

Om staldgødningens mikrobiologiske sønderdeling.

I. Det organiske gødningskvælstofs nitrifikation.

Ved H. L. Jensen.

451. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Ved Statens Planteavls-Laboratoriums bakteriologiske afdeling er påbegyndt en række undersøgelser over sønderdelingen af det organiske kvælstof i forskellige staldgødningssorter. Nærværende beretning omhandler resultaterne af de indledende forsøg, hvor nitrifikationshastigheden er sammenlignet med udviklingen af mikroorganismer i jorden, samt enkelte forsøg over forskellige mikroorganismers evne til at sønderdele gødningens organiske kvælstofforbindelser i renkultur. Beretningen er udarbejdet af afdelingsbestyrer, dr. agro. H. L. Jensen.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Indledning.

Mangeårige forsøg ved Askov forsøgsstation og andetsteds (*Iversen og Dorph-Petersen, 1951*) har vist, at forskellen mellem staldgødningens og kunstgødningens virkningsgrad i hovedsagen er betinget af kvælstoffets tilgængelighed. I fast (forgæret) staldgødning repræsenterer kvælstoffet et helt spektrum af forbindelser fra ammoniak (normalt 20—30 pct.) til renprotein, det sidste for en stor del i organiseret form (bakterieceller). Af markforsøg (*Iversen og Dorph-Petersen, 1951*) fremgår det, at afgrøderne i et 4-års sædskifte gennemsnitlig kun optager ca. 30 pct. af staldgødningskvælstoffet, og karforsøg (*Poulsen, 1950*) har vist, at kun en del af gødningens ammoniakkvælstof optages af hurtigvoksende afgrøder (havre) i en udstrækning, der for en stor del afhænger af gødningens kulstof-kvælstofforhold. Medens ammoniakkvælstoffet, eventuelt efter iltning til

nitrat, er direkte tilgængeligt for planterne, er udnyttelsen af det organiske eller ialtfald proteinkvælstoffet betinget af en forudgående mikrobiel nedbrydning til ammoniak. Hvorvidt det organiske kvælstof kan udnyttes af den første afgrøde efter staldgødningens udbringning eller først komme senere afgrøder til gode i form af eftervirkning, såvel som eftervirkningens omfang, afhænger af denne nedbrydnings hastighed.

Omfattende laboratorieundersøgelser over staldgødningskvælstoffets nitrifikation i jorden er udført i Sverige af *Barthel* og *Bengtsson* (1917—1940). De første forsøgsrækker (1917—31) viste konstant, at i jord med tilsætning af normal, velomsat staldgødning nitrificeredes kun gødningens ammoniak i løbet af et år eller noget mere, medens det organiske kvælstof syntes fuldkommen resistent mod sønderdeling. Specielle gødnings-sorter (»Edelmist« og halmkompost) udviste nogen nitrifikation af det organiske kvælstof, hvilket hovedsagelig syntes at skyldes et snævrere C:N-forhold. Senere forsøg (*Barthel* og *Bengtsson*, 1934; *Bengtsson* og *Barthel*, 1935) viste, at hverken ekstra kraftig lufttilførsel eller behandling med syrer eller fedtopløsningsmidler fremskyndede nedbrydningen væsentligt; en begyndende nitrifikation af det organiske kvælstof i normal, gæret gødning kunne først konstateres efter 2—3 år og i friske koekskremler efter 5—8 måneder (her nitrificeredes antagelig det kvælstof, der under gæring ville være blevet omdannet til ammoniak); i gæret gødning med et abnormt snævert C:N-forhold (12.4—13.6:1) begyndte derimod nitrifikationen af proteinkvælstoffet efter 3 måneder. Endelig fandt *Bengtsson* og *Barthel* (1940), at endnu efter 4 år var mindre end halvdelen af gødningens protein sønderdelt.

Erfaringer fra markforsøg tyder dog ikke på, at staldgødningskvælstoffet ophobes i jorden i en så stor udstrækning, som man efter *Barthel* og *Bengtssons* resultater kunne vente. I forsøgene på Askov ler- og sandmark (*Iversen* og *Dorph-Petersen*, 1951) viste de staldgødede parceller i 1923—24 ganske vist et kvælstofindhold, der oversteg de ugødede parcellers med ca. 425—475 kg pr. ha, svarende til 36—40 pct. af det ialt tilførte gødningskvælstof, men heri indgår for en stor del den større mængde organisk stof i form af rod- og stublevninger, der var

efterladt i den staldgødede jord, og i tidsrummet fra 1923 til 1942 kunne ingen yderligere stigning i de staldgødede jorders kvælstofindhold påvises, til trods for anvendelsen af en større gødningsmængde efter 1923. Ophobningen af kvælstof synes således overvejende at have fundet sted i de første 30 forsøgsår. Dette stemmer med erfaringer fra de gamle gødningsforsøg ved Rothamsted (*Russell*, 1950), hvor kvælstofindholdet i de staldgødede parceller på Broadbalk ikke ændredes væsentligt fra 1914 til 1945, skønt der her var anvendt en endog meget stor gødningsmængde (200 lb kvælstof pr. acre årlig = ca. 180 kg/ha). *Bach* (1925) fandt i markforsøg nedbrydning af ca. 75 pct. af staldgødningens kulstof i løbet af et år. Der synes således at indstille sig en ligevægtstilstand, hvor staldgødningens organiske stof sønderdeles, efterhånden som det tilføres.

Også laboratorieforsøg svarende til de af *Barthel* udførte (*Glathe*, 1927; *Scheibe*, 1929; *Jensen*, 1931) har vist en tydelig omdend langsom og ufuldstændig nitrifikation af den organiske kvælstoffraktion i andre gødninger i løbet af et år eller mindre. Forskellige gødningsarter synes således at forholde sig forskelligt; *Bengtsson* og *Barthel* (1935) har fremsat den anskuelse, at det organiske stofs sønderdelelighed afhænger af fodringen, og citeret forsøg af *Virtanen*, der tyder på særlig hurtig udnyttelse af gødningskvælstoffet efter fodring med ensilage. Ved Statens Planteavlslaboratoriums bakteriologiske afdeling er derfor påbegyndt en række undersøgelser over sønderdelingen af de organiske kvælstofforbindelser i forskellige danske staldgødningsarter.

Forsøgsmetodik.

Nitrifikationsforsøg i jord udførtes efter det af *Barthel* og *Bengtsson* anvendte princip: jord med tilsætning af staldgødning i mængder svarende til 100—300 mg kvælstof pr. kg jord opbevarede i vidhalsede glasflasker (stedse to parallelforsøg) med løstsiddende prop, der tillod uhindret luftadgang. Ved ca. ugentlige vejninger erstattedes fordampningstabet med destilleret vand, og på forskellige tidspunkter udtoges prøver til kemisk og mikrobiologisk undersøgelse. Staldgødningerne anvendtes i fin-

malet tilstand efter forsigtig lufttørring (7—8 pct. vand), hvorved størstedelen af ammoniakkvælstoffet forsvandt, og den påfølgende nitrat- og ammoniakdannelse stammede således i hovedsagen fra det organiske gødningskvælstof, foruden fra jordens eget organiske stof.

Nitrat- og ammoniakkvælstof i jorden bestemtes efter *Olsen* (1929) ved ekstraktion med 1-n kaliumklorid ved pH ca. 1; i en alikvot af filtratet bestemtes $\text{NH}_4\text{-N}$ ved destillation med magniumoxyd, derefter $\text{NO}_3\text{-N}$ ved destillation med Devarda's legering. Humusbestemmelse i jord udførtes efter *Bondorff* (1946).

I staldgødningsprøverne bestemtes totalkvælstof efter *Kjeldahl*, ammoniakkvælstof ved destillation med magniumoxyd, renproteinkvælstof ved fældning med trikløreddikesyre (*Thorbeck*, 1945). I to af prøverne udførtes ved laboratoriets agriskemiske afdeling en bestemmelse af organisk kulstof efter *Ter Meulen*. Desuden udførtes en tilnærmelsesvis bestemmelse af de forskellige grupper af organiske stoffer i gødningen. Lignin bestemtes efter *Holmbergs* thioglykolsyre-metode (*Bengtsson*, 1936), cellulose efter *Jenkins* (1930) i residuum efter thioglykolsyre-behandlingen, pentosan (incl. polyuronider) efter *Kullgren* og *Tydén* (*Bengtsson*, 1936).^{*}

Mikroskopisk bestemmelse af det totale bakterieantal i jorden udførtes efter *Jones* og *Mollison* (1948). Tællinger af bakterier i stand til at vokse på kunstigt substrat foretoges på glucose-caseinagar (4 parallelskåle) i fortyndinger på 1:100,000—800,000. De fremkomne kolonier taltes efter 14 dages inkubation ved 25° C; der foretoges særskilt tælling af de actinomyceter (slægterne *Streptomyces* og *Micromonospora*, se *Waksman* (1950)), der umiddelbart kunne identificeres som sådanne. En række af de fremherskende bakterier og actinomyceter isoleredes for nærmere undersøgelse.

