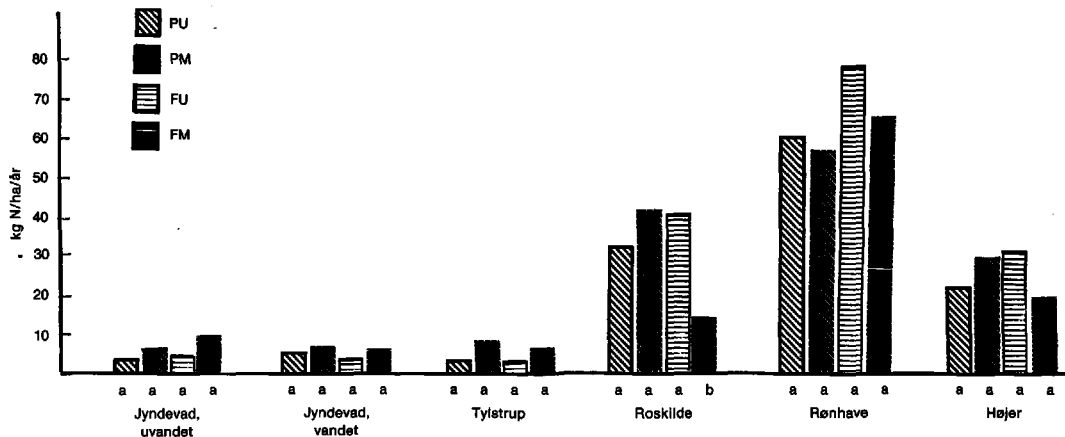


Fig. 13. Denitrifikation i de fire behandlinger på forskellige jordtyper. Søjler med samme bogstav indenfor samme lokalitet er ikke signifikant forskellige ($p < 0,05$, Forkortelser som i tabel 1.

Denitrification in the four treatments at different soil types. Columns with the same letter within the same locality are not significantly different ($p < 0.05$).

(Dowdell, 1982). I de engelske jorde fandt man desuden en højere aktivitet ved direkte såning end ved pløjning. På grund af usikkerheden forbundet med beregninger af den totale denitrifikation på basis af aktivitetsmålinger er oplysningerne i litteraturen om denitrifikationens totale omfang baseret på direkte målinger meget sparsomme. Rolston *et al.* (1978) fandt i forsøg under anvendelse af ^{15}N -mærket nitrat, at denitrifikationstab kunne variere helt fra 1% til 73% af det tilførte kvælstof. Ryden & Lund (1980) fandt ved målinger direkte i marken, at kvælstoftabet ved denitrifikation svarede til mellem 14% og 52% af det tilførte gødningskvælstof. Aslyng (1978) har beregnet, at der i forbindelse med korn dyrkning i Danmark sker et kvælstoftab på gennemsnitligt 55 kg N/ha/år, hvoraf 15 kg på drænedede jorde skønnes at hidrøre fra denitrifikation. Hvis de i denne undersøgelse fundne resultater kan anses for repræsentative for danske jorde med korn dyrkning, vil de svare til et væsentligt højere gennemsnitstal end de 15 kg, formentlig omkring det dobbelte. Som tidligere nævnt kræves der imidlertid et meget stort materiale af måleresultater, før man med sikkerhed kan udtale sig om denitrifikationens absolutte størrelse. Det er derfor ikke

muligt på det foreliggende grundlag at afgøre, hvilket af de foreliggende skøn, der kommer virkeligheden nærmest.

Tællinger og isoleringer af denitrifikationsbakterier blev udført på jordprøver fra alle fem undersøgte lokaliteter (Vinther *et al.*, 1982). Antallet af denitrifikationsbakterier varierede fra nogle tusind til nogle millioner pr. g jord, og der var god overensstemmelse mellem antallene og de målte aktiviteter med de højeste tal i lerjordene, specielt Rønhave, og de laveste i sandjordene. Denitrifikationsbakterierne udgjorde omkring 0,1% til 1% af den totale bakterieflora, bestemt ved pladespredning. Den dominerende type af denitrifikationsbakterier var arter af slægten *Pseudomonas*, først og fremmest *Pseudomonas fluorescens*. De opnåede resultater, såvel med hensyn til det samlede antal denitrifikationsbakterier som med hensyn til de observerede bakteriearter, er i god overensstemmelse med, hvad man har fundet andre steder i verden (se f.eks. Gamble *et al.*, 1977, og Focht, 1978).

Man kan teoretisk beregne, at der til denitrifikation af 1 kg nitrat-N medgår lidt over 1,5 kg C under forudsætning af, at dette nedbrydes fuldstændigt. Den i Roskilde-parcellerne målte deni-

trifikation modsvarer således et forbrug på ca. 65 kg C/ha/år, og i Jyndeved er forbruget kun omkring 12 kg C/ha/år. Disse relativt små næringsstofmængder vil formentlig altid være til rådighed i almindelige landbrugsjorde, og det forekommer ikke sandsynligt, at mangel på organisk næring kan være en direkte begrænsende faktor for denitrifikationsbakterierne, således som det er tilfældet for de kvælstofbindende bakterier. Denitrifikationen i marken må formodes først og fremmest at være bestemt af nitratkoncentrationen og iltspændinger. I den forbindelse må det imidlertid erindres, at et højt indhold af letomsætteligt organisk materiale i jorden altid resulterer i et højt iltforbrug og en deraf følgende lav iltspænding, og derfor indirekte vil stimulere denitrifikationsprocessen.

Kvælstofmineralisering

Målinger af kvælstofmineralisering ved analyse af jord før og efter en inkubationsperiode i laboratoriet er udført på jordprøver fra Roskilde og Jyndeved i månederne marts til oktober 1980 og i marts til august 1982. Resultaterne fra den første periode indgår i en specialrapport (*Jespersen & Vollmer, 1981*). I denne periode blev der også foretaget målinger af CO₂ produktionen samtidig med kvælstofmineraliseringen. Endvidere er der foretaget en del målinger af CO₂ produktionen fra de intakte jordprøver, som blev anvendt til denitrifikationsmålinger i 1981 og 1982.

De målte kvælstofmineraliseringsrater, beregnet som gennemsnit for de fire behandlinger og for dybden 0–20 cm, er afbildet i fig. 14. De laveste aktiviteter blev målt i det tidlige forår, og aktiviteten var også forholdsvis lav i byggens aktive vækstperiode, hvilket måske kan skyldes udskillelse af rodexudater med højt C/N forhold, som kan hæmme kvælstofmineraliseringen (*Huntjens, 1971*). De højeste aktiviteter er i begge perioder målt i august umiddelbart efter høst.

For hele materialet gælder, at der for hverken kulstof- eller kvælstofmineraliseringens vedkommende er konstateret signifikante forskelle mellem de fire behandlinger. En sammenligning af de to lokaliteter viser endvidere, at den gennemsnitlige CO₂ produktion er praktisk taget den

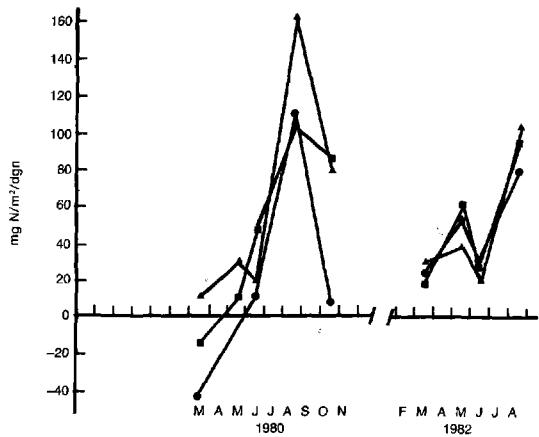


Fig. 14. Kvælstofmineralisering igennem undersøgelsesperioden.

Nitrogen mineralization during the investigation period.

- ▲ Roskilde
- Jyndeved uvandet (*non irrigated*)
- Jyndeved vandet (*irrigated*)

samme begge steder, hvilket også fremgår af CO₂ målingerne udført i forbindelse med biomassebestemmelserne (se fig. 6). Derimod er der tydelige forskelle mellem de to lokaliteter med hensyn til kvælstofmineraliseringen. I måleperioden i 1980 varierede mineraliseringen for prøver inkuberet ved 25°C fra -0,53 ppm til +0,75 ppm N/døgn ved Jyndeved og fra 0,17 til 1,3 ppm N/døgn for jordprøver fra Roskilde. I 1982 lå den gennemsnitlige aktivitet på samme niveau, men udsvingene var mindre, og der målte ingen negative værdier. Den kraftigere kvælstofmineralisering ved Roskilde hænger sammen med, at der i plantematerialet, som omfattes, er et betydeligt højere kvælstofindhold ved Roskilde end ved Jyndeved. *Andersen & Jensen (1983)* fandt således, at kvælstofindholdet i bygplanternes overjordiske dele umiddelbart før høst i 1981 var 1,0% ved Jyndeved og 1,6% ved Roskilde, og man må antage, at en lignende forskel gør sig gældende for andet plantemateriale fra de to lokaliteter.

