

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O.
GRONINGEN

DE STIKSTOFBALANS EN
DE pH-VERANDERINGEN IN ENKELE GRONDEN
ONDER INVLOED VAN BACTERIËNLEVEN
EN PLANTENGROEI

WITH A SUMMARY

NITROGEN BALANCE AND pH CHANGES IN SOME SANDY SOILS AS
INFLUENCED BY MICROBES AND PLANTS

Dr Ir F. C. GERRETSEN

STAATSDRUKKERIJ



UITGEVERIJBEDRIJF

INHOUD

	Blz.
I. INLEIDING	5
II. METHODIEK	7
Electrische pasteurisatie van den grond	7
Chemische bepalingen	7
De invloed van dicyaandiamide op nitrificatie en plantengroei	9
III. NITRIFICATIE-PROEVEN (Eerste serie)	11
Opzet der proeven	11
Bespreking der verkregen resultaten	11
Overzicht van de stikstofbalans	15
IV. NITRIFICATIE-PROEVEN (Tweede serie eerste reeks)	20
Opzet der proeven	20
Besprekingen van de verkregen resultaten	21
Het uiterlijk der planten	25
Overzicht van de stikstofbalans	26
V. NITRIFICATIE-PROEVEN (Tweede serie tweede reeks)	29
Opzet der proeven	29
Bespreking der verkregen resultaten	29
Overzicht van de stikstofbalans	32
De door microorganismen ontbonden, vastgelegde en geammonificeerde stikstof	33
VI. NITRIFICATIE-PROEVEN (Tweede serie derde reeks)	37
Opzet der proeven	37
Bespreking der verkregen resultaten	37
Het uiterlijk der planten	42
Overzicht van de stikstofbalans	42
De door microorganismen ontbonden, vastgelegde en geammonificeerde stikstof	44
VII. DE pH VERANDERINGEN ONDER INVLOED VAN DE MICROBIOLOGISCHE OMZETTINGEN EN DE STIKSTOFOPNAME DOOR DE PLANT	47
Inleiding	47
Het bufferend vermogen der gebruikte gronden	48
Het verband tusschen de opgetreden pH veranderingen, bacteriologische omzettingen en plantengroei	51

	Blz.
VIII. OVERZICHT EN BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN .	60
Nitrificatie	60
Ammonificatie	60
Vastlegging	62
Stikstofverliezen	62
De invloed van het microbenleven op den stand van het gewas	64
SAMENVATTING	66
SUMMARY	67
LITERATUUR	68

I. INLEIDING

In de literatuur vindt men slechts weinig onderzoekingen, waarbij quantitatief en in hun onderling verband, eenzijdig de veranderingen in den aard en het gehalte der stikstofverbindingen zijn nagegaan, die onder invloed van het microbenleven en de beplanting in den grond tot stand komen en anderszijds de hoeveelheid stikstof, die in de plant terecht komt, bepaald wordt.

Het behoeft geen betoog, dat het van belang is zoo volledig mogelijk op de hoogte te zijn van het lot van de stikstof, niet alleen die, welke op het land wordt gebracht, doch ook die, welke in verschillende vormen in de bouwvoor aanwezig is en die, welke tenslotte op een zeker tijdstip door de plant is opgenomen en door microben is vastgelegd.

Het doel van dit onderzoek was om hierover eenige gegevens te verzamelen. In het bijzonder interesseerde ons het lot van den als bemesting toegevoegden zwavelzuren ammoniak, het daaruit door nitrificatie gevormde nitraat, de eventueel door de microben vastgelegde stikstof, de stikstof welke uit de organische stof van den grond werd vrijgemaakt, en de stikstof, welke door de plant werd opgenomen. Daarnaevens was het wenschelijk ook de pH-veranderingen na te gaan, die zoowel tengevolge van de nitrificatie als van de stikstofopname van de plant optreden.

Tevens werd een aantal proeven ingezet met natrium-nitraat als stikstofbron, teneinde het gedrag hiervan met dat van zwavelzuren ammoniak te kunnen vergelijken.

Teneinde te kunnen beoordelen, in hoeverre de optredende veranderingen aan microbiologische omzettingen geweten moesten worden en welk aandeel de plant daarin had, was het noodig bij een deel der proeven de microben, in ieder geval de nitrificatie, uit te sluiten.

Het onder druk steriliseeren van grond, vooral wanneer deze humushoudend is, geeft echter vaak aanleiding tot de vorming van giftige stoffen, die de ontwikkeling der planten tegengaan. Daarom werd volstaan de grond bij lager temperatuur te pasteuriseeren, waaraan het nadeel verbonden is, dat na eenigen tijd de sporenvormende microörganismen, die de pasteurisatie hebben overleefd, zich gaan ontwikkelen en het beeld compliceeren. Een deel der potten werd na de pasteurisatie met een weinig grond opnieuw geënt, teneinde zekerheid te verkrijgen, dat de waargenomen veranderingen inderdaad door microörganismen veroorzaakt zijn geworden en eventuele opbrengstdepressies niet door giftige stoffen werden veroorzaakt. Voor het tegengaan van de nitrificatie werd bij de eerste reeks proeven dicyaandiamide toegevoegd. Volgens verschillende onderzoekers zou deze stof reeds in kleine hoeveelheden de nitrificatie stilzetten, zonder andere microbiologische processen, met name de ammonificatie, te beïnvloeden, terwijl de planten voor de aangewende kleine hoeveelheden ongevoelig zouden zijn. Er werden in twee achtereenvolgende jaren in het totaal vier series proeven aangezet; de eerste reeks werd aangezet met een enkele grond en is te beschouwen als een orientatie, welke enkele resultaten afwierp, die vermeldenswaard zijn en die tevens de grondslagen vormen voor de tweede reeks. Deze hoofdreeks werd aangezet met een drietal gronden van verschillende herkomst; als proefobject werd genomen de *Brassica napus*, een gewas, dat in het Noorden van ons land onder den naam van snij-

moes in het voorjaar als groente wordt gebruikt. Deze plant leent zich zeer goed voor het doen van potproeven, groeit snel, stelt geen hoge eischen, geeft een behoorlijke opbrengst, zij heeft weinig reservestoffen in de zaden en reageert demonstratief op tekorten in de voeding.

Noot. Doordat het manuscript van deze publicatie vóór de invoering van de nieuwe spelling werd ingezonden, staat dit verslag nog in de oude spelling.

II. METHODIEK

De proeven werden verricht in Mitscherlichpotten; deze bevatten in de 1e reeks grond, (91,9 % droge stof) waaraan werd toegevoegd 500 cm³ H₂O, terwijl aanvankelijk bemest werd met 0,7 g (NH₄)₂SO₄, 0,22 g KH₂PO₄ en 0,06 g K₂SO₄ per kg; in de gevallen waar dicyaandiamide werd toegevoegd, bedroeg dit 100 mg per kg grond.

Daar gebleken was dat de stikstofbemesting onvoldoende was, werd deze bij de volgende reeks verhoogd tot 2,3 g zwavelzuren ammoniak per kg grond, terwijl een deel der potten de stikstof als nitraat ontving in den vorm van 3 g NaNO₃ per kg grond. Teneinde de pH-verandering, welke eventueel door de bemesting ontstond, zoo gering mogelijk te doen zijn, werd bij de latere proeven het fosfaat gedeeltelijk als KH₂PO₄ (0,2 g per kg) en gedeeltelijk als Na₂HPO₄ (0,02 g per kg) toegediend.

In die gevallen waarin de grond te zuur was, werd nog CaCO₃ toegevoegd. Een deel der potten werd gedurende een uur op 75° C gepasteuriseerd; deze pasteurisatie geschiedde aanvankelijk in een autoclaaf, doch het bleek tenslotte niet mogelijk de grond gelijkmatig op een bepaalde temperatuur te verhitten, de grond aan den buitenkant werd te warm en het duurde te lang alvorens de meer naar binnen gelegen lagen op temperatuur waren.

ELECTRISCHE PASTEURISATIE VAN DEN GROND

Om hieraan tegemoet te komen werd een apparaat geconstrueerd waarin de grond door den elektrischen stroom verhit werd. Het apparaat bestaat uit een platte kist 55 × 31 × 10 cm, waarin als elektroden twee ijzeren platen 50 × 30 cm, welke met het wisselstroomnet (220 V) verbonden worden. De kist moet goed geïsoleerd worden opgesteld, daar anders de stroom over de aarde kortgesloten wordt.

De afstand tusschen de elektroden is 10 cm; gevuld met 20 kg grond (lichte zavelgrond) bedroeg de stroomsterkte 0,9 Amp. bij een watergehalte van 5,5 %. Het is beter het watergehalte hooger te nemen, daar er dan meer stroom doorgaat en de verlangde temperatuur sneller wordt bereikt. Bij verhooging van het watergehalte tot 10,2 % bedroeg de stroomsterkte 4,5 Amp.; in dat geval steeg de temperatuur van 13° tot op 75° in plm. 15 min.; naarmate de temperatuur hooger wordt en de luchtporiën met damp worden gevuld, neemt de stroomsterkte toe om bij 100° op plm. 7,5 Amp. constant te worden. In totaal was voor het pasteuriseren van 20 kg grond ongeveer 0,3 kwh noodig.

Noemenswaardige veranderingen in de pH treden niet op, zelfs niet in de onmiddellijke omgeving van de elektroden, wanneer met wisselstroom wordt gewerkt, terwijl ook de grond als cultuurmedium doorgaans geen nadeelige gevolgen ondervindt als men zorgt, dat de temperatuur niet hooger dan 75° C stijgt.

CHEMISCHE BEPALINGEN

Daar een nauwkeurige stikstofbalans moest worden opgemaakt, was het noodig de voor de proeven gebruikte gronden zoo homogeen mogelijk te maken. De grond werd hiertoe over verschillende zeven gezeefd en daarna met de diverse

meststoffen vermengd. Teneinde het microbiologisch evenwicht zoo min mogelijk te verstoren werden de gronden voor deze bewerkingen niet gedroogd.

Na afloop van de proeven werden de gronden, na een korte uitdroging, opnieuw gezeefd, waarbij de plantenwortels achterbleven. Deze werden voorzichtig gespoeld op een fijne zeef, aan de lucht gedroogd, gemalen en tenslotte bij 105° gedroogd.

Dat deze werkwijze aan de te stellen eischen voldeed blijkt wel uit het feit, dat ook in de beplante potten de stikstof quantitatief teruggevonden werd.

De *ammoniak* werd bepaald in het zoutzure extract van den grond, het *nitraat* in het waterige extract met Devarda legering, na verdrijving van ammoniak met MgO.

De *totaal stikstof* in den grond werd volgens JODLBAUER bepaald, waarbij ter voorkoming van N verliezen het phenolzwavelzuur extra lang (plm. 12 uur) met den grond in aanraking werd gelaten. De *totaal stikstof in het plantenmateriaal* werd volgens KJELDAHL bepaald. Daar in den gebruikten goed geaereerden, vrij zuren grond geen stikstofverliezen te verwachten waren, werd bij de eerste reeks de totaalstikstof alleen bij den aanvang van de proef bepaald. Daar echter bleek, dat het optreden van stikstofverliezen, ook in dergelijke goed geaereerde gronden, niet tot de onmogelijkheden behoort, werd bij de volgende reeksen bij elke monstername de totaalstikstof bepaald. Het bepalen van de totaal stikstof in een der gronden gaf aanleiding tot groote moeilijkheden (grond van EMMENS); het bleek n.l. niet mogelijk overeenstemmende waarden te verkrijgen, ondanks alle pogingen, die werden aangewend, om van homogene monsters uit te gaan. De oorzaak lag wellicht in ontmenging, welke veroorzaakt werd door het feit, dat deze grond met stalmest bemest was, welke niet was verteerd en niet gelijkmatig door den grond was gewerkt. De *biologisch gebonden stikstof* werd aanvankelijk berekend uit het verschil tusschen de oorspronkelijk aanwezige ammoniak- en nitraatstikstof eenerzijds en de hoeveelheid dezer verbindingen vermeerderd met de stikstof in de planten anderzijds, op het tijdstip der monstername.

Ook voor geval door de microörganismen oplosbare stikstof wordt vastgelegd of omgekeerd organische stikstof wordt geammonificeerd, is deze methode bruikbaar, daar wij in die gevallen na afloop van de proef een vermindering, resp. vermeerdering van de totale hoeveelheid oplosbare stikstof vinden vergeleken met het beginstadium, wat echter alleen opgaat als er geen stikstof verloren gaat.

Alhoewel dit à priori onder de omstandigheden waaronder de proeven plaats vonden niet waarschijnlijk was, werd toch besloten om bij de volgende proeven wel de totaal stikstof te bepalen en de biologische stikstof te berekenen.

Bij de hoofdreeks werd de biologisch gebonden stikstof berekend uit het verschil tusschen de totaal N en de som van ammoniak-, nitraat- en plantenstikstof. De monsters werden om de 3 of 4 weken genomen, al naar gelang van het stadium, waarin de grond en de planten verkeerden.

Voor deze proeven werden 4 verschillende gronden van verschillende herkomst gebruikt, alle humeuze zandgronden. Het bufferend vermogen dezer gronden was zoodanig, dat zoowel door de nitrificatie als door de voedselopname van de plant waarneembare pH-veranderingen optraden. In alle

series werden met elkaar vergeleken, de veranderingen, die optraden in den oorspronkelijken met zwavelzuren ammoniak bemesten grond en die, welke in den evenzoo bemesten, gepasteuriseerden grond ontstonden. Teneinde te weten, welk aandeel de planten in de waargenomen veranderingen hebben gehad, werd naast elke onbeplante serie een geheel analoge serie aangezet, waarin per pot 4 snijmoesplanten opgroeiden. De zaden dezer planten waren gedurende $\frac{1}{2}$ uur met $\frac{1}{2}$ % germisan ontsmet. In de eerste serie werd de gepasteuriseerde grond opnieuw geënt om na te gaan in hoeverre daardoor de oorspronkelijke toestand weer hersteld kan worden. Daar het wenschelijk was om eenige controle te hebben over de betrouwbaarheid der bepalingen, werden enkele onbeplante potten zoo behandeld, dat daarin geen bacteriologische omzettingen konden plaats hebben. Sublimaat bleek hiervoor minder geschikt, daar het stoorde bij de stikstofbepalingen, met toluol werd het gestelde doel bereikt.

Het dicyaandiamide onderdrukte wel de nitrificatie, doch de planten werden er door beschadigd, zooals uit het onderstaande zal blijken. Naast de bemesting met zwavelzuren ammoniak werden in de series 2, 3 en 4 ook de omzettingen nagegaan, die in de met natriumnitraat bemeste gronden, zoowel gepasteuriseerd als ongepasteuriseerd ontstonden. De pH van de gronden van de series 3 en 4 was betrekkelijk laag (resp. 4,5 en 5,2), zoodat het niet was uitgesloten, dat hierdoor de microbenflora en de nitrificeerende bacteriën in het bijzonder, ongunstig waren beïnvloed. Om dit na te gaan werd de oorspronkelijke grond met 2 % van een goed nitrificeerenden tuingrond opnieuw geïnfecteerd; daarnaast werden nog een aantal proeven aangezet, waarbij bovendien door toevoeging van een weinig CaCO_3 de pH van den grond omhoog gebracht werd.

Ten einde te kunnen controleeren of de invloed van het enten met 2 % tuingrond behalve door de bacteriën ook eventueel door andere factoren werd veroorzaakt, werden in enkele gevallen tevens eenige potten, na toevoeging van 2 % tuingrond, gesteriliseerd.

De meeste objecten werden in drievoud aangezet, soms ook wel in viervoud of in duplo, al naar gelang de omstandigheden; alle chemische bepalingen werden in duplo verricht, zoodat elk resultaat op minstens 4 en hoogstens 8 bepalingen berust.

DE INVLOED VAN DICYAANDIAMIDE OP NITRIFICATIE EN PLANTENGROEI

Het dicyaandiamide (CNNH_2)₂ zou volgens verschillende onderzoekers de eigenschap hebben de nitrificatie geheel te onderdrukken, zonder de planten noemenswaard te schaden.

Volgens BELING¹⁾ zou 0,5—0,75 mg dicyaandiamide per 100 g grond reeds voldoende zijn om de nitrificatie stil te zetten. Andere microorganismen zouden in veel mindere mate beïnvloed worden; zoo gaat de vorming van ureum ongestoord verder in tegenwoordigheid van 1 mg dicyaandiamide op 100 g grond, evenals de ontleding van pepton.

De stikstofbinding door Azotobacter wordt echter tot 50 % gereduceerd. Volgens Mc GRINN²⁾ is 10 mg dicyaandiamide op 100 g grond voldoende om

¹ L.c. blz. 493

² L.c. blz. 495

de nitrificatie van ureum tot 5 % terug te brengen, terwijl de nitrificatie van bloedmeel door deze hoeveelheid geheel wordt tegengegaan; de opbrengst aan soja werd hierdoor niet beïnvloed, alhoewel de punten van de bladeren eenigszins verbrand waren.

Daar het niet onze bedoeling was over dit onderwerp een uitvoerig onderzoek te doen en wij met het oog op de in te zetten proeven slechts wilden weten in hoeverre dicyaandiamide bruikbaar was om de nitrificatie stil te zetten, zonder de planten te benadelen, werden hierover enkele oriënteerende proeven aangezet. Aan 300 g grond (droog) van een zuren humushoudenden zandgrond (pH 4,4) werden stijgende hoeveelheden dicyaandiamide toegevoegd, benevens 50 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en 6 gr CaCO_3 . Daarnaast werd een proef met grond met stijgende hoeveelheden dicyaandiamide aangezet, waarin spinazie werd gezaaid, om te zien in hoeverre de plantjes tegen het dicyaandiamide bestand waren. Alle proeven werden in duplo aangezet, terwijl de bepalingen in duplo werden verricht.

TABEL I

	Oorspr. gr. zonder bemesting	b. id. + 150 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	c. als b + 6 g CaCO_3	d. als c + 6 mg dicyaan- diamide	f. als c + 15 mg dicyaan- diamide	g. als c + 30 mg dicyaan- diamide
Mg N als nitraat terug- gevonden	4,8	12,7	19,9	19,7	18,6	3,1

Uit tabel I blijkt, dat eerst een hoeveelheid van 10 mg dicyaandiamide op 100 g grond de nitrificatie volledig stilzet.

Opmerkelijk is, dat de toevoeging van de eerste 5 mg slechts een vermindering van de nitrificatie met 6,5 % ten gevolge had, terwijl door toevoeging van nog eens 5 mgr de nitrificatie vrijwel geheel werd stopgezet. De hoeveelheid dicyaandiamide, waarmee in dergelijke gronden de nitrificatie werd stilgezet was gelijk aan die, welke ook door Mc GRINN voor het opheffen van de nitrificatie van gedroogd bloed en van ureum was gevonden. Tevens blijkt, dat in zuren grond, alhoewel door toevoeging van CaCO_3 , de nitrificatie wel sterk is bevorderd, na plm. 7 weken maximaal slechts 31 % van de toegevoegde ammoniakstikstof in nitraat is omgezet. Opmerkelijk is, dat de grond van alle met dicyaandiamide behandelde potten na 1 maand sterk met schimmelmycelium was doorgroeid.

Aan het uiterlijk der spinazieplantjes was reeds na drie weken duidelijk te zien, dat zij onder invloed van het dicyaandiamide hadden geleden, die met de sterkste gift van 20 mg per 100 g grond waren heel klein gebleven, met 10 mg waren de planten kleiner dan die der onbehandelde potten, terwijl de bladeren verdorpe punten hadden. Met 5 mg waren de planten normaal van grootte, echter ook nog met talrijke verdorpe bladpunten.

Teneinde hierover nog eenige meer quantitative gegevens te verkrijgen, werd besloten om bij de in te zetten eerste reeks potproeven aan een deel der potten 100 mg dicyaandiamide per kg grond (berekend op droog) toe te voegen.

III. NITRIFICATIEPROEVEN 1^E SERIE

OPZET DER PROEVEN

- A. Onbemest.
- B. Bemest met zwavelzuren ammoniak (189 mg N per kg grond).
- C. Idem, gepasteuriseerd op 75° C.
- D. Idem, gepasteuriseerd en opnieuw geïnfecteerd met 10 % van dezelfde grond.
- E. Idem en bovendien behandeld met dicyaandiamide (0,01 %).

Van elk object werden acht potten aangezet, waarvan de helft onbeplant bleef en de beide andere met snijmoes werden beplant. Alle potten kregen een basisbemesting van 0,22 g KH_2PO_4 en 0,6 g K_2SO_4 per kg grond (91,9 % droge stof) benevens 500 cm³ H_2O per 5 kg grond.

In nevengaannde grafiek vindt men de resultaten van deze proef grafisch voorgesteld. De proef werd ingezet op 3 Juli, daarna werden op 24 Juli (21 d.), 2 Aug. (34 d.), 21 Aug. (48 d.) en 12 Sept. (70 d.) monsters genomen. De proef werd op 12 Sept., dus na 70 dagen afgebroken. De pH van den onbemesten grond bedroeg 5,3.

BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN

1. ONBEMEST, ONBEPLANT (zie fig. I, laatste kolom).

De grond bevatte van origine zeer weinig ammoniakstikstof (zie meest rechtsche fig. onbemest). In de eerste 6 weken veranderen deze hoeveelheden niet, n.l. in het begin 0,75 mg ammoniak N op 100 g droge stof, daarnaast 9,4 mg nitraatstikstof op 100 g droge stof; in de laatste periode van 21—8 tot 12—9 echter neemt de nitraatstikstof snel af tot 0,52 mg per 100 g grond, welke stikstof door de microorganismen moet zijn vastgelegd.

Vergelijken wij dit met de *onbemeste, beplante reeks*, dan vallen onmiddellijk eenige verschillen op. Hier wordt niet alleen door de plant, maar ook door de bacteriën, schimmels enz. stikstof opgenomen; in de eerste periode namen de microorganismen zelfs meer stikstof op dan de plant. In dezen onbemesten grond bestaat blijkbaar een heftige concurrentiestrijd om den kleinen voorraad stikstof tusschen plant en bacteriën.

In den niet sterielen, met zwavelzuren ammoniak normaal bemesten onbeplanten grond (Kolom III) blijkt de nitrificatie vrij snel te verlopen, na 3 weken is reeds 36,4 % van de oorspronkelijk aanwezige ammoniakstikstof in nitraat omgezet, na 7 weken 58,3 %. Inmiddels is door de microorganismen op dat tijdstip een vrij groote hoeveelheid stikstof in hun lichamen vastgelegd, n.l. 22,4 % van de totaal aanwezige stikstof. Tegen het eind van de proef is dit gestegen tot 33,5 %, hetgeen dus zeggen wil, dat in *dezen onbeplanten, bemesten grond na plm. 2 maanden een derde der oplosbare stikstof in den vorm van bacteriemateriaal onoplosbaar en voor de plant onbereikbaar is geworden*.

Worden deze potten beplant, dan zien wij, zooals te verwachten was, dat de

FIG. 1. De stikstofbalans op opeenvolgende tijdstippen in potgronden, die op verschillen-
de wijzen behandeld zijn geworden. Tevens zijn aangegeven de opbrengsten aan
droge stof per pot en het stikstofgehalte van het verkregen plantenmateriaal.
Men lette o.a. op de meerdere stikstofvastlegging door microörganismen in de
beplante potten vergeleken met de onbeplante.

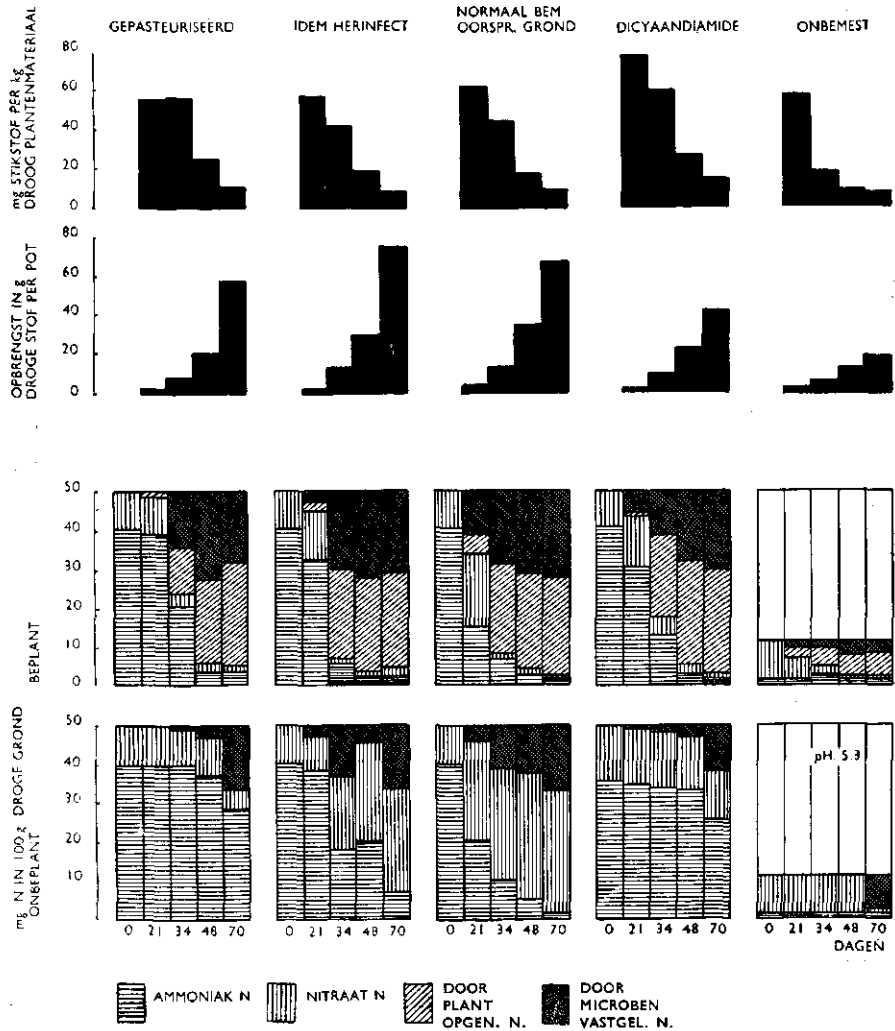


FIG. 1. Nitrogen balance at successive stages in a sandy soil, which has been treated in different ways. From left to right : original soil with amm. sulf. pasteurized ; the same reinfected ; original soil with amm. sulf. ; the same with dicyandiamide ; untreated soil, without amm. sulf.

