

Landbouwk. Meded. 1950

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O.
GRONINGEN

INVLOED VAN DE
KALKTOESTAND OP DE BESCHIKBAARHEID
VAN FOSFAAT OP ZANDGROND

WITH A SUMMARY:
RELATION BETWEEN THE LIME STATUS AND THE AVAILABILITY
OF PHOSPHATE ON A SANDY SOIL

Dr F. VAN DER PAAUW

BIBLIOTHEEK
DER
LANDBOUWHOGESCHOOL
WAGENINGEN.



STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. No. 56.8 - 'S-GRAVENHAGE - 1950

159039

INHOUD

	BLZ.
I. INLEIDING	3
II. RESULTATEN VAN HET FOSFAAT-KALKPROEFVELD PR 642	5
1. Uitkomsten van het chemische gewasonderzoek	6
a. Haverloof in 1946	6
b. Aardappelloof in 1943	8
c. Aardappelknollen in 1943	9
d. Aardappelknollen in 1945	9
2. Uitkomsten van de opbrengstbepalingen	11
3. Uitkomsten van de standbeoordelingen	14
4. Bespreking van de resultaten	15
SAMENVATTING	17
SUMMARY	18
LITERATUUR	19

Bibliotheek
der
Landbouw Hogeschool
WAGENINGEN

I. INLEIDING

De fosfaat- en kalihouhouding der landbouwgewassen staat in nauwe relatie tot de kalktoestand van de grond. Talrijke voorbeelden worden in de literatuur gegeven omtrent de belangrijke invloed, die deze laatste op de opname van fosfaat en kali heeft. Bij beperking tot de in eigen land verrichte onderzoekingen kunnen verschillende gevallen worden genoemd.

VISSER (11) toonde aan, dat bij de waardering van het grondonderzoek op fosfaat en kali op de Groningse klei- en zavelgronden in belangrijke mate met de kalktoestand rekening moet worden gehouden. Het effect van een fosfaatbemesting bleek bij hoger kalkgehalte van de grond bij hetzelfde P-citr cijfer geringer te worden. De relatie tussen kalk en kali was ingewikkelder: bij niet of weinig koolzure kalkhoudende gronden bleek het effect van de kalibemesting bij overeenstemmend kalkgehalte van de grond aanvankelijk belangrijk toe te nemen, om vervolgens op sterker kalkhoudende gronden ($\text{CaCO}_3 < 2\%$) weer te verminderen.

Een soortgelijk variabel verband van de reactie op fosfaat en kali vond VAN DER PAAUW (4) op grasland. Duidelijke aanwijzingen werden verkregen, welke ten dele in later onderzoek werden bevestigd (VAN DER PAAUW en DE LA LANDE CREMER (8)), dat de opname van beide stoffen bij een middelmatige pH ($\pm 5,6$) het gunstigst verloopt. Andere indicaties zijn verkregen op rivierklei (6) en in veel mindere mate dan in Groningen ook op de zeekleigronden van de Zuidhollandse eilanden (5). Uit reeds geruime tijd bestaande, door MASCHHAUPT aangelegde proefvelden, die nog steeds worden voortgezet, komt eveneens naar voren, dat de kalktoestand voor de kaliopname op kleigrond van grote betekenis is. De uitkomsten van deze proefvelden zijn nog niet gepubliceerd.

Aanwijzingen van andere aard worden door het grondonderzoek gegeven. Het P-getal, dat het in water oplosbare fosfaat aangeeft, is op zand- en dalgrond in sterke mate afhankelijk van de pH van de grond; bij stijgende pH treedt een sterke daling op (DE VRIES en HETTERSCHIJ (14)). De fosfaatopname gaat in verscheidene gevallen parallel aan het P-getal; dit zou er dus op wijzen, dat de teruggang in de oplosbaarheid werkelijk door het gewas als een verminderde beschikbaarheid onderzonden wordt.

