

EEN NATUURKUNDIGE THEORIE OVER DE WIJZE VAN MESTSTOFTOEDIENEN ¹⁾

W. R. VAN WIJK en C. T. DE WIT

Laboratorium voor Natuur- en Weerkunde van de Landbouwhogeschool,
Wageningen

A Physical Theory of Fertilizer Placement

Summary see p. 775

1 INLEIDING

Bij het beoordelen van de waarde van een nieuwe werkwijze in de praktijk gaat men in de landbouw vooral empirisch te werk. Men legt een aantal proefvelden aan, waarop de nieuwe en de oude werkwijze in een aantal variaties wordt toegepast, bepaalt de opbrengsten, verwerkt de uitkomsten statistisch en tracht dan aan te geven wat in de praktijk verwacht kan worden. Door het ontbreken van theoretische richtlijnen is men gedwongen een zeer groot aantal variaties in de proeven aan te brengen en moet men bij de aanleg rekening houden met mogelijke invloeden van grondsoort, klimaat, vruchtbaarheids-toestand enz. Door de vele proeven is het onderzoek kostbaar en bovendien in veel gevallen tijdrovend. Wanneer zich tijdens de proeven uitzonderlijke omstandigheden voordoen (bv. droogte, aantasting door ziekte) is het meestal noodzakelijk de proeven te herhalen, omdat de resultaten dan verkregen zijn bij omstandigheden welke te veel van de praktijk afwijken. Om dezelfde reden zal men slechts bij uitzondering resultaten, die in andere landen verkregen zijn, op eigen bodem durven toepassen. Voor een uitvoerige bespreking van de moeilijkheden, welke zich bij onderzoek op de hierboven aangegeven wijze voordoen, kan verwezen worden naar de artikelen van SALMON (1940) en VERVELDE (1951).

Er ontbreekt een voldoende theoretisch inzicht, waardoor het mogelijk zou zijn rekening te houden met de veranderde omstandigheden en de uitkomsten te corrigeren of te interpreteren voor andere gevallen dan in de proef beschreven. Dit gebrek aan theoretisch inzicht heeft tot gevolg, dat een schat van ervaring in de loop van de jaren verkregen en in publicaties vastgelegd, slechts zeer onvolledig wordt gebruikt. Dit is te meer onbevredigend nu bij het groeiend internationaal overleg uitwisseling van ervaring zo nuttig zou kunnen werken.

In het bijzonder in de natuurkunde tracht men, wanneer proeven, onder verschillende omstandigheden genomen, met elkander vergeleken worden, de belangrijkste factoren a priori te onderkennen en deze hetzij door formules, hetzij door grafieken met het eindresultaat in verband te brengen. Men gaat dan na op welke verschillende wijzen deze factoren in beide gevallen werkzaam zijn geweest en kan door met de gewijzigde omstandigheden rekening te houden, de verschillende resultaten met elkander vergelijken.

Door de grote gecompliceerdheid van de levende natuur is het tot dusver niet mogelijk geweest eenvoudige betrekkingen van essentiële factoren te

¹⁾ Ter publicatie ontvangen 9 October 1951.

vinden welke algemeen op de groei van planten van toepassing zijn. Dit is echter in vele gevallen niet noodzakelijk wanneer men zich een beperkt probleem stelt. Speciaal op het gebied van de landbouwingenieurswetenschap is dit mogelijk, omdat daar vaak de invloed van een betrekkelijk eenvoudige verandering in de werkwijze op de opbrengst moet worden vastgesteld. De in de natuurkunde gebruikelijke weg kan daarbij vaak met vrucht gevolgd worden.

Wij zullen de door ons gedachte werkwijze aan een voorbeeld nader toelichten; dit betreft de invloed van de wijze van toedienen van meststoffen op de opbrengst.

De eerste auteur (VAN WIJK) wil hier nog vermelden, dat de landbouwkundige uitwerking van de bovengenoemde natuurkundige gedachtengang bij het te bespreken voorbeeld afkomstig is van de tweede auteur (DE WIT).

2 RIJENBEMESTING

In het begin van dit jaar zijn wij op de hierboven geschetste wijze begonnen met het beantwoorden van de vraag of een bemesting in rijen onder Nederlandse omstandigheden voordelen biedt boven de gebruikelijke werkwijzen. De verkregen resultaten zijn van dien aard, dat het wenselijk is een voorlopig verslag te publiceren. De stand van het onderzoek en de beperkte plaatsruimte laten niet toe diep op de verschillende problemen welke zich voordoen in te gaan en de gebruikte gegevens te publiceren; het principe van de werkwijze en de voorlopige conclusies zullen uitvoerig besproken worden.

In streken met een meer extensief beoefende landbouw, bv. Amerika en Rusland, is het veelal de gewoonte de meststoffen in rijen, welke al dan niet met de plantrij samenvallen, toe te dienen; deze methode geeft daar een besparing aan arbeid en meststoffen. In Engeland is tengevolge van de kunstmestschaarste tijdens de tweede wereldoorlog deze methode opnieuw beproefd en in vele gevallen goed bevallen.

In Nederland is het de gewoonte de meststof breedwerpig toe te dienen. Door het opdoen van ervaring en de aanleg van veel proefvelden, gecombineerd met grondonderzoek, is men er in geslaagd een inzicht te verkrijgen in de meststofbehoefte onder uitéénlopende omstandigheden.