Nitrifikationsforsøg i jord.

Forsøg nr. 1. Hertil anvendtes to prøver af staldgødning fra opbevaringsforsøg ved Lyngby forsøgsstation, den ene (A) uden tilsætning, den anden (B) med 5 pct. halm; begge

^{*}) Disse analyser udførtes af assistent, landbrugskandidat H. Sørensen.

opbevarede i åben mødding, nedlagt september 1947, optaget april 1948. Gødningernes sammensætning fremgår af tabel 1, hvor der til sammenligning anføres sammensætningen af en af *Bengtsson* og *Barthel* (1940) undersøgt gødning, omregnet til tørstof. I betragtning af de talrige fejkilder, som bestemmelserne rummer, bl. a. vanskeligheden ved at adskille lignin og protein (*Bengtsson*, 1936—38), giver de forskellige stofgrupper en ret god redegørelse for størstedelen af gødningstørstoffet, hvortil kommer mindre mængder af andre bestanddele (organiske syrer, fedtstoffer, etc.).

Tabel 1. Sammensætning af gødninger i nitrifikationsforsøg nr. 1.

Gødning nr.	A	B	(Bengtsson & Barthel)
I gødningstørstof %:			
Total-N.....	2.008	1.896	2.261
NH ₄ -N.....	0.061	0.055	0.408
Organisk (total ÷ NH ₄)N.....	1.917	1.841	1.853
Renprotein-N.....	1.557	1.486	—
Kulstof.....	36.01	35.45	40.38
C:N-forhold.....	17.9	18.7	17.8
Stofgrupper i % af tørstof:			
Råprotein (org. N × 6.25).....	12.0	11.5	11.6
Cellulose.....	20.0	19.7	25.5
Pentosaner.....	15.9	14.0	18.2
Lignin.....	12.9	15.0	17.0
Aske.....	30.8	34.3	18.0
Ialt.....	91.6	94.5	90.3
C i organisk stof, %.....	52	54	49

Som grundsubstrat anvendtes en blanding af jord (let lermuld fra ugødet parcel i gødningsforsøg ved Lyngby forsøgsstation) og sand i forholdet 2:3, med tilsætning af 0.05 pct. sekundært calciumfosfat.

- 1 Kontroljord uden gødning.
- 2 Gødning A, 150 mg N/kg jord.
- 3 » » 300 » »
- 4 » B, 150 » »
- 5 » » 300 » »

Forsøget indledtes 20. juli 1948 og fortsattes 370 dage ved 25° C. Jordens reaktionstal var oprindeligt 7.5—7.6, men faldt i løbet af forsøget til 6.3—6.8. Vandindholdet var 8—9 pct. i kontroljorden og 10—11 pct. i jorderne med gødningstilsætning. Prøver udtoges til analyse efter 30, 62, 104, 260 og 370 dage.

I kontroljorden var bakterietallene, både de totale og på agarsubstrat, ret konstante, noget aftagende i forsøgets løb. I jorderne med gødning sås en meget stærk stigning efter 30 dage og for totaltallenes vedkommende også efter 62 dage, hvorefter der indtrådte et først brat, siden langsommere fald. Typiske eksempler (forsøgsled 1, 3 og 5) ses i figur 1; i jord med 150 mg N/kg udviste kurverne et lignende forløb med noget lavere tal. Hvis man regner med, at 1000 mill. bakterieceller vejer 1 mg og indeholder 25 pct. tørstof med 10 pct. kvælstof, svarer de højeste total-kimtal, ca. 800 mill./g, til en kvælstofmængde på ca. 20 mg/kg; det er således kun en ret ubetydelig del af gødningskvælstoffet, der på noget tidspunkt er fastlagt som bakteriesubstans. Det ses endvidere, at medens totalkimtallene i jord med gødning efter 30 dage kun er 3—4 gange så høje som agar-kimtallene, bliver forholdet mellem de to tal gradvis videre og nærmer sig mod forsøgets slutning til kontroljordens, hvor agar-kimtallene kun udgør 5—10 pct. af de totale tal; den »zymogene« flora, der udvikler sig umiddelbart efter gødningstilsætningen, synes således overvejende at bestå af organismer, der kan vokse på agarsubstrat. Bestemmelse af mængden af svampemycel efter Jones og Mollison (1948) forsøgt, men gav usikre resultater, da mycelfragmenter fandtes ret sparsomt og så uregelmæssigt fordelt, at signifikante forskelle mellem jorderne ikke kunne fastslås. Som helhed syntes svampene ikke at spille nogen større rolle under de foreliggende betingelser.

I de mikroskopiske tællinger domineredes billedet af små, korte stavbakterier, tildels næsten kugleformede. Det samme var tilfældet på agarsubstratet, hvorfra der isoleredes ca. 100 bakteriestammer foruden et betydeligt antal actinomyceter. De mest fremtrædende grupper af bakterier var:

1) Små, gramnegative, langsomt gelatinesmeltende stave dannende gult til brunligt pigment.

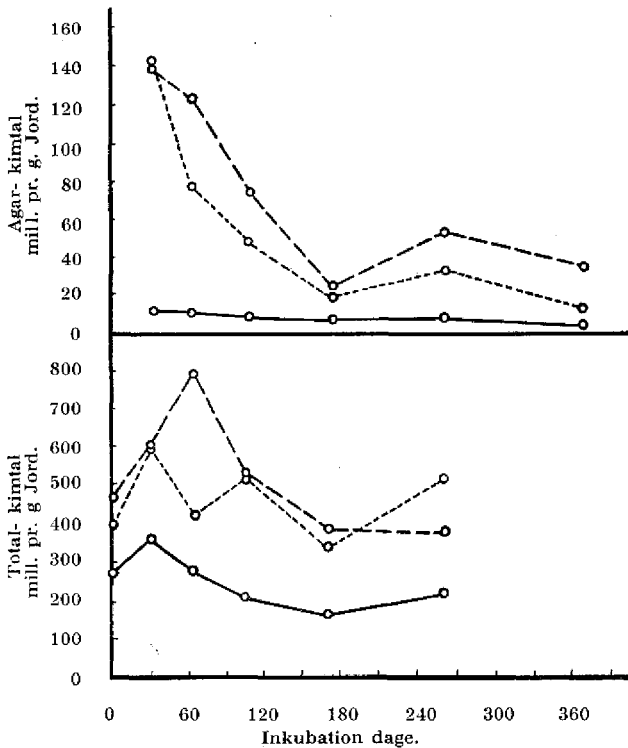


Fig. 1.

Fig. 1. — Bakterietællinger, nitrifikationsforsøg nr. 1. (Counts of bacteria, Exp. 1).

- Kontroljord uden gødning. (Control soil without manure).
- - - - - Jord + gødning A, 300 mg N/kg jord. (Soil + manure A, 300 p. p. m. N).
- Jord + gødning B, 300 mg N/kg jord. (Soil + manure B, 300 p. p. m. N).

2) Lignende, svagt eller ikke gelatinesmeltende, uden pigment.

3) Uregelmæssige, grampositive stave (*Corynebacterium*).

I de senere stadier af forsøget fandtes talrige delvis syrefaste, uregelmæssige stave, der dannede gult til lyserødt pigment (*Mycobacterium*). Sporedannende bakterier fandtes kun i meget ringe antal. Det store flertal af bakterierne dannede meget små og langsomt voksende kolonier, der først blev synlige efter 8—10

dages inkubation. Deres biokemiske aktivitet i kunstige substrater var forholdsvis ringe; gelatinesmeltning var svag eller manglende, mange dannede lidt ammoniak af pepton, men kun ca. 25 pct. af casein; ca. 33 pct. reducerede nitrat til nitrit; glucose forgæredes under syredannelse af 44 pct. af stammerne, maltose af 22 pct., andre kulhydrater kun af meget få; ingen af 85 undersøgte stammer var i stand til at sonderdele cellulose i form af

Tabel 2. Nitrifikationsforsøg nr. 1 (Gødning A og B).