Een sterke aanwijzing, dat de vermindering van de oplosbaarheid van het fosfaat in de grond, zoals deze door de daling van het P-getal bij hogere pH wordt aangegeven, voor de opneembaarheid van het fosfaat door het gewas van grote betekenis is, werd verkregen door de resultaten van het proefveld WO 120 te Dedemsvaart, dat onder leiding stond van Ir J. WIND. Een verband tussen de opbrengsten met het P-citr was nauwelijks aanwezig, het verband met het P-getal was daarentegen zeer duidelijk. Aangezien het P-getal vrij nauw met de pH gecorreleerd was, bestond nog de mogelijkheid, dat de opbrengst in werkelijkheid niet op de factor fosfaat, maar op de pH van de grond reageerde. Uit op dit proefveld verricht chemisch gewasonderzoek bleek echter overtuigend, dat de opneembaarheid van fosfaat in evenredigheid met de daling van het P-getal was teruggelopen.

De wisselwerking kan eveneens uit de hoek van het kalkonderzoek worden gezien. Het verband tussen de pH van de grond en de opbrengst wordt zeer vaak weergegeven door een optimumkromme (BRUIN (1), VISSER (9, 10), DE VRIES (12)). De optimale zone is smal. Het is van groot belang de verbouw van gewassen onafhankelijker van de kalktoestand te maken, zodat het optreden van dergelijke depressies,

dat zelfs bij scherpe controle van de pH nooit geheel te vermijden zal zijn, kan worden voorkomen. Het onderzoek over de wisselwerking met de fosfaat- en kalibemesting kan inzicht geven in hoeverre deze beide factoren voor dit verschijnsel verantwoordelijk zijn en hoe deze geregeld moeten worden om het gewenste effect te verkrijgen.

Verschillende onderzoeken over deze wisselwerkingen zijn gaande. Proefvelden, waarop de betreffende factoren door bekalkingen of voorraadbemesting zijn gevarieerd, verlenen een juister en ook nauwkeuriger inzicht in de betekenis dan de zuiver correlatieve bewerkingen van een groot proefvelden-materiaal, al hebben de eerste weer het bezwaar strikt genomen slechts geldig te zijn voor het perceel, waarop het onderzoek is verricht.

In het volgende worden de uitkomsten beschreven, die op een groot opgezet fosfaat-kalkproefveld op zandgrond zijn verkregen. Deze zijn niet alleen van belang voor het verkrijgen van een nader inzicht in het probleem, maar belichten ook de betekenis van de kalktoestand voor de waardering van het chemische grondonderzoek naar de fosfaattoestand. Dit gebeurt op zandgrond nog steeds volgens een dubbele bepaling, namelijk van de oplosbaarheid in 1 % citroenzuur (P-citr) en van de oplosbaarheid in warm gedestilleerd water (P-getal). Volgens de eerste methode worden bij stijgende pH meestal enigszins hogere waarden verkregen, volgens de tweede echter, zoals reeds is vermeld, meestal sterk dalende. Het is van belang om na te gaan hoe het gewas zich onder deze omstandigheden gedraagt en op welke wijze van de gelijktijdige bepaling van P-citr, P-getal en pH bij de beoordeling van de fosfaattoestand kan worden gebruik gemaakt.