Het ligt voor de hand het verschil in werking van breedwerpig en in rijen toegediende meststof te beschrijven op een zodanige wijze, dat de met breedwerpig bemesting opgedane ervaringen en de op proefvelden verkregen resultaten gebruikt kunnen worden om de resultaten van een bemesting in rijen te voorspellen. Ook de ervaring opgedaan in het buitenland dient verwerkt te worden.

Bij een vergelijking op proefvelden wordt veelal onderzocht hoe de werking is van dezelfde hoeveelheid meststof per hectare breedwerpig en op één of andere wijze in rijen toegediend, waarbij in het gunstigste geval de vergelijking voor opklimmende meststofhoeveelheden opgezet wordt. Op deze wijze werkend, is het noodzakelijk proeven aan te leggen op de voornaamste grondsoorten, met de voornaamste gewassen en meststoffen bij verschillende weersgesteldheden. Bovendien moet rekening gehouden worden met de eindeloze variatie in de wijze waarop de meststof in rijen kan worden toegediend.

Op deze basis is het moeilijk tot een vergelijking te komen, omdat niet alleen de reacties van de plant verschillen, maar ook die van de meststoffen in de grond (uitspoeling, ionenevenwichten en fixatie); de hoeveelheid meststof per werkelijk bemest volume is bij rijenbemesting nl. veel groter. De reactie van

FIG. 1. DE BASIS VOOR DE VERCELIJKING TUSSEN BREEDWERPIGE BEMESTING EN RIJENBEMESTING. Een verticale doorsnede loodrecht op de rijen is afgebeeld.

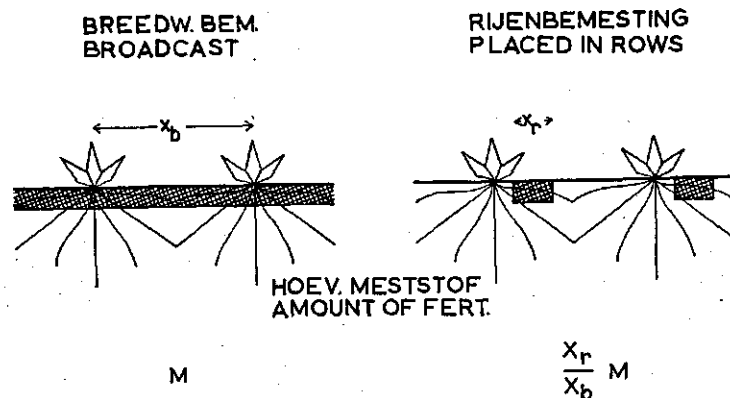


Fig. 1. Comparison of the effect of fertilizer broadcast and placed in rows. A vertical section perpendicular on the rows is given.
N.B. The concentration of fertilizer in the soil is the same in both cases, not the amount per acre.

de grond kan op een eenvoudige wijze geëlimineerd worden door niet uit te gaan van gelijke hoeveelheden per hectare, maar van gelijke concentraties per werkelijk bemeste volume-eenheid. De reacties met de grond verlopen dan op dezelfde wijze bij beide wijzen van toedienen. Dit leidt tot de in fig. 1 aangegeven vergelijkingsbasis. Breedwerpige bemesting wordt beschouwd als een aanéengesloten bemesting in rijen; de meststofhoeveelheden welke onderling vergeleken worden zijn M kg per ha bij breedwerpige en $(x_r/x_b) M$ kg per ha bij rijenbemesting. In eerste instantie is verondersteld, dat de diepte waarop de meststoffen worden toegediend dezelfde is; wel wordt rekening gehouden met de afstand tussen de mestrij en gewasrij bij bemesten in rijen. De grond onder de bemeste stroken is nu bij de rijenbemesting in een gelijke toestand, als de grond onder het breedwerpig bemeste oppervlak, omdat de diffusie in horizontale richting te verwaarlozen is.

Een verandering in de wijze, waarop meststoffen worden toegediend, zal in de eerste plaats de opgenomen hoeveelheden van het toegediende element beïnvloeden en daardoor in veel gevallen de opbrengst. Het zal blijken, dat de opgenomen hoeveelheden bij een bepaalde wijze van bemesten in rijen kunnen worden berekend wanneer deze bij breedwerpige bemesting bekend zijn. Daarenboven is in veel gevallen het verband tussen opbrengst en opgenomen hoeveelheid van een element onafhankelijk van de wijze waarop de meststof wordt toegediend. Door een combinatie van deze twee verschijnselen is het mogelijk aan te geven hoe het resultaat van een proefveld uitgevallen zou zijn wanneer de meststof niet breedwerpig maar in rijen toegediend was.

3 OPNAME EN OPBRENGST

Tussen de opbrengst en de hoeveelheid opgenomen element in de gehele plant bestaat bij bemestingsproeven een nauw verband met een algemene gedaante als aangegeven in fig. 3a ¹⁾. Bij hogere opbrengsten en opnamen, over het algemeen verkregen bij hogere bemesting, neemt de opbrengst slechts weinig toe bij verdere opname, hetgeen hier luxe-consumptie genoemd wordt.

¹⁾ Deze figuur wordt op blz. 770 e.v. in zijn geheel besproken.

Het is duidelijk dat het verloop van de lijn niet afhangt van de wijze waarop de meststof wordt toegediend wanneer:

1. De energie welke nodig is voor de accumulatie van een bepaalde hoeveelheid ionen zich niet wijzigt en de opgenomen ionen op eenzelfde wijze gebruikt worden.
2. De opname van andere voedingsstoffen niet in een voor de plant voordelige wijze verandert.
3. Veranderingen in beschikbaarheid van de meststoffen met de tijd niet van invloed zijn.

