Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

De invloed van de nitraatconcentratie der voedingsoplossing op den groei van tarweplanten

https://hdl.handle.net/1874/313740

A. gen. 192. 1933.

DE INVLOED VAN DE NITRAAT-CONCENTRATIE DER VOEDINGS-OPLOSSING OP DEN GROEI VAN TARWEPLANTEN

M. A. J. GOEDEWAAGEN

DE INVLOED VAN DE NITRAATCONCENTRATIE DER VOEDINGSOPLOSSING OP DEN GROEI VAN TARWEPLANTEN

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS Dr. C. G. N. DE VOOYS, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER LETTEREN EN WIJSBEGEERTE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TE VERDEDIGEN TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE OP MAANDAG 12 JUNI 1933, DES NAMIDDAGS TE VIER UUR

DOOR

MATTHIJS ARNOLDUS JAN GOEDEWAAGEN
GEBOREN TE GOUDA

BIJ J. B. WOLTERS' UITGEVERS-MAATSCHAPPIJ N.V.
GRONINGEN — DEN HAAG — BATAVIA — 1933

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT
1898 5758

AAN MIJN MOEDER

AAN DE NAGEDACHTENIS VAN
MIJN VADER

Bij de voltooiïng van dit proefschrift blijf ik gaarne de traditie getrouw, om tot U, Hoogleeraren in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde aan de Utrechtsche Universiteit een woord van dank te richten voor het onderwijs, dat ik in mijn studietijd van U heb mogen ontvangen.

Deze dank geldt in de eerste plaats U, Hooggeleerde WENT, Hooggeachte Promotor. Dat ik Uw leerling en Uw assistent heb mogen zijn, stemt mij tot groote dankbaarheid, temeer, daar ik in mijn werkkring te Groningen bijna dagelijks in de gelegenheid ben te profiteeren van de opleiding, die ik destijds bij U heb genoten. In het bijzonder waardeer ik den steun en de voorkomendheid, die ik bij de bewerking van dit proefschrift van U heb ondervonden. Ik stel het op hoogen prijs, dat Gij mij hebt toegestaan, het onderzoek voor mijn promotie in Groningen ten uitvoer te brengen. Het vertrouwen, dat Gij hiermee in mijn werk hebt gesteld, is mij een spoorslag geweest, de moeilijkheden te overwinnen, die voortvloeiden uit de omstandigheid, dat ik reeds sedert jaren het geregelde contact met de Universiteit had verloren.

Ook U, Hooggeleerde PULLE, betuig ik op deze plaats gaarne mijn dank voor het aandeel, dat Gij aan mijn universitaire opleiding hebt gehad.

Met veel genoegen denk ik ook terug aan den tijd, dat ik op Uw laboratorium werkzaam was, Hooggeleerde NIERSTRASZ. Hoewel ik mij reeds als student meer tot de physiologie aangetrokken voelde, hebben Uw college's en Uw beschouwingen op de colloquia steeds een groote bekoring voor mij gehad.

Niet minder dank ben ik U verschuldigd, Hooggeleerde JORDAN. Het inzicht, dat Gij mij hebt bijgebracht in verschillende dierphysiologische problemen, is mij naderhand bij mijn werk op planten-physiologisch gebied nog dikwijls te stade gekomen.

U, Hooggeleerde WESTERDIJK, ben ik zeer erkentelijk voor hetgeen ik op de college's van U heb geleerd.

Het is mij verder een aangename taak, mijn dank uit te spreken aan allen, die mij bij de voorbereiding van dit proefschrift op eenigerlei wijze tot steun zijn geweest.

U, Hooggeleerde DE VRIES, ben ik zeer erkentelijk voor de belangstelling die Gij voor mijn werk aan den dag hebt gelegd. Hoewel dit onderzoek reeds grootendeels was afgesloten, toen Gij als Hoofddirecteur van het Landbouw-proefstation in functie traadt, heb ik toch bij de voltooiïng daarvan ruimschoots den stimuleerenden invloed ondervonden, die er van Uw persoon uitgaat op hen, die onder Uw leiding werkzaam zijn.

Zeer geleerde ZIJLSTRA, U ben ik meer dank verschuldigd dan in enkele woorden kan worden gezegd. Gij hebt mij toegestaan, het experimenteele werk voor mijn dissertatie op Uw laboratorium ten uitvoer te brengen. De wijze, waarop Gij mij hierbij zijt terwille geweest, kan door mij niet genoeg worden gewaardeerd. Het is mij een vreugde, U hiervoor op deze plaats mijn erkentelijkheid te mogen betuigen.

Zeer geleerde NORT, ik waardeer het zeer, dat Gij eenige wiskundige aangelegenheden, die met mijn onderzoek verband hielden, met mij hebt willen bespreken. De moeite, die Gij U om mijnentwil hebt getroost, stel ik zeer op prijs.

Met dankbaarheid gedenk ik ook de onverflauwde toewijding, waarmee Gij, geachte KRUYNE, aan dit onderzoek hebt deel genomen.

INHOUD.

	Pag.
Inleiding	1
HOOFDSTUK I. Literatuur en problemen	6
HOOFDSTUK II. Werkwijze en foutenbronnen	21
HOOFDSTUK III. Keuze der nitraatbron. Elimineering van het kation	34
HOOFDSTUK IV. Voorloopig onderzoek	46
HOOFDSTUK V. Nader onderzoek naar den invloed van de NO_3-concentratie der voedingsoplossing op den groei der tarweplanten	76
HOOFDSTUK VI. Bespreking en samenvatting der resultaten.	
a. De NO_3-concentratie der voedingsoplossing en de plantengroei	99
b. De totale concentratie der voedingsoplossing en de plantengroei	111
c. De verhouding van de ionen in de voedingsoplossing en de plantengroei	113
Korte samenvatting	121
Tabellen	125
Geraadpleegde literatuur	136

INLEIDING.

Omstreeks het midden van de vorige eeuw werd door de klassieke onderzoekingen van BOUSSINGAULT en van SALM-HORSTMAR bewezen, dat de bladgroenplanten zich normaal kunnen ontwikkelen in een voedingssubstraat, waarin uitsluitend anorganische stoffen voorhanden zijn.

Hiermede was de „humustheorie", die tevoren reeds door LIEBIG was bestreden, afdoende weerlegd, terwijl men hierdoor tevens de beteekenis leerde inzien van de anorganische bodembestanddeelen voor de voeding van de plant. Tot dit inzicht hebben ook andere onderzoekers in de tweede helft van de vorige eeuw in belangrijke mate bijgedragen. In het bijzonder moet hierbij worden gedacht aan de onderzoekingen van SACHS, KNOP e. a., die o. m. ten doel hadden, de elementen vast te stellen, die voor het leven van de plant noodzakelijk zijn.

Het spreekt vanzelf, dat in die dagen de vraag naar voren kwam, op welke wijze de voedingszouten door de plant uit den grond worden opgenomen. LIEBIG was de meening toegedaan, dat de plant de voor haar groei noodzakelijke minerale stoffen aan de vaste bodembestanddeelen onttrekt. Hij werd daarbij geleid door de overweging, dat de gronddeeltjes weinig of niet in water oplosbaar zijn, en dat verscheidene voedingsstoffen in zoo sterke mate door den grond worden geabsorbeerd, dat hiervan in het bodemvocht niet voldoende voor de plant beschikbaar kon zijn. Over dit vraagstuk is een langdurige strijd gevoerd, die met een weerlegging van LIEBIG'S standpunt is geëindigd. Men heeft nl. kunnen aantoonen, dat in waterige grondextracten en in het bodemvocht welhaast alle stoffen, die de plant voor hare voeding noodig heeft, voorhanden zijn, zij het dan ook in geringe concentratie. Intusschen kwam bij proeven met water- en zandkulturen aan het licht, dat de plant in zeer verdunde voedingsoplossingen goed gedijen kan, mits de concentratie niet beneden een zeker minimum daalt. Vooral in de laatste decenniën zijn hierover tal van verhandelingen verschenen. Een belangrijke plaats nemen de onder-

zoekingen van HOAGLAND en zijn medewerkers en die van PARKER daarbij in, omdat zij aan het waterkultuuronderzoek een grondige studie van het bodemvocht hebben verbonden. HOAGLAND en MARTIN (1923) kweekten gerstplanten onder overigens gelijke omstandigheden in vruchtbaren grond en in een groote hoeveelheid, niet ververschte, voedingsoplossing en gingen de veranderingen na, die het bodemvocht, resp. de voedingsoplossing onder den invloed der plant onderging. Zij kwamen daarbij tot de conclusie, dat er in beide gevallen tusschen de plantenwortels en de voedingsvloeistof een overeenkomstige wisselwerking bestond [1]).

Tevens werd door deze auteurs een uitgebreide studie gemaakt van het bodemvocht in verschillende kultuurgronden, waarbij bleek, dat in gewone gronden „all of the essential ions, except perhaps nitrate, are always present in some concentration in the soil solution. No matter, how rapidly these ions are absorbed by the plant, it is not probable, for example, that the concentration of phosphate or of potassium is ever reduced to a zero value. In other words, the soil can always supply such elements to the plant at some appreciable level of concentration, however low it may become." (HOAGLAND en MARTIN, 1928)

De conclusie lag dus voor de hand, dat de plant haar voedingsstoffen in eerste instantie aan het bodemvocht onttrekt, en dat zij daarbij in den regel slechts indirect op de vaste bestanddeelen van den grond is aangewezen [2]). Stellig is een belangrijke steun voor deze onderstelling gelegen in de waterkultuurmethode, daar deze ons in staat stelt, planten in voedingsoplossingen zonder toevoeging van vaste bestanddeelen tot volledige ontwikkeling en tot normale zaadvorming te brengen, indien de oplossingen voor uitputting worden behoed.

Het behoeft dus niet te verwonderen, dat door het meerendeel der physiologen wordt aangenomen, dat het bodemvocht primair van het grootste belang is voor de voeding van de plant en dat men zich de vraag heeft gesteld, welk verband er bestaat tusschen de concentratie en de samenstelling van het bodemvocht eenerzijds en den groei en de zoutopname der planten anderzijds.

Bij de onderzoekingen, die hieruit zijn voortgekomen, deed zich de moeilijkheid voor, dat de concentratie en de samenstelling van het bodemvocht niet naar willekeur konden worden geregeld. Men

---

[1]) Zie ook HOAGLAND (1925).

[2]) Een afwijkend standpunt wordt ingenomen door COMBER (1922).

heeft daarom zijn toevlucht genomen tot water- en zandkulturen, omdat er, zooals we reeds zagen, voldoende reden was, om aan te nemen, dat het voor de plant weinig verschil maakt, of haar wortels met het bodemvocht, dan wel met een kunstmatige voedingsoplossing in aanraking zijn.

Dit wil echter niet zeggen, dat men de resultaten van waterkultuurproeven zonder nadere toetsing op de omstandigheden in den grond mag overdragen. Dat men hiermee voorzichtig moet zijn, willen wij toelichten aan een voorbeeld uit de literatuur. In 1927 heeft PARKER maïs en sojaboonen gekweekt in voedingsoplossingen met opklimmende phosphaatconcentratie, teneinde het laagste gehalte aan PO_4 vast te stellen, waarbij de plantengroei nog maximaal is. Tegelijkertijd werd door hem het PO_4-gehalte van het bodemvocht in verschillende vruchtbare gronden vastgesteld. Daarbij bleek, dat dit gehalte lager was dan de „minimumconcentratie", die bij de waterkultuurproeven werd gevonden, hoewel er toch in geen enkele van deze gronden sprake was van fosforzuurgebrek. Eensdeels kan men hierin een aanwijzing zien, dat de plantenwortels in de onderzochte gronden gebruik maken van hun vermogen om fosfaten in oplossing te brengen; anderdeels wordt door den schrijver rekening gehouden met de mogelijkheid, dat de PO_4-concentratie aan de oppervlakte der bodempartikels grooter is geweest dan elders in het bodemvocht, en dat de wortels het fosfaat aan deze meer geconcentreerde vloeistoflaagjes hebben onttrokken.

Om te kunnen beoordeelen, in hoeverre de resultaten van dergelijke proeven geldig zijn voor de omstandigheden in den grond, zouden wij moeten beschikken over een methode, om de concentratie en de samenstelling vast te stellen van dat gedeelte van het bodemvocht, waarmee de „absorbeerende" wortelcellen in aanraking zijn. Wel schijnt het, dank zij de onderzoekingen van BURD en MARTIN (1923) en van PARKER (1921), althans bij lichtere gronden, mogelijk te zijn, het bodemvocht in onveranderden toestand uit den grond af te zonderen en voor onderzoek toegankelijk te maken, maar hiermee leeren wij nog niet de geaardheid kennen van het vloeistofvliesje, dat met de plantenwortels in directe aanraking is.

Een tweede complicatie is hierin gelegen, dat de plantenwortels bij waterkulturen met een homogeen substraat in aanraking zijn, terwijl dit bij normalen kultuurgrond niet het geval is, omdat de grond op verschillende diepte in den regel ongelijk is, zoowel in vruchtbaarheid als in samenstelling. Daar plantenwortels doorgaans

zeer diep in den grond dringen [1]), zal het bodemvocht, waarmee de wortels van een en dezelfde plant in aanraking zijn, zoowel in concentratie als in samenstelling plaatselijk aanzienlijk kunnen verschillen.

Tenslotte mag niet vergeten worden, dat de wortels in het natuurlijke milieu niet alleen met het bodemvocht, doch tevens met de gasvormige en de vaste bestanddeelen van den grond in aanraking zijn, die, hoe dan ook, een meer of minder directen invloed op den plantengroei zouden kunnen uitoefenen.

Dit alles neemt niet weg, dat wij in de waterkultuurmethode een voortreffelijk hulpmiddel bezitten, om inzicht te verkrijgen in de verschijnselen, die met de voeding en de zoutopname der plant verband houden. Deze kultuurmethode toch heeft het voordeel, dat men de omstandigheden in het voedingssubstraat volkomen in zijn macht heeft. In hoeverre de uitkomsten van waterkultuurproeven toepasselijk zijn op de natuurlijke omstandigheden hangt af van het doel, dat met deze proeven wordt beoogd. Zoo zijn de onderzoekingen, die ons de elementen hebben doen kennen, welke voor den plantengroei noodzakelijk zijn, rechtstreeks van groot belang geweest voor den landbouw. Aan den anderen kant mogen de onderzoekingen betreffende den invloed van de concentratie en van de samenstelling der voedingsoplossing op den plantengroei slechts onder voorbehoud op de omstandigheden in den grond worden toegepast.

Toch zal niemand ontkennen, dat de laatst genoemde onderzoekingen voor onze kennis van den plantengroei en indirect ook voor de landbouwwetenschap zeer belangrijk zijn. Ik heb daarom de literatuur, die er op dit gebied verschenen is, in studie genomen en daarbij meer speciaal aandacht geschonken aan de vraag, welke invloed er van de concentratie der voedingsoplossing uitgaat op den plantengroei.

Deze literatuurstudie heeft mij aanleiding gegeven, zelf eenige proeven te nemen, waaruit tenslotte dit proefschrift is voortgekomen.

Voordat ik ertoe over ga, een beschrijving te geven van mijn eigen proeven en van de daarmee bereikte resultaten, wordt eerst in hoofdstuk I een overzicht gegeven van de voornaamste, door mij geraadpleegde, literatuur. Een opmerking van algemeenen aard dient hieraan vooraf te gaan.

---

[1]) SCHULZE (1911, 1914), WEAVER (1926), MASCHHAUPT (1915), GOEDEWAAGEN (1932, 1933).

In de betreffende literatuur worden door de verschillende onderzoekers de resultaten meegedeeld van proeven, die ten doel hadden, den invloed van verschillende voedingssubstraten op den plantengroei vast te stellen. Om den groei der diverse kulturen te kunnen vergelijken, heeft men de methode gevolgd, die in de landbouwliteratuur veelal gebruikelijk is, d.w.z. men heeft de relatieve drooggewichten der geoogste kulturen als een maatstaf voor den groei aangenomen. Daar in het begrip „groei" een vermeerdering besloten ligt, rijst de vraag, of men den groei wel naar de gewichten der geoogste planten mag beoordeelen. Bij eenig nadenken bestaat hiertegen geen bezwaar, aangezien in de diverse drooggewichten de ongelijkheid in de drooggewichts*vermeerdering* der kulturen vanaf de kieming tot aan den oogst tot uiting komt. Dit neemt niet weg, dat deze definitie van den groei afwijkt van hetgeen in de plantenphysiologie doorgaans onder den groei wordt verstaan. Immers, vatten we den groei op in den zin van drooggewichtsvermeerdering, dan kan hij zelfs negatief zijn, zooals bijv. het geval is bij kiemende zaden, bij uitbottende boomen in het voorjaar en bij tweejarige planten in het stadium, waarin zij bloeistengels gaan vormen.

Ik heb echter bij mijn proeven vastgehouden aan de definitie, die bij soortgelijke proeven gebruikelijk is, en den groei der planten naar hun oogstgewicht beoordeeld.

HOOFDSTUK I.

LITERATUUR EN PROBLEMEN.

Nadat omstreeks 1860 de waterkultuurmethode door SACHS was gegrondvest, zijn tal van onderzoekingen verricht met het doel, den invloed van de totale concentratie der voedingsoplossing op den plantengroei vast te stellen.

BIRNER en LUCANUS (1866), die haverplanten kweekten in voedingsoplossingen met opklimmende concentratie, stelden vast, dat een concentratie van 1 gr. per liter reeds gunstig was voor den groei van dit gewas, al was ook de groei aanmerkelijk beter in oplossingen met een driemaal zoo hooge concentratie. Door SACHS (1860) werd het optimum bij maïs eveneens bij omstreeks 3 gr. per liter gevonden, terwijl door WOLF (1866) bij maïs en bij tarwe de beste groei bij een concentratie van 1 tot 2 gr. per liter werd waargenomen.

Hoewel er sindsdien nog tal van verhandelingen over dit onderwerp zijn verschenen, bleef er toch tot voor kort meeningsverschil bestaan met betrekking tot de vraag, of de plant zich normaal ontwikkelen kan in een voedingsoplossing met een zoo laag gehalte aan voedingszouten als in het bodemvocht doorgaans wordt aangetroffen. CAMERON (1911) oordeelde, dat de concentratie van het bodemvocht, hoe gering deze ook is, voor normalen plantengroei toereikend is. BRENCHLEY (1916) meende echter aan de hand van waterkulturen te kunnen aantoonen, dat de plant in sterk verdunde oplossingen niet goed gedijen kan. De groei zou volgens deze schrijfster met stijgende concentratie der voedingsoplossing blijven toenemen, totdat tenslotte een maximum wordt bereikt. STILES (1915. 1916), die in een kritiek op het onderzoek van BRENCHLEY wees op de noodzakelijkheid, om bij dergelijke onderzoekingen de voedingsoplossingen vaak te ververschen, kwam — eveneens op grond van proeven met waterkulturen — tot de conclusie, dat de plant zich in een zwakke oplossing goed ontwikkelen kan, mits de concentratie

van deze oplossing voldoende constant gehouden wordt. Wanneer aan deze voorwaarde wordt voldaan, dan zal de plantengroei volgens STILES binnen wijde grenzen slechts weinig afhankelijk zijn van de concentratie der voedingsoplossing. Tot hetzelfde resultaat kwam ook HOAGLAND (1919), die gerstplanten kweekte in voedingsoplossingen, waarvan de concentratie opklom met bedragen, die overeenkwamen met een osmotischen druk van 0.1, 0.32, 0.85 en 2.07 atmosferen (resp. circa 200, 800, 2500 en 6000 mgr. per liter). Hij stelde gelijken groei vast in de oplossingen met 800 en 2500 mgr. per l., doch een geringe opbrengst in de beide andere oplossingen, zoodat de conclusie voor de hand ligt, dat er een breed optimaal concentratiegebied is, waarvan in het onderhavige geval de minimumgrens tusschen 200 en 800 en de maximumgrens tusschen 2500 en 6000 mgr. p. l. is gelegen. Een uitvoerig onderzoek over den invloed van de samenstelling en van het zoutgehalte der voedingsoplossing op den plantengroei danken we aan TOTTINGHAM (1914). Deze bestudeerde o.m. den groei van tarweplanten in voedingsoplossingen van KNOP over een uitgestrekt concentratiegebied. Hierbij werd gevonden, dat de groei der planten in zwakke oplossingen weinig of niet verschilde van den groei in de sterkere oplossingen. Een duidelijke vermindering in groei trad op, wanneer de concentratie steeg boven een bedrag van 12 gr. p. l. Een optimale concentratie werd hierbij niet gevonden. In plaats daarvan bleek de groei over een breed gebied maximaal te zijn. De minimumgrens van dit optimale concentratiegebied was gelegen tusschen 0.1 en 0.5 gr. p. l., wanneer KH_2PO_4 als fosfaatbron werd aangewend. Daarentegen lag deze grens bij gebruik van K_2HPO_4 tusschen 0.5 en 1 gr. p. l.

Wij zagen, dat de maximale grens van het optimale gebied door TOTTINGHAM bij 12 gr. p. l., daarentegen door HOAGLAND tusschen 2.5 en 6 gr. p. l. werd gevonden. Misschien moet deze tegenstrijdigheid worden toegeschreven aan het feit, dat deze beide onderzoekers met verschillende gewassen en met ongelijke voedingsoplossingen hebben geëxperimenteerd. Overigens dienen we bij de beoordeeling van waterkultuurproeven steeds voor oogen te houden, dat de opbrengsten van deze kulturen dikwijls een weinig betrouwbare maatstaf zijn voor den invloed, die door de diverse voedingsoplossingen op den plantengroei wordt uitgeoefend. Ieder, die proeven met waterkulturen heeft gedaan, weet, dat deze planten zeer ongelijke opbrengsten kunnen geven, zelfs al zijn ze onder zooveel mogelijk gelijke omstandigheden en in dezelfde voedings-

oplossing opgegroeid. DAVIS (1921), die de variabiliteit van waterkulturen bij tarwe uitvoerig heeft bestudeerd, stelde vast, dat de variatiecoëfficient van de gewichten der geoogste planten niet minder dan circa 16 % bedroeg. Het gevolg hiervan is, dat de groeiconcentratiekrommen, die met waterkulturen worden verkregen, meestal een onregelmatig, schommelend verloop hebben. Dit neemt niet weg, dat uit de proeven van STILES, HOAGLAND en TOTTINGHAM met voldoende zekerheid is gebleken, dat de groeiconcentratiekromme geen duidelijk optimum vertoont. Men krijgt veeleer den indruk, dat er een optimaal concentratie*gebied* is, waarin de groei maximaal is of waarin deze slechts weinig van den maximalen afwijkt. Daalt het zoutgehalte beneden de minimumconcentratie van dit optimale gebied, dan neemt de groei in snel tempo af. Eveneens neemt de groei af, wanneer de maximumgrens van het optimale gebied wordt overschreden.

In de boven aangehaalde onderzoekingen werd de verhouding van de elementen in de diverse oplossingen gelijk gehouden. De concentratie van de ionen, waaruit de voedingsoplossing was samengesteld, steeg dus evenredig met de totale zoutconcentratie. Wij willen nu een oogenblik stilstaan bij die onderzoekingen, waarin slechts één bepaald ion werd gevarieerd, terwijl de concentratie der overige ionen constant gehouden werd.

Zoo hebben JOHNSTON en HOAGLAND (1929) den groei van tomaten vergeleken in voedingsoplossingen, die per liter resp. 3.7 en 35.1 mgr. kalium bevatten. Zij vonden, dat de planten in de zwakste oplossing een geringere opbrengst gaven dan in de sterkere oplossing. In één der proeven, waarin de K-concentratie vrijwel constant gehouden werd, verhielden zich de opbrengsten als 2 : 3. Bij vergelijking van den plantengroei in oplossingen met 4.9 en 35.1 mgr. K p. l. werd echter een gelijke groei geconstateerd. Het schijnt dus, dat de groei, die bij stijging van de K-concentratie van 3.7 tot 4.9 mgr. p. l. duidelijk toenam, boven deze laatste concentratie geen waarneembare stijging meer vertoonde. BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929) kweekten een 7-tal gewassen in oplossingen met toenemend K-gehalte tot een maximum van 5 mgr. p. l. Niettegenstaande de onvermijdelijke schommeling, die de opbrengsten bij toenemend K-gehalte der oplossingen vertoonden, kwam hierbij toch duidelijk aan het licht, dat de groei met stijgende K-concentratie sterk toeneemt, maar dat deze groeivermeerdering met de stijging van het K-gehalte gaandeweg afneemt. Als voorbeeld noem ik de resultaten, die met katoen-

planten werden verkregen. Deze werden gekweekt in oplossingen met 0, 0.5, 1, 2, 3 en 5 mgr. K p. l. De oogstgewichten bedroegen resp. 4.6, 8, 9.3, 12.4, 12.7 en 13.3 gram. Overeenkomstige proeven werden gedaan door PARKER en PIERRE (1928) met maïsplanten en sojaboonen. Zij kwamen tot het resultaat, dat de minimumconcentratie voor goeden groei bij 2 mgr. K p.l. of misschien zelfs lager is gelegen. Boven deze concentratie nam de groei met toenemende concentratie niet noemenswaard toe. Dit laatste blijkt ook heel duidelijk uit proeven van ARRHENIUS (1927, 2) met tarwe in voedingsoplossingen met 6, 20, 60, 200 en 600 mgr. K p. l. De opbrengsten van deze planten bedroegen resp. 12.3, 12.2, 12.8, 12.8 en 10.7 gram, of relatief 96, 95, 100, 100 en 83. Uit deze getallen zien wij, dat de groei der planten in oplossingen met meer dan 6 mgr. K p. l. met toemende K-concentratie slechts weinig grooter wordt, om tusschen een concentratie van 200 en 600 mgr. K p. l. af te nemen. Ook bij andere gewassen heeft ARRHENIUS een duidelijke opbrengstvermindering in dit zelfde concentratiegebied waargenomen.

De invloed van de PO_4-concentratie op den plantengroei is onderzocht door PARKER en PIERRE (1928), PARKER (1927), HOAGLAND en MARTIN (1923), en ARRHENIUS (1927, 2). Ik zal deze onderzoekingen hier niet uitvoerig bespreken, omdat zij in groote trekken tot dezelfde uitkomsten hebben geleid als de K-proeven.

De kromme der opbrengsten vertoont bij stijgende PO_4-concentratie der oplossingen ongeveer hetzelfde beeld als wanneer men het K-gehalte laat toenemen. In proeven van ARRHENIUS (1927, 2) met graangewassen nam de opbrengst af tusschen een concentratie van 90 en 300 mgr. PO_4 per liter. Bij klaver, bieten en knollen werd door ARRHENIUS tusschen dezelfde concentraties een grootere opbrengstvermindering vastgesteld. Ook VON WRANGELL (1931) wijst er op, dat lage fosfaatconcentraties zeer gunstig zijn voor den plantengroei. De schrijfster heeft waargenomen, dat planten in zeer verdunde „künstlich nachgeahmten Bodenlösungen" zich normaler kunnen ontwikkelen en een gezonderen indruk maken dan in de gebruikelijke oplossingen van waterkulturen „mit ihren unnatürlich hohen Konzentrationen". Dat planten in voedingsoplossingen met een zeer geringe fosfaatconcentratie zeer goed tot ontwikkeling kunnen komen, is ook door PARKER en PIERRE (1927. 1928) vastgesteld. Volgens deze onderzoekers kunnen maïsplanten in oplossingen met slechts 0.1 mgr. PO_4 p. l. nog een zeer goede opbrengst geven, mits de concentratie voldoende constant gehouden wordt.

Ook bij het nitraat heeft de „minimumconcentratie voor maximalen groei" een geringe waarde. POUGET en CHOUCHAK (1912), die een tweetal proeven namen met waterkulturen bij tarwe, namen in één dezer proeven waar, dat de groei bij een concentratie van 1 mgr. stikstof per liter reeds vrijwel het maximum had bereikt. In een andere proef nam de groei boven deze waarde nog wel toe, doch deze toeneming werd met stijgende N-concentratie gaandeweg geringer. Door ARRHENIUS (1926. 1927, 1) werd de opbrengst van verschillende gewassen ook in sterkere nitraatoplossingen nagegaan. Deze bleek eerst snel, doch gaandeweg langzamer toe te nemen met de NO_3-concentratie der voedingsoplossing. Over een tamelijk breed concentratiegebied liep de kromme der opbrengsten evenwijdig aan de as der N-concentraties. Bij verscheidene gewassen nam de opbrengst af tusschen een concentratie van 50 en 500 mgr. N p. l. De invloed van nog hoogere nitraatconcentraties is nagegaan door BUCKNER, PETER en KINNEY (1920) bij tabak. In voedingsoplossingen met 88 en 132 mgr. N p. l. werd door hen gelijke groei geconstateerd; boven 132 mgr. N. p. l. nam de groei af en wel des te meer, naarmate de nitraatconcentratie hooger was.

Van de andere ionen is de invloed van de concentratie op den plantengroei nog weinig bestudeerd, hetgeen hieraan moet worden geweten, dat deze ionen in den regel in voldoende mate in den grond voorhanden zijn en een onderzoek naar de minimumconcentratie daarom niet loonend werd geacht. Ik noem nog slechts een artikel van POWERS (1927) over den invloed van het SO_4-gehalte op den groei van lucerne, waarbij bleek, dat de groei sterk toenam tot een concentratie van 8 à 16 mgr. S p. l., om bij hoogere concentratie een geringe daling te ondergaan. De hoogste door POWERS onderzochte concentratie bedroeg 64 mgr. S per liter.

Alle onderzoekingen, die betrekking hebben op den invloed van de concentratie der afzonderlijke ionen op den plantengroei, hebben in groote trekken tot overeenkomstige resultaten geleid. Wanneer wij deze kort samenvatten, dan kan gezegd worden, dat de plantengroei met toenemende concentratie van een bepaald ion in het voedingssubstraat aanvankelijk sterk, doch gaandeweg minder sterk toeneemt. Spoedig wordt een concentratie bereikt, waarboven de groei verder nagenoeg gelijk blijft. Het is echter mogelijk, dat de groei boven deze concentratie nog wel toeneemt, maar dit is dan in zoo geringe mate het geval, dat dit aan de hand van waterkulturen in den regel niet met zekerheid kan worden vastgesteld. Wel staat het vast, dat de groei weer afneemt, wanneer een zekere

concentratie wordt overschreden. Uit de literatuur krijgt men verder nog den indruk, dat zoowel de minimumgrens als de maximumgrens van het optimale gebied voor de verschillende ionen ongelijk zijn en dat deze varieeren naar gelang van de plantensoort [1]).

De kromme der opbrengsten bij toenemende concentratie van één der ionen vertoont dus veel overeenkomst met de groeikromme, die men verkrijgt, wanneer men de totale concentratie laat toenemen. In beide gevallen toch loopt de kromme over een meer of minder grooten afstand nagenoeg parallel met de as, waarop de concentraties zijn afgezet.

Dit doet de vraag rijzen, of de invloed van de totale zoutconcentratie der voedingsoplossing op den plantengroei beschouwd mag worden als de som van de werkingen, die door de concentratie der afzonderlijke ionen op den groei worden uitgeoefend. Men zou zich kunnen voorstellen, dat de plantengroei maximaal is, wanneer de concentratie der afzonderlijke ionen gelegen is binnen de grenzen van het concentratiegebied, dat voor de diverse ionen optimaal is, en dat de groei afneemt, wanneer de concentratie van één of meer ionen stijgt boven de maximumgrens of daalt beneden de minimumgrens van het voor deze ionen specifieke optimale gebied. Is deze gedachtengang juist, dan zal men de verhouding van de ionen in een voedingsoplossing binnen betrekkelijk wijde grenzen kunnen varieeren, zonder dat de plantengroei hierdoor eenige verandering ondergaat.

Door SHIVE (1915) en door TOTTINGHAM (1914) zijn proeven genomen, die omtrent deze vraag licht kunnen ontsteken. In de door hen gebruikte voedingsoplossingen werd de concentratie der zouten op velerlei wijze gevarieerd, en wel zoodanig, dat de totale concentratie daarbij onveranderd bleef. Het doel van deze onderzoekingen was, na te gaan, in hoeverre er door de *verhouding* van de diverse zouten in de voedingsoplossing invloed werd uitgeoefend op den plantengroei.

In deze oplossingen werden door de genoemde auteurs ongelijke opbrengsten verkregen. SHIVE trok hieruit de conclusie, dat het voor

---

[1]) Kort vóór dit proefschrift ter perse ging, werd ik attent gemaakt op een publicatie van V. D. HONERT (1932). Hierin worden o.m. „zandwaterkulturen" met suikerriet beschreven, waarbij de invloed van de nitraat-, de kali- en de P_2O_5-concentratie van voedingsoplossingen op de ontwikkeling dezer planten werd nagegaan. De krommen der „stokkenopbrengsten" hadden bij toenemende concentratie der voedingsoplossingen een dergelijk verloop, als hierboven aan de hand van andere onderzoekingen is beschreven.

den plantengroei niet onverschillig is, in welke verhouding de zouten in de voedingsoplossing voorhanden zijn. Er zou volgens hem een bepaalde verhouding zijn, waarbij de groei maximaal is. Later werden echter door LIVINGSTON en TOTTINGHAM (1918) in een onderzoek, dat in principe met dat van SHIVE overeenkwam, de beste tarweplanten verkregen in een oplossing, die in de verhouding der zouten aanzienlijk verschilde van de oplossing, waarmee SHIVE de grootste opbrengst verkreeg. Op grond daarvan kwamen deze auteurs tot het besluit „that it is not atomic, nor yet ionic nor even molecular proportions that determine the physiological proporties of a solution". Ook door andere onderzoekers werden afwijkende resultaten verkregen. Zoo werd door MCCALL (1916) eveneens bij tarwe een geringe groei vastgesteld in dezelfde voedingsoplossing, die door SHIVE voor optimaal werd gehouden.

DAVIS (1921) heeft van deze tegenstrijdigheid een verklaring gegeven door aan te toonen, dat aan de door SHIVE verkregen opbrengstverschillen geen reëele beteekenis mocht worden toegekend, omdat de kulturen uit te weinig planten bestonden en er met de proeffout geen rekening was gehouden. DAVIS achtte het daarom waarschijnlijker, „that, so far as dry yield is concerned, the plant may respond equally well to a number of solutions having relatively wide limits in both total and partial concentrations of salts". Ook HOAGLAND (1919) kwam op grond van eigen proeven tot de conclusie, dat „within wide limits at least, there is no evidence that plants thrive only in solutions with certain specific ratios existing between various elements". Trouwens reeds in 1866 waren BIRNER en LUCANUS tot het besluit gekomen, dat de concentratie van de verschillende zouten in de voedingsoplossing binnen wijde grenzen kan worden gevarieerd zonder dat de plantengroei hiervan invloed ondervindt.

Aan den anderen kant zijn er verschijnselen bekend, die erop wijzen, dat de plant niet onverschillig is voor de verhouding, waarin de diverse ionen in de voedingsoplossing voorhanden zijn. OSTERHOUT (1907) heeft, in navolging van de bekende proeven van RINGER met dierlijke weefsels en die van LOEB met bevruchte eieren van een Fundulussoort, verschillende plantensoorten gekweekt in verdund „kunstmatig" zeewater en in oplossingen, waarin slechts de afzonderlijke zouten van het zeewater of mengsels van deze voorhanden waren. Hierbij werd gevonden, dat de ontwikkeling der wortels in de „éénzoutoplossingen" boven een zekere concentratie ernstig werd benadeeld, doch dat deze schadelijke

werking werd opgeheven, indien andere zouten in een bepaalde hoeveelheid aanwezig waren. De verschillende zouten zijn in staat elkanders vergiftige werking op te heffen, indien er tusschen de concentraties dezer zouten een zekere verhouding bestaat; een verschijnsel, dat met den naam „antagonisme" wordt aangeduid. Overeenkomstige onderzoekingen zijn hier te lande verricht door MASCHHAUPT (1916). Deze heeft de planten, om voedselgebrek buiten te sluiten, met een gedeelte der wortels in den grond gekweekt, terwijl een ander deel van het zelfde wortelstelsel door de te onderzoeken zoutoplossing werd omspoeld. Ook door MASCHHAUPT werd geconstateerd, dat er van de oplossingen, die slechts één der zouten van het zeewater bevatten, boven een zekere concentratie een schadelijke invloed op de wortels uitging. Alleen $CaCl_2$ bleek veel minder vergiftig te zijn dan de andere zouten. Werden kleine hoeveelheden van dit zout toegevoegd aan een oplossing, die uitsluitend NaCl, KCl, $MgCl_2$ of $MgSO_4$ bevatte, dan werd de vergiftige werking van deze zouten opgeheven.

Hierbij moet echter worden bedacht, dat éénzoutoplossingen en die, waarin de ionen ongunstig zijn geequilibreerd, pas vergiftig gaan werken, wanneer een zekere concentratie wordt overschreden. Door OSTERHOUT werd verondersteld, dat de voedingsoplossingen, die gewoonlijk voor waterkulturen worden aangewend, in den regel dermate verdund zijn, dat hierbij geen vergiftige werkingen behoeven te worden verwacht. MASCHHAUPT meende echter, dat antagonistische verschijnselen zich reeds kunnen voordoen bij concentraties, zooals in gewone voedingsoplossingen voorkomen. Het is dus heel goed mogelijk, dat het voor de plant niet altijd even onverschillig is, in welke verhouding de elementen in de voedingsoplossing voorhanden zijn. Een feit is het, dat de snelheid, waarmee een bepaald ion door de plantenwortels uit de voedingsoplossing wordt opgenomen, niet alleen van de concentratie van dat ion, doch tevens van de aanwezigheid en van de concentratie der andere ionen afhankelijk is. Het is bijv. bekend, dat bij stijging van het K-gehalte der voedingsoplossing, de K-opname der planten toeneemt, terwijl tegelijkertijd de Ca-opname afneemt, al wordt ook het Ca-gehalte van de voedingsoplossing constant gehouden (JOHNSTON en HOAGLAND 1929). Een dergelijk antagonistisch verband bestaat er ook tusschen K en Mg en tusschen K en Ca (LUNDEGÅRDH 1932). Dat ook kationen en anionen elkaar onderling beinvloeden, is aangetoond door HOAGLAND (1923). Door dezen onderzoeker werd in oplossingen van verschillende kaliumzouten vastgesteld, dat er van

het anion invloed uitging op de opname van het kalium-ion door de plant. Tot het zelfde resultaat kwamen NIKLEWSKI, KRAUSE en LEMANCZYK (1928). Het staat dus wel vast, dat een verandering in de samenstelling van de voedingsoplossing gepaard zal gaan met een meer of minder ingrijpende verandering in de opname van de diverse ionen.

Het is echter lang niet zeker, dat deze ongelijkheid in de opname der ionen tot een verandering in groei aanleiding zal geven. Uit proeven van HOAGLAND (1919) met gerst is gebleken, dat de zoutopname der planten bij toenemend zoutgehalte der voedingsoplossing bleef toenemen, terwijl toch de groei over een uitgestrekt concentratiegebied onveranderd bleef. Men krijgt dan ook uit de literatuur sterk den indruk, dat de verhouding der ionen in de voedingsoplossing binnen betrekkelijk wijde grenzen kan worden gevarieerd, zonder dat de plantengroei hiervan een noemenswaardigen invloed ondervindt. Wij zagen reeds, dat de bij deze onderzoekingen verkregen groeiverschillen voor een deel verklaard kunnen worden uit de variabiliteit van het plantenmateriaal. Een andere foutenbron is m.i. hierin gelegen, dat men bij deze proeven niet altijd voldoende aandacht heeft geschonken aan de *absolute* concentratie van de diverse elementen. Dat dit tot verkeerde conclusies aanleiding kan geven, moge uit de volgende voorbeelden blijken:

SCHREINER en SKINNER (1910) kweekten jonge tarweplanten in voedingsoplossingen, die nitraat, fosfaat en een kalizout bevatten. De concentratie van de gezamenlijke zouten bedroeg in alle oplossingen 80 mgr. p. l. Hierbij werd de concentratie van het nitraat, van het fosfaat en van het kalium resp. als NH_3, P_2O_5 en K_2O berekend. De drie zouten werden in verschillende verhoudingen toegediend, en wel zoodanig, dat de partieele concentratie dezer zouten opklom met 8 mgr. p. l., d.i. met 10 % van het totale zoutgehalte. De schrijvers kwamen tot het resultaat, dat de planten het best groeiden in die oplossingen, die 10 tot 30 % P_2O_5 (8 tot 24 mgr. P_2O_5 p. l.), 30 tot 60 % NH_3 (24 tot 48 mgr. NH_3 p. l.) en 30 tot 60 % kali (24 tot 48 mgr. K_2O p. l.) bevatten.

Wij willen ons nu eens rekenschap geven van de verandering, die de partieële concentratie der ionen in de diverse ververschingsperioden heeft ondergaan. Dit kan gemakkelijk geschieden, daar door de schrijvers bij elke verversching de concentratie van de verschillende zouten in de gebruikte voedingsoplossing werd vastgesteld. Het blijkt dan, dat de nitraatconcentratie in de voedingsoplossingen met 10 en met 20 % NH_3 in de verschillende perioden

gemiddeld tot een zeer lage waarde is gedaald. In de oplossingen met 20 % stikstof (16 mgr. NH_3 p. l.) bedroeg de eindconcentratie gemiddeld 0.5 mgr. NH_3 p. l.; in de oplossingen met 10 % N (8 mgr. NH_3 p. l.) daalde de concentratie tot 0.2 mgr. p. l. Nu werd, zooals wij boven zagen, door POUGET en CHOUCHAK (1912) vastgesteld, dat de groei van jonge tarweplanten sterk afneemt, wanneer het N-gehalte der voedingsoplossing beneden 1 mgr. p. l. daalt. Het is dus heel waarschijnlijk, dat de planten van SCHREINER en SKINNER in de oplossingen met minder dan 20 % stikstof aanzienlijk minder N hebben opgenomen dan de overige kulturen, en dat hierin de oorzaak gezocht moet worden van de geringere opbrengst. Ook is het duidelijk, waarom de kulturen in de oplossingen met meer dan 60 % N eveneens een geringere opbrengst hebben gegeven. In deze oplossingen is het K-gehalte, dat uiteraard reeds laag was, in de verschillende ververschingsperioden tot een zeer gering bedrag gereduceerd. De schrijvers vermelden, dat bij een aanvangsconcentratie van 16 en van 8 mgr. K_2O p. l. de eindconcentratie resp. 3.9 en 3.1 mgr. p. l. bedroeg. Wanneer wij bedenken, dat hiermee de gemiddelde concentratie-daling van alle ververschingsperioden is bedoeld, dan is het welhaast zeker, dat de K-concentratie in de laatste perioden beneden het vereischte minimum is gedaald.

Het is dus heel waarschijnlijk, dat de oplossingen met een kali- en stikstofconcentratie van 10 à 20 % der totale zoutconcentratie even groote opbrengsten zouden hebben gegeven als de overige kulturen, indien de concentratie der oplossingen constant gehouden was. Hoogstwaarschijnlijk is de plantengroei binnen veel wijdere grenzen onafhankelijk geweest van de partieele concentratie der elementen, dan door SCHREINER en SKINNER uit hun eigen proeven werd geconcludeerd.

Ook in het reeds eerder genoemde onderzoek van SHIVE (1915) werden bij sommige kulturen lage opbrengsten verkregen, die m.i. niet, zooals door SHIVE werd verondersteld, aan de verhouding der zouten in de oplossingen, doch eenvoudig aan voedselgebrek toegeschreven moeten worden. SHIVE kweekte tarweplanten in oplossingen, die $Ca(NO_3)_2$, KH_2PO_4 en $MgSO_4$ + een spoor Fe bevatten. Van de drie genoemde zouten werd de concentratie op 36 verschillende wijzen gevarieerd, in dier voege, dat de partieele concentratie van elk zout bij gelijkblijvende totale concentratie opklom met een bedrag, overeenkomende met $^1/_{10}$ gedeelte van den osmotischen druk der oplossing. De samenstelling van de oplossingen werd aangeduid met de symbolen R en C, waarbij R betrekking had op het gehalte aan

KH_2PO_4 en C op het gehalte aan nitraat. Zoo beteekende R_5C_2, dat $^5/_{10}$ gedeelte van den osmotischen druk der oplossing door het fosfaat en $^2/_{10}$ van den osmot. druk door het nitraat werd teweeggebracht, terwijl het resteerende $^3/_{10}$ gedeelte op rekening kwam van het $MgSO_4$. Er werden door SHIVE 3 series kulturen aangezet, waarvan het totale zoutgehalte der oplossingen overeenkwam met een osmot. druk van resp. 0.1, 1.75 en 4 atm. (resp. circa 300, 5000 en 15000 mgr. p. l.). In elk van deze series waren de zouten in de 36 bovengenoemde verhoudingen vertegenwoordigd. Wanneer men nu de opbrengsten in de oplossingen met een osmotischen druk van 0.1 atm. onderling vergelijkt, dan blijken de oplossingen met een lage C-waarde (C_1 en C_2), d.i. met een gering nitraatgehalte, in het algemeen de geringste opbrengst te hebben gegeven. Opmerkelijk is ook, dat bij deze kulturen de gewichten der wortels in den regel grooter werden gevonden dan bij de overige kulturen. Daar door verschillende onderzoekers is waargenomen, dat bij stikstofgebrek de groei der wortels ten koste der groene deelen wordt bevorderd, mag worden verondersteld, dat het nitraatgehalte van deze oplossingen in de verschillende ververschingsperioden beneden het vereischte minimum is gedaald. Deze conclusie wordt nog waarschijnlijker, als wij ons rekenschap geven van de hoeveelheid stikstof, die in deze oplossingen voor de planten beschikbaar was. Uit de tabellen van SHIVE, waarin de concentratie der zouten in grammoleculen p. l. is opgegeven, heb ik berekend, dat het nitraatgehalte in de 36 oplossingen met een osmot. druk van 0.1 atm. varieerde van 4.3 mgr. (C_1) tot 33.3 mgr. (C_8) p. l. Daar 6 planten werden gekweekt in 250 cc voedingsoplossing, was in de zwakste nitraatoplossing per plant slechts $^1/_{24} \times 4.3 = 0.18$ mgr. N beschikbaar. Hoewel de oplossingen om de drie dagen werden ververscht en de planten reeds na 23 dagen werden geoogst, lijkt het mij toch zeer waarschijnlijk, dat er voor de planten in de oplossingen C_1 en C_2 niet voldoende stikstof beschikbaar is geweest.