II. RESULTATEN VAN HET FOSFAAT-KALK PROEFVELD PR 642

Op dit op oude zandgrond bij D. VAN DIJKEN te Trimunt (Z.W. Groningen) gelegen proefveld, waarvan de grond bij aanleg tamelijk zuur en zeer fosfaatarm was (pH \pm 4,7, P-citr. \pm 17, P-getal \pm 2, humusgehalte gem. 8,5 %) zijn verschillende hoeveelheden kalk (3000, 6000, 10 000 kg/ha CaCO_3) toegediend; bovendien op een aantal veldjes zwavel naar 1000 kg/ha. Bij de op deze wijze verwerkelykte kalktoestanden zijn door voorraadbemestingen van verschillende grootte (0, 120, 300, 600, 1000 kg/ha P_2O_5) verschillende fosfaattoestanden verkregen. De pH liep na verloop van enige tijd uiteen van 4,2 tot 6,3, het P-citr van 12 tot 50, het P-getal van $\frac{1}{2}$ tot 16. Bij deze opzet zijn dus verscheidene series veldjes, elk van ongeveer gelijke pH maar met opklimmend P-citr verkregen, tevens verscheidene series veldjes met ongeveer overeenkomende P-toestand, maar met sterk variërende pH.

De grond van dit proefveld gedroeg zich, wat betreft het verband van P-citr resp. P-getal en de pH, geheel normaal; het P-citr nam bij stijgende pH iets toe (bij gelijke P-voorraad b.v. van 36 tot 44); het P-getal nam in belangrijke mate af (b.v. van 15 tot 5).

Op dit 55 veldjes omvattende proefveld, dat in 1940 werd voorbereid, zijn van 1941—1946 drie maal aardappelen (Noordeling), tweemaal rogge (Petkuser), éénmaal haver (Adelaar) en één maal stoppelknollen (Ronde witte roodkop) verbouwd.

De uitkomsten zijn over het algemeen regelmatig geweest. De opbrengstcijfers konden meestal door uitvoering van correcties voor ongelijkmatigheden van de vruchtbaarheid belangrijk worden verbeterd.

Naast de bepalingen van de opbrengsten zijn verschillende malen fosfaatgehalten van de oogstproducten bepaald. Twee maal, in 1943 met aardappelen en in 1946 met haver, zijn ook fosfaatgehalten van het loof van het betrekkelijk jonge gewas bepaald, waarmee zeer nauwkeurige uitkomsten zijn verkregen. Tijdens de ontwikkeling is het gewas geregeld beoordeeld, waarbij verscheidene malen standcijfers zijn gegeven. Voor zover van belang zullen de uitkomsten van deze bepalingen hieronder worden besproken.

Bij de bewerking van de resultaten werden in principe steeds de opbrengsten, resp. de P_2O_5 -gehalten van loof of oogstproduct, zowel tegen de pH, als tegen de P-toestand (P-citr of P-getal) grafisch uitgezet. De pH en de P-toestand zijn steeds door het gemiddelde van de in het voorafgaande najaar en de na de oogst bepaalde waarden weergegeven. Bij vergelijking tussen verschillende oogstjaren moet er aan worden gedacht, dat de pH en het P-citr in verloop van enige jaren wijzigingen hebben ondergaan, zodat het kalk- en fosfaatpeil niet geheel vergelijkbaar is.

Het materiaal werd bij de bewerking eerst tevoren in vijf groepen verdeeld, binnen welke groepen hetzij de pH, ofwel de P-waarde, weinig uiteenliep. Het was zodoende mogelijk het verband tussen P-citr en de opbrengst, resp. het P_2O_5 -gehalte in vijf verschillende pH-groepen vast te stellen; omgekeerd het verband tussen pH en opbrengst, resp. gehalte, in vijf verschillende P-groepen. Deze verbanden werden dus elk door vijf lijnen voorgesteld. Na vereffening werd het eindresultaat verkregen, waaruit de wisselwerking tussen P-toestand en pH ten aanzien van opbrengst (resp. gehalte) blijkt.

De gang van de bewerking zal aan de hand van de bepalingen van het P_2O_5 -gehalte van jonge haverplanten worden gedemonstreerd.

Eerst zullen de aanwijzingen worden besproken, die het chemische gewasonderzoek heeft opgeleverd, vervolgens zullen de verkregen opbrengsten nader worden beschouwd en onderling vergeleken, terwijl tenslotte nog enige aandacht aan de standbeoordelingen zal worden gegeven.