Sub 1. Uit een bewerking van de experimenten welke in de loop van de jaren uitgevoerd zijn, is gebleken dat in 15 van de 20 gevallen het verband tussen opbrengst en opgenomen hoeveelheid stof niet beïnvloed werd door de wijze van toediening. In drie van de vijf overige gevallen kon aangetoond worden, dat de oorzaak van de afwijking toegeschreven moet worden aan het niet voldoen aan de voorwaarde genoemd onder punt 2. Daar de proeven onder totaal verschillende omstandigheden en met verschillende meststoffen en gewassen uitgevoerd zijn, leidde dit tot de conclusie, dat over het algemeen de wijze van toedienen niet het opname-opbrengst-verband beïnvloedt of, waarmee hetzelfde gezegd wordt, aan de voorwaarde genoemd onder punt 1 voldaan wordt.

Sub 2. De grootte van de opbrengst, waarmee een bepaalde opgenomen hoeveelheid ionen „gehonoreerd” wordt, hangt af van de grootte van andere groeifactoren. Naarmate deze minder in het minimum zijn, zal de opbrengst bij een bepaalde opname van het toegediende element groter zijn; uiteraard tot een zekere grens bereikt wordt (verzadiging of luxe-consumptie). Werkt de toegediende meststof nadelig op de opname van andere voedingsstoffen (antagonisme) dan zal deze werking meer opbrengstdrukkend zijn naarmate een groter oppervlak bemest is. Er kan dus verwacht worden, dat in deze gevallen het opname-opbrengst-verband voor rijenbemesting gunstiger zal verlopen dan voor breedwerpige bemesting.

Het is genoegzaam bekend, dat lang niet alle meststoffen antagonistisch werken en dat een antagonistische werking lang niet altijd een verlaging van de opbrengst tengevolge heeft. Het voorkomen ervan behoort daarom tot de uitzonderingen. Uit studies op dit gebied is af te leiden onder welke omstandigheden deze te verwachten zijn; bij bemesting met kali bv. treedt dit verschijnsel herhaaldelijk op. Ook uit het verloop van de opname-opbrengst-curve bij breedwerpige bemesting is vaak af te lezen of een schadelijke antagonistische werking is opgetreden.

Het omgekeerde geval, d.w.z. een ongunstige werking van plaatselijk toedienen van meststoffen op het opname-opbrengst-verband komt minder voor. Nadere studie moet nog uitmaken waar dit te verwachten is.

Sub 3. Wanneer bij bemesting in rijen de mestrijen samenvallen met de plantrijen, is in het begin van de groei de beschikbaarheid van de meststof naar verhouding gunstig; naarmate de afstand van de mestrij tot de plantrij groter wordt, duurt het langer voordat de plant over de meststof beschikken kan en is de begintoestand ongunstiger. De verandering in opname, die hier van het gevolg kan zijn, wordt later besproken (blz. 772).

Uit proeven waarbij de invloed van de tijd van aanwending op de opbrengst

FIG. 2. DE COMPENSATIEFUNCTIE.

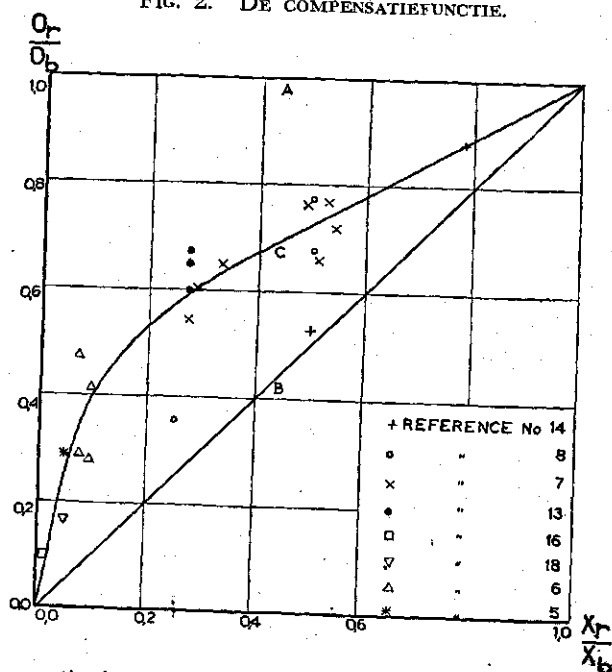


Fig. 2. The compensationfunction. The ordinate O_r/O_b is the ratio between the uptake of fertilizer placed in rows and broadcast. The curve applies to the situation given in figure 1 ($0 < x_r < x_b$).

Opmerking bij „reference no 13” :
 In dit artikel zijn de gehalten aan fosfaat in de oogstproducten niet gepubliceerd. Voor het verstrekken van deze aanvullende gegevens zijn wij dank verschuldigd aan Ir J. PRUMMEL.

is onderzocht, is ons gebleken, dat het verband tussen opbrengst en opname niet afhangt van de tijd van bemesten. Dit geldt voor het gebied, dat voor rijenbemesting van belang is, wanneer althans de kiemplanten niet geheel van voedingsstoffen verstoken blijven. (De invloed van de tijd van toediening is dus voornamelijk toe te schrijven aan een invloed op de opname).