	Inkubation dage	Gødning A		Gødning B	
		150 mg N	300 mg N	150 mg N	300 mg N
(NO ₃ + NH ₄) N), mg/kg,	0*)	6.8	13.7	4.4	8.7
overskud over kontroljord	30	÷ 0.3	16.2	÷ 7.4	3.0
uden gødning	62	32.8	63.5	19.6	39.2
	104	36.2	65.8	30.4	54.5
	175	40.7	74.6	20.8	61.3
	260	33.4	77.8	33.1	72.3
	370	(48.4)	(86.4)	(41.3)	(49.1)
% organisk gødnings-N mineraliseret	30	÷ 5.2	0.9	÷ 8.1	÷ 2.0
	62	18.2	17.4	10.4	10.5
	104	20.6	18.2	17.9	15.7
	175	23.7	21.3	11.3	18.0
	260	18.6	22.4	19.7	21.8
	370	(29.2)	(25.4)	(25.3)	(13.9)

*) Overskuddet ved forsøgets indledning repræsenterer her som i de følgende forsøg det med gødningen tilførte ammoniakkvælstof.

Tabel 3. »Eftervirkning« af staldgødning i nitrifikationsforsøg nr. 1.

	NO ₃ -N, mg/kg, overskud over kontroljord			
	Gødning A		Gødning B	
	150 mg N	300 mg N	150 mg N	300 mg N
1 (32 dage).....	4.5	17.5	10.9	18.7
2 (40 »).....	1.0	3.0	0.5	1.4
3 (30 »).....	2.0	10.1	6.4	3.3
4 (35 »).....	0.2	4.1	5.3	8.1
5 (34 »).....	0.5	1.9	1.4	3.7
Ialt.....	8.2	36.6	24.5	35.2
Svarende til % af tilsat organisk gødnings-N.....	6	13	17	12

filtrerpapir; ca. 70 pct. krævede substrater indeholdende pepton eller gærekstrakt.

Antallet af actinomyceter (overvejende *Streptomyces*) lå i kontroljorden ret konstant omkring 2—3 mill./g, men udviste en stigning på over 100 pct. i jord med gødningstilsætning. I modsætning til de egentlige bakterier aftog de ikke i talrighed i forsøgets senere stadier, hvor der sås talrige kolonier af slægten *Micromonospora*; efter 260 dage fandtes der i jorderne med gødning 0.5—1.2 mill./g heraf, medens de i kontroljorden kun optrådte rent sporadisk. Af 51 undersøgte stammer viste 44 sig i stand til mere eller mindre kraftig cellulosesønderdeling, hvilken egenskab kun ret sjældent fandtes hos *Streptomyces*-arterne.

Resultaterne af nitrat- og ammoniakbestemmelserne ses i tabel 2 (gennemsnit af duplikatforsøgene *a—b*). Undtagen ved forsøgets indledning fandtes ammoniakkvælstof kun i små mængder, der sjældent oversteg 2—3 mg/kg. Efter 30 dage viser jorderne med gødning kun en ringe forøgelse af mineralisk kvælstof over kontroljord, og denne forøgelse er mindre end det med gødningen tilførte ammoniakkvælstof. Efter 62 dage indtræder derimod en betydelig stigning, svagest med den halmblandede gødning B, og denne fortsættes indtil 175 dage, da indholdet bliver omtrent stationært, bortset fra et fald i forsøgsled 5 (gødning B, 300 mg N/kg). Efter 370 dage viste de to kontroljorder så stærkt uoverensstemmende nitratindhold, at gennemsnitstallene ikke kunne tillægges betydning (sml. *Bengtsson* og *Barthel*, 1935). I tabellens andet afsnit er mængden af mineraliseret organisk gødningskvælstof (overskud af $(\text{NO}_3 + \text{NH}_4)\text{-N}$ over kontrol ÷ $\text{NH}_4\text{-N}$ tilsat i gødningen) udtrykt i procent af gødningens indhold af organisk kvælstof. Der ses her at være sket en svag fastlægning af mineralisk kvælstof efter 30 dage, men efter 62 dage er nitrifikationen betydelig, især i den halmfri gødning A, og når efter 260 dage ca. en femtedel af det organiske gødningskvælstof.

Da det efter 370 dage ikke længere var muligt at påvise små ændringer i nitratindholdet, anstilledes der efter hovedforsøgets afslutning et »eftervirkningsforsøg«, idet de lufttørrede jordprøver vaskedes fri for nitrat med destilleret vand; jorden tørredes til den samme fugtighedsgrad som før lufttørringen og op-

bevaredes påny 32 dage ved 25° C, hvorefter udvaskningen gæntoges og nitrat bestemtes i filtratet, som kun indeholdt ubetydelige mængder ammoniakkvælstof; denne behandling gæntoges i 5 successive perioder på 4—6 uger. Resultaterne ses i tabel 3; i den første periode efter lufttørringen ses en ret stærk og i de påfølgende en betydelig svagere nitratdannelse, men gennem hele forsøget fortsættes produktionen af nitrat fra den tilsatte gødnings restkvælstof.

Det organiske gødningskvælstof er således ret vanskeligt mobiliserbart, men begynder dog at nitrificeres efter 2 måneder, og denne proces fortsættes med gradvis aftagende hastighed. Mængden af tilsat gødning (150—300 mg N/kg jord) synes ikke at påvirke hastigheden væsentligt.

Det må her som i de følgende forsøg erindres, at beregningen af mineraliseret gødningskvælstof som overskud over kontroljord uden gødning hviler på den forudsætning, at jordens eget organiske kvælstof (humus) omsættes i samme grad i jord med og uden gødningstilsætning. Der må imidlertid regnes med to andre muligheder:

- 1) Gødningens organiske stof kan udøve en »besparende« indflydelse på jordens humus, i hvilket tilfælde gødningskvælstoffet vil være stærkere omsat, end tallene giver indtryk af, eller
- 2) den store mikrobielle aktivitet efter gødningstilsætningen kan medføre stærkere nedbrydning af jordens humus (sml. *Broadbent* og *Norman*, 1947), hvilket vil betyde en i virkeligheden svagere nedbrydning af gødningen.

Hvilken af disse tre muligheder der svarer til virkeligheden ville kun kunne afgøres gennem forsøg med gødning indeholdende isotopisk kvælstof (N¹⁵) i den organiske fraktion. Genneførelse af sådanne forsøg ville dog frembyde ret formidable vanskeligheder, og resultaterne må derfor foreløbig tages med den reservation, at mineralisationen af det organiske gødningskvælstof *kan* være enten stærkere eller svagere, end tallene tyder på.

Forsøg nr. 2. Hertil anvendtes en blanding af samme

jord og sand som i forsøg 1, dog i forholdet 1:2 og med ekstra tilsætning af 0.1 pct. calciumkarbonat. Der tilsattes 4 prøver af staldgødning i mængder svarende til 200 mg N/kg jord. De anvendte gødninger var:

- Nr. 1—2) Alm. staldgødning fra Lyngby forsøgsstation, beskrevet som henholdsvis »dårligt opbevaret« og »godt opbevaret«, udtaget september 1949.
- Nr. 3) Gammel, stærkt omsat gødning, modtaget af laboratoriets agrikulturkemiske afdeling fra hedeforsøgene og opbevaret i tørret tilstand. Gødningen indeholdt en del nitrat, som fjernes ved udvaskning før forsøget.
- Nr. 4) Alm. staldgødning modtaget af den agrikulturkemiske afdeling fra Lyngby forsøgsstation, udtaget december 1948, opbevaret i tørret tilstand.

Gødningernes kemiske sammensætning fremgår af tabel 4.

Tabel 4. Sammensætning af gødninger i nitrifikationsforsøg nr. 2.

Gødning nr.	1	2	3	4
I gødningstørstof %:				
Total-N.....	2.091	2.293	2.423	2.290
NH ₄ -N.....	0.053	0.065	0.053	0.032
Organisk (total ÷ NH ₄)N...	2.038	2.228	2.370	2.258
Renprotein-N.....	1.649	1.900	2.115	1.954
Stofgruppe % af tørstof:				
Råprotein (org.-N × 6.25)....	12.7	13.9	14.8	14.1
Cellulose.....	17.8	19.7	19.6	8.5
Pentosan.....	13.2	14.4	16.5	7.6
Lignin.....	14.3	14.8	19.8	17.5
Aske.....	36.1	28.4	22.4	41.4
Ialt.....	94.1	91.2	93.1	89.1

Forsøgene indledtes 19. oktober 1949 og fortsattes 294 dage ved 25° C. Prøver til kimtælling og kemisk analyse udtoges efter 35, 82, 180 og 294 dage, og efter hovedforsøgets afslutning anstilledes et lignende »eftervirkningsforsøg« som i foregående.