I materialet fra 1980 var der ingen nær korrelation mellem samtidigt målte værdier for CO₂ produktion og kvælstofmineralisering. Det kan man imidlertid heller ikke forvente i sådanne relativt

kortvarige forsøg, idet forholdet mellem mineraliseret kulstof og kvælstof kan være meget forskellige på forskellige nedbrydningsstadier. Ved nedbrydning af materiale med et højt C/N-forhold vil netto kvælstofmineraliseringen i begyndelsen være nul eller negativ (immobilisering), men efterhånden som nedbrydningen skrider frem, må forholdet mellem mineraliseret kulstof og kvælstof forventes gradvis at nærme sig til C/N-forholdet i den jord, hvor nedbrydningen foregår.

I denne undersøgelse blev immobilisering af kvælstof kun iagttaget i prøver udtaget fra Jynde- vad kort efter kvælstofgødskningen i 1980. Når noget tilsvarende ikke blev observeret i 1982, kan det bero på, at prøverne blev udtaget på et senere tidspunkt i forhold til gødskningstidspunktet. Resultaterne tyder på, at man kan forvente en mikrobiel immobilisering af en del af gødningskvælstoffet i en periode efter udbringningen, når C/N-forholdet i det plantemateriale, som omsættes, er så højt, som det er tilfældet ved Jynde- vad.

Målinger af kvælstofmineraliseringsrater i laboratoriet kan ikke uden videre overføres til markforhold. Det er derfor ikke muligt at foretage egentlige beregninger af den totale kvælstofmineralisering i marken på grundlag af de foretagne undersøgelser. På basis af det samlede materiale kan man dog anslå den samlede kvælstofmineralisering til omkring 200 kg N/ha/år ved Roskilde og omkring 150 N/ha/år ved Jynde vad, antagelig lidt højere i den vandede del end i den uvandede.

Oplysninger om kvælstofmineraliseringen kan man også få ved opstilling af en kvælstofbalance, som det er forsøgt i tabel 5. For oplysninger om talmaterialets oprindelse henvises til afsnittet kvælstofbalancer (s. 266). Den kvælstofmineralisering, som kan beregnes på denne måde, må som anført i tabellen betragtes som minimumsværdier. Under planternes vækst sker der en fortløbende udskillelse af organiske kvælstofforbindelser i form af exudater og dødt plantevæv, og planternes reelle optagelse af mineralkvælstof har altså været større, end hvad der svarer til kvæl-

Tabel 5. Kvælstofbalance for Roskilde og Jynde vad, vandet del, kg N/ha
Nitrogen balance for Roskilde (sandy loam soil) and Jynde vad (coarse sandy soil), irrigated part, kg N/ha

	Roskilde		Jynde vad	
	- efter- afgrøde	+ efter- afgrøde	- efter- afgrøde	+ efter- afgrøde
Maksimalt N-indhold i plantebiomasse:				
Byg: Overjordisk	150	170	100	110
Underjordisk	50	57	31	33
Efterafgrøde	0	55	0	60
N i planter i alt	200	282	131	203
Tab af mineral-N ved:				
Denitrifikation	45	45	8	8
Udvaskning	19	19	59	59
Totalforbrug af mineral-N	264	346	198	270
N-tilførsel ved:				
Gødskning	120	160	120	160
Nedbør	12	12	14	14
Tilførsel af mineral-N i alt	132	172	134	174
Differens = minimum netto mineralisering	132	174	64	96

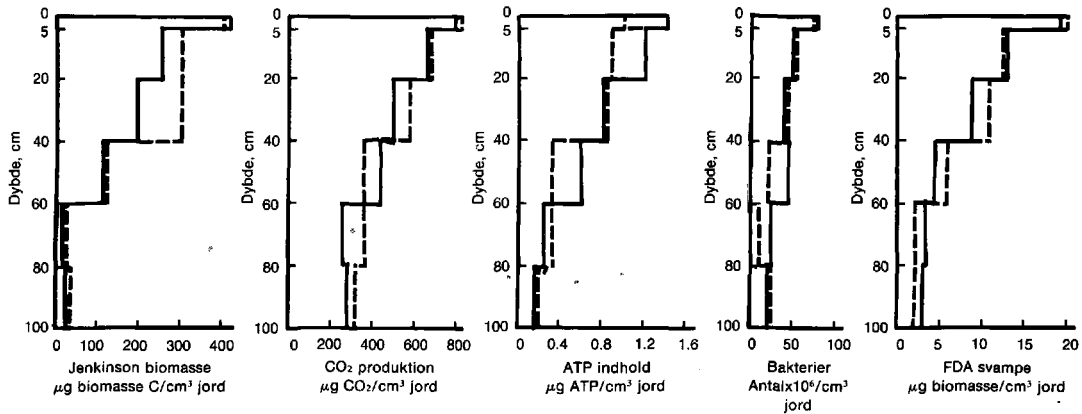


Fig. 15. Mikrobiel biomasse og aktivitet i en jordprofil (0–100 cm dybde) på Roskilde forsøgsstation.
 — Fræsning uden efterafgrøde. - - - Fræsning med efterafgrøde.
 Microbial biomass and activity in a soil profile (0–100 cm depth) at the Roskilde Experimental Station.
 — Rotavation without a catch crop. - - - Rotavation with a catch crop.

stofindholdet, når dette når sit maksimum. Det er derfor naturligt, at de således beregnede værdier er lavere end de tidligere anførte skønnede tal. Forholdet mellem de to lokaliteter er imidlertid nogenlunde det samme i begge tilfælde. Endvidere viser beregningsmetoden baseret på kvælstofbalancen en øget kvælstofmineralisering ved anvendelsen af efterafgrøder. Dette ville man naturligt også forvente, men forskellene har åbenbart været for små til at kunne konstateres ved direkte målinger.

Profilundersøgelse

På Roskildejorden blev der på jordprøver fra forsøgsleddene FU og FM foretaget en profilundersøgelse i april 1980 ned til 1 m dybde (fig. 15). Der blev bestemt biomasse med kloroformdampningsmetoden, CO₂ produktion, ATP indhold, bakterier på pladespredninger og FDA-aktive svampe. Alle metoder viste faldende værdier ned gennem profilen, med kun mindre forskelle mellem de to forsøgsled. Bakterietallet bestemt ved pladespredninger faldt kun til omkring det halve fra overfladen og ned til 1 m dybde, mens de andre metoder gav større forskelle mellem overfladen og de dybere liggende lag.

Regnorme

Antal og biomasse

Regnormebestanden i Roskilde domineredes af arten *Aporrectodea tuberculata*, samt i mindre grad af *A. rosea*. Kun undtagelsesvis fandtes eksemplarer af arterne *A. caliginosa*, *A. longa* og *Lumbricus terrestris* (fig. 17). Det største antal individer fandtes i de pløjede led, størst i behandlingerne med efterafgrøde; henholdsvis 32,1, 45,1, 13,0 og 27,0 indiv./m² i PU, PM, FU og FM. De tilsvarende biomasser var 11,9, 19,3, 5,6 og 11,9 g/m² (tabel 6).

I Rønhave domineredes regnormebestanden af henholdsvis *Aporrectodea caliginosa* og *Lumbricus terrestris* (fig. 19). Her var antallet lavt både ved pløjning og fræsning uden efterafgrøde. I behandlingerne med efterafgrøde var bestanden større; især ved fræsning med efterafgrøde var bestanden større (fig. 19); 4,8, 25,1, 8,0 og 39,9 indiv./m² i PU, PM, FU og FM. De tilsvarende biomasser var 3,9, 23,2, 12,0 og 45,8 g/m² (tabel 6).

I Højer domineredes bestanden af *Aporrectodea caliginosa* og *Allolobophora chlorotica* (fig. 23). Her var bestanden ved fræsning uden efterafgrøde større end ved Roskilde og Rønhave. Antallet var henholdsvis 27,0, 50,4, 24,9 og 41,8 individer/m² i PU, PM, FU og FM. De tilsvarende biomasser var 4,5, 9,1, 4,9 og 8,0 g/m² (tabel 6).

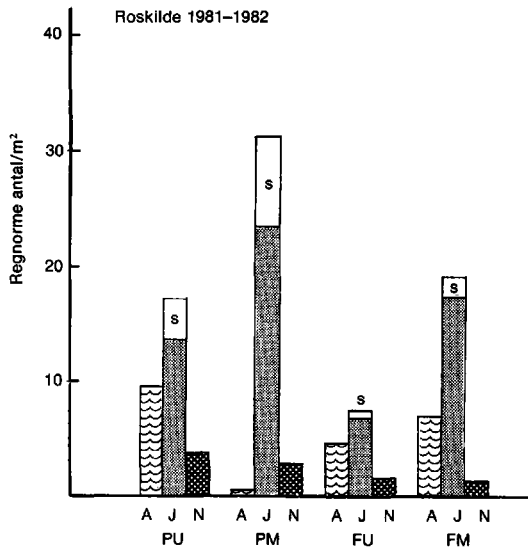


Fig. 16. Regnormenes fordeling på størrelsesklasser. A: Adulte. S: Subadulte. J: Juvenile. N: Nyklækkede. Andre forkortelser som i tabel 1.
Distribution of earthworms in developmental stages. A: Adults. S: Subadults. J: Juveniles. N: Newly hatched. Other abbreviations as in table 1.