Er werden hier eenige gevallen beschreven, waarbij de opbrengstvermindering naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt werd, doordat de concentratie van één der ionen daalde beneden de minimumgrens, die voor maximalen groei noodzakelijk is. Evengoed kan men zich een voedingsoplossing denken met een zoodanige verhouding aan zouten, dat de concentratie van één of meer ionen gelegen is boven de maximumgrens van het optimale concentratiegebied. Wanneer men in het onderzoek van SHIVE (1915) het N-gehalte berekent in de reeks van 1.75 atm., dan vindt men een variatie van 73 mgr. (C_1)

tot 583 mgr. N p. l. (C_8). Het is heel goed mogelijk, dat de maximumgrens van het optimale gebied der N-concentratie tusschen deze beide grenzen is gelegen, en dat dus de N-concentratie in een gedeelte van deze oplossingen limiteerend op den groei heeft gewerkt. Ik behoef er slechts aan te herinneren, dat door ARRHENIUS (1927, 1) bij tarwe werd gevonden, dat de opbrengst afnam tusschen een concentratie van 50 en 500 mgr. N p. l. In de oplossingen van SHIVE (1915) met een osmotischen druk van 4 atm. varieerde het N-gehalte van 184 tot 1613 mgr. N p. l. (C_1 tot C_8). Ook de concentratie van de andere elementen bezat in deze oplossingen een aanzienlijke waarde. De onderstelling ligt voor de hand, dat in deze oplossingen de concentratie van het meerendeel der elementen supra-optimaal is geweest. In overeenstemming hiermee werd door SHIVE met deze oplossingen zonder uitzondering een geringere opbrengst verkregen dan met de oplossingen, waarvan de osmotische druk 1.75 atm. bedroeg. Opmerkelijk is verder nog, dat in de drie series van SHIVE, die door hem gekweekt werden in oplossingen met een osmotischen druk van 0.1, 1.75 en 4 atm., telkens een andere zoutenverhouding optimaal werd gevonden. De optimale samenstelling bleek dus zeer ongelijk te zijn, naar gelang van den osmotischen druk der oplossing. Zoo werden dan door SHIVE (1917), die dezelfde proeven ook met boekweit heeft gedaan, de resultaten als volgt samengevat: „For wheat and for buckwheat, the total concentration of the medium determines the growth of the plants. The physiological proporties of a given set of salt proportions are frequently very different for different total concentrations. The kind of growth produced by any given set of salt proportions may not be predicted without specifying also the total concentration of the solution employed."

Ook dit resultaat geeft steun aan de onderstelling, dat de plantengroei in de oplossingen van SHIVE niet zoozeer door de verhouding der elementen in de voedingsoplossing doch veeleer door de partieele concentratie dezer elementen is bepaald. Dit geldt evenzeer voor de meeste andere onderzoekingen, die betrekking hebben op den invloed der ionenbalanceering op den plantengroei. Bij de bestudeering daarvan stuit men telkens weer op het bezwaar, dat de partieele concentratie der ionen te zeer is veronachtzaamd. MES (1930) kwam op grond van een uitvoerige literatuurstudie eveneens tot de conclusie, „dat die plante hulle self kan aanpas aan taamlik uiteenlopende, verskillend gebalanseerde oplossings so lank as die konsentrasie en absolute hoeveelheid van die essensiële ele-

mente voldoende is." In de recente literatuur treft men echter dikwijls de meening aan, dat de verhouding der ionen in het voedingssubstraat een overwegende beteekenis heeft voor de voeding van de plant. Dit standpunt wordt o.m. ingenomen door LUNDEGÅRDH (1932), door wien ook aan de inwendige ionenbalans een belangrijke rol in het leven der plant wordt toegeschreven. De proeven, die door dezen auteur in verband met deze vraag werden genomen, hebben echter m.i. het bezwaar, dat de oplossingen slechts enkele malen na lange tusschenpoozen werden ververscht, zoodat de concentratie aan een groote verandering onderhevig is geweest.

Hiermee wil ik geenszins de mogelijkheid ontkennen, dat de verhouding der elementen in de voedingsoplossing in zekere gevallen rechtstreeks invloed zal kunnen uitoefenen op den plantengroei. Wat er de laatste decenniën bekend is geworden omtrent den invloed van electrolytoplossingen op den physischen toestand der colloïden, maakt het zeer waarschijnlijk, dat er verband bestaat tusschen den plantengroei en de verhouding der ionen in het voedingsmilieu der wortels. Met het bovenstaande literatuuroverzicht heb ik slechts willen doen uitkomen, dat men zich van den invloed van het totale zoutgehalte en van de ionenverhouding der voedingsoplossing op den plantengroei geen juist beeld kan vormen, indien de partieele concentratie der elementen niet voldoende in acht wordt genomen.

Over den invloed van de partieele ionenconcentratie der voedingsoplossing op den plantengroei zijn nog weinig onderzoekingen verricht. Het meerendeel daarvan heeft trouwens betrekking op den invloed van lage concentraties. Voor zoover ook hoogere concentraties werden bestudeerd, werden de intervallen in den regel zoo groot genomen, dat men zich van het verloop der groeiconcentratiekromme slechts een vage voorstelling kan vormen. Wel hebben wij gezien, dat de groeikromme geen duidelijk optimum vertoont, en dat er eerder gesproken kan worden van een optimaal gebied, doch tot dusver is niet nagegaan, in hoeverre de grenswaarden van dit gebied afhankelijk zijn van de verdere groeiomstandigheden en van den leeftijd der planten. Niet alleen is de invloed van de atmosferische omstandigheden op het verloop der groeiconcentratiekromme onvoldoende bestudeerd, ook in de voedingsoplossing zelf doen zich complicaties voor, waaraan tot dusver niet voldoende aandacht is geschonken. Wanneer bijv. ARRHENIUS (1927) vermeldt, dat de opbrengst afneemt, als de K-concentratie der voedingsoplossing boven 200 mgr. p. l. stijgt, dan kan men de vraag stellen, of deze schadelijke

invloed wel op de K-concentratie berust. Men zou zich kunnen voorstellen, dat deze vermindering in opbrengst teweeggebracht wordt door het totale zoutgehalte, dat uiteraard met het K-gehalte is toegenomen. Indien dit het geval is, dan zal de maximumgrens van het optimale gebied der K-concentratie, in plaats van een vast punt te zijn, varieeren met de concentratie van de stamoplossing [1]). Verder is het denkbaar, dat de verhouding van de K-concentratie tot die der overige ionen in de sterkere oplossingen ongunstig is geweest voor den plantengroei. Ook in dat geval zal men bij gebruik van een andere stamoplossing andere uitkomsten kunnen verwachten. Deze mogelijkheden zijn door ARRHENIUS en door andere onderzoekers buiten beschouwing gelaten, zoodat niet beoordeeld kan worden, in hoeverre aan de door hen verkregen resultaten algemeene geldigheid mag worden toegekend.

Wanneer wij de hierboven besproken literatuur kort samenvatten, dan kan gezegd worden, dat de onderzoekingen betreffende den invloed der totale concentratie, resp. der ionenverhouding op den plantengroei veelal hieraan mank gaan, dat aan de partieele concentratie der ionen niet voldoende aandacht is geschonken. Daar omgekeerd in de publicaties betreffende den invloed der partieele concentratie op den plantengroei de ionenverhouding en de totale concentratie te zeer zijn veronachtzaamd, staan deze beide reeksen van onderzoekingen geheel los van elkaar. Het schijnt mij toe, dat men bij onderzoekingen, die betrekking hebben op de in dit hoofdstuk aangeroerde problemen, zal moeten uitgaan van de concentratie der afzonderlijke ionen, omdat het anders niet mogelijk zal zijn, inzicht te krijgen in het verband, dat er tusschen de ionenverhouding, resp. de totale concentratie der voedingsoplossing en den plantengroei bestaat.

In dit proefschrift worden zeven proeven beschreven, die door mij werden genomen met het doel den groei der planten te vergelijken in voedingsoplossingen, waarin uitsluitend de nitraatconcentratie werd gevarieerd. Ik liet de keus vallen op het nitraat, omdat de invloed van de concentratie van dit voor de plantenvoeding zoo belangrijke ion nog weinig is bestudeerd. Als proefobject werd tarwe gekozen, daar dit gewas bij proeven met waterkulturen zeer vaak heeft dienst gedaan, zoodat de uitkomsten

---

[1]) Onder de stamoplossing wordt dat gedeelte van de voedingsoplossing verstaan, dat niet wordt gevarieerd.

van deze proeven tot zekere hoogte met die van andere auteurs kunnen worden vergeleken.

In het laatste hoofdstuk wordt de vraag onder het oog gezien, in hoeverre de totale concentratie oorzaak kan zijn geweest van de waargenomen groeiverschillen. Bovendien worden in dit zelfde hoofdstuk nog de resultaten meegedeeld van een tweetal proeven, die ons aanwijzingen kunnen geven omtrent den invloed, die in de voorafgaande proeven door de ionenverhouding der voedingsoplossing op den plantengroei is uitgeoefend.

HOOFDSTUK II.

WERKWIJZE EN FOUTENBRONNEN.

Bij proeven over den invloed van verschillende voedingsoplossingen op den plantengroei wordt in den regel de waterkultuurmethode, doch ook wel de zandkultuurmethode toegepast. In dit onderzoek werd aan de waterkultuurmethode de voorkeur gegeven, daar de voedingsoplossingen herhaaldelijk moesten worden ververscht, hetgeen bij waterkulturen gemakkelijker ten uitvoer kan worden gebracht dan bij zandkulturen.

De oplossingen, die in mijn proeven werden aangewend, bevatten 100 mgr. K_2SO_4, 141 mgr. $MgCl_2$ (= 300 mgr. $MgCl_2 . 6aq.$), 100 mgr. KH_2PO_4, 100 mgr. K_2HPO_4, 316 mgr. $CaSO_4$ (= 400 mgr. $CaSO_4 . 2aq.$), 6 mgr. $FeSO_4$ (= 10 mgr. $FeSO_4 . 7aq.$) en opklimmende hoeveelheden nitraat per liter gedestilleerd water.

De laagste nitraatstikstofconcentratie, waarvan de invloed op den groei werd bestudeerd, bedroeg 1 mgr. per liter, de hoogste 462 mgr. per liter. Bij de keuze van deze grenswaarden werd rekening gehouden met de nitraatgehalten, die in het bodemvocht van kultuurgronden kunnen voorkomen. Daartoe werd een onderzoek geraadpleegd van BURD en MARTIN (1924), waarin het bodemvocht werd bestudeerd van gronden, die aanzienlijk in vruchtbaarheid verschilden, en die afkomstig waren van streken, waar een droog klimaat heerschte. De hoogste nitraatstikstofconcentratie, die door deze auteurs in het bodemvocht werd aangetroffen, bedroeg 493 mgr. p. l.

Het nitraatgehalte van het bodemvocht varieert niet alleen naar gelang van de grondsoort, ook bij een en denzelfden grond is dit gehalte in verband met den regenval, de bemesting, de N-opname der planten, biologische en andere factoren aan een groote fluctuatie onderhevig. Zoo werd door BURD (1919) vastgesteld, dat in grond, waarop gerst werd verbouwd, het NO_3-gehalte van het bodemvocht

vrij snel daalde, toen het gewas 5 weken oud was, om in de 7e week een zeer laag minimum te bereiken.

Mijn onderzoek verschilde van de onderzoekingen, die op dit gebied door andere auteurs zijn verricht, doordat de invloed van het N-gehalte der oplossingen op den plantengroei over een uitgestrekter concentratiegebied en met kleinere intervallen werd bestudeerd. Van een 15-tal verschillende N-concentraties werd de invloed op den plantengroei nagegaan. De intervallen bedroegen hoogstens 56 mgr. (4 m.aeq.) stikstof per liter. Wanneer, zooals in het gebied der lage concentraties, groote groeiverschillen bij kleine verschillen in concentratie konden worden verwacht, werden de intervallen aanzienlijk verkleind.

Nadat de planten een zekere ontwikkeling hadden bereikt, werden zij geoogst en zoowel in verschen als in drogen toestand gewogen. Zooals reeds in de inleiding werd opgemerkt, werden de oogstgewichten van de diverse kulturen met elkaar vergeleken en deze als maatstaf aangenomen, om den groei in de diverse oplossingen te beoordeelen. Teneinde den groei ook tusschentijds te kunnen vergelijken, werd bij sommige proeven van tijd tot tijd de verdamping bepaald. In hoeverre de verdamping beschouwd mag worden als een maatstaf voor den groei, zal in hoofdstuk IV nader worden besproken.

Om „systematische" invloeden buiten te sluiten, werden de volgende voorzorgen genomen:

1. „Zaad" van een „zuivere lijn" (Svalöfs Sommerkolbenweizen II) werd voor de proeven aangewend.

2. Daar uit de onderzoekingen van S. F. en H. M. TRELEASE (1924), SCHMIDT (1922, 1923) e.a. is gebleken, dat de drooggewichten der geoogste planten ceteris paribus op en neer gaan met het gewicht der zaden, waaruit de kulturen zich hebben ontwikkeld, werden de korrels eerst gewogen en hiervan alleen die korrels te kiemen gelegd, waarvan het gewicht tusschen 43 en 47 mgr. varieerde. Bij alle series [1]) werd dus uitgegaan van hetzelfde gemiddelde korrelgewicht, nl. 45 mgr.

3. De kulturen werden zoodanig opgesteld, dat de gezamenlijke planten der afzonderlijke series onder zooveel mogelijk dezelfde omstandigheden tot ontwikkeling konden komen, m.a.w. de plaatsing

---

[1]) Onder „serie" worden in dit onderzoek de gezamenlijke planten verstaan, die in één en dezelfde voedingsoplossing werden gekweekt. Volgens deze definitie is de „serie" dus identiek aan het „object" in de proefveldtechniek.

der kulturen kwam in principe overeen met de rangschikking der parallel-perceelen bij den aanleg van een bemestings- of varieteiten-proefveld.

Ook met de „toevallige" variatie diende rekening te worden gehouden. Wij hebben in het vorige hoofdstuk reeds gezien, dat men bij vergelijking van den plantengroei in verschillende voedingsoplossingen tot verkeerde conclusies zou kunnen komen, indien niet de fout van de opbrengsten werd bepaald. Dit gevaar is vooral heel groot, wanneer de diverse oplossingen slechts kleine verschillen in groei veroorzaken. Het spreekt dus vanzelf, dat van alle series behalve het gemiddelde drooggewicht der planten ook de middelbare fout van dit gemiddelde werd vastgesteld. Hierbij werd gebruik gemaakt van de bekende formule

$$\text{m.f. van het gemidd. gewicht} = \sqrt{\frac{\Sigma d^2}{n(n-1)}} \quad . \quad . \quad (1)$$

waarin n het aantal planten der serie voorstelt, terwijl met d het verschil is aangegeven tusschen het drooggewicht dezer planten en het gemiddelde drooggewicht der geheele serie. Σd^2 stelt dus in deze formule de som van de kwadraten dezer verschillen voor.

Om te kunnen beoordeelen, in hoeverre het opbrengstverschil tusschen twee series aan de concentratie der oplossingen mocht worden toegeschreven, werd vastgesteld, hoeveel malen het verschil grooter was dan zijn middelbare fout. Het is bekend, dat een verschil pas als reëel mag worden beschouwd, indien dit quotient meer dan 3 bedraagt. Hoe meer deze waarde beneden 3 daalt, des te grooter wordt de kans, dat het gewichtsverschil zijn oorzaak vindt in de variabiliteit van het plantenmateriaal. De middelbare fout van het verschil werd berekend uit de formule

$$mf(v) = \sqrt{mf_1^2 + mf_2^2}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

waarin mf_1 en mf_2 de middelbare fouten voorstellen van de gewichten, waarvan het verschil moest worden beoordeeld.

De toepassing van de formules (1) en (2) is echter alleen dan geoorloofd, indien vaststaat, dat de „varianten" (in casu de drooggewichten) t.o.v. hun gemiddelde op dezelfde wijze gegroepeerd zijn als de waarden van een normale frequentiereeks. Bij het onderzoek van DAVIS (1921) is gebleken, dat de gewichten van tarweplanten, die in dezelfde voedingsoplossing en ook overigens onder zooveel mogelijke gelijke omstandigheden zijn gekweekt, aan deze voorwaarde voldoen. Ten overvloede heb ik dit aan mijn eigen

materiaal nader getoetst, en daarbij eveneens kunnen vaststellen, dat de groepeering van de drooggewichten der tarweplanten aan de foutenwet beantwoordt.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat ik alle pogingen in het werk heb gesteld, om de toevallige fout zooveel mogelijk te verkleinen. Er werd reeds gezegd, dat erfelijk gelijkwaardig „zaad" werd aangewend en dat hiervan korrels van nagenoeg gelijk gewicht voor de proeven werden uitgekozen. Verder werden, nadat de korrels voldoende gekiemd waren, plantjes van zooveel mogelijk gelijke lengte uitgezocht, om in de kultuurflesschen te worden geplaatst.

Tenslotte moest nog met de volgende omstandigheid rekening worden gehouden: De variabiliteit der waterkultuurplanten wordt voor een deel hierdoor veroorzaakt, dat de randplanten in gunstigere omstandigheden verkeeren dan de meer naar binnen geplaatste planten. In sterke mate is dit het geval, wanneer de planten dicht bij elkaar staan. BRENCHLEY (1919/20, 1) heeft dit nagegaan bij 64 gerstplanten, die in 8 rijen dicht opeen waren geplaatst en gedurende de proef niet van plaats werden verwisseld. Bij den oogst werd van alle planten het gewicht afzonderlijk vastgesteld, waarbij bleek, dat de randplanten zich veel krachtiger hadden ontwikkeld. Daar ik bij gebrek aan ruimte genoodzaakt was mijn kulturen dicht bij elkaar te plaatsen, werden de planten op geregelde tijden van plaats verwisseld en wel zoo vaak, dat geen der kulturen zich langer dan één dag in één der buitenste rijen bevond. Het spreekt vanzelf, dat de middelbare fout hierdoor aanmerkelijk werd gereduceerd.

Voor de kieming van het „zaad" werd gebruik gemaakt van porceleinen schalen (9.5 cm hoog en 17.5 cm in diam.), die 1½ liter voedingsoplossing konden bevatten. In elke schaal werd op de oplossing een kiemring gelegd, die bespannen was met hydrophielgaas. De ringen kwamen zoo diep te liggen, dat het gaas juist met de oplossing in aanraking was. Aanvankelijk werden geparaffineerde houten kiemringen gebruikt. Deze hadden echter het nadeel, dat zij na langdurig gebruik tengevolge van het herhaalde paraffineeren gingen zinken. Bij latere proeven werd daarom van metalen raampjes (11.5 cm in het vierkant) gebruik gemaakt, die van holle zinken buizen (1.5 cm buitenwerks) waren vervaardigd. De raampjes werden vooraf geparaffineerd; op de nog heete vloeibare paraffine kon het gaas gemakkelijk worden vastgeplakt en gespannen. De

tarwekorrels werden met den vlakken kant naar onderen op het gaas te kiemen gelegd.

De kiemschalen werden eerst eenige dagen in het donker in een thermostaat geplaatst bij een temperatuur van 24° C en met een glazen plaat afgedekt. Nadat de korrels meerendeels gekiemd waren, werden de schalen in het licht geplaatst en de glazen platen weggenomen. Eenige dagen later werd uit elke kiemschaal een beperkt aantal kiemplantjes (meestal een 12-tal) in kultuurflesschen overgebracht. Bij sommige proeven werden zij geplaatst in glazen cylinders met een inhoud van 2.4 liter en een wijdte van 12 cm. Deze cylinders waren vervaardigd van resistentglas en reeds vele jaren op het proefstation voor kultuurproeven in gebruik. Zij werden afgedekt met een geparaffineerd, houten deksel, waarin een 7-tal gaten ter wijdte van 1.8 cm waren geboord. Er werden in den regel 6, bij sommige proeven 7 plantjes met propjes vette watten in het deksel bevestigd.

Bij andere proeven werd gebruik gemaakt van roomfleschjes, die 400 cc oplossing konden bevatten. In elk fleschje werd met behulp van een wattenpropje één plant geplaatst in een doorboorde kurk, waarmee de opening van het fleschje werd afgesloten. Daar deze fleschjes speciaal voor deze proeven waren aangeschaft, werden ze eerst zorgvuldig met zoutzuur gewasschen, alvorens voor de kultuurproeven te worden aangewend. Behalve roomfleschjes en cylinders werden bij sommige proeven ook flesschen van grooter formaat gebruikt. Om de oplossingen tegen verhitting en tegen het licht te beschermen, werden ze met hulzen van gegolfd karton omgeven. Bij de fleschjes werd de ruimte tusschen den hals en het karton met watten aangevuld.

Telkens na verloop van een zeker aantal dagen werden de kulturen van een nieuwe oplossing voorzien. Bij sommige proeven werd bij elke verversching nagegaan, hoeveel water er door de diverse kulturen was verdampt. Te dien einde werden de kultuurflesschen, resp. cylinders op een snelweger van OLLAND (Utrecht) met een nauwkeurigheid van 1 gram gewogen. Dit geschiedde direct na het ververschen en aan het einde der ververschingsperiode. Daar de oplossingen in den regel tusschentijds niet werden bijgevuld, kon de waargenomen gewichtsvermindering gelijk gesteld worden met de verdamping. Bij de kultuurcylinders diende er rekening mee gehouden te worden, dat deze door de houten stoppen niet voldoende werden afgesloten, zoodat er ook onafhankelijk van de planten verdamping kon plaats vinden. Om hiervoor een correctie aan te

brengen, werd bij deze proeven een 10-tal „blanco" cylinders zonder planten aan de kulturen toegevoegd en hiervan eveneens de verdamping bepaald. Waar roomfleschjes werden gebruikt, kon deze voorzorg achterwege blijven, daar deze fleschjes zoo goed waren afgesloten, dat er geen „vrije" verdamping kon plaats vinden.

Een andere foutenbron was hierin gelegen, dat de verdamping voortgang vond gedurende den tijd, die noodig was om alle kulturen te wegen. Vooral bij de proeven, waarin de planten afzonderlijk in fleschjes waren opgesteld, moest met den tijdsfactor rekening worden gehouden, daar de weging der fleschjes somtijds eenige uren in beslag nam, en er in dien tusschentijd een niet onaanzienlijke verdamping kon plaats vinden. Er zouden dus onvergelijkbare waarden worden verkregen, indien de series na elkaar aan de beurt kwamen. Er werd daarom van alle series achtereenvolgens eerst één fleschje gewogen en zoo telkens weer opnieuw totdat alle wegingen waren verricht. Uit de aldus verkregen waarden werd de gemiddelde verdamping der series berekend.

Bij den oogst werden de planten van een nummer voorzien en uit de kultuurflesschen genomen. De wortels werden met gedestilleerd water afgespoeld en alle op dezelfde wijze tusschen filtreerpapier zooveel mogelijk van het aanhangende water bevrijd.

De plantenseries werden in hun geheel direct na elkaar in verschen toestand gewogen. Daarna werden ze aan de lucht gedroogd en wederom gewogen.

Daar het vochtgehalte van luchtdroge planten sterk schommelt naar gelang van de relatieve vochtigheid der lucht, werd eerst nagegaan, in hoeverre de luchtdrooggewichten als vergelijkbare waarden mochten worden beschouwd. Te dien einde heb ik van een aantal plantenseries, die gekweekt waren in voedingsoplossingen met een sterk uiteenloopend nitraatgehalte, verscheidene dagen achtereen het luchtdrooggewicht bepaald. Zooals te verwachten was, liepen deze gewichten van dag tot dag nogal uiteen. Daarentegen werd steeds een goede overeenstemming gevonden in de *verhouding* van de gewichten der diverse series. Werd het gewicht van een bepaalde serie op 1 gesteld en de andere gewichten hierop herleid, dan gaven deze relatieve gewichten steeds dezelfde waarde, behoudens een schommeling van slechts enkele eenheden in de 2e decimaal. Toen echter de planten werden overgebracht naar een lokaal, waar een sterk afwijkende vochtigheidstoestand heerschte, traden er de eerste dagen in de gewichtsverhouding groote

onregelmatigheden op. Pas nadat de planten verscheidene dagen in dit lokaal hadden gelegen, werd weer de normale verhouding teruggevonden.

Vervolgens werden deze series bij 105° C tot constant gewicht gedroogd en gewogen. De verhouding van deze gewichten bleek goed overeen te stemmen met die van dezelfde series in luchtdrogen toestand. Om dit vast te stellen werden de luchtdrooggewichten en het absolute drooggewicht van een zelfde serie op 1 gesteld en de andere gewichten hierop omgerekend. Deze relatieve gewichten gaven een variatie te zien van slechts enkele percenten in beide richtingen. Het vochtgehalte der luchtdroge series vertoonde dus een variatie, die weinig of niet afhankelijk was van de nitraatconcentratie der voedingsoplossingen, waarin deze kulturen waren opgegroeid.

Daar het in mijn proeven niet zoozeer om het absolute drooggewicht der plantenseries, doch veeleer om de *verhouding* der gewichten te doen was, kon dus met het wegen der luchtdroge planten worden volstaan.

Bij het drogen en wegen der kulturen werd als volgt te werk gegaan: Zoodra de planten waren geoogst en in verschen toestand gewogen, werden zij gedurende 2 × 24 uur boven een kachel gedroogd bij een temperatuur van 70° C en daarna overgebracht naar een op het noorden gelegen lokaal, waar een tamelijk gelijkmatige vochtigheid heerschte. Hier werden de planten opgehangen of op een tafel uitgespreid. Eenige weken later, wanneer aangenomen kon worden, dat zich tusschen het vochtgehalte der planten en dat van de lucht een zeker evenwicht had ingesteld, werden de geheele plantenseries in hetzelfde lokaal direct na elkaar gewogen. Doordat het aantal series in mijn proeven hoogstens 19 bedroeg, nam de weging slechts weinig tijd in beslag. Het vochtgehalte der planten kon in dien korten tijd niet noemenswaard veranderen, zoodat op deze wijze vergelijkbare waarden werden verkregen.

In den regel werden eerst de groene deelen en de wortels van elkaar gescheiden en het „seriegewicht" van deze beide afzonderlijk vastgesteld. In de tabellen, waarin de resultaten van de proeven zijn samengevat, zijn van alle series de gemiddelde (lucht)drooggewichten van de wortels, van de groene deelen en van de geheele planten opgegeven. Deze gemiddelden werden berekend uit de seriegewichten, door deze laatste te deelen door het aantal planten, waaruit de series bestonden.

Bovendien werd in deze tabellen bij de gemiddelde gewichten

der planten of bij die der groene deelen de middelbare fout van deze gemiddelden opgegeven. Om de middelbare fout te kunnen berekenen, werden de planten met of zonder wortels afzonderlijk in luchtdrogen toestand gewogen. Van deze gewichten werd het gemiddelde berekend en met behulp van formule (1) op pag. 23 de middelbare fout van dit gemiddelde vastgesteld. Doordat deze wegingen pas na afloop van het zomerseizoen werden verricht en er verscheidene uren mee gemoeid waren, waren de aldus verkregen gemiddelden onderling niet vergelijkbaar en kwamen ze meestal niet overeen met de gemiddelden, die kort na den oogst uit de *vergelijkbare* seriegewichten waren afgeleid. Ik heb daarom de middelbare fouten van de diverse series herleid op de gemiddelden, die ik te voren bij weging van de geheele series had vastgesteld, en deze fouten in de tabellen opgenomen.

Bij latere proeven werden de series ook wel bij 105° C gedroogd en daarna gewogen. Wanneer de series zoo omvangrijk waren, dat ze bezwaarlijk volledig konden worden gedroogd, werden zij eerst in kleine stukjes geknipt. Het knipsel werd gemengd en eenigen tijd later gewogen. Hiervan werd een zekere hoeveelheid (niet minder dan $^1/_{10}$ gedeelte) in een weegfleschje overgebracht, gewogen, en bij 105° C gedroogd. Nadat het drooggewicht van dit monstertje was bepaald, werd dit gewicht op dat van de geheele serie omgerekend. Van één serie werd een grooter aantal monstertjes gedroogd en gewogen, om deze werkwijze nader te toetsen. Hierbij bleek, dat op deze wijze betrouwbare uitkomsten werden verkregen.

In de tabellen der oogstresultaten vindt men behalve het drooggewicht der wortels, der groene deelen en der geheele planten ook dat der wortels opgegeven in percenten van het totale gewicht der planten (het procentueele wortelgewicht). Verder is van de diverse series nog het gehalte aan droge stof in de tabellen vermeld (= drooggewicht, uitgedrukt in percenten van het verschgewicht).

Bij elke verversching werd de pH bepaald zoowel van de versch bereide als van de gebruikte oplossingen. In sommige gevallen werd de pH ook tusschentijds gecontroleerd. Deze bepalingen geschiedden colorimetrisch. Voor het bereiden der standaardoplossingen werd gebruik gemaakt van buffertabletten van den apotheker Slis te Utrecht. Als indicatoren deden broomthymolblauw (pH 6.2 tot 8.0) en chloorphenolrood (pH 5.2 tot 6.8) dienst. De op deze wijze verkregen nauwkeurigheid (0.05 pH) werd voor mijn doel voldoende geacht. De pH was in de oplossingen slechts aan een geringe

variatie onderhevig, daar de oplossingen tengevolge van het betrekkelijk hooge fosfaatgehalte vrij sterk bufferden. De bepalingen hadden ten doel, mij er van te vergewissen, dat de pH in de oplossingen van de diverse series een gelijke verandering onderging.

In verscheidene proeven werd bij de verversching der oplossingen ook de verandering van de nitraatconcentratie vastgesteld, waarbij de alkalische reductiemethode volgens BOETTCHER (1892) werd toegepast. Daar ik in bepaalde opzichten van het voorschrift van BOETTCHER ben afgeweken, moge hier een beschrijving van de door mij gevolgde werkwijze volgen.

Van de te onderzoeken voedingsoplossing werd een zoodanige hoeveelheid in een destillatiekolf gegoten, dat daarin om en bij 20 mgr. nitraatstikstof voorhanden was. Hieraan werden toegevoegd 5 gr. zinkpoeder, 5 gr. ferrum reductum, 40 cc natronloog (1 dl. NaOH op 3 dln. water) en tenslotte zooveel water, dat de kolf ongeveer 300 cc vloeistof bevatte. Onmiddellijk daarna werd de kolf, om ontwijken van ammoniak te voorkomen, met het destillatieapparaat verbonden. 15 uren later werd de helft van de in de reductiekolf aanwezige vloeistof afgedestilleerd, opgevangen in een Erlenmeyer, die 20 cc getitreerd zwavelzuur bevatte, en de hoeveelheid overgedestilleerde NH_3 door terugtitratie bepaald. Deze hoeveelheid was, daar in de voedingsoplossingen geen ammoniumzouten voorkwamen, aequivalent met de hoeveelheid nitraat, die zich aanvankelijk in de reductiekolf bevond. Om de methode nader te toetsen, werden 12 bepalingen gedaan met oplossingen, die 80 mgr. N p. l. bevatten. Voor elke bepaling werd 250 cc oplossing aangewend, waarin dus 20 mgr. N voorhanden was. De uitkomsten stemden goed overeen. De standaardafwijking bedroeg slechts 0.052 mgr. N (0. 26 %). Gemiddeld werd echter een iets te hooge waarde gevonden, nl. 20.07 mgr. Verdere bepalingen wezen uit, dat volmaakt juiste uitkomsten werden verkregen, indien precies 22 mgr. N werd overgedestilleerd. Werd minder resp. meer N voor destillatie aangewend, dan werden te groote, resp. te lage waarden gevonden. Bevredigende uitkomsten werden nog verkregen tusschen 18 en 30 mgr. De afwijkingen bedroegen bij deze grenswaarden 1.5 %. Hoe meer deze grenzen werden overschreden, des te grooter werden de afwijkingen. Met deze ervaring, die reeds in 1911 door SEYDEL en WICHERS werd opgedaan, rekening houdende, heb ik voor deze bepaling steeds een hoeveelheid voedingsoplossing genomen, die circa 20 à 30 mgr. N bevatte. Was in de oplossing minder dan 80 mgr. N p. l. aanwezig, dan werd hiervan 250 cc in

de destillatiekolf gebracht en hieraan zooveel $NaNO_3$ toegevoegd, dat zich hierin ongeveer 20 mgr. N bevond. Bij de „gebruikte" oplossingen werd geschat, met welk bedrag de N-concentratie in de afgeloopen ververschingsperiode veranderd zou zijn, en in overeenstemming hiermee zooveel oplossing voor onderzoek bestemd, resp. aan 250 cc van deze oplossing zooveel nitraat toegevoegd, dat in de kolf 18 à 30 mgr. N voorhanden was. Bleek bij de bepaling, dat er minder stikstof dan 18 mgr. of meer dan 30 mgr. in de kolf aanwezig was geweest, dan werd de bepaling herhaald met een hoeveelheid, die tusschen deze grenzen was gelegen. In de uitkomsten werd tenslotte een correctie aangebracht, indien er meer stikstof of minder dan 22 mgr. in de kolf aanwezig was geweest.

Gemakkelijk kon nu ook de stikstof-opname der planten in de betreffende perioden worden vastgesteld. Ik laat hier een voorbeeld van de berekening volgen: Bij één der proeven waren per serie 14 planten aanwezig, die gezamenlijk in 4.8 liter voedingsoplossing werden gekweekt. Van een der series bevatte de versche oplossing op 1 Aug. 1928 180 mgr. N p. l. Den 8en Aug. bleek de N-concentratie tot 172 mgr. p. l. gedaald te zijn. De verdamping had in die periode 382 gr. bedragen. Daar het verdampte water niet werd aangevuld, was dus op 8 Aug. per 14 planten nog 4800 — 382 = 4418 cc voedingsoplossing aanwezig [1]). De N-opname heeft dus per plant per etmaal in deze periode bedragen

$$\frac{4.800 \times 180 - 4.418 \times 172}{7 \times 14} = 1.1 \text{ mgr. N.}$$

In sommige proeven werd ter bepaling van het N-gehalte in oplossingen met minder dan 5 mgr. N per liter de colorimetrische brucine-zwavelzuurmethode toegepast. Hiertoe werden 10 cc van de te onderzoeken voedingsoplossing in een vooraf goed gereinigde Erlenmeyer van 50 cc gepipetteerd, en hieraan 1 cc toegevoegd van een brucine-oplossing in chloroform (1 gr. brucine per 100 cc chloroform). Vervolgens werd 20 cc sterk, zuiver zwavelzuur langzaam toegedruppeld. Er trad dan een kersroode kleur op, die zeer spoedig

---

[1]) Strikt genomen is dit niet heelemaal juist. In werkelijkheid is er meer water aan de voedingsoplossing onttrokken dan uit de verdamping blijkt, doordat een gedeelte van het opgenomen water in de groeiende planten is achtergebleven. Deze hoeveelheid bleek echter slechts enkele procenten van de verdamping te bedragen.

in geel overging. De Erlenmeyer werd nu geschud en de inhoud hiervan, zoodra de chloroform verdampt was, overgegoten in een goed gereinigd, z.g. kultuurbuisje (hoog 15 cm; diam. 1.5 cm). De kleur, die aanvankelijk nog eenigszins roodachtig was, werd inmiddels geler en bleef daarna eenige uren onveranderd. In deze periode werd de kleur vergeleken met die van de tegelijkertijd bereide standaardnitraatoplossingen, waaraan dezelfde hoeveelheden brucine en zwavelzuur waren toegevoegd, en die zich in buisjes van dezelfde afmetingen bevonden. Daar bleek, dat de overige voedingszouten geen storenden invloed op de kleurreactie uitoefenden, werden deze in de standaardoplossingen weggelaten. Bij elke reeks bepalingen moesten de standaardoplossingen opnieuw worden bereid, daar de kleur spoedig verliep. De bepalingen werden steeds in duplo verricht en de kleur van de oplossingen door twee personen beoordeeld. De waarnemingsfout bedroeg 5 %. Als leidraad heeft bij deze bepalingen dienst gedaan een werkje van FREUND (1928), waarin korte voorschriften worden gegeven voor verschillende colorimetrische bepalingen.

In sommige proeven werd het totaal-stikstofgehalte der planten in percenten op absoluut-droge stof volgens de methode-JODLBAUER bepaald. Hierbij werden de voorschriften gevolgd van het Rijkslandbouwproefstation voor meststoffenonderzoek te Maastricht [1]).

Enkele malen werd ook het nitraatgehalte der planten bepaald. Hiertoe werden de planten luchtdroog tot poeder gemalen. Het poeder werd gemengd en hiervan 3 à 5 gram bij 105° C gedroogd. Na droging werd het poeder gewogen en overgestort in een kolfje, waaraan 250 cc water werd toegevoegd. De inhoud van het kolfje werd 10 minuten lang krachtig geschud. Deze tijd van schudden bleek ruimschoots voldoende te zijn, om het in het plantenpoeder aanwezige nitraat volledig in oplossing te doen gaan. Vervolgens werd gefiltreerd en 200 cc van het filtraat met 6 druppels 10 % azijnzuur gedurende 2 à 3 minuten gekookt. Het door het koken troebel geworden extract werd andermaal gefiltreerd, nadat het volume eerst tot 250 cc was teruggebracht. Van dit extract werd 2×50 cc voor de nitraatbepaling gebruikt. De hoeveelheid nitraat in 50 cc extract bedroeg dus een $^4/_{25}$ gedeelte van de hoeveelheid, die aanwezig was in het plantenpoeder, dat voor de extractie werd

---

[1]) Methoden van onderzoek aan het Rijkslandbouwproefstation te Maastricht, 1919, pag. 8.

aangewend. De nitraatbepaling van het extract geschiedde volgens de methode van SESSIONS en SHIVE (1928). Daar dit een nieuwe methode is, moge hierop iets uitvoeriger worden ingegaan. 50 cc extract werd gegoten in een kolf van circa 300 cc. Hieraan werden toegevoegd 5 gr. NaCl, 2½ gr. DEVARDA-metaal, 2 cc paraffinum liquidum, 50 cc eener verzadigde soda-oplossing en 5 cc NaOH 10 %. Direct daarna werd de kolf luchtdicht verbonden met een buisvormig glazen vat (2½ cm in diam. en 30 cm hoog), waarin zich getitreerd H_2SO_4 tot een kolomhoogte van 10 cm bevond. Vervolgens werd gedurende 14 uren door kolf en titerbuis lucht doorgezogen. Het in de kolf aanwezige nitraat werd tot ammoniak gereduceerd, dit laatste met den luchtstroom meegevoerd en opgevangen in het zwavelzuur, waarin het met 0.05 N NaOH door terugtitratie werd bepaald. Daar in het extract ook ammoniumzouten konden voorkomen, waarvan het ammoniak eveneens in het zwavelzuur werd opgevangen, en er daarenboven uit sommige organische verbindingen (amiden) door alkalische hydrolyse ammoniak kon ontstaan, werd een tweede hoeveelheid extract van 50 cc op de boven beschreven wijze aan een analyse onderworpen, slechts met dit verschil, dat hieraan geen DEVARDA-metaal werd toegevoegd. De aldus in de titerbuis opgevangen hoeveelheid ammoniak, die steeds zeer gering gevonden werd, werd afgetrokken van de waarde, die bij de bepaling met DEVARDA-metaal werd gevonden. Uit dit verschil, dat aequivalent was aan de hoeveelheid nitraat, die in 50 cc extract aanwezig was, werd het nitraatstikstofgehalte der planten in percenten van de droge stof berekend. Ter toetsing der methode werden op deze wijze verschillende extracten van hetzelfde plantenmateriaal onderzocht. Het daarbij gevonden nitraatstikstofgehalte der planten verschilde in deze gevallen hoogstens slechts enkele eenheden in de 2e decimaal.

In de tabellen, waarin het totaal-stikstofgehalte en het nitraatstikstofgehalte der planten is vermeld, vindt men tevens het gehalte aan stikstof opgegeven, dat in organischen vorm in de planten aanwezig is geweest. Dit gehalte kon uit het totaal- en uit het nitraatstikstofgehalte worden berekend, door deze beide waarden van elkaar af te trekken, aangezien slechts zeer geringe hoeveelheden stikstof in den vorm van ammoniumzouten, resp. als vrije ammoniak in de planten voorhanden zijn geweest. Ik heb eenige keren in versche waterkultuurplanten van verschillenden leeftijd het gehalte aan vrije + gebonden ammoniak bepaald en daarbij gevonden, dat dit gehalte 0.02 à 0.03 % bedroeg, berekend op droge

stof. Deze bepaling had plaats bij kamertemperatuur volgens de methode van SESSIONS en SHIVE, waarbij het Devarda-metaal werd weggelaten, en de loog en de soda door MgO werden vervangen, om de kans op amidensplitsing geheel te ontgaan. Trouwens door WEEVERS (1916) was bij waterculturen van boekweit en erwten langs microchemischen weg reeds vastgesteld, dat het gehalte aan ammoniumzouten in deze planten zeer gering is, zelfs wanneer de stikstof in den vorm van ammoniumzouten aan de voedingsoplossing wordt toegediend.

HOOFDSTUK III.

KEUZE DER NITRAATBRON. — ELIMINEERING VAN HET KATION.

Het spreekt vanzelf, dat men bij een onderzoek naar den invloed van een bepaalden factor op den plantengroei zal moeten trachten, slechts dezen eenen factor te laten varieeren, terwijl de andere factoren constant blijven, of in alle kulturen aan een zelfde variatie onderhevig zijn.

In hoeverre het noodig is, deze andere factoren optimaal te houden, om „beperkende invloeden" buiten te sluiten, is een vraag, die pas in het laatste hoofdstuk onder het oog zal worden gezien.

Hier willen wij de vraag stellen, of het bij een onderzoek naar den invloed van de NO_3-concentratie der voedingsoplossing op den plantengroei mogelijk is, alleen dezen eenen groeifactor te varieeren.

Deze vraag moet aanstonds ontkennend worden beantwoord. In hoofdstuk I hebben wij al gezien, dat men de concentratie van een bepaald ion in een voedingsoplossing niet kan varieeren, zonder dat er in de totale concentratie en in de ionenbalanceering tevens verandering wordt gebracht.

De zaak wordt echter nog gecompliceerder, wanneer wij het volgende bedenken: Wanneer men den invloed wil bestudeeren van de concentratie van een bepaald ion op den plantengroei, dan zal men dit ion in den vorm van een zout aan de oplossing moeten toedienen. Dit brengt met zich mede, dat bij variatie van het bedoelde ion een ander, tegengesteld geladen, ion een aequivalente verandering ondergaat. Zoo kan bij een onderzoek naar den invloed van het NO_3-ion op den plantengroei niet worden verhinderd, dat de concentratie van het bijbehoorende kation mede wordt gevarieerd. Dientengevolge komt men voor de moeilijkheid te staan, dat niet kan worden uitgemaakt, in hoeverre de groeiverschillen aan het NO_3-ion dan wel aan het kation moeten worden toegeschreven. Zelfs wanneer twee kulturen dezelfde opbrengst geven, is het lang

niet zeker, dat er van de nitraatconcentratie een zelfde invloed op den groei is uitgegaan. Men zou zich bijv. het geval kunnen denken, dat bij toeneming van het nitraatgehalte der oplossingen de plantengroei door de kationenconcentratie in dezelfde mate wordt bevorderd, als hij door de NO_3-concentratie wordt vertraagd.

Om den invloed van de NO_3-ionenconcentratie zuiver te kunnen beoordeelen, zou dit ion dus vergezeld moeten gaan van een kation, waarvoor de plant over een uitgestrekt concentratiegebied ongevoelig is.