Bakteriernes formering, der her kun bestemtes på agar-substrat, fremgår af de i fig. 2 givne eksempler. Gødning nr. 2

udviste i forsøgets begyndelse en langt stærkere bakterieudvikling end de andre tre, der alle gav lignende tal som den i figuren angivne nr. 4. Efter 6—10 måneders forløb udlignes forskellene. Ligesom i forsøg nr. 1 lå antallet af actinomyceter i kontroljorden ret konstant og ikke over 2 mill./g, men udviste i de gødede jorder under hele forsøgsperioden en stigning til 4—6 mill./g, lavest i gødning nr. 4. Efter 6 og 10 måneder fandtes igen *Micromonospora* i ret betydelige antal (0.3—0.6 mill./g) i de gødningsbehandlede jorder, men meget sparsomt i kontroljorden.

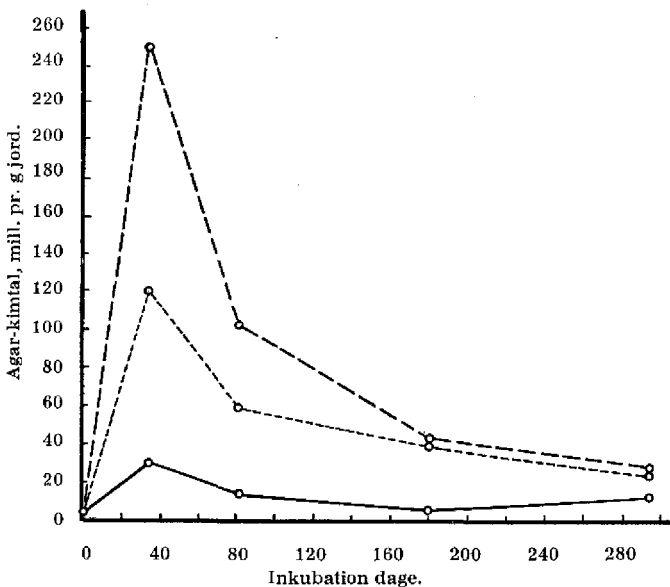


Fig. 2.

Fig. 2. — Bakterietællinger, nitrifikationsforsøg nr. 2. (Counts of bacteria, Exp. 2).
 ----- Kontroljord uden gødning. (Control soil without manure).
 - - - - - Jord + gødning nr. 2. (Soil + manure No. 2).
 Jord + gødning nr. 4. (Soil + manure No. 4).

Nitrifikationshastigheden fremgår af tabel 5. Der ses ligesom i foregående forsøg et fald i indholdet af mineraliseret kvælstof efter 35 dage, men efter 82 dage begynder nitrifikationen af det organiske kvælstof, stærkest i nr. 2 og svagest i nr. 4.

Forskellen udlignes efterhånden i nogen grad, men stærkest omsættes dog nr. 2, af hvis organiske kvælstof ikke mindre end en trediedel er nitrificeret efter 10 måneder; det er bemærkelsesværdigt, at den hurtigst og den langsomst nitrificerbare gødning (nr. 2 og nr. 4) hovedsagelig adskiller sig ved et lavere cellulose- og pentosanindhold og et forholdsvis højere ligninindhold i det organiske stof i den sidste (herom senere).

Tabel 5. Nitrifikationsforsøg nr. 2 (Gødning 1—4).
(200 mg N pr. kg jord).

	Inkubation dage	Gødning nr.			
		1	2	3	4
(NO ₃ + NH ₄)N, mg/kg,	0	7.6	8.4	6.7	4.2
overskud over kontroljord	35	0.6	1.5	2.8	2.6
uden gødning	82	47.1	52.4	25.9	16.7
	180	49.6	61.6	36.0	39.3
	294	63.5	71.9	51.8	47.9
% organisk gødnings-N	35	÷ 3.6	÷ 3.6	÷ 2.0	÷ 0.8
mineraliseret	82	20.5	23.0	9.9	6.4
	180	21.8	27.8	15.2	17.9
	294	29.1	33.1	23.3	22.3

Tabel 6. Eftervirkning af staldgødning i nitrifikationsforsøg nr. 2.

Periode	NO ₃ -N, mg/kg, overskud over kontroljord			
	gødn. 1.	gødn. 2.	gødn. 3.	gødn. 4.
1 (30 dage).....	6.8	12.0	4.2	0.6
2 (33 »).....	3.6	2.1	1.8	÷ 1.7
3 (34 »).....	2.7	1.3	2.5	1.5
4 (29 »).....	2.3	1.1	2.4	2.3
Ialt.....	15.4	16.5	10.9	2.7
Svarende til % af tilsat organisk gødnings-N.....	8	9	6	1.4

»Eftervirkningsforsøget«, hvis resultat ses i tabel 6, viser ligesom i forsøg nr. 1, at nitrifikationen af det organiske gødningskvælstof stadig fortsættes, langsomt i gødning nr. 4, som først i den sidste periode synes at have indhentet de andre.

Endvidere udførte efter hovedforsøget et kulsyreproduktionsforsøg efter *Petersens* (1926) metode (4 parallelkolber, 3 uger ved 25° C). Resultatet heraf ses i tabel 7.

Overensstemmelsen mellem parallelkolberne er ret dårlig, og kulsyreproduktionen fra de fire forskellige gødninger udviser

ikke signifikante forskelle, men ligger stedse højere end i kontroljorden, både pr. vægtenhed jord og pr. vægtenhed humus; de endnu uomsatte rester af staldgødning nedbrydes således efter 10 måneder stadig lettere end selve jordens humus, et forhold som også var antydnet i lignende forsøg med jord taget fra markforsøg (se *Iversen og Dorph-Petersen, 1951*). Forskellen mellem kontroljordens og de gødede jorders humusindhold (ca. 0.20--0.30 pct.) tyder på, at ca. halvdelen af gødningernes organiske

Tabel 7. Kuldioxydproduktion i jord efter nitrifikationsforsøg nr.2

Jord nr.	% humus	mg CO ₂ produceret i 3 uger v. 25° C	
		pr. 50 g tør jord	pr. g humus
Gødn. 1.....	1.64	21.1 ± 1.69	24.5
Gødn. 2.....	1.61	22.0 ± 4.79	27.3
Gødn. 3.....	1.59	16.8 ± 1.26	19.9
Gødn. 4.....	1.54	17.9 ± 3.28	23.2
Kontrol uden gødning.....	1.34	8.2 ± 1.75	12.2

stof er forsvundet (sml. *Lindhard (1944)*, som i markforsøg fandt ca. 55 pct. af staldgødningens kulstof omdannet til kuldioxyd efter 150 dage).

Forsøg nr. 3. Sønderdeling af staldgødning nr. 1 (200 mg N/kg) undersøgtes ved forskellig temperatur: 5—10° C (kun i de sidste par uger nærmede temperaturen sig 10° C), 18—20° C, og 30° C. Der anvendtes en lignende jord- og sandblanding (dog nyudtaget jord) som i forrige forsøg. Forsøget indledtes 6. november 1950 og fortsattes 176 dage, med prøveudtagning efter 30, 59 og 100 dage. Jordens reaktionstal varierede under forsøget fra 7.0 til 7.8.

Som vist i fig. 3 sker der ved 5—10° C en meget stærk udvikling af mikroorganismer i den staldgødede jord, ligesom også bakterietallene i kontroljorden er højest ved denne temperatur. Ved 18—20° C har bakterierne efter 30 dage formeret sig lige så stærkt som ved 5—10° C, men det påfølgende fald indtræder langt hurtigere, og ved 30° C er bakterietallene under hele forsøget, men især i dets tidlige stadier, påfaldende små i sammen-

ligning med de to lavere temperaturer, hvilket stemmer fuldkomment med resultaterne af tidligere forsøg (Jensen, 1936, 1939). Ved 5—10° C kom i jorden med gødning næsten kun egentlige bakterier til udvikling, medens actinomyceterne (ligesom i kontroljorden ved alle tre temperaturer) lå ret konstant ved 1—2 mill./g; først ved forsøgets slutning skete en stigning til 3—4 mill./g. Ved 18—20° C og især ved 30° C udgjorde derimod actinomyceterne navnlig efter 59 og 100 dage en ret betydelig del af mikrofloraen, med tal på 10—12 mill./g. Her var igen *Micromonospora*-gruppen rigeligt repræsenteret (1.2—1.6 mill./g)