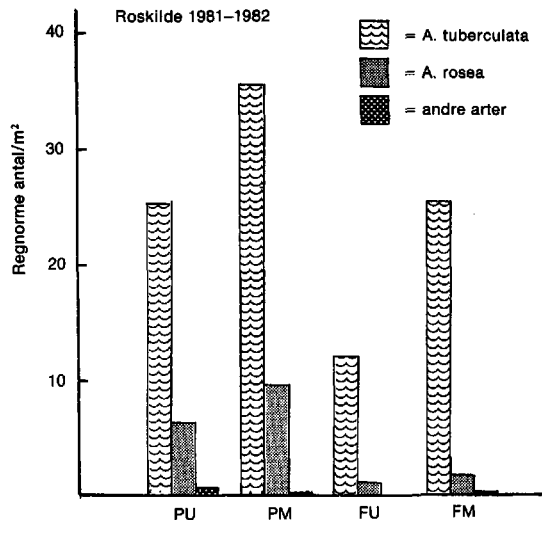


Fig. 17. Regnormebestandens artssammensætning. Forkortelser som i tabel 1.
Species composition of earthworms. Abbreviations as in table 1.

Tabel 6. Energiregnskab for den samlede regnormepopulation
Energy budget for the total earthworm population

Lokalitet/ behandling	antal No/m ²	biomasse g/m ²	respiration		assi- milation	con- sumption	tilført org.stof	cons./ tilf.org.
			l O ₂ /m ² /år	g C/m ² /år	kcal/m ² /år	g C/m ² /år	g C/m ² /år	%
Roskilde	PU	32,1	5,44	2,4	34,45	43,0	237	18
	PM	45,1	8,84	3,4	54,84	68,6	312	22
	FU	13,0	2,55	1,1	16,71	20,9	227	9
	FM	27,0	5,44	2,4	34,45	43,0	310	14
Rønhave	PU	4,8	1,93	0,8	12,82	16,0	293	5
	PM	25,1	11,49	5,0	70,52	88,1	343	26
	FU	8,2	5,94	2,6	37,46	48,8	278	18
	FM	39,9	22,69	9,9	135,76	169,7	331	51
Højer	PU	27,0	2,23	1,0	14,71	18,4	278	7
	PM	50,4	4,50	2,0	28,73	35,9	337	11
	FU	24,9	2,23	1,0	14,71	18,4	280	7
	FM	41,8	3,96	1,7	25,43	31,8	333	10

Regnorme indsamlet i perioden 1980-1982.
Earthworms gathered during the period 1980-1982.
 Forkortelser som i tabel 1.
Abbreviations as in table 1.

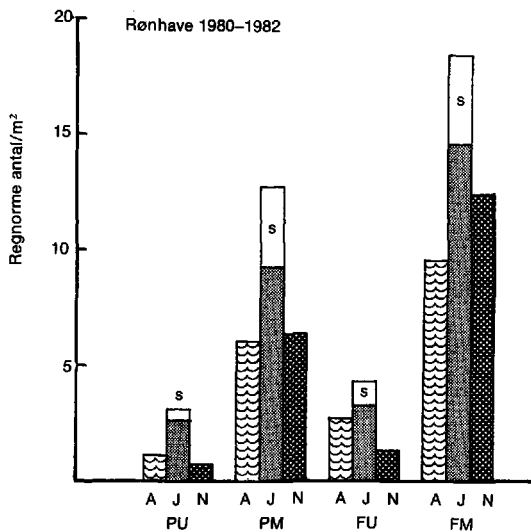


Fig. 18. Regnormenes fordeling på størrelsesklasser. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1.
Distribution of earthworms in developmental stages. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

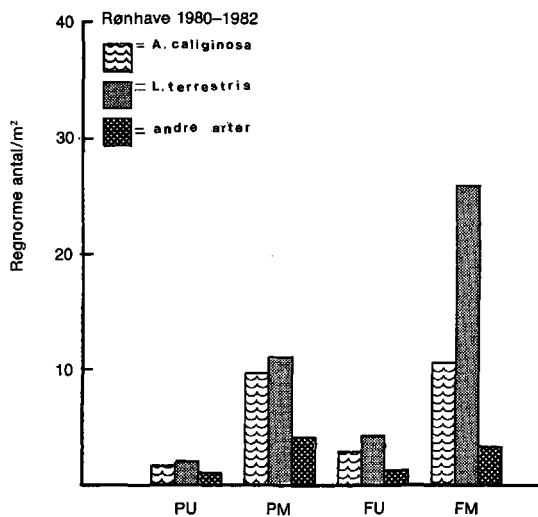


Fig. 19. Regnormebestandens artssammensætning. Forkortelser som i tabel 1.
Species composition of earthworms. Abbreviations as in table 1.

Artssammensætning og struktur

Ved Roskilde fandtes, bortset fra den dominerende art, *Aporrectodea tuberculata*, en mindre bestand af *A. rosea* i de pløjede led. *A. tuberculata* er noget større (15–16 cm) end *A. caliginosa* (10–12 cm), som fandtes i Rønhave og Højer. Ellers er deres biologi meget lig hinanden (s. 287). Ser man på populationens fordeling på de enkelte størrelsesklasser, observeredes der en tydelig overvægt i antallet af juvenile individer (fig. 16) i forhold til antallet af adulte, hvorimod antallet af nyklækkede individer var meget lavere end antallet af de andre størrelsesklasser. Dette gælder især ved fræsning og tyder på en relativ lav forplantningshastighed for *A. tuberculata*.

Ved Rønhave fandtes foruden *L. terrestris* og *A. caliginosa* kun et beskedent antal af arterne *A. rosea* og *Allolobophora chlorotica* (fig. 19). Med hensyn til fordelingen på størrelsesklasser udviser *A. caliginosa* (fig. 20) den samme tendens som *A. tuberculata* på Roskilde, dog var der ingen væsentlig forskel i antallet af nyklækkede indivi-

der mellem de forskellige behandlinger. For *L. terrestris* vedkommende var der betydeligt flere nyklækkede individer sammenlignet med *A. caliginosa* i forhold til antallet af juvenile i behandlingerne med efterafgrøde (fig. 21), hvilket tyder på en høj forplantning. Dette er årsagen til, at den samlede bestand udviser en forholdsvis stor andel af nyklækkede individer i PM og FM (fig. 18).

Ved Højer var der ca. halvt så mange *A. chlorotica* som *A. caliginosa* (fig. 23), og der var ingen forskel i antallet mellem de fire behandlinger af *A. chlorotica*. Med hensyn til fordelingen på størrelsesklasser (fig. 22, 24 og 25), var der ca. det samme antal adulte og nyklækkede individer, hvorimod antallet af juvenile var det dobbelte. Denne fordeling gælder for begge arter.

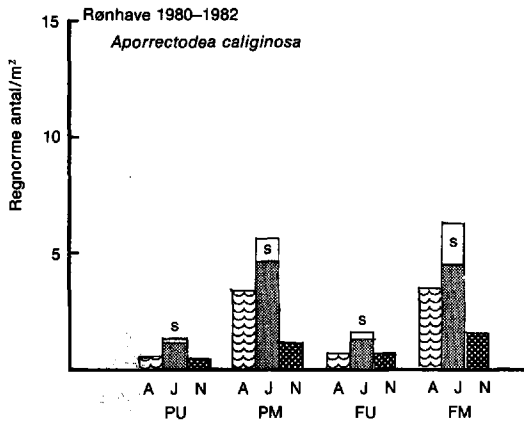


Fig. 20. Fordelingen på størrelsesklasser af *Aporrectodea caliginosa*. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1. Distribution in developmental stages of *Aporrectodea caliginosa*. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

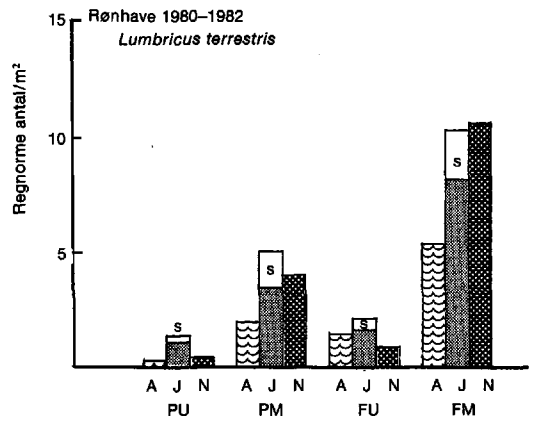


Fig. 21. Fordelingen på størrelsesklasser af *Lumbricus terrestris*. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1. Distribution in developmental stages of *Lumbricus terrestris*. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