De zouten, die voor dit onderzoek in aanmerking kwamen, waren KNO_3, $Ca(NO_3)_2$, $Mg(NO_3)_2$ en $NaNO_3$. Hiervan kon al direct KNO_3 als ongeschikt worden uitgeschakeld, daar wij in hoofdstuk I aan de hand van de literatuur hebben gezien, dat de plant lang niet onverschillig is voor de K-concentratie der voedingsoplossing. Evenals bij kalium is trouwens ook bij andere voor de plant onmisbare ionen vastgesteld, dat de plantengroei bij stijging van het gehalte dezer ionen in de voedingsoplossing eerst sterk toeneemt, daarna vrijwel gelijk blijft, om bij nog hoogere concentratie weer af te nemen. Hoewel met Mg en Ca nog weinig proeven zijn genomen, ligt de onderstelling voor de hand, dat de plant op de concentratie van deze onmisbare ionen op soortgelijke wijze zal reageeren. Dientengevolge bestond er geen aanleiding, om $Ca(NO_3)_2$ of $Mg(NO_3)_2$ boven KNO_3 te verkiezen.

Om te kunnen beoordeelen, of het gebruik van $NaNO_3$ voordeelen heeft boven de drie andere nitraten, werd in de literatuur nagegaan, wat er bekend is over den invloed van het Na-gehalte der voedingsoplossing op den plantengroei. Aangezien natrium niet noodzakelijk is voor de voeding van de plant, leek het a priori niet onwaarschijnlijk, dat de plant zich tegenover dit ion anders en wellicht indifferenter zou gedragen.

In de landbouwliteratuur treft men vele verhandelingen aan over het verband tusschen het NaCl-gehalte van het voedingssubstraat en den groei der gewassen. Voor de landbouwpraktijk is het van belang te weten, in hoeverre de diverse gewassen tegen hooge keukenzoutgehalten bestand zijn. De laatste tijd is de vraag ook hier te lande urgent geworden door de inpoldering van de Wieringermeer. In verband hiermee zijn sedert eenige jaren op het Landbouwproefstation te Groningen groeiproeven gedaan in oplossingen met opklimmende keukenzoutconcentratie met zomertarwe, groene erwten, en met een 7-tal verschillende grassoorten. Tot dusver is hierbij gebleken, dat de groei in de oplossingen met 1 gr. NaCl per

liter bij alle gewassen werd gestimuleerd, behalve bij ruwbeemdgras, waar reeds bij een keukenzoutgehalte van 1 gr. per liter een opbrengstvermindering optrad. In alle gevallen werd in de oplossingen met 5 en met meer dan 5 gr. NaCl per liter een geringere opbrengst verkregen dan in de voedingsoplossingen zonder NaCl [1]).

BREAZEALE (1905) kweekte kiemplantjes van tarwe gedurende 15 dagen in voedingsoplossingen, waaraan resp. 60, 140, 735 en 1535 mgr. NaCl p. l. was toegevoegd. Hij nam de verdamping aan als maatstaf voor den groei en vond — de verdamping der planten in de oplossing zonder NaCl op 100 stellende — resp. de waarden 111.1, 114.9, 117.2 en 95.4. BREAZEALE stelde dus eveneens een stimuleerende werking bij het keukenzout vast, althans tot een concentratie van 735 mgr. NaCl p. l. In 1916 werden door den zelfden schrijver andere uitkomsten verkregen. Kiemplanten van tarwe werden toen gekweekt in voedingsoplossingen met resp. 0, 50, 100, 200 tot 1000 mgr. NaCl p. l. Toen de plantjes, 21 dagen oud, geoogst werden, bleek het drooggewicht der contrôleplanten 4 à 15 % grooter te zijn dan dat der planten in de keukenzoutoplossingen.

LIPMAN, DAVIS en WEST (1926) wijdden aan het keukenzoutvraagstuk een uitvoerig onderzoek. Zij kweekten in Californië gedurende de wintermaanden tarweplanten in voedingsoplossingen, waarvan het NaCl-gehalte opklom van 500 tot 15000 mgr. NaCl p. l. met intervallen van 500 mgr. Zij stelden een sterke stimulatie vast, die min of meer geleidelijk met de NaCl-concentratie toenam. De drooggewichten der planten in de oplossingen met 500 en 1000 mgr. NaCl p. l. waren gemiddeld 30 % grooter dan die der contrôleplanten. De groene deelen van de planten in de oplossing met 5000 mgr. NaCl p. l. waren zelfs circa 80 % zwaarder dan die der contrôleplanten, hoewel door ons bij dezelfde concentratie een duidelijke achterstand in groei werd vastgesteld. In de proeven van LIPMAN c.s. deed de schadelijke invloed van het keukenzout zich pas gelden, wanneer de oplossingen een concentratie van 8 gr. NaCl p. l. hadden overschreden. Merkwaardig is nu, dat door deze onderzoekers bij herhaling van de proef met dezelfde tarwesoort, doch in het zomerseizoen, in het geheel geen stimuleerende werking werd geconstateerd. Bij gerst bleek de invloed der NaCl-concentratie op den groei eveneens sterk afhankelijk te zijn van de atmosferische omstandigheden. Ook HOESTERMANN (1902), die den

---

[1]) Een publicatie over dit onderwerp van de hand van Dr. K. ZIJLSTRA is in voorbereiding.

invloed van de NaCl-concentratie op den groei van weidegrassen bestudeerde, vond bij herhaling der proeven met dezelfde grassoorten afwijkende uitkomsten, hetgeen door hem eveneens aan atmosferische invloeden werd toegeschreven.

De onderzoekingen betreffende den invloed van de NaCl-concentratie op den groei van tarweplanten hebben dus allerminst tot overeenkomstige resultaten geleid. De proeven van LIPMAN c.s. en van HOESTERMANN doen ons zien, hoe zeer de uitkomsten afhankelijk kunnen zijn van de proefomstandigheden. Daarnaast is het heel goed mogelijk, dat de uitwerking van de NaCl-concentratie op den groei mede afhankelijk is van de samenstelling der stamoplossing. Tenslotte is het denkbaar, dat verschillende varieteiten van een zelfde gewas onder overigens gelijke omstandigheden ongelijk reageeren op de NaCl-concentratie van het voedingssubstraat.

Het is niet gemakkelijk, om uit de tegenstrijdige opgaven in de „keukenzoutliteratuur" ons een duidelijke voorstelling te maken van den invloed der Na-concentratie op den plantengroei, te minder, daar door geen der onderzoekers is nagegaan, in hoeverre de groeiverschillen aan het natrium dan wel aan het chloor of aan de totale concentratie moeten worden toegeschreven.

Dit is echter wel zeker, dat er een wezenlijk verschil bestaat tusschen den invloed der Na-concentratie en die der onmisbare elementen op den plantengroei. Terwijl een kleine stijging in de concentratie der onmisbare ionen in het gebied der lage concentraties een groote toeneming in groei tengevolge heeft, is dit bij het natrium niet het geval. Hoewel het verband tusschen den plantengroei en het Na-gehalte der oplossingen in dit concentratiegebied niet geheel grondig is bestudeerd, bevat de literatuur toch voldoende aanwijzingen, dat een dergelijke groote toeneming in groei niet optreedt bij opklimmende Na-concentraties. Ik herinner hierbij aan het onderzoek van BREAZEALE (1905), waarbij de groei der planten in een voedingsoplossing met 60 mgr. NaCl p. l. slechts 11 % grooter bleek te zijn dan in de oplossing zonder NaCl. Wij hebben verder gezien, dat door dezen schrijver in 1916 in een oplossing met 50 mgr. NaCl per liter zelfs een geringere opbrengst werd verkregen dan in de keukenzoutvrije oplossing. Ook door de meeste andere onderzoekers werd gevonden, dat de plantengroei in keukenzoutoplossingen, waarvan de concentratie niet al te hoog was, betrekkelijk weinig verschilde van die in de NaCl-vrije oplossingen. Het ligt dus voor de hand, dat er in het

gebied der zeer lage keukenzoutconcentraties slechts geringe opbrengstverschillen zullen optreden.

Ook in het gebied der hoogere concentraties schijnt de plant zich tegenover het natrium anders te gedragen als tegenover de onmisbare ionen. Wanneer men de in dit hoofdstuk behandelde literatuur met die van hoofdstuk I vergelijkt, dan krijgt men sterk den indruk, dat de plant zonder nadeel voor haar groei hoogere concentraties van het keukenzout kan verdragen dan van de elementen, die voor de voeding van de plant noodzakelijk zijn.

Hierin heb ik aanleiding gevonden om natriumnitraat als stikstofbron te verkiezen boven de drie andere in den aanvang van dit hoofdstuk genoemde salpeterzure zouten.

Aan den anderen kant bleek uit de literatuur, dat de plant niet altijd op dezelfde wijze reageert op het NaCl-gehalte der oplossingen. Wij hebben gezien, dat er in sommige gevallen van de Na-concentratie of van de Cl-concentratie op den plantengroei een grootere invloed kan uitgaan dan men van deze voor de plant feitelijk overbodige elementen zou verwachten.

Dit wil dus zeggen, dat zelfs bij gebruik van $NaNO_3$ als nitraatbron met een mogelijken invloed van het natrium rekening zal moeten worden gehouden.

Wanneer men zich echter bepaalt tot zeer lage concentraties, bijv. met het doel de minimumstikstofconcentratie voor maximalen groei vast te stellen, kan de invloed van de Na-concentratie worden veronachtzaamd, daar, zooals wij gezien hebben, in dit concentratiegebied geen groeiverschillen van beteekenis door het natrium veroorzaakt worden.

Bij proeven met lage concentraties is het trouwens onverschillig, in welken vorm het nitraat wordt toegediend, mits men zorg draagt, dat alle andere elementen, die de plant voor hare voeding noodig heeft, in voldoende hoeveelheid in de voedingsoplossing aanwezig zijn. Gesteld, dat wij den invloed van de NO_3-concentratie in een volledige voedingsoplossing tot een maximum van 10 mgr. N p. l. willen vaststellen, en dat wij het nitraat in den vorm van KNO_3 zouden toedienen, dan bestaat er tegen deze nitraatbron geen bezwaar, omdat in de stamoplossing reeds zooveel kalium voorhanden is, dat een kleine stijging van de K-concentratie geen invloed kan uitoefenen op den plantengroei. Ten overvloede moge er aan herinnerd worden, dat een geringe stijging in de concentratie der onmisbare ionen slechts in het gebied der zeer lage concentraties tot een belangrijke toeneming in groei aanleiding kan geven. Het be-

hoeft dus verder geen betoog, dat in een dergelijk geval met den invloed van het kation geen rekening behoeft te worden gehouden.

Anders wordt de zaak, wanneer het onderzoek wordt uitgestrekt tot hoogere concentraties. Wij hebben gezien, dat alle ionen een vermindering in groei veroorzaken, wanneer hun concentratie boven een zekere waarde stijgt, en dat deze grenswaarde voor de verschillende ionen ongelijk is. Indien dus bij een onderzoek naar den invloed van het NO_3-ion zou blijken, dat de plantengroei boven een zekere concentratie afneemt, dan rijst de vraag, die wij in den aanvang van dit hoofdstuk reeds hebben gesteld, in hoeverre het begeleidende kation oorzaak kan zijn geweest van dezen achteruitgang in groei.

Deze vraag is tot dusver door de meeste onderzoekers buiten beschouwing gelaten.

ARRHENIUS (1927, 1) bestudeerde den invloed van de NO_3-concentratie op den groei van verschillende gewassen met $NaNO_3$ als nitraatbron tot een maximum van 500 mgr. N p. l. Hij stelde bij verschillende planten een vermindering in opbrengst vast tusschen 50 en 500 mgr. N p. l., die door hem zonder commentaar aan de NO_3-concentratie werd toegeschreven. Een dergelijk onderzoek deed dezelfde schrijver met het fosfaation, dat eveneens als Na-zout aan de voedingsoplossing werd toegediend. De door hem in de hoogere concentraties vastgestelde opbrengstvermindering werd zonder meer op rekening gesteld van het fosfaation. In een andere proef werd door ARRHENIUS K_2SO_4 als K-bron aangewend. Deze keuze werd gemotiveerd met de woorden: „Als kalibron werd kaliumsulfaat gebezigd, om een zoo onschadelijk mogelijk negatief geladen ion te verkrijgen". De schrijver nam in de hoogere K_2SO_4-concentraties een vermindering in opbrengst waar en stelde het kaliumgehalte der oplossingen hiervoor aansprakelijk. Intusschen blijft de vraag bestaan, of niet de SO_4-concentratie (mede) verantwoordelijk is geweest voor deze opbrengstvermindering.

HOAGLAND en MARTIN (1923) hebben den invloed van de PO_4-concentratie op den groei van gerstplanten bestudeerd in oplossingen, die in den vorm van KH_2PO_4 0.7, 2.4, 9 en 120 mgr. PO_4 p. l. bevatten. In de sterkste oplossing werd een veel geringere opbrengst verkregen dan in de oplossing met 9 mgr. PO_4 p. l., hetgeen door deze onderzoekers eenvoudig aan het PO_4-gehalte der oplossingen werd toegeschreven.

Kort geleden heeft LUNDEGARDH (1932) een aantal proeven gepubliceerd, waarin o.m. de invloed van het K-ion, het PO_4-ion,

het NO_3-ion en het Mg-ion op den plantengroei tot zeer hooge concentraties werd bestudeerd. De zouten, die bij deze proeven werden aangewend, waren KCl voor de kaliproeven, KH_2PO_4 voor de fosfaatproeven, KNO_3 voor de nitraatproeven en $MgSO_4$ voor de Mg-proef. Door den schrijver werd echter in het midden gelaten, in hoeverre de door hem verkregen opbrengstverschillen aan de concentratie der begeleidende ionen moesten worden toegeschreven.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat ik mij de vraag heb gesteld, hoe men te werk moest gaan, om den invloed van het NO_3-ion zuiver te kunnen beoordeelen.

De meest voor de hand liggende methode zou zijn, dat wij het onderzoek niet beperkten tot één enkel nitraat, bijv. $NaNO_3$, maar dat wij ook van verschillende andere nitraten den invloed op den plantengroei zouden bestudeeren. Gesteld, dat wij de planten onder dezelfde omstandigheden kweekten in oplossingen met toenemend gehalte aan KNO_3, $Mg(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$ en $NaNO_3$, dan zouden wij een serie opbrengstkrommen verkrijgen, waaruit wellicht conclusies omtrent den invloed van het NO_3-ion op den plantengroei getrokken konden worden.

Daar deze methode voor een oriënteerend onderzoek te omslachtig scheen, heb ik mij tot het gebruik van natriumnitraat bepaald.

De vraag rees, of het niet mogelijk zou zijn, den invloed van het Na te elimineeren, door de concentratie van dit ion in alle kultuuroplossingen constant te houden. Dit zou bereikt kunnen worden, door aan alle oplossingen, met uitzondering alleen van de meest geconcentreerde oplossing, een zoodanige hoeveelheid van een ander natriumzout (bijv. NaCl) toe te voegen, dat alle oplossingen hetzelfde natriumgehalte bezaten als de oplossing met het hoogste gehalte aan natriumnitraat. Wanneer bijv. de concentratie van het $NaNO_3$ in deze oplossingen opklom van 1 tot 10 milli-aequivalenten per liter met intervallen van 1 milli-aequivalent, dan zou men hieraan resp. 9, 8, 7, ... tot 0 milli-aeq. NaCl kunnen toevoegen.

Deze methode, die ik in het vervolg de eliminatiemethode zal noemen, heeft het nadeel, dat met de elimineering van het Na-ion een andere variabele factor wordt ingevoerd, en wel in dit geval het Cl-ion, waarvan de invloed al even problematisch is als van het Na-ion.

Toch heeft deze methode in de tweede helft van de vorige eeuw goede diensten bewezen bij onderzoekingen naar de onmisbaarheid

der elementen. Wanneer bijv. kalium uit de voedingsoplossing moest worden weggelaten, werd het bijbehoorende metalloïd op dezelfde concentratie gehandhaafd, doordat men kalium door een ander metaal, bijv. natrium, verving. Men ondervond hierbij eveneens het bezwaar, dat het niet mogelijk is, een element weg te laten, zonder dat een meer of minder ingrijpende verandering in de samenstelling der voedingsoplossing werd teweeggebracht. Dit bezwaar is echter bij dergelijke proeven niet zoo heel groot, daar bij afwezigheid van een onmisbaar element de groei geheel tot stilstand komt, onverschillig, hoe de oplossing verder is samengesteld. Omgekeerd is bij weglating van een element, dat niet voor de plant noodzakelijk is, zelfs in het ongunstigste geval nog een vrij behoorlijke groei te verwachten. Dit neemt niet weg, dat men, zooals door PFEFFER (1897, I, 414) werd opgemerkt, bij toepassing van deze „Differenzmethode" er toch op verdacht moet zijn, „dass schon die veränderte Zusammensetzung der Nährlösung einen Einfluss auf das Gedeihen der Versuchsobjekte ausübt".

Eenige jaren geleden heeft dezelfde methode in principe toepassing gevonden in het proefschrift van S'JACOB. Door dezen onderzoeker werden de ziektesymptonen bestudeerd, die door gebrek en door overmaat aan kali, fosforzuur, kalk en stikstof bij peulgewassen worden teweegebracht. Op pag. 25 van deze dissertatie lezen wij omtrent de door hem gevolgde werkwijze het volgende: „Wanneer van een zout de concentratie sterk verminderd werd om een gebrek aan een bepaald ion te verkrijgen, werd het tegengestelde ion steeds weer als een ander zout aan de oplossing toegevoegd, om te voorkomen, dat de opgetreden beschadiging het gevolg zou zijn van een gebrek aan dit andere ion. Werd bijv., om een Ca-gebrek te verkrijgen, de concentratie van het Ca-fosfaat sterk verminderd, dan werd steeds een weinig Na-fosfaat aan de oplossing toegevoegd om de concentratie der fosfaat-ionen ongeveer gelijk te houden. In het tegengestelde geval werd een verhoogde concentratie van een ion bereikt door het als verschillende, ieder voor zich onschadelijke, zouten aan de oplossing toe te voegen, om te voorkomen, dat de tegengesteld geladen ionen mede de oorzaak van de beschadiging zouden zijn. Werd bijv. de concentratie van de K-ionen verhoogd, dan geschiedde dit in den vorm van secundair kaliumfosfaat, kaliumsulfaat en kaliumchloride."

Hoewel door S'JACOB een ander doel werd beoogd dan door mij, heeft de door hem gevolgde werkwijze m.i. toch het bezwaar, dat met het te onderzoeken ion zoo vele andere „factoren" worden

gevarieerd, zooals uit tabel 3 in dit proefschrift duidelijk blijkt. Klaarblijkelijk heeft het niet in de bedoeling van den auteur gelegen, om de concentratie van het tegensteld geladen ion constant te houden. Het gevolg hiervan is geweest, dat de oplossingen een grootere verandering hebben ondergaan dan het geval geweest zou zijn, indien het eliminatie-principe consequent was toegepast. Zoo zien wij in de genoemde tabel, dat in de oplossing „met veel kali" het gehalte aan Cl, SO_4 en PO_4 veel grooter is geweest dan in de oplossing „met weinig kali". Opmerkelijk is verder nog, dat deze onderzoeker bij zijn stikstofproeven KNO_3 heeft aangewend zonder een poging te hebben gedaan, om den invloed van het K-ion te elimineeren.

Wanneer wij het bovenstaande nog eens overzien, dan kan gezegd worden, dat het met behulp van de eliminatiemethode, zooals deze bij onderzoekingen betreffende de onmisbaarheid der elementen voor den plantengroei meermalen met bevredigend succes werd toegepast, niet mogelijk is, om den invloed van de concentratie van een bepaald ion op den plantengroei vast te stellen, daar bij variatie van dit ion de concentratie van het bijbehoorende, tegengesteld geladen ion niet constant kan worden gehouden, zonder dat een andere variabele „factor" in de oplossingen wordt ingevoerd.

Men zou nog op de gedachte kunnen komen, om den invloed van het Na-ion uit te schakelen, door naast de kulturen met opklimmende $NaNO_3$-concentratie een reeks kulturen aan te zetten in oplossingen, waarin een ander Na-zout, bijv. NaCl, in stijgende, aequivalente hoeveelheden is toegevoegd. Een onoverkomelijk bezwaar is, dat aan de oplossingen der NaCl-reeks een ander stikstofzout zou moeten worden toegevoegd, om stikstofgebrek buiten te sluiten. Doch zelfs indien de plant voor haar groei geen stikstof noodig had, dan zou deze werkwijze ons niet verder brengen, omdat de overeenkomstige, aequivalente oplossingen in beide reeksen weliswaar eenzelfde Na-concentratie bezitten, doch ongelijk zijn zoowel in de concentratie der NO_3-ionen als in die der Cl-ionen.

Dit kan toegelicht worden aan een voorbeeld in de literatuur, waarin deze methode toepassing heeft gevonden. SCHARRER en SCHROPP (1932) hebben een onderzoek gedaan naar de werking van het fluoor-ion op den groei van jonge graanplanten. Zij kweekten de planten in verschillende grondsoorten, waaraan stijgende hoeveelheden KF waren toegevoegd. Bij verschillende gewassen werd in zandgrond bij de grootere giften een toeneming in groei vastgesteld. De schrijvers veronderstellen nu, dat er van

het fluoor een zwakke, nadeelige werking op den groei is uitgegaan, maar dat deze door den stimuleerenden invloed van het kalium dermate is overtroffen, dat hij in de gewichten der planten niet tot uiting is gekomen. „Um die Wirkung des Kations auszuschalten, bezw. die Wirkung des Fluor-Ions für sich zu isolieren", zoo lezen we in deze publicatie, „wurden ausserdem in einer besonderen Versuchsreihe die den jeweiligen KF-Gaben aequivalenten Kaliummengen als K_2SO_4 vergleichsweise verabreicht". De onderzoekers stelden in de K_2SO_4-reeks in den regel een iets grootere opbrengst vast dan in de aequivalente KF-oplossingen, en concludeerden hieruit, dat het fluoor-ion in de KF-reeks een geringen nadeeligen invloed op den groei heeft uitgeoefend. Deze conclusie lijkt me niet juist, aangezien men evengoed kan aannemen, dat de grootere opbrengsten van de planten in de K_2SO_4-reeks door het SO_4-ion zijn teweeggebracht. Een tweede bedenking is, dat door de schrijvers stilzwijgend is aangenomen, dat de invloed van de K-concentratie op den groei in deze beide reeksen gelijk is geweest. M.i. is het niet ondenkbaar, dat de werking van het kalium op den groei ongelijk is, al naargelang het kalium met gelijkwaardige hoeveelheden fluoor dan wel met aequivalente hoeveelheden SO_4 is geequilibreerd.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat de literatuur mij geen methode aan de hand heeft kunnen doen, om den invloed van het kation op bevredigende wijze uit te schakelen. Ten slotte heb ik een methode toegepast, die beter aan dit doel scheen te beantwoorden. Deze werkwijze, waarvan in het volgende hoofdstuk eenige toepassingen worden gegeven, is hieronder aan de hand van tabel 1 (pag. 44) nader uiteengezet.

In kolom 3 en 4 van deze tabel zijn het $NaNO_3$-gehalte en het Na_2SO_4-gehalte van de gebruikte voedingsoplossingen van eenige kultuurseries met opklimmende nitraatconcentratie opgegeven. De nummers der proefseries in de eerste kolom stemmen overeen met de waarden der stikstofconcentratie in mgr. p. l. (2e kolom). In de laatste twee kolommen vindt men de concentratie van het $NaNO_3$ en van het Na_2SO_4 der kultuuroplossingen uitgedrukt in m.aeq. p. l. De tabel maakt het duidelijk, dat met elke N-concentratie twee series planten werden aangezet, waarvan er in de eerste kolom één met het symbool Na is aangeduid. De oplossingen van deze Na-series verschillen van die der zusterseries, doordat zij een extra gift Na_2SO_4 hebben ontvangen. Zij bevatten dus evenveel stikstof als de

TABEL 1.

1	2	3	4	5	6
Nummer van de serie.	N-conc. in mgr. p. l.	$NaNO_3$-conc. in mgr. p. l.	Na_2SO_4-conc. in mgr. p. l.	$NaNO_3$-conc. in m. aeq. p. l.	Na_2SO_4-conc. in m. aeq. p. l.
14	14	85	—	1	—
14Na	14	85	142	1	2
42	42	255	—	3	—
42Na	42	255	142	3	2
70	70	425	—	5	—
70Na	70	425	284	5	4
126	126	765	—	9	—
126Na	126	765	284	9	4
enz.	enz.	enz.	enz.	enz.	enz.

oplossingen der zusterseries, doch meer natrium. De hoeveelheid Na_2SO_4 werd zoodanig gekozen, dat de Na-concentratie van de oplossingen der Na-series gelijk was aan het Na-gehalte van de daarbij aansluitende oplossingen met hoogere N-concentratie. In alle oplossingen zijn verder de zouten aanwezig, die op pag. 21 zijn vermeld.

Zoodoende komen de oplossingen van de series 14 en 14Na overeen in het stikstofgehalte, terwijl zij van elkaar verschillen in de concentratie van het natrium. 14Na bevat minder stikstof dan 42, doch evenveel natrium, enz. Tusschen de oplossingen van serie 70 en 126 bestaat een verschil van 4 m.aeq. N p. l., d.i. een 2 maal zoo groot verschil als tusschen de series 42 en 70. In overeenstemming hiermee werd aan de oplossing van serie 70Na een extra-dosis Na_2SO_4 toegevoegd ten bedrage van 4 m.aeq. p. l.

Het is duidelijk, dat in deze methode hetzelfde beginsel in toepassing is gebracht, als aan de boven beschreven „Differenzmethode" ten grondslag heeft gelegen. Het verschil bestond slechts hierin, dat de eliminatie van het Na-ion werd toegepast op kleine intervallen, hetgeen twee voordeelen had:

1. De samenstelling van de oplossingen onderging daardoor slechts een kleine verandering.

2. De Na-concentratie en de NO_3-concentratie werden a.h.w. wederzijds geëlimineerd, zoodat de invloed van de concentratie van deze beide ionen op den plantengroei afzonderlijk kon worden vastgesteld.

Aan den anderen kant heeft deze werkwijze met de „Differenzmethode" het bezwaar gemeen, dat met de elimineering van het Na-ion de concentratie van een ander, tegengesteld geladen, ion (in casu het SO_4-ion) aan verandering onderhevig is. Hoewel dit bezwaar niet geheel kon worden ondervangen, werden met deze methode toch bevredigende resultaten verkregen.

HOOFDSTUK IV.

VOORLOOPIG ONDERZOEK.

In dit hoofstuk worden drie proeven beschreven, waarbij de eliminatiemethode werd toegepast, waarvan in het vorige hoofdstuk een uiteenzetting werd gegeven.

1e Proef. Proefduur 31 dagen (5 Juni—6 Juli 1928).

In deze proef werd de invloed van drieërlei nitraatconcentraties vergeleken, t.w. 14, 70 en 126 mgr. nitraatstikstof per liter voedingsoplossing (resp. 1, 5 en 9 m.aeq. N p. l.). Er werden 9 series aangezet in 3 groepen van drie. In de eerste groep werd aan de stamoplossing uitsluitend $NaNO_3$ in opklimmende hoeveelheden toegevoegd; de series van de tweede groep hadden dezelfde samenstelling als die der eerste groep, maar werden bovendien van een gift Na_2SO_4 voorzien, om den invloed van het natrium te elimineeren; de derde groep verschilde van de tweede groep hierin, dat in plaats van Na_2SO_4 een daaraan aequivalente hoeveelheid K_2SO_4 werd toegediend. Deze groep werd er aan toegevoegd, om een vergelijking te kunnen maken tusschen den invloed van het Na-gehalte en dien van het K-gehalte der voedingsoplossing op den plantengroei bij overeenkomstige N-concentratie. Tabel 2 (pag. 47) geeft een overzicht van de samenstelling dezer oplossingen.

Per serie werden 50 tarwekorrels te kiemen gelegd in kiemschalen met 1.5 liter voedingsoplossing. Het gewicht der korrels varieerde van 43 tot 47 mgr. Van het „zaad" kiemden per schaal gemiddeld 46 korrels. In de series 14, 14Na en 14K was gemiddeld per kiemplantje beschikbaar $1.5 \times {}^{14}/_{46} = {}^{21}/_{46} = 0.46$ mgr. N. In de series 70 en 126 was per korrel resp. gem. 2.3 en 4.1 mgr. N voorhanden. De groei der plantjes in de kiemschalen was, op het oog beoordeeld, gelijk. Op den 7en dag werden van elke serie 14 plantjes van ongeveer gelijke grootte overgebracht in kultuurcylinders met 2400 cc oplossing, waarin 7 plantjes werden geplaatst. Per plant was dus in de diverse ververschingsperioden beschikbaar 343 cc opl., d.i. in de series 14, 70 en 126 resp. 4.8, 24 en 43 mgr. N.

TABEL 2.

Samenstelling der voedingsoplossingen (1e proef).
Met S is de conc. der stamoplossing bedoeld.
(Zie voor de samenstelling der stamoplossing pag. 21).

1	2	3	4	5	6
Nummer van de serie.	N-conc. in mgr. p. l.	Samenstelling der oplossingen in mgr. p. l.	N-conc. in m. aeq. p. l.	Na-conc. in m. aeq. p. l.	K-conc. in m aeq. p. l.
14	14	S + 85 $NaNO_3$	1	1	3 [1]
70	70	S + 425 $NaNO_3$	5	5	3
126	126	S + 766 $NaNO_3$	9	9	3
14Na	14	S + 85 $NaNO_3$ + 284 Na_2SO_4	1	5	3
70Na	70	S + 425 $NaNO_3$ + 284 Na_2SO_4	5	9	3
126Na	126	S + 766 $NaNO_3$ + 284 Na_2SO_4	9	13	3
14K	14	S + 85 $NaNO_3$ + 349 K_2SO_4	1	1	7
70K	70	S + 425 $NaNO_3$ + 349 K_2SO_4	5	5	7
126K	126	S + 766 $NaNO_3$ + 349 K_2SO_4	9	9	7

[1]) In de stamoplossing waren in den vorm van K_2SO_4, KH_2PO_4 en K_2HPO_4 reeds 3 milligr.-ionen K p. l. voorhanden.

In de kiemingsperiode werden de oplossingen resp. na 4 en na 3 dagen ververscht. Na het overbrengen der plantjes in de kultuurcylinders werd 3 maal achtereen na verloop van 7 dagen een verversching gegeven. Drie dagen na de laatste verversching werd de proef beëindigd.

De pH der versche oplossing bedroeg 6.6. In de eerste weken bleef deze onveranderd; in de derde week en later bleek bij de verversching, dat de pH in de oplossingen met 70 en 126 mgr. N p. l. tot 6.8 was gestegen. Bij serie 14 bleef zij echter tot het einde van de proef constant.

De planten ontwikkelden zich normaal. Aanvankelijk waren er geen merkbare verschillen tusschen de diverse series. Op den 18en dag werd bij de 3 series met 14 mgr. N p. l. (d.i. serie 14, 14Na en 14K) een duidelijke achterstand in groei opgemerkt; daags daarna werden deze planten geel. Zij vertoonden het typische beeld van stikstofgebrek. Eerst werd het oudste blad bij de top geel; dit verschijnsel schreed basipetaal voort, totdat het geheele blad geel ge-

worden was. Spoedig daarna vertoonde dit verschijnsel zich bij het eerstvolgende jongere blad. Eenige dagen later hadden alle oudere bladen een gele kleur aangenomen, terwijl de jongste bladen, hoewel nog groen, bleeker waren dan normaal. De planten herstelden zich niet, nadat op den 21en dag de voedingsoplossingen waren ververscht. Nemen wij aan, dat de oplossingen in de laatste dagen voor deze ververscheing geen N meer bevatten, dan kunnen wij een schatting doen naar de hoeveelheid N, die door de tarweplanten in de 3e week is opgenomen. De voorafgaande ververscheing had plaats gehad op den 14en dag. Er was toen in de series no. 14 per plant circa 5 mgr. N beschikbaar. Er moet dan in de periode van den 14en tot den 19en dag, toen de chlorose het eerst werd opgemerkt, gemiddeld 1 mgr. per dag per plant zijn opgenomen. Deze waarde stemt inderdaad goed overeen met de N-opname, die in de latere proeven in dezelfde periode werd vastgesteld, door bij elke ververscheing het N-gehalte der gebruikte voedingsoplossing te bepalen.

Het stikstofgebrek in de oplossingen no. 14 kan ons misschien een aanwijziging geven, waarom de pH in deze oplossingen in tegenstelling met die van serie 70 en 126 onveranderd is gebleven. Reeds lang is het bekend, dat het voedingssubstraat onder den invloed der plant een reactieverandering kan ondergaan. Het verschijnsel kon pas verklaard worden, nadat door Sv. ARRHENIUS en door OSTWALD de ionentheorie was opgesteld. PANTANELLI (1915) toonde aan, dat de kationen en de anionen in den regel niet in aequivalente hoeveelheden uit de oplossingen worden opgenomen, en dat er door de wortels andere ionen worden afgescheiden, die tot het herstel van het electrostatische evenwicht kunnen bijdragen [1]). Het lag voor de hand, dat dit ook tot een verandering in de reactie van het voedingssubstraat aanleiding zou kunnen geven. Inderdaad werd door HOAGLAND (1923) aangetoond, dat er bij een grootere opname van anionen HCO_3-ionen aan de voedingsoplossing worden afgestaan. Vooral bij opname van NO_3-ionen kunnen op deze wijze aanzienlijke hoeveelheden HCO_3 in de voedingsoplossing terecht komen.

Daar in de oplossingen met 14 mgr. N per liter aanmerkelijk minder nitraationen door de planten werden opgenomen dan uit de oplossingen met 70 en 126 mgr. N per liter, is het denkbaar, dat de plantenwortels aan de eerstgenoemde oplossingen minder HCO_3-ionen hebben afgestaan dan aan de sterkere oplossingen, en dat in

---

[1]) Zie in dit verband ook RIPPPEL (1926).

deze richting de verklaring gezocht moet worden van de ongelijke stijging der pH in de door mij aangewende oplossingen. Ik ben me wel bewust, dat deze verklaringsmogelijkheid een zeer hypothetisch karakter draagt. In werkelijkheid is de uitwisseling der ionen tusschen den plantenwortel en zijn milieu een gecompliceerd verschijnsel, dat nog niet voldoende opgehelderd is. Zoo werd in recente proeven van PIRSCHLE (1932) uit oplossingen van het physiologisch alkalische KNO_3 in den regel meer K dan NO_3 door de planten opgenomen. De auteur kwam tot de conclusie, „dass die Beziehungen zwischen einseitiger Mehraufnahme an Salz-Ionen, pH und physiologischer Reaktion locker sind und je nach den Bedingungen sehr verschieden ausfallen können" [1]).

Resultaten. Tabel 3 en fig. 1 geven een overzicht van de gewichten der geoogste planten. Zij doen ons zien, dat de series 14, 14Na en 14 K tengevolge van N-gebrek aanmerkelijk geringere opbrengsten hebben gegeven dan de series, waarvan de beginconcentratie der voedingsoplossingen 70 en 126 mgr. N p. l. heeft bedragen. Dit geldt echter niet voor de gewichten der wortels. Het N-tekort in de oplossingen 14, 14Na en 14K is blijkbaar gunstig geweest voor de ontwikkeling van het wortelstelsel, een bekend verschijnsel, waarvan talrijke voorbeelden in de literatuur te vinden zijn [2]).

Vergelijken we nu in tabel 3 of in fig. 1 de opbrengsten van de series 14, 70 en 126 met de daarmee overeenkomende Na-series, dan valt het op, dat er tusschen de gewichten dezer series slechts geringe verschillen bestaan. Wel schijnt de Na-gift den groei in alle gevallen iets bevorderd te hebben, maar de verschillen zijn zóó gering, dat aan het Na slechts een geringe invloed behoeft te worden toegekend (tabel 4).

Dit kan niet gezegd worden van het kalium. Het gewichtsverschil tusschen de series 70 en 70K is meer dan 3 maal zoo groot als de middelbare fout van dit verschil, zoodat invloeden van toevalligen aard gevoegelijk buiten beschouwing kunnen blijven. Het schijnt dus, dat de stijging van de K-concentratie van 3 tot 7 milligramionen per liter in oplossing 70 een duidelijke vermeerdering in groei heeft veroorzaakt. Het is echter opmerkelijk, dat de plantengroei in de oplossingen met 14 en 126 mgr. N p. l. door de toediening van K_2SO_4 slechts weinig is toegenomen. Ten aanzien van serie 14 behoeft dit

[1]) Zie ook PIRSCHLE en MENGDEHL (1931).

[2]) Door DIDDENS (1931) werd een dergelijk geval bij vlas, door S' JACOB (1927) bij Phaseolus en door VAN DEN HONERT (1932) bij suikerriet beschreven.

niet te verwonderen, daar de beschikbare hoeveelheid stikstof hierbij zoo sterk „in het minimum" heeft verkeerd, dat de stijging der K-concentratie haar invloed niet of nauwelijks heeft kunnen doen gelden. Hoewel het gewicht van serie 126K slechts weinig grooter werd gevonden dan dat van serie 126, krijgt men uit tabel 3 en 4

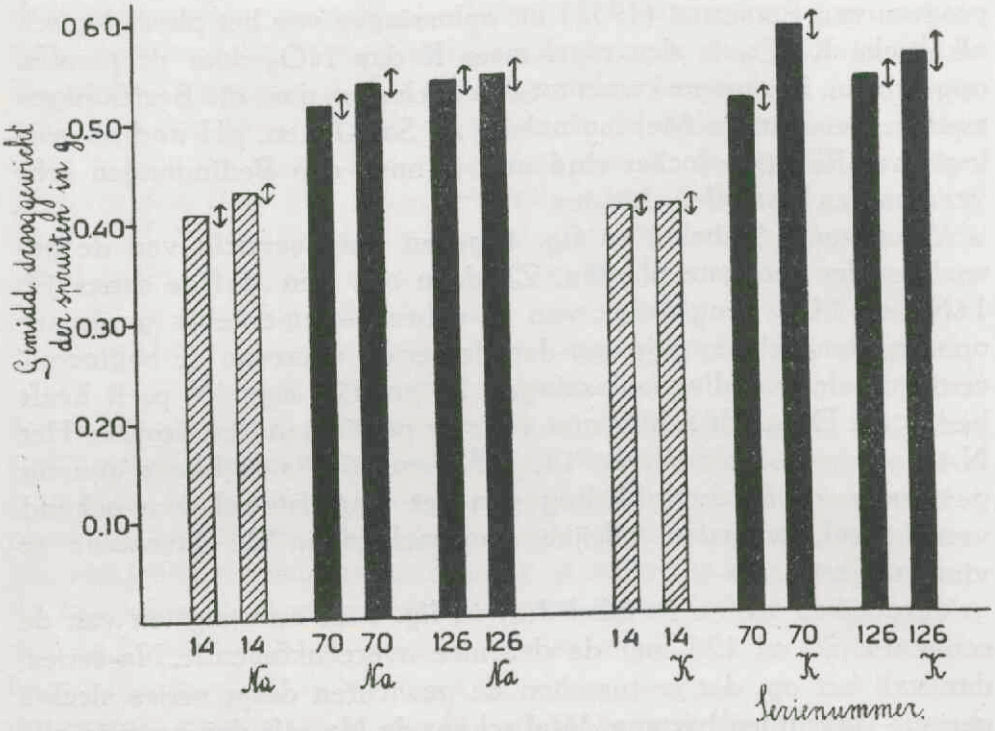

Fig. 1. Het gemiddelde drooggewicht der spruiten (1e proef) [1]).

toch wel den indruk, dat de planten in de sterkere nitraatoplossingen op de stijging van het K-gehalte der oplossing gevoeliger hebben gereageerd dan op de stijging van het Na-gehalte. Wij zien daaruit, dat het bij proeven over den invloed van de NO_3-concentratie op den plantengroei geen aanbeveling verdient, KNO_3 als N-bron aan te wenden.

Daar verder uit tabel 4 genoegzaam blijkt, dat de Na-concentratie slechts een geringen invloed heeft gehad op den groei der tarweplanten, heb ik de uitkomsten van de series 14, 70 en 126 met die van de daarmee correspondeerende Na-series in tabel 5 gecombineerd.

---

1) In alle figuren, waarin het drooggewicht der kulturen graphisch is voorgesteld, is de middelbare fout met pijltjes aangegeven.

Wanneer wij uit deze tabel gevolgtrekkingen willen maken omtrent den invloed van de N-concentratie der voedingsoplossingen op den plantengroei, dan dient serie 14 buiten beschouwing te worden gelaten, daar immers het N-gehalte in deze oplossingen dermate is gedaald, dat de planten gebrek hebben geleden [1]). Ook ten aanzien van de kulturen 70 en 126 moeten wij ons eerst rekenschap geven van de daling van het N-gehalte in de diverse ververschingsperioden. Aangezien deze niet werd bepaald, verwijs ik naar de derde proef, waar de N-opname der planten in achtereenvolgende groeiperioden werd vastgesteld (fig. 5, pag. 62). Hierbij werd gevonden, dat de N-opname in de 4e week onder gunstige groeiomstandigheden per plant per etmaal gemiddeld ongeveer 2.5 mgr. bedraagt. Aangezien in de proef, die hier wordt beschreven, het aantal zonne-uren in de 4e week geringer en de temperatuur lager was dan gedurende dezelfde periode in de 3e proef, en de N-opname bij minder gunstige weersomstandigheden geringer wordt, zullen wij aannemen, dat in deze proef in de laatste week voor den oogst per plant gemiddeld 2 mgr. N per etmaal is opgenomen. In dat geval is er van de 24 mgr. N, die in de voedingsoplossing met 70 mgr. N p. l. voor elke plant beschikbaar was, in de 4e week circa 14 mgr. opgenomen. Derhalve is het N-gehalte in deze oplossingen bij benadering tot $^{10}/_{24} \times 70 = 30$ mgr. N p. l. gedaald. Aangezien verder de N-concentratie in oplossing 126, waarin per plant 43 mgr. N beschikbaar was, in die zelfde periode gedaald moet zijn tot $^{29}/_{43} \times 126 = 85$ mgr. p. l., ligt het vermoeden voor de hand, dat de groei van de planten in deze proef binnen betrekkelijk wijde grenzen (in casu tusschen circa 30 en 126 mgr. N p. l.) weinig of niet afhankelijk is geweest van het NO_3-gehalte en van het Na-gehalte der oplossingen.

In tabel 5 zijn verder nog de drogestofgehalten opgegeven, die berekend zijn uit de versch- en drooggewichten. Het geringste gehalte aan droge stof, d.i. het grootste vochtgehalte, bezaten de planten van serie 70; ook in de volgende proeven werd het laagste drogestofgehalte meermalen bij serie 70 aangetroffen.

2e Proef. Proefduur 22 dagen (17 Juli-8 Aug. 1928). Hierin werd de invloed van de N-concentratie en van de Na-concentratie op den groei der tarweplanten over een breeder concentratiegebied bestudeerd dan in de eerste proef. Overigens werd de proef op

---

[1]) In fig. 1, 2 en 6 heb ik de opbrengsten van de series, die gebrek hebben geleden, gearceerd voorgesteld.

dezelfde wijze ingericht als de voorafgaande; alleen werden de K-series achterwege gelaten.

De proef omvatte 19 series. De N-concentraties, waarvan de invloed op den plantengroei werd vergeleken, waren 14, 42, 70, 126, 182, 238, 294, 350, 406 en 462 mgr. N p. l. De N-concentratie nam dus aanvankelijk toe met 2, later met 4 m.aeq. p. l. Telkens tusschen 2 series met opklimmende N-concentratie werd een Na-serie ingeschakeld op de wijze, als in hoofdstuk 3 (p. 43 e.v.) is beschreven. De 19 series werden naar gelang van het N-gehalte der oplossingen met de nummers 14, 42, 70 enz. onderscheiden. Voor zoover aan de voedingsoplossingen Na_2SO_4 werd toegevoegd, werd dit wederom met het symbool Na aangeduid. Voor een goed begrip van de samenstelling der oplossingen moge verder naar tabel 1 op pag. 44 en naar de 2e alinea op pag. 21 worden verwezen.

Per serie werden 50 tarwekorrels te kiemen gelegd in schalen met 1.5 l. voedingsoplossing. Het gewicht der korrels varieerde van 43 tot 47 mgr. Daar evenals in de eerste proef per serie om en bij 46 korrels kiemden, was in serie 14 circa 0.5 mgr. N en in serie 42 circa 1.4 mgr. N per kiemplantje beschikbaar. Dit bedrag nam met de N-concentratie der oplossingen toe tot een maximum van 15 mgr. N in serie 462. Het „zaad" kiemde gelijkmatig. Op den 8en dag werden per serie 14 plantjes van ongeveer gelijke grootte overgebracht in kultuurcylinders met 2400 cc voedingsoplossing, waarin 7 plantjes werden geplaatst. Hierbij werd waargenomen, dat de wortels der plantjes in de hoogere concentraties korter waren dan in de meer verdunde oplossingen. Tusschen de groene deelen der plantjes was echter, op het oog beoordeeld, geen verschil. In de kultuurcylinders was in de diverse ververschingsperioden per plant beschikbaar 343 cc oplossing, d.i. in de series 14, 42, 70, 126 enz. resp. 4.8, 14, 24, 34 enz. mgr. N.