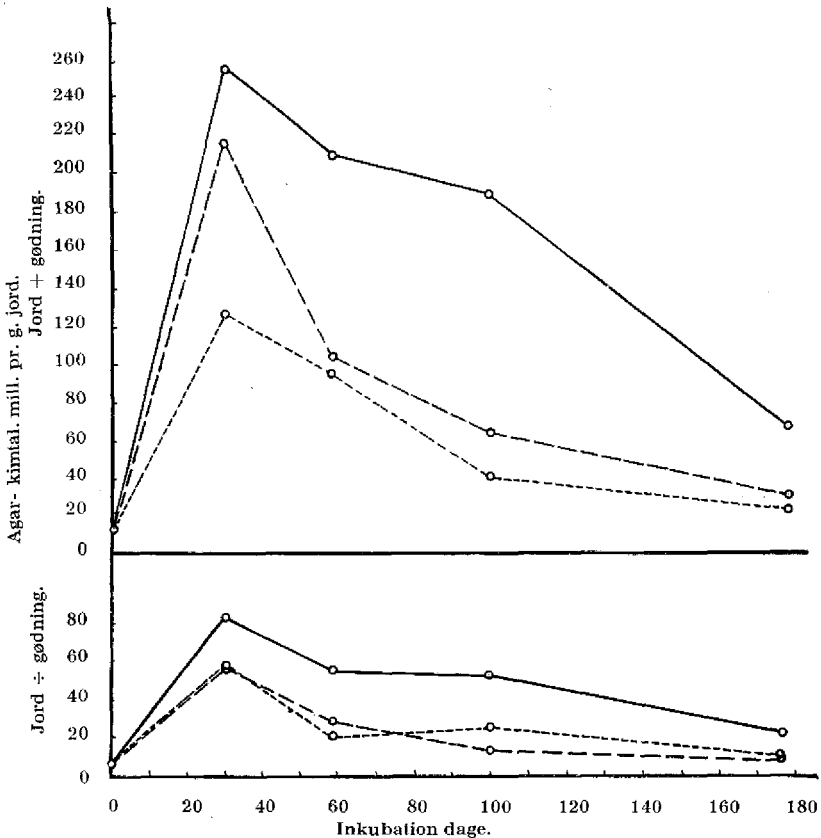


Fig. 3. — Bakterietællinger, nitrifikationsforsøg nr. 3. (Counts of bacteria, Exp. 3)
 - - - - - Forsøg ved 5—10° C. (At 5—10° C)
 - - - - - Forsøg ved 18—20° C. (At 18—20° C)
 Forsøg ved 30° C. (At 30° C)

i sammenligning med en sporadisk forekomst i kontroljord og ved 5—10° C; adskilligt tyder på, at disse organismer er aktive i sønderdelingen af gødningens tungest omsættelige organiske stof.

Af tabel 8 fremgår, at ved 5—10° C er der trods den stærke bakterieformering endnu ved forsøgets afslutning næppe sket nogen mineralisation af det organiske kvælstof, m. a. o., den periode på 30—35 dage, hvor der i de foregående forsøg er sket en nedgang i mineraliseret kvælstof, er her udstrakt til næsten 6 måneder; iøvrigt fremgår det også af andre forsøg (*Waksman og Gerretsen, 1931; Jensen, 1936, 1939*), at stofopbyggende processer tenderer til at fremherske, når organisk stof sønderdeles ved lav temperatur. Ved 18—20° C og navnlig ved 30° C, hvor formeringen af bakterier er mindre stærk og faldet i deres antal hurtigere, skrider mineraliseringen hurtigere frem, omend langsommere end i foregående forsøg (sml. tabel 5). Den svage mineralisering ved 5—10° C skyldes således ingenlunde hemning af bakteriernes formering, men det kvælstof, der ved de to højere temperaturer er overført til ammoniak og nitrat, synes her at være fastholdt i form af bakteriernes og andre mikroorganismers cellesubstans. Det kan iøvrigt bemærkes, at medens der ved 18—20° C og 30° C kun dannedes ubetydelige mængder ammoniakkvælstof, skete dette i ret påfaldende grad ved 5—10° C efter 30 dage; dog dannedes der ved denne temperatur også nitrat under hele forsøget, jævnt stigende mod dets slutning.

Tabel 8. Nitrifikationsforsøg nr. 3. - Staldgødning nr. 1 i jord ved forskellig temperatur*).

	Inkuba- tion dage	Inkubationstemperatur					
		5—10° C		18—20° C		30° C	
		a	b	a	b	a	b
(NO ₃ + NH ₄)N, mg/kg,	0	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
overskud over kontroljord	30	12.6	8.0	1.1	÷ 3.0	÷ 1.9	÷ 6.2
uden gødning	59	10.4	8.9	11.7	6.9	11.0	21.4
	100	5.5	5.2	18.6	18.9	36.1	15.1
	176	÷ 3.2	14.8	26.9	31.3	41.8	32.5
% organisk gødnings-N mineraliseret	30	2.6	0.2	÷ 3.4	÷ 5.6	÷ 4.9	÷ 7.2
	59	1.5	0.7	2.1	÷ 0.4	1.8	7.2
	100	÷ 1.1	÷ 1.2	5.7	5.9	14.8	3.9
	176	÷ 5.6	3.7	10.0	12.3	17.8	13.0

*) Tallene for de to parallelforsøg er her anført p. g. a. den mindre gode overensstemmelse mellem parcellerne med tilsætning af gødning.

Kulsyreproduktionsforsøg.

Til yderligere belysning af det organiske stofs tilgængelighed i de forskellige gødningssorter anstilledes nogle kulsyreproduktionsforsøg efter *Petersens* (1926) metode i sand med 2 pct. lufttør gødning, podet med en opslemning af frugtbar havejord. Forsøgstemperaturen var 25° C, og der anvendtes 5 eller 6 parallelkolber; CO₂-bestemmelse udførtes med mellemrum på 1—2 dage i forsøgets tidligere, 3—4 dage i dets senere stadier. Efter den første periode på 4 uger blandedes sandet fra parallelkolberne, fordampet vand erstattedes, og forsøget fortsattes yderligere 3 eller 4 uger med kun 3 eller 4 parallelkolber, idet en del af sandet efter den første periode anvendtes til nitrat- og

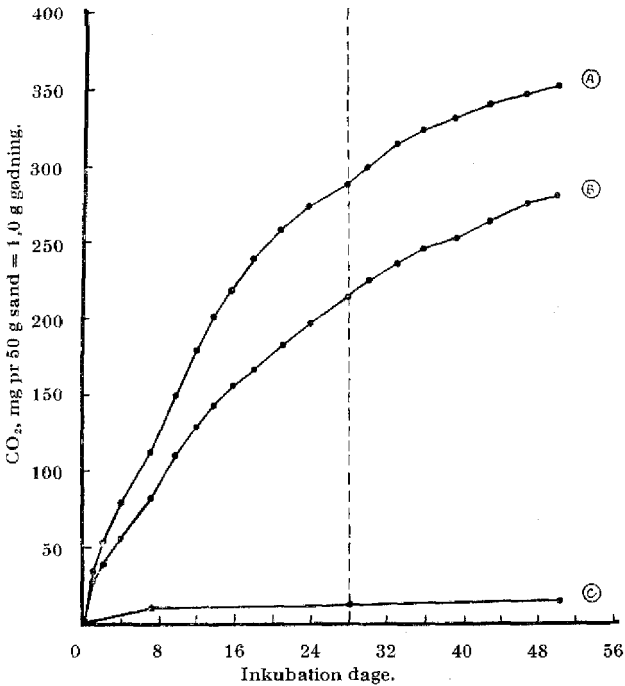


Fig. 4. — Produktion af kuldioxid fra gødning A, gødning B, og kontrolsand uden gødning (C). (Den lodrette linie angiver blanding af prøverne og erstatning af fordampet vand). — Production of carbon dioxide from sand plus manures A and B, and control sand (C). Vertical line indicates mixing of replicate samples and restoration of water lost by evaporation.

ammoniakbestemmelser; disse gav dog ret intetsigende resultater, sandsynligvis på grund af ammoniakfordampning fra sandet, hvis reaktionstal lå omkring 8.0—8.5.