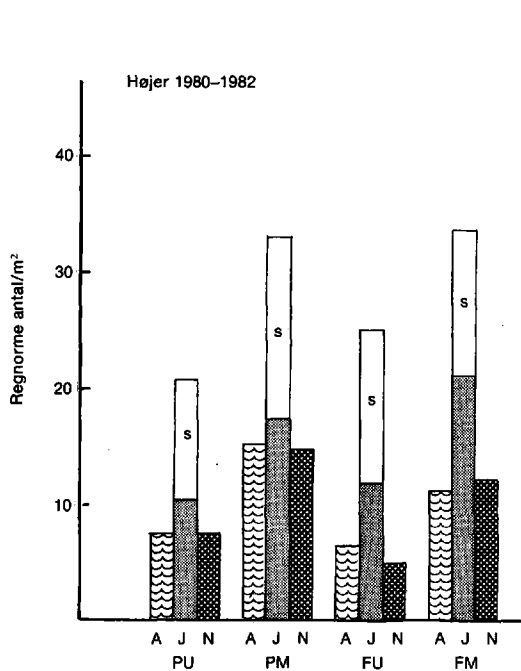


Fig. 22. Regnormenes fordeling på størrelsesklasser. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1. Distribution in developmental stages of earthworms. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

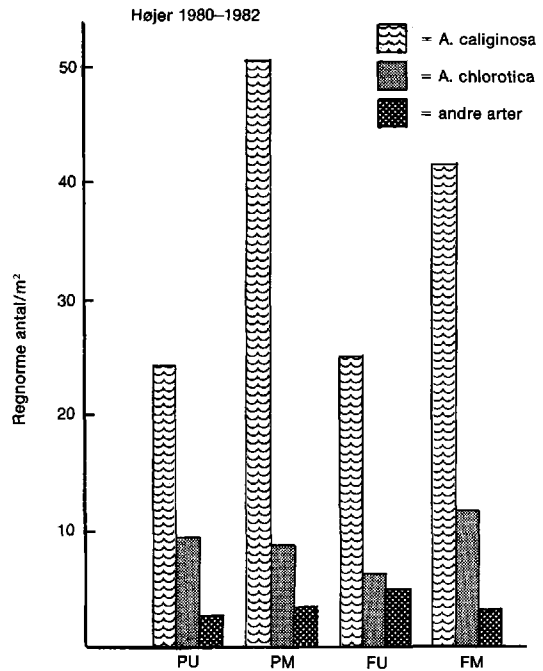


Fig. 23. Regnormebestandens artssammensætning. Forkortelser som i tabel 1. Species composition of earthworms. Abbreviations as in table 1.

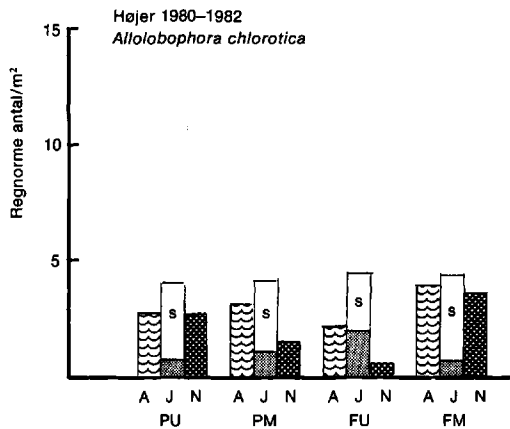


Fig. 24. Fordelingen på størrelsesklasser af *Allolobophora chlorotica*. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1. Distribution in developmental stages of *Allolobophora chlorotica*. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

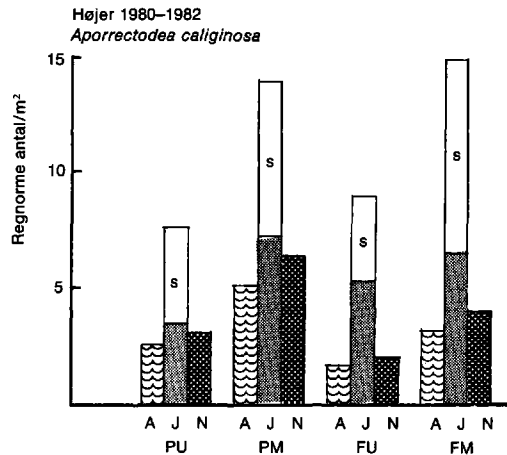


Fig. 25. Fordelingen på størrelsesklasser af *Aporrectodea caliginosa*. Forkortelser som i fig. 16 og tabel 1. Distribution in developmental stages of *Aporrectodea caliginosa*. Abbreviations as in fig. 16 and table 1.

Biologi i relation til behandlingerne

Alle arter af slægterne *Aporrectodea* og *Allolobophora* er stærkt knyttede til jorden og udviser ikke fødesøgende aktivitet på jordoverfladen, som det er tilfældet med *Lumbricus terrestris*. Dette forhold afspejles i deres graveaktivitet, idet arterne af *Aporrectodea* og *Allolobophora* graver et forgrenet netværk af gange i de øvre jordlag, dvs. pløjelaget. *L. terrestris* derimod har normalt kun et lodret rør, der tjener som udgangspunkt for fødeindsamlingen. Hos denne art foregår også parringen på jordoverfladen, hvorimod den hos de øvrige arter foregår nede i jorden. Disse forskelle i biologien bevirker, at de to grupper påvirkes forskelligt af pløjningen, henholdsvis fræsningen. Pløjningen skærer jorden fri i dybden og vender den, hvorimod fræsningen gennemarbejder et mere overfladisk jordvolumen. Når regnormene forstyrres af mekaniske rystelser, vil de udvise en flugtreaktion. *L. terrestris* vil søge dybere ned i lodret retning og bliver derfor mere udsat for mekanisk skade af ploven i form af overskæring, end ved fræsning. De mindre arter af slægterne *Aporrectodea* og *Allolobophora* er ikke i stand til at undslippe i dybden og vendes med rundt af ploven, hvorimod fræsningen vil

kunne ramme dem. På de sværere jorde i Rønhave og Højer ser det ud til, at fræsningen ikke skader disse arter så meget, som på den lettere Roskilde jord. Dette skyldes formentligt, at fræsningen i den lettere jord gennemarbejder og findeler jorden i større udstrækning end på de sværere jorde, hvor jorden hænger bedre sammen og løsnes i større klumper. Den principielle forskel i virkemåden af pløjning og fræsning resulterer også i en øget eksponering på jordoverfladen af regnormenes ægkapsler (kokoner) og nyklækkede individer, hvor de risikerer udtørring og at blive ædt af predatorer. Årsagen til, at fræsning er mindre skadelig for *L. terrestris* end pløjning, skal muligvis også søges i det forhold, at denne art aflægger sine kokoner dybere i jorden end de øvrige arter. Jordbehandlingstidspunktet, specielt fræsningen, er også af betydning med hensyn til den direkte mekaniske påvirkning af ormene. I forbindelse med etableringen af efterafgrøden efter høst foretages en fræsning, og der fræses også i behandlingerne uden efterafgrøde på dette tidspunkt. Dersom jorden er fugtig, vil en stor del af bestanden (90%) på dette tidspunkt kunne findes i de øverste 10 cm af jorden, hvor de vil være stærkt udsat for mekanisk påvirkning. Ved ned-

fræsningen af efterafgrøden i november–december, vil ormene på grund af den faldende temperatur have søgt dybere i jorden (40–70 cm dybde), hvor de overvintrer i sammenrullet tilstand. Dog vil kokoner, der er produceret i efterårsmånederne, og som først vil klækkes til foråret, stadig kunne blive eksponeret på overfladen. Disse negative effekter modvirkes af tilførsel af mere organisk stof fra efterafgrøden, men er som sagt mindre udprægede i de sværere jordtyper på Rønhave og Højer. De samme effekter af jordbehandling og efterafgrøde er fundet i forsøg på Ørritslevgård (Andersen, 1981): Her foretoges også undersøgelser af stubkultivering, som virkede stærkt negativt på ormene, og det antages, at denne behandling påvirker nyklækkede individer og kokoner på samme måde som fræsningen, hvorimod den direkte mekaniske påvirkning af større individer måske er mindre. Hvis der derimod blev pløjet efter stubkultiveringen, var bestanden af samme størrelse som ved pløjning alene. Disse forhold synes at godtgøre, at foruden den rent mekaniske skade, der påføres ormene af fræsning og stubkultivering, skyldes den negative effekt i mindst lige så stor udstrækning eksponering af kokoner og nyklækkede individer om efteråret og yderligere eksponering af kokoner i forbindelse med nedmuldning om vinteren. Disse forhold modvirkes altså af tilførsel af organisk stof, som forøger forplantningen. Tilsvarende effekter af jordbehandlingen er også fundet i eksperimenter med nedmuldning af halm med forskellige redskaber (Andersen, 1979), samt i udlandet i forbindelse med stubkultivering (Gerard & Hay, 1979). I Jydevad grovsandet jord synes regnormene yderst følsomme over for mekanisk påvirkning. Her var bestanden <2 indiv./m². I de levende hegn mellem markerne på Jydevad trivedes regnormene udmærket. I marker med 2. og 3. års kløver-græs på Jydevad fandtes også en god bestand af regnorme, hovedsagelig af *L. terrestris* og *A. caliginosa* henholdsvis 6 og 45 individer/m².