Upper row : mg. N in dry plantmaterial.

second row : Yield, g. dry matter per pot.

third row : mg N in 100 g. dry soil, cropped.

fourth row : mg N in 100 g dry soil, uncropped.

Note the increased amounts of nitrogen, fixed in the microbes, in the cropped pots compared with those in the uncropped pots.

planten na 21 d. nog slechts een klein deel (8,3 %) van de ammoniak- en nitraat-stikstof hebben geassimileerd.

Na 5 weken bedraagt dit echter reeds 47,7 % van de in den beginne aanwezige oplosbare stikstof, na 7 weken 49,4 %, na 9 weken 54,6 %.

De geringe hoeveelheid stikstof in de laatste 4 weken opgenomen doet veronderstellen, dat de stikstofvoorraad in den grond voor de behoefte van de planten niet geheel toereikend is geweest. Dit is niet alleen een gevolg van de te lage stikstofgift, doch is ook veroorzaakt, doordat de microörganismen in deze beplante potten belangrijk meer stikstof hebben vastgelegd dan in de onbeplante. In de periode, volgende op de 2e monsternamen, dus reeds te beginnen met de 5e week, hebben de bacteriën op vrijwel *alle resteerende oplosbare stikstof beslag gelegd*, terwijl de plant van verdere stikstof verstoken bleef. Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat deze situatie wordt veroorzaakt, doordat de plant in de rhizosfeer organische stoffen afscheidt met een hooge C : N verhouding¹⁾ en de microörganismen in de rhizosfeer deze verbindingen alleen maar kunnen omzetten en assimileren, wanneer zij de daarvoor ontbrekende stikstof aan den grond onttrekken. Zoolang er overmaat oplosbare N in den grond is, zal de plant hiervan geen nadeel ondervinden; is er echter slechts weinig stikstof, dan zal deze op haar weg naar de wortels, door de hen omringende zone van sterk assimilerende microörganismen geheel in beslag worden genomen en dientengevolge niet meer tot de wortels kunnen doordringen.

2. GEPASTEURISEERD EN GEPASTEURISEERD BENEVENS OPNIEUW GEËNT, ONBEPLANT (Fig. 1, 1e en 2e kolom onderste rij)

Gedurende de eerste 5 weken blijft in deze potten de toestand vrijwel onveranderd, daarna wordt een kleine hoeveelheid oplosbare stikstof in onoplosbaren vorm overgevoerd, terwijl in de laatste periode de hoeveelheid vastgelegde stikstof aanmerkelijk is toegenomen en tot 31 % van de totaal stikstof is gestegen.

Deze gang van zaken is begrijpelijk, wanneer men bedenkt, dat door de pasteurisatie op 75° wel het grootste deel der microörganismen is gedood, doch vele sporen daarentegen deze bewerking overleven. Deze vermenigvuldigen zich slechts langzaam, mede doordat in een dergelijken grond de hoeveelheid assimileerbare stoffen zeer beperkt is. Er is geen nitraat bij gevormd, daar de nitrificerende bacteriën tegen de gebezigde temperatuur niet bestand zijn, wel is een gedeelte van het nitraat door de microben vastgelegd.

De opnieuw geënte grond vertoont een ander beeld, hier neemt gestadig de hoeveelheid nitraat toe, ten koste van den zwavelzuren ammoniak; de hoeveelheid vastgelegde stikstof vertoont eenige schommelingen en is tenslotte iets grooter dan bij den ongeënten grond n.l. 41 % van de totaal stikstof.

3. GEPASTEURISEERD EN GEPASTEURISEERD BENEVENS OPNIEUW GEËNT, BEPLANT. (Fig. 1, 1e en 2e kolom, 2e rij v.o.)

De gepasteuriseerde serie vertoont enkele opmerkelijke bijzonderheden. Zeer in het oog vallend is dat de hoeveelheid vastgelegde stikstof, vergeleken met de onbeplante serie, veel grooter is: terwijl onbeplant in de eerste 5 weken nog in het geheel niets is vastgelegd, bedraagt dit in de beplante serie reeds

26 %, na 7 weken is dit gestegen tot 43 %, terwijl in de gepasteuriseerde serie bij ongeënt op dat oogenblik nog slechts 4 % is vastgelegd.

Daarna zien wij, dat van deze vastgelegde stikstof een klein gedeelte weer geammonificeerd wordt en ter beschikking van de plant komt.

De resterende voorraad ammoniak- en nitraatstikstof is na 48 d. reeds vrijwel geheel door de plant opgenomen.

De *opnieuw geïnfecteerde* serie vertoont een analoog beeld, behoudens dat de hoeveelheid stikstof, die door de planten is opgenomen in de eerste 7 weken grooter is dan in de gepasteuriseerde reeks; na 31 dagen, is van de ammoniakstikstof nog slechts 7,9 mg over op 100 g grond, tegen 19,8 mg in den gepasteuriseerden beplanten grond.

De hoeveelheid nitraat is in de eerste periode iets toegenomen, in de daarop volgende periode is echter de snelheid, waarmee de plant en de microben het nitraat kunnen opnemen grooter dan de snelheid, waarmee het door de nitrificerende bacteriën gevormd is geworden.

4. MET DICYAANDIAMIDE BEHANDELD, ONBEPLANT (Fig. 1, 4e kolom onderste rij).

Dat het doel van de dicyaandiamide behandeling, n.l. de onderdrukking van de nitrificatie is bereikt, blijkt duidelijk uit de grafiek. In tegenstelling met de niet steriele, normaal bemeste onbeplante serie, zien wij, dat hier de hoeveelheid nitraatstikstof in 7 weken vrijwel constant is gebleven; in de laatste periode heeft eenige vastlegging plaats, waarbij $3 \times$ zooveel ammoniak N als nitraat N wordt gebruikt. Opmerkelijk is, dat ook in de laatste periode van de gepasteuriseerde, onbeplante serie voor de vastlegging meer ammoniakstikstof dan nitraatstikstof werd gebruikt, waardoor de vraag rijst of inderdaad de microörganismen, die voor deze vastlegging aansprakelijk zijn, ammoniakstikstof boven nitraatstikstof prefereren.

Het feit, dat in de dicyaandiamide serie tenslotte bijna 40 % minder N is vastgelegd dan in de onbehandelde wijst er wel op, dat deze stof niet alleen schadelijk is voor de nitrificerende bacteriën, doch ook zeer nadeelig werkt op de microörganismen, die voor de vastlegging aansprakelijk zijn. Het duidelijkst blijkt dit wel uit het feit, dat deze vastlegging in de dyciaandiamide serie veel later inzet; na 5 weken is vrijwel nog niets vastgelegd tegen een vierde van de totaal stikstof in de onbehandelde serie.

5. MET DICYAANDIMIDE BEHANDELD, BEPLANT (Fig. 1, 4e kolom, 2e rij v.o.).

De totale opbrengst aan droog plantenmateriaal bedraagt hier slechts 57,4 % van de maximale opbrengst en 63,5 % van de op den onbehandelden bemesten grond, zoodat het dicyaandiamide in de gebruikte concentratie van 0,1 g per kg grond nog een zeer duidelijke schadelijke werking op de planten heeft uitgeoefend. De planten bleven niet alleen kleiner, doch vertoonden reeds na een maand tot aan het eind van de proef toe, witte randen om de bladeren, welke het gevolg van vergiftiging waren, een verschijnsel dat ook door SCHMITT (13) bij rapen en gerst was geconstateerd. Zeer merkwaardig is echter, dat de totale hoeveelheid stikstof, welke tenslotte door 8 planten is opgenomen, juist in deze serie maximaal is en die in de serie met maximale opbrengst aan

droge stof met 13 % overtreft. In alle stadia van de proef is tevens het stikstofgehalte van deze dicyaandiamide-planten grooter dan dat der overige planten.

Door PREIFFER en SIMMERMACHER (12) is hetzelfde verschijnsel waargenomen; zij toonden aan dat het dicyaandiamide klaarblijkelijk een „nutteloze ophooping van stikstof in de bladeren en stengels der planten veroorzaakt”. Waarschijnlijk heeft men hier te doen met een specifiek fysiologisch effect, alhoewel in het onderhavige geval men uit de grafiek kan aflezen dat de planten meer stikstof tot hun beschikking hebben gehad dan in de normaal bemeste serie zonder dicyaandiamide. De vastleggingsorganismen zijn n.l. in hun ontwikkeling door het dicyaandiamide belemmerd, waardoor in deze serie de concurrentie om de stikstof tusschen planten en bacteriën ten gunste van de planten verschoven is.

In overeenstemming met de overige series is de vastlegging in de *bepante* serie met dicyaandiamide sterker dan in de *onbepante* en tevens veel minder vertraagd. Dit laatste duidt erop, dat in den bodem wel microorganismen voorkomen, die voor het dicyaandiamide minder gevoelig zijn; doordat de groeiende plant in de rhizosfeer organische stoffen afscheidt kunnen deze microorganismen zich hier veel sneller vermeerderen dan in de onbepante potten, wat een grootere stikstofvastlegging ten gevolge heeft.

Tevens is door deze proeven met zekerheid bewezen, dat de snijmoesplanten onder deze omstandigheden in staat zijn hun stikstofbehoefte voor een groot deel met NH_4 te dekken; van de opgenomen stikstof is bijv. op den gepasteuriseerden grond minstens 68 % NH_4 geweest, in de dicyaandiamide serie 58 %; in hoeverre een bemesting met nitraat tot hogere opbrengsten aanleiding kan geven, blijft hier onbeantwoord, doch zal in de volgende serie worden nagegaan.

OVERZICHT VAN DE STIKSTOFBALANS

De hoogste opbrengst heeft de opnieuw geïnfecteerde, gepasteuriseerde grond gegeven, welke opbrengst bijna 33 % hoger was dan van den gepasteuriseerden grond en 12,5 % dan van den ongepasteuriseerden normalen grond. De oorzaak hiervan ligt niet in de totale hoeveelheid door de planten opgenomen stikstof, welke in den gepasteuriseerden grond uiteindelijk hoger was dan in den hergeïnfecteerden grond; wel is de vastlegging van de stikstof in de eerste periode aanzienlijk geringer geweest dan in den normalen grond, wat echter op den uiteindelijke opbrengst geen noemenswaardige invloed kan hebben, daar aan het einde van de proef in beide gevallen ongeveer evenveel N is vastgelegd. Daar het verschil tusschen de eerste en tweede reeks alleen gelegen is in de toevoeging van 10 % niet gepasteuriseerden, doch *overigens denzelfden grond*, is het zeker mogelijk, dat de oorzaak van den beteren stand van micro-biologischen aard is. Ook moet aan de mogelijkheid worden gedacht, dat alhoewel de pasteurisatie voorzichtig en bij lagere temperatuur heeft plaats gehad, in dezen humushoudenden grond kleine hoeveelheden giftige stoffen gevormd kunnen zijn, die den groei aanvankelijk belemmeren. De lage opbrengst in de 1e periode, lager dan onbemest, wijst hier wellicht op. Deze stoffen worden echter doorgaans na eenigen tijd, mede onder invloed van het microbenleven, weer geoxydeerd en verliezen daarbij hun schadelijke werking.

TABEL 2 Opbrengst en stikstofgehalte der planten

Behandeling v. d. grond	Droge stof in g per pot				Totaal door de planten opgenomen stikstof in mg			
	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen
A. Onbemest. <i>Original soil, no nutrients</i>	0,95	6,0	12,5	19,5	54,5	108	104	139
B. Gepast. bemest. <i>Pasteurized, + nutrients</i>	0,65	7,0	19,7	56,5	36,3	394	495	616
C. Idem na herinf. <i>Ditto, reinfected</i>	1,02	12,7	30,5	75,0	58,3	523	556	563
D. Norm. bemest. <i>Original soil + nutrients</i>	1,53	12,2	35,2	66,7	93,0	537	568	613
E. Met dicyaandiamide . . <i>Ditto + dicyaandiamide</i>	0,46	8,2	23,0	43,0	33,0	491	607	636
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Dry matter in g per pot</i>				<i>Total nitrogen assimilated by the plants (mg)</i>			

Behandeling v. d. grond	Stikstofgehalte in % v. h. droge materiaal			
	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen
A. Onbemest. <i>Original soil, no nutrients</i>	5,74	1,80	0,83	0,71
B. Gepast. bemest. <i>Pasteurized, + nutrients</i>	5,57	5,63	2,51	1,09
C. Idem na herinf. <i>Ditto, reinfected</i>	5,72	4,12	1,82	0,75
D. Norm. bemest. <i>Original soil + nutrients</i>	6,07	4,41	1,62	0,92
E. Met dicyaandiamide . . <i>Ditto + dicyaandiamide</i>	7,70	5,99	2,64	1,48
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Nitrogen content of dry plant material in %</i>			

TABLE 2 Yield and nitrogen-content of the plants. (*Brassica napus*).

Tevens is het niet uitgesloten, dat door de pasteurisatie voedingsstoffen ontsloten zijn, wat een van de factoren kan zijn, waardoor tenslotte de stand van het gewas beter kan zijn dan op den ongepasteuriseerden grond. Een factor, welke van doorslaggevende beteekenis kan zijn, is het feit, dat de nitri-

ficeerende bacteriën in den gepasteuriseerden grond onwerkzaam zijn, waardoor dus de plant zich vrijwel uitsluitend met ammoniakstikstof moet voeden, in tegenstelling met den hergeïnfecteerden en den onbehandelden grond, waar de nitrificeerende bacteriën zeer intensief werkzaam zijn. Wat de eigenlijke oorzaak van het opbrengstverschil is, kan echter zonder nader onderzoek niet worden gezegd.

De opbrengst op de met dicyaandiamide behandelde potten staat ver bij die der andere potten achter en is tenslotte slechts 64 % van die op den normalen, onbehandelden, bemesten grond. Het is duidelijk, dat het dicyaandiamide in de gebruikte concentratie de planten ongunstig heeft beïnvloed.

Opmerkelijk is verder, dat het stikstofgehalte der planten van de gepasteuriseerde serie in de 2e periode, dus na 34 dagen even hoog is als in de 1e periode, terwijl in de overige cultures in die 2e periode het stikstofgehalte met 28 % is gedaald.

Hiervoor kunnen verschillende oorzaken zijn o.a. de planten zijn in deze gepasteuriseerde potten kleiner gebleven dan in de beide niet gepasteuriseerde cultures. Verder is in den gepasteuriseerden grond stikstofvastlegging in de 1e en 2e periode geringer dan in de andere cultures, zoodat voor de planten meer stikstof ter beschikking stond. Wanneer wij verder de voor de plant beschikbare hoeveelheden ammoniak en nitraat bekijken, dan blijkt dat deze hoeveelheden in alle series in de laatste periode tot een minimum zijn geslonken en is de vraag gerechtigd of deze planten tenslotte toch geen stikstofgebrek hebben gehad. Dit wordt waarschijnlijk als men ziet, dat de eindstikstofgehalten op de normale en de hergeïnfecteerde gronden met resp. 9,2 en 7,5 g N per kg slechts weinig hooger zijn dan op den geheel onbemesten grond met 7,1 g N per kg. droge stof.

Met het oog hierop heeft de volgende serie een zwaardere stikstofbemesting ontvangen.

Door microorganismen vastgelegde stikstof

Gaan wij tenslotte het lot van de door de microorganismen vastgelegde stikstof nog eens na, dan blijkt duidelijk uit onderstaande tabel, dat in de onbeplante reeks, door de pasteurisatie zoowel als door het dicyaandiamide, de vastlegging gedurende 48 dagen vrijwel geheel is onderdrukt geworden. Door herinfectie met 10 % van den oorspronkelijken grond wordt de toestand vrijwel normaal. Daarna zien wij dat 66 % van de vastgelegde stikstof weer geammonificeerd is; daarna treedt opnieuw vastlegging in. Een dergelijke periodieke afwisseling tusschen vastlegging en ammonificatie is ook bij vorige onderzoekingen geconstateerd (5) en is hier blijikbaar door de pasteurisatie in de hand gewerkt.

Het hooge percentage vastgelegde stikstof in den onbemesten grond wordt veroorzaakt, doordat de vastlegging hier betrokken is op de oorspronkelijk in dezen grond aanwezige kleine hoeveelheid oplosbare stikstof, daar er geen N-meststoffen waren toegevoegd.

Verder blijkt uit de cijfers van de beplante potten dat hier, afgezien van den onbemesten grond, overal aanzienlijk meer stikstof door de microben is vast-

TABEL 3 Door microörganismen vastgelegde stikstof in % van de oorspronkelijk aanwezige, oplosbare stikstof

Behandeling v. d. grond	Onbeplant				Beplant			
	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen
A. Onbemest. <i>Original soil, no nutrients</i>	0,0	0,0	0,4	84,0	22,8	21,6	37,4	33,4
B. Gepast. bemest <i>Pasteurized + nutrients</i>	0,0	2,2	6,1	32,4	0,0	28,6	45,3	37,5
C. Idem na herinf. <i>Ditto, reinfected</i>	8,8	25,7	8,6	32,8	6,2	41,0	45,0	40,7
D. Norm. bem. onbeh. <i>Original soil + nutrients</i>	11,9	22,8	24,2	35,4	19,3	38,5	43,1	45,1
E. Met dicyaandiamide <i>Ditto + dicyandiamide</i>	0,0	2,7	6,4	23,9	8,2	23,8	37,7	41,4
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Uncropped</i>				<i>Cropped with Brassica napus</i>			

Benandeling v. d. grond	Verhouding tussen door de plant en door de micr. opgen. stikstof			
	Na 21 dagen	Na 34 dagen	Na 48 dagen	Na 60 dagen
A. Onbemest. <i>Original soil, no nutrients</i>	0,9	2,0	1,4	1,6
B. Gepast. bemest <i>Pasteurized + nutrients</i>	—	1,2	1,0	1,4
C. Idem na herinf. <i>Ditto, reinfected</i>	0,8	1,1	1,1	1,2
D. Norm. bem. onbeh. <i>Original soil + nutrients</i>	0,4	1,2	1,1	1,2
E. Met dicyaandiamide <i>Ditto + dicyandiamide</i>	0,4	1,4	1,4	1,3
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Relation between the amounts of nitrogen assimilated by the plants and the microbes</i>			

TABLE 3 Nitrogen transformed into insoluble microbial protein (in % of the original soluble nitrogen.)

gelegd, dan in de onbeplante, hetgeen, zooals reeds werd opgemerkt, veroorzaakt moet zijn geworden, doordat de wortelafscheidings in de rhizosfeer als C-voeding voor de schimmels en bacteriën hebben dienst gedaan.

Opmerkelijk is, dat hierdoor het effect van de pasteurisatie zoowel als van de behandeling met dicyaandiamide reeds binnen een maand te niet is gedaan als gevolg van de betere ontwikkelingsvoorwaarden, die den resterenden microben door de aanwezigheid van de plantenwortels geboden wordt.

Daar het te verwachten is, dat de hoeveelheid en de aard der organische worteluitscheidingen ten nauwste zullen samenhangen met den aard van het verbouwde gewas, kan men de hier met *Brassica napus* verkregen resultaten niet zonder meer op andere planten overbrengen. Gezien de groote invloed, die er blijkbaar van die uitscheidingen op de microörganismen in de geheele omgeving van het wortelstelsel wordt uitgeoefend, is het zeer wenschelijk dit punt aan een nader onderzoek te onderwerpen.

Vergelijken wij tenslotte nog de hoeveelheden stikstof, die in totaal door de plant zijn opgenomen met die, welke door de microörganismen zijn vastgelegd, dan blijkt dat in de eerste periode van 3 weken in alle gevallen de microben meer N hebben opgenomen dan de planten.

In de daarop volgende perioden nemen wel is waar de planten meer stikstof op dan de microben, doch de verhouding is, behoudens enkele uitzonderingen (A en E na 34d.) slechts weinig hooger dan 1, gemiddeld ongeveer 1,3. Dat wil dus zeggen dat over de geheele groeiperiode genomen de bacteriën, schimmels, actinomyceten en andere micro-organismen bijna net zooveel stikstof hebben geassimileerd als de planten.

Deze resultaten geven een geheel onverwachte kijk op het aandeel, dat de microörganismen van de stikstofbemesting voor zich kunnen opeischen, een aandeel, dat althans in het hier onderzochte geval aanzienlijk grooter blijkt te zijn dan tot nu toe werd aangenomen.

IV. NITRIFICATIEPROEVEN 2E SERIE

INLEIDING

De bedoeling van deze proefnemingen was aan een uitgebreider materiaal de verkregen resultaten te toetsen en vooral ook door nauwkeurige pH-metingen de reactieveranderingen na te gaan, die zoowel door den plantengroei als door microben werden veroorzaakt.

Analyse der gebruikte gronden ¹	pH-H ₂ O	pH-KCl	Humus %	Zand % > 16 μ	Afslib. % < 10 μ
I. Emmens te Zijen	4,7	3,7	11,3	80,8	7,9
II. Rademaker te Ide	5,7	5,0	2,7	91,6	5,7
III. Rijkens te Tinaarlo . . .	5,3	4,5	7,3	88,3	4,4

Daar enkele gronden tamelijk zuur reageerden en bij oriënteerende proeven was gebleken, dat ze onvoldoende nitrificeerden, werden ook eenige proeven ingezet, waarbij de betreffende grond met 2 % van een goed nitrificeerenden tuingrond werd geïnfecteerd, om de eventueel ontbrekende nitrificeerende bacteriën er in te brengen, terwijl daarnaast een reeks werd aangezet, waaraan bovendien nog 15,9 g CaCO₃ per pot van 5 kg was toegevoegd ter neutralisatie der bij de nitrificatie vrij komende zuren.

DE OPZET VAN DE EERSTE REEKS VAN DEZE SERIE PROEVEN MET GROND
VAN EMMENS TE ZIJEN (pH 4,7)

Duur van de proef: van 22 Juni tot 14 September.

A. BEMEST MET ZWAVELZUREN AMMONIAK.

- I. Oorspronkelijke grond, bemest, *onbeplant* en *beplant*.
- II. De grond, geïnfecteerd met 2 % tuingrond, *beplant* en *onbeplant*.
- III. De grond, geïnfecteerd met 2 % tuingrond en met CaCO₃ gemengd, *beplant* en *onbeplant*.
- IV. De grond, gepasteuriseerd op 75°, *beplant* en *onbeplant*.
- V. De grond + 2 % tuingrond, gepasteuriseerd op 75° en met CaCO₃ gemengd, *beplant* en *onbeplant*.
- VI. De grond met toluol, alle *onbeplant*.

De gevolgde methodiek is geheel die der eerste serie, alleen de bemesting werd eenigszins gewijzigd wat betreft de toegevoegde stikstof.

Uit de vorige proef was gebleken, dat de stikstofbemesting waarschijnlijk wat krap was, mede doordat een zeer groot percentage door de microben was vastgelegd; bovendien was het te verwachten, dat bij een grootere stikstofbemesting ook de pH veranderingen meer geprononceerd zouden zijn, waarom dan ook $2\frac{1}{2} \times$ zooveel stikstof in den vorm van zwavelzuren ammoniak werd toegevoegd. Achteraf is echter gebleken, dat dit te veel is geweest en de groei der planten door de te hoge concentratie eenigszins ongunstig beïnvloed is geworden.

De bemesting bestaat uit:

2.3 g (NH ₄) ₂ SO ₄ of 3 g NaNO ₃	} per kg drogen grond (= plm. 45 mg N op 100 g drogen grond)
0.2 g KH ₂ PO ₄	
0.02 g Na ₂ HPO ₄	
0.06 g K ₂ SO ₄	
0.06 g MgSO ₄	

¹ Analyses verricht door het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek te Groningen.

B. BEMEST MET NaNO_3 .

VII. De grond, onbeplant en beplant.

VIII. De grond, gepasteuriseerd, *beplant* en *onbeplant*.

IX. De grond, met toluol, onbeplant.

De behandeling met toluol diende om alle microbiologische veranderingen in den grond stil te zetten en om na te gaan of daarnaast eventueel nog andere omzettingen plaats vonden.

(De proeven werden in 3- of 4-voud aangezet en voor de analyses successievelijk afgebroken.)

Doordat slechts een beperkt aantal Mitscherlichpotten beschikbaar was, kon de proef niet zoo uitgebreid genomen worden als wenschelijk was geweest. Zoo kon de monsternamen niet overal om de 2 weken geschieden.

BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN AAN DE
HAND VAN GRAFIEK N°. 2

A. Grond van Emmens te Zeijen (Dr).

I. OORSPRONKELIJKE GROND, ONBEPLANT EN BEPLANT, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST (fig. 2, 1e kolom).

Aanvankelijk zien wij hier geen nitrificatie, wel een toenemende vastlegging, welke na ± 2 maanden 34 % van de in den beginne aanwezige oplosbare stikstof bedraagt. Daarna zien wij, dat in den onbeplanten grond de vastlegging in de laatste helft van Aug. plaats maakt voor ammonificatie en een geringe nitrificatie. Zelfs een klein deel van de in den grond aanwezige organische stikstof wordt gemineraliseerd (dubbel gearceerd). Een dergelijke scherpe overgang van vastlegging naar ammonificatie is door mij reeds vroeger waargenomen en staat onder meer in verband met de hooge temperatuur in Augustus welke in die periode gemiddeld 23°C heeft bedragen.

In de daarop volgende periode treedt weer een intensieve vastlegging op, benevens een geringe nitrificatie. In de beplante potten is, evenals in de vorige serie, *meer* stikstof vastgelegd dan in de onbeplante, zoodat ten slotte planten en microörganismen ongeveer evenveel N hebben opgenomen.