In de kiemingsperiode werden de kulturen eerst na 4 dagen en daarna om den anderen dag ververscht. Na plaatsing der planten in de cylinders werd slechts eenmaal — op den 15en dag — een versche oplossing toegediend.

De pH liep in de laatste dagen der kiemingsperiode op van 6.6 tot 6.9. In de kultuurcylinders steeg deze waarde in de eerste 7 dagen tot 6.8, in de laatste week voor den oogst tot 7. Alleen in kultuur 14 nam de pH in de laatste week slechts toe tot 6.8.

De planten ontwikkelden zich normaal. Alleen die van serie 14 bleven reeds in de 2e week iets bij de andere series achter. In den loop van de 3e week werd dit verschil grooter en openbaarden zich

bij deze serie verschijnselen van N-gebrek. De overige kulturen gaven slechts geringe groeiverschillen te zien. Wel kreeg ik den indruk, dat de planten in de sterkere oplossingen iets kleiner en minder uitgestoeld waren dan die van de series 42 t/m 182.

Bij de beide laatste ververschingen werd het N-gehalte bepaald zoowel van de versche als van de gebruikte voedingsoplossing van serie 70, 70Na, 182, 294, 294Na en 406. Daar verder van alle kulturen de verdamping werd vastgesteld, kon worden berekend, hoeveel N in die perioden door de genoemde kulturen is opgenomen.

Uit tabel 6, waarin het N-gehalte der voedingsoplossingen is opgegeven, blijkt, dat de concentratie in de sterkere oplossingen is gestegen. Daarentegen is zij in de zwakkere oplossingen gedaald, en wel des te meer, naarmate de aanvangsconcentratie lager was. Het keerpunt is gelegen tusschen een concentratie van 182 en 294 mgr. N. per liter. Klaarblijkelijk heeft de plant het nitraat uit de sterkere oplossingen in een minder hooge concentratie opgenomen, dan haar in deze oplossingen ter beschikking stond. Omgekeerd is het nitraat uit de zwakkere oplossingen in een hoogere concentratie opgenomen.

Reeds in 1804 werd door DE SAUSSURE aangetoond, dat water en voedingszouten door de plant in een andere verhouding kunnen worden opgenomen, dan waarin deze in het voedingssubstraat aanwezig zijn. Nadien is dit talrijke malen bevestigd. Zoo werd bijv. door HOAGLAND (1919) waargenomen, dat het zoutgehalte der voedingsoplossingen onder den invloed der plant een stijging of een daling kan ondergaan, al naardat de voedingsoplossing meer of minder geconcentreerd is.

In tabel 7 is de N-opname in de beide laatste weken opgegeven. De tabel doet ons zien, dat uit de sterkere oplossingen minder N door de plant is opgenomen dan uit de zwakkere. De N-opname der „lagere" series heeft in de 3e week per etmaal circa 1 mgr. bedragen. Door dit laatste wordt het begrijpelijk, waarom de planten van serie 14 in den loop van de 3e week kenteekenen van N-gebrek gingen vertoonen. Immers in de oplossing van deze serie was aanvankelijk per cylinder $14 \times 2.4 = 33.6$ mgr. N d.i. per plant slechts $33.6/7 = 4.8$ mgr. N voorhanden, zoodat in den loop der derde week alle stikstof aan de voedingsoplossing moest worden onttrokken. In diezelfde periode moet de concentratie van oplossing 42 eveneens een aanzienlijke daling hebben ondergaan. In deze oplossing was per plant $42 \times 2.4/7 = 14$ mgr. N beschikbaar, waarvan in de 3e week circa 7 mgr. door de plant werd opgenomen. Daar de verdamping in die periode gering was in verhouding tot de

beschikbare hoeveelheid voedingsoplossing, mogen wij aannemen, dat de N-concentratie der oplossing bij serie 42 in de 3e week ongeveer tot de helft is gereduceerd.

Resultaten. In tabel 8 zijn de gewichten van de geoogste series en van de Na-series opgegeven. Teneinde de opbrengst der series met die der overeenkomstige Na-series gemakkelijker te kunnen vergelijken, zijn de gewichten van de spruiten dezer series grafisch voorgesteld in fig. 2.

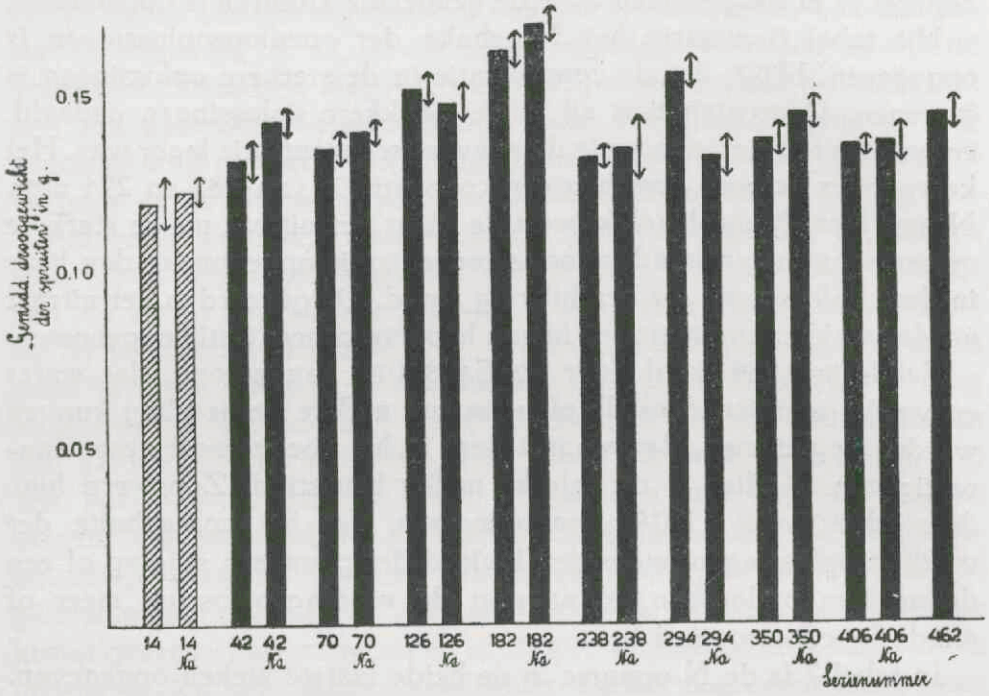

Fig. 2. Het gemiddelde drooggewicht der spruiten (2e proef).

Ook werd het verschil bepaald tusschen de gewichten van de groene deelen der diverse series en van de daarmee correspondeerende Na-series en van deze verschillen de middelbare fout berekend. Het resultaat van deze berekening vindt men in tabel 9.

Zoowel fig. 2 als tabel 9 doen ons zien, dat de invloed van het Na-gehalte der voedingsoplossing op den plantengroei gering is geweest. Meestal werd het verschil negatief, enkele malen positief gevonden, doch gemiddeld zóó gering dat hieraan slechts weinig beteekenis kon worden toegekend. Dat de Na-series in de meeste gevallen een iets grooter gewicht hebben opgeleverd, kan men echter opvatten als een aanwijzing, dat het natrium een geringe stimuleerende werking op den plantengroei heeft uitgeoefend. Dit

is trouwens in overeenstemming met hetgeen door de meeste auteurs bij proeven over den invloed van het NaCl-gehalte der voedingsoplossing op den plantengroei werd waargenomen. Bovendien pleit nog voor deze onderstelling, dat de Na-series in de eerste proef eveneens grootere opbrengsten hebben gegeven dan de overeenkomstige series zonder Na_2SO_4. Bij beide proeven is de invloed van het natrium echter gering geweest.

Ik heb daarom evenals in de vorige proef de diverse series met hunne Na-series vereenigd, en daarmede het aantal series teruggebracht tot het aantal N-concentraties, waarvan de invloed op den plantengroei moest worden bestudeerd. De gecombineerde series bestonden dus uit 28 planten, met uitzondering alleen van serie 462, die wegens het ontbreken der Na-serie slechts 14 planten telde.

Zoo zijn dan in tabel 10 de gemiddelde gewichten en andere grootheden opgegeven, die betrekking hebben op series van 28 planten. In fig. 3 zijn de drooggewichten der spruiten graphisch voorgesteld. Van serie 14 werden de gewichten weggelaten; deze serie kan ons nl. geen juist beeld geven van den invloed der N-concentratie op den groei, daar de concentratie hierbij een te groote daling heeft ondergaan.

Wanneer wij de drooggewichten van de diverse series in fig. 3 of in tabel 10 met elkaar vergelijken, dan blijkt, dat deze betrekkelijk weinig uiteenloopen. Dit is niet alleen bij de spruiten doch ook bij de geheele planten het geval. Wel neemt het gewicht vanaf serie 70 tot serie 182 aanmerkelijk toe, doch deze gewichtsvermeerdering wordt tusschen 182 en 238 door een vrij sterke daling gevolgd. Bij stijging van de N-concentratie boven 238 mgr. p. l. is de groei niet verder afgenomen. In dit gebied schommelen de gewichten om een waarde, die slechts weinig van het drooggewicht van serie 70 verschilt. Ten aanzien van den invloed der N-concentratie op den plantengroei moet dus worden geconcludeerd, dat de groei in deze proef tusschen een concentratie van 70 en 182 mgr. N p. l. is toegenomen, maar dat deze overigens binnen wijde grenzen weinig afhankelijk is geweest van het N-gehalte der voedingsoplossingen.

Kolom 8 van tabel 10 doet ons verder zien, dat van serie 126 en van serie 182 niet alleen het drooggewicht, doch ook het N-gehalte der planten grooter is geweest dan van de overige series. Heel opmerkelijk is, dat dit N-gehalte in de sterkere oplossingen betrekkelijk laag werd gevonden en dat dit zelfs geringer is geweest dan het

N-gehalte van serie 14, hoewel alleen deze laatste serie symptomen van N-gebrek heeft vertoond. In elk geval wijst dit er op, dat de hoogere N-concentraties een beperkenden invloed op de N-opname der planten hebben uitgeoefend. Hoe wij ons dezen invloed moeten denken en welk verband er in dit concentratiegebied bestaat tusschen

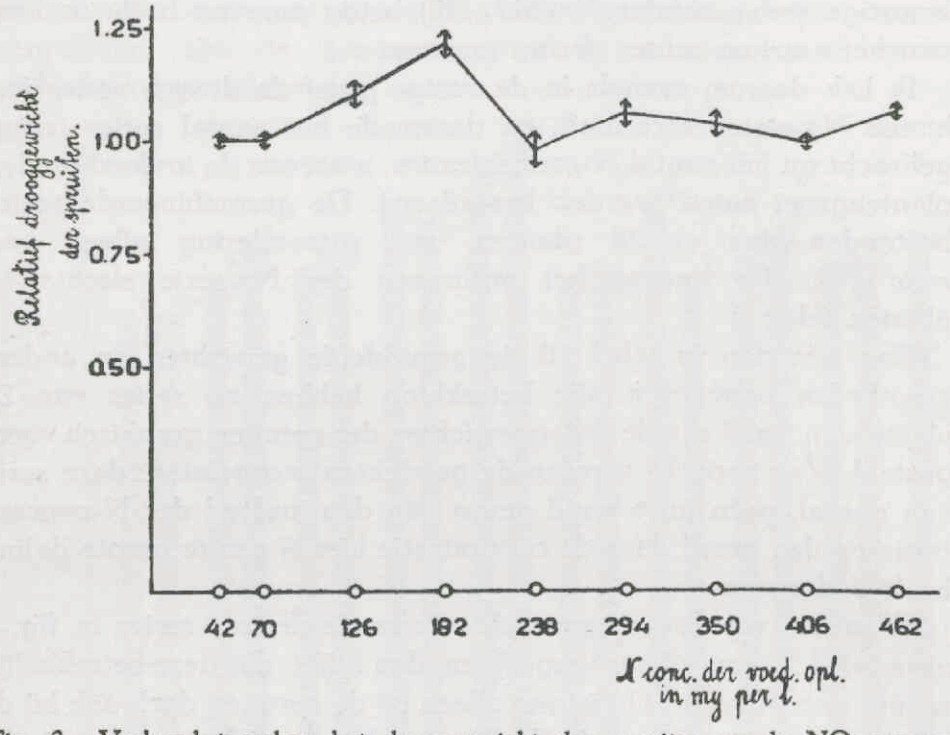

Fig. 3. Verband tusschen het drooggewicht der spruiten en de NO_3-concentratie der voedingsoplossing (2e proef). (Het drooggewicht van serie 70 is als eenheid aangenomen).

de N-opname en den groei der planten, zijn vragen, waarmee ik mij in dit onderzoek niet heb beziggehouden. Het is niet mijn bedoeling geweest, het *oorzakelijk* verband tusschen den groei der planten en de N-concentratie der voedingsoplossingen op te sporen.

Behalve het totale gehalte aan stikstof in kolom 8 heb ik in kolom 9 en 10 van tabel 10 het nitraatstikstofgehalte der planten en het gehalte aan organisch gebonden stikstof opgegeven. Dit laatste werd bij de planten, die in de sterkere nitraatoplossingen waren gekweekt, lager gevonden dan in de kulturen 42 t/m 182. Zeer laag is dit gehalte bij kultuur 462. Daarentegen blijkt het nitraatgehalte der planten behoudens een enkele onverklaarbare afwijking over de geheele linie weinig te varieeren, waaruit dus volgt, dat het nitraatgehalte der planten in de sterkere oplossingen in verhouding

tot het totaal stikstofgehalte grooter is geweest dan bij de overige kulturen. Klaarblijkelijk is het vermogen der planten, om uit het opgenomen nitraat eiwit te vormen, in de sterkere nitraatoplossingen geringer geweest dan in de zwakkere.

Het drogestofgehalte (kolom 6, tabel 10) vertoont een minimum bij serie 70. Evenals in de eerste proef werd dit gehalte bij serie 14 grooter gevonden. Van 14 tot 70 daalt het gehalte aan droge stof geleidelijk, doch neemt van 70 tot 182 weer sterk toe. Het drogestofgehalte der planten in oplossingen met meer dan 182 mgr. neemt met stijgende concentratie niet verder toe, doch schommelt om een waarde, die overeenkomt met het drogestofgehalte van serie 182.

In kolom 13 (tabel 10) is de relatieve verdamping der kulturen in de laatste week vóór den oogst opgegeven. De verdamping van kultuur 70 is hierbij als eenheid aangenomen. Om na te gaan in hoeverre de verdamping der kulturen parallel ging met den groei (het gewicht) der planten, werden de relatieve verdamping, de relatieve verschgewichten en de relatieve drooggewichten van de kulturen 70 t/m. 462 grafisch voorgesteld in fig. 4.

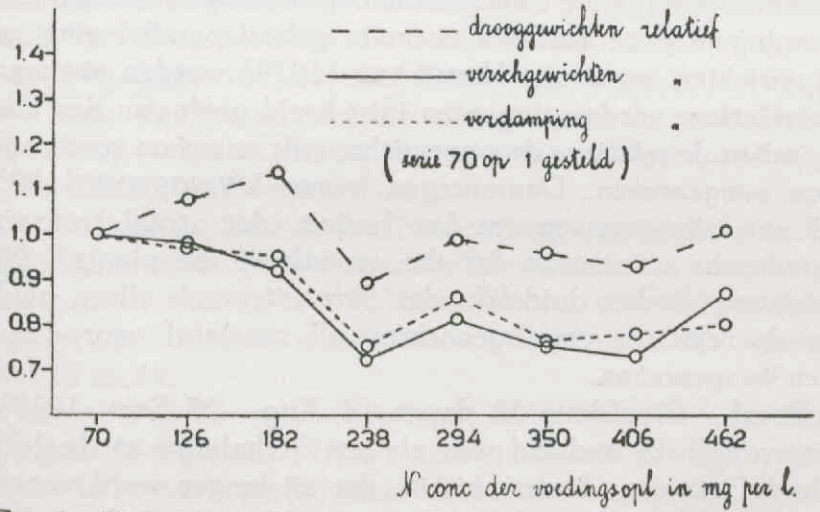

Fig. 4. Verband tusschen de oogstgewichten en de verdamping der planten. (2de proef).

In deze graphiek valt de kromme der relatieve verschgewichten met die der verdamping nagenoeg samen. De verdamping is dus per gram verschgewicht der planten in alle kultuurseries gelijk geweest, d.i. onafhankelijk van de N-concentratie der voedingsoplossing. Tot hetzelfde resultaat kwam LIVINGSTON (1905), toen hij de verdamping van tarweplanten in ongelijke voedingssubstraten vergeleek met de verschgewichten dezer planten bij den oogst.

Fig. 4 doet ons verder zien, dat de kromme der relatieve drooggewichten met die der relatieve verdamping geenszins samenvalt. Dit zou alleen het geval geweest zijn, indien het vochtgehalte der diverse kulturen gelijk was geweest. Wij hebben echter gezien, dat het drogestofgehalte van serie 70 tot serie 182 sterk toenam, hetgeen in het uiteenwijken van de kromme der relatieve drooggewichten en die der verdamping duidelijk tot uiting komt.

HOAGLAND (1919), die gerst kweekte in oplossingen met een ongelijk gehalte aan voedingszouten, vond, dat de verdamping per eenheid van drooggewicht afnam met toenemende concentratie van het voedingssubstraat. Op grond hiervan kwam hij tot de uitspraak, dat de verdamping geen betrouwbare maatstaf is voor den groei der planten in verschillende voedingssubstraten. Duidelijk kwam dit ook aan het licht in proeven van SHIVE (1915, 1917) met boekweit en tarwe. Deze auteur heeft uit de totale verdamping der planten de transpiratiecoëfficient (door hem de „waterrequirement" genoemd) berekend, door de verdamping te deelen door het drooggewicht der geoogste kulturen. Hierbij bleek, dat de transpiratiecoëfficient duidelijk afnam met stijgende concentratie der voedingsoplossing. Daar de verdamping in onze kulturen evenmin geheel parallel ging met de drooggewichten, moet met HOAGLAND (1919) worden aangenomen, dat de relatieve verdamping geen juist beeld geeft van den plantengroei, indien de relatieve drooggewichten als criterium voor den groei worden aangenomen. Daarentegen kwam LIVINGSTON (1905) op grond van zijn proeven tot het besluit, dat „total transpiration appears to be a measure for the growth of the plants." Na het voorafgaande is het duidelijk, dat deze uitspraak alleen geldig is, indien de relatieve verschgewichten als maatstaf voor den groei worden aangenomen.

3e Proef. Proefduur 52 dagen (4 Aug.—25 Sept. 1928).

Deze proef, die bedoeld was als een herhaling van de 2e proef, verschilde van deze laatste hierin, dat zij langer werd voortgezet, terwijl de planten ditmaal niet bij 7 tegelijk in cylinders, doch afzonderlijk in fleschjes werden gekweekt. De proef omvatte 18 series, doordat serie 462 werd weggelaten. De samenstelling der voedingsoplossingen kwam overeen met die in de voorafgaande proef.

Wederom werden per serie 50 tarwekorrels met een gewicht van 43 tot 47 mgr. in een schaal met 1.5 l. voedingsoplossing te kiemen gelegd. Per kiemschaal kiemden weer ongeveer 45 korrels, zoodat in de diverse schalen per kiemplantje evenveel N beschikbaar was als in de vorige proef. Na 6 dagen werden uit elke schaal 12

plantjes van ongeveer gelijke lengte afzonderlijk in fleschjes met 400 cc voedingsoplossing overgebracht.

Op den 3en dag werden de kiemschalen van een nieuwe oplossing voorzien. De inhoud van de fleschjes werd telkens na 5 à 8 dagen, tegen het einde van de proef na 3 à 4 dagen ververscht. Doordat de kultuurfleschjes 400 cc oplossing bevatten, was bij elke verversching voor de respectieve planten van serie 14 beschikbaar $0.4 \times 14 = 5.6$ mgr. N. In serie 42 was voor elke plant $3 \times 5.6 = 16.8$ mgr. N beschikbaar, enz.

De pH bleef tot de 4e week constant (6.6), doch vertoonde daarna een stijging, die in de laatste 2 weken voor den oogst tot 7.1 opliep. Deze stijging was in alle kulturen gelijk, behalve in de series 14 en 42, die onregelmatigheden vertoonden, waarop nog nader zal worden teruggekomen.

Vanaf den 6en dag werd de verdamping der kulturen bepaald in alle ververschingsperioden behalve in die van den 40en tot den 45en dag en van den 45en tot den 48en dag.

Van den 6en tot den 13en dag werd van 6 verschillende voedingsoplossingen de verandering der N-concentratie vastgesteld. In de volgende ververschingsperioden werden alleen de oplossingen 70 en 182 op N-gehalte onderzocht. Daarentegen werd in de laatste periode vóór den oogst van alle oplossingen de verandering der N-concentratie bepaald. In de beide voorlaatste perioden moest de stikstofanalyse achterwege blijven.

Men vindt de uitkomsten der N-bepalingen in tabel 11 en 12. Uit de verdamping en de verandering der N-concentratie werd berekend, hoeveel stikstof door de verschillende series gemiddeld per dag in de diverse groeiperioden is opgenomen. Deze getallen zijn samengevat in tabel 13 en 14.

De series 14 en 42 vertoonden reeds na eenige weken kenteekenen van N-gebrek. Bij serie 14 trad dit verschijnsel in de 4e week op; een week later werd het bij serie 42 opgemerkt. Om in het vervolg N-gebrek te voorkomen, heb ik de kulturen 14 en 42, vanaf het moment, waarop de stikstofchlorose het eerst werd waargenomen, om de 2 à 3 dagen en later zelfs dagelijks ververscht. Alleen de laatste 4 dagen vóór den oogst werd geen ververscing gegeven. De planten herstelden zich volkomen, en werden zelfs donkerder groen dan de overige series, die alle tegen het einde der ververschingsperioden een lichte ijzerchlorose vertoonden. Doordat de kulturen 14 (14Na) en 42 (42Na) vaker werden ververscht dan de overige, kon de pH in deze oplossingen niet stijgen tot de waarde, die in de

overige oplossingen aan het einde der ververschingsperioden werd bereikt. Het gevolg hiervan was, dat deze kulturen meer ijzer konden opnemen, hetgeen in de donkergroene kleur der planten duidelijk tot uiting kwam. De betere ijzervoorziening had ook op den groei een gunstige uitwerking. Zoo kregen de series 42 en 42Na al spoedig een voorsprong boven alle andere kulturen, die zich tot het einde van de proef heeft gehandhaafd. Dit is te zien in fig. 6 (pag. 64). waarin de drooggewichten bij den oogst grafisch zijn voorgesteld.

Het spreekt vanzelf, dat wij ons omtrent den invloed van de lagere N-concentraties op den groei een onjuiste voorstelling zouden maken, indien wij de opbrengsten van de series 14 en 42 met die der overige series zouden vergelijken. Wij zullen daarom bij de beoordeeling van den invloed der NO_3-concentratie op den plantengroei de opbrengsten van de series 14 (Na) en 42 (Na) buiten beschouwing laten.

Van de overige series kan nog worden opgemerkt, dat reeds na eenige weken de indruk werd verkregen, dat de planten in de oplossingen met meer dan 182 mgr. N. p. l. in groei achterstonden bij de series 70, 126 en 182. Ook de wortels waren in de sterkere oplossingen korter, terwijl de planten minder uitgestoeld waren.

De verandering, die het N-gehalte der oplossingen gedurende de ververschingsperioden heeft ondergaan, is in de sterkere oplossingen betrekkelijk gering geweest (tabel 11). Evenals in de 1e proef is de N-concentratie in deze oplossingen tengevolge van de verdamping gestegen; deze stijging heeft echter hoogstens 25 % bedragen. Van de oplossing met 182 mgr. N p. l. is de N-concentratie ook in deze proef weinig veranderd. Daarentegen is zij in de zwakkere oplossingen in de latere groeiperioden aanzienlijk gedaald. Bij de beschrijving van de 1e proef wees ik reeds op een verklaring van deze ongelijke verandering in de concentratie der voedingsoplossingen, zoodat hierop thans niet verder behoeft te worden ingegaan.

Tabel 14 geeft een overzicht van de N-opname in opeenvolgende groeiperioden, terwijl tabel 13 een vergelijking mogelijk maakt van de N-opname der planten in de diverse kultuuroplossingen. Dat door de series 14 (14Na) en 42 (42Na) van den 48en tot den 52en dag zeer weinig N is opgenomen, was te verwachten. Immers in deze oplossingen, die in de laatste 4 dagen vóór den oogst niet werden ververscht, was voor de planten zoo weinig N beschikbaar, dat de N-opname reeds na eenige dagen tot stilstand moet zijn gekomen. Verder doet tabel 13 ons zien, dat de N-opname der planten in de

sterkere oplossingen, evenals in de 2e proef, geringer is geweest dan in de oplossingen met een aanvangsconcentratie van 70 tot 182 mgr. N p. l. Opmerkelijk is de betrekkelijk goede overeenstemming in de N-opname tusschen de diverse series en de daarmee overeenkomende Na-series. Wij kunnen hieruit de gevolgtrekking maken, dat de N-opname weinig of niet afhankelijk is geweest van het Na-gehalte der voedingsoplossing. BREAZEALE (1916), die tarweplanten kweekte in oplossingen met opklimmende NaCl- en Na_2SO_4-conc., en deze planten na den oogst o.m. op gehalte aan N onderzocht, vond op deze wijze eveneens, dat de stikstofopname onafhankelijk is van het Na-gehalte der voedingsoplossing. Ook LOMANITZ (1924) kwam bij lucerne tot hetzelfde resultaat.

De getallen en de krommen, die betrekking hebben op de absolute verdamping der kulturen in achtereenvolgende groeiperioden zijn niet in dit proefschrift opgenomen. Ik zal daarom heel in het kort mededeelen, wat hierbij werd gevonden.

Serie 182 heeft op één uitzondering na in alle ververschingsperioden de grootste verdamping gegeven. Van deze serie werd de verdamping als functie van den tijd grafisch voorgesteld, om ons een beeld te kunnen vormen van de stijging van dit proces in opeenvolgende perioden. Deze kromme had een zeer regelmatig verloop. Voor een deel was dit een gevolg van de omstandigheid, dat het weer gedurende de proef vrij standvastig is geweest, andersdeels hiervan, dat de verdamping over perioden van 4 tot 8 dagen werd bepaald, zoodat de fluctuaties, die dit proces in den regel naargelang van de weersgesteldheid van dag tot dag ondergaat, genivelleerd waren. Met behulp van deze kromme kon de verdamping in de ontbrekende perioden en in elke andere willekeurige periode door interpolatie bij benadering worden vastgesteld. Op deze wijze heb ik de verdamping van week tot week berekend en daarbij gemiddeld per plant per etmaal de volgende waarden gevonden:

In de	1e	week	0.3	gram.
„ „	2e	„	1.5	„
„ „	3e	„	5	„
„ „	4e	„	18	„
„ „	5e	„	25	„
„ „	6e	„	30	„
„ „	7e	„	32	„
„ „	8e	„	34	„

Wij zien uit deze getallen, dat de verdamping van de 2e tot de 4e week sterk is toegenomen, maar dat deze stijging vanaf de 4e

week geleidelijk minder is geworden. Daar de verdamping tot zekere hoogte als een weerspiegeling van den groei mag worden beschouwd, is het heel waarschijnlijk, dat de groei der planten een dergelijke stijging heeft vertoond.

De kromme der N-opname als functie van den tijd heeft een heel ander verloop. In fig. 5 is deze kromme afgebeeld.

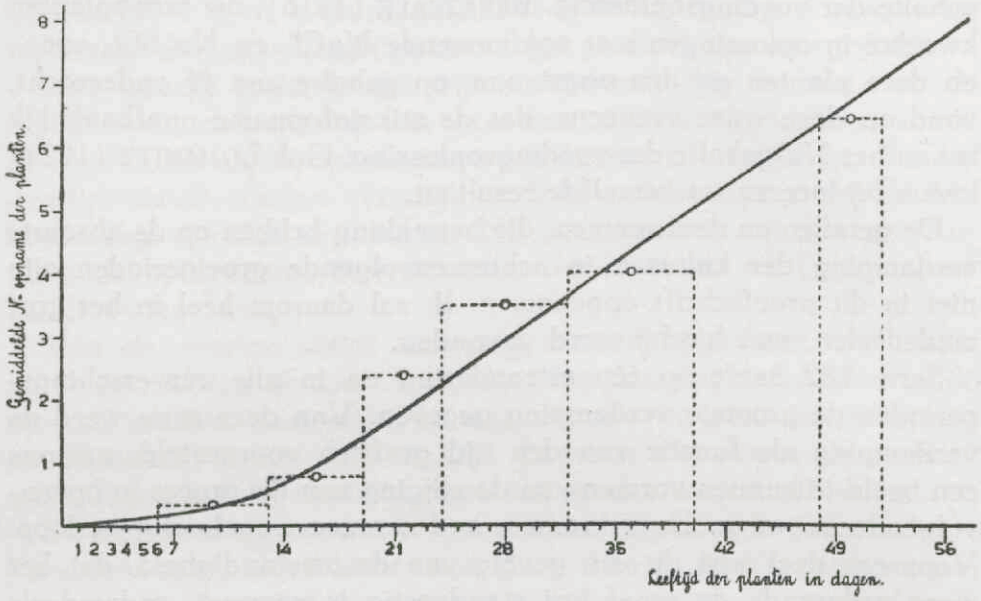

Fig. 5. Gemiddelde stikstofopname der planten in achtereenvolgende groeiperioden (3e proef, serie 182).

De punten in deze graphiek stellen de gemidd. N-opname der planten voor per dag in de verschillende ververschingsperioden.

Wanneer wij ons deze punten door een lijn verbonden denken, verkrijgen wij een kromme, die een schommelend verloop heeft. Of deze „fluctuatie" een autonoom karakter draagt, dan wel of deze aan uitwendige invloeden of aan toevallige oorzaken moet worden toegeschreven, werd niet verder onderzocht. Daar het er mij slechts om te doen was, een ruw beeld te krijgen van de N-opname der planten in opeenvolgende groeiperioden onder gunstige omstandigheden heb ik de kromme tusschen de punten door geteekend. Deze is in de volgende proeven herhaaldelijk geraadpleegd, wanneer beoordeeld moest worden, hoe vaak de oplossingen ververscht dienden te worden, om een te groote daling der N-concentratie te voorkomen. Ik heb deze daling naderhand meermalen gecontroleerd en hierbij in den regel waarden gevonden, die met de berekende waarden een bevredigende overeenstemming te zien gaven. Geen

enkele maal bleek de daling grooter te zijn dan te voren was berekend.

Evenals bij de verdamping werd uit de kromme in fig. 5 de stikstofopname der planten door interpolatie van week tot week globaal vastgesteld. Deze bedroeg per plant per etmaal in de

1e	week	circa	0.1	mgr.
2e	,,	,,	0.4	,,
3e	,,	,,	1	,,
4e	,,	,,	2.5	,,
5e	,,	,,	3.5	,,
6e	,,	,,	4.5	,,
7e	,,	,,	6	,,
8e	,,	,,	7	,,

Resultaten. De gewichten der geoogste kulturen zijn in tabel 15 samengevat.

Teneinde den invloed van de Na-concentratie op den plantengroei gemakkelijker te kunnen beoordeelen, heb ik de drooggewichten der planten verminderd met de drooggewichten van de daarmee correspondeerende Na-series en van deze verschillen de middelbare fout bepaald. In tabel 16 zijn deze getallen in de 2e kolom ondergebracht, terwijl in de 3e kolom is opgegeven, hoeveel keeren het verschil grooter was dan zijn middelbare fout. Ik verwijs verder nog naar fig. 6, waarin de drooggewichten van de diverse series en van de Na-series graphisch zijn voorgesteld.

Uit figuur 6 (pag. 64) en uit tabel 16 is te zien, dat het gewicht van de Na-series in 8 van de 9 gevallen geringer is geweest dan het gewicht van de overeenkomstige series, waaraan geen Na_2SO_4 was toegevoegd. Alleen bij kultuur 406 heeft de Na-serie een grooter gewicht opgeleverd. Het verschil kon echter in geen dezer gevallen groot worden genoemd. Ook bij de series 14 en 42, die, zooals wij reeds zagen, een afwijkenden groei hebben gegeven, doordat hier behalve het nitraat ook nog andere factoren hun invloed hebben doen gelden, is de invloed van het Na_2SO_4 betrekkelijk gering geweest. Toch is het wel opmerkelijk, dat de Na-series in bijna alle gevallen een geringere opbrengst hebben gegeven dan de overeenkomstige series zonder Na_2SO_4. Dat dit zelfs in de zwakste oplossingen het geval is geweest, maakt het zeer onwaarschijnlijk, dat het natrium hier schuld aan heeft gehad, aangezien uit onderzoekingen over den invloed der NaCl-concentratie op den plantengroei is gebleken, dat het Na-gehalte in den regel, althans tot zekere grens, eerder een stimuleerenden dan een ver-

tragenden invloed op den groei uitoefent. Veeleer moet in dit geval gedacht worden aan een invloed van het SO_4-ion. Dit ion was in de stamoplossing in den vorm van K_2SO_4 en $CaSO_4$ reeds aanwezig in een concentratie van 5.9 m.aeq. p. l. In de oplossingen van de Na-series der kulturen 14 en 42 steeg het SO_4-gehalte tot 7.9 m.aeq. en in die der overige series tot 9.9 m.aeq. p. l. Het lijkt mij zeer aannemelijk, dat de SO_4-concentratie met deze stijging de maximumgrens van het optimale gebied heeft overschreden.

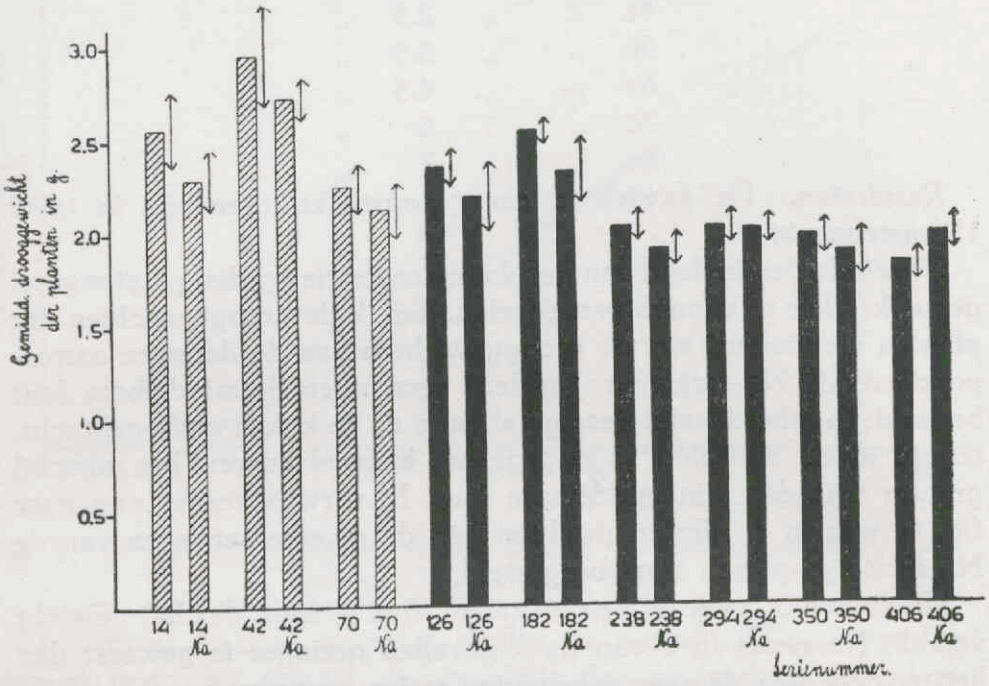

Fig. 6. Het gemiddelde drooggewicht der planten (3e proef).

In tegenstelling hiermee hebben de Na-series in de 1e en in de 2e proef in de meeste gevallen een hoogere opbrengst gegeven dan de zusterseries zonder Na_2SO_4. Wij hebben echter te bedenken, dat deze proeven reeds na 3 à 4 weken werden beëindigd. Het is heel goed mogelijk, dat de ongunstige invloed der hoogere SO_4-concentratie zich pas doet gelden, wanneer de planten een zekeren leeftijd hebben bereikt.

In tabel 15 zijn behalve de gewichten der planten (kolom 3) ook die der spruiten en die der wortels opgenomen (kolom 4 en 5). Wanneer men de getallen van deze kolommen met elkaar vergelijkt, dan ziet men, dat de gewichten van de wortels en van de spruiten in groote trekken parallel gaan. Alleen is het gewicht der wortels

in de „lagere series" in verhouding tot dat der groene deelen grooter dan in de overige series, zooals duidelijk blijkt uit de groote procentueele wortelgewichten dezer series in kolom 6; een verschijnsel, dat in alle proeven werd opgemerkt bij de series, die gekweekt waren in oplossingen met een te lage N-concentratie of waarin deze concentratie een te groote daling had ondergaan.

Ook in deze proef hebben de kulturen 14 en 42, zooals reeds op pag. 59 werd vermeld, aanvankelijk kenteekenen van N-gebrek vertoond. Heel waarschijnlijk hebben ook de series 70 en 70Na, te oordeelen naar het groote procentueele wortelgewicht dezer kulturen, een tekort aan N gehad, al bleven de typische gebrekverschijnselen hierbij achterwege. Inderdaad zien wij in tabel 11, dat het N-gehalte van de oplossingen dezer series in de laatste ververschingsperiode van 70 tot resp. 3 en 1 mgr. N p. l. is gedaald. Uit tabel 12 blijkt, dat deze daling ook in de voorafgaande perioden vrij aanzienlijk moet zijn geweest. Nu is het niet waarschijnlijk, dat de N-concentratie in de voorafgaande perioden gedaald is beneden de grens, die voor goeden groei vereischt is, aangezien dit minimum volgens POUGET en CHOUCHAK (1912) slechts enkele mgr. N p. l. bedraagt, maar wel is het denkbaar, dat het N-tekort teweeggebracht is door de *snelle daling*, die de N-concentratie blijkens tabel 11 en 12 in de latere perioden heeft ondergaan.

Dit moge toegelicht worden aan een voorbeeld uit de literatuur. Door HOAGLAND (1919) werden planten, die eerst gedurende verscheidene weken waren gekweekt in een oplossing met een gehalte aan voedingszouten van circa 2500 mgr. p. l., overgebracht in een 4-tal oplossingen, waarvan de concentratie resp. circa 200, 800, 2500 en 6000 mgr. p. l. bedroeg. Toen daags daarna de concentratie der oplossingen werd vastgesteld, bleek deze in de zwakste oplossing te zijn toegenomen. De planten hadden dus aan deze oplossing ionen afgestaan. In de oplossing met 800 mgr. p. l. had een geringe zoutopname plaats gevonden, terwijl deze opname in de sterkere oplossingen met stijgende concentratie sterk was toegenomen. De schrijver vermeldt niet, hoe de zoutopname de volgende dagen is geweest. Daar het echter bekend is, dat planten in een voedingsoplossing met slechts 200 mgr. zouten p. l. goed gedijen kunnen, mits door herhaald ververschen der oplossing uitputting wordt voorkomen, lijkt het mij waarschijnlijk, dat de door dezen auteur geconstateerde zoutexcretie spoedig voor een opname zal hebben plaats gemaakt. Dat planten zich aan zeer uiteenloopende concentraties kunnen aanpassen, is o.m. duidelijk aan het licht

gekomen in een onderzoek van HARVEY en TRUE (1918). Deze onderzoekers stelden vast, dat de concentratie van een oplossing, waaruit door de wortels van een plant zouten worden opgenomen, niet kan dalen beneden een zeker minimum. Is deze minimumconcentratie, die een zeer geringe waarde heeft, bereikt, dan wordt er door de wortels evenveel zout afgescheiden als er wordt opgenomen, zoodat de concentratie verder onveranderd blijft. In één hunner proeven werden planten, die aan een hoogere concentratie aangepast waren, overgebracht in een oplossing, waarvan de concentratie tevoren door andere planten tot het minimum was teruggebracht. Zij namen toen waar, dat de concentratie der oplossing door afscheiding van electrolyten uit de plantenwortels eerst steeg, om daarna net zoo lang te dalen, totdat de minimumconcentratie was bereikt.

Wij zien dus, dat de plant weliswaar het vermogen bezit, zich aan veranderingen in de concentratie der voedingsoplossing aan te passen, maar dat het bij een plotselinge groote verandering in concentratie eenigen tijd duurt, eer deze aanpassing tot stand is gekomen. Het lijkt mij niet ondenkbaar, dat de plant bij een concentratiedaling, die weliswaar geleidelijk, doch in een snel tempo verloopt, zich niet spoedig genoeg aan deze verandering kan aanpassen, en dat dit een vertraging in de opname der ionen tengevolge zal hebben. Ik heb hierover iets uitvoeriger uitgewijd, omdat, voorzoover ik weet, bij waterkultuuronderzoekingen betreffende den invloed der concentratie op den plantengroei tot dusver met deze mogelijkheid geen rekening is gehouden.

Zoo is het niet onwaarschijnlijk, dat de snelle daling, die de nitraatconcentratie in de oplossingen der series 70 en 70Na in de laatste groeiperioden heeft ondergaan, een vertraging in de N-opname heeft veroorzaakt, en dat hierin de verklaring gezocht moet worden van het betrekkelijk groote procentueele wortelgewicht dezer kulturen.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn, dat ik bij de beoordeeling van den invloed der NO_3-concentratie op den groei der planten niet alleen de series 14 en 42, doch voor alle zekerheid ook serie 70 buiten beschouwing heb gelaten.

Evenals in de voorafgaande proeven heb ik, te beginnen met serie 126, de diverse series met de daarmee correspondeerende Na-series gecombineerd, hiervan het gemiddelde gewicht der planten bepaald, en van deze gemiddelden de middelbare fout berekend. Men vindt deze waarden samengevat in kolom 2 t/m 5 van tabel 17 en graphisch voorgesteld in fig. 7.

Fig. 7 doet ons zien, dat de voedingsoplossing met 182 mgr. N p. l. de zwaarste planten heeft opgeleverd en dat het gewicht van serie 126 niet veel van dat van serie 182 heeft verschild. Daarentegen hebben de kulturen 238 t/m 406 aanzienlijk lagere opbrengsten gegeven. Hieruit kan de gevolgtrekking worden gemaakt, dat de oplossingen met een hoog gehalte aan NO_3 een nadeeligen invloed op den groei hebben uitgeoefend, en dat deze schadelijke werking reeds begint bij een concentratie, die tusschen 182 en 238 mgr. N p. l. is gelegen.

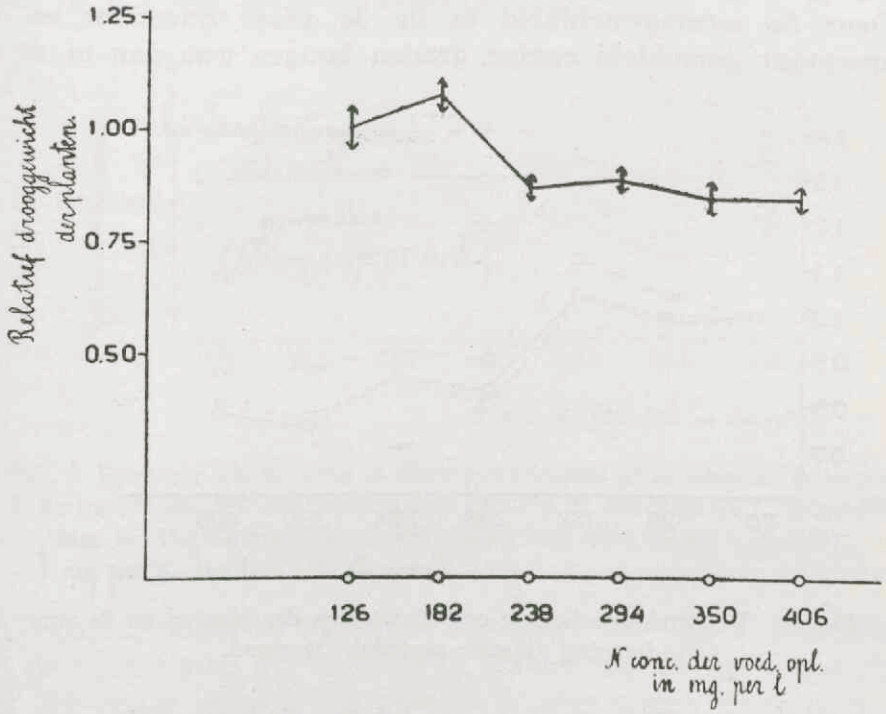

Fig. 7. Verband tusschen het drooggewicht der planten en de NO_3-concentratie der voedingsoplossing (3e proef). Het drooggewicht van serie 126 is als eenheid aangenomen.