Resultatet af forsøgene med gødningerne A og B ses i fig. 4. Begge gødninger viser en i forsøgets begyndelse kraftig, derefter gradvis aftagende CO₂-udvikling, som er stærkest fra den lettest nitrificerbare gødning A. En beregning af den mængde kulstof, der er frigjort som CO₂ (overskud over kontrolsand uden gødning) viser:

	% gødningskulstof frigjort som CO ₂			% org. N nitrificeret efter 62 dage
	0—28 dage	28—50 dage	ialt	
Gødning A.....	22.6	4.9	27.5	17—18
» B.....	16.7	5.3	22.0	10—11

Gødningerne nr. 1—4 forholdt sig noget anderledes, som vist i fig. 5. De to let nitrificerede gødninger nr. 1 og 2 udviser ligesom A og B en hurtig CO₂-produktion; derimod er CO₂-produktionen fra den langsomt nitrificerbare nr. 4 påfaldende svag gennem hele forsøget, og nr. 3 viser det samme i den første periode, men en stærk stigende CO₂-produktion imod forsøgets slutning, hvor der synes at være ophobet en mikroflora, der i særlig grad er egnet til at sønderdele de tungere omsættelige organiske bestanddele. En kimtælling på casein-agar efter forsøgets afslutning viste en påfaldende rigdom på *Micromonospora*-kolonier (1.2—1.6 mill./g), der i de andre gødninger kun optrådte sporadisk. En beregning af det som CO₂ frigjorte kulstof, under forudsætning af 52 pct. C i gødningens organiske stof, viste:

Gødning nr.	% gødningskulstof frigjort som CO ₂			% org. N nitrificeret efter 82 dage
	0—28 dage	28—56 dage	ialt	
1.....	24.5	7.2	31.7	20.5
2.....	26.7	8.1	34.8	23.0
3.....	7.7	14.3	22.0	9.9
4.....	8.7	2.6	11.3	6.4

Der ses en tydelig korrelation mellem kulsyreproduktionen og nitrifikationen af organisk kvælstof efter 82 dage. Nedbrydningen af en større eller mindre fraktion af alle seks gødningers organiske stof i forsøgets første 4—8 uger svarer formentlig til

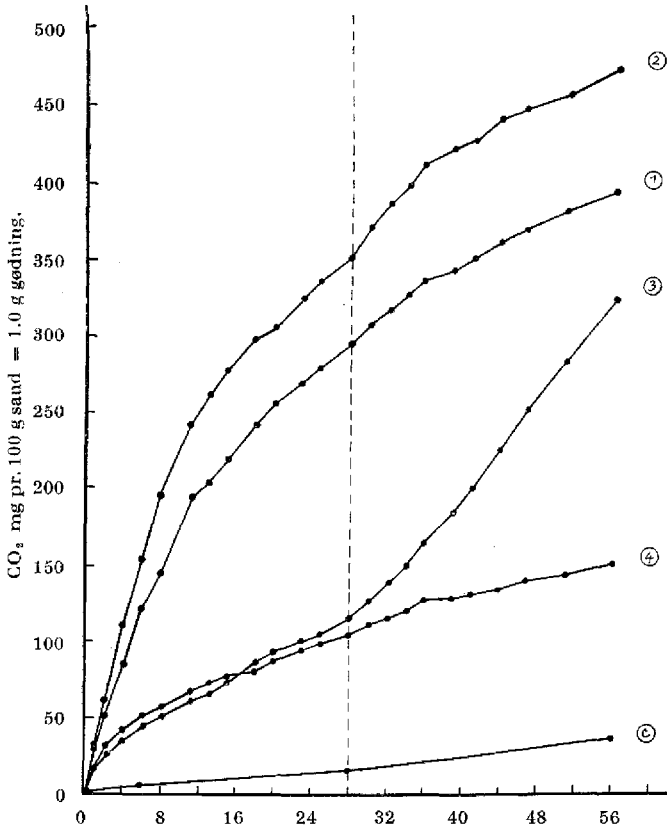


Fig. 5. — Produktion af kuldioxyd fra gødninger nr. 1—4 samt kontrolsand uden gødning (c). (Den lodrette linie angiver blanding af prøverne og erstatning af fordampet vand). — Production of carbon dioxide from sand plus manures No. 1-4. and control sand (c). — Vertical line as in Fig. 4.

den store formering af bakterier i samme tidsrum (fig. 1—3) og depressionen i mineralsk kvælstof efter 30—35 dage. Endvidere fremgår det af forsøgene, at det organiske kulstofs tilgængelighed for en stor del bestemmer, hvornår mineralisationen af kvælstoffet begynder, idet C:N-forholdet indsnævres desto hurtigere, jo hurtigere overskuddet af kulstof fjernes som kuldioxyd.

Sønderdeling af gødning ved renkulturer af mikroorganismer.

En del af de organismer, der viste tydeligst tegn på proteolytisk evne (klare zoner i den svagt mælkede casein-agar efter

3—6 dage) isoleredes fra kintællingerne i nitrifikationsforsøg nr. 3 og prøvedes for deres evne til at nedbryde renprotein i forskellige gødninger. Nogle foreløbige forsøg gengives her, medens mere indgående undersøgelser er planlagt for en senere beretning.

Tre typiske proteolytiske organismer undersøgtes overfor staldgødningerne nr. 1—4. Kolber på 50 cc tilsattes 0.5 g lufttør gødning og 20 ml ledningsvand, steriliseredes ved autoklaving, podedes med de forskellige organismer og inkuberedes ved 25° C. Efter 3 og 10 uger bestemtes renprotein ved fældning med trikløreddikesyre. Tabel 9 viser resultaterne (gennemsnit af duplikatkulturer, undtagen de sterile kontrolkolber, der er repræsenterede ved 4—8 parallelbestemmelser).

Tabel 9. Sønderdeling af protein i staldgødning.

Gødning nr.	Organisme	Renprotein mg pr. kultur			% renprotein sønderdelt efter	
		i steril gødning	efter 21 dage	efter 70 dage	21 dage	70 dage
1	<i>Bac. mycooides</i>	7.56	6.72	6.67	11	12
	<i>Str. griseus</i>	—	6.21	5.49	18	27
	<i>Micromonospora</i>	—	6.84	5.99	9.5	21
2	<i>Bac. mycooides</i>	8.89	7.23	6.79	19	24
	<i>Str. griseus</i>	—	6.73	6.00	24	33
	<i>Micromonospora</i>	—	7.58	6.52	15	26
3	<i>Bac. mycooides</i>	9.82	8.05	8.06	14	14
	<i>Str. griseus</i>	—	7.87	7.27	16	22
	<i>Micromonospora</i>	—	8.49	7.76	8.9	17
4	<i>Bac. mycooides</i>	9.18	8.24	7.80	10	15
	<i>Str. griseus</i>	—	7.85	6.79	15	26
	<i>Micromonospora</i>	—	8.42	7.16	8.3	22

Alle tre organismer foranlediger en anselig proteinnedbrydning, der for den mest aktive arts (*Str. griseus*) vedkommende når en trediedel af renproteinet. Den langsomt voksende *Micromonospora* har efter 10 uger spaltet proteinet stærkere end den hurtigt voksende og overfor rene æggehvide-stoffer stærkt proteolytiske *Bac. mycooides*, der var lidet fremtrædende i mikrofloraen under staldgødningsomsætning. Endelig ses, at den lettest

nitificerbare og hurtigst CO₂-producerende gødning nr. 2 også undergår stærkest renproteinspaltning, medens de andre tre ikke indbyrdes udviser kendelige forskelligheder. Et større antal organismer prøvedes over for gødning nr. 2 med følgende resultat:

Organismegruppe		% renprotein sønderdelt efter	
		21 dage	70 dage
Bakterier (14 stammer)	Minimum.....	4.8	6.0
	Maximum.....	25.2	29.8
	Gennemsnit.....	14.7	18.7
Actinomyceter (7 stammer)	Minimum.....	16.1	17.6
	Maximum.....	28.3	31.9
	Gennemsnit.....	21.7	25.4

Evnen til at nedbryde gødningsprotein er således ret udbredt blandt de organismer, der formerer sig efter gødnings-tilsætning til jorden, og som helhed synes actinomyceterne noget mere virksomme end bakterierne. Dette står sandsynligvis i forbindelse med, at evnen til opløsning af bakterieceller (bakteriolyse), som repræsenterer en meget væsentlig del af staldgødningsproteinet, er særlig udbredt blandt actinomyceterne (*Welsch*, 1942). I intet tilfælde ses dog en »netto-spaltning« på mere end ca. 33 pct. af gødningsproteinet (plus en større eller mindre fraktion, der er indgået i de virksomme organismers cellesubstans), og det må erindres, at det her drejer sig om gødning steriliseret ved autoklavering, der i betydelig grad forøger bakteriesubstansens opløselighed (*Tai og van Heyningen*, 1951).

Parallelt med proteinsønderdelingen går der en nedbrydning af gødningens kvælstoffri bestanddele, af hvilke cellulose og lignin er de langsomst tilgængelige. Nogle actinomyceter samt en cellulosesønderdelende sporedannende bakterie (*»Cellulobacillus«*) og to stærkt cellulosesønderdelende svampe, *Mycogone nigra* og *Chaetomium* sp., der jævnlig iagttoges på agarpladerne, undersøgte for deres evne til at nedbryde disse stofgrupper. Portioner på 1.0 g af staldgødning nr. 1 steriliseredes ved autoklavering i tør tilstand og overførtes sterilt til overfladen af 50 ml agar (0.75 pct.) i ledningsvand, stivnet i 250 cc mælkeflasker. Duplikatkulturer podedes med de pågældende organismer, og

Tabel 10. Sønderdeling af cellulose og lignin i staldgødning.