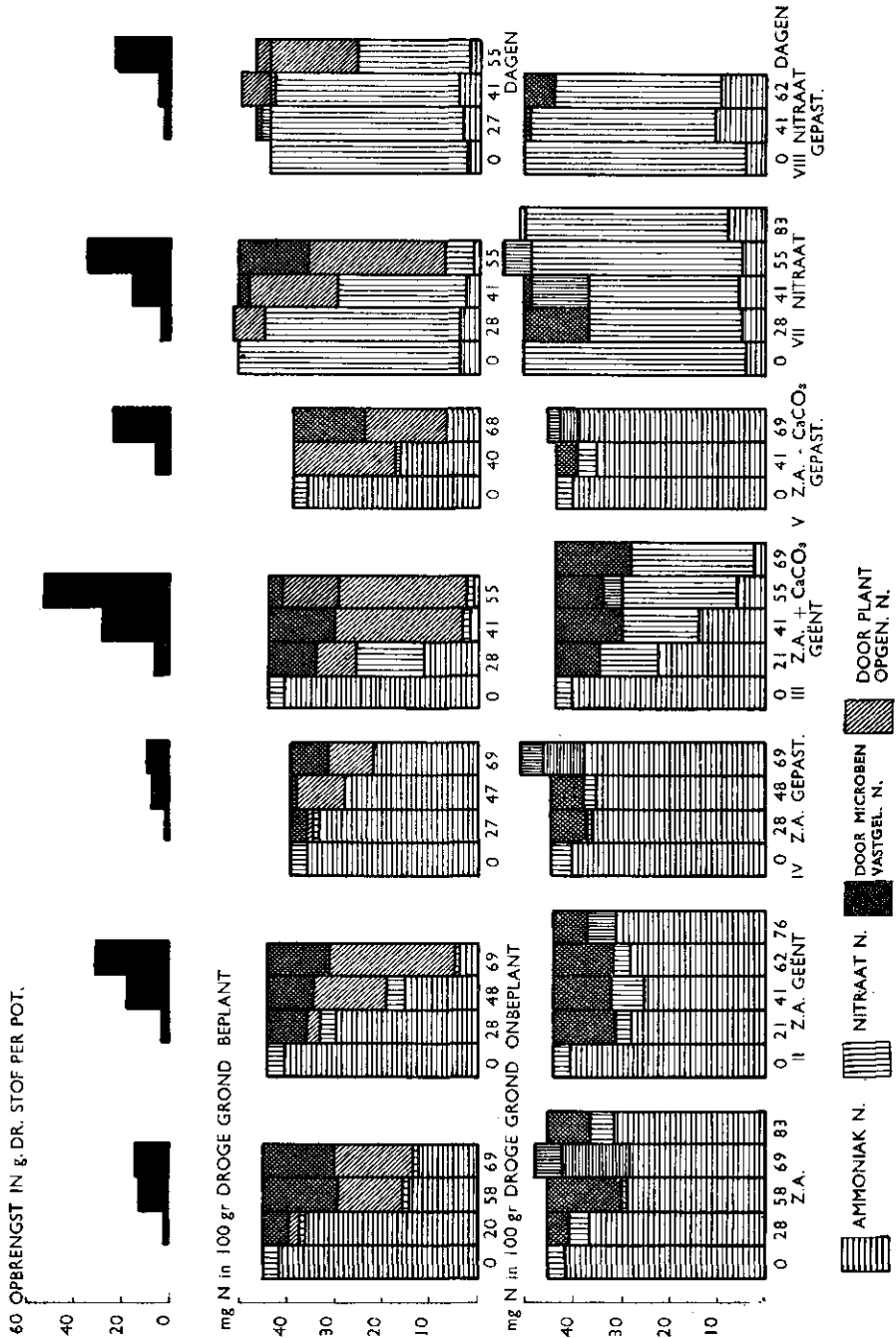
II. OORSPRONKELIJKE GROND GEÏNFECTEERD MET 2 % TUINGROND, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 2 Kolom II)

In den *onbeplanten* grond zien wij, behoudens een iets grootere nitrificatie en het uitblijven van de ammonificatie van de voorhanden organische stof, geen geprononceerd effect van de infectie. De eindtoestand is na $2\frac{1}{2}$ maand vrijwel dezelfde als bij de vorige reeks. In de laatste periode wordt ongeveer een derde van de door microörganismen vastgelegde organische N geammonificeerd en gedeeltelijk genitrificeerd.

Het effect der infectie in de *beplante* potten daarentegen is grooter geweest: er is belangrijk meer stikstof opgenomen, n.l. $1,7 \times$ zooveel, de opbrengst aan plantenmateriaal is $2,2 \times$ zoo groot, er is minder stikstof vastgelegd.

Daar niet te verwachten is, dat de 2% tuingrond, waarmee geënt werd, als

FIG 2



zoodanig een zoo grooten invloed gehad heeft, dat de opbrengst erdoor verdubbelt, moet wel worden aangenomen dat de oorzaak van deze betere ontwikkeling der planten gelegen is in den invloed, dien de in den grond gebrachte microörganismen op de planten hebben uitgeoefend.

Ten einde alle onzekerheid op dit punt te vermijden, zou het wenschelijk geweest zijn een tweede proef te doen, waarbij aan den grond 2 % *sterielen* tuingrond was toegevoegd. Daar echter bij de proeven I en IV, benevens III en V, ook reeds het eenige verschil gelegen is in het al of niet aanwezig zijn der microörganismen, is deze proef hier achterwege gelaten. Vergelijkt men de grafieken van de *beplante* gronden, oorspronkelijk en geïnfecteerd, (Fig 2, Kolom I en II midden) dan ziet men dat in de voorlaatste periode ongeveer half zooveel N is vastgelegd in den geïnfecteerden als in den oorspronkelijken grond, tevens is er meer nitraat. De oorzaak van den beteren stand van de planten zou dus wel eens kunnen zijn, dat in den geïnfecteerden grond, door een intensiever verloop der bacteriologische processen, meer N ter beschikking van de planten heeft gestaan. Daar echter in den onbeplanten grond de verschillen niet zoo geprononceerd zijn, moet men wel een wisselwerking tusschen microben en planten aannemen, speciaal in de rhizosfeer. Hierop wordt nog nader teruggekomen.

III. OORSPRONKELIJKE GROND, GEINFECTEERD MET 2 % TUINGROND, TEVEN CaCO_3 TOEGEVOEGD, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 2 kolom 4)

Hier blijkt wel duidelijk hoe sterk de nitrificatie in den oorspronkelijken grond door den lagen pH en het onvoldoende bufferend vermogen belemmerd is geworden.

In de beplante potten zijn de planten uitstekend gegroeid, de opbrengst is bijna $4 \times$ zoo hoog als op den oorspronkelijken grond en bijna $2 \times$ zoo hoog als op dezelfde grond geïnfecteerd en zonder toevoeging van CaCO_3 . (Zie ook tabel IV op blz. 26).

Opmerkelijk is dat hier in de laatste periode het grootste deel van de door de microben vastgelegde N weer gemineraliseerd is (schuin dik gearceerd) en hierdoor de planten meer stikstof te hunner beschikking hadden als in de andere potten.

FIG. 2. De stikstofbalans op verschillende tijdstippen in den grond van Emmens. In de onbeplante gronden (I, II, III, V en VI) en in enkele beplante potten (III, 55d en VIII) heeft ammonificatie van organische stof plaats gehad (schuin en dik of dubbel gearceerd.) In den beplanten grond (VIII) is na 55 d zelfs 14 % van de door de plant opgenomen stikstof uit organische verbindingen van den grond afkomstig.

FIG. 2. Nitrogen balance at successive stages in a sandy soil from Emmens. From left to right : Original soil + amm.sulf.; same, infected with 2 % garden soil; the same, but pasteurized.; Original soil + amm.sulf. + CaCO_3 infected; the same but pasteurized; original soil + nitrate : same, pasteurized.
Upper row : yield per pot in grams.
Middle row : mg. N in 100 g. soil after ... days. Cropped.
Lower row : the same, uncropped.
In the uncropped soils as well as in two of the cropped ones, notable amounts of organic nitrogen have been ammonified. (heavy lines).

IV. DE GROND, GEPASTEURISEERD MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT. (Fig. 2, kolom 3)

In den onbeplanten grond zien wij alleen een geringe vastlegging door de microorganismen, die de pasteurisatie hebben overleefd, terwijl in de laatste periode een duidelijke ammonificatie optreedt (dubbel gearceerd), waarbij niet alleen de in de vorige periode vastgelegde stikstof weer in ammoniak wordt overgevoerd, maar tevens een merkbare hoeveelheid van het in *den grond zelf oorspronkelijk aanwezige organische, stikstofhoudende materiaal geammonificeerd wordt*. (Het deel van de fig. dat boven de rest uitsteekt).

Tevens heeft in deze laatste periode een zwakke nitrificatie plaats gehad, doordat blijkbaar een geringe infectie heeft plaats gevonden.

In de beplante potten blijft deze ammonificatie uit en heeft integendeel tegen het einde van de proef nog weer vastlegging plaats gehad. De planten blijven klein en de opgenomen stikstof bedraagt slecht 59 % van de ongepasteuriseerde reeks.

Wij zien hier duidelijk welk een grooten invloed het al of niet aanwezig zijn der nitrificerende bacterien kan hebben. In het bijzonder geldt dit op een dergelijken zuren grond, waar de opname van ammoniumverbindingen door de plant ten gevolge van den lagen pH toch al bemoeilijkt is, zooals door sommige onderzoekers voor verschillende gewassen is aangetoond (11).

V. DE GROND MET 2 % TUINGROND GEPASTEURISEERD, DAARNA GEMENGD MET CaCO_3 EN ZWAVELZUREN AMMONIAK (Fig. 2 kolom 5) ONBEPLANT EN BEPLANT.

Deze proef onderscheidt zich van proef III alleen door het feit dat de microorganismen grootendeels gedood zijn, overigens is alles hetzelfde. Alhoewel in de eerste periode een geringe vastlegging heeft plaats gehad, blijkt in de volgende periode de ammonificatie de overhand te hebben.

In de beplante potten zien wij, dat de opbrengst bij die van den gelijk behandelde, niet gepasteuriseerden grond (kolom IV) ten achterstaat; zij bedraagt het dubbele van die op den gepasteuriseerden grond zonder CaCO_3 . De opgenomen stikstof is hier het dubbele van die in het laatstgenoemde geval en de helft van die in den niet sterielen grond.

Wij zien dus een gunstigen invloed van den verhoogden pH op de stikstofopname uit ammoniak, welke echter nog ver achterstaat bij dien uit nitraat.

Opmerkelijk is dat in de laatste periode vrij veel N is vastgelegd door de bacteriën, die de pasteurisatie hebben overleefd; deze concurrentie tusschen bacteriën en plant kan de situatie voor de plant bemoeilijkt hebben.

In ieder geval bevestigt deze proef de conclusie, dat de nitrificerende bacteriën onder bepaalde omstandigheden een zeer grooten invloed op den stand van het gewas kunnen uitoefenen.

VII. DE OORSPRONKELIJKE GROND MET NITRAAT BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT. (Zie fig. 2 kolom 6)

In de eerste maand wordt van de aanvankelijk aanwezige nitraatstikstof niet minder dan 30 % vastgelegd. Opmerkelijk is, dat drie weken later het grootste deel der vastgelegde stikstof weer geammonificeerd en genitrificeerd



Fig. 3. De stand op 29 Juli van de snijmoesplanten (*Brassica napus*) op den verschillend behandelde(n) grond van Emmens (zure humeuze zandgrond, pH 4.1 beplant 22 Juni). De enorme invloed van een herinfectie van dezen oorspronkelijk zeer zuren grond na de toevoeging van CaCO_3 is opvallend. Toevoeging van CaCO_3 alleen heeft bij lange na niet zoon invloed, terwijl ook bemesting met Chili alleen, alhoewel aanzienlijk beter dan zwavelzuren ammoniak, bij den geneutraliseerden en opnieuw geïnfecteerden grond ten achter blijft.
 70 oorspronkelijke grond bemest met zwavelzuren ammoniak.
 82 idem bemest met nitraat.
 86 gepasteuriseerde grond bemest met zwavelzuren ammoniak.
 96 idem bemest met zwavelzuren ammoniak en calciumcarbonaat.
 98 oorspronkelijke grond bemest met zwavelzuren ammoniak en calciumcarbonaat en bovendien geënt met 2% van een goed nitrificeerenden grond.

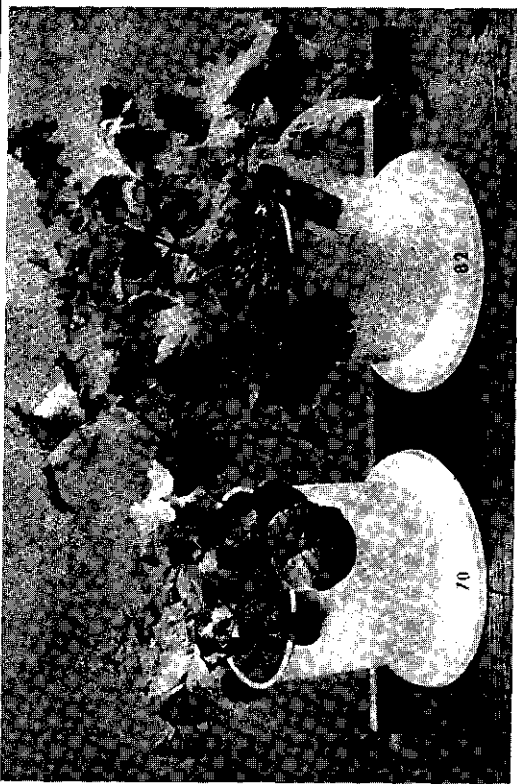


Fig. 3. *Brassica napus* plants on an acid sandy soil (Emmens, pH 4.1) planted 22-6, photographed 29-7.
 Note the favourable effect of re-infecting this acid soil, after the pH had been raised by the addition of CaCO_3 to 6.5.
 70. Original soil + CaCO_3 .
 82. Original soil + CaCO_3 .
 86. Pasteurized soil + amm. sulf. + CaCO_3 .
 96. Original soil + amm. sulf. + CaCO_3 , re-infecting with 2% of a lively nitrifying garden soil.

is. Veertien dagen later heeft ook een deel van de in den grond oorspronkelijk aanwezige organische stikstof een zelfde lot ondergaan, terwijl bij het einde van de proef de situatie weer vrijwel gelijk aan den begintoestand is.

Evenals bij andere objecten is op de beplante potten de vastlegging ten slotte groter dan op de onbeplante. De opname van de nitraatstikstof in dezen overigens onbehandelden grond zonder CaCO_3 is belangrijk beter dan in den analogen met ammoniumsulfaat bemesten grond. Alhoewel hiertoe het feit, dat door de NO_3 assimilatie de pH van den grond in alcalische richting wordt verschoven (zie verder), mede heeft bijgedragen, krijgt men toch ook hier den indruk dat het NO_3 -ion onder deze omstandigheden een betere stikstofbron is dan NH_4 .

De opbrengst is $2,7 \times$ zoo groot als op den met ammoniak bemesten grond, terwijl de stikstofopname $2 \times$ zoo groot is.

VIII. DE GROND, GEPASTEURISEERD EN MET NITRAAT BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT. (Zie fig. 2 kolom 7)

In den onbeplanten gepasteuriseerden grond zien wij slechts weinig verandering; er is in de eerste plaats een weinig ammoniak bij gevormd ten koste van het nitraat. Daar het niet waarschijnlijk is dat hier direct nitraat in ammoniak is overgevoerd, moet men wel aannemen dat hier tusschen vastlegging ligt, die aan de waarneming is ontsnapt. Deze vastlegging treedt in de laatste periode duidelijk naar voren en vond vnl. plaats ten koste van het nitraat.

In de beplante potten zijn de planten achtergebleven bij die op den on-gepasteuriseerden, met nitraat bemesten grond. Het is niet onmogelijk dat in dezen humusrijken grond (11,3 %) de opbrengstdepressie na pasteurisatie ten deele veroorzaakt is geworden door giftige stoffen, die tijdens de verhitting gevormd zijn geworden, hoewel dit a priori bij een dergelijke lage verhitting (75°) niet erg waarschijnlijk lijkt.

De opbrengst is tenslotte $1,8 \times$ zoo hoog als die van de analoge gepasteuriseerde ammoniakserie, terwijl $2,3 \times$ zooveel stikstof opgenomen is, zoodat men ook hier den indruk krijgt, dat in een dergelijken zuren grond nitraat een betere stikstofbron is dan ammoniak bij afwezigheid van nitrificerende bacteriën.

Opmerkelijk is dat ook hier door microben, welke de pasteurisatie overleefd hebben, een kleine hoeveelheid stikstof afkomstig uit in den grond aanwezige organische verbindingen is gemineraliseerd; in de laatste periode hiervan is weer een deel in organischen vorm teruggevoerd.

HET UITTERLIJK DER PLANTEN (Zie fig. 3)

Na ongeveer een maand waren zeer duidelijke verschillen te zien, die zich in den loop van de proef accentueerden: De met zwavelzuren ammoniak bemeste planten stonden ten achter bij de met chili bemeste, uitgezonderd die, welke CaCO_3 hadden gekregen en bovendien met tuingrond waren geënt. Deze planten waren het grootst van alle.

Over het algemeen stonden de niet steriele planten beter dan die op den gepasteuriseerden grond; zoo waren de planten op den niet gepasteuriseerden grond, welke met zwavelzuren ammoniak was bemest en bovendien CaCO_3 had

ontvangen ongeveer tweemaal zoo groot als de planten op den evenzoo bemesten grond, die gepasteuriseerd was.

Sommige planten vertoonden in den beginne witte randen om de bladeren, wat niet belette dat zij tenslotte toch tot een weelderig gewas uitgroeiden; wel is dit een aanwijzing dat de concentratie der ammoniumzouten aan den hoogen kant is geweest.

OVERZICHT VAN DE STIKSTOFBALANS

Ter aanvulling van de hierboven vermelde gegevens volgt hier een opgave van de gemiddelde drooggewichten der planten per pot benevens van de hoeveelheden stikstof in mg die per pot zijn opgenomen.

TABEL 4 Opbrengst en stikstofopname der planten (grond van Emmens te Zeijen)

Behandeling van den grond	Droge stof in g p. pot			Mg N door de plan- ten per pot opgen.		
	Na 28 dagen	Na 48 dagen	Na 69 dagen	Na 28 dagen	Na 48 dagen	Na 69 dagen
I. Oorspr. gr. + zw. amm. <i>Original soil + (NH₄)₂SO₄</i>	1,6	12,8	13,8	95	580	632
II. Id. + zw. amm. + 2 % tuingr. . <i>Ditto, infected with 2 % garden soil</i>	2,4	17,5	30,2	144	672	1105
III. Als II + CaCO ₃ <i>As II, CaCO₃, added</i>	6,1	28,0	53,0	364	1085	1569
IV. Oorspr. gr. + zw. amm. gepast. . <i>Orig. soil + amm. sulf. pasteurized</i>	0,85	7,5	9,0	51	418	378
V. Als III, gepasteuriseerd <i>Same as III, pasteurized</i>	—	14,6	23,7	—	888	—
VII. Oorspr. gr. + NaNO ₃ <i>Original soil + NaNO₃</i>	4,1	16,2	35,2	234	766	1171
VIII. Als VII gepast <i>Same as VII, past.</i>	0,44	5,5	16,5	218	296	861
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Dry matter in g p. pot</i>			<i>Mg N assimilated by the plants per pot</i>		

TABEL 4 Yield and nitrogen content of the plants. (*Brassica napus*).

We zien dat eenerzijds door enten van dezen zuren, aan microörganismen armen grond met 2 % tuingrond, de opbrengst tenslotte meer dan verdubbeld is (I en II). Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat aan deze opbrengstverhooging de microörganismen, in het bijzonder de nitrificeerende bacteriën een belangrijk aandeel hebben; door toevoeging van CaCO₃ stijgt de omzet nog eens met plm. 77 % om, wanneer men deze grond met CaCO₃ en 2 % tuingrond pasteuriseert, weer tot minder dan de helft te dalen (V).

De opbrengst van de met chili bemeste potten daalt echter ook door pasteurisatie.

Daar hier een gunstige werking van de nitrificeerende bacteriën uitgesloten is, moet men wel aannemen dat ook andere microörganismen een belangrijke invloed uitoefenen of dat door de pasteurisatie in den grond stoffen zijn

gevormd, die den groei belemmeren, alhoewel dit laatste bij de lage temperatuur (75°), waarbij den grond is gepasteuriseerd minder waarschijnlijk is.

Wat betreft de opgenomen stikstof blijkt deze in alle gevallen groter te zijn geweest op de niet gepasteuriseerde gronden en het grootste op den met CaCO_3 en zwavelzuren ammoniak bemesten grond. Opmerkelijk is, dat de opbrengstvermindering in droge stof op den gepasteuriseerden met nitraat bemesten grond naar verhouding veel groter is, dan de mindere stikstof-opname.

TABEL 5 Door microörganismen vastgelegde stikstof in % van de oorspronkelijk aanwezige oplosbare stikstof

Behandeling van den grond	Onbeplant			Beplant		
	28 d.	41 d.	69 d.	28 d.	41 d.	69 d.
I. Onbehandeld, bemest met zw. amm. <i>Original soil, Amm. sulfate added</i>	9,7	33,8 (58 d.)	-7,1 ¹	12,0	35,6 (58 d.)	34,4
II. Geïnf. met 2 % tuïngr. <i>Ditto, infected with 2 % garden soil</i>	28,0	27,5	27,9 (62 d.)	17,3	21,4 (48 d.)	29,2
III. Id. met CaCO_3 . . . <i>Same as II, + CaCO_3</i>	21,1	32,2 (48 d.)	23,0 (55 d.)	22,5	31,5	6,8
IV. Oorspr. gr., gepast. <i>Original soil, + Amm. sulf. past.</i>	16,8	15,5	-13,0	8,6	2,3 (47 d.)	19,5
V. Als III, gepast. . . <i>Same as III, pasteurized</i>	—	5,4	-3,6 (55 d.)	—	0,0	45,8
VII. Met NaNO_3 bemest <i>Original soil + NaNO_3</i>	26,8	0,0	-8,3 (55 d.)	-0,6	3,7	39,2
VIII. Id. als VII, gepast. <i>Ditto, pasteurized</i>	1,8	12,2	14,4 (62 d.)	-4,7	-13,3	-6,7
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Uncropped</i>			<i>Cropped</i>		

TABEL 5 Nitrogen transformed into insoluble microbial proteins (in % of the original soluble nitrogen.)

Deze cijfers bevestigen de reeds vroeger gedane waarneming, dat de stikstof voortdurend in beweging is, vastlegging, ammonificatie en nitrificatie wisselen elkaar af. Opvallend is hier, dat vooral in de laatste periode stikstof wordt gemobiliseerd uit het organische materiaal, dat in den grond aanwezig is. Deze

¹ Het — teken geeft aan, dat deze N afkomstig is van in den grond aanwezige organische stikstofverbindingen. In fig. 2 is door dubbele of dikkere arceering aangegeven de hoeveelheid stikstof, die ammonificeerd is, nu echter niet vergeleken met den oorspronkelijken toestand, doch met de situatie in de voorgaande periode.

grond bevatte vrij veel humus (11 %) en was betrekkelijk kort geleden met stalmest bemest geworden. Verder is het opmerkelijk, dat deze stikstof-mobilisatie op de beplante potten niet optreedt, behalve op de gepasteuriseerde, die nitraat als bemesting ontvingen (VIII). Tevens zien wij, dat op den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak bemesten grond onbeplant, de sterkste ammonificatie heeft plaats gehad (IV).

Oogenschijnlijk zien wij in deze serie niet de geprononceerde bevorderende invloed van de beplanting op de stikstofvastlegging der microorganismen.

Men moet echter bedenken dat hier niet de vastlegging en de ammonificatie elk afzonderlijk bepaald worden, doch de resultaten dezer beide omzettingen. In tegenstelling met den vorigen grond zien wij nu in meerdere gevallen, vooral op de onbeplante potten, een vrij sterke ammonificatie optreden. Deze ammonificatie zal waarschijnlijk ook in de beplante potten plaats vinden; ten gevolge van de uitscheiding door de planten van stoffen met een hoog C : N quotiënt zal de eventueel door de ammonificatie gevormde NH_4 door de microorganismen weer worden vastgelegd, zoodat men van buiten af den indruk kan krijgen dat er niet veel veranderd is.

De verhouding tusschen door de plant en de microben opgenomen stikstof welke bij de vorige proef gemiddeld ongeveer 1 bedroeg, vertoont hier geheel andere waarden (zie fig. 2). Wel zien wij ook hier in de vroegste periode de laagste waarden, hetgeen vanzelf spreekt, omdat de planten nog klein zijn. Opmerkelijk is bijv. dat alleen door infectie van den oorspronkelijken grond met 2 % tuingrond, in de beide laatste perioden de stikstofopname ten gunste van de planten is verschoven, zoowel doordat de planten zelf meer opgenomen hebben als doordat de microben minder vastlegden.

Dit lijkt eenigszins onbegrijpelijk, daar de grond in dit geval meer bacteriën bevatte. Men moet hierbij echter wel bedenken, dat hierdoor ook de mineralisatie intensiever is verlopen, waardoor NH_3 vrij komt en men tenslotte alleen de resultaten der verschillende omzettingen meet.

Voegt men bovendien nog CaCO_3 toe, dan blijkt het evenwicht geheel in de richting van de plant te zijn verschoven.

Het pasteuriseeren van den oorspronkelijken grond heeft in de tweede periode tengevolge, dat de plant veel meer N heeft gekregen dan de microben. In de laatste periode krijgen de microben een belangrijk grooter aandeel in de stikstof, zeer waarschijnlijk doordat hier de sporenvormende microorganismen zich na de pasteurisatie weer hebben hersteld. Tenslotte is op den beplanten met chili bemesten gepasteuriseerden grond een niet onbelangrijk deel van de in den grond aanwezige organische stof gemineraliseerd. Alhoewel slechts enkele der waargenomen verschijnselen op eenvoudige wijze verklaard konden worden, is het in ieder geval duidelijk, dat niet alleen de microorganismen de ontwikkeling van de plant beïnvloeden, doch dat ook omgekeerd het microbenleven in den grond en de daarmee gepaard gaande biochemische omzettingen in sterke mate door de groeiende planten worden beïnvloed.

V. NITRIFICATIEPROEVEN 2E SERIE, 2E REEKS. HUMUS-
HOUDENDE ZANDGROND VAN RADEMAKER TE IDE (Zie fig. 4) pH 5,7

OPZET DER PROEVEN

DUUR VAN DE PROEF: VAN 4 APRIL TOT 23 JUNI

Deze reeks bestond uit:

A. BEMEST MET ZWAVELZUREN AMMONIAK.

I. Oorspronkelijke grond met zwavelzuren ammoniak bemest, onbeplant en beplant met snijmoes.

II. Electrisch gepasteuriseerde grond (op 75°) onbeplant en beplant.

B. BEMEST MET NITRAAT

III. Oorspronkelijke grond met NaNO_3 bemest, onbeplant en beplant.

IV. Idem gepasteuriseerd.

De bemesting is dezelfde als bij de 2e serie, 1e reeks is aangegeven.

BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN AAN DE HAND VAN FIG. 4.

I. OORSPRONKELIJKE GROND, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 4 1e kolom)

Bij deze en de nog volgende proeven werd de volledige N balans opgemaakt, waarbij ook de totaal stikstof werd bepaald. De organische stikstof werd dan berekend uit het verschil tusschen de totaal N en de NH_4^+ en NO_3^- -N. Het blijkt dat de nitrificatie in dezen grond slechts langzaam verloopt. Op den onbeplanten oorspronkelijken grond is tijdens de proef maximaal 28,3 % van de ammoniak stikstof in nitraat omgezet.

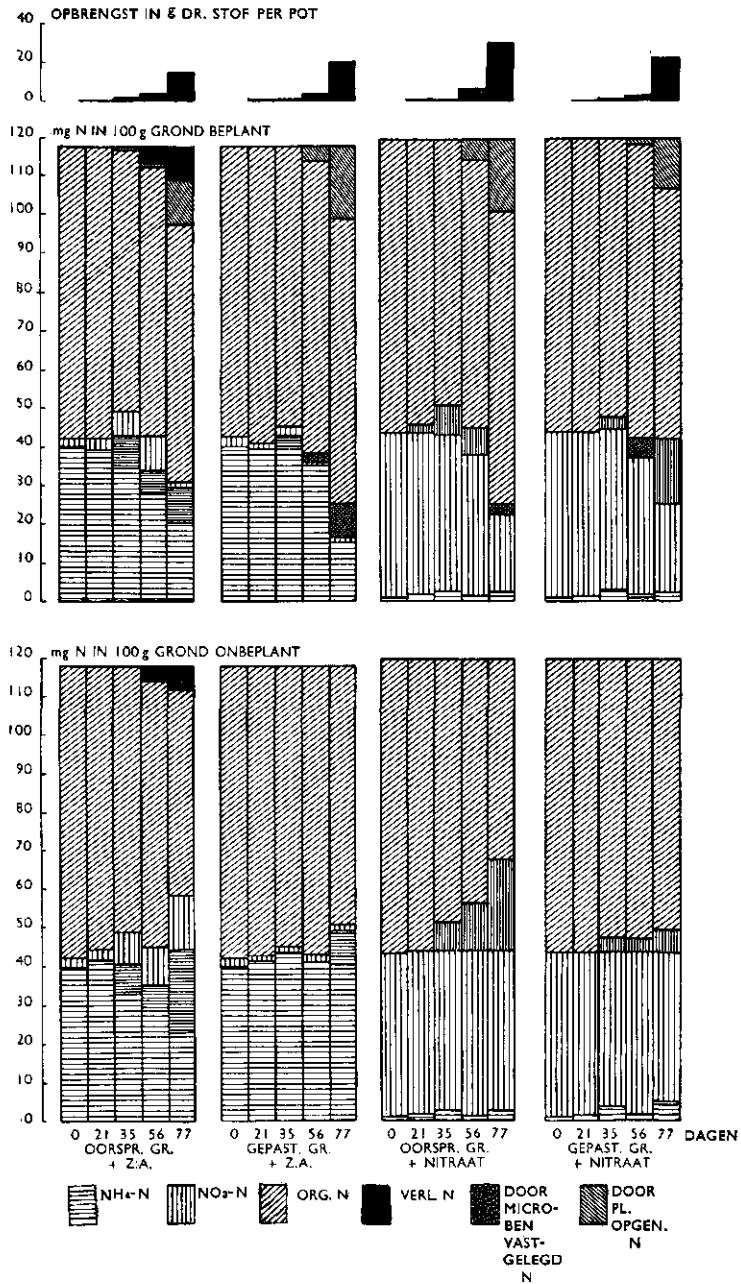
Verder zien wij hier voor het eerst, dat in het geheel geen vastlegging heeft plaats gehad; daarentegen is een niet onbelangrijk deel van de organische stikstof geammonificeerd n.l. tenslotte 21 %, na 77 dagen (dubbel gearceerd).

Het feit, dat na 8 en 11 weken resp. 2,9 en 5,4 mg stikstof zijn verdwenen vraagt onze bijzondere aandacht; deze bedragen zijn grooter dan eventueele analysefouten en de verliezen herhalen zich op den beplanten niet gepasteuriseerden grond, terwijl zij op de gepasteuriseerde noch op de met nitraat bemeste gronden voorkomen. Daar dergelijke verliezen in veel ernstiger mate ook optraden bij de volgende serie proeven, zullen wij de bespreking ervan tot daar uitstellen.

Op de beplante potten hebben de snijmoesplanten zich slechts matig ontwikkeld; aanvankelijk loopt het beeld der stikstofomzettingen parallel met de onbeplante potten en krijgt men den indruk, dat de planten bij voorkeur nitraat hebben opgenomen; de N verliezen zijn hier grooter dan in den onbeplanten grond en bedragen tenslotte niet minder dan 19 % van de oplosbare stikstof.

(Hierbij is van de veronderstelling uitgegaan, dat de verloren N uit oplosbare stikstof afkomstig is, terwijl de geammonificeerde N eveneens bij de oplosbare N is gerekend.)

FIG. 4



GEPASTEURISEERDE, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMESTE GROND,
ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 4, 2e kolom)

In den onbeplanten grond vinden de eerste twee maanden geen omzettingen plaats van eenige beteekenis, nitrificatie blijft geheel achterwege, tenslotte wordt een klein deel van de organische stikstof geammonificeerd, stikstof-verliezen treden hier niet op en het is duidelijk, dat met de gevolgde analyse-methoden alle stikstof quantitatief wordt teruggevonden.

In de beplante gepasteuriseerde potten zien wij, in de eerste 5 weken behoudens een geringe ammonificatie, geen veranderingen optreden, ook de planten namen slechts weinig stikstof op. Na 2 maanden heeft een geringe vastlegging plaats gehad, die 3 weken later is toegenomen.

Uiteindelijk hebben de planten op dezen gepasteuriseerden grond anderhalf maal zooveel stikstof opgenomen als op den niet gepasteuriseerden. Stikstof-verliezen treden ook hier niet op. In tegenstelling met de vorige proeven is hier de opbrengst aan plantenmateriaal grooter en wel 51 % meer dan op den on-gepasteuriseerden grond.

Dat de planten op den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak bemesten grond zooveel beter stonden dan op den oorspronkelijken, niet gepasteuriseerden grond, is te verwachten, daar in den oorspronkelijken grond 17 % van de opneembare stikstof verloren is gegaan. In overeenstemming hiermede is het feit dat de door de planten op den gepasteuriseerden grond opgenomen hoeveelheid stikstof precies even groot is als de door de planten op den niet gepasteuriseerden grond opgenomen stikstof en de verloren stikstof samen.

II. OORSPRONKELIJKE GROND MET NITRAAT BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT.
(Fig. 4, 3e kolom).

In den onbeplanten grond vinden wij een regelmatige toename van de hoeveelheid nitraat, ten koste van de organische bodemstikstof. Zeer opvallend is, dat na 9 weken tenslotte de nitraatstikstof met niet minder dan 53,5 % is toegenomen; zooals vanzelf spreekt is dit gegaan over de ammonificatie, waarvan echter, behoudens een geringe toename van de ammoniumverbindingen, niets te merken viel, daar blijkbaar de gevonden ammoniak-N direct verder is genitrificeerd. Opmerkelijk is verder, dat alhoewel hier dus een zeer behoorlijke nitrificatie heeft plaats gehad van geleidelijk geammonificeerde orga-

Fig. 4. De stikstofbalans op opeenvolgende tijdstippen in den grond van Rademaker. In tegenstelling tot de vorige grafieken is hier alle N in den grond, ook de organische N, aangegeven. In dezen grond vindt in vrijwel alle gevallen een levendige ammonificatie plaats (horizontaal dubbel gearceerd) terwijl hier voor het eerst geringe, doch duidelijk waarneembare N verliezen optreden, die niet voorkomen in den gepasteuriseerden grond, noch in die welke met nitraat is bemest.

FIG. 4. Nitrogen balance at successive stages in the sandy soil from Rademaker. pH 5,4.
Upper row : yield in grams per pot.
middle row : mg N in 100 g. soil. cropped. (Brassica napus).
lower row : the same, uncropped.
In nearly all cases ammonification of organic N containing material is very active (double lined).
In the original soil + amm. sulfate (cropped and uncropped) small but distinct nitrogen losses occur (black blocs), which can be prevented by sterilization and also by adding CaCO_3 .
These losses do not occur when instead of amm. sulf. nitrate has been added to the soil.

nische stikstof uit den grond, nu geen stikstofverliezen zijn opgetreden, zoodat men zich afvraagt of wellicht het tamelijk hooge gehalte aan ammonium verbindingen in de vorige proef, deze verliezen in de hand heeft gewerkt.

Het beeld *op den beplanten, met nitraat bemesten grond* is aanvankelijk vrijwel gelijk aan het onbeplante, in den beginne nitrificatie ten koste van de organische stikstof. Tenslotte hebben hier de planten de meeste stikstof opgenomen en de grootste opbrengst gegeven, terwijl als de planten in de laatste drie weken flink zijn gegroeid, ook weer stikstof wordt vastgelegd.

Men moet wel tot de conclusie komen, dat de organische stof in dezen grond in een toestand verkeert, waarin zij wel voor verdere mineralisatie, echter niet als koolstofbron bij verdere vastlegging geschikt is. Vastlegging kan hier slechts optreden, zoodra de planten voldoende zijn gegroeid en via de wortels gemakkelijk ontleedbare organische stof is afgescheiden.

III. GEPASTEURISEERDE MET NITRAAT BEMESTE GROND, ONBEPLANT EN BEPLANT. (fig. 4, 4e kolom).

In den onbeplanten grond treden vrijwel geen veranderingen op, behoudens in de laatste reeks een geringe ammonificatie door de bacteriën, die de pasteurisatie hebben overleefd. In den beplanten grond zien wij in de eerste maand evenmin eenige verandering, daarna een geringe vastlegging, gevolgd door een vrij intensieve ammonificatie. *Uiteindelijk is de plant voor 86 % gevoed met stikstof, die uit de organische bodemstikstof afkomstig was.*

Het nitraatgehalte van den grond is na afloop van de proef nog bijna even hoog als bij het begin. Dit is ongetwijfeld een zeer merkwaardig resultaat, op grond waarvan men zich afvraagt, hoe of een dergelijke grond zich in de practijk gedraagt en of daar van een dergelijke stikstofwerking van den bodem zelf iets te bemerken valt.

OVERZICHT VAN DE STIKSTOFBALANS

TABEL 6 Opbrengst en stikstofopname der planten (grond van Rademaker te Ide)

Behandeling van den grond	Droge stof per pot				Mg N door de planten per pot opgen.			
	Na 21 d.	Na 35 d.	Na 56 d.	Na 77 d.	Na 21 d.	Na 35 d.	Na 56 d.	Na 77 d.
Onbeh. bemest met zw. ammoniak . .	0,06	0,23	1,5	13,0	3,9	19,5	65,2	561
<i>Original soil + amm. sulf.</i>								
Idem, gepasteuriseerd	0,03	0,17	2,8	19,6	1,4	7,7	186	828
<i>Ditto pasteurized</i>								
Onbeh. bemest met nitraat.	0,05	0,22	5,2	28,8	2,7	12,1	264	1150
<i>Original soil + nitrate</i>								
Idem, gepasteuriseerd	0,03	0,90	1,7	20,8	1,6	3,5	804	583
<i>Ditto, pasteurized</i>								
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Dry matter per pot</i>				<i>Mg nitrogen assimilated by the plants per pot</i>			

TABLE 6 Yield and nitrogen assimilated by the plants

De groei van de planten is aanvankelijk slecht geweest, waarschijnlijk doordat ze betrekkelijk vroeg buiten stonden (begin April) en de temperatuur, vooral in het begin der groeiperiode belangrijk lager was dan bij de andere proeven, die in den zomer werden aangezet. De opbrengsten zijn dan ook niet met de vorige te vergelijken, waarbij de planten in Juni werden gezaaid. Na een maand zijn de planten nog heel klein, de bladeren op den met ammoniak bemesten grond vertoonen witte randen, waarschijnlijk veroorzaakt door te hooge ammoniakconcentratie. De met nitraat bemeste planten staan iets beter. Na 2 maanden zijn alle planten flink gegroeid. Opmerkelijk is, dat de op den niet gepasteuriseerden grond gegroeide nitraatplanten mooi groen zijn, terwijl die op den gepasteuriseerden grond veel kleiner zijn en eenigszins geëtolieerd; in een later stadium gaan de verschillen weer grootendeels verloren. Waarom in dit geval de planten op den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak bemesten grond zooveel beter staan dan op den oorspronkelijken grond is niet duidelijk. Ook uit de door de planten opgenomen hoeveelheid stikstof blijkt, dat de groei aanvankelijk gestagneerd is geweest; op den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak bemesten grond is na 77 dagen ongeveer evenveel stikstof opgenomen als op den onbehandelden grond, welke met chili was bemest.

Daarentegen hebben de planten op de gepasteuriseerden, met zwavelzuren ammoniak bemesten grond 32 % minder opgebracht dan op de met nitraat bemesten, ongepasteuriseerden grond, zoodat in het eerste geval het stikstofgehalte van de planten bijna $1,5 \times$ zoo hoog was als in het laatste. Hier kan de pH een belangrijken invloed hebben uitgeoefend; deze bedroeg tenslotte op den met ammoniumsulfaat bemesten grond 4,32 tegen 6,3 op den met nitraat bemesten grond.

Hierop wordt in het volgende nog teruggekomen.

DE DOOR DE MICRO-ORGANISMEN ONTBONDEN, VASTGELEGDE EN GEAMMONIFICEERDE N

De eventueel ontbonden N werd berekend uit het verschil tusschen de oorspronkelijk aanwezige totale hoeveelheid N en de op een gegeven oogenblik aanwezige totaal N, al dan niet vermeerderd met de door de plant opgenomen stikstof. Wij vinden nu in de niet gepasteuriseerde, onbeplante zoowel als beplante met zwavelzuren ammoniak bemeste potten verliezen die ver uitgaan boven de middelbare fout dezer bepalingen, welke plm. 0,74 mg bedroeg.

Grond bemest met zwavelz. ammoniak	Ontbonden stikstof mg per 100 g grond. ¹
Onbeplant na 56 dagen	2,9 na 77 d. 5,4
beplant na 56 dagen	4,9 na 77 d. 8,1

Deze verliezen stijgen naarmate de proef langer duurt en bedragen tenslotte respectievelijk 12,5 en 19 % van de totaal aanwezige anorganische stikstof en zijn dus zeker niet te verwaarloozen; verder treden noch in den gepasteuriseerden, met zwavelzuren ammoniak bemesten grond, noch in de

¹ Onder ontbonden stikstof wordt verstaan stikstof, die waarschijnlijk in den vorm van gasvormige N—O verbindingen uit den grond ontweken is.

met chili bemeste potten verliezen van eenige beteekenis op. Hieruit laat zich afleiden, dat de oorzaak van microbiologischen aard is en met de nitrificatie in verband staat. Aangezien in de volgende reeks eveneens dergelijke verliezen, maar in nog veel grootere mate optreden, zal de bespreking tot daar worden uitgesteld.

GEAMMONIFICEERDE EN VASTGELEGDE N IN MG PER 100 G GROND ¹

Behandeling v. d. grond	Onbeplant				Beplant			
	Na 21 d.	Na 35 d.	Na 56 d.	Na 77 d.	Na 21 d.	Na 35 d.	Na 56 d.	Na 77 d.
Oorspr. gr. met zw. amm. bemest.	3	8	6	22	1	8	6	9
Idem, gepasteuriseerd.	0	2	0	9	0	3	-2	-8
Oorspr. gr. met nitraat bemest.	0	7	12	24	2	7	7	-3
Idem, gepasteuriseerd.	0	4	3	6	0	3	-5	11

¹ Bij de beschouwing van deze cijfers moet men bedenken, dat alle waarden zijn vergeleken met de oorspronkelijke gehalten aan oplosbare stikstof. De getallen met het negatieve teken geven aan, de hoeveelheid stikstof, die werd vastgelegd. In de fig. 4 is door dubbele arceering de hoeveelheid stikstof aangegeven, die geammonificeerd werd.

De hoeveelheden N, die hetzij geammonificeerd of vastgelegd zijn, laten zich op eenvoudige wijze berekenen en uit de fig. aflezen, uitgaande van den begintoestand.

Is bij den aanvang aanwezig: T gram totaal N, a g ammoniak N en b g nitraat N, dan is de hoeveelheid organische N = T—a—b.

Na eenigen tijd is dit geworden: a' g ammoniak N en b' g nitraat N, terwijl c g N door de plant is opgenomen. Wanneer nu a' + b' + c > a + b dan is de hoeveelheid organische stikstof T—(a' + b' + c) kleiner dan die welke bij den aanvang aanwezig was en is er dus organische stof gemineraliseerd. Is daarentegen a' + b' + c < a + b, dan is de hoeveelheid organische stikstof T—(a' + b' + c) groter dan T—(a + b) en is er een hoeveelheid oplosbare N in organisch materiaal vastgelegd.

De grootte van de ammonificatie of de vastlegging wordt aangegeven door T—(a + b)—(T—(a' + b' + c)) = a' + b' + c—(a + b).

In de fig. kan men deze waarden eveneens gemakkelijk aflezen n.l. zodra de som van ammoniak + nitraat N boven het oorspronkelijke niveau ligt, is er N gemineraliseerd (zie bijv. fig. 4, Kol. III, onder, de laatste 3 perioden.) Ligt daarentegen de grenslijn organisch-anorganische N beneden het oorspronkelijke niveau, dan is er N door de microben vastgelegd.

Aangaande de vastlegging van de stikstof is reeds opgemerkt, dat deze onbeteekenend is, *ja zelfs geheel achterwege is gebleven in de onbeplante series.*

In de beplante series zijn kleine hoeveelheden N vastgelegd en dan nog alleen in de beide laatste perioden, waarin de planten al groot zijn.

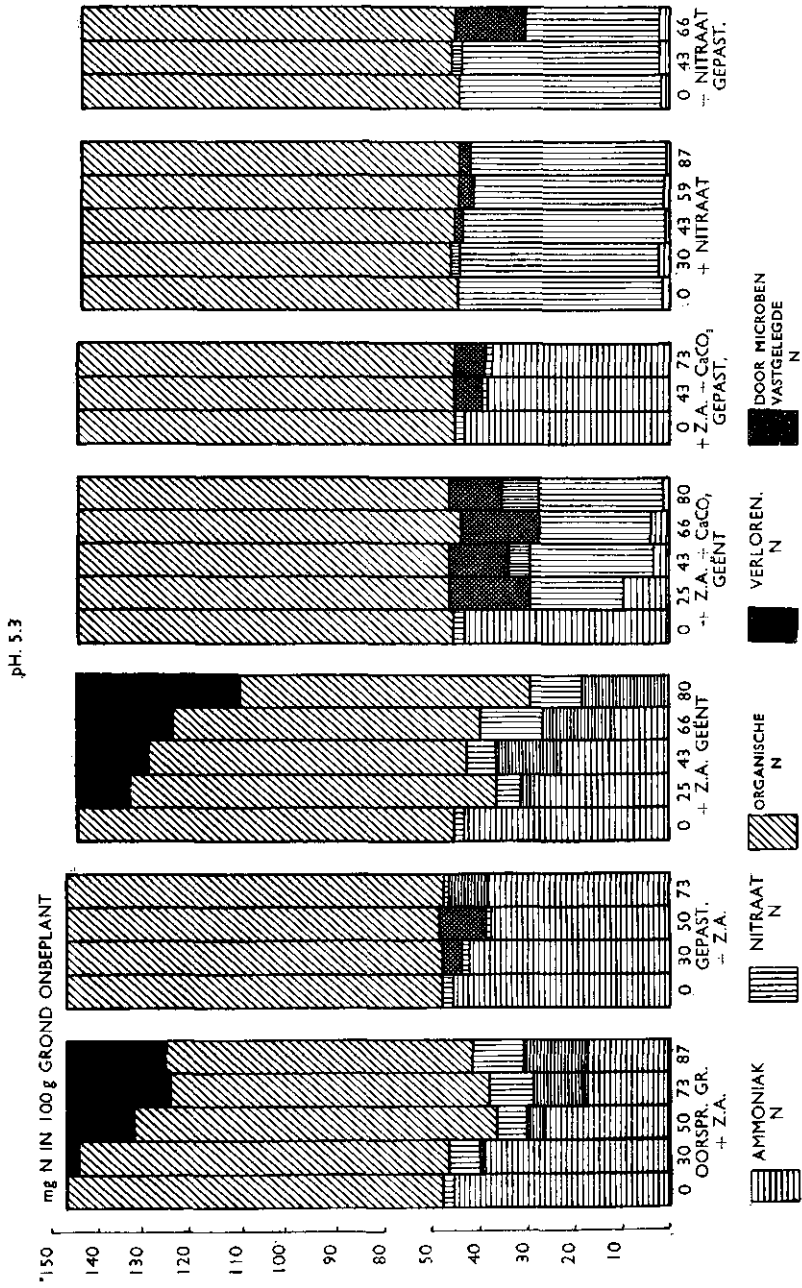
De oorzaak van dit gedrag moet m.i. worden gezocht in den aard van de organische stof in dezen grond, die blijkbaar reeds in een vergevorderd stadium van omzetting verkeert en voor verdere ontleding geen stikstof van buiten meer nodig heeft. De C:N-verhouding van plm. 20 wijst in deze richting, alhoewel dit voor humusachtige stoffen een betrekkelijk hooge verhouding is.

Wanneer de grond wordt beplant heeft wel eenige stikstofvastlegging plaats, dit geschiedt naar alle waarschijnlijkheid met de door de wortels van de plant afgescheiden organische stoffen als koolstofbron.

De *ammonificatie* van de in den grond aanwezige organische stikstofverbindingen vindt hier plaats op een grootere schaal dan in andere onderzochte gronden. Het meest opvallend is dit in de beide onbeplante, ongepasteuriseerde series, zooals uit de tabel op blz. 34 blijkt.

In de beplante series wordt de ammonificatie in mindere of meerdere mate gecompenseerd door de stikstofvastlegging, uitgezonderd in den gepasteuriseerden met chili bemesten grond. Opmerkelijk is, dat de geammonificeerde stikstof in de met nitraat bemeste potten vrijwel geheel als nitraat wordt teruggevonden, terwijl op de met zwavelzuren ammoniak bemeste gronden slechts een deel genitrificeerd is. De oorzaak hiervan is te zoeken in de pH, welke in de met zwavelzuren ammoniak bemeste potten tenslotte 4,6 bedraagt en dus voor de nitrificatie al minder gunstig is, terwijl deze op de met nitraat bemeste potten 5,3 is.

FIG. 5.



VI. NITRIFICATIEPROEVEN 2e SERIE. 3e REEKS. VRIJ ZURE, HUMUSHOUDENDE ZANDGROND VAN RIJKENS TE TINAAARLO

OPZET DER PROEVEN

Duur van de proef: van 18 Juni tot 14 September.

I. oorspr. grond met zwavelz. amm. bemest, onbeplant en beplant met snijmoes.

II. Als I doch geïnfecteerd met 2 % tuingrond, onbeplant en beplant.

III. Als I., electrisch gepasteuriseerd op 75° C, onbeplant en beplant.

IV. Als II, benevens 15,9 gr CaCO_3 per pot toegevoegd, onbeplant en beplant.

V. Als IV gepasteuriseerd, onbeplant en beplant.

VI. Oorspr. grond met nitraat bemest, onbeplant en beplant.

VII. Als VI, doch gepasteuriseerd op 75°, onbeplant en beplant.

VIII. Als I, de grond behandeld met toluol, ter onderdrukking van alle micro-biologische activiteit, onbeplant.

BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN, AAN DE HAND VAN DE GRAFIEKEN NR 5 EN NR 6

I. OORSPRONKELIJKE GROND MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT (fig. 5 en 6, 1e kolom)

De pH van dezen grond was iets hooger dan die van den grond van Emmens, doch lager dan die der vorige serie (5,3 onbemest, 4,8 bemest met zwavelzuren ammoniak en 5,1 bemest met chili). Het humusgehalte bedroeg 7,3 %, overigens een typische zandgrond met slechts 4,4 % afslibbare deelen.