De verschillen in het drogestofgehalte der kulturen, die in de 6e kolom van tabel 17 en gedeeltelijk onder deze tabel zijn vermeld, wijzen in dezelfde richting als bij de 2e proef. Wederom neemt het drogestofgehalte vanaf serie 14 in de richting der hoogere N-concentraties aanvankelijk af, om bij serie 70 een minimum te bereiken. De planten in de sterkere oplossingen hebben alle een hooger gehalte aan droge stof dan die van serie 70. Een vergelijking van de drogestofgehalten van de 2e proef (tabel 10, kolom 6), die reeds na 3 weken werd beëindigd, met die van de 3e proef doet ons verder

zien, dat het gehalte aan droge stof in de laatstgenoemde proef aanzienlijk hooger is. Naar het schijnt, neemt het vochtgehalte der planten dus af met den leeftijd.

Dit werd inderdaad aangetoond door V. D. SANDE BAKHUYZEN (1928) in een onderzoek over den groei van tarweplanten onder constante voorwaarden. Tot op het oogenblik, waarop de planten in bloei kwamen, stelde hij in de halmen en in de bladeren een vrij gelijkmatige stijging in het drogestofgehalte vast; deze stijging was des te grooter, naarmate de temperatuur hooger was.

Daar de weersgesteldheid in de 3e proef gunstiger en de temperatuur gemiddeld eenige graden hooger was dan in de 2e

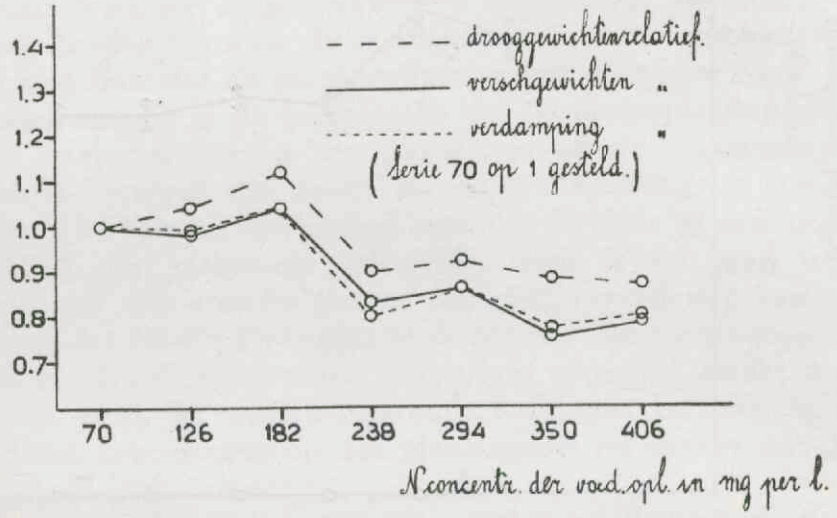

Fig. 8. Verband tusschen de oogstgewichten der planten en de verdamping (laatste periode). 3e proef.

proef, is het mogelijk, dat het verschil in gehalte aan droge stof in deze proeven voor een deel hieraan moet worden toegeschreven.

Tenslotte moeten nog eenige opmerkingen worden gemaakt over het verband tusschen den groei en de verdamping der kulturen. Hiertoe worde verwezen naar fig. 8, waarin de verschgewichten en de drooggewichten der kulturen alsmede de verdamping kort voor den oogst graphisch zijn voorgesteld.

Om gemakkelijker te kunnen beoordeelen, in hoeverre deze waarden met elkaar parallel gaan, werd in de drie krommen van fig. 8 de waarde van serie 70 op 1 gesteld. Evenals bij de 2e proef zien wij, dat de kromme der relatieve verschgewichten met die der verdamping nagenoeg samenvalt, waarmee de reeds eerder getrokken conclusie bevestigd wordt, dat de verdamping der tarwe-

planten in ongelijke voedingsoplossingen op elk tijdstip van den groei evenredig is met de verschgewichten dezer kulturen. De kromme der relatieve drooggewichten heeft een dergelijk verloop als die der verdamping, maar wijkt van deze laatste eenigszins af, doordat het drogestofgehalte van de kulturen 126 t/m 406 grooter was dan dat van serie 70. Hetzelfde verschijnsel werd ook in de 2e proef waargenomen (fig. 4, pag. 57).

Fig. 9 geeft een beeld van de relatieve verdamping der diverse kulturen in achtereenvolgende groeiperioden. De verdamping van serie 70 is hierbij weer als eenheid aangenomen.

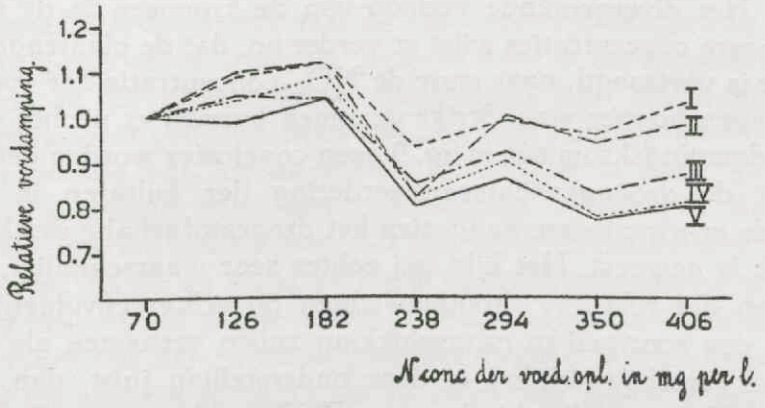

Fig. 9. Relatieve verdamping in achtereenvolgende groeiperioden. 3e proef. I. 6e tot 19e dag; II. 19e tot 24e dag; III. 24e tot 32e dag; IV. 32e tot 40e dag; V. 48e tot 52e dag. (Verdamping van serie 70 op 1 gesteld).

Globaal beschouwd geven de krommen van fig. 9 den indruk, dat de verdamping der kulturen in verhouding tot die van serie 70 met het ouder worden der planten is afgenomen. Bovendien valt het op, dat de krommen in de richting der hoogere concentraties min of meer waaiervormig uiteenwijken.

Daar de verdamping op elk tijdstip van den groei evenredig is met de verschgewichten der planten, kunnen uit fig. 9 eenige gevolgtrekkingen worden gemaakt omtrent de verhouding der verschgewichten in opeenvolgende groeiperioden. Het verloop van de verdampingskromme in de eerste periode (6e tot 19e dag) doet ons zien, dat het verschgewicht van de kulturen 294 t/m 406 in die periode ongeveer gelijk is geweest aan dat van serie 70. Naarmate de planten ouder werden, is er in de verschgewichten van deze kulturen in vergelijking met het verschgewicht van serie 70 een achterstand ontstaan, die tot het einde van de proef is toegenomen.

Hoewel minder frappant, schijnt ook bij de series 126, 182 en 238 het relatieve verschgewicht afgenomen te zijn. Het verschgewicht van de kulturen 126 en 182 had in de eerste periode een grooten voorsprong boven dat van serie 70, doch deze voorsprong is langzamerhand minder geworden. Alhoewel er in het verloop der krommen onregelmatigheden zijn, meen ik toch wel te mogen concludeeren, dat de oplossingen 126 t/m 406 in vergelijking met oplossing 70 een remmenden invloed op den groei der planten (in den zin van verschgewichtsvermeerdering) hebben uitgeoefend, en dat deze nadeelige invloed zich tot het einde van de proef heeft doen gelden. Het divergeerende verloop van de krommen in de richting der hoogere concentraties wijst er verder op, dat de plantengroei des te meer is vertraagd, naar mate de NO_3-concentratie der voedingsoplossingen hooger was. Strikt genomen kunnen er uit het verloop der verdampingskrommen in fig. 9 geen conclusies worden getrokken omtrent de *droog*gewichtsvermeerdering der kulturen in opeenvolgende groeiperioden, aangezien het drogestofgehalte der kulturen ongelijk is geweest. Het lijkt mij echter zeer waarschijnlijk, dat de krommen der relatieve drooggewichten op achtereenvolgende tijdstippen een soortgelijke rangschikking zullen vertoonen als die der relatieve verschgewichten. Is deze onderstelling juist, dan zijn de gevolgtrekkingen, die hierboven met betrekking tot de verschgewichten werden gemaakt, ook op de drooggewichtsvermeerdering van toepassing. Inderdaad hebben proeven, die niet in dit proefschrift zijn opgenomen, omdat zij met een ander doel werden genomen, uitgewezen, dat ook oudere planten in oplossingen met een hoog nitraatgehalte in hun groei worden benadeeld, al deed zich deze invloed hierbij in mindere mate gelden dan bij planten, die nog in een jonger groeistadium verkeerden.

Aan de resultaten van de hierboven beschreven proeven dienen nog eenige beschouwingen te worden vastgeknoopt:

De beide eerste proeven hebben het waarschijnlijk gemaakt, dat er in alle concentratie-intervallen een gelijkwaardige, doch geringe stimulatie door het natrium op den plantengroei is uitgeoefend. Wanneer men bijv. de getallen in de 2e kolom van tabel 9 raadpleegt, waarin de gewichtsverschillen tusschen de diverse series en de daarmee correspondeerende Na-series zijn opgegeven, dan vertoonen deze getallen wel een variatie, maar deze draagt, naar het schijnt, een toevallig karakter. Dit maakt het heel waarschijnlijk, dat de gewichten der planten onder den invloed van

het natrium nagenoeg evenredig met de concentratie van dit element zijn toegenomen.

Wij hebben verder gezien, dat de invloed van het Na-gehalte der voedingsoplossing in de Na-series van de 3e proef door het effect van de SO_4-concentratie werd verduisterd. Wanneer men de gewichtsverschillen tusschen de series met en zonder Na_2SO_4 in tabel 16 onderling vergelijkt, dan bespeurt men, dat de schadelijke werking van het SO_4-ion zich in de nitraatrijkere intervallen in mindere mate en bij serie 406 zelfs in het geheel niet heeft doen gelden. Hoewel wij hier misschien met een toevalligheid te maken hebben, is het toch niet ondenkbaar, dat de groei der planten in deze proef niet evenredig met de Na-concentratie doch in sterkere mate is toegenomen. Aan den anderen kant is het mogelijk, dat het SO_4-ion in de nitraatrijkere oplossingen der Na-series minder schadelijk heeft gewerkt. Men zou zich bijv. kunnen voorstellen, dat de verhouding van het nitraat tot het sulfaat in deze oplossingen minder ongunstig voor den plantengroei is geweest dan in de overeenkomstige oplossingen met een lager nitraatgehalte.

Op pag. 63 en 64 werd er reeds op gewezen, dat er geen aanleiding bestaat, om aan te nemen, dat de vermindering in opbrengst in de Na-series der 3e proef door het natrium is veroorzaakt, aangezien dit element in de 1e en 2e proef den plantengroei over de geheele linie heeft bevorderd en ook bij proeven over den invloed van het NaCl-gehalte op den groei bijna altijd een stimulatie werd waargenomen. Dientengevolge werd hierboven geconcludeerd, dat de groeivertraging, die in de sterkere $NaNO_3$-oplossingen (in casu tusschen 182 en 238 mgr. N per liter) in weerwil van den stimuleerenden invloed van het natrium is opgetreden, door het NO_3-ion is veroorzaakt, hetzij dan dat de NO_3-concentratie haar invloed op den groei rechtstreeks heeft doen gelden dan wel indirect, doordat met deze concentratie de totale concentratie en de verhouding van de ionen in de voedingsoplossing veranderd zijn.

Om den invloed van het NO_3-gehalte der voedingsoplossing zuiver te beoordeelen, kan men voor den invloed van het Na-ion een correctie aanbrengen. Aan de hand van de resultaten der 2e proef moge dit worden toegelicht:

Uit de getallen van de 2e kolom van tabel 9 kan worden berekend, hoeveel de stimulatie van het natrium gemiddeld per m.aeq. heeft bedragen. Daartoe hebben wij na te gaan, hoe groot de gemiddelde stimulatie van het natrium per interval van 4 milliaequivalenten is geweest. Het drooggewicht van de spruiten van

serie 14, dat blijkens de 8e tabel 119 mgr. bedroeg, is na toevoeging van 4 m. aeq. Na gestegen met 3 + 11 = 14 mgr., d.i. 11.8 % van het aanvangsgewicht. Het gewicht van serie 70 is toegenomen van 134 tot 139 mgr., d.i. met een bedrag van 3.7 %. Bij serie 126 is de opbrengst na toevoeging van Na_2SO_4 niet vermeerderd, doch verminderd met een bedrag van 2.7 %. Zoo voortgaande vinden wij voor de gemiddelde stimulatie van het natrium per interval van 4 m. aeq.:

$$\frac{+ 11.8 + 3.7 - 2.7 + 4.3 + 1.5 - 15.5 + 5.9 + 1.5}{8} = 1.31\ \%$$

of voor het stimulatie-effect van 1 m.aeq. Na : 1.31/4 = 0.33 %.

Om nu de werking van het natrium te elimineeren, behoeft men slechts de drooggewichten van de spruiten in tabel 8 (kolom 4) te verminderen met het effect, dat door het natrium is uitgeoefend. Bij serie 14, die gekweekt is in een oplossing met 1 m.aeq. $NaNO_3$ per liter, bedraagt deze vermindering uiteraard 0.33 %, bij serie 70 $5 \times 0.33 = 1.65$ %, bij serie 126 en 182 resp. 2.97 en 4.29 %, enz. tot een bedrag van bijna 10 % bij serie 406.

Op deze wijze is het dus mogelijk, twee groeikrommen te construeeren, één voor het natrium en één voor het nitraat, die een zuiver beeld geven van den invloed, die onder de omstandigheden, die in deze proef hebben geheerscht, en bij gebruikmaking van de op pag. 21 vermelde stamoplossing resp. door het Na-gehalte en door het NO_3-gehalte der voedingsoplossingen op den groei der tarweplanten wordt uitgeoefend, indien stijgende hoeveelheden $NaNO_3$ aan de stamoplossing worden toegevoegd.

Bij deze berekening werd uitgegaan van de veronderstelling, dat het gemiddelde gewichtsverschil tusschen de diverse series en hunne Na-series in de 2e proef aan de stimuleerende werking van het natrium moet worden toegeschreven. Inderdaad is het m.i. uitgesloten, dat het SO_4-ion aan deze gewichtsvermeerdering aandeel heeft gehad. In hoofdstuk I hebben wij gezien, dat de groeikromme bij toenemende concentratie van een „onmisbaar" ion een zoodanig verloop heeft, dat er bij het SO_4-ion in een concentratiegebied van 5.9 tot 9.9 m.aeq. per liter geen stimulatie, doch eerder een groeivermindering kan worden verwacht. Daar het SO_4-ion in de Na-series der 3e proef inderdaad den groei eenigermate heeft vertraagd, rijst onwillekeurig de vraag, of er in de 1e en 2e proef niet een dergelijke invloed van dit ion op den groei is uitgegaan. In dat geval zou de stimulatie van het natrium in de 2e proef grooter zijn geweest, dan hierboven uit de gewichtsverschillen in

tabel 9 werd afgeleid. Dit lijkt mij echter zeer onwaarschijnlijk, daar op het Landbouwproefstation te Groningen bij groeiproeven met tarwe in oplossingen met toenemend keukenzoutgehalte steeds slechts een geringe vermeerdering in groei werd vastgesteld. De stimulatie, die in deze proeven werd waargenomen, was ongeveer van dezelfde grootte, als in de 1e en 2e proef uit de gewichtsverschillen in tabel 4 en tabel 9 kan worden afgeleid. Aan den anderen kant mag echter niet worden vergeten, dat door andere auteurs bij soortgelijke proeven met keukenzout somtijds een grootere stimulatie werd waargenomen. De mogelijkheid is dus niet geheel uitgesloten, dat de stimulatie, die in de 2e proef door het natrium is teweeggebracht, in de bovenstaande berekening slechts gedeeltelijk is geelimineerd.

Ik heb er daarom van afgezien, in de tabellen, waarin de gewichten der geoogste planten zijn opgegeven, een correctie aan te brengen voor het natrium. Daar het onderzoek louter orienteerend was bedoeld, was het mij voorloopig voldoende, met behulp van de in dit hoofdstuk toegepaste eliminatiemethode aangetoond te hebben, dat bij stijgende $NaNO_3$-concentratie der voedingsoplossing een niet al te geringe toeneming in groei in de zwakkere oplossingen grootendeels door het NO_3-gehalte wordt teweeggebracht en dat een vermindering in groei, zooals in de sterkere oplossingen is opgetreden, zonder twijfel aan de NO_3-concentratie mag worden toegeschreven. Wanneer wij ons echter uit de krommen der drooggewichten een nauwkeurigere voorstelling willen maken van den invloed van het NO_3-gehalte der oplossingen op den plantengroei, dan dient bedacht te worden, dat de opbrengsten in de sterkere oplossingen naar gelang van de stimulatie van het natrium meer of minder geflatteerd kunnen zijn. Daar echter wel aangenomen mag worden, dat het verloop van de groeikromme in het algemeen slechts een geringe verandering zal ondergaan, wanneer de invloed van het natrium wordt geelimineerd, heb ik in de proeven, die in het volgende hoofdstuk worden beschreven, de natriumseries achterwege gelaten.

Ten slotte moge er nog op worden gewezen, dat de eliminatiemethode, die in dit hoofdstuk op natriumnitraat werd toegepast, bij elk ander voedingszout dienst kan doen, wanneer men wil weten, welke invloed er door het kation en door het anion van dat zout onderscheidenlijk op den plantengroei wordt uitgeoefend. Stel, dat men op deze wijze de werking van calcium-sulfaat

of van magnesiumnitraat op den groei met intervallen van 2 m.aeq. p. l. wil bestudeeren, dan kan daarbij volgens onderstaande schema's worden te werk gegaan.

TABEL 18.

	Concentratie der zouten in millimolen per liter.	Ca-conc.	SO_4-conc.
		in milligr.-ionen per liter.	
I	1 $CaSO_4$	1	1
Ia	1 $CaSO_4$ + 1 $CaCl_2$	2	1
Ib	1 $CaSO_4$ + 1 Na_2SO_4	1	2
II	2 $CaSO_4$	2	2
IIa	2 $CaSO_4$ + 1 $CaCl_2$	3	2
enz.	enz.	enz.	

TABEL 19.

	Concentratie der zouten in millimolen per liter.	Mg-conc.	NO_3-conc.
		in milligr.-ionen per liter.	
I	1 $Mg(NO_3)_2$	1	2
Ia	1 $Mg(NO_3)_2$ + 1 $MgCl_2$	2	2
Ib	1 $Mg(NO_3)_2$ + 2 $NaNO_3$	1	4
II	2 $Mg(NO_3)_2$	2	4
IIa	2 $Mg(NO_3)_2$ + 1 $MgCl_2$	3	4
enz.	enz.	enz.	

Deze schema's wijken in enkele opzichten af van de tabel, die als grondslag heeft gediend voor de nitraatproeven (pag. 44).

Terwijl ik in de voorafgaande proeven van Na_2SO_4 heb gebruik gemaakt, om den invloed van het natrium te elimineeren, worden in tabel 18 en 19 chloriden aanbevolen, om den invloed van het kation uit te schakelen. Deze wijziging werd aangebracht, omdat de SO_4-concentratie bij de natriumseries der 3e proef een geringe vermindering in groei heeft teweeggebracht. Na hetgeen over den invloed der ionen op den plantengroei in de voorafgaande hoofdstukken is gezegd en in dit hoofdstuk bij gebruik van

Na_2SO_4 is gebleken, is het duidelijk, dat het geen aanbeveling verdient, om een „onmisbaar" ion te gebruiken, om daarmee den invloed van een ander ion te elimineeren. Immers is de concentratie van het onmisbare ion in de stamoplossing aan den hoogen kant, dan loopt men gevaar, de optimale concentratie te overschrijden, indien een extra dosis van dit ion aan de oplossing wordt toegevoegd. Een lage concentratie van dit ion in de stamoplossing heeft daarentegen het bezwaar, dat een kleine stijging daarvan reeds een groote toeneming in groei kan veroorzaken. In tegenstelling daarmee hebben wij gezien, dat het voor de plant in den regel vrij onverschillig is, of aan de voedingsoplossing *een weinig* chloor of natrium wordt toegevoegd, dan wel of deze elementen in de oplossing ontbreken. Dit is aanleiding geweest, dat ik in de schema's van tabel 18 en 19 natriumzouten en chloriden heb opgenomen, om hiermee onderscheidenlijk den invloed van het anion en dien van het kation uit te schakelen.

Een ander verschil is, dat in tegenstelling met het schema op pag. 44 niet één, doch twee oplossingen in elk interval werden ingeschakeld, waarvan de eene dient om het kation, en de andere om het anion te elimineeren. Deze tweezijdige elimineering heeft het voordeel, dat zij een nadere toetsing der methode mogelijk maakt. Immers, is mijn gedachtengang juist, dan zal het gewicht van kultuur II in tabel 18 en 19 gelijk moeten zijn aan dat van kultuur I, vermeerderd met de algebraïsche som van de gewichtsverschillen tusschen I en Ia en tusschen I en Ib, of het met een voorbeeld: Wanneer de planten van serie I bij den oogst een opbrengst geven van 2000 mgr. en die van Ia en Ib resp. een gewicht opleveren van 1800 en 2700 mgr., dan is te verwachten, dat het gewicht van kultuur II 2500 mgr. zal bedragen.

Bij de toepassing van de schema's dient er voor gezorgd te worden, dat voldoende kalium voor de plant beschikbaar is, daar uit tal van onderzoekingen [1]) is gebleken, dat bij een tekort aan kalium de functie van dit element gedeeltelijk door natrium kan worden overgenomen, m.a.w.: Is in de voedingsoplossing te weinig kalium voorhanden, dan gaat het natrium zich in zekeren zin als een onmisbaar ion gedragen, hetgeen tot een vrij sterken groei aanleiding kan geven. In het bijzonder zal men op deze omstandigheid verdacht moeten zijn, wanneer de invloed van geringe kaliumconcentraties op den plantengroei moet worden bestudeerd.

[1]) Literatuur o.m. bij BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929).

HOOFDSTUK V.

NADER ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN DE NO_3-CONCENTRATIE DER VOEDINGSOPLOSSING OP DEN GROEI DER TARWEPLANTEN.

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van een viertal proeven, die evenals de voorafgaande ten doel hadden, den invloed van de NO_3-concentratie der voedingsoplossingen op den groei der tarweplanten vast te stellen, en waarin $NaNO_3$ wederom als stikstofbron werd aangewend.

Van deze proeven zijn er twee tot op zekere hoogte te beschouwen als een herhaling van de proeven, die in het vorige hoofdstuk werden beschreven, daar de stikstofconcentraties, die hierin worden aangewend, alle gelegen zijn binnen het concentratiegebied, dat in de 2e en 3e proef werd bestudeerd.

In de beide andere proeven werd echter de invloed van aanzienlijk lagere concentraties (tot een minimum van 1 mgr. N p. l.) nagegaan.

Dit geeft mij aanleiding, aan de beschrijving van deze proeven eenige opmerkingen te laten voorafgaan.

In het vorige hoofdstuk hebben wij gezien, dat het zoutgehalte in zwakke oplossingen onder den invloed der plant in korten tijd een groote daling kan ondergaan. Indien met deze daling geen rekening wordt gehouden, zou men uit de oogstgewichten der planten verkeerde gevolgtrekkingen kunnen maken omtrent den invloed der concentratie op den plantengroei, temeer daar juist in zwakke oplossingen kleine concentratieverschillen tot groote verschillen in groei

aanleiding kunnen geven. Bij dergelijke onderzoekingen is het dus van groot belang, dat voorzorgen worden genomen om de concentratiedaling zooveel mogelijk te beperken. Hierbij kan op de volgende wijzen worden te werk gegaan:

1. De concentratie van het te onderzoeken ion wordt herhaaldelijk gecontroleerd en het tekort telkens aan de voedingsoplossing toegevoegd.
2. Er worden groote hoeveelheden voedingsoplossing aan de planten verstrekt.
3. De oplossingen worden herhaaldelijk ververscht.

Hoe geringer de aanvangsconcentratie der voedingsoplossingen is en hoe meer er van het betreffende ion door de plant wordt opgenomen, des te meer voedingsoplossing zal er per plant beschikbaar moeten zijn en des te vaker zullen de oplossingen ververscht moeten worden. Daar de zoutopname der planten ongelijk is naar gelang van de plantensoort, den leeftijd der planten en de groeiomstandigheden zullen eerst voorloopige proeven gedaan moeten worden, om bij benadering te kunnen beoordeelen, hoe groot de kultuurflesschen moeten zijn en hoe vaak men zal moeten ververschen om een te groote daling van de concentratie te voorkomen. Verder zal bij elke verversching de concentratiedaling vastgesteld moeten worden, om te voorkomen, dat de uitkomsten verkeerd worden geinterpreteerd.

Hoezeer dit ook voor de hand ligt, toch treft men in de literatuur niet zelden onderzoekingen aan, waarin deze voorzorgen niet of onvoldoende in acht zijn genomen.

Op deze leemte is, zooals al eerder werd opgemerkt, reeds in 1916 door STILES in een kritiek op een onderzoek van BRENCHLEY (1916) de aandacht gevestigd. BRENCHLEY had nl. vastgesteld, dat de groei van gerstplanten in oplossingen met een totale concentratie van 150, 300 en 600 mgr. p. l. met stijgende concentratie in snel tempo toenam, hetgeen door haar aan de concentratie der voedingsoplossingen werd toegeschreven. Daarentegen was door STILES (1915) in een soortgelijk onderzoek gevonden, dat de groei binnen wijde grenzen slechts weinig afhankelijk is van de concentratie der voedingsoplossing. STILES schreef deze tegenstrijdigheid hieraan toe, dat in de proeven van BRENCHLEY de achteruitgang in groei bij afnemende sterkte der voedingsoplossing hierdoor veroorzaakt is, dat er voor de planten niet voldoende voedingszouten beschikbaar waren. Hij wijst er dan nadrukkelijk op, dat bij onderzoekingen over den invloed van het zoutgehalte op den plantengroei de

„hoeveelheid beschikbare zouten" als beperkende factor moet worden buitengesloten.

Ook HOAGLAND heeft er herhaaldelijk op gewezen, dat bij dergelijke onderzoekingen het gevaar dreigt, dat „the salt supply becomes the limiting factor" [1]), tenzij men de oplossingen door geregelde verversching voor uitputting behoedt.

Toch treft men in de recente literatuur nog wel voorbeelden aan, waarin de concentratie met de absolute hoeveelheid wordt verward. Zoo lezen wij in het proefschrift van S'JACOB (1927) op pag. 25, dat „ter bestudeering van de verschillende symptomen, die een gevolg zijn van een gebrek (ev. overmaat) van kali, fosfor, kalk en stikstof, een aantal watercultures werd aangezet in zoodanige oplossingen, dat steeds een ion in overmaat aanwezig was of in een *te lage concentratie* [2])." Wanneer wij nu in tabel 3 van genoemde dissertatie de samenstelling nagaan van de oplossing „met weinig kali", dan blijkt, dat hierin 80 mgr. KCl, d.i. 42 mgr. K per liter oplossing aanwezig is geweest. In de oplossing „met weinig stikstof" werd 100 mgr. KNO_3, d.i. 14 mgr. N per liter oplossing toegediend. Door S'JACOB werd niet nagegaan, welke concentratie voor zijn planten minimaal vereischt is, om een goede opbrengst te geven. Zooals wij in hoofdstuk II gezien hebben, werd echter door JOHNSTON en HOAGLAND (1929), BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929), PARKER (1928) en door POUGET en CHOUCHAK (1912. 2) eveneens bij waterkulturen, zij het dan ook met andere gewassen, aangetoond, dat slechts enkele milligrammen kalium en stikstof per liter voldoende zijn, om een zeer goeden groei mogelijk te maken. Het lijkt mij daarom niet waarschijnlijk, dat de elementen K en N resp. in de K-arme en in de N-arme oplossingen van S'JACOB „steeds in een te geringe concentratie" aanwezig zijn geweest. Dat de gewichten der planten in deze oplossingen geringer werden gevonden dan in de daarmee correspondeerende oplossingen „met veel kali" en „met veel stikstof" is vermoedelijk een gevolg geweest van de omstandigheid, dat per plant weinig voedingsoplossing beschikbaar was en dat de oplossingen na lange tusschenpoozen werden ververscht.

Tenslotte moeten over het ververschen der oplossingen nog eenige opmerkingen van algemeenen aard worden gemaakt. Verscheidene onderzoekers hebben hun oplossingen, teneinde de concentratie zooveel mogelijk constant te houden, continu ververscht door zonder

---

[1]) JOHNSTON en HOAGLAND (1929).

[2]) Cursiveering van mij. Gdw.

onderbreking versche oplossing te laten toedruppelen en de overtollige oplossing te laten wegloopen. Het is zonder meer duidelijk, dat deze methode vooral bij groeiproeven met zeer verdunde oplossingen groote voordeelen heeft boven de gewone periodieke verversching.

Om een denkbeeld te geven van de snelheid, waarmee de oplossing moet worden toegedruppeld om de concentratie constant te houden, ontleen ik hier een voorbeeld aan het reeds vaker genoemde onderzoek van JOHNSTON en HOAGLAND (1929). De schrijvers kweekten tomaten in oplossingen, die resp. 3.7 en 35.1 mgr. K p. l. bevatten. In de eerste proef werd per plant 5.67 liter voedingsoplossing beschikbaar gesteld. De oplossingen werden continu ververscht met een snelheid van 1.2 cc oplossing per plant per minuut of wel 1.7 liter per dag. Bij het beëindigen van de proef na 49 dagen bleek de K-concentratie, resp. van 3.7 tot 0.7 en van 35.1 tot 8.5 mgr. p. l. gedaald te zijn. In een volgende proef werden de planten in een grootere hoeveelheid voedingsoplossing gekweekt (22.7 liter per plant), terwijl bovendien met een grootere snelheid (4.6 cc per minuut per plant) werd doorgestroomd. Niettemin werd na verloop van 49 dagen nog een aanzienlijke daling der K-concentratie vastgesteld. Pas nadat doorgestoomd werd met een snelheid van 8 cc per minuut per plant (d.i. 11.5 l. per dag per plant) slaagden de onderzoekers er in, de concentratie vrijwel constant te houden.

Wanneer met gedestilleerd water wordt doorgestroomd, kan het bezwaar zich voordoen, dat te weinig water beschikbaar is, om de concentratie constant te houden. In dat geval valt het voordeel der doorstrooming grootendeels weg, zoodat de oplossingen dan even goed periodiek ververscht kunnen worden.

Na deze inleiding over de methodiek van het „concentratie-onderzoek" in het algemeen laat ik hieronder een beschrijving van mijn eigen proeven volgen.

4e Proef. Proefduur 34 dagen (30 Aug.—3 Oct. 1928). Met deze proef werd beoogd, den invloed van geringe nitraatconcentraties op den groei te bestudeeren. De N-concentraties, waarvan de invloed op den plantengroei werd nagegaan, waren resp. 1.5, 2.6, 5.3, 13, 25, 39, 52 en 72 mgr. per liter voedingsoplossing.

Hierbij zag ik mij voor de moeilijkheid geplaatst, dat de hoeveelheid gedestilleerd water, waarover ik beschikken kon, ontoereikend was, om de proef geheel naar wensch te doen slagen. In elk geval was deze hoeveelheid onvoldoende, om de doorstroomingsmethode

met succes te kunnen toepassen. Om de zwakkere oplossingen niettemin voor een te groote daling der stikstofconcentratie te behoeden, werd aan alle kultuurseries een zoo groote hoeveelheid oplossing verstrekt, dat de planten ondanks het verschil in N-gehalte der oplossing over een zelfde hoeveelheid stikstof beschikken konden, die groot genoeg was, om bij gewone periodieke ververscheing uitputting der oplossingen onmogelijk te maken. Dientengevolge nam het volume der voedingsoplossing toe met dalende N-concentratie, in dier voege, dat er tusschen het N-gehalte en het volume der oplossingen een omgekeerd evenredige betrekking bestond.

Vanaf het moment, waarop de korrels te kiemen werden gelegd. werd dit beginsel in toepassing gebracht. Zoo werden in de kiemschaal, die de sterkste oplossing bevatte (72 mgr. p. l.), 25 korrels te kiemen gelegd op 650 cc voedingsoplossing. Er was dus per korrel 1.88 mgr. N beschikbaar. Aan alle andere schalen werd zooveel oplossing gegeven, dat steeds circa 1.9 mgr. N per korrel aanwezig was. Daar de kiemschalen niet meer dan 1.5 liter oplossing konden bevatten, werden de korrels in de „lagere series" over meer kiemschalen verdeeld. Zoo werden met de meest verdunde oplossingen (1.5 mgr. N p. l.) 8 schalen aangezet, die ieder 1.25 l. voedingsoplossing bevatte, waarop slechts 1 korrel werd te kiemen gelegd.

Op den 4en, 6en, 7en en 9en dag werden de schalen van een nieuwe oplossing voorzien. Het N-gehalte daalde gedurende de ververschingsperioden niet noemenswaard, hetgeen begrijpelijk is, daar blijkens de 3e proef (pag. 63) de gemiddelde N-opname der planten in de eerste week per dag ongeveer 0.1 mgr. bedraagt; een zeer geringe opname dus in vergelijking met de hoeveelheid N, die per kiemplant beschikbaar was (1.9 mgr.).

Op den 9en dag werd van elke serie een aantal plantjes van ongeveer gelijke lengte in kultuurcylinders en in flesschen overgebracht. Van de series 72, 52, 39, 25 en 13 werden 12 planten in kultuurcylinders geplaatst met 2200 à 2400 cc voedingsoplossing. Serie 72 bestond uit 2 cylinders; bij de series met geringere N-concentratie werden de plantjes over meer dan 2 cylinders verdeeld, en wel zoodanig, dat in alle series per plant circa 28 mgr. N beschikbaar was. Van serie 13 waren 12 cylinders aanwezig, die elk slechts 1 plant bevatten. De series 5.3 en 2.7 omvatten slechts 5 planten, die afzonderlijk in flesschen werden geplaatst. De inhoud van deze flesschen bedroeg bij deze series resp. 5.4 en

11.1 liter. Van de zwakste oplossing (1.5 mgr. N p. l.) werd slechts één plant van gemiddelde lengte uitgekozen en deze in een flesch met 19 liter voedingsoplossing verder gekweekt.

Het gebruik van toenemende hoeveelheden voedingsoplossing met dalende N-concentratie had het voordeel, dat zonder gevaar voor uitputting met een veel geringere hoeveelheid gedestilleerd water kon worden volstaan dan wanneer de planten in gelijke volumina oplossing waren gekweekt. Immers, daar deze proef 71 planten omvatte, zou bij gebruik van gelijke hoeveelheden voedingsoplossing voor elke verversching 71 $\times$ 19 $=$ 1349 liter gedestilleerd water noodig zijn geweest.

Nadat de planten in de kultuurflesschen waren geplaatst, werd de voedingsoplossing 2 maal ververscht; de ververschingsperioden bedroegen resp. 13 dagen (9e tot 22e dag), 6 dagen (22e tot 28e dag) en 6 dagen (28e tot 34e dag).

Om bij benadering te kunnen vaststellen, hoever de N-concentratie der voedingsoplossingen in deze perioden is gedaald, kan fig. 5 op pag. 62 worden geraadpleegd, waarin de N-opname der planten in de 3e proef graphisch is weergegeven. Hiertegen bestaat geen bezwaar, aangezien de kultuuromstandigheden, te oordeelen naar den groei der planten, in beide proeven even gunstig zijn geweest, zoodat ook de N-opname niet veel zal hebben verschild.

Uit de kromme in fig. 5 kan door interpolatie worden afgeleid, dat in de eerste ververschingsperiode (van den 9en tot den 22en dag) per dag gemiddeld hoogstens 1 mgr. N en dus in de geheele periode ongeveer 13 mgr. N door elke plant is opgenomen. Aangezien per plant circa 28 mgr. stikstof beschikbaar was, mag worden aangenomen, dat het N-gehalte in die periode ongeveer 50 % is gedaald. Verder kan uit deze grafiek worden berekend, dat er van den 22en tot den 28en dag per dag gemiddeld circa 2.5 mgr. N, en van den 28en tot den 34en dag gemiddeld per dag 3.5 mgr. N is opgenomen. De hoeveelheid stikstof, die per plant beschikbaar was, is dus in deze perioden resp. met circa 15 en 21 mgr. verminderd, of wel de stikstofconcentratie is in de voorlaatste periode ongeveer 50 % en in de laatste periode circa 75 % gedaald.

Ik heb van de voedingsoplossing met 72, 52, 39, 25 en 13 mgr. N p. l. de daling van de N-concentratie in de beide laatste ververschingsperioden gecontroleerd en daarbij de waarden gevonden, die in tabel 20 zijn vereenigd.

Op het eerste gezicht geeft tabel 20 den indruk, dat de stikstofopname met toenemende concentratie der voedingsoplossing is afgenomen. Dit is echter in strijd met hetgeen redelijkerwijs kan worden verwacht. De daling van de percenten in deze tabel wordt echter begrijpelijk, wanneer wij ons rekenschap geven van de verdamping der kulturen. Deze is in de sterkere oplossingen relatief (d. i. in verhouding tot het beschikbare volume voedingsoplossing) veel grooter geweest dan in de zwakkere, doordat met afnemende N-concentratie steeds grootere hoeveelheden voedingsoplossing aan de planten waren verstrekt. Dientengevolge is de concentratie in de sterkere oplossingen minder gedaald dan in de zwakkere.

Van de oplossingen met minder dan 13 mgr. N p. l. werd de daling der concentratie niet vastgesteld. Daar van deze oplossingen een zeer groot volume per plant voorhanden was, en de verdamping dus relatief zeer gering is geweest, mag worden aangenomen, dat het N-gehalte in deze oplossingen niet veel meer is gedaald dan in oplossing 13. Wij schatten deze daling dus op 55 % in de voorlaatste en op 70 % in de laatste periode; een taxatie, die goed overeenkomt met de waarden, die hierboven uit de gegevens van de 3e proef zijn afgeleid.

De pH bleef in de eerste 3 weken constant (6.5); in de laatste ververschingsperiode steeg zij echter in de oplossingen der series 72 en 36 van 6.5 tot 6.8; in de voorlaatste periode tot 6.7. Met afnemende concentratie der voedingsoplossing nam de pH-stijging af. Bij de series 5.3, 2.6 en 1.5 bleef de pH in alle perioden onveranderd.

De groei der planten in de diverse oplossingen vertoonde aanvankelijk geen verschillen. Na 2 weken, toen 2 bladen geheel ontplooid waren en het 3e blad te voorschijn kwam, traden echter duidelijke verschillen voor den dag. Dit 3e blad groeide nl. des te sneller naarmate de N-concentratie der oplossing grooter was. Op den 17en dag was het bij serie 72 over een lengte van 7 cm, bij serie 1.5 slechts over een lengte van 2 cm zichtbaar. Bovendien vertoonden de planten in de sterkere oplossingen in tegenstelling met die der overige series een begin van uitstoeling. Naarmate de planten ouder werden, werden deze verschillen echter gaandeweg genivelleerd. Op den 25en dag (9 dagen voor den oogst), toen de grootte der planten op het oog werd geschat, bleek, dat er tusschen de series 72, 52, 36 en 25 geen waarneembaar verschil meer bestond. De planten van serie 13 waren echter iets kleiner dan die der zooeven genoemde series; die in de oplossingen met

5.3, 2.6 en 1.5 mgr. N p. l. namen in grootte af met dalende N-concentratie. In de laatste week voor den oogst trad er nog een kleine verandering op in de groeiverhouding der diverse series. Serie 25 kreeg nl. een geringen voorsprong boven alle andere series, terwijl de series 2.6 en 1.5 duidelijker dan eerst bij de andere series in groei achterbleven.

Resultaten. Deze vindt men in tabel 21 samengevat; bovendien is in fig. 10 de gewichtsverhouding der spruiten graphisch voorgesteld.

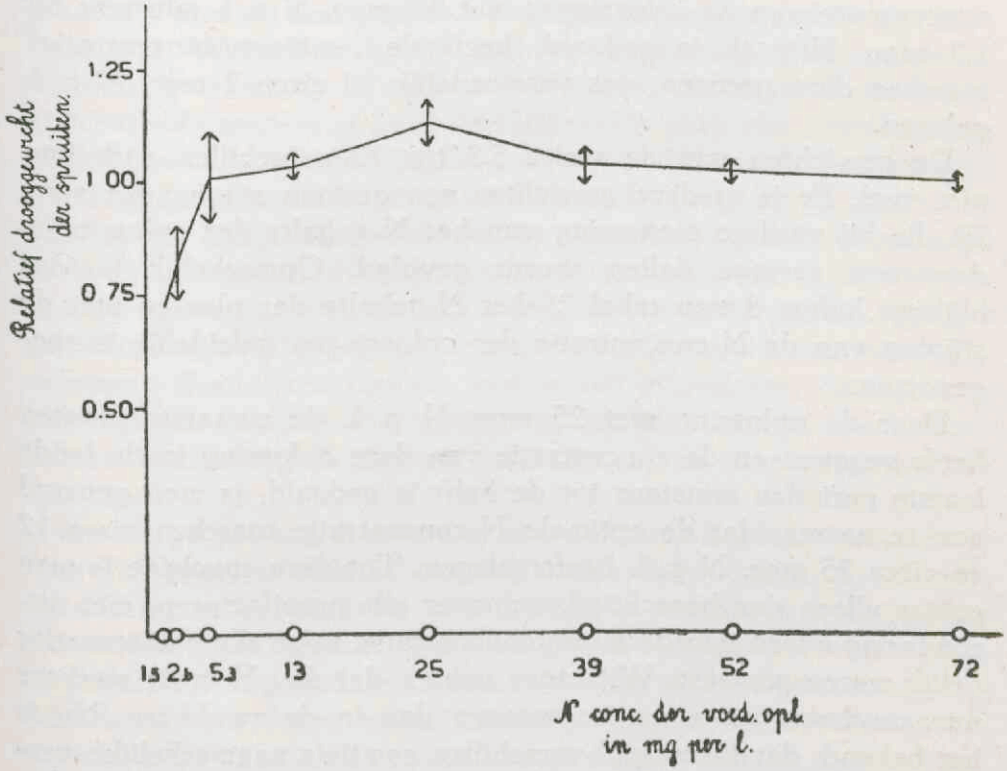

Fig. 10. Verband tusschen het drooggewicht der spruiten en de NO_3-concentratie der voedingsoplossing (4e proef). Het drooggewicht van serie 72 is op 1 gesteld.

Deze figuur, alsmede tabel 21, doen ons zien, dat kultuur 1.5 de geringste opbrengst heeft gegeven. Ook het gewicht van serie 2.6 is — hoewel grooter dan dat van kultuur 1.5 — veel geringer dan het gewicht van de planten, die in oplossingen met 5 of meer mgr. N p. l. werden gekweekt.

Bij oppervlakkige beschouwing van de kromme in fig. 10 zou men geneigd zijn te meenen, dat de minimumconcentratie van het optimale gebied ongeveer tusschen 2.6 en 5.3 mgr. N p. l. oplossing

is gelegen. Hierbij mag echter niet worden vergeten, dat de N-concentratie van deze oplossingen in de latere ververschingsperioden vermoedelijk tot de helft, en in de laatste periode wellicht nog meer is gedaald (pag. 82). Het N-gehalte van de oplossing van serie 5.3 is dus tegen het einde van de beide laatste ververschingsperioden op zijn minst gedaald tot een waarde, die overeenkomt met de aanvangsconcentratie van serie 2.6. Het vermoeden ligt dus voor de hand, dat de minimumconcentratie voor goeden groei kleiner is geweest dan 2.6 mgr. N p. l. Aangezien de N-concentratie van de oplossingen met 2.6 mgr. N p. l. minstens tot 1.3 mgr. N p. l. is gedaald, heeft de „minimumconcentratie" tusschen deze grenzen, dus vermoedelijk bij circa 2 mgr. N p. l. gelegen.

De gewichten van de series 5.3 t/m 72 verschillen onderling niet veel. Er is in deze gewichten een geringe stijging tot serie 25, die bij verdere toeneming van het N-gehalte der oplossingen door een geringe daling wordt gevolgd. Opmerkelijk is, dat blijkens kolom 8 van tabel 21 het N-gehalte der planten met de stijging van de N-concentratie der oplossingen geleidelijk is toegenomen.