4 BEMESTING EN OPNAME

Wanneer de wortels van de planten onder de gehele oppervlakte aanwezig zijn, is de verhouding tusen de bemeste volumina bij rijen- en bij breedwerpige bemesting gelijk aan x_r/x_b (fig. 1). Wij beschouwen nu de opnameverhouding bij de twee wijzen van bemesten nadat deze „stationaire” toestand is ingetreden. Het is te verwachten, dat de opname bij bemesten in rijen (O_r) op zijn minst evenredig is met de oppervlakteverhouding en de opname bij breedwerpige bemesting (O_b), dus gelijk aan $(x_r/x_b)O_b$. Op zijn hoogst zal de opname niet afhangen van de wijze van toedienen, dus gelijk zijn aan de opname bij breedwerpige bemesting. (N.B. gelijke hoeveelheden per werkelijk bemest oppervlak worden vergeleken). In gevallen, waar ook zonder bemesting opname plaats vindt, geldt hetzelfde voor de meer-opnamen, waaronder het verschil van de opnamen door het bemeste en onbemeste gewas verstaan wordt.

Deze twee grensgevallen zijn aangegeven in fig. 2 door de lijnen B en A; als ordinaat is hier de opname-verhouding O_r/O_b genomen en als abscis de oppervlakte-verhouding x_r/x_b , beide lopende van 0 tot 1. De werkelijke

opname-verhouding kon berekend worden uit een twintigtal proeven, waarbij het gedeelte van de wortels, dat met de meststof in contact kwam, werd gevarieerd. De resultaten zijn aangegeven in de figuur. De curve C is door de punten getrokken. Deze ligt tussen de beide grenzen in en stijgt monotoon, hetgeen te verwachten is daar de curve door de punten 0,0 en 1,1 moet lopen.

De spreiding van de punten is verrassend klein, temeer wanneer wij bedenken, dat het hier waarnemingen betreft verricht op het veld, in potten en in watercultures ¹⁾, met de meststoffen N, P, K en Fe, de gewassen rijst, mais, haver, tuinbonen, gierst, boekweit en koolraap in verschillende groeistadia. Deze curve blijkt dus niet of weinig af te hangen van de omstandigheden. Door GILE en CARRERO (1917) en GOEDEWAAGEN (1942), die dit probleem uitvoerig onderzocht hebben, is hierop reeds gewezen.

Wanneer echter bij breedwerpige bemesting een groot gedeelte van de meststof wordt opgenomen, is het uiteraard onmogelijk dat bij kleinere waarden van x_1/x_0 de door de curve aangegeven compensaties tot stand komen. Vooral bij de bestudering van bemestingsproeven met stikstof zal hiermede rekening gehouden moeten worden.

Uit de daarvoor geschikte proeven blijkt verder, dat de opname-verhouding onafhankelijk is van de concentratie, waartoe bemest wordt, dus onafhankelijk van de meststofhoeveelheid M (fig. 1).

Deze compensatiefunctie stelt ons in staat het verband tussen opname en bemesting bij rijenbemesting te berekenen, wanneer dit verband bij breedwerpige bemesting bekend is. De onzekerheid in de ligging van de compensatiefunctie tengevolge van de spreiding van de waarnemingen blijkt in de practijk slechts een geringe invloed op het eindresultaat uit te oefenen (zie blz. 773). Omdat tegen de tijd dat de opnamesnelheid aanmerkelijke waarden begint aan te nemen, de wortels bij rijen- en breedwerpige bemesting onder de gehele oppervlakte van de grond aanwezig zijn, is de invloed van een eventueel verschil in opname, vóórdat dit het geval is, op de uiteindelijke opname te verwaarlozen. Dit is te verifiëren door studies over de wortelontwikkeling te vergelijken met die over het opname verloop (o.a. WEAVER (1926), GOEDEWAAGEN (1942) en HALLIDAY (1948)).

In fig. 3b is het verband tussen bemesting en opname bij toediening in rijen met een breedte, gelijk aan het vierde gedeelte van de gewasafstand, berekend uit het verband bij breedwerpige bemesting met behulp van de compensatiefunctie. Voor het bemesten van het vierde gedeelte van de grond is het vierde gedeelte van de meststof nodig; de meer-opname bij bemesting in rijen bedraagt dan 58% van die bij de overeenkomstige breedwerpige bemesting (fig. 2).

Bij lagere giften wordt door rijenbemesting een hogere opname verkregen dan door breedwerpig toedienen, bij hogere daarentegen een lagere. De bemesting-opname-curven bezitten dus een snijpunt. Uit de compensatiefunctie volgt, dat de maximale meer-opname bij bemesting in rijen 58% van die bij breedwerpige bemesting bedraagt. Dit is het geval wanneer de maximale opname niet wordt gelimiteerd door de opnamecapaciteit. Is dit wel het geval, dan kan men zich voorstellen dat de maximale opnamen bij bemesten van

1) Bij de potproeven en watercultures werd in deze gevallen ervoor gezorgd dat zich slechts een gedeelte van de wortels in bemeste grond resp. in voedingsoplossing bevond.

verschillend grote gedeelten gelijk zijn. Het verloop van de curven na het snijpunt is ondertussen niet van praktisch belang omdat daar breedwerpige bemesting altijd de voorkeur verdient. Er zijn tot nu toe geen aanwijzingen, dat het verloop van de curven voor het snijpunt beschreven zou moeten worden met een concentratie-afhankelijke compensatiefunctie.