1. UITKOMSTEN VAN HET CHEMISCHE GEWASONDERZOEK

a. Haverloof in 1946.

Het verband tussen het P-citr en het P_2O_5 -gehalte van het op 25 Juni geoogste haverloof is bepaald in 5 pH-groepen, waarvoor bijeengenomen zijn de veldjes met pH 4,23—4,6, gemiddeld 4,45; pH 4,60—4,89 gem. 4,75; pH 4,90—5,31 gem. 5,11; 5,25—5,77 gem. 5,54; pH 5,80—6,38 gem. 6,09. Bij hetzelfde materiaal is eveneens de pH tegen het P_2O_5 -gehalte uitgezet in 5 verschillende P-citr groepen, namelijk P-citr 11—13 gem. 12; P-citr 15—18 gem. 16, P-citr 19—23 gem. 20,5, P-citr 24—32 gem. 29 en P-citr 35—49 gem. 42.

De tegen P-citr uitgezette P_2O_5 -gehalten zijn afgebeeld in fig. 1. De samenhang

FIG. 1. Verband tussen P-citr en het P_2O_5 -gehalte van groene haver afzonderlijk voor verschillende pH-trajecten.

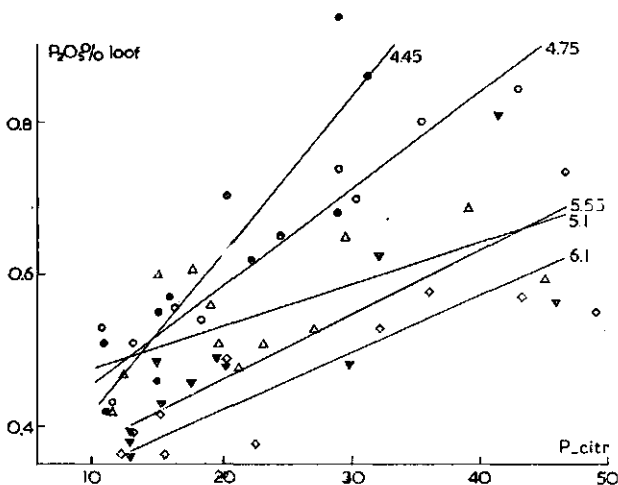


FIG. 1. Relation between P-citr number of the soil and P_2O_5 content of young oats at different pH levels. First approximation (see fig. 2).

blijkt reeds zeer behoorlijk, en kan door uit de hand getrokken lijnen bevredigend worden weergegeven. Met behulp van de op overeenkomstige wijze verkregen lijnen, die het verband tussen pH en P_2O_5 -gehalte weergeven, kan na een lijnvereffening een goed beeld van de samenhang van de verschillende factoren worden verkregen. In dit geval werd dit nog niet als eindresultaat aanvaard. De in fig. 1 voorkomende spreiding van de stippen is gedeeltelijk een gevolg van nog aanwezige kleine verschillen in pH tussen de veldjes van de bijeengebrachte groepen van ongeveer gelijke pH. Aangezien de invloed van de pH uit het voorlopige resultaat reeds zeer behoorlijk bekend is, is het mogelijk op de bij een groep behorende stippen nog kleine pH-correcties uit te voeren, zodat dan inderdaad alle stippen op volkomen dezelfde pH betrekking hebben. Precies dezelfde bewerking kan worden uitgevoerd bij de vaststelling van het verband met de pH bij verschillende P-citr groepen door correctie van alle in de groep bijeengenomen gevallen op het gemiddelde P-citr van elke groep.