Daar de oplossing met 25 mgr. N p. l. de zwaarste planten heeft gegeven en de concentratie van deze oplossing in de beide laatste perioden minstens tot de helft is gedaald, is men geneigd aan te nemen, dat de optimale N-concentratie tusschen circa 12 en circa 25 mgr. N p. l. heeft gelegen. Tot deze conclusie is men echter alleen dan gerechtigd, wanneer alle groeifactoren, met uitzondering alleen van de nitraatconcentratie, voor alle plantenseries gelijk waren geweest. Wij zagen echter, dat de pH in de sterkere nitraatoplossingen meer is gestegen dan in de zwakkere. Nu is het bekend, dat kleine pH-verschillen somtijds aanmerkelijke verschillen in groei kunnen veroorzaken. Daar komt nog bij, dat veranderingen in de H-ionenconcentratie gepaard gaan met „secundaire" veranderingen in de samenstelling der oplossingen, die op hun beurt invloed op den groei kunnen uitoefenen. Zoo kan men bij waterkulturen dikwijls waarnemen, dat de planten kenteekenen van ijzergebrek gaan vertoonen, wanneer de pH boven een zekere waarde stijgt.

De ongelijke stijging van de pH werd in deze proef hierdoor veroorzaakt, dat aan de diverse kulturen ongelijke hoeveelheden voedingsoplossing werden verstrekt. Immers in deze physiologisch alkalische oplossingen is bij gelijke zoutopname der planten een

des te grootere stijging in de OH-ionenconcentratie te verwachten, naarmate per plant minder voedingsoplossing beschikbaar is.

Analoge gevallen zijn beschreven door BARNETTE en SHIVE (1923). Zij namen waterkultuurproeven met jonge tarweplanten met de bedoeling, den invloed van ongelijke hoeveelheden voedingsoplossing op den plantengroei vast te stellen. Hierbij werden tweeërlei voedingsoplossingen vergeleken. In een dezer oplossingen nam de H-ionenconcentratie in de verschillende ververschingsperioden af, en, evenals in onze proeven, des te meer, hoe ouder de planten waren en hoe minder voedingsoplossing per plant beschikbaar was. Werd $FePO_4$ als ijzerbron aangewend, dan trad in de kulturen chlorose op en wel des te sterker, naarmate de H-ionenconcentratie meer was gedaald. Hiermede ging een vermindering in den groei der planten gepaard. In een andere proef met dezelfde voedingsoplossing werd door de auteurs ferrosulfaat in plaats van ferrifosfaat aangewend. Hoewel de schrijvers bij deze proef geen melding maken van chlorose, gaven de kulturen, die in het kleinste volume oplossing werden gekweekt, hier eveneens een geringer gewicht dan de planten, die over grootere hoeveelheden voedingsoplossing beschikken konden. Het is niet uitgesloten, dat het ijzer ook hier een beperkenden invloed op den plantengroei heeft uitgeoefend, zonder dat de planten kenteekenen van ijzergebrek hebben vertoond.

Iets dergelijks kan zich ook in mijn kulturen hebben voorgedaan. Aan den anderen kant hebben wij echter te bedenken, dat de pH-verschillen in de proeven van BARNETTE en SHIVE veel grooter waren dan in deze proef, waar de pH van de sterkere en van de zwakkere nitraatoplossingen aan het einde der ververschingsperioden hoogstens slechts enkele eenheden in de eerste decimaal heeft verschild. Er is dus alle reden aan te nemen, dat de storende invloed van de pH en van het ijzer in deze proef gering is geweest.

Aan het gebruik van ongelijke hoeveelheden voedingsoplossing is nog het tweede bezwaar verbonden, dat de wortels der kulturen niet over dezelfde hoeveelheid zuurstof kunnen beschikken. Aangezien een vrij aan de lucht staande voedingsoplossing slechts circa 9 mgr. zuurstof per liter bevat, zal het zuurstofgehalte in de sterkere oplossingen, waarin uiteraard een geringere hoeveelheid zuurstof beschikbaar was, onder den invloed der plant sterker zijn gedaald dan in de zwakkere.

Dat het zuurstofgehalte der oplossingen aanzienlijk kan dalen, is gebleken bij water- en zandkultuurproeven van ALLISON en SHIVE

(1923), waarin de invloed der aeratie op den groei van sojaboonen werd nagegaan. Een gedeelte van de kulturen werd met doorstrooming ververscht; een ander deel werd telkens na $3^1/_2$ dag van een nieuwe oplossing voorzien. Van beide series werd de helft geaereerd, door van tijd tot tijd lucht door de voedingsoplossing te blazen; bij de overige kulturen werd de aeratie achterwege gelaten. Het zuurstofgehalte der versch bereide oplossingen bedroeg circa 8 mgr. p. l. Bij de niet geaereerde, doch periodiek ververschte kulturen daalde het zuurstofgehalte der oplossingen in de 2e week tot 4.75 mgr. p. l. en na de 2e week zelfs tot circa 1.5 mgr. p. l. Opmerkelijk was, dat de groei der spruiten van deze aanzienlijke daling der zuurstofconcentratie geen nadeeligen invloed ondervond. De auteurs stelden vast, dat de kulturen, waarvan het zuurstofgehalte der oplossingen door aeratie vrijwel constant werd gehouden, nagenoeg hetzelfde gewicht opleverden als de niet geaereerde kulturen. Alleen de wortels ontwikkelden zich in de geaereerde oplossingen iets beter. De schrijvers vermelden, dat ook PEMBER (1917) en FREE (1917) resp. bij gerst en bij boekweit hebben gevonden, dat bij periodieke verversching der kultuuroplossingen de plantengroei niet door aeratie werd bevorderd. Klaarblijkelijk is dus de plantengroei bij deze wijze van ververschen slechts weinig afhankelijk van het zuurstofgehalte der oplossing.

Als een merkwaardigheid dient nog te worden vermeld, dat blijkens het onderzoek van ALLISON en SHIVE de plantengroei wel door aeratie werd bevorderd, wanneer de voedingsoplossing continu werd ververscht.

Daar in mijn proeven periodieke verversching werd toegepast, is het dus niet waarschijnlijk, dat de ongelijke hoeveelheid zuurstof in de verschillende oplossingen invloed heeft uitgeoefend op den groei der planten.

Het gebruik van ongelijke hoeveelheden voedingsoplossing is verder nog oorzaak geweest, dat er van de verschillende zouten, met uitzondering alleen van het nitraat, in de diverse oplossingen ongelijke hoeveelheden voor de plant beschikbaar zijn geweest. Dit heeft ten gevolge gehad, dat in de nitraatrijkere oplossingen zoowel de concentratie als de verhouding der diverse ionen aan een grootere verandering onderhevig is geweest dan in de oplossingen met een lagere nitraatconcentratie. In hoeverre dit op de gewichtsverhouding der kulturen invloed kan hebben gehad, moet in het midden worden gelaten.

Wanneer wij het bovenstaande nog eens kort samenvatten, dan

kunnen wij zeggen, dat er aan het gebruik van ongelijke volumina voedingsoplossing naast zekere voordeelen van practischen aard ontegenzeggelijk bezwaren zijn verbonden. Het komt mij echter voor, dat deze proef ons niettemin een bevredigend beeld geeft van het verloop der groei-stikstofconcentratiekromme in het gebied der lage concentraties.

Een groot bezwaar is echter nog, dat de oogstgewichten der planten in de zwakste oplossingen zeer onzeker zijn, doordat in de oplossing met 1.5 mgr. N p. l. slechts 1 plant werd gekweekt en de series met 2.6 en 5.3 mgr. N p. l. oplossing uit slechts 5 planten bestonden.

Teneinde de „minimumconcentratie voor goeden groei" met grootere nauwkeurigheid vast te stellen, werd een nieuwe proef aangezet, waarin series van 10 planten werden gekweekt in een gelijk volume voedingsoplossing. Ik laat hieronder een beschrijving van deze proef volgen.

5e Proef. Proefduur 26 dagen (6 Juli—1 Aug. 1929). Er werden 3 series planten aangezet in oplossingen, die resp. 1, 2 en 5 mgr. nitraatstikstof p. l. bevatten.

Het zaad werd te kiemen gelegd in kiemschalen met 1.5 liter voedingsoplossing. Elke serie werd aangezet in 2 schalen, waarin totaal aanwezig waren 3 liter oplossing en 50 zaden, die nagenoeg alle kiemden. Daar in deze zwakke oplossingen uiteraard groot gevaar bestond voor een te groote daling der N-concentratie, werden de kiemschalen herhaaldelijk ververscht en wel op den 2en en op den 4en dag sedert de korrels te kiemen waren gelegd. Na den 4en dag werd dagelijks ververscht, zoolang de plantjes zich nog in de kiemschalen bevonden. Bij elke verversching werd van de versche en van de gebruikte oplossingen de pH en de nitraatconcentratie colorimetrisch vastgesteld.

Op het oog groeiden de plantjes in alle schalen even sterk, maar niet gelijkmatig. Onderling verschilden de plantjes vrij veel in lengte, vooral die in de oplossingen met slechts 1 mgr. N p. l.

Op den 7en dag werden van elke serie 10 plantjes van zooveel mogelijk gelijke lengte overgebracht in 5 wijdmondsche flesschen met een inhoud van 5.6 liter. De flesschen werden afgesloten met een doorboorde kurk, waarin 2 plantjes werden bevestigd [1]). Er was dus in de series 1, 2 en 5 per plant resp. 2.8, 5.6 en 14 mgr.

---

[1]) In de 3e week is bij het ververschen één der planten van serie 1 geknakt. Bij den oogst is deze plant niet meegerekend.

stikstof beschikbaar. De oplossingen werden slechts één keer ververscht, en wel op den 19en dag. Daar de planten op den 26en dag werden geoogst, bedroegen de ververschingsperioden dus resp. 12 en 7 dagen. Om de oplossingen voor uitputting te behoeden, werd de N-concentratie tusschentijds herhaaldelijk colorimetrisch gecontroleerd en door toevoeging van nitraat op de aanvangswaarde teruggebracht.

De uitkomsten van deze bepalingen zijn in tabel 22 in kolom 2 t/m 4 samengevat. Een paar keer moest de N-bepaling achterwege blijven, zoodat de tabel eenige hiaten vertoont. Wij zien uit de getallen van deze tabel, dat het N-gehalte der oplossingen in het begin van de kiemingsperiode slechts weinig is gedaald. Van dag tot dag nam deze daling snel toe; op den 6en dag werd vooral bij serie 1 en 2 een zeer lage N-concentratie aangetroffen.

Vanaf den 7en dag tot op den dag van den oogst schommelde het N-gehalte in de oplossingen van serie 1 ongeveer tusschen 1 en 0.4 mgr. p. l. Enkele malen werden lagere N-gehalten vastgesteld. In dezelfde periode bewoog de N-concentratie bij serie 2 zich tusschen 2 en circa 1 mgr. p. l. Alleen op den 24en dag bleek het N-gehalte in 2 dagen tijds aanzienlijk meer te zijn gedaald. Bij serie 5 varieerde de N-concentratie hoofdzakelijk tusschen 5 en 3 mgr. p. l.

In de kolommen 5 t/m 7 van dezelfde tabel is voor de verschillende perioden de gemiddelde N-opname per dag opgegeven. Deze waarden werden berekend uit de waarden van kolom 2 t/m 4, door de daling der stikstofconcentratie in mgr. p. l. in de diverse oplossingen en in de verschillende perioden te vermenigvuldigen met het aantal liters voedingsoplossing, dat per plant beschikbaar was, en te deelen door het aantal dagen van de betreffende periode. Bij deze berekening behoefde met de verdamping geen rekening te worden gehouden, daar de oplossingen geregeld tot het oorspronkelijke volume werden bijgevuld.

Uit de kolommen 5 t/m 7 is met één oogopslag te zien, dat de N-opname met toenemende N-concentratie der oplossingen is toegenomen.

Om uit deze getallen een beeld te verkrijgen van de toeneming der N-opname in opeenvolgende groeiperioden, heb ik de uitkomsten graphisch voorgesteld, door op de abscissenas de dagen af te zetten en de stikstofopname uit te drukken in de lengte der ordinaten. De aldus verkregen krommen, die niet in dit proefschrift zijn afgebeeld, vertoonden aanvankelijk een geringe stijging, die

met het ouder worden der planten gaandeweg toenam. Aan de hand van deze graphiek kon bij benadering worden vastgesteld, hoeveel N er door de planten opgenomen is in de perioden, die in kolom 2 t/m 4 van tabel 22 zijn opengelaten. Deze waarden zijn in de tabel in de kolommen 5 t/m 7 tusschen haakjes opgenomen. Verder werd door extrapolatie berekend, hoeveel de N-opname vanaf den 26en tot den 28en dag ongeveer zou hebben bedragen, indien de proef twee dagen langer was voortgezet. Zoodoende werd het mogelijk, de N-opname van week tot week, met inbegrip van de 4e week te berekenen. In tabel 23 vindt men de uitkomsten van deze berekening.

TABEL 23.

Gemiddelde N-opname per plant per etmaal in mgr.

	1e week	2e week	3e week	4e week
Serie 1	0.04	0.3	0.6	1.3
Serie 2	0 06	0.4	1	2.1
Serie 5	0.08	0.4	1.1	2.9

Opmerkelijk is, dat de waarden van serie 5 in deze tabel goed overeenstemmen met de gemiddelde dagelijksche N-opname, die in de overeenkomstige weken in de 3e proef bij serie 182 werd vastgesteld (pag. 63).

Uit tabel 23 kan worden berekend, hoeveel N er door de diverse series in 28 dagen is opgenomen, door van elke serie de vier opgegeven getallen te summeeren en deze som met 7 te vermenigvuldigen. Wij vinden dan de volgende waarden:

N-opname van serie 1 in 28 dagen 17 mgr.
„ „ „ 2 „ „ „ 25 „
„ „ „ 5 „ „ „ 31 „

Wij zien hieruit, dat de stikstofopname in geringere mate toeneemt dan de N-concentratie der oplossingen. Immers de N-opname der planten is in de oplossingen met 2 mgr. N p. l. slechts 25/17 = 1.5 maal zoo groot als in de oplossingen met 1 mgr. N p. l. Bij serie 5 is de N-opname nog slechts 31/25 = 1.24 maal zoo groot als bij serie 2, hoewel de N-concentratie bij serie 5 meer dan dubbel zoo groot was als bij serie 2. Dit wijst erop, dat de N-opname der planten bij toenemende N-concentratie der voedingsoplossing in een steeds geringer tempo toeneemt.

Dit is in overeenstemming met hetgeen door POUGET en CHOUCHAK (1912) gevonden werd, namelijk dat de kromme der N-opname bij toenemend N-gehalte der voedingsoplossingen een stijging vertoont, die gaandeweg geringer wordt, totdat de kromme tenslotte bijna evenwijdig loopt met de as, waarop de N-concentraties der oplossingen zijn afgezet. Deze onderzoekers hebben de N-opname ook nagegaan in het concentratiegebied van 0 tot 1 mgr. N p. l. en daarbij gevonden, dat de N-opname in dit gebied evenredig met het N-gehalte der oplossingen toeneemt.

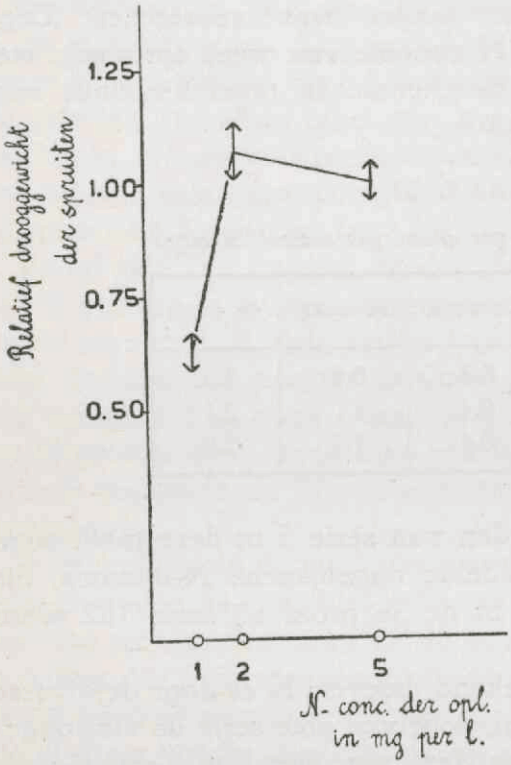

Fig. 11. Drooggewicht der spruiten (relatief). 5e proef. Het gewicht van serie 5 is hierbij op 1 gesteld.

De stijging van de pH in de oplossingen werd in de kiemschalen 2 maal daags, in de kultuurflesschen dagelijks gecontroleerd en door toevoeging van de vereischte hoeveelheid HCl op de aanvangswaarde (6.6) teruggebracht. Zoodoende werd de pH in deze proef practisch constant gehouden.

Toen de planten 10 dagen oud waren, werd bij serie 1 een achterstand in groei waargenomen, die met het ouder worden der planten steeds duidelijker werd.

Resultaten. Het gewicht van de planten van serie 1 werd bij de oogst veel geringer gevonden dan dat der beide andere series (kolom 4 en 5 van tabel 24 en fig. 11).

Figuur 11 doet ons verder zien, dat de gewichten van de series 2 en 5 slechts weinig uiteenloopen. Ook het gewicht der wortels is bij serie 1 geringer dan bij de series 2 en 5 (tabel 24, kolom 6). De verschillen zijn hier echter niet zoo groot, doordat het wortelstelsel zich in de zwakkere oplossingen relatief krachtiger heeft ontwikkeld (kolom 8, tabel 24); een verschijnsel, dat door ons ook in de vorige proeven werd waargenomen.

Wanneer wij uit de gewichten der series gevolgtrekkingen willen

maken omtrent de „minimumconcentratie voor goeden groei", dan dient bedacht te worden, dat het N-gehalte van de oplossingen met 2 mgr. p. l. herhaaldelijk circa 50 % is gedaald en dat deze daling bij serie 1 circa 60 % heeft bedragen. De „minimumconcentratie" heeft dus vermoedelijk tusschen 0.4 en 1 mgr. N p. l. gelegen. Daar deze in de vorige proef bij circa 2 mgr. N p. l. werd gevonden, kan wel gezegd worden, dat tarweplanten reeds bij een zeer geringe N-concentratie tot een zeer goeden groei in staat zijn.

Een merkwaardigheid is, dat de planten in de oplossing met 1 mgr. N p. l. geen kenteekenen van stikstofgebrek hebben vertoond. Tot op den dag van den oogst maakten deze planten een normalen indruk en onderscheidden zij zich van de series 2 en 5 alleen door een grooten achterstand in groei. Een overeenkomstige waarneming werd gedaan door JOHNSTON en HOAGLAND (1929) bij tomaten in voedingsoplossingen met een suboptimale K-concentratie. Hoewel de groei dezer planten een groote vertraging onderging, bleven de voor dit gewas typische kenteekenen van K-gebrek (gevlekte bladeren) achterwege, behalve in die gevallen, waarin het K-gehalte der oplossingen door onvoldoende verversching tot een zeer gering bedrag daalde. Ook BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929) vermelden, dat „the symptoms supposedly characteristic of potassium starvation develop only when the concentration of soluble potassium is extremely small". Het normale uiterlijk van de planten in de oplossingen met 1 mgr. N p. l. wettigt eveneens het vermoeden, dat symptomen van N-gebrek eerst optreden, wanneer de nitraatconcentratie der voedingsoplossing tot de laagst mogelijke waarde is gedaald. Is dit minimum bereikt, dan wordt er blijkens de onderzoekingen van TRUE en BARTLETT (1912) door de wortels evenveel stikstof opgenomen, als er door hen wordt afgescheiden.

Opmerking verdient nog, dat blijkens kolom 7 in tabel 24 het gehalte der planten aan droge stof met de stijging van het N-gehalte der oplossingen is toegenomen.

Tenslotte moet nog een enkel woord worden gezegd over het verband tusschen de N-opname en den groei der planten. Terwijl de N-opname, zooals wij zagen, bij toeneming van het N-gehalte der oplossingen blijft stijgen, zij het dan ook in een steeds geringer tempo, werd de maximale groei reeds bereikt in oplossingen met een concentratie van 2 mgr. N p. l. Klaarblijkelijk is door de planten uit de oplossingen met meer dan 2 mgr. N p. l. meer stikstof opgenomen dan voor maximalen groei noodzakelijk was. Ana-

loog hieraan werd door BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929) bij verschillende gewassen waargenomen, dat de K-opname der planten in oplossingen met stijgend K-gehalte blijft toenemen, ook al wordt de minimumconcentratie overschreden, die voor maximalen groei van het gewas vereischt is. Volgens POUGET en CHOUCHAK (1912), door wie hetzelfde werd waargenomen met stikstof, zou het overschot aan nitraat niet door de plant worden geassimileerd. Inderdaad heeft men aangetoond, dat het „overtollige" nitraat onveranderd in de weefsels wordt vastgelegd (zie bijv. NIKLAS en GRANDEL, 1927). Ook uit den grond kunnen vooral door tarweplanten betrekkelijk groote hoeveelheden nitraat worden opgenomen, zonder dat dit zout in de plant eenige verandering ondergaat. Van een „luxe-opname" kan hier echter niet worden gesproken, daar deze reserve naar alle waarschijnlijkheid door de plant zal worden benut, wanneer de nitraatconcentratie van het bodemvocht, die aan groote wisselingen onderhevig is, daalt beneden de grens, die voor goeden groei vereischt is.

Er volgen nu nog twee proeven, waarin de invloed van hoogere nitraatconcentraties op den groei der tarweplanten werd bestudeerd.

6e Proef. Proefduur 23 dagen (31 Juli—23 Aug. 1929).

De proef bestond uit 6 series, waarvan de oplossingen resp. 42, 70, 126, 182, 238 en 350 mgr. nitraatstikstof per liter bevatten. De intervallen bedroegen dus resp. 2, 4, 4, 4 en 8 m. aeq. p. l.

In de kiemschalen werden 50 tarwekorrels op 1.5 liter voedingsoplossing te kiemen gelegd. Op den 9en dag werden van elke serie 12 plantjes van vrijwel gelijke lengte in glazen kultuurcylinders overgebracht. Elke cylinder bevatte circa 2400 cc voedingsoplossing, waarin 6 plantjes werden geplaatst.

De eerste verversching had plaats op den 3en dag, daarna op den 5en dag en vervolgens dagelijks, zoolang de plantjes zich nog in de kiemschalen bevonden. De cylinders werden op den 15en en op den 19en dag van een nieuwe oplossing voorzien.

De pH varieerde gedurende de geheele proef bij alle kulturen van 6.6 tot 6.8.

De nitraatconcentratie werd niet gecontroleerd. Doordat de oplossingen in de kiemschalen na den 5en dag dagelijks werden ververscht, kan het N-gehalte tot den 9en dag slechts weinig zijn gedaald. Uit den aard der zaak is deze daling het grootst geweest daags voordat de plantjes in de cylinders werden overgebracht.

Afgaande op fig. 5 op pag. 62 is er dien dag per kiemplantje circa 0.25 mgr. N, d. i. door de gezamenlijke kiemplantjes ongeveer 50 × 0.25 = 12.5 mgr. N opgenomen. Aangezien in de kiemschaal met de zwakste oplossing (42 mgr. N p. l.) na elke verversching 42 × 1.5 = 63 mgr. N voor de plantjes beschikbaar was, is het N-gehalte in deze schaal op den laatsten dag ongeveer 20 % gedaald. In de voorafgaande dagen en in de sterkere oplossingen is de daling der N-concentratie in percenten uiteraard zoo gering geweest, dat hiermee geen rekening behoeft te worden gehouden. Op overeenkomstige wijze kan aan de hand van fig. 5 de daling van het N-gehalte in de cylinders bij benadering worden vastgesteld. Het is alleszins geoorloofd, de uitkomsten van de 3e proef, waarop fig. 5 betrekking heeft, op de onderhavige proef toe te passen, daar de groeiomstandigheden in beide proeven nagenoeg even gunstig zijn geweest. Blijkens de kromme in fig. 5 werd gemiddeld vanaf den 9en tot den 15en dag circa 6 × 0.5 = 3 mgr., van den 15en tot den 19en dag circa 4 × 1 = 4 mgr. en van den 19en tot den 23en dag circa 4 × 1.8 = 7.2 mgr. N door de afzonderlijke planten opgenomen. In de versche oplossingen van serie 42 was 0.4 × 42 = 16.8 mgr. N voor elke plant beschikbaar, zoodat het N-gehalte der oplossingen bij deze kulturen zelfs in de laatste ververschingsperiode zeker niet meer dan circa 40 % is gedaald. Bij serie 70 is het N-gehalte in diezelfde periode hoogstens met een bedrag van 25 %, en bij serie 126 met 14 % afgenomen. In de sterkere oplossingen is de daling der N-concentratie niet noemenswaard geweest. Bij deze schattingen behoefde met de verdamping geen rekening te worden gehouden, daar de oplossingen twee maal daags door toevoeging van gedestilleerd water op het oorspronkelijke volume werden teruggebracht.

Resultaten. Deze vindt men samengevat in tabel 25 en graphisch weergegeven in fig. 12.

Zoowel fig. 12 als tabel 25, voor zoover deze laatste betrekking heeft op de gewichten der geoogste planten, doen ons zien, dat er een vrij goede overeenstemming bestaat tusschen de gewichten van de series 42 t/m 182. Dit is niet alleen het geval met het gewicht der spruiten, ook de wortelgewichten loopen slechts weinig uiteen. De genoemde series hebben een grooter gewicht opgeleverd dan de planten van serie 238. Dit is in overeenstemming met de uitkomsten van de proeven in het voorafgaande hoofdstuk, waar eveneens boven een concentratie van 182 mgr. N p. l. een „val"

in de opbrengsten werd waargenomen. Verder blijkt uit de geringe gewichten van serie 350, dat de oplossingen met 350 mgr. N p. l. een sterk remmende werking op den groei hebben uitgeoefend. Wanneer wij tenslotte nog een blik werpen op de kolommen 6 en 7 van tabel 25, waarin het drogestofgehalte en het procentueele wortelgewicht zijn opgegeven, dan krijgen wij den indruk, dat er tusschen deze waarden en het N-gehalte der oplossingen geen verband bestaat. Van een toeneming van het drogestofgehalte der planten bij stijging van de N-concentratie der oplossingen, zooals

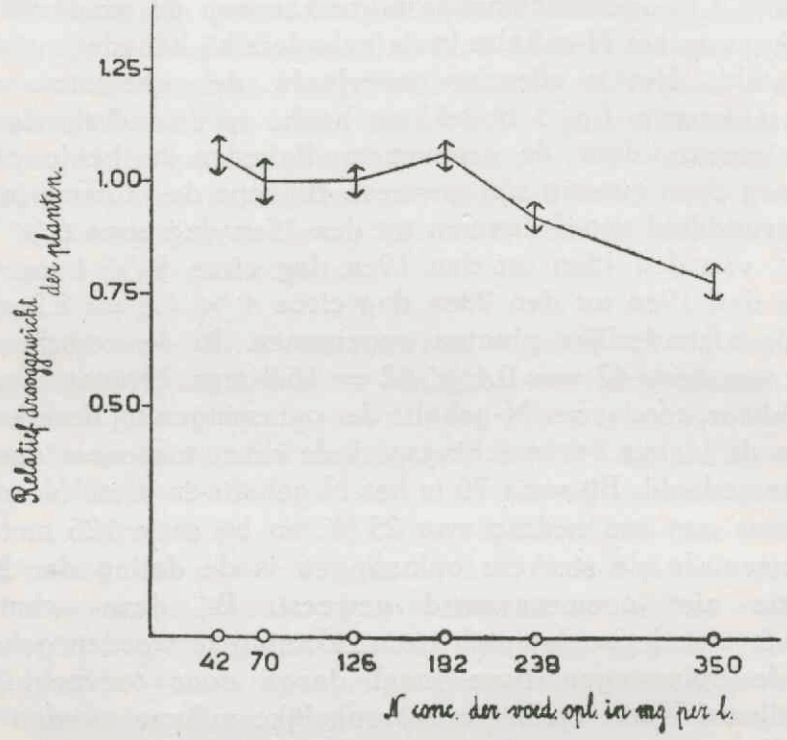

Fig. 12. Verband tusschen het drooggewicht der planten en de NO_3-concentratie der voedingsoplossing (6e proef). Het drooggewicht van serie 70 op 1 gesteld.

in de proeven van het vorige hoofdstuk werd vastgesteld, is hier niets te bespeuren. Ook ten aanzien van het procentueele wortelgewicht is er verschil tusschen deze proef en die in het voorafgaande hoofdstuk. Werd in de vorige proeven (kolom 7 van tabel 10 en 17) in het gebied der hoogere N-concentraties behoudens eenige onregelmatigheden een geringe afneming in het procentueele wortelgewicht bij stijging van het N-gehalte der oplossingen waargenomen, in tabel 25 vertoonen deze getallen een zoodanige schom-

meling, dat hier in het midden gelaten moet worden, of er eenig verband is tusschen het procentueele wortelgewicht der kulturen en de N-concentratie der voedingsoplossingen.

7e Proef. Proefduur 37 dagen (9 April—16 Mei 1930). Deze proef was bedoeld als een herhaling van de 6e proef. Zij verschilde van deze laatste alleen hierin, dat zij vroeg in het voorjaar werd genomen en langer werd voortgezet. De diverse plantenseries werden in dezelfde oplossingen gekweekt als in de vorige proef; bovendien werd nog een serie aangezet in oplossingen met 20 mgr. N p. l. Het N-gehalte van de verschillende oplossingen bedroeg dus resp. 20, 42, 70, 126, 182, 238 en 350 mgr. p. l.

De kiemschalen werden gevuld met 1.5 liter voedingsoplossing, waarop 50 zaden werden te kiemen gelegd. De oplossingen werden in de kiemschalen eerst twee maal om den anderen dag en vervolgens dagelijks ververscht. Nadat de plantjes op den 9en dag in cylinders met 2400 cc voedingsoplossing waren geplaatst (6 plantjes per cylinder), werden de oplossingen herhaaldelijk ververscht, en wel op den 14en, den 19en en den 23en dag, daarna een week lang om den anderen dag en vervolgens dagelijks, totdat de planten werden geoogst. Alle series bestonden uit 12 planten.

De pH bleef gedurende de geheele proef in alle series vrijwel constant (6.6 à 6.7). Het nitraatgehalte der voedingsoplossingen werd niet gecontroleerd.

Daar de temperatuur in dit vroege jaargetijde betrekkelijk laag was, groeiden de planten veel langzamer dan in de andere proeven, die alle in de zomermaanden werden genomen. Dit kwam dan ook in het gewicht der geoogste planten duidelijk tot uiting. Terwijl het gemiddelde drooggewicht der planten in de beste oplossing (serie 20, tabel 26) 602 mgr. bedroeg, werden in de 1e en 4e proef, die eveneens na circa 5 weken werden beëindigd, doch onder gunstigere omstandigheden werden genomen, gewichten van 700 à 800 mgr. verkregen.

Verder lag het voor de hand, dat er in deze proef door de planten minder nitraat was opgenomen dan door de even oude planten in de 1e en in de 4e proef. Dat dit inderdaad het geval is geweest, blijkt onmiddellijk, wanneer wij het N-gehalte van de planten in deze proef (kolom 8, tabel 26) met dat van de 4e proef (kolom 8, tabel 21) vergelijken. Wij zien dan, dat de N-gehalten der planten in deze beide proeven van dezelfde grootte-orde zijn, hetgeen de conclusie wettigt, dat de stikstofopname in de onderhavige proef in verband met de minder gunstige

groeiomstandigheden ongeveer evenredig met den groei is afgenomen. Wanneer wij verder bedenken, dat de oplossingen door ons ditmaal vaker werden ververscht dan in de voorafgaande proeven, dan is er alle reden, aan te nemen, dat zelfs de zwakste oplossing slechts een geringe concentratiedaling heeft ondergaan.

Resultaten. Bij den oogst werd tusschen de gewichten van de kulturen 20 t/m 126 een vrij goede overeenstemming vastgesteld (tabel 26. fig. 13).

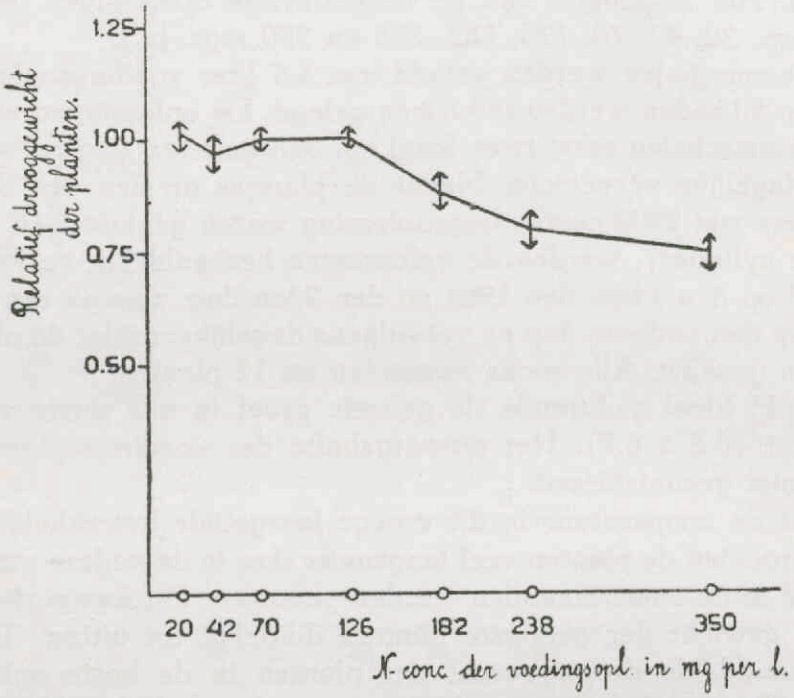

Fig. 13. Verband tusschen het drooggewicht der planten en de NO_3-concentratie der voedingsoplossing (7e proef). Het drooggewicht van serie 70 op 1 gesteld.

Te beginnen met serie 182, werden de gewichten bij toenemende N-concentratie der oplossingen geleidelijk minder. Hoewel de resultaten van deze proef in groote trekken overeenstemmen met die der voorafgaande proeven, is er toch dit verschil, dat de schadelijke invloed van de sterkere oplossingen zich hier reeds bij een lagere concentratie, nl. bij 182 mgr. N p. l. heeft doen gelden. In het laatste hoofdstuk zal op deze afwijking nader worden teruggekomen.

Van alle plantenseries werden het totaal-stikstofgehalte en het nitraatstikstofgehalte bepaald. Deze waarden zijn in de 8e en 9e kolom van tabel 26 ondergebracht. In kolom 10 is het gehalte aan organisch gebonden stikstof opgegeven. Wanneer wij afzien van serie 350, waarvan het N-gehalte eenigszins buiten het kader valt, dan blijkt er tusschen de getallen van kolom 10 een bevredigende overeenstemming te bestaan. Daarentegen vertoonen de waarden in kolom 8 en 9 een vrij groote variatie. Het valt echter op, dat zoowel het totaal-N-gehalte als het NO_3-gehalte der planten met de N-concentratie der oplossingen tot serie 126 zijn toegenomen. Welk verband er in de sterkere oplossingen bestaat tusschen de N-concentratie der oplossingen en het N-gehalte der planten, kan uit de getallen van de 8e en 9e kolom niet worden opgemaakt. Men krijgt echter niet den indruk, dat het N-gehalte afneemt met de stijging van de N-concentratie der oplossingen. Alles bij elkaar genomen maken de getallen van kolom 8 t/m 10 van tabel 26 het waarschijnlijk, dat 1) de N-opname der planten tot zekere hoogte met de nitraat-concentratie der voedingsoplossing is toegenomen. 2) de hoogere N-concentraties geen beperkenden invloed op de N-opname hebben uitgeoefend, 3) er t.o.v. het drooggewicht der planten in bijna alle kulturen een gelijke hoeveelheid stikstof in organische verbindingen is omgezet, terwijl het „overtollige" nitraat als zoodanig in de planten is vastgelegd.

Naar aanleiding van het eerstgenoemde punt moge herinnerd worden aan de 4e proef, waarin eveneens zonder eenig verband met het gewicht der geoogste planten, een geleidelijke stijging in het N-gehalte der planten bij toenemende N-concentratie der voedingsoplossing werd vastgesteld (tabel 21, kolom 8). De onder 2) en 3) genoemde resultaten stemmen minder fraai met die van de andere proeven overeen. Zoo werden in de 2e proef bij de series in de sterkere oplossingen lagere N-gehalten gevonden dan bij de kulturen in de zwakkere oplossingen; bovendien scheen er in die proef van de hoogere nitraatconcentraties een ongunstige invloed uitgegaan te zijn op het vermogen der planten om het opgenomen nitraat te assimileeren. Ik beschik niet over voldoende gegevens, om deze tegenstrijdigheid te kunnen verklaren.

Tenslotte dient nog gewezen te worden op de 6e kolom van tabel 26, waarin het drogestofgehalte der kulturen is opgegeven. Op het eerste gezicht schijnt er geen verband te bestaan tusschen deze getallen en het N-gehalte der voedingsoplossing. Wanneer

wij echter de lage waarde van serie 238 uitschakelen, dan blijken deze getallen denzelfden „gang" te vertoonen als in de voorafgaande proeven werd vastgesteld. Immers behalve in de 6e proef, waar het drogestofgehalte slechts kleine verschillen te zien gaf, werd bij alle overige proeven een minimum bij serie 70 en van daar uit een stijging van het drogestofgehalte in beide richtingen vastgesteld.

HOOFDSTUK VI.

BESPREKING EN SAMENVATTING DER RESULTATEN.

De NO_3-concentratie der voedingsoplossing en de plantengroei.

Wij willen nu trachten uit de resultaten van de in de beide vorige hoofdstukken beschreven proeven ons een algemeen oordeel te vormen omtrent het verband tusschen de nitraatconcentratie der voedingsoplossing en den groei der planten.

Om dit mogelijk te maken en tevens verband te kunnen leggen tusschen de proeven, waarin de invloed van de hoogere en die, waarin de invloed der lagere nitraatconcentraties werd bestudeerd, heb ik, voor zoover dit mogelijk was, het oogstgewicht van serie 70 in de diverse proeven op 1 gesteld, de gewichten van de andere series hierop herleid, en deze relatieve gewichten in tabel 27 samengevat.

De relatieve gewichten en de daarbij opgegeven middelbare fouten hebben in deze tabel betrekking op de geheele planten met inbegrip van de wortels. Waar, zooals in de 1e, 2e, 4e en 5e proef, slechts de middelbare fout der spruiten bekend was, werd deze fout eenvoudig op het relatieve gewicht der geheele planten omgerekend. Dit zou niet geoorloofd zijn geweest, indien de variatiecoëfficient van het gewicht der spruiten kleiner was dan die der volledige planten, daar in dat geval aan het gewicht der geheele planten een grootere betrouwbaarheid zou worden toegekend dan dit gewicht in werkelijkheid bezat. In één der proeven, die niet in dit proefschrift zijn opgenomen, is gebleken, dat de variatiecoëfficiënt van de spruitgewichten niet geringer, wel somtijds grooter is dan die van de gewichten der geheele planten. Ik heb nl. in die proef bij 3 series van 18 planten, die gekweekt waren in oplossingen met zeer uiteenloopende N-concentratie, den variatiecoëfficient van de gewichten der spruiten en van die der geheele planten

afzonderlijk vastgesteld. In één dezer series was de variatiecoëfficient bij de spruiten circa 10 % grooter dan bij de geheele planten, in de beide andere series werd hij gelijk gevonden. Ook DAVIS (1921) heeft bij een 3-tal verschillende series van tarweplanten

TABEL 27.

Aanvangsstikstofconc. der opl. in mgr. p. l.	Drooggewicht der planten relatief.							
	1e proef (1928) Duur: 31 dagen. Serie 70 = 1.	2e proef (1928) Duur: 22 dagen. Serie 70 = 1.	3e proef (1928) Duur: 52 dagen. Serie 126 = 1.	4e proef (1928) Duur: 34 dagen. Serie 70 = 1.	5e proef (1929) Duur: 26 dagen. Serie 5 = 1.	6e proef (1929) Duur: 23 dagen. Serie 70 = 1.	7e proef (1930) Duur: 37 dagen. Serie 70 = 1.
1					0.73±0.04		
1.5				0.83			
2					1.09±0.06		
2.6				0.91±0 09			
5				1.10±0.11	1 ±0.04		
13				1.07±0.03			
25				1.15±0 05			1.01±0.03
40		0.95±0.02		1.05±0.04		1.06±0.04	0.97±0.04
50				1.03±0.02			
70	1 ±0.02	1 ±0.02		1 ±0.02		1 ±0.04	1 ±0.02
126	1 ±0.02	1.08±0.03	1 ±0.05			1 ±0.04	1 ±0 02
182		1.14±0.02	1 07±0.04			1.06±0.03	0.87±0.04
238		0.89±0.03	0.86±0.03			0.92±0.03	0.79±0.04
294		0 99±0.03	0.88±0.03				
350		0.96±0.03	0.84±0.04			0.78±0.04	0.74±0.04
406		0.93±0 02	0 84±0.03				
462		1.01±0.02					

den variatiecoëfficient vastgesteld. Door hem werd deze coëfficient bij de spruitgewichten steeds grooter gevonden dan bij de geheele planten. Het is dus wel heel waarschijnlijk, dat de middelbare fouten in de kolommen der 1e, 2e, 4e en 5e proef van tabel 27 eerder aan den hoogen dan aan den lagen kant zijn.

In de genoemde tabel werd bij de 5e proef het drooggewicht van serie 5 als eenheid aangenomen, omdat in die proef geen planten in oplossingen met 70 mgr. N p. l. werden gekweekt. Feitelijk sluiten de relatieve gewichten van de 5e proef dus niet aan bij die der andere proeven. Wanneer wij echter de getallen van de 4e proef met elkaar vergelijken, dan blijken de gewichten van de series 5 t/m 70 zoodanig overeen te stemmen, dat het vermoedelijk niet veel verschil uitmaakt, of het gewicht van serie 5 dan wel dat van serie 70 als eenheid wordt aangenomen.

Bij de 3e proef werd het gewicht van serie 126 op 1 gesteld, omdat in die proef het nitraatgehalte van de oplossingen, waarin de planten van serie 70 werden gekweekt, in de laatste weken voor den oogst een te groote en te snelle daling heeft ondergaan en het gewicht van deze serie daarom onbetrouwbaar moet worden geacht (pag. 65). Aangezien in alle proeven, waarin de series 70 en 126 tezamen voorkwamen, de opbrengst van serie 126 in het geheel niet, of slechts weinig van die van serie 70 heeft verschild, kunnen de relatieve gewichten van de 3e proef, hoewel de opbrengst van serie 126 hierin op 1 werd gesteld, zonder bezwaar met die van de overige proeven worden vergeleken.

Wanneer wij tabel 27 nader beschouwen, dan valt het op, dat de voedingsoplossingen met een hoeveelheid stikstof grooter dan 182 mgr. per liter op een enkele uitzondering na een lagere opbrengst hebben gegeven dan de oplossingen met een lagere nitraatconcentratie. Al waren de verschillen niet in alle proeven even groot, toch kan wel gezegd worden, dat er van de hoogere nitraatconcentraties in vergelijking met oplossing 70 een ongunstige invloed op den groei der planten is uitgegaan.

Duidelijk is dit ook te zien in tabel 28, waarin met een +, resp. een — teeken is aangeduid, of het oogstgewicht zich in gunstigen dan wel in ongunstigen zin van dat van serie 70 (event. van serie 5 of 126) heeft onderscheiden.

De getallen in deze tabel geven aan, hoeveel malen het verschil in gewicht tusschen de onderscheidene series en de standaardserie grooter is geweest dan de middelbare fout van dit verschil. Waar

TABEL 28.

(Zie tekst pag. 101 e.v.).

serie-nummer	1e proef	2e proef	3e proef	4e proef	5e proef	6e proef	7e proef
1					**— 4.8**		
1.5				—			
2					+ 1.2		
2.6				— 1.0			
5				+ 0 9	0		
13				+ 2.0			
25				+ 2.8			+ 0.3
40		— 1.8		+ 1.0		+ 1.1	— 0.6
50				+ 1.1			
70	0	0		0		0	0
126	0	+ 2.2	0			0	0
182		+ 5.0	+ 1.1			+ 1.2	— 2.7
238		**— 3.1**	— 2.4			— 1.6	**— 4.3**
294		— 0.3	— 2.1				
350		— 1.1	— 2.5			**— 3.9**	**— 5.3**
406		— 2.5	— 2.8				
462		+ 0.4					

deze factor grooter dan 3 werd gevonden en dus tot een reëel verschil mocht worden besloten, werden de getallen met vette cijfers aangegeven.

De minder gunstige invloed der hoogere nitraatconcentraties heeft zich in de verschillende proeven in ongelijke mate doen gelden. In de meeste proeven vertoonde het gewicht van de planten in de sterkere oplossingen een duidelijken achterstand bij dat van serie 70. Alleen in de 2e proef verschilde het gewicht van de series 294 t/m 462 slechts weinig van dat van serie 70, hetgeen zijn

oorzaak vond in de omstandigheid, dat deze proef reeds na 3 weken werd beëindigd. Het is nl. in de 3e proef, die 8 weken lang werd voortgezet, gebleken, dat de schadelijke invloed der sterkere oplossingen met het ouder worden der planten steeds duidelijker aan het licht komt. In de 3e proef werd bij elke verversching de verdamping over de afgeloopen periode bepaald, zoodat ik mij een voorstelling kon maken van de gewichtsverhouding der kulturen in achtereenvolgende groeiperioden. Uit het verloop der verdampingskrommen kon worden opgemaakt, dat de relatieve gewichten van de planten in de sterkere oplossingen gaandeweg zijn gedaald.