5 INTERPRETATIE VAN BEMESTINGSPROEVEN

Op grond van het voorgaande kunnen reeds een aantal conclusies geformuleerd worden, welke het inzicht in wat onder Nederlandse omstandigheden van rijenbemesting te verwachten is, aanmerkelijk vergroten.

In fig. 3 is in het vierde kwadrant een verband tussen opname en bemesting gegeven voor breedwerpig toedienen; in het eerste kwadrant het hierbij behorende verband tussen opname en opbrengst. Uit deze twee figuren is het verband tussen bemesting en opbrengst (tweede kwadrant) afgeleid. Tot zover zijn deze figuren te berekenen uit veel proeven over breedwerpige bemesting. Op de reeds besproken wijze is het verband tussen bemesting en opname bij een rijenbemesting, waarvoor geldt $x_r/x_b = 0,25$, geconstrueerd.

Er kunnen nu de volgende gevallen onderscheiden worden.

a. Het opname-opbrengst-verband is voor rijen- en breedwerpige bemesting hetzelfde.

Er zijn nu twee mogelijkheden. In de eerste plaats kan de opname, aangegeven door het punt waar de bemesting-opname curven voor rijen- en breedwerpige bemesting elkaar snijden, zo groot zijn, dat een verdere opnamestijging geen opbrengststijging meer tengevolge heeft (luxe consumptie). De maximale opbrengsten bij de twee wijzen van toedienen zijn dan gelijk, zodat rijenbemesting over het gehele traject beter is dan breedwerpige bemesting (geval I A; fig. 3). Om bij breedwerpige bemesting een gelijke opbrengst te verkrijgen als bij bemesting in rijen is ongeveer $(x_b/x_r)(O_r/O_b)$ maal zo veel meststof nodig (verg. fig. 2). In dit geval is deze vermenigvuldigingsfactor gelijk aan 2,3. Bij bemesting in rijen met een breedte gelijk aan het tiende gedeelte van de gewasafstand is de factor 4; de besparing aan meststoffen is groter bij smallere rijen. Omdat deze vermenigvuldigingsfactor niet afhangt van de concentratie is de besparing in geval I A onafhankelijk van de opbrengst welke verkregen wordt.

In de literatuur worden besparingen opgegeven, welke uitgedrukt in de vermenigvuldigingsfactor variëren van ongeveer 2 tot 4; deze grenzen komen goed overeen met die welke uit het verloop van de compensatiefunctie af te leiden zijn.

Het snijpunt van de twee opname-curven ligt bij lagere opnamen naarmate de rijen smaller zijn. Er kan dus het stadium bereikt worden, dat een grotere opname dan die aangegeven door het snijpunt, wel een opbrengststijging tengevolge heeft (geen luxe consumptie in het geval van rijenbemesting). Dit is geval I B (fig. 3); lagere giften in rijen zijn hier voordelig, hoge giften nadelig in vergelijking met breedwerpig toedienen. Dit nadeel van smalle rijen komt vooral naar voren bij gewassen, grondsoorten en meststoffen waarbij weinig luxe-consumptie optreedt. Waar dit het geval is, kan afgeleid worden uit breedwerpige bemestingsproeven.

Uit proeven met fosfaatmeststoffen in opklimmende hoeveelheden breedwerpig toegediend — gepubliceerd door onderzoekers van het Landbouw-

FIG. 3. DE VIER MOGELIJKE GEVALLEN.

De curven B gelden voor breedwerpige bemesting, de curven R voor rijenbemesting, de ongemerkte voor beide.