Organisme	% sønderdelt		Organisme	% sønderdelt	
	cellu- lose	lig- nin		cellu- lose	lig- nin
» <i>Cellulobacillus</i> « sp.	0	0	<i>Micromonospora</i> sp. 2.	33	(4)
<i>Streptomyces griseus</i>	7	0	<i>Micromonospora</i> sp. 5.	26	0
<i>Streptomyces</i> sp. 4	9	0	<i>Mycogone nigra</i>	37	(÷7)
<i>Streptomyces</i> sp. 6	23	9	<i>Chaetomium</i> sp.	20	0

efter 2 måneder ved 25° C udførtes bestemmelser af cellulose og lignin.

Af tabel 10 fremgår, at de to *Micromonospora*-stammer samt den ene *Streptomyces* har nedbrudt lige så meget cellulose som de stærkt cellulosesønderdelende svampe, og den sidste synes tillige at have angrebet det meget modstandsdygtige lignin, om hvis sønderdeling i agerjord forøvrigt meget lidt er kendt.

Oversigt.

Det organiske kvælstof i samtlige undersøgte gødninger viser sig at undergå en delvis nitrifikation i jorden, dog efter en forudgående aftagen i indholdet af mineralisk kvælstof, der falder sammen med en stærk formering af bakterier under sønderdeling af gødningens lettest omsættelige bestanddele og svarer til den af *Bengtsson* og *Barthel* (1935) iagttagne »salpeterdepression«. Også *Frode Hansen* (1929) fandt i markforsøg resultater der tydede på fastlægning af gødningens ammoniakkvælstof i de første måneder efter nedbringningen. Ved 25—30° C er nitrifikationen begyndt efter ca. 2 måneder; dens hastighed varierer betydeligt i de forskellige gødninger, men aftager ret hurtigt for de lettest nitrificerbare gødningers vedkommende, og i intet tilfælde nitrificeres i løbet af 9—10 måneder mindre end ca. 20 eller mere end ca. 33 pct. af det organiske kvælstof. »Eftervirkningsforsøgene« med periodisk udvaskning viser imidlertid, at processen på intet tidspunkt går i stå, men forløber asymptotisk.

De her omhandlede gødninger synes således at være adskiligt lettere nitrificerbare end de af *Barthel* og *Bengtsson* under-

søgte. Ganske vist anvendtes der her lufttørret og finmalet gødning i modsætning til frisk gødning i de svenske forsøg, hvor lufttørring i et enkelt tilfælde (*Bengtsson og Barthel, 1935*) i nogen grad fremmede nitrifikationen. Denne virkning gjorde sig dog først gældende i forsøgets 3.—4. år, ligesom det må bemærkes, at Bengtsson og Barthels gødning var tørret ved en ret høj temperatur (vandbad 14 timer, derefter tørreskab ved 55° C), hvilket muligvis har gjort det organiske kvælstof lettere tilgængeligt. Forskellen i inkubationstemperatur (ca. 20° C i Bengtsson og Barthels forsøg) kan i betragtning af den lange inkubationstid og de i tabel 8 fundne resultater næppe forklare forskellen. Derimod synes det organiske stof i de svenske gødninger forholdsvis kvælstoffattigt, idet der i to gødninger, hvor kulstofbestemmelser var udført (*Bengtsson og Barthel, 1935, 1940*) ses et forhold mellem kulstof og organisk kvælstof på 22—23:1 imod 18.8—19.2:1 i gødningerne A og B. (tabel 1). Denne forskel, som sandsynligvis afhænger af fodringen såvel som mængden af strømateriale, forklarer måske tildels forskellen i nitrifikationshastigheden.

I de her undersøgte gødninger synes imidlertid C:N-forholdet ikke at have stor indflydelse på nitrifikationen. I forsøg nr. 1 ses således gødning A at nitrificeres betydelig hurtigere end B, til trods for et kun ubetydelig snævrere C:N-forhold, og i forsøg nr. 2 finder man, hvis der regnes med 52 pct. kulstof i den organiske fraktion:

Gødning nr.	1	2	3	4
C:N.....	15.9	16.2	16.7	13.3
% org. N nitrificeret efter 82 dage	20.5	23.0	9.9	6.4

Der er altså netop et udpræget snævert C:N-forhold i den langsomst nitrificerbare gødning nr. 4, som udmærker sig ved et lavt cellulose- og pentosanindhold og et forholdsvis højt ligninindhold. Endvidere fremgår det af kulsyreproduktionsforsøgene, at der er en tydelig positiv korrelation mellem nitrifikationen og den almindelige nedbrydning af organisk stof målt ved kulsyreudviklingen, og begge disse processer ses til en vis grad at stå i omvendt forhold til indholdet af lignin i den organiske fraktion:

Gødning nr.	2	1	A	B	3	4
% organisk N nitrificeret efter 82 dage...	23	21	18 ^{*)}	14 ^{*)}	10	6
% gødningkulstof frigjort som CO ₂ efter						
28 dage.....	26.7	24.5	22.6	16.7	7.7	8.7
% lignin i organisk stof.....	20.7	22.4	18.6	22.8	25.5	29.9

*) Interpolerede værdier (smi. tabel 2).

Den aftagende nedbrydningshastighed med stigende ligninindhold skyldes efter alt at dømme dels binding af gødningens protein som ligno-proteinforbindelser, der i særlig grad synes modstandsdygtige mod mikrobiel sønderdeling (*Waksman, 1938*), dels ligninets beskyttende virkning overfor cellulosen (*Rege, 1927; Fuller og Norman, 1943*).

Medens ammoniakkvælstoffets tilgængelighed afhænger af gødningens C:N-forhold, som derfor er et brugbart kriterium for gødningens kvælstofvirkning i første år (Poulsen, 1950), bestemmes det organiske kvælstofs værdi (d. v. s. gødningens eftervirkning) åbenbart af andre faktorer, nemlig de forskellige organiske stofgrupperes tilgængelighed for jordbundens mikroorganismer.

Sammenligner man de her fundne resultater med erfaringerne fra dyrkningsforsøg, forklarer nitrifikationsforsøgene ret tydeligt, hvorfor der ikke af hurtigvoksende planter, f. eks. kornafgrøder, i første år kan ventes udnyttelse af mere end staldgødningens ammoniakkvælstof, da nitrifikationen af det organiske kvælstof først begynder efter 1—2 måneder i laboratorieforsøgene, hvor betingelserne for stofnedbrydning er de gunstigst mulige, og forud for nitrifikationen går en periode, hvor en vis mængde mineralisk kvælstof fastlægges som mikrobesubstans under den livlige bakterieformering umiddelbart efter gødningstilsætningen. I mark- og karforsøg må denne periode ventes at have en noget længere udstrækning og indbefatte det tidsrum, hvor kornafgrøderne optager deres største kvælstofmængde. At kun en del af gødningens ammoniakkvælstof optages af havreafgrøder i første år (*Poulsen, 1950*) lader sig forklare dels gennem fastlægningsen af noget kvælstof i de organismer, der nedbryder gødningens kulstofforbindelser, dels derigennem, at en yderligere mængde kvælstof assimileres af mikroorganismer i de voksende planters rodombgivelser, rhizosfæren (*Bartholomew og Clark, 1950*). Noget anderledes stiller forholdene sig, når der er

tale om afgrøder med længere kvælstofoptagelsesperiode, hvor der er en mulighed for, at mineralisationen af det organiske gødningskvælstof når at komme i gang; heri synes forklaringen at ligge på rodfrugtafgrøders, specielt kartoflers og kålroers, bedre udnyttelse af staldgødningskvæstoffet (*Iversen og Dorph-Petersen, 1951*). Det må imidlertid bemærkes, at denne eventuelle førsteårs-udnyttelse såvel som eftervirkningen foruden af klimatiske forhold og jordbundsbedingungen vil afhænge af gødningens i høj grad varierende tilbøjelighed til at undergå nitrifikation.

Summary.

On the Microbiological Decomposition of Farmyard Manure. I. Nitrification of the Organic Nitrogen Fraction in Soil.

The decomposition of the organic nitrogenous constituents in six different samples of farmyard manure was followed by periodical determinations of nitrate and ammonia in soil of low humus content, with addition of 150—300 p.p.m. manure nitrogen, during incubation for 10—12 months at 25° C. Counts of bacteria and actinomycetes were made at the same time as the chemical analyses.