De vraag rijst, hoe het dan mogelijk is, dat het relatieve gewicht van serie 350 in de 6e proef zooveel lager werd gevonden dan in de 2e proef, hoewel beide proeven na circa 3 weken werden beëindigd. Ook is het duister, waarom in de 7e proef relatief lagere opbrengsten werden verkregen dan in de 3e proef, niettegenstaande de planten in de laatstgenoemde proef veel later werden geoogst. Dit verwondert te meer, daar het „zaad", dat voor de diverse proeven werd aangewend, in erfelijk opzicht gelijkwaardig is geweest. Hierbij moet echter worden bedacht, dat de groeiomstandigheden in deze proeven ongelijk zijn geweest, en dat hiervoor zaad van verschillende oogstjaren werd aangewend. De 2e en 3e proef werden genomen in het zomerseizoen van 1928 met zaad, dat in het voorafgaande jaar was geoogst; daarentegen was het zaad voor de 6e en 7e proef, die onderscheidenlijk in 1929 en 1930 werden genomen, resp. van de oogstjaren 1928 en 1929 afkomstig. Het is niet ondenkbaar, dat de ongelijke resistentie der planten tegen hooge nitraatconcentraties verband houdt met de omstandigheden, die in het voorafgaande oogstjaar hebben geheerscht, of waaraan het zaad na den oogst blootgesteld is geweest. Daar in deze richting geen proeven werden genomen, moet dit probleem hier verder onbesproken blijven.

Opmerkelijk is, dat de planten in de onderscheidene proeven zeer ongelijk hebben gereageerd op de voedingsoplossing met 182 mgr. N p. l. Terwijl het gewicht van deze serie in de 2e proef aanzienlijk grooter en in de 3e en 6e proef slechts weinig grooter werd gevonden dan het gewicht van serie 70, werd bij dezelfde serie in de 7e proef een vrij groote achterstand in groei vastgesteld. Deze tegenstrijdigheid is echter niet zoo groot als men op het eerste gezicht zou denken. In de 3e proef kon nl. uit de verdamping der

kulturen in achtereenvolgende groeiperioden worden afgeleid, dat serie 182 in die proef aanvankelijk een grooteren voorsprong op serie 70 heeft gehad dan tenslotte uit de oogstgewichten is gebleken (fig. 9, pag. 69). Het verloop van de verdampingskrommen was zoodanig, dat geconcludeerd kon worden, dat er van de oplossing met 182 mgr. N p. l. in vergelijking met oplossing 70 eerst een gunstige, doch al spoedig een ongunstige invloed op den plantengroei is uitgegaan, die tot het einde van de proef heeft standgehouden. Dit gold trouwens ook voor de andere oplossingen in het gebied der hoogere N-concentraties. Merkwaardig was, dat de kromme der relatieve verdamping bij de jonge planten zelfs een geringe stijging in de richting der hoogere concentraties vertoonde (kromme I, fig. 9). Op grond hiervan werd de veronderstelling geuit, dat de plantengroei in het begin door de sterkere oplossingen werd bevorderd en wel des te meer, naarmate het nitraatgehalte der oplossingen hooger was.

Dit is in overeenstemming met hetgeen door ARRHENIUS (1927, 1) werd waargenomen, dat namelijk bij jonge planten het gewicht met het nitraatgehalte der voedingsoplossingen toenam, terwijl oudere planten in de nitraatrijkere oplossingen daarentegen een meer of minder grooten achterstand te zien gaven.

Deze verandering in het verloop der stikstofconcentratiegroeikromme zou wellicht verklaard kunnen worden, indien het vaststond, dat de ademhaling en de CO_2-assimilatie beide door de hooge nitraatconcentratie der voedingsoplossingen ongunstig worden beinvloed. Wanneer dit het geval is, dan zullen de kiemplantjes, zoolang de ademhaling nog de overhand heeft, in de sterkere oplossingen minder in drooggewicht afnemen dan in de zwakkere. Dientengevolge zullen de plantjes in de nitraatrijkere oplossingen een voorsprong krijgen, die met het toenemen van de CO_2-assimilatie gaandeweg geringer wordt, om tenslotte al of niet voor een achterstand plaats te maken. Deze verklaringsmogelijkheid, die door mij niet nader werd getoetst, vindt steun in de resultaten, die door VAN DER PAAUW (1932) in zijn proefschrift werden verkregen. Door dezen onderzoeker, die met een wier (Hormidium) experimenteerde, werd vastgesteld, dat de CO_2-assimilatie en de ademhaling een overeenkomstige verandering ondergingen, wanneer dit wier met een oplossing van bepaalde stoffen in aanraking werd gebracht. Zoo werden beide processen in gelijke mate gestimuleerd, wanneer een zeer verdunde oplossing van KCN of van suiker werd toegevoegd, terwijl door een sterkere

oplossing van KCN, van $BaCl_2$ of van phenylurethaan een vertraging zoowel bij de ademhaling als bij de CO_2-assimilatie werd teweeggebracht.

Wanneer wij de uitkomsten, voor zoover deze betrekking hebben op den invloed der hoogere NO_3-concentraties op den plantengroei, in korte woorden samenvatten, dan kan gezegd worden, dat er van de oplossingen met een concentratie van 182 en meer dan 182 mgr N p. l. een ongunstige invloed op den groei der planten is uitgegaan, die naar gelang van den leeftijd der planten en van andere omstandigheden in ongelijke mate tot uiting is gekomen.

In tegenstelling hiermee hebben de oogstgewichten in de oplossingen met een lager N-gehalte dan 182 mgr. p. l. in het algemeen slechts weinig van de opbrengst van serie 70 verschild. Alleen in de oplossingen, die slechts 1 mgr. N p. l. bevatten, bleef de plantengroei duidelijk bij die in de overige oplossingen achter (4e en 5e proef).

Een nadere beschouwing van de uitkomsten der 4e proef doet ons zien, dat de diverse series met uitzondering van serie 1 en 2 een grootere opbrengst hebben gegeven dan serie 70; bij serie 25 is deze opbrengst zelfs zooveel grooter, dat men hier naar alle waarschijnlijkheid met een reëel verschil te doen heeft. Wanneer wij afgaan op deze getallen, dan zou de plantengroei bij een N-concentratie van circa 25 mgr. p. l. maximaal zijn en zou de groei vanaf dit optimum naar beide zijden zijn afgenomen. Bij de interpretatie van deze proef in hoofdstuk V is echter twijfel gerezen, of deze groeiverschillen wel aan de ongelijkheid in het N-gehalte der oplossingen mogen worden toegeschreven, daar de voedingsoplossingen ook nog in andere opzichten ongelijk zijn geweest. Onder verwijzing naar de beschrijving van deze proef op pag. 79 e.v. herinneren wij er slechts aan, dat de planten werden gekweekt in ongelijke hoeveelheden voedingsoplossing, en dat er dientengevolge in de oplossingen „secundaire" veranderingen zijn opgetreden, die de ongelijkheid in den groei der planten teweeggebracht kunnen hebben. De mogelijkheid werd verondersteld, dat gelijke opbrengsten verkregen waren, indien voor alle series dezelfde hoeveelheid voedingsoplossing was aangewend.

Aan deze voorwaarde werd in alle overige proeven voldaan. Wanneer wij de 4e proef verder buiten beschouwing laten, en in tabel 27 de relatieve opbrengsten in de oplossingen met minder dan 182 mgr. N p. l. onderling vergelijken, dan blijkt daartusschen

inderdaad een goede overeenstemming te bestaan. Wij zien daarbij eerst nog even af van de 5e proef, daar de uitkomsten van deze proef wegens het ontbreken van serie 70 geen vergelijking met de andere proeven toelaten.

Wanneer wij eerst het oog richten op de relatieve gewichten van serie 126, dan zien wij, dat deze serie in drie van de vier gevallen dezelfde opbrengst heeft gegeven als serie 70. Slechts in één geval (2e proef) week het gewicht van serie 126 van dat van serie 70 af, zij het ook in geringe mate. Een dergelijke overeenstemming bestaat er ook tusschen de gewichten van serie 40 en die van serie 70; bij serie 40 werd in twee van de vier proeven een kleinere en in de twee andere proeven een grootere opbrengst verkregen dan bij serie 70. De verschillen waren in al deze gevallen gering in vergelijking met hun middelbare fout (tabel 27).

Wij zien dus, dat onafhankelijk van den leeftijd der planten en van de proefomstandigheden nagenoeg dezelfde relatieve opbrengst werd verkregen in voedingsoplossingen, waarvan de N-concentratie varieerde van 42 tot 126 mgr. p. l.

Tenslotte moet nog even gewezen worden op het feit, dat serie 20 in de 7e proef (in tabel 27 en 28 in de rij van serie 25 opgenomen) nagenoeg hetzelfde gewicht heeft opgeleverd als serie 70. Daar de 7e proef methodisch tot de beste proeven heeft behoord, wordt het des te waarschijnlijker, dat de hooge opbrengst van serie 25 in de 4e proef aan een „systematischen" invloed moet worden geweten.

Alles samengenomen, is het dus zeer de vraag, of er een bepaalde NO_3-concentratie is, die tot maximalen groei aanleiding geeft. Ik geef er daarom de voorkeur aan, te spreken van een optimaal concentratie*gebied*, waaronder dan moet worden verstaan het gebied van al die concentraties, waarbij de oogstgewichten maximaal zijn of waarbij deze in zoo geringe mate van de maximale waarde verschillen, dat aan deze afwijkingen geen reëele beteekenis mag worden toegekend.

De grenzen van dit optimale gebied zijn ver van elkaar gelegen. Wij hebben boven reeds gezien, dat de maximumgrens tusschen 126 en 182 mgr. N p. l. gezocht moet worden, terwijl de minimumgrens een zeer geringe waarde heeft.

Om de minimumconcentratie van het optimale gebied vast te stellen, dient rekening gehouden te worden met de onvermijdelijke fluctuatie, die het N-gehalte der oplossingen gedurende de proef heeft ondergaan. Daar in tabel 27 slechts de beginconcentratie is vermeld, moge naar de beschrijving van de 4e en 5e proef worden

verwezen. Hier wordt volstaan met de opmerking, dat de minimumconcentratie voor goeden groei in deze proeven resp. bij circa 2 en bij minder dan 1 mgr. N p. l. werd gevonden; waarden, die van dezelfde grootte-orde zijn als door POUGET en CHOUCHAK (1912, 2) werden vastgesteld. Te oordeelen naar de uitkomsten van mijn proeven vertoont de kromme der oogstgewichten in voedingsoplossingen met toenemende NO_3-concentratie in groote trekken het volgende beeld: Aanvankelijk — in het gebied der zeer lage concentraties — stijgt de groeikromme in sterke mate. Wanneer echter de N-concentratie een bedrag van 1 à 2 mgr. p. l. heeft overschreden, loopt de kromme over een betrekkelijk grooten afstand nagenoeg evenwijdig met de as der N-concentraties, om bij overschrijding van een concentratie van circa 150 mgr. N. p. l. — althans bij niet te jonge planten — meer of minder geleidelijk te dalen.

Het geheele door mij bestudeerde concentratiegebied kan men zich dus verdeeld denken in 3 kleinere gebieden, een submaximaal, een maximaal en een supramaximaal gebied, die echter niet door scherpe grenzen van elkaar zijn gescheiden.

Hoe de groeikromme in het submaximale gebied precies verloopt en of deze al of niet geleidelijk in het maximale gebied overgaat, kan niet met zekerheid uit de proeven worden afgeleid, daar de concentratieintervallen te groot werden genomen. Ook de onderzoekingen van POUGET en CHOUCHAK (1912, 2) laten ons in onzekerheid omtrent het verloop van de groeikromme in dit concentratiegebied, hoewel de intervallen bij deze auteurs aanzienlijk kleiner waren. ARRHENIUS (1926), die den groei van verschillende gewassen in nitraatoplossingen vergeleek tot een maximale N-concentratie van 105 mgr. p. l., kwam tot de uitspraak, dat het gewicht van de planten snel toeneemt met toenemende N-concentratie „until the curve slowly bends and then assymptotically follows the x-axis". Daar de concentratiesprongen in de proeven van ARRHENIUS vrij groot waren, lijkt mij deze conclusie niet geheel verantwoord. Andere onderzoekingen pleiten echter zeer voor de juistheid van deze onderstelling. Zoo zagen wij reeds, dat uit het onderzoek van BARTHOLOMEW en JANSSEN (1929), waarin de invloed van het K-gehalte van voedingsoplossingen op den groei van verschillende gewassen met kleine intervallen werd bestudeerd, en uit de recente proeven van VAN DEN HONERT (1932), voorzoover deze betrekking hebben op den invloed van het kali- en het phosphaatgehalte op de ontwikkeling van het suikerriet, sterk de

indruk wordt verkregen, dat de groeikromme heel geleidelijk uit het submaximale in het maximale gebied overgaat. Er is dus alle reden, aan te nemen, dat dit bij de N-concentratiegroeikromme eveneens het geval zal zijn.

Het behoeft geen betoog, dat de uitkomsten van mijn proeven niet zonder nader onderzoek gegeneraliseerd mogen worden. Wij hebben al gezien, dat de verhouding van de opbrengsten der planten in de aangewende voedingsoplossingen niet alleen van de NO_3-concentratie der oplossingen, doch, naar het scheen, ook van den leeftijd der planten en wellicht ook van andere omstandigheden afhankelijk is geweest.

Wanneer men zich plaatst op de basis van LIEBIG'S minimumwet, rijst onwillekeurig de vraag, of het vlakke verloop van de groei-stikstofconcentratiekromme er niet op wijst, dat de groei der planten binnen de grenzen van het optimale concentratiegebied door andere factoren is gelimiteerd. Het is bekend, dat de opbrengst der planten volgens de minimumwet uitsluitend bepaald wordt door den groeifactor, die „in het minimum" voorhanden is. Dit zou dus beteekenen, dat men slechts dan een volledig beeld kan verkrijgen van den invloed der stikstofconcentratie op den plantengroei, indien alle andere groeifactoren in optimalen toestand voorhanden zijn. Aan deze voorwaarde is in onze proeven vermoedelijk niet voldaan. Immers het is heel onwaarschijnlijk, dat de N-concentratie der voedingsoplossingen in deze proeven over de geheele linie als minimumfactor is opgetreden. Veeleer ligt het voor de hand, dat althans binnen zekere grenzen verschillende groeifactoren afwisselend in het minimum hebben verkeerd. Het spreekt dus vanzelf, dat de uitkomsten van onze proeven slechts een beperkte geldigheid bezitten, indien de groei uitsluitend door den minimumfactor wordt bepaald [1]).

Tegen de theorie van LIEBIG zijn echter reeds lang geleden ernstige bedenkingen gerezen. In 1895 werd door LIEBSCHER in een goed gedocumenteerd artikel aangetoond, dat de opbrengst van een gewas niet alleen bepaald wordt door den productiefactor, die in het minimum verkeert, doch tevens door alle andere groeifactoren. Volgens dezen onderzoeker kan de plant „den im Minimum vorhandenen Produktionsfaktor zu um so grösserer Produktion be-

[1]) In dit verband dient ook de theorie der beperkende factoren van BLACKMAN (1905) te worden genoemd, daar deze in beginsel met Liebig's minimumwet overeenkomt. Omdat Blackman's theorie niet op den groei, doch op de koolzuurassimilatie der planten betrekking heeft, laten wij haar verder buiten bespreking.

nutzen, je mehr die andern Produktionsfaktoren sich für sie im Optimum befinden."

Niettemin heeft de minimumwet daarna nog lang stand gehouden. Pas na 1910 rezen er opnieuw bezwaren tegen deze theorie. PFEIFFER, BLANCK en SIMMERMACHER (1915), die potproeven namen met haver, en daarbij twee factoren (licht en stikstof) varieerden, kwamen eveneens tot de conclusie, dat de groei niet door één enkelen factor (den minimumfactor) wordt bepaald, maar dat de opbrengst mede afhankelijk is van andere groeifactoren. Analoge resultaten werden door andere onderzoekers verkregen bij waterkulturen. Zoo werd door JOHNSTON en HOAGLAND (1929) in hun onderzoek over den groei der tomaten behalve het K-gehalte der voedingsoplossingen ook de hoeveelheid licht gevarieerd, door een gedeelte der kulturen in de volle zon en een ander gedeelte in de schaduw te plaatsen. Daarbij werd gevonden, dat „the low light intensity limits growth in the same proportion whether or not the potassium supply is a limiting factor". Trouwens reeds in 1914 was PRINGSHEIM bij schimmels tot het resultaat gekomen, dat de groei behalve door den minimumfactor ook door de andere groeifactoren wordt bepaald. Dit resultaat werd door den auteur als volgt geformuleerd: „Wird ein einzelner Nährstoff in seiner Menge herabgesetzt und dadurch ins Minimum gebracht, so entspricht jeder Konzentration eine bestimmte Ernte. Seine Ausnutzung und damit die Produktionssteigerung durch seine Vermehrung ist aber von der Menge der anderen Nährstoffe abhängig und wird am höchsten bei im Verhältnis zu diesen geringsten Konzentrationen." Een grootere bekendheid hebben de publicaties van MITSCHERLICH en BAULE [1]), waarin eveneens uitgegaan werd van de gedachte, dat de groei van een gewas niet alleen door den minimumfactor, doch door de gezamenlijke groeifactoren wordt bepaald. Hun theorie, waaraan zij den naam „Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren" hebben gegeven, wijkt nog in een ander opzicht van de minimumwet af. Terwijl door LIEBIG werd aangenomen, dat de opbrengst rechtlijnig toeneemt met de hoeveelheid meststof, zou volgens MITSCHERLICH de opbrengstkromme bij vermeerdering van een willekeurigen groeifactor een logarithmisch verloop hebben, dat beantwoordt aan de formule $\frac{dy}{dx} = (A - y)C$, ... (3) hetgeen in woorden beteekent, dat bij vermeerdering van een

[1]) BAULE (1918); MITSCHERLICH (1919, 1 en 2; 1921; 1926).

groeifactor (x) de opbrengst (groei) der planten (y) toeneemt met een bedrag, dat evenredig is aan het verschil tusschen de gegeven opbrengst (y) en de hoogste opbrengst, die bereikbaar is (A). In deze formule stelt C een factor voor — de „Wirkungsfaktor" —, die volgens MITSCHERLICH ongelijk zou zijn voor de verschillende groeifactoren. De waarde van A (de maximale opbrengst) verschilt naar gelang van de intensiteit der andere groeifactoren.

BAULE heeft een formule opgesteld, waarin de onafhankelijke werking van de verschillende factoren op den groei der planten mathematisch tot uitdrukking is gebracht. Hier zij slechts vermeld, dat volgens de productiewet van MITSCHERLICH en BAULE de verhouding der opbrengsten bij variatie van slechts één factor uitsluitend door dezen factor wordt bepaald, terwijl de absolute opbrengst der kulturen afhankelijk is van de werking der gezamenlijke groeifactoren.

Andere onderzoekers hebben echter gewezen op het bezwaar, dat in de door BAULE en MITSCHERLICH opgestelde formules geen rekening is gehouden met de vermindering, die de opbrengsten ondergaan, wanneer de variabele factor een zekere waarde overschrijdt. Bovendien is uit recente onderzoekingen gebleken, dat de verhouding van de opbrengsten bij toeneming van één bepaalden factor ongelijk uitvalt naar gelang van den leeftijd der planten en van de verdere groeiomstandigheden (BAULE 1930, RIPPEL en MEIJER 1933).

In overeenstemming hiermee werd hierboven bij de nitraatproeven vastgesteld, dat de verhouding van de gewichten der planten in de sterkere nitraatoplossingen afhankelijk was van den leeftijd, waarop de planten werden geoogst, terwijl tevens de veronderstelling werd gemaakt, dat de tijdens de proef heerschende atmospherische en andere omstandigheden eveneens invloed hebben gehad op de verhouding der opbrengsten.

Wij staan nu nog voor de vraag, in hoeverre de daling, die de groeikromme vertoont, wanneer de NO_3-concentratie boven een zekere waarde stijgt, aan het nitraat mag worden toegeschreven. Het is heel goed denkbaar, dat de totale concentratie of de verhouding der ionen in de voedingsoplossing, die met de NO_3-concentratie gelijktijdig zijn veranderd, voor deze opbrengstvermindering aansprakelijk moet worden gesteld. Het is duidelijk, dat het voor een groot deel van de beantwoording van deze vraag afhangt, of aan

de verkregen resultaten algemeene geldigheid mag worden toegeschreven. Immers, wanneer de totale concentratie of de ionenbalanceering oorzaak zijn geweest van de vermindering in opbrengst, dan zal de maximale grens van het optimale gebied der NO_3-concentratie, in plaats van een vast punt te zijn, in sterke mate afhankelijk zijn van de concentratie en van de samenstelling der stamoplossing.

De totale concentratie der voedingsoplossing en de groei der planten.

Om te kunnen beoordeelen, welke invloed er in mijn proeven van de totale concentratie kan zijn uitgegaan op den plantengroei, verwijs ik naar de graphische voorstelling van de opbrengsten in de 2e proef (fig. 2, pag. 54). Deze graphiek doet ons zien, dat de Na-series in de meeste gevallen een iets grootere opbrengst hebben gegeven dan de zusterseries zonder Na_2SO_4, niettegenstaande de oplossingen der Na-series meer geconcentreerd waren. Wanneer ik hier spreek over de concentratie, dan wordt hiermee in dit geval niet de gewichtsconcentratie, doch die van de osmotisch werkzame deeltjes bedoeld, die ik in navolging van TOTTINGHAM (1914) de osmotische concentratie zal noemen. Teneinde de osmotische concentratie van de verschillende oplossingen beter te kunnen vergelijken, kan tabel 1 op pag. 44 worden geraadpleegd. Daar de voedingszouten in de aangewende verdunningen grootendeels zijn gedissocieerd, behoeven wij in deze tabel slechts de milligramionen Na^+ en NO_3^- en de mgr.-ionen SO_4^{--} van het Na_2SO_4 in de diverse oplossingen bij elkaar op te tellen, om bij benadering een indruk te krijgen van het concentratieverschil dezer oplossingen. In de oplossing van serie 14 is per liter 1 milligrammolecuul $NaNO_3$, doch geen Na_2SO_4 aanwezig, zoodat er aan ionen totaal circa 2 millimolen voorhanden zijn [1]). Bij serie 14Na, waar in de oplossing naast 1 milligr. molecuul $NaNO_3$ 2 m.aeq., d.i. 1 mgr.molec. Na_2SO_4 aanwezig is, bedraagt de concentratie aan Na-, NO_3-, en SO_4-ionen circa 5 millimolen per liter. In de oplossing van serie 42 bedraagt de concentratie van deze ionen bij benadering 6 millimolen, enz. Het blijkt dus, dat de osmotische concentratie van de oplossingen der Na-series aanzienlijk grooter is geweest dan die der zusterseries zonder Na_2SO_4, en dat zij betrekkelijk weinig heeft verschild van

[1]) Onder millimol wordt hier verstaan het aantal deeltjes (in casu ionen), dat overeenkomt met het aantal moleculen van een milligrammolecuul eener chemische stof.

de concentratie der oplossingen met gelijk Na-, doch hooger NO_3-gehalte.

Wanneer wij nu weer de opbrengsten vergelijken in fig. 2 (pag. 54) en daarbij meer speciaal het oog richten op het opbrengstverschil tusschen de series 182 en 182Na eenerzijds en serie 238 anderzijds, dan moet men wel tot het besluit komen, dat het zeer onwaarschijnlijk is, dat de geringere opbrengst van serie 238 verband houdt met de totale concentratie der oplossing. Immers, ware dit het geval, dan lag het voor de hand, dat serie 182Na een opbrengst zou hebben gegeven, die slechts weinig van die van serie 238 verschilde.

Hier staat echter tegenover, dat de gewichten der Na-series in de 3e proef bijna alle lager werden gevonden dan die der zusterseries. Op pag. 63 hebben wij echter al gezien, dat dit verschijnsel zich in alle series, ook in het gebied der lagere concentraties, heeft herhaald, en dat het daarom heel waarschijnlijk moet worden geacht, dat de SO_4-concentratie in die proef oorzaak is geweest van de lagere opbrengsten der Na-series.

Ik meen dus met groote waarschijnlijkheid te mogen aannemen, dat de planten binnen de grenzen van dit onderzoek niet gereageerd hebben op het verschil in de totale concentratie der voedingsoplossingen. Intusschen ben ik mij wel bewust, dat de proeven het overtuigend bewijs hiervan niet hebben geleverd. Dit zou wel het geval zijn geweest, indien NaCl in plaats van Na_2SO_4 in de Na-series was aangewend, en wanneer daarmee dezelfde uitkomsten waren verkregen als met Na_2SO_4. Bij gebruik van NaCl toch zou de ionen-concentratie van de oplossingen der Na-series practisch gelijk geweest zijn aan die der series met gelijke Na-, doch hoogere NO_3-concentratie. Aan deze voorwaarde is bijv. gedeeltelijk voldaan in het $Mg(NO_3)_2$-schema op pag. 74 (tabel 19), waarin de osmotische concentratie van serie Ia gelijk is aan die van serie II. Indien de concentraties van de series Ia en Ib niet heelemaal gelijk zijn aan die van serie II, zou men door toevoeging van kleine hoeveelheden NaCl de totale concentratie gelijk kunnen maken, daar niet te verwachten is, dat dit tot noemenswaardige verschillen in groei aanleiding zal geven.

Wij zien hieruit, dat de door mij toegepaste eliminatiemethode het niet alleen mogelijk maakt, om in oplossingen met stijgende concentratie van een bepaald zout den invloed van het kation en van het anion van dat zout afzonderlijk vast te stellen, maar dat wij hierdoor tevens in staat worden gesteld, gevolgtrekkingen

te maken omtrent den invloed van de totale concentratie der voedingsoplossingen op den plantengroei.

De verhouding van de ionen in de voedingsoplossing en de plantengroei.

Tenslotte volgt nog een beschrijving van twee proeven, die werden genomen met het doel, de vraag te beantwoorden, in hoeverre de verhouding van de concentratie der nitraat-ionen tot die der overige ionen oorzaak kan zijn geweest van den achteruitgang in groei in de sterkere oplossingen. Hiertoe heb ik den plantengroei vergeleken in voedingsoplossingen, waarvan de samenstelling in de 2e kolom van tabel 29 (pag. 114) is aangeduid.

Met S is in deze kolom de stamoplossing bedoeld. Deze kwam in samenstelling en concentratie overeen met de stamoplossing, die in de voorafgaande proeven heeft dienst gedaan. Hieraan werd in den vorm van $NaNO_3$ stikstof toegevoegd tot een concentratie van 90, 180 en 360 mgr. per liter.

In de oplossingen S + 90, S + 180 en S + 360 is de verhouding van het gehalte aan nitraat tot dat der overige ionen ongelijk. Tot zoover komen deze proeven dus, wat haar opzet betreft, met de tot dusver beschreven proeven overeen. Daarentegen werd in de drie andere oplossingen, die in de drie onderste rijen van de tabel zijn vermeld, tegelijk met het nitraatgehalte ook de concentratie van de stamoplossing gevarieerd, en wel zoodanig, dat de ionenverhouding in deze oplossingen onveranderd is gebleven.

Met deze zes oplossingen werden twee groeiproeven genomen, waarvan de voornaamste resultaten hier slechts heel in het kort worden meegedeeld.

In tabel 29, waarin de resultaten kort zijn samengevat, zijn de beide proeven met de letters **A** en **B** onderscheiden. Proef A werd begonnen op 9 April 1930 en na 37 dagen beëindigd. Met proef B werd een begin gemaakt op 26 Juli van dat zelfde jaar; bij deze proef werden de planten pas na 52 dagen geoogst. De oplossingen werden zoo vaak ververscht, dat de concentratie slechts een geringe verandering onderging. De pH bleef gedurende de beide proeven vrijwel constant (6.5 à 6.7).

In de 3e en 4e kolom van tabel 29 zijn de relatieve drooggewichten van de geoogste planten in de gelijk en ongelijk gebalanceerde oplossingen opgegeven. In beide gevallen is de opbrengst van serie 180 als eenheid aangenomen. De series bestonden uit 12 planten met uitzondering van serie S + 180 in proef A, die 24 planten omvatte. Het gemiddelde drooggewicht van de planten

van serie S + 180 bedroeg in proef A 512 ± 13 mgr., dat van dezelfde serie in proef B 2795 ± 86 mgr.

TABEL 29.

Relatieve drooggewichten van de diverse series in de proeven A en B.

		Proef A	Proef B
Ongelijk gebalanceerd	S + 90	1.14 ± 0.03	1.19 ± 0.04
	S + 180	1 ± 0.03	1 ± 0.03
	S + 360	0.86 ± 0.05	0.66 ± 0.03
Gelijk gebalanceerd	½S + 90	1.09 ± 0.03	1.07 ± 0.03
	S + 180	1 ± 0.03	1 ± 0.03
	2S + 360	0.87 ± 0.03	0.80 ± 0.04

De gewichtsverschillen, waartoe de ongelijk gebalanceerde oplossingen aanleiding hebben gegeven, kunnen veroorzaakt zijn door de NO_3-concentratie als zoodanig of zij kunnen een gevolg zijn geweest van de omstandigheid, dat de verhouding van het nitraat tot de overige ionen in deze oplossingen ongelijk is geweest. Tenslotte is het ook mogelijk, dat deze factoren tezamen hun invloed op den groei dezer kulturen hebben doen gelden. Aan een invloed van de totale concentratie behoeft hier nauwelijks te worden gedacht, daar uit de voorafgaande proeven de gevolgtrekking kon worden gemaakt, dat de totale concentratie als zoodanig binnen de grenzen S + 14 en S + 406 zonder invloed is gebleven op den groei der planten.

Bij de series ½S + 90, S + 180 en 2S + 360 is de invloed der ionenbalanceering uitgeschakeld. De ongelijkheid in de opbrengsten dezer series kan dus niet door de ionenverhouding, doch wel door de NO_3-concentratie der oplossingen veroorzaakt zijn. Er zijn hier echter nog twee andere invloeden, die aan de totstandkoming dezer groeiverschillen meegewerkt kunnen hebben. Vooreerst hebben wij te bedenken, dat de totale concentratie in de drie gelijk gebalanceerde oplossingen een breeder gebied heeft beslagen dan in de oplossingen S + 90 t/m S + 360. Verder heeft de partieele concentratie van de ionen in de stamoplossing, die in de ongelijk gebalanceerde oplossingen gelijk is geweest, in de gelijk gebalanceerde oplossingen over een tamelijk breed gebied gevarieerd.

Ik wil nu eerst eens veronderstellen, dat noch de partieele

concentratie der ionen in de stamoplossing, noch de totale ionenconcentratie der oplossingen (mede) aansprakelijk zijn geweest voor de opbrengstverschillen in de gelijk gebalanceerde oplossingen. Is deze onderstelling juist, dan kan aan de hand van de getallen van tabel 29 rechtstreeks worden beoordeeld, in hoeverre de gewichtsverschillen van de series S + 90, S + 180 en S + 360 aan de nitraatconcentratie, dan wel aan den invloed der ionenbalans moeten worden toegeschreven. Immers, daar de ionenverhouding in de oplossingen ½S + 90, S + 180 en 2S + 360 gelijk is en de invloed daarvan op den plantengroei daarmede is uitgeschakeld, geven de oogstgewichten van de planten in deze oplossingen een zuiver beeld van den invloed der NO_3-concentratie op den plantengroei. Dientengevolge kan uit het verschil in opbrengst tusschen de series S + 90 en ½S + 90, alsmede tusschen S + 360 en 2S + 360 worden afgeleid, welk aandeel de NO_3-concentratie en de ionenverhouding onderscheidenlijk hebben gehad aan het tot stand komen der groeiverschillen in de oplossingen S + 90, S + 180 en S + 360. Stel, dat deze groeiverschillen uitsluitend door de NO_3-concentratie zijn veroorzaakt, dan zouden de opbrengsten in de ongelijk gebalanceerde oplossingen gelijk moeten zijn aan die van de *overeenkomstige* series in de gelijk gebalanceerde oplossingen. Wanneer omgekeerd de drooggewichtsverschillen in de oplossingen S + 90, S + 180 en S + 360 uitsluitend hun oorzaak vinden in de ongelijke balanceering dezer oplossingen, dan zullen de drooggewichten van de series ½S + 90, S + 180 en 2S + 360 onderling gelijk moeten zijn. Indien zoowel de NO_3-concentratie als de ionenverhouding invloed op den groei hebben uitgeoefend, dan zijn verschillende mogelijkheden denkbaar, waarvan er eenige in het onderstaande ter sprake zullen komen.

Wanneer wij tabel 29 nader beschouwen en ons daarbij eerst bepalen tot de opbrengsten in de oplossingen S + 90, S + 180 en S + 360, dan zien wij, dat deze gewichten, zooals te verwachten was, in beide proeven zijn afgenomen met stijgende NO_3-concentratie der voedingsoplossing. Deze gewichtsvermindering is het grootst in proef B, hetgeen sterk pleit voor de uitspraak op pag. 70, dat de nadeelige invloed van de hoogere NO_3-concentraties niet beperkt blijft tot de jongste groeiperiode, doch dat deze zich bij oudere planten eveneens doet gelden.

Wanneer wij nu in kolom 3 (proef A) de opbrengsten in de ongelijk gebalanceerde oplossingen vergelijken met die van de overeenkomstige series in de oplossingen met gelijke ionenverhouding,

dan treft ons de goede overeenstemming, die er tusschen deze waarden bestaat. De veronderstelling ligt dus voor de hand, dat uitsluitend de NO_3-concentratie oorzaak is geweest van den achteruitgang in groei in de ongelijk gebalanceerde oplossingen bij toenemende N-concentratie.

De uitkomsten van proef B wijken hier in zooverre van af, dat het gewicht van serie ½S + 90 duidelijk kleiner werd gevonden dan dat van serie S + 90, terwijl omgekeerd het gewicht van 2S + 360 aanmerkelijk grooter was dan dat van de anders gebalanceerde oplossing met gelijke N-concentratie (S + 360). Dit leidt tot de conclusie, dat de schadelijke invloed van de hoogere NO_3-concentraties in de ongelijk gebalanceerde oplossingen van proef B voor een deel aan de ionenverhouding moet worden toegeschreven. De ongelijke uitkomsten van proef A en van proef B maken het dus waarschijnlijk, dat de beperkende invloed, die er ook in onze vorige proeven door de hoogere nitraatgehalten op den plantengroei is teweeggebracht, aanvankelijk — toen de planten nog jong waren — van de NO_3-concentratie zelf is uitgegaan, terwijl later de ionen*verhouding* hiervoor gedeeltelijk, of misschien zelfs geheel, aansprakelijk is geweest.

Tot dusver werd verondersteld, dat de plantengroei in de oplossingen met dezelfde ionenverhouding onafhankelijk is geweest van de ongelijkheid in de concentratie der stamoplossing. Daar deze concentratie in oplossing 2S + 360 niet minder dan 4 × zoo groot is geweest als in oplossing ½S + 90, dient nagegaan te worden, in hoeverre deze onderstelling verantwoord is. Men zou zich bijv. kunnen denken, dat de hooge concentratie in oplossing 2S + 360 limiteerend op den groei heeft gewerkt. Nemen wij dit aan, dan spreekt het vanzelf, dat men uit de getallen van tabel 29 geen gevolgtrekkingen kan maken omtrent den invloed van het NO_3-gehalte der oplossingen op den groei. Wel blijft de conclusie van kracht, dat de ionenverhouding in oplossing S + 360 een ongunstigen invloed op den groei heeft uitgeoefend. Immers, wanneer er van de hooge concentratie in oplossing 2S + 360 een ongunstige invloed was uitgegaan, en de lage opbrengst van serie S + 360 was niet door de ionenbalanceering teweeggebracht, dan zou serie 2S + 360 een kleinere opbrengst hebben gegeven dan serie S + 360. Zoolang wij echter niet weten, of en in welke mate de hooge concentratie in oplossing 2S + 360 ongunstig op den groei heeft gewerkt, kunnen wij niet beoordeelen, in hoeverre de lage opbrengst van serie S + 360 aan de NO_3-concentratie mag worden

geweten. Zelfs is het in dat geval denkbaar, dat de hooge NO_3-concentratie in oplossing S + 360 op den plantengroei een stimuleerenden invloed heeft uitgeoefend, doch dat deze laatste door de ongunstige werking der ionenverhouding is overtroffen. Wanneer men bedenkt, dat de groei-N-concentratiekromme blijkens de proeven in de voorafgaande hoofdstukken een breed maximumgebied vertoont, dan zou zelfs aan de mogelijkheid gedacht kunnen worden, dat er in het vlakke gebied van de kromme een steeds gunstigere invloed van de stijgende NO_3-concentratie is uitgegaan, maar dat deze zich niet heeft kunnen doen gelden, doordat er door de ionenverhouding een gelijkwaardige invloed in ongunstigen zin op den groei is uitgeoefend.

Het is dus wel duidelijk, dat het voor een juiste interpretatie van de uitkomsten in tabel 29 noodzakelijk is, dat wij ons rekenschap geven van de vraag, in hoeverre er van de partieele concentratie der ionen in de stamoplossing van de series $\frac{1}{2}$S + 90, S + 180 en 2S + 360 en van de totale concentratie dezer oplossingen invloed kan zijn uitgegaan op den groei der planten.

Dat de plantengroei in oplossing 2S + 360 een ongunstigen invloed zou hebben ondervonden van de totale concentratie als zoodanig, is niet waarschijnlijk. Hiertoe breng ik in herinnering, dat uit de oogstgewichten van de natriumseries in de 2e en 3e proef, waarin de totale concentratie werd gevarieerd van 837 mgr. p. l. in de oplossing van serie 14 tot 3496 mgr. p. l. bij serie 406Na, de gevolgtrekking kon worden gemaakt, dat de totale concentratie binnen deze grenzen geen nadeelige werking op den plantengroei heeft uitgeoefend. Daar nu in oplossing 2S + 360 de totale concentratie $2 \times 752 + {}^{85}/_{14} \times 360 = 3684$ mgr. p. l. heeft bedragen en deze dus weinig grooter is geweest dan de concentratie van de sterkste oplossing in de beide eerstgenoemde proeven, is het heel waarschijnlijk, dat de plantengroei binnen de grenzen $\frac{1}{2}$S + 90 (922 mgr. p. l.) en 2S + 360 (3684 mgr. p. l.) onafhankelijk is geweest van het totale zoutgehalte der oplossing.

Om een denkbeeld te kunnen krijgen van den invloed, die in de oplossingen $\frac{1}{2}$S + 90, S + 180 en 2S + 360 door de concentratie der afzonderlijke ionen in de stamoplossing op den plantengroei is uitgeoefend, wordt in ommestaande tabel een overzicht gegeven van de concentratie dezer ionen in de genoemde oplossingen in m.aeq. per liter.

Door ARRHENIUS (1927, 2) werd, zij het dan ook bij een andere tarwevarieteit, gevonden, dat de plantengroei in een voedings-

TABEL 30.

Concentratie van de ionen in de stamoplossing in m. aeq. per liter.

Proef A en B.

	$^1/_2$S	S	2S
K	1.5	3	6
Mg	1.5	3	5.9
Ca	2.35	4.7	9.4
SO_4	2.9	5.9	11.7
PO_4	1.95	3.9	7.8

oplossing met stijgende hoeveelheden K_2SO_4 maximaal is, wanneer de concentratie van dit zout zich beweegt tusschen 0.15 en 5.1 m.aeq. p. l. De opbrengst bleek met inbegrip van het gewicht der halmen circa 10 % minder te zijn, wanneer de K_2SO_4-concentratie 15.3 m.aeq. p. l. bedroeg. Het is dus niet uitgesloten, dat de K-concentratie in mijn proeven in oplossing 2S + 360 iets boven het optimum heeft gelegen. Naar alle waarschijnlijkheid is de groei hierdoor niet noemenswaard gelimiteerd, daar uit de onderzoekingen van ARRHENIUS e.a. is gebleken, dat de groeiconcentratiekrommen in het supra-optimale gebied in het algemeen slechts een langzame daling te zien geven.

Omtrent den invloed van het SO_4-gehalte der oplossingen op den plantengroei werd in dit onderzoek eenige ondervinding opgedaan door de toevallige omstandigheid, dat Na_2SO_4 in de oplossingen der Na-series werd aangewend. Wij hebben in de 3e proef gezien, dat de Na-series, die 9.8 m.aeq. SO_4 p. l. bevatten, een geringere opbrengst gaven dan de zusterseries zonder Na_2SO_4, waarvan de SO_4-concentratie 5.8 m.aeq. p. l. bedroeg. Het verschil in groei was tusschen deze series echter zoo gering, dat naar analogie daarvan gevoegelijk mag worden aangenomen, dat het SO_4-gehalte in oplossing 2S + 360 den groei slechts in geringe mate heeft benadeeld.

Ten aanzien van het PO_4-ion wordt door ARRHENIUS (1927, 2) vermeld, dat het gewicht der tarweplanten met inbegrip der korrels maximaal was in oplossingen met een concentratie van 0.28 tot minstens 2.8 m.aeq. PO_4 p. l. Een voedingsoplossing met 9.5 m.aeq. PO_4 p. l. gaf een opbrengst, die slechts enkele percenten minder was dan de maximale.

De invloed van het Mg- en van het Ca-ion is, voor zoover mij bekend is, tot dusver in de hoogere concentraties niet bestudeerd. Er moet dus in het midden worden gelaten, in hoeverre de groeiverschillen der tarweplanten in de gelijk gebalanceerde oplossingen van de proeven A en B verband hebben gehouden met de concentratie van deze ionen.

Wanneer wij nu het oog richten op de oplossingen ½S + 90 en S + 180, dan mag na het voorafgaande wel worden aangenomen, dat de verschillen in de partieele ionenconcentratie der stamoplossing slechts in geringe mate aanleiding hebben gegeven tot groeiverschillen, daar deze concentraties naar alle waarschijnlijkheid in beide oplossingen nagenoeg optimaal zijn geweest. Is deze onderstelling juist, dan kan uit de getallen van tabel 29 worden geconcludeerd, dat het verschil in opbrengst tusschen serie S + 90 en S + 180 bij proef A door de NO_3-concentratie als zoodanig is veroorzaakt, terwijl zich bij proef B tevens de invloed van de ionenbalans heeft doen gelden, die klaarblijkelijk in oplossing S + 180 voor den groei minder gunstig is geweest dan in oplossing S + 90. Dat serie ½S + 90 bij proef B een aanmerkelijk geringere opbrengst heeft gegeven dan serie S + 90, kan echter ook een gevolg zijn geweest van voedselgebrek, daar de partieele ionenconcentratie van de „gehalveerde" stamoplossing, hoewel vermoedelijk optimaal, uiteraard gering was en er per plant slechts 400 cc oplossing beschikbaar was. Hoewel de oplossingen vaak werden ververscht, is het toch twijfelachtig, of de concentratie van de ionen in deze oplossing bij de oudere planten wel voldoende op peil gebleven is.

Wanneer wij tenslotte in tabel 30 de concentratie van de ionen, die deel uitmaken van de stamoplossing, in de oplossingen S + 180 en 2S + 360 nog eens met elkander vergelijken, dan blijkt, dat deze in de laatste oplossing circa 3 tot 6 m.aeq. p. l. hooger is geweest dan in de eerste. Wij hebben gezien, dat het heel goed mogelijk is, dat sommige ionen hierbij de grens van het optimale gebied een weinig hebben overschreden. Bedenken wij echter, dat de N-concentratie tegelijkertijd is gestegen van circa 13 m.aeq. p. l. in oplossing S + 180 tot circa 26 m.aeq. p. l. in oplossing 2S + 360, en dat de concentratie van 13 m.aeq. p. l. reeds supra-optimaal was, dan ligt het voor de hand, dat de schadelijke invloed, die er blijkens tabel 29 door oplossing 2S + 360 op den plantengroei is uitgeoefend, hoofdzakelijk aan de NO_3-concentratie moet worden geweten.

Een andere vraag is, of het hooge fosfaatgehalte in oplossing 2S + 360 geen Fe-gebrek kan hebben veroorzaakt. Niet zelden kan men bij groeiproeven in oplossingen met ongelijk fosfaatgehalte waarnemen, dat een hoog gehalte aan fosfaat ceteris paribus tot ijzerchlorose aanleiding geeft, hetgeen begrijpelijk is, daar er in de voedingsoplossingen steeds een neerslag optreedt van ijzerfosfaat en een verhooging van het gehalte aan fosfaationen met een daling van de Fe-ionenconcentratie gepaard zal gaan. Aangezien echter de oplossingen van onze kulturen vaak werden ververscht, is het heel onwaarschijnlijk, dat er in de sterkere oplossingen ijzergebrek is opgetreden, teminder, daar de planten geen spoor van chlorose hebben vertoond.