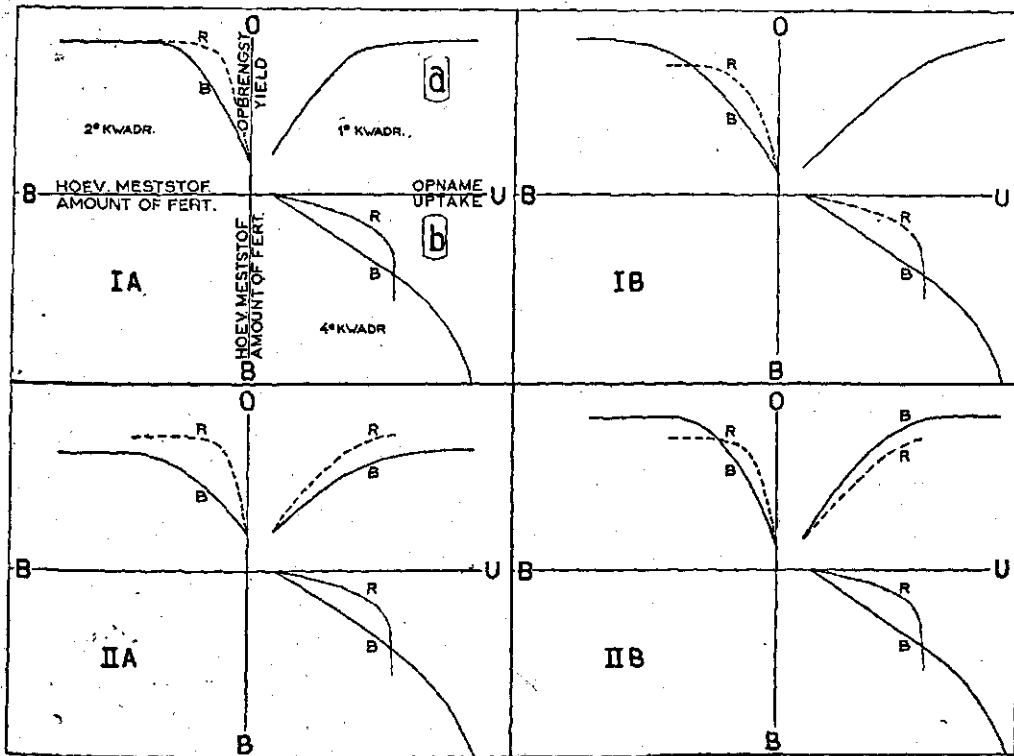


Fig. 3. The four possibilities for the different effects on yields, when fertilizer is broadcast and placed in rows respectively. The curves B (broadcast) and the non-marked curves may be derived from many fieldexperiments. The rate-uptake curves R (row placement) are calculated using the compensationfunction, supposing x/x_b equal to 0.25. The cases IA and IB occur mostly in practice, the cases IIA and IIB can be expected when the application of fertilizer influences the availability of other nutrients.

proefstation in Groningen in de *Verst. Landbouwk. Onderz.*, o.a. VAN DER PAAUW (1950) – is op bovenstaande wijze afgeleid:

1. Bij bemesten met superfosfaat kan de breedte van de mestrij over het algemeen zonder gevaar gelijk genomen worden aan het vierde gedeelte van de gewasafstand.
2. Op arme gronden is het opname-traject waar luxe-consumptie optreedt kleiner, zodat het wenselijk is als men tot hoge giften overgaat de rijen breder te nemen.
3. Bij „slecht opneembare” meststoffen, zoals slakkenmeel, treedt op veel gronden veelal in het geheel geen luxe-consumptie op, zodat alleen zeer lage giften met voordeel in rijen toe te dienen zijn.

Het onderscheid van de gevallen IA en IB heeft alleen zin in streken, waar getracht wordt maximum opbrengsten te verkrijgen. De verwarrende ervaringen welke opgedaan zijn met rijenbemesting in West-Europa (vnl. Duitsland) zijn voor een deel toe te schrijven aan het optreden van dit geval. Trouwens ook in Amerika treedt geval IB op, maar dan op een „lager” niveau.

SALTER (1938) vermeldt tenminste dat het bemesten in onderbroken banden (dus plant voor plant) bij lage giften grotere opbrengsten geeft dan bemesting in rijen; bij hogere giften daarentegen kleinere.

b. Het verband tussen opname en opbrengst hangt af van de wijze waarop de meststoffen worden toegediend.

Ook hier zijn weer twee gevallen te onderscheiden. In de eerste plaats is het mogelijk, dat het opname-opbrengst-verband voor rijenbemesting gunstiger verloopt dan voor breedwerpige bemesting. Dit betekent, dat de maximum opbrengst bij rijenbemesting, wanneer althans de rijen niet erg smal gemaakt worden, hoger uitvalt dan bij breedwerpige bemesting. Dit is geval II A genoemd (fig. 3).

Op blz. 767 is reeds besproken, dat dit voorkomt wanneer bv. antagonistische verschijnselen optreden en dat deze afwijkingen tot de uitzonderingen behoren. Op proefvelden is deze verhoging van het opbrengstniveau door rijenbemesting geconstateerd (o.a. PRUMMEL 1950).

In principe is het mogelijk dat het opname-opbrengst-verband bij bemesting in rijen ongunstiger verloopt (geval II B, fig. 3). Het uiteindelijk effect hiervan is in de meststofhoeveelheden-opbrengst-curven niet te onderscheiden van geval I B. Van dit geval is slechts één voorbeeld bekend; de oorzaak hiervan kon toegeschreven worden aan een slechtere beschikbaarheid van water bij plaatselijke bemesting.

Enkele andere kwesties dienen tenslotte nog besproken te worden.

1. De afstand van de mestrij tot de gewasrij is van ondergeschikte betekenis. Over het algemeen is het het beste de meststoffen dicht bij het zaad te geven. Dit geeft een zeer goede jeugdontwikkeling, welke weliswaar later verdwijnt maar het risico van de teelt vermindert hierdoor (beschadiging door ziekten enz.). Uit de Engelse en Amerikaanse proeven is wel gebleken dat bij deze wijze van toedienen in Nederland de kans op kiembeschadiging te groot is en dat om dit te vermijden de meststof minstens op 3 cm van de plant moet worden toegediend. De jeugdontwikkeling is dan wat slechter, maar deze achterstand is, wanneer de wortels de mestrij bereikt hebben, zeer snel in te halen¹⁾. Op arme gronden is het wenselijk een kleine hoeveelheid meststof met het zaad toe te dienen. Omdat de opname van meststof gedurende het jeugd stadium van geringe invloed is op de uiteindelijke opname, mag men de werking van rijenbemesting niet aan de jeugdgroei beoordelen.

Uit een nadere uitwerking van de theorie volgt verder, dat het belang van de afstand van mestrij tot gewasrij geringer wordt naarmate de toegediende hoeveelheden groter zijn. Het heeft daarom geen zin de uitgebreide Amerikaanse proeven over dit onderdeel in Nederland te herhalen.