Het meest opvallende in het gedrag van dezen grond is het optreden van groote stikstofverliezen. Deze verliezen bedragen in den onbeplanten grond reeds na 2 maanden 30 % van de anorganische stikstof, om tegen het eind van de proef tot 44,4 % te stijgen: Deze cijfers vormen een bevestiging van de aanwijzingen

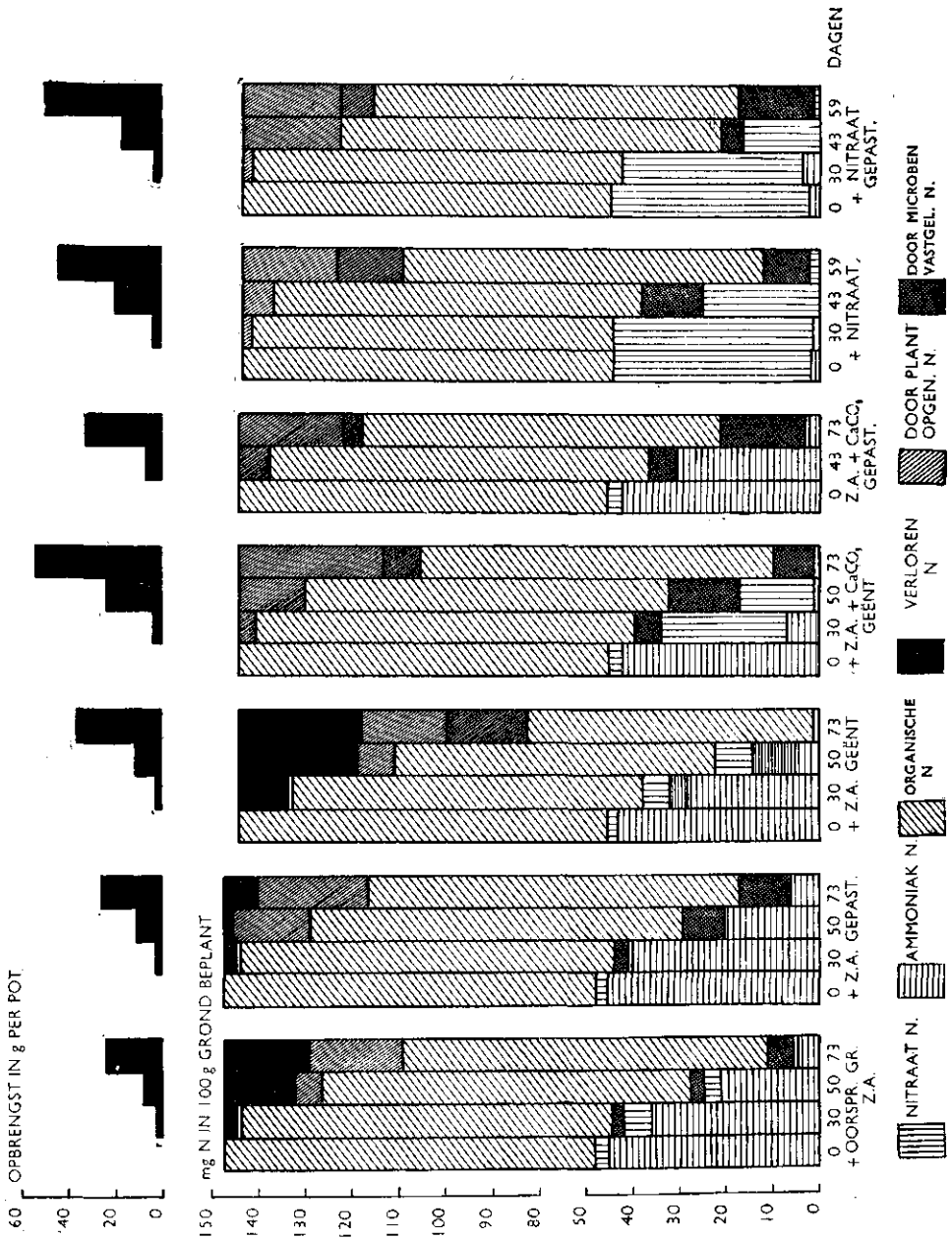
FIG. 5. De stikstofbalans op opeenvolgende tijdstippen in den onbeplanten grond van Rykens. Hier treden groote stikstofverliezen op, die ook hier niet voorkomen in den gepasteuriseerden grond, in den met CaCO_3 bemesten grond en in den met nitraat bemesten grond. Verder blijkt hierdoor tevens de ammonificatie(grootendeels dubbel gearceerd) voor vastlegging plaats te maken (Vergelijk 3e kolom met 4e).

FIG. 5. *Nitrogen Balance at successive stages in the sandy soil from Rykens. pH 4,8. uncropped, treated in different ways.*

From left to right: Original soil with amm. sulf.; Ditto pasteurized; Original soil + Amm. sulf. infected with garden soil; the same + CaCO_3 ; ditto pasteurized.; Original soil + nitrate; ditto pasteurized. Large nitrogen losses occur during nitrification (black blocs), which can be prevented by sterilization, and by the addition of CaCO_3 .

When amm. sulf. is replaced by NaNO_3 , no losses occur.

FIG. 6.



bij de vorige serie verkregen; de verliezen zijn hier zoo groot, dat elke twijfel omtrent het werkelijk bestaan er van uitgesloten is.

Men krijgt den indruk, dat de nitrificatie in dezen grond langzaam verloopt; oogenschoonlijk is tenslotte slechts 21,5 % van de toegevoegde ammoniakstikstof in nitraat omgezet na 2½ maand.

Wanneer echter stikstof tijdens de nitrificatie verloren is gegaan, hetgeen het meest waarschijnlijk is, dan is 68 % van de toegevoegde ammoniakstikstof genitrificeerd.

Daar in de laatste drie perioden het ammoniakgehalte van den grond vrijwel constant blijft, is dus tevens een niet onbelangrijk deel van de organische stikstof geammonificeerd; tenslotte bedraagt dit 27,3 %.

Op den beplanten grond zien wij dat de verliezen iets kleiner zijn; ammonificatie blijft geheel achterwege, terwijl een geringe stikstofvastlegging plaats heeft. Bevordering van de vastlegging onder invloed van de beplanting hebben wij ook in de vorige reeksen waargenomen. De ontwikkeling der snijmoesplanten is op deze potten slechter dan op alle andere potten.

II. OORSPRONKELIJKE GROND, MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMEST EN GEÏNFECTEERD MET 2 % TUINGROND, ONBEPLANT EN BEPLANT. (Fig. 5 en 6, 3e kolom).

Gezien het feit, dat de gebruikte grond vrij zuur was, leek het niet uitgesloten, dat de microbenflora hieronder had geleden, waarom door toevoeging van een kleine hoeveelheid van een goeden tuingrond werd getracht eventueel ontbrekende microörganismen weer aan te vullen.

Deze enting heeft in meerdere opzichten effect gehad; niet alleen, dat de opbrengst met 52 % is gestegen, doch ook de microbiologische processen zijn intensiever verlopen.

Het meest opvallend is de gestadige toename der stikstofverliezen, die na 80 dagen zijn gestegen tot 2 g stikstof per pot van 5 kg hetgeen 75 % is van de aanvankelijk aanwezige anorganische stikstof.

De hoeveelheid organische stikstof is uiteindelijk met 18 % afgenomen en wanneer wij aannemen, dat de stikstof tijdens de nitrificatie verloren is gegaan, dan is door de infectie met 2 % tuingrond ook de nitrificatie niet onbelangrijk versneld en gestegen tot 98,4 % van de toegevoegde ammoniakstikstof.

Na afloop van de proef (beplant) is alle oplosbare stikstof verbruikt; van organische stof is tenslotte evenveel geammonificeerd als in den onbeplanten grond.

III. MET ZWAVELZUREN AMMONIAK BEMESTEN GROND, GEPASTEURISEERD, ONBEPLANT EN BEPLANT. (Fig. 5 en 6, kolom 2.)

De omzettingen zijn door de pasteurisatie vrijwel geheel onderdrukt.

FIG. 6. De stikstofbalans op opeenvolgende tijdstippen in den beplanten grond van Rijkens. Ook hier groote N verliezen gepaard aan een levendige microbiologische activiteit.

FIG. 6. *The same as fig. 5, but now cropped with Brassica napus. Here also large nitrogen losses combined with an intense microbial activity.*

Op de onbeplante potten zijn de stikstofverliezen geheel stilgezet: in de laatste periode wordt weliswaar 1,4 mg per 100 g grond niet teruggevonden, doch deze hoeveelheid is niet groot genoeg om zeker als verloren te worden beschouwd. Ook op de beplante, gepasteuriseerde potten treden in de eerste 2 maanden geen noemenswaardige stikstofverliezen op, alleen in de laatste periode gaat een klein bedrag verloren.

Dit kan worden veroorzaakt, doordat deze potten, die niet tegen herinfectie waren beschermd, gedurende de proef opnieuw met nitrificerende bacteriën geïnfecteerd zijn geworden.

Uit het feit, dat in alle overige potten de stikstofverliezen na pasteurisatie zijn weggebleven is met zekerheid te concluderen, dat deze verliezen van microbiologische aard zijn.

Men kan zich nog afvragen of in dezen humusrijken grond, deze verliezen niet door denitrificatie zijn opgetreden. Het watergehalte van den grond is echter laag geweest, n.l. 15 %, zoodat er voldoende lucht in den grond aanwezig was en denitrificatie uit dien hoofde niet waarschijnlijk is. Bovendien zouden dan ook in de met chili bemeste series *stikstofverliezen moeten zijn opgetreden*, wat niet het geval is.

In de onbeplante zoowel als in de beplante potten zien wij na 40 dagen een duidelijk waarneembare vastlegging optreden, in den onbeplanten grond wordt deze stikstof in de warme Augustusdagen weer geammonificeerd, terwijl in de beplante potten de vastgelegde stikstof nog een weinig toeneemt.

Vergeleken met den niet gepasteuriseerden grond is de opbrengst aan snijmoes iets grooter ($\pm 13,3$ %), terwijl meer N is opgenomen ($\pm 21,4$ %). Dit laatste is ongetwijfeld een gevolg van het feit, dat in de gepasteuriseerde potten vrijwel geen stikstof verloren is gegaan.

IV. OORSPRONKELIJKE GROND, GEËNT MET 2 % TUINGROND, BEMEST MET ZWAVELZUREN AMMONIAK EN CaCO_3 , ONBEPLANT EN BEPLANT. (fig. 5 en 6, kolom 4)

De pH van dezen grond was bij de aanvang 6,8. In de onbeplante potten zien wij een intensieve nitrificatie, na 42 dagen is reeds 65,6 % van de toegevoegde ammoniakstikstof genitrificeerd; er is echter tevens een niet onbelangrijke hoeveelheid stikstof vastgelegd, n.l. 26,1 %. Evenals bij sommige andere proefnemingen blijkt, dat de hoeveelheid vastgelegde stikstof en de hoeveelheid van de nitraat- en ammoniakstikstof voortdurend veranderen, hetgeen het gevolg is van een levendige bacteriologische activiteit in den grond. Tenslotte is vrijwel alle ammoniakstikstof in de onbeplante zoowel als in de beplante potten verdwenen. *Het meest opvallend is echter de totale afwezigheid van eenig stikstofverlies.*

Zoowel in de beplante als in de onbeplante serie wordt de bij den aanvang aanwezige stikstof in alle perioden quantitatief terug gevonden, niettegenstaande de nitrificatie hier intensiever is. Hiermee is tevens bewezen, dat de gebruikte analysemethoden ook voor humusrijke gronden voldoende betrouwbaar waren. Men moet hieruit wel concluderen, dat of de lagere pH, of de afwezigheid van overmaat Ca ionen, of wel beide deze stikstof-verliezen in de hand hebben gewerkt. De opbrengst aan plantenmateriaal is op deze potten

het hoogst, terwijl ook de hoeveelheid opgenomen stikstof maximaal is. De vastlegging op de beplante potten is niet grooter dan op de onbeplante.

V. GROND MET 2 % TUINGROND GEËNT, DAARNA GEPASTEURISEERD, BEMEST MET ZWAVELZUREN AMMONIAK EN CaCO_3 , ONBEPLANT. (Fig. 5 en 6 kolom 5).

De onbeplante grond vertoont geen nitrificatie, wel een geringe vastlegging door de sporenvormende organismen, die de pasteurisatie hebben overleefd.

In de beplante potten zien wij een sterke vastlegging, die tenslotte zelfs 35,3 % bedraagt van de oorspronkelijk aanwezige, oplosbare stikstof, waardoor de hoeveelheid organische stikstof in den grond van 98,8 op 117 mg per 100 g grond gestegen is. De ammoniakstikstof is na afloop tot op enkele mg verminderd; de stikstof is door de plant vrij goed opgenomen, deze opname is echter duidelijk minder dan op den ongepasteuriseerden grond van de vorige serie. De grond werd tezamen met den 2 % tuingrond gepasteuriseerd ten einde te kunnen constateeren, dat deze kleine hoeveelheid grond als zoodanig geen invloed heeft uitgeoefend. Het verschil met de vorige serie wordt dus uitsluitend veroorzaakt door de afwezigheid van de microorganismen.

VI. OORSPRONKELIJKE GROND MET NITRAAT BEMEST, ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 5 en 6, kolom 6).

Het is opvallend hoe weinig verandering er bij de onbeplante serie in het stikstofbeeld van den grond gedurende 87 dagen optreedt. Er is slechts een geringe vastlegging geweest, 3—8,1 % van de oorspronkelijk aanwezige stikstof (anorganische) hetgeen een bevestiging is van onze hierboven geuite veronderstelling, dat de organische stof in dezen grond in een vergevorderden toestand van ontleding verkeert en weinig geschikt is om als koolstofbron voor de microorganismen dienst te doen. In de beplante potten wordt weer stikstof vastgelegd, tenslotte 18,5 %, waartoe de bacteriën in staat gesteld zijn door de organische stof, welke door de wortels is uitgescheiden.

VII. DE GROND MET NITRAAT BEMEST, GEPASTEURISEERD, ONBEPLANT EN BEPLANT (Fig. 5 en 6, kolom 7)

In den onbeplanten grond gebeurt gedurende $1\frac{1}{2}$ maand niets, in de daarop volgende drie weken wordt een niet onbelangrijke hoeveelheid stikstof vastgelegd, n.l. 37,5 % van de in den beginne aanwezige oplosbare stikstof. Men vraagt zich af, waarom hier, in tegenstelling met den ongepasteuriseerden grond, wel stikstof wordt vastgelegd; wel kunnen nu door de pasteurisatie gedooide microorganismen als C bron dienst doen, maar dan moet men veronderstellen, dat de C : N verhouding van het opgebouwde microbenmateriaal kleiner is dan van het afgebroken. Dit is mogelijk, wanneer bijv. dood schimmelmateriaal (C : N, $\pm 10-15 : 1$) door bacteriën wordt omgezet (C : N, 3—8 : 1). Door de pasteurisatie zijn inderdaad de schimmels ver op den achtergrond gedrongen en daarna worden de omzettingen grootendeels door sporen vormende bacteriën voortgezet. Tenslotte bestaat ook nog de mogelijkheid, dat door de pasteurisatie de aantastbaarheid van de organische stof in den grond is verhoogd. Op den beplanten grond groeit het gewas uitstekend, de stikstofvastlegging treedt eerder op en bedraagt reeds 17,5 % van de aanvankelijk aanwezige anorganische stikstof als in den onbeplanten grond nog niets is vastgelegd. Gezien het

feit, dat bij het eind van de proef vrijwel alle oplosbare stikstof is verdwenen, is het niet uitgesloten, dat in deze serie de concurrentie tusschen plant en de stikstofvastleggende bacteriën heeft geleid tot een verminderde stikstofopname door de planten.

HET UITERLIJK DER PLANTEN

Reeds na een maand treden duidelijke verschillen aan den dag; het best stonden de met nitraat bemeste potten en die, welke zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 hadden ontvangen en bovendien met 2 % tuingrond waren geënt. Aanvankelijk bleven de planten op de met chili bemeste, gepasteuriseerde potten achter bij de niet gepasteuriseerde; als de planten ouder worden was het omgekeerde het geval. Naderhand zien wij, dat de planten op de met zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 bemeste gronden de met chili bemeste ver achter zich laten. Door eenvoudige enting van den oorspronkelijken grond met 2 % tuingrond werd de stand van het gewas aanvankelijk weinig, maar tenslotte toch overtuigend gunstig beïnvloed. Op den oorspronkelijken grond, met zwavelzuren ammoniak bemest, zijn de planten het kleinst gebleven, de bladeren vertoonen bruine randen, zijn eenigszins geëtiolceerd, waarschijnlijk tengevolge van de te hooge concentratie van den zwavelzuren ammoniak. Bij de met zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 bemeste, met 2 % tuingrond geënte potten vertoonen de niet gepasteuriseerde potten een groote voorsprong boven de gepasteuriseerde, terwijl op den met chili bemesten grond juist de gepasteuriseerde tegen het eind een kleine voorsprong hebben, hetgeen er op wijst, dat in dit geval door de pasteurisatie de grond geen voor de plant nadeelige veranderingen heeft ondergaan, zoodat de achterstand op de met zwavelzuren ammoniak bemesten gepasteuriseerden grond geheel moet worden geweten aan de afwezigheid van microörganismen, die de plantengroei bevorderen, in 't bijzonder de nitrificeerende bacteriën.

OVERZICHT VAN DE STIKSTOFBALANS

De gunstige invloed, die de enting ook hier heeft gehad (II), n.l. uiteindelijk 75 % meer opbrengst dan ongeënt, is ongetwijfeld nog gedrukt, doordat in den geënten grond zooveel stikstof verloren is gegaan.

De hoeveelheid opgenomen stikstof is met 80 % toegenomen (1480 mg tegen 822) en men kan zich afvragen of deze betere stikstofopname een direct gevolg is van de enting, bijv. doordat de nitrificeerende bacteriën actiever waren of wel, dat de omstandigheden voor hun ontwikkeling beter waren. Opmerkelijk is, dat op de met chili bemeste gronden (VII en VIII) pasteurisatie betrekkelijk weinig invloed heeft, de opbrengst is tenslotte zelfs 11,5 % *hooger* dan op de ongepasteuriseerde gronden, alhoewel 12 % minder stikstof is opgenomen, dit laatste waarschijnlijk tengevolge van de sterkere vastlegging in de gepasteuriseerde gronden. De opbrengst van dozen met chili (en overigens onbehandelden) bemesten grond bedraagt meer dan het dubbele van den met zwavelzuren ammoniak bemesten grond. De eind-pH van den met nitraat bemesten grond is belangrijk hooger n.l. 5,7 tegen 3,7 in de met zwavelzuren ammoniak bemesten grond, zoodat hierin wel een van de oorzaken van deze verschillen kan liggen. Vergelijken wij echter den grond met zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 en 2 % tuingrond, gepasteuriseerd en ongepasteuriseerd, waar het verschil dus niet aan den pH en uitsluitend in de aan- of afwezigheid

TABEL 7 Opbrengst en stikstofopname der planten

Behandeling van den grond	Droge stof per pot in g					Totaal door de planten per pot opgen. stikstof in mg				
	Na 30 d.	Na 42 d.	Na 50 d.	Na 59 d.	Na 73 d.	Na 30 d.	Na 42 d.	Na 50 d.	Na 59 d.	Na 73 d.
I. Oorspr. gr. + zw. amm. <i>Original soil + Amm. sulf.</i>	0,7	—	6,5	—	19,5	26,7	—	273	—	822
II. Id. + 2 % tuingrond <i>Ditto infected with 2 % garden soil</i>	1,0	—	10,2	—	34,2	33,3	—	328	—	1480
III. Gr. + zw. amm. + 2 % tuingr. + 15,9 g CaCO ₃ per pot <i>Same as II, + CaCO₃</i>	2,1	21,9	—	52,2	—	133	604	—	1791	—
IV. Oorspr. gr. + zw. amm., gepast. <i>Original soil + Amm. Sulf. pasteurized</i>	0,4	—	9,9	—	23,7	19,5	—	693	—	995
V. Gr. + Zw. Amm. + CaCO ₃ + 2 % tuingr., gepast. <i>Same as III, pasteurized</i>	—	5,8	—	—	31,3	—	262	—	—	1082
VI. Oorspr. gr. met nitraat <i>Original soil + NaNO₃</i>	2,0	18,1	—	43,5	—	14,7	—	—	1303	—
VII. Id. gepast. <i>Same as VI, pasteurized</i>	1,5	16,0	—	48,5	—	76,9	849	—	1140	—
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Dry matter in g per pot</i>					<i>Total N assimilated by the plants mg per pot</i>				

TABEL 7 Yield and nitrogen assimilated by the plants

van bepaalde microorganismen ligt, dan blijkt, dat hier de opbrengst op den niet gepasteuriseerden grond na 59 dagen al 67 % hooger was dan op den gepasteuriseerden grond na 73 dagen, de stikstofopname is 64,5 % hooger. Vergelijken wij tenslotte ook nog den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak, CaCO₃ en 2 % tuingrond bemesten grond (V) met den gepasteuriseerden met chili bemesten grond (VIII), dan verschillen hierin de eind-pH's slechts weinig n.l. resp. 6,1 en 6,4, terwijl de opbrengst van den met chili bemesten grond 55 % hooger is. Uit dit alles moet men wel concluderen, dat de nitraatvoeding voor deze planten belangrijk beter is dan de voeding met zwavelzuren ammoniak, alhoewel de stikstof uit deze laatste verbinding in vrij groote hoeveelheden wordt opgenomen.

Volgens een mondelinge mededeeling van DR IR E. G. MULDER is bij zijn proeven over stijgende bemestingen met nitraat en ammoniakstikstof gebleken, dat boven een optimale concentratie meerdere toevoeging van ammoniakstikstof een opbrengstdaling veroorzaakte, terwijl de opbrengst der

met nitraat bemeste planten met evenveel stikstof nog verder stijgt. Het gehalte aan stikstof in de ammoniakplanten kan onder deze omstandigheden zoo hoog worden, dat beschadiging der bladeren optreedt.

Vermoedelijk is ook dit stadium in onze proeven bereikt, de bladeren vertoonen inderdaad eerst witte, daarna bruine randen tengevolge van de te hooge ammoniakgift.

Wordt het ammoniumzout genitrificeerd en staat de plant dientengevolge NO_3 ter beschikking, dan blijft de beschadiging uit en kunnen de planten de meerdere stikstof assimileren of in voorraad opslaan, al naar gelang de omstandigheden o.a. de belichting.

DE DOOR DE MICROÖRGANISMEN ONTBONDEN, VASTGELEGDE EN GEAMMONIFICEERDE STIKSTOF

Stikstofverliezen traden uitsluitend op in de met zwavelzuren ammoniak bemeste gronden, welke geen CaCO_3 hadden ontvangen. In die welke wel CaCO_3 hadden ontvangen en in de met chili bemeste potten, werd de stikstof quantitatief teruggevonden (tabel 8).

Het is duidelijk, dat ook de bedragen, die in den met CaCO_3 behandelden en den gepasteuriseerden grond verloren worden, niet uitgaan boven de gemiddelde fout, welke hier voor alle bepalingen plm. 1,6 bedroeg.

Een uitzondering maakt de beplante, gepasteuriseerde grond (n°. 4), waar na 73 dagen 6,6 mgr stikstof verloren is, zoodat men wel moet aannemen, dat hier infectie is opgetreden, wat zeker mogelijk is, daar geen bijzondere voorzorgen zijn genomen om de cultures steriel te houden.

Het grootste verlies treedt op in den met 2 % tuingrond geënten overigens onbehandelden grond, *waar niet minder dan 78 % van de als ammoniumsulfaat toegevoegde stikstof verloren is gegaan.* Deze verliezen zijn uiterst merkwaardig en vormen een bevestiging van de analoge, zij het ook veel kleinere verliezen in den grond van Rademaker.

De organische stof in dezen grond is in een toestand, waarin zij geleidelijk verder wordt gemineraliseerd, waarbij niet onbelangrijke hoeveelheden anorg. N vrijkomen (tabel 9).

Door pasteurisatie worden deze processen stopgezet, door enting met tuingrond niet onbelangrijk versterkt. In n°. 5 is na enting met tuingrond een hoeveelheid stikstof vrijgekomen, welke maar weinig minder is dan de helft van de door ons gegeven zware ammoniakbemesting. Zoodra echter de pH van den grond door toevoeging van CaCO_3 van 4,9 gestegen is tot 6,8, maakt de ammonificatie plaats voor een vrij intensieve vastlegging. Het is niet uitgesloten, dat dit wordt veroorzaakt, doordat tengevolge van de pH-stijging het microbiologische evenwicht in de richting der bacteriën wordt verschoven, terwijl het juist de schimmels zijn, die in dergelijke zure gronden de mineralisatie tot stand brengen en in de eerste plaats voor de ammonificatie verantwoordelijk zijn.

Ook door beplanting maakt de ammonificatie in bijna alle gevallen plaats voor vastlegging; het meest voor de hand ligt de reeds hierboven geuite ver-

TABEL 7 Opbrengst en stikstofopname der planten

Behandeling van den grond	Droge stof per pot in g					Totaal door de planten per pot opgen. stikstof in mg				
	Na 30 d.	Na 42 d.	Na 50 d.	Na 59 d.	Na 73 d.	Na 30 d.	Na 42 d.	Na 50 d.	Na 59 d.	Na 73 d.
I. Oorspr. gr. + zw. amm. <i>Original soil + Amm. sulf.</i>	0,7	—	6,5	—	19,5	26,7	—	273	—	822
II. Id. + 2 % tuingrond <i>Ditto infected with 2 % garden soil</i>	1,0	—	10,2	—	34,2	33,3	—	328	—	1480
III. Gr. + zw. amm. + 2 % tuingr. + 15,9 g CaCO ₃ per pot <i>Same as II, + CaCO₃</i>	2,1	21,9	—	52,2	—	133	604	—	1791	—
IV. Oorspr. gr. + zw. amm., gepast. <i>Original soil + Amm. Sulf. pasteurized</i>	0,4	—	9,9	—	23,7	19,5	—	693	—	995
V. Gr. + Zw. Amm. + CaCO ₃ + 2 % tuingr., gepast. <i>Same as III, pasteurized</i>	—	5,8	—	—	31,3	—	262	—	—	1082
VI. Oorspr. gr. met nitraat <i>Original soil + NaNO₃</i>	2,0	18,1	—	43,5	—	14,7	—	—	1303	—
VII. Id. gepast. <i>Same as VI, pasteurized</i>	1,5	16,0	—	48,5	—	76,9	849	—	1140	—
<i>Treatment of the soil</i>	<i>Dry matter in g per pot</i>					<i>Total N assimilated by the plants mg per pot</i>				

TABLE 7 Yield and nitrogen assimilated by the plants

van bepaalde microörganismen ligt, dan blijkt, dat hier de opbrengst op den niet gepasteuriseerden grond na 59 dagen al 67 % hooger was dan op den gepasteuriseerden grond na 73 dagen, de stikstofopname is 64,5 % hooger. Vergelijken wij tenslotte ook nog den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak, CaCO₃ en 2 % tuingrond bemesten grond (V) met den gepasteuriseerden met chili bemesten grond (VIII), dan verschillen hierin de eind-pH's slechts weinig n.l. resp. 6,1 en 6,4, terwijl de opbrengst van den met chili bemesten grond 55 % hooger is. Uit dit alles moet men wel concludeeren, dat de nitraatvoeding voor deze planten belangrijk beter is dan de voeding met zwavelzuren ammoniak, alhoewel de stikstof uit deze laatste verbinding in vrij groote hoeveelheden wordt opgenomen.

Volgens een mondelinge mededeeling van DR IR E. G. MULDER is bij zijn proeven over stijgende bemestingen met nitraat en ammoniakstikstof gebleken, dat boven een optimale concentratie meerdere toevoeging van ammoniakstikstof een opbrengstdaling veroorzaakte, terwijl de opbrengst der

met nitraat bemeste planten met evenveel stikstof nog verder stijgt. Het gehalte aan stikstof in de ammoniakplanten kan onder deze omstandigheden zoo hoog worden, dat beschadiging der bladeren optreedt.