Alles bij elkaar genomen, meen ik dus uit de proeven A en B te mogen concludeeren, dat de schadelijke invloed van de oplossingen met een hoog gehalte aan nitraat, althans bij de oudere planten, gedeeltelijk aan de verhouding van de nitraationen tot de overige ionen moet worden toegeschreven. De proeven gaven ons verder een sterke aanwijzing, dat de nitraatconcentratie als zoodanig, vooral bij de jongere planten, eveneens een limiteerenden invloed op den groei heeft uitgeoefend. Het bleek echter zeer onwaarschijnlijk te zijn, dat er van de totale concentratie binnen de grenzen van het onderzoek invloed is uitgegaan op den groei der planten.

KORTE SAMENVATTING.

Wanneer men planten kweekt in voedingsoplossingen, waarin de concentratie van één der zouten wordt gevarieerd, met het oogmerk, den invloed van één bepaald ion op den groei der planten vast te stellen, dan kan niet worden verhinderd, dat met de concentratie van het bewuste ion

1. de concentratie van een ander, tegengesteld geladen, ion een aequivalente verandering ondergaat.
2. de totale concentratie eveneens aan verandering onderhevig is.
3. de verhouding der ionen in de voedingsoplossing tegelijkertijd wordt gevarieerd.

Uit de literatuur is mij gebleken, dat men bij onderzoekingen over den invloed van de concentratie van een bepaald ion in de voedingsoplossing op den groei der planten met deze bijkomstige veranderingen doorgaans niet voldoende rekening heeft gehouden.

Omgekeerd heeft men bij proeven omtrent den invloed van de totale concentratie en van de ionenverhouding der voedingsoplossing op den plantengroei niet altijd voldoende aandacht geschonken aan de omstandigheid, dat met de ionenverhouding en de totale concentratie ook de concentratie der afzonderlijke ionen wordt gevarieerd.

In dit proefschrift werd de groei (het drooggewicht) vergeleken van tarweplanten, die gekweekt waren in een voedingsoplossing met toenemende $NaNO_3$-concentratie, teneinde het verband vast te stellen tusschen het NO_3-gehalte dezer oplossing en den groei der planten. Er werd naar gestreefd, den invloed van het Na-gehalte en van de totale concentratie uit te schakelen, teneinde een zoo zuiver mogelijk beeld te verkrijgen van het effect der NO_3-concentratie op den groei. Van de daarbij gevolgde werkwijze werden de voor- en nadeelen tegen elkaar afgewogen, zoodat tenslotte een methode kon worden aangegeven, met behulp waarvan het mogelijk zal zijn, van elk willekeurig zout den invloed van het kation en van het anion op den plantengroei afzonderlijk vast te stellen (pag. 73 e.v.).

In het laatste hoofdstuk werden nog eenige proeven beschreven, waaruit gevolgtrekkingen konden worden gemaakt omtrent de werking, die in de voorafgaande proeven door de verhouding van de nitraat-ionen tot de overige in de voedingsoplossing aanwezige ionen op den plantengroei is uitgeoefend.

De resultaten kunnen in het kort als volgt worden samengevat:

1. In het gebied der zeer lage $NaNO_3$-concentraties nam de groei met de nitraatconcentratie der voedingsoplossing in een snel tempo toe, totdat een concentratie van 1 à 2 mgr. N per liter was bereikt. Bij verdere stijging van het nitraatgehalte der oplossing veranderde de groei niet noemenswaard, om boven een concentratie van circa 150 mgr. N per liter langzaam af te nemen.
2. Er werd gevonden, dat de limiteerende invloed van de hoogere nitraatconcentraties op den groei niet beperkt bleef tot de eerste groeistadiën, doch dat deze zelfs na verloop van 8 weken nog tot uiting kwam.
3. De invloed, die door het Na-gehalte der voedingsoplossing op den plantengroei is uitgeoefend, bleek in dit onderzoek betrekkelijk gering te zijn.
4. Met groote waarschijnlijkheid mag worden aangenomen, dat de verschillen in opbrengst voor een groot deel door de NO_3-concentratie zelve zijn veroorzaakt.
5. De verhouding van de nitraationen tot de overige ionen in de voedingsoplossing is in het gebied der hoogere nitraatconcentraties — althans bij de oudere planten — mede aansprakelijk geweest voor deze groeiverschillen.
6. Naar alle waarschijnlijkheid is er door het totale zoutgehalte der oplossingen binnen de concentratiegrenzen van dit onderzoek geen invloed uitgeoefend op den groei der planten.

TABELLEN.

De tabellen 1, 2, 18, 19, 23, 27, 28, 29 en 30 zijn in den tekst opgenomen.

TABEL 3.

Oogstresultaten 1e proef.

Series van 14 planten.

1	2	3	4	5
Nummer van de serie.	Gemidd. versch-gewicht der planten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der planten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der spruiten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der wortels in gr.
14	5.74	0.638	0.409 ± 0.011	0.229
70	8.66	0.748	0.516 ± 0.013	0.232
126	8.31	0.748	0.540 ± 0.014	0.208
14Na	6.06	0.667	0.432 ± 0.009	0.235
70Na	8.39	0.756	0.540 ± 0.015	0.216
126Na	8.49	0.758	0.544 ± 0.017	0.214
14K	6.08	0.638	0.411 ± 0.011	0.227
70K	9.37	0.819	0.589 ± 0.015	0 230
126K	8.97	0.776	0.561 ± 0.019	0.215

TABEL 4.

Verschil in gewicht tusschen de diverse series en de daarmee correspondeerende Na-series en de midd. fout dezer verschillen.

(1e proef).

1	2	3
	Verschil gemidd. droog-gewicht der spruiten in gr.	Verschil / m. f. v/h verschil.
14 — 14Na	— 0.023 ± 0 014	1.64
70 — 70Na	— 0.024 ± 0 020	1.20
126 — 126Na	— 0.004 ± 0 022	0.18
14 — 14K	— 0.002 ± 0.016	0.13
70 — 70K	— 0.073 ± 0.020	3.66
126 — 126K	— 0.021 ± 0.024	0.87

TABEL 5.

Uitkomsten van de 1e proef.

De series en de Na-series samengevat.

Series van 28 planten.

1	2	3	4	5	6	7
Nummer van de serie.	Gemidd. versch-gewicht der planten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der planten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der spruiten in gr.	Gemidd. droog-gewicht der wortels in gr.	Drogestofgehalte der planten in %	Drooggew. wortels in % v. h. gew. der planten.
14	5.90	0.653	0.421 ± 0.007	0.232	11.1	35.5
70	8.53	0.752	0.528 ± 0.010	0.224	8.8	29.8
126	8.40	0.753	0.542 ± 0 011	0.211	9.0	28.0

TABEL 6.

N-concentratie van de voedingsoplossingen der series 70, 70Na, 182, 294, 294Na en 406 in het begin en aan het eind der beide laatste ververschingsperioden in mgr. p. l.

2e proef.

	70	70Na	182	294	294Na	406
8e dag	70	70	183	299	297	—
15e ,,	63	63	181	301	300	—
15e dag	71	70	180	293	294	403
22e ,,	55	53	172	297	297	413

TABEL 7.

Gemiddelde N-opname van de series 70, 70Na, 182, 294, 294Na en 406 per plant per etmaal in mgr.

2e proef.

	70	70Na	182	294	294Na	406
8e tot 15e dag	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	—
15e ,, 22e ,,	1.0	1.1	1.1	0.9	0.9	0.8

TABEL 8.

Oogstresultaten 2e proef. Series van 14 planten.

1	2	3	4	5
Nummer van de serie.	Gemidd. verschgewicht der planten in gr.	Gemidd. drooggewicht der planten in gr.	Gemiddeld droog-gewicht der spruiten in gr.	Gemidd. drooggewicht der wortels in gr.
14	2.223	0.174	0.119 ± 0.0068	0.055
14Na	2.014	0.174	0 122 ± 0.0039	0.052
42	2.122	0.176	0.131 ± 0.0055	0.045
42Na	2.456	0.193	0.142 ± 0.0040	0.051
70	2.335	0.191	0.134 ± 0.0046	0.057
70Na	2.750	0.197	0.139 ± 0.0039	0.058
126	2.502	0.214	0.151 ± 0.0048	0.063
126Na	2.477	0.204	0.147 ± 0.0053	0.057
182	2.170	0.218	0.162 ± 0.0049	0 056
182Na	2.506	0.227	0.169 ± 0.0046	0.058
238	2.008	0.175	0.131 ± 0 0034	0.044
238Na	1.634	0.174	0.133 ± 0 0091	0.041
294	2.210	0.206	0.155 ± 0.0051	0.051
294Na	1.908	0.180	0 131 ± 0.0057	0.049
350	1.746	0.181	0.136 ± 0.0053	0.046
350Na	2.059	0.193	0.144 ± 0.0053	0.049
406	1.921	0.175	0.134 ± 0.0026	0.041
406Na	1.810	0.184	0.136 ± 0.0059	0.048
462	2.210	0.197	0.144 ± 0.0047	0.053

TABEL 9.

Het gewichtsverschil der series en de daarmee correspondeerende Na-series. De midd. fout dezer verschillen.

2e proef.

1	2	3
	Verschil gemidd. droog-gewicht der spruiten in gr.	Verschil / m. f. v/h verschil.
14 — 14Na	− 0 003 ± 0.0078	0.38
42 — 42Na	− 0 011 ± 0 0068	1.62
70 — 70Na	− 0.005 ± 0.0060	0.84
126 — 126Na	+ 0.004 ± 0.0071	0.56
182 — 182Na	− 0.007 ± 0.0067	1.04
238 — 238Na	− 0.002 ± 0.0097	0.21
294 — 294Na	+ 0 024 ± 0 0077	3.11
350 — 350Na	− 0.008 ± 0 0075	1.07
406 — 406Na	− 0 002 ± 0.0065	0.31

TABEL 10.

Uitkomsten 2e proef.

De series en de Na-series samengevat. Series van 28 planten. Bij de relatieve waarden van kolom 11, 12 en 13 is die van serie 70 op 1 gesteld.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nummer van de serie.	Gemidd. versch-gew. der planten in gr.	Gemidd. droog-gew. der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der spruiten in gr.	Gemidd. droog-gew. der wortels in gr.	Drogestofgeh. der planten in %	Drooggew. der wortels in % van het drooggew. d. pl.	Totaal stikstofgeh. der planten in % van de droge stof.	Nitraatstikstofgeh. der planten in % van de droge stof.	Geh. der pl. aan org. geb. stikstof in % van de droge stof.	Relatief verschgew. der planten serie 70 = 1.	Relatief drooggew. der planten serie 70 = 1.	Relat. verdamp. in de laatste week voor den oogst. serie 70=1.
14	—	—	—	—	8.23	30.8	5.18	—	—	—	—	—
42	2.289	0.185	0.136 ± 0.0033	0 049	8.08	26.5	5.40	1.14	4.26	0.90	0.95	0.92
70	2.542	0.194	0.136 ± 0.0030	0.058	7.68	29.9	5.36	1.58	3.78	1 00	1.00	1.00
126	2.489	0.209	0.149 ± 0.0036	0.060	8.40	28 6	5.61	1.42	4.19	0 98	1.08	0.97
182	2.338	0.222	0.165 ± 0.0033	0.057	9.50	25.6	5.56	1.30	4.26	0.92	1.14	0.95
238	1.821	0.174	0.132 ± 0.0048	0 042	9.56	24.1	5.29	1.46	3.83	0.72	0.89	0.75
294	2.059	0.193	0.143 ± 0.0038	0.050	9.39	26.0	4.98	1.44	3.54	0.81	0.99	0.86
350	1.902	0.187	0.140 ± 0.0038	0.047	9.83	25.1	5.00	1.46	3.54	0.75	0.96	0.76
406	1.865	0.180	0.135 ± 0.0033	0.045	9.65	25.0	4.37	1.48	2.89	0.73	0.93	0.78
462	2.210	0.197	0.144 ± 0.0033	0.053	8.90	26.9	3.59	2.16	1.43	0.87	1.01	0.80

TABEL 11.

N-conc. in mgr. p. l. in het begin en aan het eind van 2 ververschingen (6e tot 13e dag en 48e tot 52e dag).

3e proef.

Nummer van de serie.	6e dag	13e dag	48e dag	52e dag
14	—	—	14	0
14Na	—	—	14	0
42	—	—	41	0
42Na	—	—	40	0
70	68	65	68	2.8
70Na	68	66	68	1.0
126	—	—	124	79
126Na	—	—	120	81
182	177	176	181	178
182Na	—	—	182	172
238	—	—	235	250
238Na	—	—	234	244
294	286	288	300	374
294Na	292	294	290	343
350	—	—	347	414
350Na	—	—	346	421
406	403	409	401	481
406Na	—	—	402	488

TABEL 12.

N-conc. van de voedingsoplossingen van serie 70 en 182 in mgr. p. l. in het begin en aan het eind der ververschingsperioden.

3e proef.

Nummer van de serie.	6e dag	13e dag	13e dag	19e dag	19e dag	24e dag	24e dag	32e dag	32e dag	40e dag	48e dag	52e dag
70	68	65	69	62	69	44	—	—	68	30	68	2.8
182	177	176	182	181	183	179	179	189	180	202	181	178

TABEL 13.

Gemiddelde N-opname der series per plant per etmaal in mgr. in twee ververschingsperioden.

3e proef.

Nummer van de serie.	6e tot 13e dag	48e tot 52e dag
14	—	1.3
14Na	—	1.4
42	—	4.0
42Na	—	3.9
70	0.3	6.5
70Na	0.3	6.6
126	—	7.0
126Na	—	6.4
182	0.3	6.5
182Na	—	6.2
238	—	5.1
238Na	—	5.0
294	0.3	2.4
294Na	0.3	3.9
350	—	3.2
350Na	—	3.3
406	0.2	4.7
406Na	—	3.6

TABEL 14.

Gemiddelde N-opname van de series 70 en 182 per plant per etmaal in mgr.

3e proef.

	70	182
6e tot 13e dag	0.3	0.3
13e tot 19e dag	0.7	0.8
19e tot 24e dag	2.1	2.4
24e tot 32e dag	—	3.5
32e tot 40e dag	2.9	4 0
48e tot 52e dag	6.5	6.5

TABEL 15.

Oogstresultaten 3e proef. Series van 12 planten.

1	2	3	4	5	6
Nummer van de serie	Gemiddeld verschgew. der planten in gr.	Gemiddeld droog-gewicht der planten in gr.	Gemiddeld drooggew. der spruiten in gr.	Gemiddeld drooggew. der wortels in gr.	Dr.gew. der wortels in % v. h. dr.gew. der planten
14	17.62	2.559 ± 0.206	1.560	0.999	39.0
14Na	16.41	2.287 ± 0.179	1.328	0 959	41.8
42	21 79	2.963 ± 0.276	1.986	0.977	33.1
42Na	20.66	2.726 ± 0.117	1.839	0.887	32.6
70	19.72	2.236 ± 0.138	1.587	0.649	29.0
70Na	18.28	2.122 ± 0.154	1.489	0.633	29.8
126	19.55	2.353 ± 0.096	1.800	0.553	23.5
126Na	17.82	2.196 ± 0.186	1.702	0.494	22.6
182	21.19	2.541 ± 0.058	1.971	0.570	22.4
182Na	18.25	2.314 ± 0.178	1.776	0 538	23.3
238	16.79	2.014 ± 0.076	1.505	0.509	25.3
238Na	14.57	1.896 ± 0.086	1.409	0.487	25.8
294	16.02	2.007 ± 0.087	1.552	0.455	22.7
294Na	16.43	2.000 ± 0.080	1.472	0.528	26.4
350	14.71	1.955 ± 0.113	1.495	0.460	23.5
350Na	13.82	1.875 ± 0.131	1.481	0.394	21.0
406	15.29	1.824 ± 0.084	1.442	0.382	21.0
406Na	14.68	1.986 ± 0.100	1.614	0.372	18.7

TABEL 16.

Het gewichtsverschil der series en de daarmee correspondeerende Na-series. De midd. fout dezer verschillen.

3e proef.

1	2	3
	Verschil gemidd. droog-gewicht der planten in gr.	Verschil m. f. v/h verschil
14 — 14Na	+ 0.272 ± 0.273	1.00
42 — 42Na	+ 0.237 ± 0.300	0.79
70 — 70Na	+ 0.114 ± 0 207	0.55
126 — 126Na	+ 0.157 ± 0.209	0.75
182 — 182Na	+ 0 227 ± 0.188	1.21
238 — 238Na	+ 0.118 ± 0.115	1.02
294 — 294Na	+ 0.007 ± 0.118	0.06
350 — 350Na	+ 0.080 ± 0.173	0.46
406 — 406Na	− 0.162 ± 0.131	1.24

TABEL 17.

Uitkomsten 3e proef.

De series en de Na-series samengevat.

Series van 24 planten.

1	2	3	4	5	6	7
Nummer van de serie.	Gemidd. versch-gew. der planten in gr.	Gemidd. droog-gew. der planten in gr.	Gemidd. droog-gew. der spruiten in gr.	Gemidd. droog-gew. der wortels in gr.	Drogestofgeh. der planten in %	Drooggew. der wortels in % van het drooggew. d. planten.
126	18.69	2.274 ± 0.104	1.751	0.523	12.2	23.1
182	19.72	2.427 ± 0.094	1.874	0.553	12.4	22.8
238	15.68	1.955 ± 0.057	1.457	0.498	12.5	25.6
294	16.23	2.004 ± 0.059	1.512	0.492	12.4	24.6
350	14.27	1.915 ± 0.086	1.488	0.427	13.5	22.3
406	14.99	1.905 ± 0.065	1.528	0.377	12.7	19.9

Opm.: Van de series 14, 42 en 70 bedroeg het drogestofgehalte resp. 14.2, 13.4 en 11.5 %.

TABEL 20.

4e proef.

Nummer van de serie.	Daling van de N-conc. der oplossingen in percenten.	
	22e tot 28e dag	28e tot 34e dag
13	53 %	69 %
25	48 %	68 %
39	—	55 %
52	42 %	53 %
72	35 %	47 %

TABEL 21.

Uitkomsten 4e proef.

1	2	3	4	5	6	7	8
Nummer van de serie.	Aantal planten.	Gemidd. versch-gew. der planten. in gr.	Gemidd. droog-gew. der planten in gr.	Gemiddeld droog-gewicht der spruiten in gr.	Gehalte aan droge stof in %	Drooggew. der wor-tels in % v. h. dr.-gew. der geheele pl.	Totaal N-gehalte der planten in % v. d. droge stof.
1.5	1	5.82	0.585	0.380	10.1	35.1	—
2.6	5	6.77	0.643	0.430 ± 0.043	9.5	33.2	4.94
5.3	5	7.58	0.779	0.530 ± 0.058	10.3	32.0	5.07
13	12	7.84	0.762	0.544 ± 0.013	9.7	28.6	5.12
25	12	8.31	0.816	0.594 ± 0.024	9.8	27.2	5.15
39	12	7.64	0.745	0.544 ± 0.019	9.8	27.0	5.26
52	12	7.63	0.733	0.539 ± 0.013	9.6	26.5	5.27
72	12	7.51	0.709	0.527 ± 0.012	9.4	25.7	5.38

TABEL 22.

Daling van de N-conc. der voedingsoplossingen in mgr. p. l. en gemidd. N-opname per plant per etmaal (in mgr.) in opeenvolgende groeiperioden.

5e proef.

1	2	3	4	5	6	7
Dagen, gerekend vanaf het zaaien.	Serie 1. N-conc. daalde van 1 tot .... mgr. p. l.	Serie 2. N-conc. daalde van 2 tot .... mgr. p. l.	Serie 5. N-conc. daalde van 5 tot .... mgr. p. l.	Serie 1. Gemidd. N-opname per etm. in mgr.	Serie 2. Gemidd. N-opname per etm. in mgr.	Serie 5. Gemidd. N-opname per etm. in mgr.
0 tot 2	0.9	1.9	5	0.003	0.003	0
2 „ 4	0.5	1.2	4.5	0.02	0.02	0.02
4 „ 5	0.25	0.7	3.2	0.05	0.08	0.11
5 „ 6	0.04	0.15	2.4	0.06	0.11	0.15
6 „ 7	—	—	—	(0.1)	(0.2)	(0.2)
7 „ 11	0.7	1.6	4.4	0.2	0.3	0.4
11 „ 14	0.7 tot 0.3			0.4		
11 „ 15		1.6 tot 0.8			0.6	
11 „ 17			4.4 tot 2.8			0.8
14 „ 17	0.5			0.5		
15 „ 17		1.4			0.8	
17 „ 19	—	—	—	(0.6)	(1.0)	(1.2)
19 „ 22	0.2	0.8		0.8	1.1	
19 „ 23			3 2			1.3
22 „ 24	0.3	0.4		1.0	2.2	
24 „ 25	0.4	1.2	3.8	1.7	2.2	3.4
25 „ 26	0.6	1.3	3.8	1.1	2.0	3.4

Opm. Op den 11en dag werd het N-tekort niet aangevuld.

TABEL 24.

Uitkomsten 5e proef.

1	2	3	4	5	6	7	8
Nummer van de serie.	Aantal planten.	Gemiddeld verschgewicht der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der spruiten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der wortels in gr.	Drogestofgehalte der planten in $^0/_0$.	Drooggew. der wortels in $^0/_0$ v/h. drooggew. der geh. planten
1	9	3.262	0.269	0.156 ± 0.010	0.114	8.3	42.2
2	10	4.560	0.400	0.265 ± 0.014	0.135	8.8	33.7
5	10	4.063	0.368	0.249 ± 0.009	0.120	9.1	32.4

TABEL 25.

Uitkomsten 6e proef.

Series van 12 planten.

1	2	3	4	5	6	7
Nummer van de serie.	Gemiddeld verschgewicht der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der spruiten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der wortels in gr.	Gehalte aan droge stof in $^0/_0$.	Drooggew. der wortels in $^0/_0$ v/h. drooggew. der geh. planten
42	3.68	0.313 ± 0.012	0.204	0.110	8.5	35.1
70	3.52	0.293 ± 0.013	0.189	0.104	8.4	35.6
126	3.44	0.293 ± 0.010	0.191	0.102	8.5	34.8
182	3.66	0.309 ± 0.008	0.202	0.108	8.4	35.0
238	3.19	0.270 ± 0.009	0.181	0.089	8.5	33.0
350	2.69	0.228 ± 0.012	0.148	0.080	8.5	35.1

TABEL 26.

Uitkomsten 7e proef.

Series van 12 planten.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nummer van de serie.	Gemidd. verschgew. der planten in gr.	Gemiddeld drooggewicht der planten in gr.	Gem. drooggew. der spruiten in gr.	Gem. drooggew. der wortels in gr.	Drogestofgeh. der planten in %	Drooggew. der wortels in % v/h. drooggew. der geh. planten.	Totaal N-gehalte der planten in %	Nitraatstikstofgeh. der planten in %	Geh. aan organ. geb. stikstof in %
20	6.18	0.602 ± 0.019	0.452	0.150	9.8	24.9	5.29	0.97	4.32
42	6.18	0.580 ± 0.021	0.431	0.149	9.4	25.7	5.43	1.17	4.26
70	6.54	0.596 ± 0.014	0.466	0.130	9.1	21.8	5.68	1.36	4.32
126	6.40	0.595 ± 0.011	0.451	0.144	9.3	24.2	5.85	1.60	4.25
182	5.46	0.517 ± 0.021	0.390	0.127	9.5	24.6	5.69	1.43	4.26
238	5.13	0.468 ± 0.026	0.349	0.119	9.1	25.4	5.70	1.48	4.22
350	4.55	0.443 ± 0.023	0.338	0.105	9.8	23.7	5.95	1.44	4.49

GERAADPLEEGDE LITERATUUR.

Allison, R. V. and Shive, J. W. Studies on the relation of aeration and continuous renewal of nutrient solution to the growth of soybeans in artificial culture. *American Journ. of Botany* 10, 1923, p. 554—566.

Appel, M. Ueber den Wert der v. d. Croneschen Lösung. *Zeitschr. f. Botanik* 10, 1918, p. 145—158.

Arrhenius, O. Kvävenäringens betijdelse för våra kulturväxter I. *Meddelande N:r 299 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet. Avdelningen för lantbruksbotanik N:r 39.* Stockholm 1926, p. 1—27.

Arrhenius, O. Kvävenäringens betijdelse för våra kulturväxter. *Medd. N:o 313 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet. Avd. f. lantbruksbot. N:o 40.* Stockholm 1927 (1), p. 1—17.

Arrhenius, O. Kali- och fosforsyrenäringens betijdelse för våra kulturväxter. *Medd. N:o 316 från Centralanst. för försöksväsendet på jordbruksområdet. Avd. för lantbruksbot. N:o 41.* Stockholm 1927 (2), p. 1—12.

Barnette, R. M. and Shive, J. W. The influence of solution volume upon plant growth in relation to reaction change and iron availability in culture solutions. *Soil Science* 15, 1923, p. 413—425.

Bartholomew, R. P. and Janssen, G. The relation between concentrations of potassium in culture solutions and optimum plant growth. *Soil Science* 27, 1929, p. 189—203.

Baule, B. Zu Mitscherlichs Gesetz der physiologischen Beziehungen. *Landw. Jahrb.* 51, 1918, p. 363—385.

Baule, B. Spekulative Wachstumsforschung. Planta 10, 1930, p. 84—107.

Benecke, W. Die v. d. Cronesche Nährsalzlösung. *Zschr. f. Botanik* I, 1909, p. 235 e.v.

Birner, H. und Lucanus, B. Wasserculturversuche mit Hafer in der Agrikult.-chemischen Versuchsstation zu Regenwalde. *Landw. Versuchsstat.* 8, 1866, p. 128—177.

Blackman, F. F. Optima and limiting factors. *Annals of Botany* 19, 1905, p. 281—295.

Blackman, V. H. The compound interest law and plant growth. *Annals of Botany* 33, 1919, p. 353—360.

Blackman, V. H. The significance of the efficiency index of plant growth. *The new phytologist* 19, 1920, p. 97—100.

Boettcher, O. Zur Bestimmung des Stickstoffs der Kjeldahlschen Methode. *Die landw. Versuchs-Stat.* 41, 1892, p. 170—173.

Breazeale, J. F. Effect of the concentration of the nutrient solution upon wheat cultures. *Science* N.S. 22, 1905, p. 146—149.

Breazeale, J. F. Effect of sodium salts in water cultures on the absorption of plant food by wheat seedlings. *Journ. of agric. Research* 7, 1916, p. 407—416.

Brenchley, W. E. The effect of the concentration of the nutrient solution on the growth of barley and wheat in water cultures. *Ann. of Bot.* 30, 1916, p. 77—90.

Brenchley, W. E. Some factors in plant competition. *Ann. of applied biology* 6, 1919/20, p. 142—170.

Briggs, G. E. Plant yield and the intensity of external factors. Mitscherlich's „Wirkungsgesetz". *Ann. of Bot.* 39, 1925, p. 475—502.

Briggs, G. E, Kidd, F. and West, C. A quantitative analysis of plant growth. *Ann. of applied biol.* 7, 1920/21, p. 103—123.

Buckner, G. D., Peter, A. M. and Kinney, E. J. The concentration of sodium nitrate tolerated by tobacco plants. *Soil science* 10, 1920, p. 487—491.

Burd, J. S. Water extractions of soils as criteria of their crop-producing power. *Journ. of agric. Res.* 12, 1918, p. 297—309.

Burd, J. S. Rate of absorption of soil constituents at successive stages of plant growth. *Journ. of agric. Res.* 18, 1919, p. 51—72.

Burd, J. S. and Martin, J. C. Secular and seasonal changes in the soil solution. *Soil Science* 18, 1924, p. 151—164.

Burd, J. S. and Martin, J. C. Water displacement of soils and the soil solution. *Journ. of agric. Science* 13, 1923, p. 265—294.

Cameron, F. K. The soil solution. Easton 1911; geciteerd door *Stiles* (1915).

Comber, N. M. The availability of mineral plant food.*Journ. of agric. science* 12, 1922, p. 363—369.

Crone, van der. Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze. *Sitzungsberichte der niederrhein. Gesellsch. f. Natur- und Heilk.* 1 Dez. 1902.

Davis, A. R. The variability of plants grown in watercultures. *Soil science* 11, 1921, p. 1—32.

Diddens, H. A. Onderzoekingen over den vlasbrand veroorzaakt door Pythium megalacanthum de Bary. Diss. Utrecht, 1931.

Free, E. E. The effects of aëration upon the growth of buckwheat in solution cultures. *Johns Hopkins Univ. Circ.*, n.s. 3, 1917, p. 198—199; geciteerd door *Allison en Shive* (1923).

Freund, H. Leitfaden der kolorimetrischen Methoden für den Chemiker und Mediziner. Wetzlar, 1928.

Goedewaagen, M. A. J. Influence of the nitrate-ion-concentration of nutrient solutions on the growth of summer-wheat. *Versl. Kon. Akad. v. Wetensch., Amsterdam* 32, 1929, p. 135—150.

Goedewaagen, M. A. J. De groei van het wortelstelsel der planten bij gelijke en bij ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. *Versl. van landbouwk. onderz.* Rijkslandbouwproefstation Groningen, 38 A, 1932, p. 179—199.

Goedewaagen, M. A. J. Het wortelstelsel der graanplanten bij ongelijke verdeeling der meststoffen in den grond. *Versl. van landbouwk. onderz.* Rijkslandbouwproefstation Groningen 1933. (manuscript).

Harvey, R. B. and True R. H. Root absorption from solution at minimum concentrations. *Americ. Journ. of Bot.* 5, 1918, p. 516—521.

Hoagland, D. R. Relation of the concentration and reaction of the nutrient medium to the growth and absorption of the plant. *Journ. of agric. Research* 18, 1919/20, p. 73 e.v.

Hoagland, D. R. The absorption of ions by plants. *Soil science* 16, 1923, p. 225—246.

Hoagland, D. R. Physiological aspects of soil solution investigations. *Hilgardia* 1, 1925, p. 227—257.

Hoagland, D. R. and Martin, J. C. A comparison of sand- and solution cultures with soils as media for plant growth. *Soil science* 16, 1923, p. 367 e.v.

Hoagland, D. R. and Martin, J. C. Recent experiments concerning the adequacy of artificial culture solutions for the growth of different types of plants. *Proc. and papers of the first internat. congress of soil science.* Washington 1928, p. 381—392.

Hoestermann, G. Ueber die Einwirkung des Kochsalzes auf die Vegetation von Wiesengräsern. *Landw. Jahrb,* 30, 1902, p. 371—428.

Honert, T. H. van den. Onderzoekingen over de voedingsphysiologie van het suikerriet. 1e bijdrage. *Meded. v. h. Proefstation voor de Java-suikerindustrie* 23, 1932, p. 1539—1606.

s'Jacob, J. C. Anorganische beschadigingen bij Pisum sativum L. en Phaseolus vulgaris L. Diss. Utrecht, 1927.

Johnston, E. S. and Hoagland, D. R. Minimum potassium level required by tomato plants grown in water cultures. *Soil science* 27, 1929, p. 89—109.

Jones, L. H. and Shive, J. W. Effect of ammonium sulphate upon plants in nutrient solutions supplied with ferric phosphate and ferrous sulphate as sources of iron. *Journ. of agric. Research* 21, 1921, p. 701—726.

Jones, L. H. and Shive, J. W. Influence of ammonium sulphate on plant growth in nutrient solutions. *Ann. of Bot.* 37, 1923, p. 355—377.

Jost—Benecke, Pflanzenphysiologie I und II, Jena 1924.

Kidd, F., West, C. and Briggs, G. E. What is the significance of the efficiency index of plant growth. *The new Phytologist.* 19, 1920, p. 88—96.

Lemmermann, O., Wiessmann, H. und Eckl, K. Bis zu welcher Tiefe des Bodens können die Pflanzen die Nährstoffe mit Nutzen aufnehmen? *Zschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenk.* B. 4, 1925, p. 233—241.

Liebscher, Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen. *Journ. f. Landwirtschaft* 43, 1895, p. 49.

Lipman, C. B., Davis, A. R. and West, E. S. The tolerance of plants for NaCl. *Soil science* 22, 1926, p. 303—322.

Livingston, B. E. Relation of transpiration to growth in wheat. *Bot. Gazette* 40, 1905, p. 178—195.

Livingston, B. E. and Tottingham. W. E. A new three-salt nutrient solution for plant culture. *Americ. Journ. of Bot.* 5, 1918, p. 337—346.

Lomanitz, S. Influence of sodium chloride upon alfalfa. *Soil science* 18, 1924, p. 353—368.

Lundegårdh, H. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Stockholm 1932.

Maschhaupt, J. G. De beworteling onzer cultuurgewassen. *Versl. der Rijkslandb.proefstations* 16, 1915, p. 76—89.

Maschhaupt, J. G. Over antagonistische werkingen van zouten bij planten. *Versl. der Rijkslandb.proefstations* 19, 1916, p. 1—60.

Maschhaupt, J. G. De samenstelling onzer landbouwgewassen in opeenvolgende groeiperioden II (zomertarwe). *Versl. der Rijkslandb.proefstations* 27, 1922, p. 125—131.

McCall, A. G. Physiological balance of nutrient solutions for plants in sand cultures. *Soil science* 2, 1916, p. 207—253.

Mes, M. G. Fisiologiese siektesimptome van tabak. Diss. Utrecht 1930.

Mevius, W. Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstum. *Naturwissenschaft und Landwirtschaft* Heft 11, München, 1927.

Mitscherlich, E. A. Versuche über den Einfluss zweier verschiedener Nährstoffe auf den Pflanzenertrag. *Landw. Jahrb.* 52, 1919 (1), p. 279.

Mitscherlich, E. A. Das Gesetz des Pflanzenwachstums. *Landw. Jahrb.* 53, 1919 (2), p. 167—182.

Mitscherlich, E. A. Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. *Landw. Jahrb.* 56, 1921, p. 71—92.

Mitscherlich, E. A. Mein Verfahren zur Bestimmung des Dungerbedürfnisses. *Landw. Presse* 1926, p. 15.

Niklas, H. und Grandel, F. Ueber die Beziehungen zwischen Pflanzen- und Bodennitraten. *Naturwiss. und Landwirtschaft,* Heft 12, 1927.

Niklewski, B., Kraus, A. und Lemanczyk, K. Zur Kenntniss der Aufnahmemechanik der Mineralbestandteile durch die Wurzeln der Pflanze. *Jahrb. f. wiss. Bot.* 69, 1928, p. 101—118.

Osterhout, W. J. V. On the importance of physiologically balanced solutions for plants II. Freshwater and terrestrial plants. *Bot. Gazette* 44, 1907, p. 259.

Pantanelli, E. Ueber Ionenaufnahme. *Jahrb. f. wiss. Bot.* 56, 1915, p. 689—733.

Parker, F. W. Methods of studying the concentration and composition of the soil solution. *Soil science* 12, 1921, p. 209—232.

Parker, F. W. Soil phosphorus studies III: Plant growth and the absorption of phosphorus from culture solutions of different phosphate concentrations. *Soil science* 24, 1927, p. 129—146.

Parker, F. W. and Pierre, W. H. The relation between the concentration of mineral elements in a culture medium and the absorption and utilization of those elements by plants. *Soil science* 25, 1928, p. 337—343.

Van der Paauw. F. The indirect action of external factors on photosynthesis. *Recueil des trav. bot. néerl.* 29, 1932, p. 497—620.

Pember, F. R. Studies by means of both pot and solution cultures of the phosphorus and potassium requirements of the barley plant during its different periods of growth. *R. I. Agr. Exp. Station Bull.* 169; geciteerd door *Allison en Shive* (1923).

Pfeffer, W. Pflanzenphysiologie I und II. Leipzig, 1904.

Pfeiffer, Th., Blanck, E. und Simmermacher, W. Beziehungen zwischen den Einfluss von Licht und Stickstoff als Minimumfaktoren auf das Wachstum der Pflanzen. *Die landw. Versuchsstat.* 86, 1915, p. 45—62.

Pierre, W. H. and Parker, F. W. Soil phosphorus studies II: The concentration of organic and inorganic phosphorus in the soil solution and soil extracts and the availability of the organic phosphorus to plants. *Soil science* 24, 1927, p. 119—128.

Pirschle, K. Ionenaufnahme aus Salzlösungen durch die höhere Pflanze II. *Festschr. d. deutschen Bot. Gesellsch.* 50a, 1932, p. 42—60.

Pirschle, K. und Mengdehl, H. Ionenaufnahme aus Salzlösungen durch die höhere Pflanze. *Jahrb. f. wiss. Bot.* 74, 1931, p. 297—363.

Pouget, I. et Chouchak, D. Influence de la concentration des solutions de substances nutritives sur leur absorption par les végétaux. *Compt. Rend.* Paris, 154, 1912 (1), p. 1709—1711.

Pouget I. et Chouchak, D. Sur la loi du minimum. *Comptes Rendus* Paris, 155, 1912 (2), p. 303—306.

Powers, W. L. Studies of sulfur in relation to soil solution. *Univ. of Calif. Public. in agric. sciences* 5, 1927, p. 119—166.

Pringsheim, E. G. Ueber den Einfluss der Nährstoffmenge auf die Entwicklung der Pilze. *Zschr. f. Bot.* 6, 1914, p. 577—624.

Ramann, E., März, S., und Bauer, H. Ueber Boden-Presssäfte. *Internat. Mitt. f. Bodenk.* 6, 1916, p. 1—26.

Reed, H. S. and Haas, A. R. C. Iron supply in a nutrient medium. *The Bot. Gazette* 77, 1924, p. 290.

Rippel, A. Quantitative Untersuchungen über Kationenaustausch in der Pflanze. *Jahrb. f. wiss. Bot.* 65, 1926, p. 819—848.

Rippel, A und Meijer, R. Weitere Untersuchungen über das Ertragsgesetz bei Pflanzen. *Zschr. f. Pflanzenernährung, Düng. u. Bodenk.* 27A, 1933, p. 257—302.

Romell, L. G. Ueber das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren. *Jahrb. f. wiss. Bot.* 65, 1926, p. 737—777.

Sachs, J. Geschichte der Botanik. München 1875.

Sachs, J. Vegetationsversuche mit Ausschluss des Bodens über die Nährstoffe und sonstige Ernäherungsbedingungen von Mais, Bohnen und anderen Pflanzen. *Landw. Versuchsstat.* 2, 1860, p. 219—268.

Van de Sande Bakhuyzen, H. L. Studies upon wheat grown under constant conditions I. *Plant Physiology* 3, 1928, p. 1—30.

Van de Sande Bakhuyzen and Alsberg, C. L. The growth curve in annual plants. *Physiological Reviews* 7, 1927, p. 151—187.

Scharrer, K. und Schropp, W. Die Wirkung des Fluor-Ions auf Keimung und Jugendwachstum einiger Kulturpflanzen. *Die Landw. Versuchsstat.* 114, 1932, p. 203—212.

Schmidt, D. Relation of seed weight to the rate of growth and size of crimson clover plants. *Report of the New Jersey Agricultural college Exp. Station* 1922, p. 333.

Schmidt, D. The relation of seed weight to the growth of buckwheat in culture solutions. *Soil science* 15, 1923, p. 285—292.

Schreiner, O. and Skinner, J. J. Ratio of phosphate, nitrate and potassium on absorption and growth. *Bot. Gazette* 50, 1910, p. 1—30.

Schulze, B. Wurzelatlas I und II, Berlin 1911, 1914.

Sessions, A. C. and Shive, J. W. A method for the determination of inorganic nitrogen in plant extracts. *Plant Physiology* 3, 1928, p. 499—511.

Seydel, S. und Wichers, L. Ueber die Genauigkeit von Nitratbestimmungen. *Zschr. f. angewandte Chemie* 24, 1911, p. 2046.

Shive, J. W. A study of physiological balance in nutrient media. *Physiological Researches* 1, 1915, p. 327—397.

Shive, J. W. A study of physiological balance for buckwheat grown in three-salt solutions. *New Jersey Agric. Exp. Stations* Bull. 319, 1917, p. 1—63.

Shive, J. W. and Martin, W. H. A comparison of salt requirements for young and for mature buckwheat plants in solution cultures. *Journ. Agric. Research* 14, 1918, p. 151—175.

Shive, J. W. and Martin, W. H. A comparison of salt requirements for young and for nature buckwheat plants in water cultures and sand cultures. *Amer. Journ. of Bot.* 5, 1918, p. 186—191.

Shive, J. W. and Stahl, A. L. Constant rates of continuous solution renewal for plants in water cultures. *Bot. Gazette* 84, 1927, p. 317—323.

Stewart, G. R. Effect of season and crop growth in modifying the soil extract. *Journ. of agric. Research* 12, 1918, p. 311—368.

Stiles, W. On the relation between the concentration of the nutrient solution and the rate of growth of plants in water culture. *Annals of Botany* 29, 1915, p. 89—96.

Stiles, W. On the interpretation of the results of water culture experiments. *Ann. of Bot.* 30, 1916, p. 427.

Tottingham, W. E. A quantitative chemical and physiological study of nutrient solutions for plant cultures. *Physiological Researches* 1, 1914, p. 133—245.

Trelease, S. F. and H. M. Relation of seed weight to growth and variability of wheat in water cultures. *Bot. Gazette* 77, 1924, p. 199—210.

True, R. H. and Barlett, H. H. Absorption and excretion of salts by roots, as influenced by concentration and composition of culture solutions I: Concentration relations of dilute solutions of calcium and magnesium nitrates to pea roots. *U. S. Dep. of Agric. Bureau of plant industry*, Bull. 231, 1912.

Weaver, J. E. Root development of field crops. New York, 1926.

Weevers, Th. Das Vorkommen des Ammoniaks und der Ammonsalze in den Pflanzen. *Recueil des trav. bot. néerl.* 13, 1916, p. 63—104.

Wolf, E. T. Ueppige Vegetation in wässerigen Lösungen der Nährstoffe. *Landw. Versuchsstat.* 8, 1866, p. 189—215.

Wrangell, M. von, in Honcamp's Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre. Berlin, 1931.

J997o

STELLINGEN.

I.

Door JOHANNSEN wordt bij de beoordeeling van het verschil in „schaardigheid" tusschen twee groepen van gerstplanten een verkeerd gebruik gemaakt van de kansentabel.

W. Johannsen. Elem. der exakten Erblichkeitslehre. 3e Aufl. 1926, pag. 110 en 111.

II.

Door verschillende onderzoekers is de fout begaan, dat zij primair kaliumfosfaat hebben aangewend, wanneer de invloed van het fosfaatgehalte of van de ionenverhouding der voedingsoplossing op den plantengroei moest worden vastgesteld.

III.

Ten onrechte wordt door BOONSTRA in een onderzoek over het wortelstelsel van erwtenvarieteiten uit het S-vormige verloop van de kromme der „wortelwaarde" als functie van den leeftijd der planten afgeleid, dat deze planten aanvankelijk meer „zorg besteden" aan de ontwikkeling der assimileerende organen dan aan den groei van het wortelstelsel.

A. E. H. R. Boonstra. Meded. v. d. Landb. hoogeschool Dl. 35, Verh. 2, pag. 24 en 25.

IV.

Aangezien KULESCHA in een onderzoek over het suikerriet bij de isoleering der wortelstelsels de „droge" methode heeft toegepast, zijn de door hem opgegeven wortelgewichten slechts bij benadering juist.

M. Kulescha. Meded. v. h. proefstat. voor de Java-suikerindustrie. Jaarg. 1931, 8, pag. 317—359.

V.

Ten onrechte wordt door GILE en CARRERO uit hunne wortelproeven met waterkulturen geconcludeerd, dat het aanbeveling verdient, de meststoffen zoo gelijkmatig mogelijk in den grond te verdeelen.

P. L. Gile and J. O. Carrero. Journ. of agric. Research, 9, 1917, pag. 73—95.

VI.

Het is gewenscht, dat er bij de beoordeeling van de mestbehoefte van den grond meer rekening wordt gehouden met den toestand van den ondergrond dan tot dusver gebruikelijk was.

VII.

De meening van BOTTAZZI e.a., dat de huid van Aplysia als een semipermeabele membraan zou fungeeren, is na de recente onderzoekingen van BETHE twijfelachtig geworden.

A. Bethe. Pflügers Archiv für die ges. Phys. 221, 1929, p. 344 e.v.
A. Bethe. Journ. of gen. Physiology 13, 1930, p. 437 e.v.

VIII.

Het verdient aanbeveling, de cartographische methode van GOETHART en JONGMANS mede dienstbaar te maken aan het plantensociographisch onderzoek.

IX.

De veronderstelling van BRANDENBURG, dat de door hem bestudeerde vergelingsziekteverschijnselen en de door HUDIG en MEIJER waargenomen groeivertraging bij voederbieten op „ontginningszieken" grond op dezelfde oorzaak zouden berusten, is gewaagd.

E. Brandenburg. Tijdschrift over Plantenziekten 37, 1931, pag. 17 e.v.