De aldus gecorrigeerde resultaten zijn uitgezet tegen het P-citr en de pH. Vergeleken met fig. 1 bleken de uitkomsten inderdaad nog een kleinigheid verbeterd te zijn, zodat de lijnen met nog iets grotere nauwkeurigheid konden worden getrokken. In verschillende gevallen is deze vrij tijdrovende bewerking echter achterwege gebleven. Deze lijnen zijn verder gebruikt voor een lijnvereffening. Het resultaat hiervan is weergegeven in fig. 2, waarin links het verband tussen het P_2O_5 -gehalte

FIG. 2. Verband tussen P-citr en P_2O_5 -gehalte van groene haver bij verschillende pH-trappen (links) en tussen pH en P_2O_5 % bij verschillende P-citr trappen (rechts). Eindresultaat verkregen na lijnvereffening.

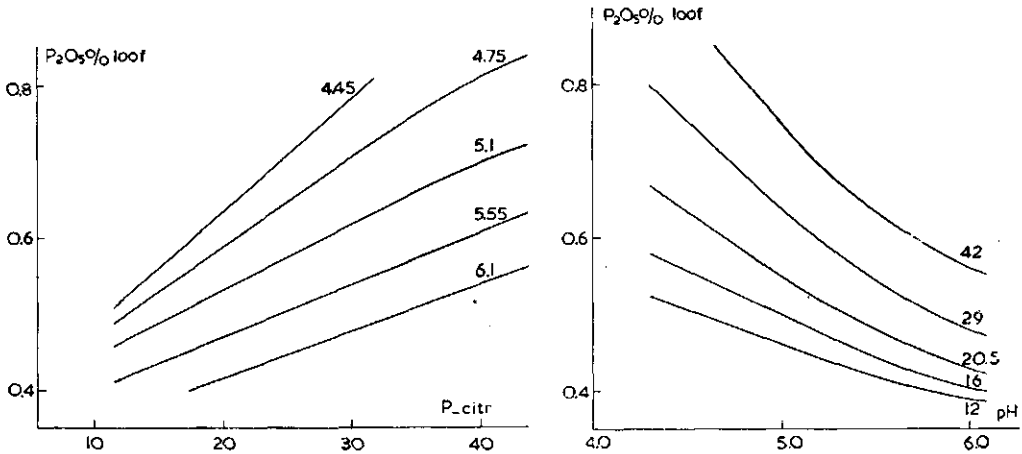


FIG. 2. Relation between P-citr number of the soil and P_2O_5 content of young oats at different pH levels (left) and between pH and P_2O_5 content at different P-citr levels (right). Final result (see fig. 1).

en P-citr bij verschillende pH-waarden, rechts tussen dit gehalte en de pH bij verschillend P-citr wordt weergegeven. Beide grafieken geven uiteraard hetzelfde op een verschillende wijze weer.

Het P_2O_5 -gehalte correleert alleen dan nauw met het P-citr als de pH constant is. De pH heeft blijkbaar een zeer belangrijke invloed op het P_2O_5 -gehalte, dat bij overeenkomend P-citr belangrijk daalt als de pH stijgt. Voor dit geval is het P-citr op zichzelf dus geen zuivere maat voor de opneembaarheid van het fosfaat, maar er moet in sterke mate rekening worden gehouden met de pH. Uit fig. 2 kan worden afgelezen, dat de waardering van het P-citr inderdaad zeer verschillend uitvalt. Een P_2O_5 -gehalte van 0,55 wordt b.v. bij de laagste pH-waarde reeds verkregen bij een P-citr 14, bij de hoogste pH-waarde bij P-citr 42.

Hoe is het nu gesteld met de samenhang tussen het P_2O_5 -gehalte en het P-getal, dat immers het in water oplosbare P_2O_5 in de grond weergeeft en dat zelf afhankelijk is van de pH van de grond? Fig. 3 geeft het eindresultaat. Het P-getal is in deze figuur tegen het P_2O_5 -gehalte bij verschillende pH-waarden uitgezet. Het verschil tussen de pH-groepen is uitermate gering; er is ten hoogste een zwakke aanwijzing, dat het P_2O_5 -gehalte bij eenzelfde P-getal toch nog bij hoge pH iets lager ligt. Het

FIG. 3. Verband tussen P-getal en het P_2O_5 -gehalte van groene haver bij verschillende pH-trappen.