Omsætning af organisk stof

Regnormene er en betydningsfuld faktor med hensyn til omsætningen af organisk stof i jorden, idet de konsumerer og findeler store mængder. Derfor er de også vigtige for dannelsen af muldjord, hvilket først blev beskrevet af Darwin (1881) og Müller (1878). I systemer uden regnorme kan der ske en ophobning af uomsat plantemateriale, som først vil blive omsat, dersom der foretages en introduktion af regnorme i systemet (Stockdill *et al.*, 1982). Desuden er der en stor vekselvirkning mellem regnormene og mikrofloraen, idet regnormenes tilstedeværelse accellerer den mikrobielle omsætning (Barley & Jennings, 1958).

Den mængde organisk stof, som regnormene synes at æde (consumption) i de her undersøgte systemer, viser store forskelle mellem de forskellige behandlinger (tabel 6) og er direkte afhængig af den tilstedeværende biomasse. På grund af efterafgrødens stimulerende indflydelse på regnormebestandens størrelse er consumption af det gencirkulerede organiske stof her størst, og i de fleste tilfælde højest i de pløjede led sammenlignet med de tilsvarende fræsede; 22, 26 og 11% ved henholdsvis Roskilde, Rønhave og Højer. På grund af den store bestand af *Lumbricus terrestris* i FM ved Rønhave, var consumption her helt oppe på 51% af det gencirkulerede organiske stof.

Beregning af regnormenes produktion, baseret på McNeil & Lawtons (1970) ligning, giver næsten samme resultat, som hvis det baseres på regnormenes specifikke vækstrate målt i kulturer (Andersen, 1983). Derfor er den beregnede consumption ud fra assimilationen (respiration + produktion) muligvis en smule i underkanten af den reelle værdi. Respirationen hos *A. caliginosa* og *A. tuberculata* er vist i tabel 7.

Tabel 7. Regnormenes iltoptagelse
The oxygen consumption of earthworms

	µl O ₂ /g/time ved 12°C	
	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	<i>Aporrectodea tuberculata</i>
Adulte	43,76	44,71
Juvenile	63,68	59,80
Nyklækkede	62,30	

Tabel 8. Antal, biomasse og respiration af nematoder og enchytraeer (Jynde vad)
Number, biomass and respiration of nematodes and enchytraeids (Jynde vad)

Lokalitet/ behandling		Nematoder			Enchytraeer		
		antal/ m ² × 10 ⁶	biomasse g/m ²	respiration g C/m ² /år	antal/ m ² × 10 ³	biomasse g/m ²	respiration g C/m ² /år
Jynde vad (ikke vandet)	PU	1,24	0,78	1,6	3,0	0,26	0,3
	PM	1,26	0,79	1,6	4,1	0,35	0,4
	FU	0,76	0,48	1,6	5,1	0,41	0,6
	FM	4,76	3,00	6,1	100,3	8,62	10,4
Jynde vad (vandet)	PU	1,42	0,90	1,8	5,5	0,47	0,6
	PM	1,88	1,18	2,4	8,5	0,73	0,9
	FU	3,74	2,36	4,8	10,9	0,94	1,1
	FM	0,92	0,58	1,2	21,2	1,82	2,2

Forkortelser som i tabel 1.
Abbreviations as in table 1.

Nematoder og enchytraeer

Antal, biomasse og respiration for Jynde vad uvandet er vist i tabel 8. Både nematoder og enchytraeer udviser det største antal i FM. Antallet af nematoder var lavt i FU, mindre end ved pløjning, hvor antallet var det samme henholdsvis med og uden efterafgrøde. Antallet af enchytraeer i FU var derimod højere end i PU. Disse forskelle skyldes den forskellige fordeling af organisk stof i jorden ved henholdsvis pløjning og fræsning, samt forskelle i biologien hos de to grupper. Enchytraeer er på grund af deres større mobilitet i stand til at søge dybere ned i jorden ved udtørring, hvorimod nematoderne indtræder i en tilstand af anabiose (Nielsen, 1961). Antallet af nematoder var derfor lavt i FU, hvor der er risiko for udtørring og kun lidt organisk stof i dybden. Ved pløjning fordeles det organiske stof i et større jordvolumen, hvilket igen influerer på fordelingen af nematoder, hvorfor bestanden ikke påvirkes så meget af udtørring. Den store bestand af nematoder i FM skyldes, at fordampningen fra overfladen ved denne behandling er mindre end ved de øvrige. Antallet af enchytraeer er afhængigt af jordbehandlingen (fræsning > pløjning) samt af efterafgrøden (med efterafgrøde > uden efterafgrøde). Derimod synes udtørring ikke at spille samme rolle for antallet af enchytraeer som for antallet af nematoder.

I den vandede afdeling på Jynde vad er der ingen effekt af udtørring, og antallet af både nematoder og enchytraeer udviser de samme svingninger som følge af jordbehandling og efterafgrøde som i de uvandede behandlinger, men ligger på et højere niveau, hvilket viser, at der er en generel effekt af udtørring i de uvandede behandlinger. Imidlertid var det bemærkelsesværdigt, at antallet af nematoder var meget lavt ved fræsning med efterafgrøde, hvilket kan skyldes sekundære negative effekter som følge af store koncentrationer af organisk stof og højt vandindhold. Antallet af nematoder og enchytraeer var af samme størrelsesorden som i vedvarende græsland (Nielsen, 1961).

Kulstofregnskab

Tre forhold er af afgørende betydning for fastlæggelsen af et kulstofbudget, nemlig primærproduktionens størrelse, hvor stor en del af den, der gencirkuleres, samt størrelsen af den samlede jordbundsrespiration.

Primærproduktionen af byg er her forsøgt skønnet ud fra oplysninger om kerneudbyttet størrelse. Kerneudbyttets andel af planteproduktionen influeres kraftigt af klimatiske forhold i vækstperioden og omkring høsttidspunktet, samt af forekomsten af lejesæd. Det behøver derfor ikke altid at afspejle den virkelige størrelse af

planteproduktionen. Men på grund af mangel på målinger af bygproduktionens størrelse over en længere årrække er primærproduktionen skønnet ud fra de litteraturværdier, som er angivet s. 266. De ovennævnte usikkerheder fører til en underestimering af produktionens størrelse, selv om der er adderet 180 kg C/ha til dækning af generelt spild af materiale, som unddrager sig måling (kerner, avner og stak, samt visne blade, der er faldet af planterne under væksten).

Konklusionen er, at i det nævnte skøn (tabel 9¹⁾, vil den del af bidraget til primærprodukti-

onen, som er baseret på beregninger ud fra det målte kerneudbytte (kerne, halm, stub og rødder), ligge i underkanten. Til gengæld kan en værdi for rodexudaternes bidrag på 60% af rodmassen tænkes at resultere i en for høj værdi for størrelsen af den samlede primærproduktion. Hvis man derfor forsøger at fastlægge en øvre og nedre grænse for primærproduktionens størrelse, således at der regnes med 20% fra rodexudater, samt lægges 10% til kerneudbyttet, ændres det oprindelige skøn for primærproduktionens størrelse med $\pm 10\%$.

Tabel 9. Kulstofbalance
Carbonbalance

Lokalitet	Forsøgs- behand- ling	g C/m ² /år (1979-1981)					
		Kerne høstet	Total bygproduk- tion ¹⁾ + sennep	Tilbageført ¹⁾	Tilbageført Max. ²⁾	Tilbageført Min. ³⁾	Total re- spiration
Roskilde	PU	196	550	237	260	185	340
	PM	199	555 + 74	312	335	260	341
	FU	187	526	227	248	177	323
	FM	195	547 + 74	310	331	258	345
Rønhave	PU	244	682	293	321	229	272
	PM	245	686 + 80	343	367	285	307
	FU	231	647	278	304	217	343
	FM	236	661 + 80	331	354	275	339
Højer	PU	231	647	278	304	217	440
	PM	241	674 + 80	378	404	314	534
	FU	233	652	280	307	218	458
	FM	238	666 + 80	333	356	260	448
Jyndevad uvandet	PU	187	528	228	248	178	199
	PM	189	532 + 60	289	309	240	236
	FU	167	472	205	225	161	213
	FM	175	493 + 60	273	291	227	228
Jyndevad vandet	PU	227	634	271	297	211	245
	PM	259	657 + 80	360	388	298	197
	FU	222	567	243	265	190	217
	FM	226	574 + 80	326	352	272	270

Forkortelser som i tabel 1.

Abbreviations as in table 1.

¹⁾ Rodexudater = 60% af rod-C.

Rootexudates = 60% of root-C.

²⁾ Rodexudater = 60% af rod-C + 10% kerne.