Vermoedelijk is ook dit stadium in onze proeven bereikt, de bladeren vertoonen inderdaad eerst witte, daarna bruine randen tengevolge van de te hoge ammoniakgift.

Wordt het ammoniumzout genitrificeerd en staat de plant dientengevolge NO_3 ter beschikking, dan blijft de beschadiging uit en kunnen de planten de meerdere stikstof assimileren of in voorraad opslaan, al naar gelang de omstandigheden o.a. de belichting.

DE DOOR DE MICROÖRGANISMEN ONTBONDEN, VASTGELEGDE EN GEAMMONIFICEERDE STIKSTOF

Stikstofverliezen traden uitsluitend op in de met zwavelzuren ammoniak bemeste gronden, welke geen CaCO_3 hadden ontvangen. In die welke wel CaCO_3 hadden ontvangen en in de met chili bemeste potten, werd de stikstof quantitatief teruggevonden (tabel 8).

Het is duidelijk, dat ook de bedragen, die in den met CaCO_3 behandelde en den gepasteuriseerden grond verloren worden, niet uitgaan boven de gemiddelde fout, welke hier voor alle bepalingen plm. 1,6 bedroeg.

Een uitzondering maakt de beplante, gepasteuriseerde grond (n°. 4), waar na 73 dagen 6,6 mgr stikstof verloren is, zoodat men wel moet aannemen, dat hier infectie is opgetreden, wat zeker mogelijk is, daar geen bijzondere voorzorgen zijn genomen om de cultures steriel te houden.

Het grootste verlies treedt op in den met 2 % tuingrond geënten overigens onbehandelden grond, *waar niet minder dan 78 % van de als ammoniumsulfaat toegevoegde stikstof verloren is gegaan.* Deze verliezen zijn uiterst merkwaardig en vormen een bevestiging van de analoge, zij het ook veel kleinere verliezen in den grond van Rademaker.

De organische stof in dezen grond is in een toestand, waarin zij geleidelijk verder wordt gemineraliseerd, waarbij niet onbelangrijke hoeveelheden anorg. N vrijkomen (tabel 9).

Door pasteurisatie worden deze processen stopgezet, door enting met tuingrond niet onbelangrijk versterkt. In n°. 5 is na enting met tuingrond een hoeveelheid stikstof vrijgekomen, welke maar weinig minder is dan de helft van de door ons gegeven zware ammoniakbemesting. Zoodra echter de pH van den grond door toevoeging van CaCO_3 van 4,9 gestegen is tot 6,8, maakt de ammonificatie plaats voor een vrij intensieve vastlegging. Het is niet uitgesloten, dat dit wordt veroorzaakt, doordat tengevolge van de pH-stijging het microbiologische evenwicht in de richting der bacteriën wordt verschoven, terwijl het juist de schimmels zijn, die in dergelijke zure gronden de mineralisatie tot stand brengen en in de eerste plaats voor de ammonificatie verantwoordelijk zijn.

Ook door beplanting maakt de ammonificatie in bijna alle gevallen plaats voor vastlegging; het meest voor de hand ligt de reeds hierboven geuite veronderstelling, dat door de plant uitgescheiden organische stoffen als gemakkelijk

assimileerbaar C materiaal dienst doen voor tal van bacteriën en schimmels die de anorganische stikstofverbindingen daarbij als N-bron gebruiken.

Na enting met tuingrond echter heeft geen vastlegging plaats en verloopt de ammonificatie op vrijwel dezelfde wijze als in de onbeplante potten.

Verder is het opmerkelijk, dat bij bemesting met chili nergens ammonificatie optreedt en overal meer stikstof wordt vastgelegd dan in de analoge met zwavelzuren ammoniak bemeste potten. Dit verschillende gedrag van chili en zwavelzuren ammoniak laat zich niet verklaren door den pH, die ook met chili laag is n.l. 4,9—4,6.

TABEL 8 Als N-O verbindingen verloren stikstof in mg per 100 g grond

	Na 30 dagen	Na 43 dagen	Na 50 ¹ dagen	Na 59 d.	Na 66 d.	Na 73 d.	Na 80 d.	Na 87 d.
1. Oorspr. grond met zw. amm. onbeplant <i>Original soil + amm. sulf. un- cropped</i>	2,5	—	14,6	—	—	21	—	21,3
2. Beplant <i>Cropped</i>	2,3	—	13,6	—	—	17,9	—	—
3. Idem, gepast. onbeplant <i>Same as 1, pasteurized</i>	0,1	—	-0,4 ¹	—	—	1,4	—	—
4. Beplant <i>Same as 3, cropped</i>	2,9	—	3,2	—	—	6,6	—	—
5. Als 1 + 2 % tuingr. onbeplant <i>Original soil + amm. sulf. infected with 2 % garden soil</i>	8,6	14,3	—	—	19,4	—	33,7	—
6. Idem, beplant <i>Ditto, cropped</i>	10,5	—	24,3	—	—	26,8	—	—
7. Als 5, met 15,9 g CaCO ₃ <i>Same as 5, + 15,9 g CaCO₃ per pot uncropped</i>	-0,9 ¹	-0,7	—	—	0,4	—	-2,0	—
8. Idem, beplant <i>Ditto, cropped</i>	3,1	-0,3	—	-2,9	—	—	—	—
9. Oorspr. grond met nitraat bemest onbeplant <i>Original soil + nitrate, uncropped</i>	0,1	-1,1	—	0,2	—	—	—	0,2
10. Idem, beplant <i>Ditto cropped</i>	0,1	0,0	—	-0,9	—	—	—	—
11. Oorspr. grond met toluol behan- deld + zw. amm. <i>Original soil + Amm. sulf. treated with toluol</i>	—	—	—	—	—	—	—	0,0
12. Oorspr. grond met toluol behan- deld + nitraat <i>Original soil + nitrate treated with toluol</i>	—	—	—	—	—	—	—	0,3

TABEL 8 Nitrogen lost during nitrification in acid soil as volatile N-O compounds (in mg per 100 g. soil.)

¹ met het —teeken wil zeggen, dat hier niet minder, doch meer totaalstikstof werd gevonden dan bij de aanvang; de bedragen zijn zoo klein, dat ze geheel op rekening van de analyse fouten gesteld kunnen worden.

Tenslotte zij opgemerkt, dat in den met toluol behandelde grond hoege-
naamd geen veranderingen zijn opgetreden, zoodat het zeker is, dat de verande-
ringen welke hierboven geconstateerd zijn, uitsluitend tengevolge van micro-
biologische omzettingen tot stand zijn gekomen.

TABEL 9 Geammonificeerde en vastgelegde stikstof (mg N per 100 g grond)¹

		Onbeplant						
		Na 30 dagen	Na 43 dagen	Na 50 dagen	Na 59 dagen	Na 66 dagen	Na 78 dagen	Na 80 dagen
1.	Oorspr. gr. + zw. amm. . . <i>Original soil + Amm. sulf.</i>	1,2	—	3,3	—	—	10,9	13,9
3.	Idem, gepast. <i>Ditto pasteurized</i>	-4,1	—	9,5	—	—	1,9	—
5.	Als 1 + 2 % tuingr. . . . <i>Same as 1, infected with 2 % garden soil</i>	¹ -0,1	11,9	—	—	13,9	—	18,9
7.	Als 5 + 15,9 gr CaCO ₃ . . <i>Ditto + 15,9 g CaCO₃</i>	¹ -16,1	-11,4	—	—	-16,1	—	-9,1
9.	Als 7, gepast. <i>Same as 7, pasteurized</i>	—	-5,2	—	-6,1	—	—	—
11.	Oorspr. gr. + nitraat . . . <i>Original soil + NaNO₃</i>	0,0	-1,0	—	-3,1	—	—	—
13.	Als 11, gepast. <i>Ditto, pasteurized</i>	—	0,0	—	—	-13,9	—	—
		Uncropped						

		Beplant				
		Na 30 dagen	Na 43 dagen	Na 50 dagen	Na 59 dagen	Na 73 dagen
1.	Oorspr. gr. + zw. amm. . . <i>Original soil + Amm. sulf.</i>	-2,6	—	-3,0	—	-5,6
3.	Idem, gepast. <i>Ditto pasteurized</i>	-3,1	—	-7,8	—	-11,1
5.	Als 1 + 2 % tuingr. . . . <i>Same as 1, infected with 2 % garden soil</i>	3,9	—	8,7	—	17,9
7.	Als 5 + 15,9 g CaCO ₃ . . . <i>Ditto + 15,9 g CaCO₃</i>	-5,4	-13,8	—	-6,0	—
9.	Als 7, gepast. <i>Same as 7, pasteurized</i>	—	-6,1	—	—	-17,0
11.	Oorspr. gr + nitraat . . . <i>Original soil + NaNO₃</i>	0,0	-13,1	—	—	-9,2
13.	Als 11, gepast. <i>Ditto, pasteurized</i>	0,0	-5,1	—	-15,8	—
		Cropped				

TABLE 9 Ammonified nitrogen and inorganic nitrogen transformed into microbial material
(mg per 100 g soil)

¹ Aangegeven is de hoeveelheid N. die door ammonificatie uit de organische stof van den grond is vrijgemaakt; met — is aangegeven dat organische N door micro-organismen in organischen vorm is overgevoerd (vastgelegd).

VII. DE pH VERANDERINGEN ONDER INVLOED VAN DE MICRO-BIOLOGISCHE OMZETTINGEN EN STIKSTOFOPNAME DOOR DE PLANT

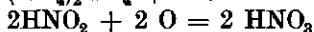
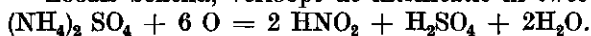
INLEIDING

Veranderingen in den pH kunnen door de volgende oorzaken tot stand komen:

- 1e. Door de bij de nitrificatie vrijkomende zuren.
- 2e. Door de opname van NH_4^+ of NO_3^- door de plant, evenals door opname van K^+ , Mg^{++} , HPO_4^{--} .
- 3e. Door de opname van NH_4^+ of NO_3^- , door de microörganismen, tijdens de vastlegging.
- 4e. Door de ammonificatie van in den grond voorkomende organische stoffen.
- 5e. Door de uitscheiding van organische stoffen door de plant, welke producten door de microörganismen in zuur of alcalisch reagerende stoffen worden omgezet.

Enkele van deze oorzaken zullen wij nader beschouwen.

Zooals bekend, verloopt de nitrificatie in twee stadia:



Bij de totale omzetting omzetting van 1 mol. zwavelzuren ammoniak komen 4H^+ vrij; bij een bemesting van 500 kg zwavelzuren ammoniak per ha. ontstaat daaruit door nitrificatie niet minder dan 477 kg sterk salpeterzuur en 372 kg zwavelzuur, welke zuren voor zoover zij niet door het regenwater worden uitgespoeld, meer of minder worden gebonden door de in den grond voorkomende basen.

Deze hoeveelheid salpeterzuur en zwavelzuur zijn zeker groot genoeg om aanzienlijke pH-veranderingen in den grond tot stand te brengen; de grootte dier veranderingen hangt ten nauwste samen met het bufferend vermogen van den grond en zal zich het minst doen voelen op basenrijke kleigronden en het sterkste in de lichte, humusarme zandgronden (5) De laagste grens waartoe de pH onder invloed van de nitrificatie kan dalen wordt bepaald door de zuur-tolerantie van de nitrificeerende bacteriën; deze is echter geen goed gedefinieerde grootheid, doch hangt o.m. af van de herkomst der bacteriën en van den aard van het medium. Zoo ligt de minimum pH, waarbij in een zuivere cultuur-vloeistof nog nitrificatie mogelijk is, bij omstreeks 5 en deze is aanzienlijk hooger dan de pH, die men uiteindelijk vindt in vloeistofcultures, waarin grond is gesuspenderd en waarin door mij pH's van 3,9 en zelfs 3,5 werden gevonden, terwijl tevens bleek, dat bij dergelijke lage pH's de bacteriën ook in leven blijven.

DE VRIES en VISSER (17) berekenen op grond van proefveldgegevens de minimum pH's, die ontstaan tengevolge van voortgezette bemesting met verschillende meststoffen op diverse gronden. Op nieuwe dalgronden, gedurende 12 jaar bemest met zwavelzuren ammoniak nadert de pH de waarde van 3,9, op oude dalgronden 4,5.

Deze verschillen in eindwaarden behoeven niet alleen veroorzaakt te worden

door verschillen in bufferend vermogen dezer gronden, doch kunnen tevens hun oorzaak vinden in een verschillende geaardheid der betreffende nitrificerende bacteriën. Wat betreft de pH-veranderingen, die optreden tengevolge van de directe NH_4^+ -opname door de plant is het duidelijk, dat deze slechts half zoo groot zijn als die, welke door de nitrificatie van gelijke hoeveelheden stikstof uit zwavelzuren ammoniak ontstaan.

NO_3^- opname, voor zoover deze geschiedt uit de zouten van K, Na of Ca zal de pH doen stijgen, de eventueel te bereiken maximum pH zal bij bemesting met KNO_3 of NaNO_3 hoger zijn dan bij Ca $(\text{NO}_3)_2$; uit deze verbindingen ontstaan n.l. de carbonaten of bicarbonaten en vooral vlak rond de wortels kunnen pH's van 7,5—8 voorkomen.

De pH-verandering, welke bij bemesting met KNO_3 uiteindelijk op kan treden, zal geringer zijn dan die met NaNO_3 , aangezien de plant in ieder geval een deel der K ionen kan opnemen. Hetzelfde geldt in nog sterkere mate voor NH_4NO_3 . Wanneer dit in zijn geheel door de plant wordt opgenomen, zou de pH onveranderd blijven, doch doorgaans zal de NH_4^+ worden genitrificeerd.

Bij de omzetting van 1 mol. NH_4NO_3 ontstaan 2 H-ionen, dus de helft van de hoeveelheid, die bij de nitrificatie van 1 mol. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ wordt gevormd waarin echter evenveel N als in een mol NH_4NO_3 ; in overeenstemming hiermee liggen de krommen, die in genoemde publicatie de pH-veranderingen in den loop der jaren voor bemesting met ammoniumnitraat aangegeven, dan ook ongeveer midden tusschen die voor kalksalpeter en ammoniumsulfaat in (17).

Bij de ammonificatie van de in grond voorkomende organische stoffen wordt ammoniumcarbonaat of bicarbonaat gevormd, zelden ammoniak als zoodanig; te verwachten is, dat hierdoor vooral in gronden met een lage pH geringe pH-stijgingen zullen optreden.

Wat betreft de uitscheiding van stoffen door de plant, is het zeker, dat deze vooral in de rhizosfeer merkbaar zullen zijn. Niet alleen de uitscheiding van koolzuur speelt hier een rol, doch vooral ook die van koolhydraten, waaruit door micro-organismen weer zuren worden geproduceerd. Deze worden echter in betrekkelijk korten tijd weer verder omgezet en tenslotte in koolzuur en water overgevoerd, zoodat men in de rhizosfeer uiteindelijk met CO_2 te rekenen heeft. De plant is echter ook in staat om in een te zuur milieu door uitscheiding van basische stoffen waterstofionen te binden en de pH hierdoor in meerdere of mindere mate te verhoogen. Zoo zal de uitscheiding van asparagine, welke door Virtanen bij leguminosen is vastgesteld, tenslotte voeren tot de eindproducten ammoniak en koolzuur.

HET BUFFEREND VERMOGEN DER GEBRUIKTE GRONDEN

Voor een juiste interpretatie en onderlinge vergelijking van de verkregen resultaten is het wenschelijk een inzicht te hebben in de wijze, waarop de betreffende gronden de ontstane H of OH-ionen bufferen. Voor dit doel werden de betrokken gronden met 0,1 n loog en zuur getitreerd en de resulterende pH's genoteerd.

Nadat door eenige oriënteerende proefjes was nagegaan hoeveel cm^3 0,1 n zuur ongeveer nodig is voor een pH daling in 20 g drogen grond tot plm. 3, werden aan een aantal kolfjes met 20 g grond stijgende hoeveelheden 0,1 n zuur en alkali toegevoegd. Na 2 dagen onder herhaald schudden bij 25° C te hebben gestaan, werden de resulterende pH's be-

FIG. 7. De titratiekrommen van drie der gebruikte gronden. Men ziet duidelijk dat het bufferend vermogen (helling van een raaklijn aan de kromme in een bepaald punt, met de verticale as) van den grond van Rademaker tusschen pH 7 en 4,5 veel kleiner is dan van de andere gronden. Verder is het duidelijk dat het bufferend vermogen van den grond van Rijkens bijv. even boven pH 6 beduidend grooter is dan tusschen 6 en 4,5.

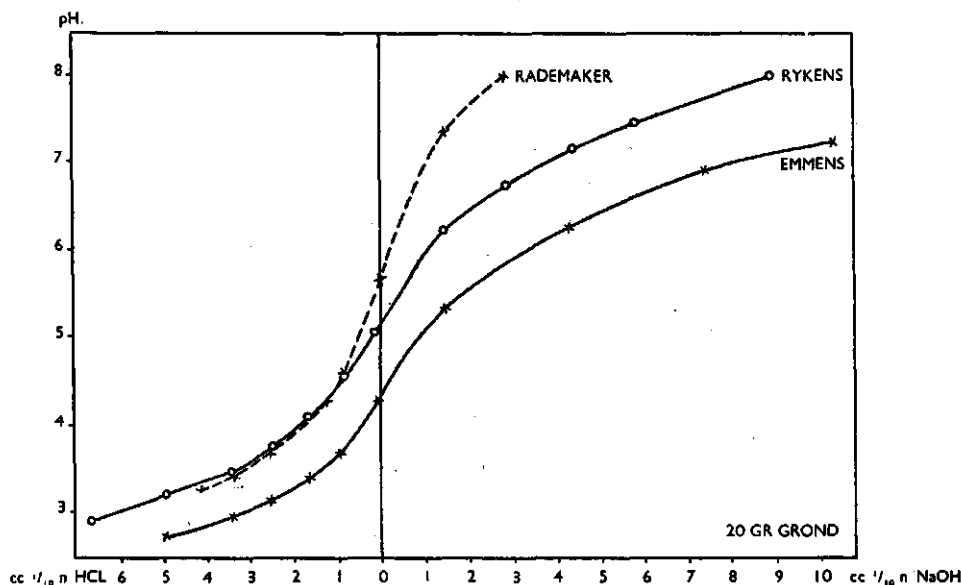


FIG. 7. Titration curves of three of the soils used in the experiments. The buffer capacity of the soil from Rademaker is much less than that of the other soils.

paald, na afcentrifugeeren en nadat het eventueel gevormde koolzuur door luchtdoorleiden was verdreven; de verkregen gegevens werden tot een kromme vereenigd. Bij latere onderzoeken is gebleken dat men den grond beter 8 dagen kan laten staan, onder toevoeging van toluol ter voorkoming van microbiologische omzettingen.

In bovenstaande figuur 7 vindt men deze krommen voor de gronden van Rademaker, Rijkens en Emmens. Het slechtst buffert de grond van Rademaker, in het bijzonder tusschen de pH 4,5 en 7,5. De grond van Emmens buffert het minst tusschen pH 3,2 en 5,4, die van Rijkens tusschen 4,1 en 6,2. Daar bij onze proeven de pH zich beweegt tusschen plm. 3,8 en 6,5 kan men voor de gronden Rademaker en Rijkens het bufferend vermogen in dit traject wel als constant beschouwen. Het bufferend vermogen van den grond van Emmens tusschen 3,2 en 5,4 eenerzijds en 5,4 en 7 anderzijds loopt echter tamelijk ver uiteen en het aantal cm^3 noodig voor een pH-stijging van 1,0 bedraagt 1,21 cc in het eerste geval tegen 3,62 in het laatste. In dit traject zal dus, zoodra de pH boven 5,4 stijgt, tengevolge van de opname door de plant van gelijke hoeveelheden NO_3 ion, de pH maar met een derde van het oorspronkelijke bedrag stijgen.

TABEL 10 Veranderingen in de pH in onbeplante en beplante gronden

		Na 0 d.	Na 23 d.	Na 41 d.	Na 48 d.	Na 55 d.	Na 62 d.	Na 69 d.	Na 75 d.	Na 83 d.
I. EMMENS										
1. Met zw. amm. bemest	onbepl.	4,15	4,22	—	4,30	—	—	4,05	—	—
Idem	bepl.	4,15	4,27	—	4,12	—	—	4,30	—	—
2. Als 1 gepast.	onbepl.	4,15	4,27	—	4,40	—	—	4,17	—	—
Idem	bepl.	4,15	—	—	4,22	—	—	4,02	—	—
3. Geënt met 2% tuigr. .	onbepl.	4,27	4,35	—	4,45	—	—	4,30	—	4,10
Idem	bepl.	4,27	4,40	—	4,25	—	—	3,82	—	—
4. Als 3 + CaCO ₃ . . .	onbepl.	6,47	5,25	5,07	—	—	4,72	—	4,42	—
Idem	bepl.	6,47	5,37	5,15	—	—	4,97	—	—	—
5. Bemest met nitraat. .	onbepl.	4,05	4,35	4,47	—	4,20	—	—	—	4,12
Idem	bepl.	4,05	4,40	4,92	—	5,40	—	—	—	—
6. Als 5 gepast.	onbepl.	4,15	—	4,45	—	—	4,35	—	—	—
Idem	bepl.	4,15	4,57	4,60	—	4,70	—	—	—	—
		Na 0 d.	Na 23 d.	Na 41 d.	Na 48 d.	Na 55 d.	Na 62 d.	Na 69 d.	Na 74 d.	Na 83 d.
II. RADENAKER										
1. Met zw. amm. bemest	onbepl.	5,37	5,22	4,82	—	4,55	—	—	4,62	—
Idem	bepl.	5,37	5,15	4,67	—	4,55	—	—	4,52	—
2. Als 1 gepast.	onbepl.	5,47	5,50	5,52	—	5,30	—	—	5,42	—
Idem	bepl.	5,47	5,55	5,32	—	5,27	—	—	4,22	—
3. Bemest met nitraat. .	onbepl.	5,47	5,40	5,22	—	5,30	—	—	5,25	—
Idem	bepl.	5,47	5,42	5,29	—	5,50	—	—	6,30	—
4. Als 3 gepast.	onbepl.	5,47	5,37	5,42	—	5,45	—	—	5,52	—
Idem	bepl.	5,47	5,50	5,40	—	5,47	—	—	5,97	—
		Na 0 d.	Na 30 d.	Na 43 d.	Na 51 d.	Na 60 d.	Na 67 d.	Na 74 d.	Na 81 d.	Na 88 d.
III. RIJKENS										
1. Met zw. amm. bemest	onbepl.	4,77	4,65	—	4,50	—	—	4,20	—	4,12
Idem	bepl.	4,77	4,67	—	4,50	—	—	3,92	—	—
2. Als 1 gepast.	onbepl.	4,77	4,95	—	4,97	—	—	4,75	—	—
Idem	bepl.	4,77	4,95	—	4,65	—	—	3,85	—	—
3. Als 1 + 2 % tuigr. .	onbepl.	5,07	4,92	4,62	—	—	4,25	—	4,12	—
Idem	bepl.	5,07	4,70	—	4,40	—	—	3,97	—	—
4. Als 3 + CaCO ₃ . . .	onbepl.	6,82	5,72	5,75	—	5,67	—	—	5,15	—
Idem	bepl.	6,82	5,67	5,95	—	6,02	—	—	—	—
5. Als 4 gepast.	onbepl.	6,82	—	6,87	—	—	—	6,67	—	—
Idem	bepl.	6,82	—	6,85	—	—	—	6,12	—	—
6. Bemest met nitraat. .	onbepl.	4,87	4,87	5,07	—	4,75	—	—	—	4,60
Idem	bepl.	4,87	4,90	5,77	—	6,45	—	—	—	—
7. Als 6 gepast.	onbepl.	4,87	—	5,15	—	—	4,95	—	—	—
Idem	bepl.	4,87	4,90	5,85	—	6,35	—	—	—	—

TABLE 10 pH changes in cropped and uncropped soils

Ook is het duidelijk, dat de nitrificatie van gelijke hoeveelheden zwavelzuren ammoniak in den grond van Rademaker in de genoemde gebieden een pH daling zal veroorzaken, die 2 maal zoo groot is als die in den grond van Rijkens. In de hier volgende tabel zijn de pH veranderingen opgenomen van de 3 onderzochte gronden van Emmens, Rijkens en Rademaker. Voor een beperkt aantal objecten zijn de resultaten tot krommen vereenigd, waardoor het geheel overzichtelijker is geworden.

HET VERBAND TUSSEN DE OPGETREDEN pH-VERANDERINGEN,
BACTERIOLOGISCHE OMZETTINGEN EN PLANTENGROEI

1e. GROND EMMENS (zie fig. 8)

FIG. 8. De pH veranderingen in verschillend behandelde potgronden van Emmens onder invloed van het microbenleven en de beplanting. Men lette o.a. op de groote pH stijging in de met nitraat bemeste, beplante potten tegenover de zeer sterke pH daling in de met zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 bemeste potten (b = beplant; p = gepasteuriseerd; g = geënt.)