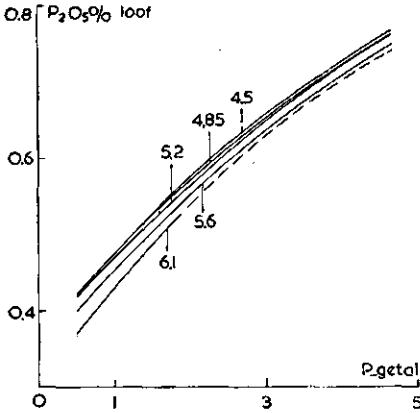


FIG. 3. Relation between P-water number and the P_2O_5 content of young oats at different pH-levels.

gewas met een zeer ernstig fosfaattekort en enigszins hoger gehalte kan hebben dan een gewas met minder ernstig gebrek. De bij stijgend P-citr optredende daling van het P_2O_5 -gehalte is dus feitelijk een aanwijzing voor een betere P-opname. Deze gaat echter bij nog hoger P-citr in een sterke stijging over. Bij lage pH vindt deze verandering bij een aanmerkelijk lager P-citr plaats dan bij hoge pH. Wij zien dus hier weer dezelfde van de pH sterk afhankelijke correlatie van het P_2O_5 -gehalte van het loof met het P-citr. Deze correlatie was bij veldjes met ongeveer gelijke pH weer zeer goed. Uit de figuur kan afgelezen worden, dat bij een gemiddelde pH van 6,1 een P-citr van 40, ten aanzien van het P_2O_5 -gehalte van het loof, correspondeert met een P-citr 26½ bij pH 4,3. De invloed van de pH op de waarde van het P-citr is, op deze wijze beschouwd, dus weer zeer groot.

In fig. 5 is de samenhang met het P-getal weergegeven. De bij verschillende pH vastgestelde lijnen blij-

P-getal heeft dus een aanmerkelijk beter verband met het P_2O_5 -gehalte dan het P-citr en het vermoeden ligt voor de hand, dat de vermindering van de oplosbaarheid van het P_2O_5 in water bij stijging van de pH inderdaad door het gewas haver op vrijwel gelijke wijze is ondervonden.

Hierboven werd opgemerkt, dat hetzelfde P_2O_5 -gehalte gevonden werd bij P-citr 14 bij lage pH als bij P-citr 42 bij hoge pH. In het eerste geval bedroeg het P-getal 2, in het tweede 2½. De aanwijzing over de beschikbaarheid van het bodemfosfaat, welke door middel van het P-getal wordt verkregen, is in dit geval dus belangrijk nauwkeuriger.

b. Aardappelloof in 1943.

Het onderzoek van het aardappelloof heeft in principe overeenkomstige resultaten opgeleverd (fig. 4). Ook hier deed zich het verschijnsel voor (VAN ITALLIE, 2), dat een

FIG. 4. Verband tussen P-citr en het P_2O_5 -gehalte van aardappelloof bij verschillende pH-trappen (1943).

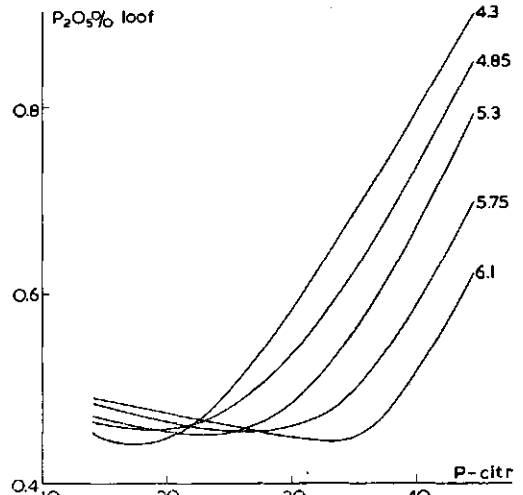


FIG. 4. Relation between P-citr number and the P_2O_5 content of potato shoots at different pH levels (1943).