Rootexudates = 60% of root-C + 10% grain.

³⁾ Rodexudater = 20% af rod-C.

Rootexudates = 20% of root-C.

Ser man på det gencirkulerede kulstof, vil mængden af dette forøges med 10% ved maximumsestimatet (tabel 9²), men formindskes med 20% ved minimumsestimatet (tabel 9³). Sidstnævnte skyldes den relativt store betydning af rodexudaterne for mængden af gencirkuleret kulstof i forhold til effekten af et højere anslået kerneudbytte. Gencirkuleret kulstof i efterafgrøden er holdt konstant.

Respirationen målt som udskilt CO₂ er som tidligere nævnt muligvis for høj på grund af forstyrrelser, da den er målt i laboratoriet. Dette modsvares af en mulig underestimering, da der kun er målt på jord fra 0–20 cm dybde. Sammenholdt med målinger på intakte jordprøver ved marktemperatur, var der dog nøje overensstemmelse mellem de to metoder (titrering og gaskromatografi). Imidlertid foregik begge typer målinger i laboratoriet, og det kan ikke udelukkes, at aktiviteten i de intakte jordsøjler er steget alene på grund af transporten til laboratoriet. Ved direkte målinger i marken registreres den totale jordbundsrespiration (mikroorganismer plus dyr plus rodrespiration, såfremt der er plantevækst). Derfor er det ved denne teknik nødvendigt at kende vækstforløbet af byggen og efterafgrødens rodsystem for at kunne summere bidraget fra rødderne i et årsbudget. Kendskab til jordbundsfaunaens bidrag kan fås ved en detaljeret analyse af artssammensætning og biomasse med påfølgende beregning af det respiratoriske bidrag, og den hermed forbundne consumption, fordi der eksisterer store forskelle mellem assimilation/consumption forholdet mellem de forskellige trofiske grupper. Således assimileres en større del af consumption, når man går fra herbivorer til predatorer. Desuden siger faunaens sammensætning noget om systemets tilstand i bredere forstand.

På grund af de ovennævnte usikkerheder er det nærmeste, man kan komme til en ide om størrelsesordenen af kulstofbalancen, hvad man kan se ved en sammenligning af den totale jordbundsrespiration med maximum- og minimumsestimaterne for mængden af gencirkuleret kulstof (tabel 9). På lerjordene ved Roskilde og Rønhave er der tilsyneladende balance i behandlingerne med ef-

terafgrøde. Her ligger balancepunktet nærmest maximumsestimatet. I andre tilfælde er der underskud af kulstof. I Højer er den totale respiration derimod langt højere end mængden af gencirkuleret kulstof. Disse resultater tyder på en tendens til underskud af kulstof i de undersøgte lerjorde. Den stærkt afvigende Højerjord af marin oprindelse passer ikke ind i mønstret for Roskilde og Rønhave. Dette skyldes måske netop den marine oprindelse af det organiske kulstof, der eventuelt er lettere omsættelig end det organiske kulstof i de terrestriske aflejringer. Sandjorden viser det modsatte billede, med tendens til ophobning af organisk kulstof. Her ligger balancepunktet nærmest minimumsestimatet. Dette skyldes en langsommere omsætning, hvilket bl.a. ses af det høje C/N forhold, omkring 15, imod ca. 10 i lerjordene. Den absolutte størrelse af denne ophobning er dog ret usikker. Det samme gælder størrelsen af et eventuelt C-underskud i de undersøgte lerjorde. På Jyndevad sandjord vides f.eks. heller ikke, hvorledes udfældningslag og vanding påvirker rodudviklingen i forhold til lerjorde. De relative tendenser mellem de enkelte behandlinger er derimod mere pålidelige og viser en generel negativ effekt af fræsning uden efterafgrøde.

Vekselvirkninger mellem biologiske og dyrkningsmæssige parametre

Vekselvirkningerne mellem biologiske og dyrkningsmæssige parametre er mange og komplicerede, foruden at jordbundstypen spiller en rolle. Derfor er det ikke altid let at forklare de variationer, som de undersøgte parametre udviser, hvilket også er tilfældet i denne undersøgelse, hvor der for det meste kun var små forskelle mellem de enkelte behandlinger. På trods af dette skal det her forsøges at sætte de forskellige biologiske og dyrkningsmæssige parametre i relation til hinanden (regnormenes antal og biomasse, denitrifikation, kvælstofbinding, jordbundsrespiration målt ved CO₂ produktion og ATP indhold, mikrobiel biomasse og størrelse af planteproduktionen), for at se hvorvidt resultaterne kan forklares ud fra den viden, man har om naturen af samspillet mellem de forskellige grupper af jordbundsorga-

nismer, når man også tager hensyn til effekten af jordbehandling og jordtype.

Ved tilførsel af yderligere mængder af organisk stof til jorden, som her i form af en efterafgrøde af gul sennep, vil mikroorganismernes øgede aktivitet resultere i et stigende iltforbrug, hvorved der opstår iltfattige zoner i jorden. Dette kan så give en øget denitrifikation. Regnormene som graver kanaler i jorden og herved forøger ilttilgangen, foruden at de bidrager til omsætningen af efterafgrøden m.m., skulle dog kunne mindske risikoen for en stor denitrifikation. Imidlertid er den effekt de måtte have, stærkt afhængig af jordbearbejdningen. Hertil kommer, at forskellige arter måske ikke har den samme betydning, på grund af en anderledes biologi.

Ved både Roskilde og Højer, hvor regnormefau-naen domineredes af den samme type mindre orme, *A. caliginosa* og *A. tuberculata*, fandtes den laveste denitrifikation i FM. Ved Roskilde var regnormebestanden i FM lidt mindre end i PM, hvor den var højest. Ved Højer var bestanden den samme i PM og FM. I PM var denitrifikationen væsentlig højere end i FM og af samme størrelse som i FU. Ved Højer var der ingen forskel mellem PM og FU. Det ser således ud til, at ved Roskilde er regnormebestanden i PM ikke stor nok til at kompensere for den dybere placering af det organiske stof, selv om det var her, den største bestand blev fundet. Både ved Roskilde og Højer var bestanden lavest i FU. Ved Højer synes den relative betydning af regnormene at være mindre end ved Roskilde, hvilket dels kan skyldes den sværere jordtype, dels at regnorme biomassen var lille i forhold til antallet af individer. I PU var denitrifikationen lavere end i PM, formentlig som følge af en mindre mængde nedpløjet organisk stof. Ved Rønhave var denitrifikationen større i FM end PM, hvilket er det omvendte af forholdene ved Roskilde og Højer. Her kunne det ligeledes tænkes, at der var en vis relation til jordtype og jordbundsfaunaens aktivitet, således at forstå, at på trods af en ret stor bestand af regnorme, især den dybtgravende *L. terrestris*, bliver jorden alligevel for kompakt i dybden i FM. I behandlingerne uden efterafgrøde ved Rønhave var bestanden af regnorme meget lav, og her var

der ligesom ved Roskilde og Højer en meget større denitrifikation i FU end i PU.

Den ikke-symbiotiske kvælstofbinding med *Azotobacter* og *Azospirillum* foregår bedst ved lave iltspændinger og finder sandsynligvis sted i mikrohabitater i jorden, hvor forholdene er passende i denne henseende, samt hvor der er en kilde af let nedbrydeligt organisk stof med et relativt lavt kvælstofindhold (Russel, 1976). Undersøgelserne viste at kvælstofbindingen sandsynligvis har en stærk tilknytning til rhizosfæren, og da planterødder i stor udstrækning følger regnormekanalerne, synes der derfor at eksistere et betydeligt samspil mellem planterødder, kvælstofbinding og regnormenes aktivitet. Loquet *et al.* (1977) fandt, at kvælstofbindingen var stærkt knyttet til regnormegangenes vægge. I 20–40 cm dybde fandtes 75% af jordens indhold af kvælstofbindere her. Årsagen til en sådan koncentration af kvælstofbindende bakterier, skal måske søges i regnormeekskrementernes ret finkornede struktur. Regnormene beklæder størsteparten af gangenes overflade med ekskrementer, som indeholder store mængder af lettillgængeligt kulstof og en del næringsstoffer. Den finkornede struktur kan tænkes at bevirke en meget stejl iltspændingsgradient over et forløb af nogle ganske få mm af gangenes vægtykkelse således at der opstår passende mikrohabitater for kvælstofbindingen. Lokaliseringen af disse vil variere i tid med skiftende fugtighed. Disse forhold forklarer også delvis, hvorfor planterødder så villigt følger regnormegangene, hvilket er særlig tydeligt i direkte såede marker (Ellis & Barnes, 1980).

De nævnte sammenhænge passer godt på forholdene i Roskilde, hvor den største kvælstofbinding fandtes i behandlingerne PM og FM, og hvor der ligeledes var den største regnormefau-na og mikrobielle biomasse. I Rønhave var det kun behandlingen PU, der med hensyn til kvælstofbinding var lavere end de øvrige, der ikke viste nogle forskelle. Det var også den behandling, der havde den laveste mikrobielle biomasse og bestand af regnorme. I Højer havde kun FU en lidt lavere kvælstofbinding end de øvrige behandlinger. Også her var bestanden af regnorme mindst.