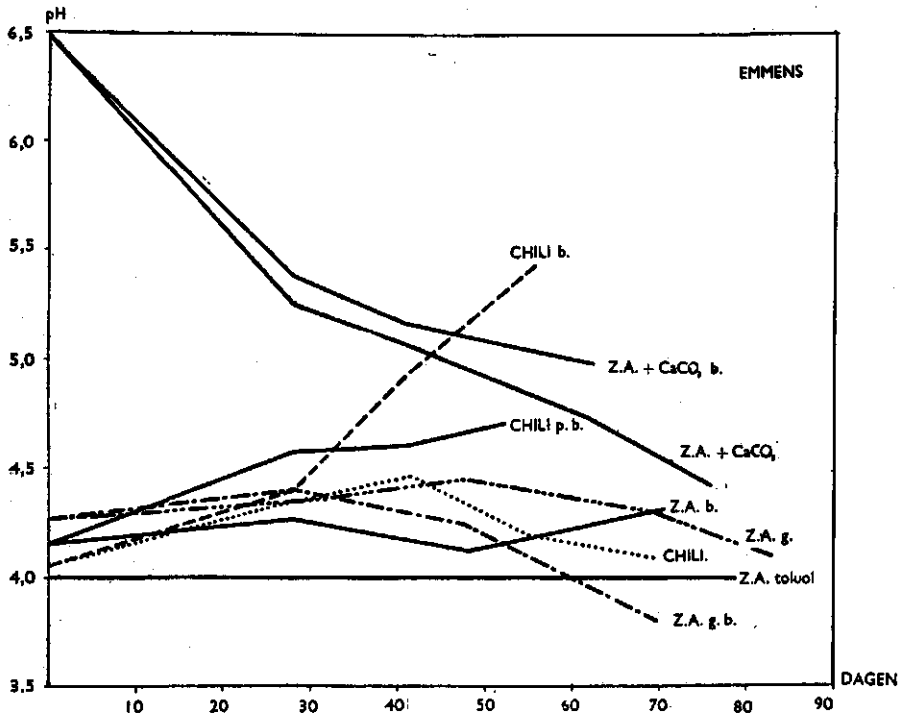


FIG. 8. pH Changes in an acid sandy soil (Rijkens) as influenced by microbial and plant life. Look at the difference between chili B. (cropped) and amm. sulf. + CaCO_3 , also cropped (ZA + CaCO_3 b). Addition of toluene stops all pH changes. (ZA + toluol) (b = cropped, p = pasteurized, g = infected with garden soil).

De begin pH van dezen grond was omstreeks 4,3, zoodat hierin slechts een geringe microbiologische activiteit te verwachten is. Doordat slechts weinig zwavelzure ammoniak is genitrificeerd, is de pH gedurende de geheele proef in den overigens onbemesten grond vrijwel constant gebleven. Daar ook de planten slecht zijn gegroeid, heeft ook dit weinig invloed gehad. Geheel anders wordt dit in de met CaCO_3 + zwavelzure ammoniak bemeste potten. Hier zien wij een snelle daling van de pH, waarbij de beplante grond achterblijft bij den onbeplante. De oorzaak hiervan kan drieërlei zijn; ten eerste wanneer de plant NO_3' opneemt, zal de pH hierdoor stijgen, onafhankelijk of die NO_3' afkomstig is van genitrificeerde ammoniak of van toegevoegde nitraten, ook voor geval daarvoor alleen HCO_3 -ionen in de plaats komen. De tweede mogelijkheid is dat de planten een deel van hun stikstof direct als ammoniumstikstof hebben opgenomen en hiermee aan de nitrificatie hebben onttrokken, waarbij even eens slechts half zooveel H ionen ontstaan als bij volledige nitrificatie; dat dit hier ook inderdaad een rol speelt, blijkt uit de grafiek n°. 2, kolom II, waaruit men kan zien, dat na 39 dagen door de plant meer stikstof is opgenomen dan in den onbeplanten grond genitrificeerd werd. Ten derde kan in den beplanten grond meer stikstof door de microben zijn vastgelegd dan in den onbeplanten. Doorgaans is dit ook zoo, alhoewel niet in dit geval. Oogenschiijnlijk hiermee in tegenspraak is het feit, dat in den geënten, met zwavelzuren ammoniak bemesten grond, de beplante serie, tenslotte een lagere pH bereikte (3,8) dan de onbeplante (4,1). Hier is echter de situatie een andere nl. doordat de pH van dezen grond zoo laag is (4,3—4,1), heeft ook na enting vrijwel geen nitrificatie plaats gehad. De planten nemen echter bij een pH, die lager ligt dan het minimum voor de nitrificeerende bacteriën, uit het ammoniumsulfaat nog stikstof op, waarbij weliswaar de pH daling slechts de helft is van die bij de nitrificatie, doch deze heeft hier vrijwel niet plaats gehad. De zuurvorming is in dit geval dus grootendeels het gevolg van de opname van ammoniumionen uit den zwavelzuren ammoniak, zoowel door de plant als door de microben.

Dat verder de pH daling in de geënte beplante potten groter is dan in de ongeënte komt, doordat op de geënte potten de planten aanzienlijk beter zijn gegroeid en $1,7 \times$ zooveel N hebben opgenomen als op de ongeënte potten. In den met nitraat bemesten, onbeplanten grond treedt aanvankelijk een lichte pH stijging op wellicht verband houdend met de vastlegging van nitraat N door de microorganismen in de eerste periode van de omzetting; door de beplanting zien wij, dat de pH verder stijgt, zooals te verwachten is. In den gepasteuriseerden grond stijgt de pH veel minder, hetgeen veroorzaakt wordt, doordat de planten belangrijk minder gegroeid zijn terwijl ook minder N door de microben is vastgelegd. Men vergelijkte fig. 2, kolom 6 en 7, waarin duidelijk te zien is, dat in den gepasteuriseerden grond meer nitraat is overgebleven dan in den ongepasteuriseerden. Verder zij nog opgemerkt, dat in den met toluol behandelenden grond de pH volkomen constant gebleven is, zoodat de overige veranderingen in de pH uitsluitend het gevolg zijn van biologische oorzaken.

2c. GROND VAN RADEMAKER. (Fig. 9)

Deze grond kenmerkte zich door een slechte nitrificatie en een klein gewas. Mede doordat in dezen grond naast een geringe nitrificatie een vrij intensieve

FIG. 9. De pH veranderingen in verschillend behandelde grond van Rademaker. De invloed van het microbenleven blijkt duidelijk uit het verschil tusschen den gepasteuriseerden (Z.A.p) en den niet gepasteuriseerden grond (Z.A.), terwijl ook de invloed van de beplanting op de verzuring duidelijk naar voren komt. (Z.A.p.B) (b = beplant, p = gepasteuriseerd).

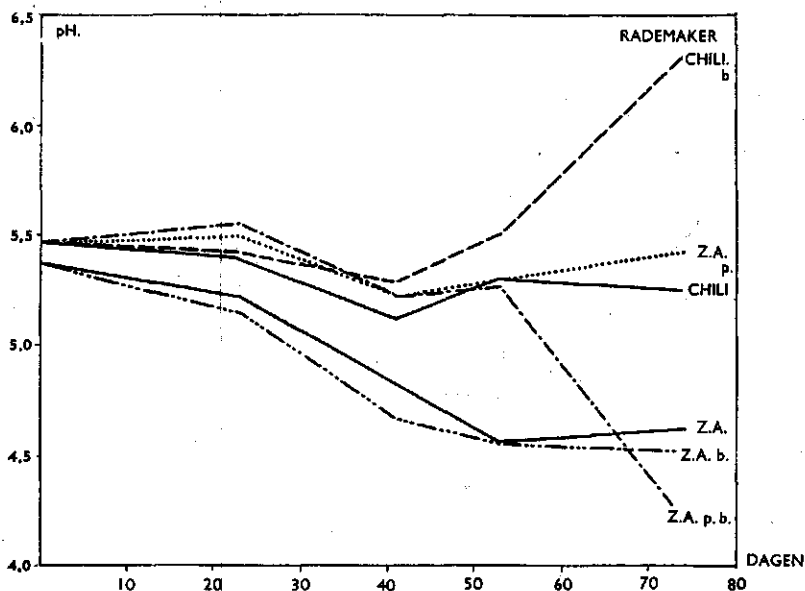


FIG. 9. pH changes in the soil from Rademaker, as influenced by microbial and plant life. The influence of microbial activity is shown by comparing the original soil + amm. sulf. (Z.A.), with the same soil pasteurized (Z.A.p.). The influence of plant life on the pH is demonstrated by the differences between the curves of the soil, with chili, uncropped and chili, cropped with *Brassica napus*. (chili B.) The acidifying effect of the intake of ammonia from amm.sulf by the plants is shown by the curves for ammonium sulfate pasteurized (Z.A.p.B) and ditto cropped with *Brassica napus* (Z.A.p.B.)

ammonificatie heeft plaats gehad, zijn de pH veranderingen in de met zwavelzuren ammoniak bemeste potten geremd.

Doordat de stikstofassimilatie door de planten eerst na ongeveer 2 maanden van eenige betekenis gaat worden, zien wij dat de stijging van de pH in de nitraatpotten, zoowel als de daling in de gepasteuriseerde za-potten eerst vanaf dat tijdstip inzet. Het meest opmerkelijk in dezen grond is de snelle daling van den pH in de gepasteuriseerde met zwavelzuren ammoniak bemeste, beplante potten vergeleken met de dito niet gepasteuriseerde. Daar in den gepasteuriseerden grond de nitrificerende bacteriën zijn gedood, is hier deze daling uitsluitend het gevolg van de ammoniakopname door de plant en in mindere mate door de vastlegging van de ammoniakstikstof door de micro-organismen. Dit blijkt ook uit het feit, dat deze daling eerst na 55 dagen inzet als de planten zich flink gaan ontwikkelen, welke daling samenhangt met de stijging in de nitraatserie.

FIG. 10. De pH veranderingen in verschillend behandelde grond van Rijkens. Ook hier ziet men duidelijk den invloed van de verschillende factoren die de pH wijzigen. Invloed nitrificerende bacteriën: vergelijk Z.A. + CaCO_3p (gepast). met idem ongepasteuriseerd. (Z.A. + CaCO_3) De invloed van de beplanting bij aanwezigheid van nitrificerende bacteriën (Z.A. + $\text{CaCO}_3\text{b.}$): minder zuur door opname van het gevormde NO_3^- . De verzuring door de beplanting bij afwezigheid van nitrificerende bacteriën (Z.A. + $\text{CaCO}_3\text{p.b.}$) Het sterker alkalisch worden onder invloed van de beplanting bij bemesting met chili (vergelijk chili met chili b.)

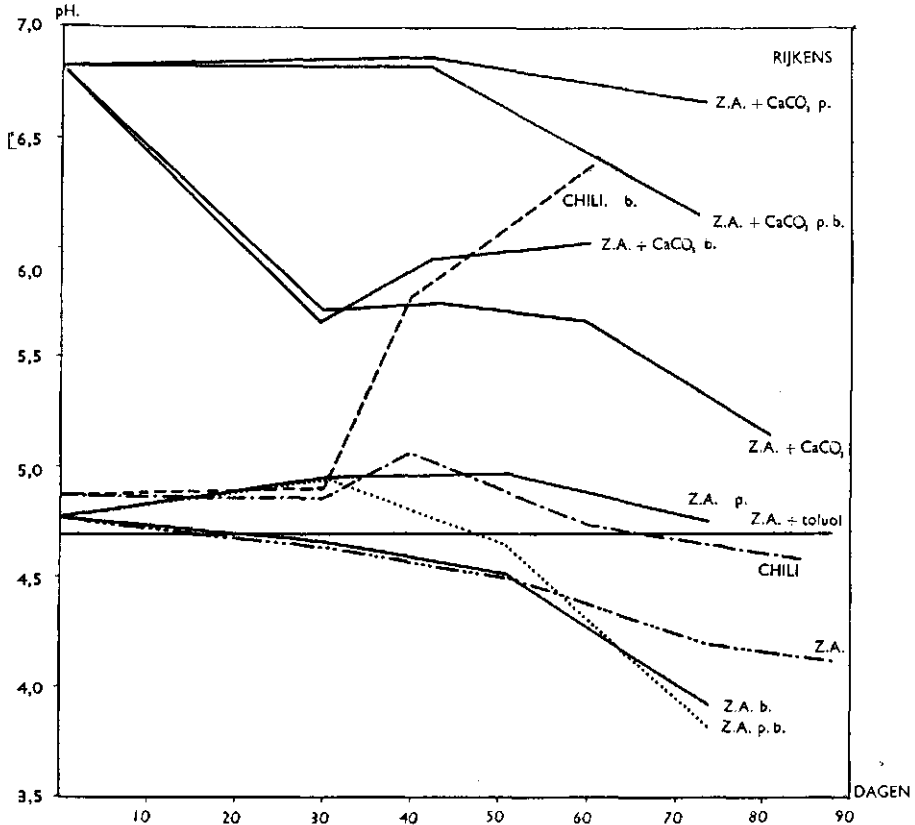


FIG. 10. pH Changes in the sandy soil from Rijkens. The influence of different factors, determining the pH, is distinctly shown by the curves. Shift in alkaline direction caused by the assimilation of NO_3^- from NaNO_3 by the plants. (compare chili with B.) The same, but in acid direction, caused by the assimilation of NH_4^+ from amm. sulf. is shown by the curves Z.A. + $\text{CaCO}_3\text{B.}$ (Cropped with *Brassica napus*) and Z.A. + CaCO_3 (uncropped.) The influence of nitrification is shown by comparing the curve of the original soil + amm. sulf. and CaCO_3 (Z.A. + CaCO_3) with the same, pasteurized. Z.A. + CaCO_3p

Op den niet gepasteuriseerden grond zijn de planten kleiner gebleven hebben minder stikstof opgenomen, er is na afloop van de proef nog bijna $2 \times$ zooveel ammoniak achtergebleven als in den gepasteuriseerden grond.

Dit is ook ten deele te danken aan het feit, dat in den ongepasteuriseerden grond $\pm 12\%$ van de organische stikstof door microbiologische ontleding in ammoniak is overgevoerd, waardoor een verschuiving in alcalische richting heeft plaats gehad.

3e. GROND VAN RIJKENS (Fig. 10)

De veranderingen in dezen grond zijn meer geprononceerd dan in de vorige, eenerzijds doordat hierin een levendiger microbiologische activiteit bestond en anderzijds, doordat de planten hierin beter groeiden. Het enorme verschil tusschen de gevolgen van een chili en een ammoniumsulfaatbemesting springt hier duidelijk in het oog. Reeds na 30 dagen, zoodra de snijmoesplantjes zich gaan ontwikkelen, zien wij een snelle stijging in den pH op de met chili bemeste potten; tegelijk ook begint de daling in de met zwavelzuren ammoniak bemeste potten.

Nu is het opmerkelijk, dat de daling, die in de beplante gepasteuriseerde met zwavelzuren ammoniak bemeste gronden optreedt iets grooter is dan die in de beplante, ongepasteuriseerde gronden, terwijl de beplante, ongepasteuriseerde grond duidelijk zuurder wordt dan de onbeplante. Dit wijst erop, dat ook in dezen grond zuurvorming tengevolge van directe NH_4^+ opname door de plant de overhand heeft op die, welke het gevolg is van de nitrificatie; tevens kan het een aanwijzing zijn, dat er bij de omzetting kationen vrijkomen. Nu zien wij uit de betreffende grafiek (fig. 4, 5, kolom I, II en III), dat vooral in de onbeplante gronden zeer duidelijk ammonificatie is opgetreden van de in den grond aanwezige organische verbindingen, terwijl in de meeste beplante potten stikstofvastlegging heeft plaats gehad, hetgeen de verzuring in de hand heeft gewerkt. Daarnaast heeft de stikstofontbinding ongetwijfeld een belangrijken invloed uitgeoefend; ook hierdoor stijgt de pH, terwijl het blijkt, dat deze stikstofontbinding in de beplante potten geringer is dan in de onbeplante. Tenslotte is een overwegende factor, dat de aanvangs pH van dezen grond reeds vrij laag is, n.l. 4,77, zoodat de activiteit der nitrificerende bacteriën geremd is en uit dien hoofde reeds geen groote pH daling kan optreden. Verhoogen wij de aanvangs pH van den grond door toevoeging van krijt, dan zien wij dat de pH daling in de onbeplante, met zwavelzuren ammoniak bemeste potten zeer toeneemt, daar nu de nitrificerende bacteriën hun volle activiteit ontplooiën. Dat de vastlegging door de microben in denzelfden zin op den pH werkt als de stikstofopname door de plant, blijkt uit het feit, dat in den gepasteuriseerden met zwavelzuren ammoniak en CaCO_3 bemesten grond, waarin een duidelijke vastlegging heeft plaats gevonden door de sporenvormende bacteriën, die de pasteurisatie hebben overleefd, de pH van 6,82 tot 6,67 daalt, terwijl in den met chili bemeste en gepasteuriseerden grond, tengevolge van deze vastlegging de pH van 4,87 tot 4,95 gestegen is (zie tabel 10 blz. 50). Zeer geprononceerd zijn hier de gevolgen van de CaCO_3 toevoeging in den met zwavelzuren ammoniak bemesten grond. In de gepasteuriseerde potten treedt aanvankelijk geen verandering op, echter na 42 dagen begint de pH te dalen, het snelst in de beplante potten.

Deze daling is het directe gevolg van de stikstofopname uit den zwavelzuren ammoniak, zoowel door de plant als door de microörganismen bij de

vastlegging. In de onbeplante potten treedt ook een daling op, welke hier uitsluitend het gevolg is van de vastlegging.

In de niet gepasteuriseerde potten zien wij aanvankelijk een zeer snelle daling tengevolge van de nitrificatie, vanaf het oogenblik echter, dat de planten behoorlijk gaan groeien, stijgt de pH weer tengevolge van de NO_3 opname door de plant en door de microben. In de onbeplante potten zien wij, dat de daling in de 2e maand tot stilstand is gekomen; bij beschouwing van grafiek n°. 5, kolom IV zien wij, dat hier vrijwel alle ammoniakstikstof op dat tijdstip genitrificeerd is en er tevens een duidelijke vastlegging heeft plaats gehad. In de laatste periode daalt de pH weer verder; het blijkt nu, dat in die periode het nitraat met 41 % is toegenomen ten koste van de organische stikstof en de resteerende kleine hoeveelheid ammoniakstikstof.

Tenslotte kan men zich nog afvragen, wat de reden is, dat in de met nitraat bemeste, beplante potten de pH met 1,58 is gestegen, terwijl in de met zwavelzuren ammoniak bemeste potten de daling slechts 0,85 bedraagt.

De reden hiervoor is, dat de nitraatplanten veel beter zijn gegroeid en in dezelfde tijd ongeveer $3 \times$ zooveel stikstof hebben opgenomen als de ammoniak planten. Bovendien is in de met zwavelzuren ammoniak bemeste potten een hoeveelheid stikstof ontbonden, wat de pH verlaging heeft tegengewerkt.

Door het ontbreken van volledige analyses van het plantenmateriaal was het niet mogelijk een balans op te maken, waaruit men de veranderingen in de waterstofionen concentratie nauwkeurig kan berekenen. Toch leek het de moeite waard eens na te gaan, welk aandeel de door de planten en bacteriën opgenomen of omgezette stikstofverbindingen gehad hebben in de uiteindelijk opgetreden pH veranderingen.

Men moet daarbij rekening houden met de veranderingen, die optreden tengevolge van de stikstofopname door de plant, zoowel als die, welke veroorzaakt worden door nitrificatie, ammonificatie en vastlegging door de verschillende groepen van microörganismen.

Bij nitrificatie ontstaan uit 1 mol. zwavelzuren ammoniak 1 mol. zwavelzuur en 2 mol. salpeterzuur; bij de ammonificatie van organische verbindingen bijv. eiwitten, ontstaat uiteindelijk ammoniumcarbonaat en moet men hiervoor een equivalente hoeveelheid alkali in rekening brengen.

Bij opname van de stikstof door de plant of vastlegging door microörganismen maakt het verschil of dit geschiedt uit zwavelzuren ammoniak of uit natriumnitraat; in het eerste geval moet men een equivalente hoeveelheid zuur in het tweede alkali in rekening brengen.

Bij de opname van stikstof uit ammoniumverbindingen maakt het geen verschil of deze voor de opname al dan niet genitrificeerd zijn. Daar in de tabellen en grafieken alle hoeveelheden stikstof, ook die welke door de planten werden opgenomen, betrokken zijn op 100 g drogen grond, kan men zonder veel moeite de hoeveelheden zuur, die bij de bovengenoemde processen gevormd zijn geworden, berekenen.

Aan de hand van de volgende tabel kan men nagaan met hoeveel cc normaal zuur of loog een bemesting met 1 g equivalent stikstof, onder verschillende omstandigheden overeenkomt.

TABEL 11

I		II	
1 g eq. N (14 g) als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	niet genitrificeerd en niet door de plant opgenomen 0 cc n. zuur	niet genitrificeerd, NH_4 door de plant opgenomen of door de bacteriën vastgelegd 1000 cc n. zuur	
III		IV	
	genitrificeerd, niet door de plant of de bacteriën opgenomen 2000 cc n. zuur	genitrificeerd en alle NO_3' door de plant of de bacteriën opgenomen of ontbonden 1000 cc n. zuur	
V		VI	
1 g eq. N als NH_4NO_3	niet genitrificeerd, NH_4' door de plant opgenomen 1000 cc n. zuur	niet genitrificeerd, NO_3' door de plant opgenomen 1000 cc n. alkali	
VII		VIII	
	genitrificeerd en niet door de plant of de bact. opgenomen 1000 cc n. zuur	genitrificeerd, alle NO_3' door de plant of de bact. opgenomen 0 cc zuur of alkali	
IX			
1 g eq. N als NaNO_3	NO_3' door de plant opgenomen 1000 cc n. alkali		
X		XI	
1 g eq. N als eiwit of org. N	geammonificeerd en niet genitrificeerd en niet door de plant opgenomen 1000 cc n. alkali	geammonificeerd en genitrificeerd, niet door de plant opgenomen 1000 cc n. zuur	
XII		XIII	
	geammonificeerd en door de plant of de bacteriën opgenomen 0 cc	geammonificeerd en genitrificeerd en door de plant of de bact. opgenomen, resp. ontbonden 0 cc	

Ter illustratie zullen wij in enkele gevallen, waarin de pH veranderingen voldoende geprononceerd zijn, waarin de potten onbeplant zijn geweest en waar in geen CaCO_3 werd toegevoegd, aan de hand van bovenstaande beschouwingen en de analytische gegevens, de hoeveelheden zuur of alkali, die tijdens de verschillende omzettingen zijn vrijgekomen, berekenen.

GROND VAN RADEMAKER met zwavelzuren ammoniak bemest, onbeplant (zie fig. 3 kolom I)

De pH is gedaald van 5,38 tot 4,62.

De omzettingen zijn hier tamelijk ingewikkeld. Behoudens 2,5 mg nitraat die oorspronkelijk in den grond aanwezig was, is het overige nitraat (11 mg)

afkomstig van geammonificeerde en genitrificeerde organische stikstof, evenals de 6,5 mg, welke als nitraat verloren is gegaan. Bovendien is er aan het eind nog 2 mg ammoniak meer als er bij den aanvang aanwezig was, welke ook uit organische stikstof zijn gevormd. Aan de hand van de verschillende gevallen in de bovenstaande tabel kunnen wij nu de balans opmaken.

Geammonificeerd en genitrificeerd, niet opgenomen door de plant of de microben

$$11 \text{ mg N (geval XI)} \dots\dots\dots \frac{11}{14} \times 10 = 7,9 \text{ cc } \frac{1}{10} \text{ n zuur}$$

$$\text{Alleen geammonificeerd 2 mg (geval X)} \dots\dots\dots \frac{2}{14} \times 19 = 1,4 \text{ cc } \frac{1}{10} \text{ n alkali}$$

Geammonificeerd, genitrificeerd en als nitriet

$$\text{verdwenen. 6,5 mg (geval XIII)} \dots\dots\dots \frac{6,5}{15} \times 0 = 0,0$$

Gevormd totaal in 100 g grond:

$$6,5 \text{ cc } \frac{1}{10} \text{ n zuur}$$

GROND VAN RIJKENS met zwavelzuren ammoniak bemest, onbeplant (fig. 4, kolom 1)

De pH is gedaald van 4,78 tot 3,92.

Ook hier zijn de omzettingen niet eenvoudig. Als nitraat wordt 10,5 mg teruggevonden, waar echter 2,5 mg bij is die reeds bij het begin van de proef in den grond aanwezig waren, rest alzoo 8 mg.

Als nitriet gingen 21 mg verloren, welke eveneens eerst genitrificeerd zijn geweest. In totaal is dus 29 mg genitrificeerd.

Van den oorspronkelijk aanwezigen ammoniak is 15 mg verdwenen, terwijl van de organische stof nog weer 14 mg N in ammoniak werd overgevoerd.

Maken wij nu de balans op, dan vinden wij:

$$\text{Uit zwavelzuren ammoniak genitrificeerd en als nitraat teruggevonden 8 mg (geval III).} \dots\dots\dots \frac{8}{14} \times 20 = 11,4 \text{ cc } \frac{1}{10} \text{ n zuur}$$

$$\text{Idem, doch als nitraat verloren 7 mg (geval IV)} \dots\dots\dots \frac{7}{14} \times 10 = 5,0 \text{ cc } \frac{1}{10} \text{ n zuur.}$$

$$\text{uit organische N gevormd geammonificeerd, genitrificeerd en als nitriet verloren, 14 mg (alzoo totaal 21 mg N verloren) (geval XIII)} \dots\dots\dots \frac{14}{14} \times 0 = 0,0.$$

$$\text{Gevormd in totaal in 100 g grond } 16,4 \text{ cc. } \frac{1}{10} \text{ n zuur.}$$

Gaan wij eerst na hoe groot de verandering in de pH onder invloed van het gevormde zuur op grond van de titratiekrommen geweest zouden moeten zijn (fig. 7), dan zien wij dat een hoeveelheid van 6,5 cc 1/10 n zuur op 100 g grond (= 1,3 cc op 20 g) in den grond van Rademaker een pH daling van pH 5,38 tot 4,15 zou moeten veroorzaken. In werkelijkheid daalde de pH slechts tot 4,6.

In den grond van Rijkens daalde de pH van 4,78 tot 3,92 terwijl per 20 g grond 3,3 cc 1/10 n zuur gevormd werden. Volgens de titratiekrommen zou hierdoor de pH tot 3,45 hebben moeten dalen.

In beide gevallen zien wij dus dat de werkelijke daling geringer is dan volgens de titratiekrommen te verwachten zou zijn geweest.

Tot zekere hoogte kan dit verschil verklaard worden uit het feit, dat voor de bepaling van de titratiekrommen het verdunde zuur slechts 2 dagen met den grond in aanraking is geweest (wat reeds gebleken was te kort te zijn) en in de potten meer dan twee maanden.

Wel zien wij dat het grootere bufferend vermogen van den grond van Rijkens vergeleken met dat van den grond van Rademaker, zooals dit in de titratiekrommen duidelijk naar voren was gekomen, ook tijdens de proeven te constateeren was.