2. De diepte waarop de meststof wordt toegediend is wel van invloed. Uit een overzicht van VERVELDE en MEIJERMAN (1950) blijkt duidelijk, dat de meststof gegeven in de drie à vier bovenste centimeters van de grond in droge jaren vrijwel onwerkzaam is. Bij bemesten in rijen

¹⁾ VAN DER PAAUW (1951) heeft waargenomen, dat een relatief tekort aan mineralen in de jeugd gunstig kan zijn. Uit een bewerking van gegevens uit de literatuur (o.a. AVDONIN 1941 en SIMON 1927) is ons dit niet gebleken.

FIG. 4. VOORBEELD VAN GEVAL II A ONTLEEND AAN EEN PROEF VAN GOEDEWAAGEN (1942) MET HAVER IN KISTEN.

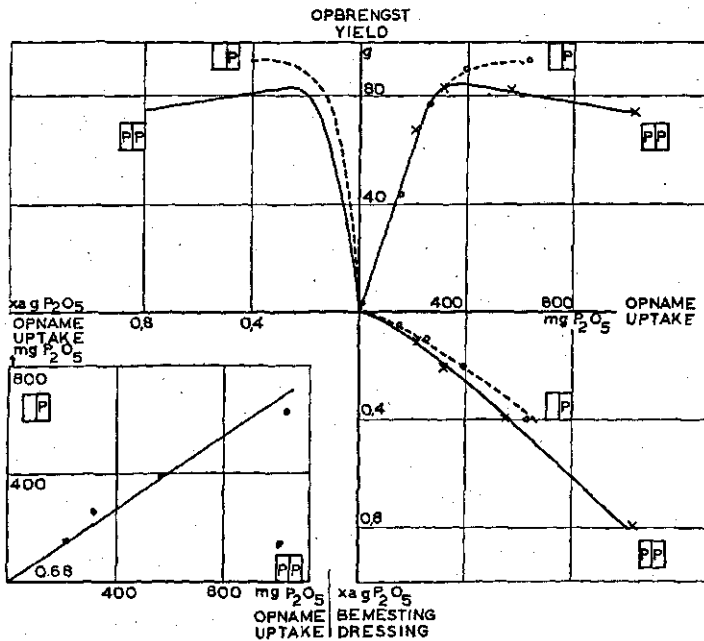


Fig. 4. Example of case II A derived from an experiment with oats in containers. The ratio of the volumes (x_r/x_b) equals 0.50. In the third quadrant the compensation is calculated (compare fig. 2).

kan het geven op deze diepte gemakkelijk vermeden worden. Proeven ter vaststelling van dit extra gunstige effect hebben zeer weinig zin, omdat het resultaat te sterk afhankelijk van de weersgesteldheid en de hoeveelheden meststof, welke in droge jaren onwerkzaam zijn, geschat kunnen worden uit de meststofverdeling en de uitdroging van de bodem.

3. Op sterk fixerende gronden heeft de bemestings-opname-curve een S-vorm. Dit betekent, dat eerst boven een bepaalde concentratie de meststof door de plant wordt opgenomen. Bij toepassing van de theorie volgt, dat op deze gronden rijenbemesting zeer grote voordelen biedt, zoals men zich door een schetsje kan duidelijk maken.
4. Bij het bepalen van de hoeveelheden meststof, welke nog met voordeel in rijen toe te dienen zijn, is het nodig het verloop van de compensatiefunctie en de hoeveelheden, welke breedwerpig toegediend moeten worden voor het verkrijgen van een maximale opbrengst, te kennen. Het zal duidelijk zijn, dat dit laatste getal veel onnauwkeuriger bekend is dan de compensatiefunctie. Het heeft dus geen zin het verloop van deze functie en de verhouding x_r/x_b zeer nauwkeurig te bepalen.

6 VOORBEELDEN

a. In fig. 4 is een voorbeeld gegeven ontleend aan een fundamentele proef met haver in bakken van GOEDEWAAGEN (1942). De bemestingswijzen, welke vergeleken werden, zijn gelijkmatige bemesting van de gehele en van de helft van de grond. De volume-verhouding is dus 0,5. Door de waarnemingspunten welke het verband aangeven tussen bemesting en opname zijn twee curven met de hand getrokken.

In de inzet is de uit deze curven afgelezen meer-opname bij bemesting van de gehele grond uitgezet tegen de meer-opname bij bemesting van de helft van de grond, telkens tot eenzelfde concentratie. De compensatie blijkt 68% en onafhankelijk van de concentratie te zijn. Het verband tussen opname en opbrengst is voor lage opnamen in beide gevallen gelijk; voor de twee hoogste opnamen, bij bemesten van de gehele grond, wijken de waarnemingen in ongunstige zin af. Bij deze twee objecten is door de onderzoeker N-gebrek vastgesteld, zodat de afwijking aan een verstoorde N/P-balans moet worden toegeschreven. De proef is een voorbeeld van geval II A.

b. Een voorbeeld van geval II B is de bakkenproef met tuinbonen van GOEDEWAAGEN (1942); de resultaten van RAUTERBERG (1937) met P-bemesting zijn een voorbeeld van geval IA; de resultaten van GILE en CARRERO (1917) van geval IB (rijst en N-bemesting).

DANKBETUIGINGEN

Het onderzoek is mogelijk gemaakt door een belangrijke steun van de Landbouw-Organisatie T.N.O. Wij brengen hiervoor gaarne op deze plaats onze dank.

De besprekingen met de Directeur van het Landbouwproefstation en het Bodemkundig Instituut te Groningen Drs P. BRUIN en zijn medewerkers zijn van veel belang geweest.