At regnormene stimulerer den mikrobielle ak-

tivitet er blevet vist i flere undersøgelser (Parle, 1963; Barley & Jennings, 1958), og af tallene for mikrobiel biomasse fremgår det også, at den største mængde fandtes, hvor der var flest regnorme, og at det var behandlingerne med efterafgrøde, der gav de største værdier. Stockdill (1982) har blandt andet vist, at omsætningen af organisk stof fremmes i væsentlig grad af regnormenes tilstedeværelse, og at forholdene for plantevæksten forbedredes tilsvarende. Forholdene i Jynde vad viste en tendens til ophobning af organisk stof, og den yderst sparsomme regnormebestand her ($< 2/m^2$), kan være medvirkende til en lavere omsætnings hastighed. I Jynde vad var C:N forholdet ca. 15–16, imod 11–12 i de andre jorde. Den bestand af nematoder og enchytraeer som fandtes i Jynde vad, og som havde en respiration af samme størrelsesorden som regnormene på de øvrige lokaliteter, ser ikke ud til at kunne kompensere for de manglende regnorme. Dette skyldes sikkert, at de for langt størstedelens vedkommende er bakterie- og humusædere. De er således afhængige af bakteriernes virke og virker derfor heller ikke stimulerende på den mikrobielle omsætning i samme udstrækning som regnormene.

ATP indholdet i jorden målt ved de aktuelle temperatur- og fugtighedsforhold i marken varierede i nogen grad på samme måde som den totale jordbundsrespiration, fremfor at følge den mikrobielle biomasse. Dette skyldes primært, at cellernes ATP indhold er temperaturafhængigt (Eiland, upubliceret).

Ud fra karakteren af de interaktioner, der er skitseret i det ovenstående, skulle man således kunne forvente det bedste dyrkningsresultat, hvor den hurtigste omsætning af organisk stof finder sted, idet afgrøden kun får 50–60% af sit kvælstofbehov dækket af kunstgødningen. I denne undersøgelse synes den største omsætnings hastighed/aktivitet bedst at kunne karakteriseres ved størrelsen af biomassen af henholdsvis mikroorganismer og regnorme, som giver et udtryk for det »biologiske potentiale«. Ved respirationsmålinger kræves meget korte intervaller mellem målepunkterne gennem året for at opnå et pålideligt udtryk for omsætnings størrelse.

Kvælstofbinding synes ikke kvantitativt at spille den store rolle for planteproduktionen, men må nok alligevel ikke undervurderes, da den er stærkt knyttet til rhizosfæren. Denitrifikation synes ikke i disse undersøgelser at have spillet nogen rolle for udbyttet, hvilket sikkert hænger sammen med de ret høje N-doseringer med 90 kg N/ha i lørjorde og 120 kg N/ha i sandjorde.

Der blev ikke fundet en entydig sammenhæng mellem planteproduktionens størrelse, nedmulning af efterafgrøde og de mikrobiologiske forhold i jordene ved henholdsvis pløjning og fræsning. Men på alle jordtyper fandtes dog både en større planteproduktion og mikrobiel biomasse og aktivitet, samt jordbundsfauna i PM end i PU. Den samme effekt af efterafgrøden sås i de fræse de led, selv om planteproduktionen lå på et lavere niveau end i de pløjede.

Vanding af grovsand (Jynde vad) gav en øget planteproduktion og en større mikrobiel aktivitet målt ved ATP indholdet, mens der ikke var nogen effekt på biomassens størrelse. Der var en gunstig effekt af vandingen på nematoder og enchytraeer undtagen i FM, hvor antallet af disse organismer faldt. Kvælstofbinding lå kun ved enkelte prøveudtagninger lidt højere i den vandede afdeling end den uvandede og denitrifikationen var heller ikke forskellig i de to behandlinger.

Konklusion

- fræsning uden efterafgrøde gav i de fleste jorde større mikrobiel biomasse (kloroformdampning) og ATP indhold end pløjning uden efterafgrøde.
- efterafgrøden forøgede i de fleste jorde den mikrobielle biomasse og ATP indholdet både ved pløjning og fræsning.
- efterafgrøden gav en tendens til øget biologisk kvælstofbinding og denitrifikation.
- efterafgrøden havde en positiv effekt på jordens kulstofbalance.
- fræsning, især i mindre svær jord, skader særlig de mindre arter af regnorme, *A. caliginosa* og *A. tuberculata*.
- pløjning er mere skadelig for de store arter af regnorme, *L. terrestris*, end de mindre, *A. caliginosa* og *A. tuberculata*.

- efterafgrøden fremmer alle arter af regnorme.
- vanding af sandjorden forøgede ATP indholdet i jorden, især ved kombinationen fræsning med efterafgrøde.
- vanding af sandjorden forøgede kvælstofbindingen.
- vanding forøgede bestanden af enchytraeer og nematoder.
- lerjordene havde en større mikrobiel biomasse og ATP indhold end sandjordene.
- lerjordene havde en større kvælstofbinding, denitrifikation og kvælstofmineralisering end sandjordene.
- sandjordene havde en yderst ringe bestand af regnorme, sammenlignet med lerjordene.
- svampe og bakterier udgjorde henholdsvis 80 og 20% af den totale mikrobielle population.
- den største kvælstofbinding blev målt i byggens vækstperiode, hvorimod den højeste denitrifikation fandtes kort tid efter gødskning.
- regnormene kan fremme den biologiske kvælstofbinding.
- regnormene kan modvirke denitrifikation.
- regnormene fremmer omsætningen af efterafgrøden.
- enchytraeer og fritlevende nematoder kan ikke erstatte regnormenes virksomhed.

Erkendtlighed

Forfatterne ønsker at takke Professor Dr. phil. *N. Haarløv*, Professor Dr. agro. *V. Jensen* og Dr. agro. *L. H. Sørensen* for kommentarer til manuskriptet. Desuden en tak til *L. Bergstrøm*, *H. Hansen*, *L. Jørgensen*, *H. Kristiansen*, *J. Lenskjold*, *K. Lenskjold*, *L. Lerbech* og *M. B. Sørensen* for teknisk assistance. Undersøgelserne var finansieret af Statens jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Litteratur

- Alexander, M.* (1977): Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons, Inc. 113-114.
- Andersen, A. & Jensen, M. B.* (1983): Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. Bygplanternes morfologiske udvikling og kvælstofoptagelse samt aspekter af kvælstofbalancen. Tidsskr. Planteavl 87. 217-236.
- Andersen, C.* (1979): Jordbundszoologi og reduceret jordbehandling. Erfaringer fra ind- og udland. Ugeskr. Jordbr. 124, 179-184.
- Andersen, C.* (1981): Regnorme. I »Reduceret Jordbehandling Ørritslevgård 1972-80«. (*Villy Nielsen* ed.) Rapport nr. 1. Statens Jordbrugstekniske Forsøg, 75-80.
- Andersen, C.* (1983): Nitrogen turnover by earthworms in arable plots treated with farmyard manure and slurry. In *Earthworm Ecology* (*J. E. Satchell* ed.) Chapman and Hall. (In press).
- Anderson, J. P. E. & Domsch, K. H.* (1975): Measurement of bacteria and fungal contributions to respiration of selected agricultural and forest soils. *Can. J. Microbiol.* 21, 314-322.
- Anderson, J. P. E. & Domsch, K. H.* (1980): Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.* 130, 211-216.
- Aslyng, H. C.* (1978): Miljø og jordbrug, DSR-forlag, Kbh. 127 pp.
- Barley, K. P. & Jennings, A. C.* (1958): Earthworms and soil fertility. III. The influence of earthworms on the availability of nitrogen. *Australian J. Agri. Res.* 10, 364-370.
- Benefield, C. B.* (1971): A rapid method for measuring cellulase activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 3, 325-329.
- Bennetzen, F.* (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. I». Introduktion om plantenæringsstoffer og vandforurening med beskrivelse af forsøgsraealerne. Tidsskr. Planteavl 82, 81-108.
- Blevins, R. L., Thomas, G. W. & Cornelius, P. L.* (1977): Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.* 69, 383-386.
- Bremner, J. M.* (1965): Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbial properties* ed. by *C. A. Black*. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc., USA.
- Campbell, C. A., Paul, E. A. & McGill, W. B.* (1976): Effect of cultivation and cropping on the amounts and forms of soil N. p. 9-101. In *W. A. Rice* (ed.). *Proc. Western Can. Nitrogen Symp.*, Calgary, Alberta, Canada. 20-21 June 1976. Alberta Agric. Edmonton, Alberta, Canada.
- Crossley, D. A., Reichle, D. E. & Edwards, C. A.* (1971): Intake and turnover of radioactive cesium by earthworms (*Lumbricidae*). *Pedobiologia* 11, 71-76.
- Curl, H. & Sandberg, J.* (1961): The measurement of dehydrogenase activity in marine organisms. *Mar. Res.* 19, 123-138.
- Darwin, C.* (1881): The formation of vegetable mould through the action of worms. Murray, London.
- Dawson, R. C., Dawson, V. T. & McCalla, T. M.* (1948): Distribution of microorganisms in the soil as affected by plowing and subtilling crop residues. *Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull.*, 155.