In den grond van Rijkens trad per cc 1/10 n zuur in de potten gevormd per 20 g grond een pH daling van 0,26 op, tegen een pH daling van 0,59 in den grond van Rademaker. De grond van Rijkens buffert dus in de potten $2,27 \times$ zoo sterk als die van Rademaker; uit de krommen berekend is de verhouding 2,36, hetgeen dus goed overeenstemt.

In de gevallen waarin de potten begroeid waren, hebben de planten behalve stikstof ook K, Mg en Ca ionen opgenomen, waardoor de verzuring in de hand wordt gewerkt, terwijl de opname van PO_4''' het milieu alkalischer maakt.

Men kan deze hoeveelheden berekenen aan de hand van de aschanalyse der planten, waarvoor echter niet genoeg materiaal beschikbaar was, terwijl dit ook niet direct in de bedoeling van den proefopzet had gelegen.

Uitvoerige proeven zijn nog in bewerking, waarbij het mogelijk zal zijn om op grond van aschanalyses en nauwkeuriger titratiekrommen een gedetailleerde H ionen balans op te stellen.

VIII. OVERZICHT EN BESPREKING DER VERKREGEN RESULTATEN

Aan de hand van deze onderzoeken is getracht door het opmaken van een nauwkeurige stikstofbalans een overzicht te krijgen in de omzettingen, die de stikstof in den grond, onder invloed van het microbenleven en van den plantengroei ondergaat. Het onderzoek is beperkt tot een viertal meer of minder zure humeuze zandgronden, welke zich door hun matig bufferend vermogen in het bijzonder leenden om eventueele pH veranderingen waar te nemen.

NITRIFICATIE

Vergelijken wij de hoeveelheden nitraat, die in de verschillende met zwavelzuren ammoniak bemeste, onbeplante gronden tenslotte gevormd zijn geworden dan blijkt, dat deze hoeveelheden sterk uiteenloopen. De kleinste hoeveelheid nitraat (17,6 mg per 100 g grond in 74 d.) ontstond in den grond van Rademaker met een aanvangs pH in den bemesten grond van 5,37.

In den grond van Rijkens, welke een lagere aanvangs pH had (4,77), werd in 73 dagen 28,6 mg N in nitraat overgevoerd. Hieruit blijkt wel, dat de pH niet de eenige factor is, die de nitrificatiesnelheid beheerscht, in ieder geval speelt ook hier het bufferend vermogen een belangrijke rol. Het bufferend vermogen van den grond van Rademaker was in dit gebied dan ook slechts de helft van dat van den grond van Rijkens, waarin in denzelfden tijd $1,6 \times$ zoo veel nitraat werd gevormd. De laagste pH, welke in den onbeplanten grond werd bereikt, bedroeg 4,10—4,12; daar in al deze gevallen nog voldoende zwavelzure ammoniak over was, moet men wel aannemen, dat bij deze pH de nitrificatie zichzelf stilgezet heeft en is het ook niet te verwonderen, dat in den grond van Emmens met een aanvangs pH van 4,15 vrijwel geen nitrificatie plaats vond. De toevoeging van CaCO_3 , waardoor zowel de pH als het bufferend vermogen wordt verhoogd, had zooals was te verwachten voor alle gronden een sterke toename van de nitrificatie ten gevolge.

In dit verband zij gewezen op de interessante onderzoeken van NAFTEL (10). Hij toont aan, dat de nitrificatiesnelheid in hooge mate afhankelijk is van de verzadiging van het complex met Ca-ionen, terwijl de invloed van de pH eerst in de tweede plaats zou komen. In lichte kleigrond met een pH van 4,1, welke voor 46 % met basen (41 % met Ca) was verzadigd werd de stikstof zeer behoorlijk genitrificeerd, terwijl in een anderen dergelijken grond met een pH van 4,0, die slechts voor 23,5 % was verzadigd (20,8 % met Ca) geen nitrificatie intrad, *ook niet als de pH tot 4,9 werd opgevoerd.*

AMMONIFICATIE

In 3 van de 4 onderzochte gronden, zien wij, dat kleinere tot groote hoeveelheden stikstof uit organische bodemsubstanties in ammoniak werden overgevoerd. In sommige gevallen bedroeg dit zelfs een derde van de totaal in dien grond aanwezige organische stikstof (Rademaker met zwavelzuren ammoniak bemest na 77 dagen 29 %, met nitraat bemest 31,6 %).

Bij deze ammonificatie doen zich enkele opmerkelijke verschijnselen voor. *Toevoeging van CaCO_3 zet de ammonificatie grootendeels stil in den grond van*

Rijkens, terwijl de vastlegging sterk wordt bevorderd. (vergelijk fig. 4, kolom 3 en 4). Hetzelfde zien wij in mindere mate ook in den grond van Emmens. Doorgaans ziet men het omgekeerde n.l. dat na bekalking van een humushoudenden grond juist organische stikstof wordt geammonificeerd. De veronderstelling ligt voor de hand, dat in de onderhavige gevallen de ammonificatie het werk is van schimmels, wier activiteit, zoodra de pH na de CaCO_3 bemesting hooger wordt, is geremd. Door de verhooging van den pH ondergaat de microbenpopulatie aanzienlijke wijzigingen, het tot zekere hoogte stationnaire evenwicht wordt verstoord, een deel der schimmels sterft af en de bacteriën treden meer op den voorgrond. Daar voor het protoplasma van deze micro-organismen de C : N verhouding belangrijk lager ligt (3 à 8 : 1) dan voor de schimmels (10 à 15 : 1) is het zeer wel mogelijk dat wanneer de pH stijgt de bacteriën zich snel ontwikkelen ten koste van de organische stof en daarbij in den grond aanwezige ammoniak- of nitraatstikstof noodig hebben. Hierbij wordt wel een deel van de organische stof in koolzuur en water overgevoerd maar de C : N verhouding van het nieuw gevormde bacteriën materiaal is aanzienlijk lager dan van de oorspronkelijke organische stof, zoodat hierbij geen stikstof in den vorm van ammoniak in vrijheid kan worden gesteld. *Er is blijkbaar een wisselwerking tusschen ammonificatie en vastlegging, waar van het evenwicht wordt bepaald door de aanwezigheid van gemakkelijk aantastbare organische stof, de C : N verhouding daarin en den aard der microbenflora, welke o.m. onder den invloed van den pH staat.*

Dit zien wij nog eens geïllustreerd in den gepasteuriseerden, daarna opnieuw geënten grond van Rijkens onbeplant (fig. 5 en 6, kolom 3), zoowel als beplant. Door de pasteurisatie zijn de microörganismen, op de sporen na, gedood. Deze doode microben bestaan uit organisch materiaal met een lage C : N verhouding en dit is de oorzaak dat hier tenslotte door de zich opnieuw ontwikkelende microbenbevolking 37 % meer ammoniak wordt vrijgemaakt dan in den oorspronkelijken, niet gepasteuriseerden grond.

In den beplanten, gepasteuriseerden en daarna opnieuw geënten grond (Rijkens III) is zelfs 50 % van de door de planten opgenomen stikstof afkomstig van uit organische stof door ammonificatie gevormde oplosbare stikstof.

Ook stond hierdoor aan de planten meer stikstof ter beschikking dan in den ongepasteuriseerden grond, hetgeen tengevolge heeft gehad, dat de planten op den gepasteuriseerden grond 82 % meer stikstof konden opnemen en 46 % meer opbrachten dan op de oorspronkelijke gronden. Wij zien hier dus duidelijk gedemonstreerd dat een van de belangrijkste oorzaken voor den goeden stand der gewassen, die men ook elders na pasteurisatie heeft geconstateerd, moet worden gezocht in het ter beschikking komen van assimileerbare stikstof afkomstig van de doode microben. Opmerkelijk is verder, dat blijkbaar niet de hoeveelheid organische stof, die in den grond aanwezig is de mate van ammonificatie bepaald; in den grond van Emmens met een humus-gehalte van 11,3 % is de ammonificatie slechts gering, terwijl in den grond van Rademaker met de minste humus (2,7 %) de sterkste ammonificatie optreedt. Wellicht is de lage pH (4,7) van den grond van Emmens hiervan de oorzaak, alhoewel verhooging van den pH tot boven 6,5 de ammonificatie grootendeels stilzet, zoowel in den grond van Rijkens als in die van Emmens. Tenslotte zij nog gewezen op het merkwaardige feit, dat door de beplanting in de meeste gevallen

de ammonificatie vermindert, soms zelfs oogenschijnlijk geheel wordt stilgezet. (bij Rijkens fig. 5 n°. 1 in den oorspronkelijken grond, bij Rademaker fig. 3 n°. III in den met nitraat bemesten grond). Hierop wordt onder vastlegging nader teruggekomen.

VASTLEGGING

Ook in deze proeven is duidelijk gebleken hoe vastlegging, ammonificatie en nitrificatie elkaar voortdurend en soms op grillige wijze afwisselen. Welke factoren dit evenwicht beheerschen is niet in alle opzichten duidelijk. Zoo zien wij in den oorspronkelijken grond van Emmens eerst een toenemende vastlegging, tot 30 % van de totale stikstof, die onverwacht plaats maakt voor een algeheele ammonificatie en nitrificatie der vastgelegde stikstof, terwijl in de laatste periode weer 20 % van de totale stikstof in organischen vorm is vastgelegd. In den onbeplanten grond van Rademaker ontbreekt elke vastlegging, terwijl zij ook in den beplanten grond van weinig beteekenis is. Blijkbaar overheerschte hier de ammonificatie in sterke mate. Van een tweetal factoren is echter wel komen vast te staan, dat zij op de vastlegging een belangrijke invloed uitoefenen, in de eerste plaats de *toevoeging van CaCO_3* aan de gronden, waardoor vooral bij Rijkens (onbeplant, III, fig. 5) de ammonificatie plaats maakt voor de vastlegging. In de tweede plaats de *bepanting*, ook hierdoor heeft de ammonificatie in de meeste gevallen voor vastlegging het veld moeten ruimen. De verklaring moet o.i. worden gezocht in de afscheiding van organische stoffen met een hooge C : N verhouding door de wortels van de snijmoesplanten en diensgevolge een sterke groei der bacteriën in de rhizosfeer. Dit laatste is door STARKEY (14) op overtuigende wijze aangetoond. Daar deze stoffen gemakkelijk aantastbaar zijn, ontwikkelen de bacteriën zich snel en gebruiken daarbij de oplosbare stikstofverbindingen uit den grond. Het is niet waarschijnlijk dat hierdoor de ammonificatie wordt stilgezet, doordat er echter meer oplosbare stikstof wordt verbruikt dan er wordt vrijgemaakt, krijgt men den indruk, dat de vastlegging de ammonificatie heeft verdrongen.

Deze ophooping van organische stof rond de wortels komt op tweeërlei wijze tot stand, ten eerste door het voortdurend afsterven van de calyptra-epidermiscellen (met wortelharen) en verder door de uitscheiding van organische stoffen door de wortels. MAZÉ (9) heeft reeds aangetoond, dat de wortels van maisplanten onder overigens steriele omstandigheden, zoowel suikers als organische zuren afscheiden. Verder zij gewezen op de overtuigende onderzoekingen van VIRTANEN (16) betreffende de uitscheiding van asparagine door de wortels van leguminosen.

STIKSTOFVERLIEZEN

Zoowel in den grond van Rademaker en vooral in die van Rijkens blijken aanzienlijke stikstofverliezen te zijn opgetreden. Deze bedragen na verloop van 10—11 weken resp. 19 en 78 % van de als zwavelzure ammoniak toegevoegde stikstof.

Allereerst vraagt men zich af, of deze verliezen wellicht door denitrificatie van de genitrificeerde ammoniakstikstof ontstaan kunnen zijn. Dit is echter uitgesloten, daar in geen der beide gronden, wanneer zij met nitraat werden bemest, stikstofverliezen zijn opgetreden. Anderzijds worden deze verliezen

wel door microorganismen, het zij direct of indirect, veroorzaakt, daar zij in de gepasteuriseerde gronden uitblijven.

Bij het analyseren van deze gronden werd soms een duidelijke geur van NO_2 waargenomen, hetgeen het vermoeden deed ontstaan, dat verliezen werden veroorzaakt door het ontwijken van gasvormige NO verbindingen. De aanwezigheid hiervan in de bodemlucht kon gemakkelijk worden aangetoond met Griessreagens. Reeds door ARNDT (1) is op overtuigende wijze aangetoond, dat in humushoudende gronden stikstof in den vorm van NO verbindingen verloren kan gaan; eenerzijds kon hij aantoonen, dat uit nitraten door microbiologische reductie nitrieten werden gevormd, anderzijds dat uit nitrieten door in den grond aanwezige zure humusverbindingen chemisch N_2O_3 werd gevormd en uit den grond ontweek. In het onderhavige geval echter kan dit niet de verklaring zijn, daar in deze gronden nitraten niet worden gereduceerd tot nitrieten en er bij nitraatbemesting ook geen verliezen optreden. *Men moet daarom wel veronderstellen, dat in het onderhavige geval de verliezen tijdens de nitrificatie zijn opgetreden.* Door FURTSCHEN (4) wordt dit niet waarschijnlijk geacht; op grond van het feit, dat nitrieten zelfs in zwakzure gronden (pH 6,6—6,7) vrij snel worden ontleed, twijfelt hij zelfs aan het optreden van nitriet als tusschenstadium bij de nitrificatie. FRAPS en STEGES (3) vonden in 23 van 24 onderzochte gronden geen N verliezen tijdens de nitrificatie van ammoniumsulfaat, in één geval echter vonden ze een verlies van 20 % der toegevoegde stikstof in 28 dagen, hetgeen ver uitging boven de analysefout.

Op grond hiervan achten zij het in zeldzame gevallen wel mogelijk, dat gedurende de nitrificatie het als tusschenproduct gevormde nitriet in zure gronden chemisch wordt ontleed en gasvormige NO verbindingen uit den grond ontwijken.

Door mij is aangetoond, dat speciaal in alkalisch milieu en in tegenwoordigheid van CaCO_3 het nitrietstadium op de voorgrond treedt terwijl in een zuur milieu de vorming van nitriet niet aantoonbaar is (6).

De N-O verliezen vinden echter alleen plaats in een zuur milieu en ook in onze proeven houden de verliezen geheel op, zoodra CaCO_3 aan den grond wordt toegevoegd. Onder deze omstandigheden lijkt het *a priori* niet waarschijnlijk, dat tijdens de nitrificatie NO verliezen optreden. De overvoering van ammoniumverbindingen in nitriet en nitraat geschiedt echter niet door een enkele bacteriëngroep, doch successievelijk door twee verschillende groepen van bacteriën. Deze zijn ruimtelijk van elkaar gescheiden en het nitriet, dat door de eene groep is gevormd, moet door het milieu een zekere, zij het ook kleine, afstand afleggen om de bacteriën der andere groep te bereiken en in nitraat te worden omgezet. Wanneer het nitriet op dezen weg een zuur milieu moet passeeren, dan is het zeer waarschijnlijk, dat het in meerdere of mindere mate wordt ontleed. Welke de juiste voorwaarden zijn voor het tot stand komen dezer omzetting, is niet bekend en zal door ons nog nader worden onderzocht.

Of de gevormde N-O verbindingen al dan niet met mogelijk in den grond aanwezige ammonium verbindingen, aminen (Hydroxylamine) ureum e.d. reageeren en tot gasvormige N worden gereduceerd zooals door WILSON wordt verondersteld, is slechts van secundaire beteekenis (18). Een feit is, dat ook zonder deze reacties stikstof in den vorm van N-O verbindingen uit den grond kan verdwijnen en voor de plant verloren is.

Ongetwijfeld spelen de pH en de verzadigingsgraad van den grond met Ca en andere ionen hierbij een belangrijke rol; de pH van den grond van Rijkens bedroeg na bemesting 4,8, na CaCO_3 toevoeging 6,8, terwijl de pH van den grond van Rademaker 5,4 was. Ook zal de aard en de hoeveelheid humus een zekere invloed uitoefenen.

Voor de praktijk is deze kwestie niet zonder belang; alhoewel men op dergelijke minder of meer zure zandgronden in het algemeen met het gebruik van zwavelzuren ammoniak voorzichtig zal zijn, komt het toch herhaaldelijk voor, dat men een gewas als aardappelen daarmee bemest. Het bovenstaande toont aan, dat men daarbij met de mogelijkheid van het verlies van zelfs groote hoeveelheden N in den vorm van N-O verbindingen rekening moet houden, en het verschijnsel niet zoo zeldzaam behoeft te zijn als tot nu toe werd aangenomen. Het zal het doel van verder onderzoek zijn, vast te stellen of en in welke mate in onze Nederlandsche gronden gevaar voor N verliezen langs dezen weg bestaat.

INVLOED VAN HET MICROBENLEVEN OP DEN STAND VAN HET GEWAS

Wat betreft de nitrificatie is het wel komen vast te staan, dat deze, althans voor een gewas als *Brassica napus*, een belangrijke invloed kan uitoefenen. Het meest overtuigend in dit opzicht is de proef met den grond van Rijkens, welke met CaCO_3 was bemest (kolom IV en V, fig. 6), waar de opbrengstverschillen in de eerste plaats het gevolg waren van de aan- en afwezigheid der nitrificeerende bacteriën. In den met zwavelzuren ammoniak bemesten, gepasteuriseerden grond + CaCO_3 , waarin geen nitraat gevormd was, bedroeg de opbrengst na 73 dagen *minder* dan bij aanwezigheid der bacteriën na 59 dagen.

Aan deze grond was ook vóór het pasteuriseeren 2 % tuingrond toegevoegd, zoodat de verschillen niet werden veroorzaakt door den voor de herinfectie gebruikten grond. Evenmin is de geringere groei op den gepasteuriseerden grond hier veroorzaakt, doordat de pasteurisatie nadeelige veranderingen in den grond zelf heeft veroorzaakt, want de opbrengst van den gepasteuriseerden met nitraat bemesten grond is *zelfs* iets hooger dan die van den niet gepasteuriseerden.

Hieruit blijkt tevens, dat de andere microörganismen, die door de pasteurisatie worden gedood op den plantengroei in dit geval geen noemenswaardige werking hebben uitgeoefend.

Een tweede punt, dat in het onderzoek naar voren is gekomen, betreft de groote invloed, die de stikstofvastleggende microörganismen op de heele stikstofhuishouding uitoefenen en *in het bijzonder het feit, dat onder bepaalde omstandigheden de bacteriën de plant in haar N voorziening ernstig kunnen beconcurreren.*

Het is herhaaldelijk voorgekomen, dat de door de microben opgenomen hoeveelheid stikstof gelijk of bijna gelijk is aan de hoeveelheid, die door de planten is opgenomen (zie fig. 1 kolom 1—5, fig. 2, kolom I en II). Wel blijken er in dit opzicht groote verschillen te bestaan tusschen de gronden onderling; zoo vindt in den grond van Rademaker vastlegging vrijwel in het geheel niet plaats. In de rhizosfeer blijken de door de plant uitgescheiden organische stoffen de vastlegging in vrij sterke mate in de hand te kunnen werken, hetgeen

het merkwaardige gevolg heeft, dat de plant hierdoor haar eigen N opname bemoeilijkt. Ook de invloed, die de ammonificatie van de in den grond aanwezige organische stikstofverbindingen op de stikstofopname door de plant kan hebben, blijkt in sommige gevallen groot te zijn. Zoo was in serie II grond Rijkens ongeveer de helft van de door de plant opgenomen stikstof van ammonificeerende bacteriën afkomstig.

Tenslotte is gebleken, dat indirect de plantengroei beïnvloed kan worden, doordat de pH van den grond verandert onder invloed van de daarin plaats hebbende bacteriologische omzettingen, in het bijzonder door de nitrificatie.

Het is mij een aangename plicht er op te wijzen dat ik bij dit onderzoek ter zijde ben gestaan door den heer de Hoop, analyst aan het Landb. Proefstation en Bodemk. Inst. T.N.O., die zowel de verzorging der planten als de talrijke analyses met grote nauwgezetheid heeft uitgevoerd.

SAMENVATTING

1. In zure, met zwavelzuren ammoniak bemeste humushoudende zandgronden, met een pH tussen $\pm 4,8$ en $5,4$, kunnen tijdens de nitrificatie aanzienlijke hoeveelheden stikstof in den vorm van vluchtige N-O verbindingen verloren gegaan. In met nitraat bemeste gronden treden deze verliezen niet op.

2. Door verhooging van de pH van zulke gronden tot $6,5$ à $6,8$ worden deze verliezen opgeheven.

3. Na pasteurisatie van den grond treden geen verliezen meer op.

4. Deze verliezen ontstaan zeer waarschijnlijk tijdens het nitrietstadium van de nitrificatie, als het gevormde nitriet zich door het zure bodemvocht van de nitrietbacteriën naar de nitraatbacteriën beweegt.

5. Vastlegging van organische stikstof in microbenmateriaal is grooter in beplanten grond dan in onbeplanten; in de rhizosfeer uitgescheiden organische verbindingen dienen hierbij den microorganismen als koolstofbron.

6. Ammonificatie van organische N verbindingen in zure gronden kan soms door toevoeging van calciumcarbonaat worden geremd of zelfs stilgezet. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een wijziging van het microbiologisch evenwicht in den grond tengevolge van de pH verhooging, waardoor de schimmels op den achtergrond raken en plaats maken voor bacteriën.

7. De veranderingen in het H-ionen evenwicht in de bemeste gronden, welke het gevolg zijn zoowel van de voedselopname door de plant als van de activiteit der microorganismen, teekenen zich duidelijk af in het verloop der pH-krommen.

8. Dicyaandiamide, in een concentratie van $0,01$ % belet wel de nitrificatie in grond, is echter voor cultuurproeven onbruikbaar, daar het de planten beschadigt en tevens andere bodembacteriën tegenwerkt.

9. In met zwavelzuren ammoniak bemesten grond wordt de groei van *Brassica napus* ten zeerste bevorderd door de aanwezigheid van nitrificeerende bacteriën.

SUMMARY

The object of the present investigations was to pursue the changes which the nitrogen compounds undergo under the influence of plant growth and microbial life in the soil.

The experiments were carried out in Mitscherlich pots, containing 5 kg soil, planted with *Brassica napus*.

At regular times ammonia, nitrate and total nitrogen were determined in the soil, as well as the nitrogen, assimilated by the plants.

In a number of cases the soil was pasteurized at 75° C, in order to exclude nitrification.

The pH changes under the influence of nitrogen metabolism were also determined.

The following results are reported:

1. In two out of four acid ($\text{pH} \pm 4,5-5,4$) sandy soils considerable quantities of nitrogen, varying from 10—78 % of the added ammoniumsulfate, were lost as volatile N-O compounds.

2. These losses are stopped by raising the pH of the soil to 6,5—6,8 or by pasteurizing the soil; they do not occur after the addition of the same amount of nitrate.

3. These losses apparently occur during the nitrite stage of nitrification, whilst the nitrites are transported through the acid soil moisture from the nitrite to the nitrate bacteria.

4. Ammonification of soil organic matter, the formation of insoluble nitrogen compounds, and nitrification are three processes which often succeed each other in irregular and uncontrollable succession.

5. Cropping often favours the transformation of soluble nitrogen into insoluble organic nitrogen compounds, especially in the rhizosphere, where organic materials of low nitrogen content are excreted by the roots.

6. Nitrogen intake by the plants and microbial transformation of nitrogen compounds are accompanied by well defined pH changes of the soil.

7. 0,01 % dicyandiamide in the soil prevents nitrification; it is, however, unsuited for pot experiments, because it is injurious to plants as well as to different groups of soil microbes.

1. ARNDT, A. Über schädliche Stikstoffumsetzungen in Hochmoorböden. *Landw. Jb.* **47** (1914), 371.
2. BELING, R. W. Zur Bodenversauerung durch Ammonsalze. *Landw. Jb.* **73** (1931), 493.
3. FRAPS, G. S. & A. J. STERGES Possible losses of nitrogen from acid soils through the decomposition of nitrite. *Soil Sci.* **48** (1939), 175.
4. FURTSCHHEIN, T. W. Zersetzung der Nitrates in mit Basen ungesättigten Böden. *Z. Pflanzen Ernähr. & Düngung* **43** (1936), 170.
5. GERRETSEN, F. C. Over den invloed van de waterstofionen-concentratie op bacteriologische processen.
6. GERRETSEN, F. C. Enkele waarnemingen betreffende de invloed van de Temperatuur op de nitrificatie en de vastlegging van de stikstof. *Landbouwk. T.* **54** (1942), 579.
7. JACOB, K. D., F. E. ALLISON & J. M. BRAHAM Chemical and Biological Studies with Cyanamide and some of its Transformation Products. *J. Agr. Res.* **28** (1924), 37.
8. MAC GUINN, A. F. The action of Dicyandiamid and Guanyl Urea sulfate on Plant Growth. *Soil Sci.* **17** (1924), 487—500.
9. MAZÉ, P. Recherches sur la physiologie végétale. *Ann. Inst. Pasteur* **25** (1911), 705—738.
10. NAFTEL, J. A. Nitrification as influenced by soil reaction. *J. Am. Soc. of Agr.* **23** (1931), 175—185.
11. PARDO, J. H. Ammonium in the nutrition of higher green plants. *The quarterly Review of Biology* **10** (1935), 1.
12. PFEIFFER & SIMMERMACHER Wirkung des Dicyandiamids auf das Pflanzenwachstum. *Landw. Versuchstat.* **90** (1917), 425.
13. SCHMITT, L. Beiträge zur Frage der Wirkung des Dicyandiamids auf das Pflanzenwachstum. *Forschungsdienst, Sonderheft* **6** (1937).
14. STARKEY, R. Some influences of the development of higher plants upon the micro-organisms in the soil. *Soil Sci.* **29** (1929), 319, 355 & 430.
15. TEMME, J. Over de afbraak van Ca Cyaanamide in den grond. Diss. Wageningen. (1946), 68.
16. VIRTANEN, A. I. Investigations on the root nodule bacteria of leguminous plants. The excretion products of root nodules. *Bioch. J.* **33** (1939), 412.
17. VRIES, O. DE & W. C. VISSER De veranderingen in den grond door lang voortgezette bemesting met enkele stikstofmeststoffen. *Verst. Landbouwk. Onderz.* **40A** (1934), 530.
18. WILSON, J. W. Nitrous acid and the loss of Nitrogen. *Cornell University Agr. Exp Station. Memoir* **253** (1943).