All six manures showed nitrification of their organic nitrogen, but this was preceded by a minor depression in the content of mineral nitrogen that took place after 30—35 days and coincided with a maximum development of microorganisms. Nitrification commenced within 60—82 days when the numbers of bacteria were declining, and reached approximately 20 to 33 % of the organic nitrogen within 9 to 10 months when no further change in the nitrate content could be detected. Slow but continuous nitrification of the organic manure residues was, however, observed when the accumulated nitrate was removed by washing.

At 5—10° C no significant mineralization of organic manure nitrogen was noticeable after 6 months, although a slow nitrification of the soil nitrogen and the ammonia nitrogen of the manure took place. Apparently a considerable amount of nitrogen was locked up in the cell substance of bacteria which attained much higher numbers than at 20—30° C.

The rate at which nitrate formation proceeded from the time when nitrification commenced (approx. 2 months) varied considerably with the different samples of manure, and showed no apparent correlation with the C:N ratios of the materials, but seemed to depend on the availability of the various organic manure constituents to the general soil microflora. There was an obvious positive correlation

between the rates of nitrification and of carbon dioxide production, and some indication of a negative correlation between these processes and the percentage of lignin in the organic manure fraction:

Manure	2	1	A	B	3	4
% organic manure-N nitrified after 82 days	23	21	18	14	10	6
do. after 9—10 months	33	29	21	20	23	22
% manure-carbon liberated as CO ₂ after						
28 days	27	25	23	17	8	9
do. after 50—56 days	35	32	28	22	22	11
% lignin in organic matter of manure	21	22	19	23	26	30

The microflora that developed in the early stages of manure decomposition consisted largely of non-spore-forming rod-shaped bacteria capable of growth in artificial media (direct microscopic counts only 3—5 times as high as on agar medium). Actinomycetes (*Streptomyces* and *Micromonospora*) were never very numerous, but tended to become relatively prominent in the later stages of decomposition.

A number of bacteria and actinomycetes isolated from soil with manure addition were able to decompose up to 33 % of the protein in sterile manure within 10 weeks. As a whole the actinomycetes seemed somewhat more active than the bacteria; the strongest proteolysis was caused by *Streptomyces griseus*. Certain strains of *Streptomyces* and *Micromonospora* decomposed from 7 to 33 % of manure cellulose in two months; the most active strains were equal to vigorously cellulose-decomposing fungi (*Mycogone* and *Chaetomium*).

The results indicate that although the manures investigated here are more readily nitrifiable than those studied by Barthel and Bengtsson (which only showed nitrification of the organic fraction after two years or more), their organic nitrogen could under field conditions hardly become available to plants with a short growing season (e. g., cereals) during the first year after application. The fact that crops like swedes and potatoes utilize farmyard manure nitrogen better than cereals (Iversen and Dorph-Petersen, 1951) may be due to utilization of part of the organic nitrogen, of which the bulk however can only be expected to act through its residual effect in subsequent years.

LITTERATUR

- Bach, Maria* (1925) — Die Zersetzung des Stalldüngers im Boden und seine Ausnutzung durch Pflanzen. — Landw. Versuchsstat. 104: 245—284.
- Barthel, C.* (1918). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. I. — Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet, Medd. No. 150.
- Barthel, C.* (1918). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. II. — Ibid., Medd. No. 172.
- Barthel, C. og Bengtsson, N.* (1926). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. V. — Ibid., Medd. No. 311.
- Barthel, C. og Bengtsson, N.* (1930). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. VI. — Ibid., Medd. No. 382.
- Barthel, C. og Bengtsson, N.* (1931). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. VII. — Ibid., Medd. No. 396.
- Barthel, C. og Bengtsson, N.* (1931 b). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. VIII. — Ibid., Medd. No. 400.
- Barthel, C. og Bengtsson, N.* (1934). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. X. — Ibid., Medd. No. 442.
- Bartholomew, N., og Clark, F. E.* (1950). — Nitrogen Transformation in Soil in Relation to the Rhizosphere Flora. — Trans. Fourth Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam, II: 112—113.
- Bengtsson, N. og Barthel, C.* (1935). — Bidrag till frågan om stallgödselkvävet's nitrifikation i åkerjorden. — Centralanstalten f. försöksv., Medd. No. 454.
- Bengtsson, N.* (1936). — Sönderdeling af cellulosa, pentosaner och lignin i jord. — Lantbrugshögskolans Annaler, 3:1—48.
- Bengtsson, N.* (1938). — On the Determination of lignin by the Tioglycolic Acid Method. — Ibid., 5:61—69.
- Bengtsson, N. og Barthel, C.* (1940). — The Decomposition of the Organic Compounds in Barnyard Manure. — Ibid., 8:55—69.
- Bondorff, K. A.* (1946). — Om Humusbestemmelse i Jord. — Tidsskrift f. Planteavl, 50:138—149.
- Broadbent, F. E., og Norman, A. G.* (1947). — Some Factors Affecting the Availability of Organic Nitrogen in Soil. — Proc. Soil Sci. Amer., 11:264—267.
- Fuller, W. H., og Norman, A. G.* (1943). — Cellulose Decomposition by Aerobic Mesophilic Bacteria from Soil. III. The Effect of Lignin. — J. Bact., 46:291—298.
- Glathé, H.* (1927). — Die Heissvergärung des Stallmistes nach H. Krantz. — Landw. Versuchsstat., 107:65—129.

- Hansen, Frode* (1929). — Undersøgelser over Kvælstofomsætningen i Agerjord. II. Tidsskr. f. Planteavl, 35:713—753.
- Iversen, Karsten, og Dorph-Petersen, K.* (1951). — Forsøg med staldgødning og kunstgødning ved Askov 1894—1948. — Tidsskr. f. Planteavl, 54:370—538.
- Jenkins, S. H.* (1930). — The Determination of Cellulose in Straw. — Biochem. J., 24:1428—1432.
- Jensen, H. L.* (1931). — The Microbiology of Farmyard Manure Decomposition in Soil. I. — J. Agric. Sci., 21:38—82.
- Jensen, H. L.* (1936). — Contributions to the Microbiology of Australian Soils. IV. — Proc. Linn. Soc. N. S. W., 61:27—55.
- Jensen, H. L.* (1939). — Contributions to the Microbiology of Australian Soils. V. — Ibid., 64:603—608.
- Jones, P. C. T., og Mollison, J. E.* (1948). — A Technique for the Quantitative Estimation of Soil Microorganisms. — J. Gen. Microbiol., 2:54—69.
- Lindhard, J.* (1944). — Undersøgelser over Staldgødningens Omsætning i Jorden maalt ved Kuldioxydproduktionen. — Nordisk Jordbrugsforskning 1944:186—198.
- Olsen, Carsten* (1929). — Om den analytiske Bestemmelse af Ammoniak i Jord og om Jordbundens Adsorptionsevne overfor Ammoniak. — Medd. fra Carlsberg-Laboratoriet, 17, Nr. 15.
- Petersen, Erik J.* (1926). — Undersøgelser over Forholdet mellem Jordens Kulsyreproduktion, kemiske Tilstandsform og mikrobiologiske Aktivitet. — Tidsskr. f. Planteavl, 32:625—672.
- Poulsen, J. Find* (1950). — Om kriterier for staldgødningens kvælstofvirkning. — Ibid., 53:557—621.
- Rege, R. D.* (1927). — Biochemical Decomposition of Cellulosic Materials with Special Reference to the Action of Fungi. — Ann. Appl. Biol., 14:1—44.
- Russell, E. J.* (1950). — Soil Conditions and Plant Growth (8. Udg. v. E. W. Russell; Longmans, Green & Co., London).
- Scheibe, K.* (1929). — Untersuchungen über Abbau und Wirkung der im Stalldünger enthaltenen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen. — Landw. Versuchsstat., 108:61—114.
- Tai, T. Y., og van Heyningen, W. E.* (1951). — Bacteriolysis by a Species of *Streptomyces*. — J. Gen. Microbiol., 5:110—120.
- Thorbeck, Grete* (1945). — Om kvantitativ Bestemmelse af Protein-stoffer, Polypeptider og Aminosyrer i vore Fødemidler. — Beretning fra Forsøgslaboratoriet nr. 215:45—82.
- Waksman, S. A., og Gerretsen, F. C.* (1931). — Influence of Temperature and Moisture upon the Nature and Extent of Decomposition of Plant Residues by Microorganisms. — Ecology, 12:33—60.
- Waksman, S. A.* (1938). — Humus. (2. Udg., Williams & Wilkens Co., Baltimore).
- Waksman, S. A.* (1950). — The Actinomycetes. (Chronica Botanica Co., Waltham, Mass.).
- Welsch, M.* (1942). — Bacteriostatic and Bacteriolytic Properties of Actinomycetes. — J. Bact., 44:571—588.