SUMMARY: A PHYSICAL THEORY OF FERTILIZER PLACEMENT

A theory is given by which a quantitative comparison of the effects of fertilizer broadcast and placed can be made.

The theory is based on the following points:

1. The reactions between soil and fertilizer are the same for broadcasting and placement if the concentration of the fertilizer is the same in both cases (fig. 1).
2. A definite relation exists between yield and fertilizer uptake by the plant. The relation is independent of the method of application of the fertilizer, except for antagonistic effects. These effects, however, occur only rarely.
3. The ratio between uptake from fertilizer placed and broadcast only depends on the ratio of the volumes to which the fertilizer is applied. It is independent of the concentration; neither have significant differences been found between different kinds of fertilizers, soils and plants (fig. 2).

The differences in yield between row placement and broadcasting can be reduced to four standard cases. These are shown in fig. 3.

The following conclusions are arrived at:

1. If the relationship between yield, uptake and amount of fertilizer applied is known for one method of placement (e.g. broadcasting) these relations can be calculated for any other method of placement.
2. A saving of about 55% of fertilizer can be obtained by placement in rows if the rows have a width of one fourth of the distance between the plant rows. A still higher saving can be obtained with narrower rows, but only if small amounts of fertilizer are given. On the other hand a reduction in yield compared with broadcast occurs if large dressings are given in narrow rows (case IB in fig. 3). The calculated savings cannot be realised, if the recovery of broadcast fertilizer is already high. This often occurs with nitrogenous fertilizers. In particular, experiments on broadcasting lead to the conclusion that for phosphate: Case IB can be avoided by applying superphosphate in rows having a minimum width of one fourth of the distance between plant rows. Phosphate fertilizers of low solubility should preferably not be applied in rows, unless at very low dressings.
3. Row placement is highly profitable if fixation of the fertilizer by the soil occurs.
4. The distance between fertilizer and seed has no direct influence upon the yield. Secondary influences, however, may occur. Contact placement may cause injury to the seedling, whereas a slow start may result in other cases.

5. Waste of fertilizer in dry seasons due to shallow placement, can be calculated from the distribution of the fertilizer and the shape of the dry upper layer of the soil. Experiments on this subject can hardly provide new information, since weather conditions determine the results.

LITERATUUR

- AVDONIN, N. S. : Vraagstukken betreffende de systemen van plantenvoeding. Werken van het Inst. voor graanbouw in de niet-zwarte-aarde geb. (Russisch). Moskou 1941.
- - : De toediening van gekorrelde superfosfaat in rijen. (Russisch). *Agrobiologija* 1949 No 2, 29-48.
- COOKE, G. W. : Placement of fertilizers for row crops. *J. Agr. Sci.* 39 (1949), 359-373.
- - : Placement of fertilizers for potatoes. *J. Agr. Sci.* 39 (1949), 96-103.
- - : Private communication. *Rothamsted Experimental Station*, Harpenden, 1951.
- DEMIDENKO, D. D. en R. A. BORINOVA : Effect of granulated superphosphate upon the yield of stubble-field crops. *Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.* 54 (1946) 247-250.
- GILE, P. L. en J. O. CARRERO : Absorption of nutrients as effected by the number of roots supplied with the nutrients. *J. of Agr. Res.* 9 (1917), 73-95.
- GOEDEWAAGEN, M. A. J. : Het wortelstelsel der landbouwgewassen. 's-Gravenhage 1942.
- HALLIDAY, D. J. : Nutrient uptake by farm crops. *Jealott's Hill Res. Sta. Bull.* No 7, 1948.
- PAAUW, F. VAN DER : Oorzaken van de verschillende werking van superfosfaat en Thomas-slakkenmeel. *Versl. Landb. Ond.* No 56-6 (1950).
- - : Verhoging van de aardappelopbrengst door late overbemesting. *Landbouwk. Tijdschr.* 63 (1951), 234-242.
- PFÜTZER, G. : Beitrag zur Frage der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen bei gesteigerten Nährstoffgaben. *Landwirtsch. Forsch.* 50 (1933), 1-22.
- PRUMMEL, J. : Rijebemesting. *Landbouwk. Tijdschr.* 62 (1950), 620-627.
- RAUTERBERG, E. : Die Wirkung der Nährstoffe bei nesterartige und bei absolut gleichmässiger Verteilung im Boden. *Ernährung der Pflanzen* 33 (1937), 201-208.
- SALMON, S. C. : The use of modern statistical methods in field experiments. *J. of the Am. Soc. of Agron.* 32 (1940), 308-319.
- SALTER, R. M. : Methods of applying fertilizers. *Yearbook of U.S. Dept. of Agric.* 1938, pp. 546-562.
- SIMON, E. : Wie beeinflusst die Aufnahmezeit die Wirkung der Nährstoffe. Diss. Cottbus 1927.
- ULYAKOV, I. P. : Over de methoden van fosfaattoediening op rode aarde gronden. (Russisch). *Chem. of Soc. Agr.* (1936), pg. 91.
- VERVELDE, G. J. en G. C. MEIJERMAN : Onderploegen of ineggen van kunstmest. *Maandbl. Landbouwvoorlichtingsd.* 7 (1950), 12-16.
- VERVELDE, G. J. : De aard van wetenschappelijk plantenteelt onderzoek. *Landbouwk. Tijdschr.* 63 (1951), 573-582.
- WEAVER JOHN, E. : Root development of field crops. New York, 1926.