- Dowdell, R. J. (1982): Fate of nitrogen applied to agricultural crops with particular reference to denitrification. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 296, 363–373.
- Eiland, F. (1979): An improved method for determination of adenosine triphosphate (ATP) in soil. *Soil Biol. Biochem.* 11, 31–35.
- Eiland, F. (1981): Organic manure in relation to microbiological activity in soil. In: *Agricultural Yield Potentials in Continental Climates. Proc. of the 16th Colloquium of the International Potash Institute held in Warsaw/Poland.* 147–156.
- Eiland, F. (1983): A simple method for quantitative determination of ATP in soil. *Soil Biol. Biochem.* (In press).
- Eiland, F., Hansen, J. F. & Nissen, T. V. (1979): Metodik ved undersøgelser over jordbundsorganismernes biomasse og aktivitet. *Tidsskr. Planteavl's Specialserie*, S. 1442, 1–55.
- Ellis, F. B. & Barnes, B. T. (1980): Growth and development of root systems of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. *Plant and Soil* 55, 283–295.
- Focht, D. D. (1978): Methods for analysis of denitrification in soils. Nitrogen in the environment. Vol. 2. *Soil-Plant-Nitrogen relationships* ed. by D. R. Nielsen & J. G. MacDonald. Acad. Press, London, 433–490.
- Gamble, T. N., Betlach, M. R. & Tiedje, J. M. (1977): Numerically dominant denitrifying bacteria from world soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 926–939.
- Gerard, B.-M. & Hay, R. K. M. (1979): The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *J. Agric. Sci.* 93, 147–155.
- Hansen, L. & Pedersen, E. F. (1975): Drænvandsundersøgelser. *Tidsskr. Planteavl* 79, 672–688.
- Huntjens, J. L. M. (1971): Influence of living plants on immobilization in permanent grassland. *Plant and Soil* 34, 393–404.
- Hutha, V. & Koskenniemi, A. (1975): Numbers, biomass and community respiration of soil invertebrates in spruce forest at two latitudes in Finland. *Annal. Zool. Fenn.* 12, 164–182.
- Idris, M., Memon, G. H. & Vinther, F. P. (1981): Occurrence of *Azospirillum* and *Azotobacter* and potential nitrogenase activity in Danish agricultural soils under continuous barley cultivation. *Acta Agric. Scand.* 31, 433–437.
- Jenkinson, D. S. & Powlson, D. S. (1976): The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. – V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8, 209–213.
- Jensen, V. (1981): Heterotrophic microorganisms. Nitrogen fixation. Vol I. Ecology ed. by W. J. Broughton. Clarendon Press, Oxford, 30–56.
- Jespersen, L. M. & Vollmer, O. (1981): Mineralisering og nitrifikation. *Specialrapport. Inst. f. Sporeplanter, Kbh. Univ. og Afd. f. alm. mikrobiologi og mikrobiel økologi, KVL.*
- Jørgensen, V. (1978): Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. *Tidsskr. Planteavl* 82, 633–656.
- Klekowski, R. Z., Wasilewska, L. & Papińska, E. (1972): Oxygen consumption by soil-inhabiting nematodes. *Nematologica* 18, 391–403.
- Krogh, A. (1914): The quantitative relation between temperature and standard metabolisms in animals. *Inter. Zeitschr. Phys. Chem. Biol.* 1, 491–508.
- Lal, R. (1976): No-tillage effects on soil properties under different crops in Nigeria. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 40, 762–768.
- Landbrugsministeriet (1972): Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. København.
- Lind, A. M. (1980): Denitrification in the root zone. *Tidsskr. Planteavl* 84, 101–110.
- Lockey, D. R. & Cowling, D. W. (1977): Non-symbiotic nitrogen fixation in some soils in England and Wales. *J. Br. Grassland Soc.* 47, 519–526.
- Loquat, M., Bhatnagar, T., Bouché, M. B. & Rouelle, J. (1977): Essai d'estimation de l'influence écologique des lombriciens sur les microorganismes. *Pedobiologia* 17, 400–417.
- Lynch, J. M. & Panting, L. M. (1980): Cultivation and the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 12, 29–33.
- Martin, J. K. (1977): Factors influencing the loss of organic carbon from wheat roots. *Soil Biol. Biochem.* 9, 1–7.
- Meteorologisk Institut (1979–1982): Ugeberetninger om nedbør m.m.
- McNeill, S. & Lawton, J. H. (1970): Annual production and respiration in animal populations. *Nature* 225, 472–474.
- Müller, P. E. (1878): Studier over skovjord som bidrag til skovdyrknings teori. I. *Tidsskr. Skovbrug* 3 (1–2).
- Nielsen, C. O. (1961): Respiratory metabolism of some populations of enchytraeid worms and freeliving nematodes. *Oikos* 12, 17–36.
- Norstadt, F. A. & McCalla, T. M. (1969): Microbial populations in stubble-mulched soil. *Soil Sci.* 107, 188–193.
- O'Connor, F. B. (1971): The enchytraeids. In: *Methods of study in quantitative soil ecology.* IBP handbook no. 18 (J. Phillipson ed.) Blackwell, Oxford, 83–106.
- Okon, Y., Albrecht, S. L. & Burris, R. H. (1977): Methods of growing *Spirillum lipoferum* and for counting it in pure culture and in association with plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, 85–88.
- Papen, H. & Werner, D. (1981): Organic acid utilization, succinate excretion and encystation during biphasic nitrogenase activity in *Azospirillum brasilense* under microaerobic conditions. I »*Azospirillum*, genetics, physiology, ecology« collected contribution of a Workshop, Bayreuth, 71–88.

- Parle, J. N.* (1963): Micro-organisms in the intestines of earthworms. *J. Gen. Microbiol.* 31, 1–13.
- Petrusewicz, K. & Macfadyen, A.* (1970): Productivity of terrestrial animals. IBP handbook no. 13. Blackwell. 190 pp.
- Phillipson, J., Abel, R. & Woodell, S. R. J.* (1978): Earthworm numbers, biomass and respiratory metabolism in a beech woodland-Wytham Woods, Oxford. *Oecologia. (Berl.)* 33, 291–309.
- Powlson, D. S. & Jenkinson, D. S.* (1981): A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 97, 713–721.
- Rasmussen, K. J. & Olsen, C. C.* (1983): Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. Vækstbetingelser, jordfysiske målinger og udbytte ved ensidig byg og sædskiftebyg. *Tidsskr. Planteavl* 87, 193–215.
- Rolston, D. E.* (1978): Application of gaseous-diffusion theory to measurement of denitrification. Nitrogen in the environment. Vol. 1. Soil-Plant-Nitrogen relationships ed. by *D. R. Nielsen & J. G. MacDonald.* Acad. Press, London. 309–351.
- Russell, E. W.* (1976): Soil conditions and plant growth, 10th Edition, Longman, London and New York, 849 pp.
- Ryden, J. C. & Lund, L. J.* (1980): Nature and extent of directly measured denitrification losses from some irrigated vegetable crop production units. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44, 505–511.
- Sommers, L. E. & Biederbeck, V. O.* (1973): Tillage management principles: soil microorganisms. In *Soil Conserv. Soc. Amer. Proc. Ankeny, Iowa*, 87–108.
- Steyn, P. I. & Delwiche, C. C.* (1970): Nitrogen fixation by non-symbiotic micro-organisms in some Southern Californian soils. *Environ. Sci. Tech.* 4, 1122–1124.
- Stockdill, S. M. J.* (1982): Effect of introduced earthworms on the productivity of New Zealand pastures. *Pedobiol.* 24, 29–35.
- Suzuki, T., Tokunaga, Y. & Watanabe, I.* (1969): Effect of the difference of tillage operations on microbial properties of soil layers. *Soil Sci. Plant Nutr.* 15, 280–291.
- Söderström, B.* (1977): Vital staining of fungi in pure cultures and in soil with fluorescein diacetate. *Soil Biol. Biochem.* 9, 59–63.
- Tabatabai, M. A. & Bremner, J. M.* (1969): Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1, 301–307.
- Vinther, F. P.* (1982): Nitrogenase activity (acetylene reduction) during the growth cycle of spring barley. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 145, 356–362.
- Vinther, F. P.* (1983): Total denitrification and the ratio between N_2O and N_2 during the growth cycle of barley. Proceedings of the Conference on Biological Processes and Soil Fertility. ISSS/BSSS Joint Conference, Reading, England.
- Vinter, F. P., Memon, G. H. & Jensen, V.* (1982): Populations of denitrifying bacteria in agricultural soils under continuous barley cultivation. *Pedobiologia* 24, 319–328.

Manuskript modtaget den 14. april 1983.