ken, even opvallend als bij de haver (fig. 3), vrijwel op elkaar te vallen.

c. Aardappelknollen in 1943

Het verkregen resultaat wordt bevestigd door de bepalingen van het P_2O_5 -gehalte van de knollen (fig. 6). Weliswaar is het beeld thans gewijzigd; de stijging van het gehalte op zeer P-arme grond, welke voor fig. 4 kenmerkend was, komt hier niet voor; er vindt een geleidelijke toename van het gehalte plaats bij stijging van P-citr. Het schema is echter hetzelfde; bij laag en bij hoog P-citr is de invloed van de pH tegengesteld. De lijnen kruisen elkaar zelfs toevallig vrijwel door één punt, hetgeen wil zeggen, dat de pH bij P-citr 21 in het geheel geen invloed op het P_2O_5 -gehalte heeft gehad. Men zou geneigd zijn uit de hogere gehalten bij hogere pH, in geval P-citr laag is, tot een betere opneembaarheid van het bodemfosfaat te besluiten. Deze conclusie lijkt echter aanvechtbaar, gezien de uitleg, die aan fig. 4 is gegeven.

Bij hoger P-citr blijkt duidelijk, dat het P_2O_5 bij hogere pH minder goed is opgenomen. Vergelijken wij weer het gehalte, dat bij pH 6,1 bij P-citr 40 is verkregen, met hetzelfde gehalte op de zuurste grond, dan blijkt dat dit laatste al bereikt werd bij P-citr 27, practisch dus dezelfde waarde, die bij vergelijking van de gehalten van het loof werd gevonden.

FIG. 6. Verband tussen P-citr en het P_2O_5 -gehalte van aardappelknollen bij verschillende pH-trappen (1943).

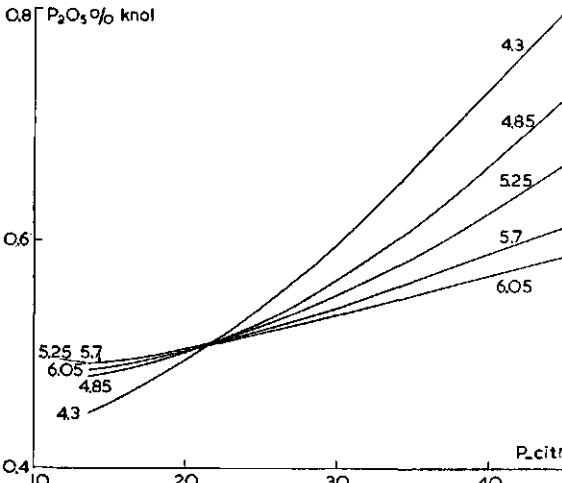


FIG. 6. Relation between P-citr number and the P_2O_5 content of potato tubers at different pH levels (1943).

FIG. 5. Verband tussen P-getal en het P_2O_5 -gehalte van aardappel loof bij verschillende pH-trappen (1943).

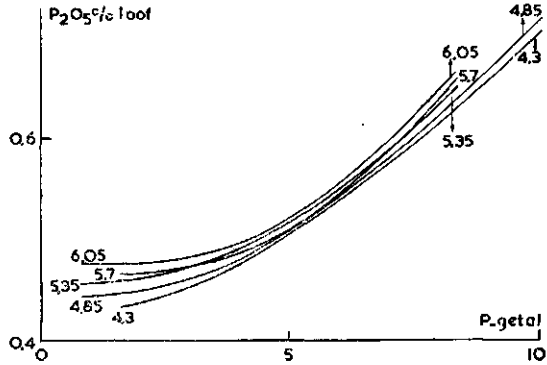


FIG. 5. Relation between P-water number and the P_2O_5 content of potato shoot at different pH levels (1943).

d. Aardappelknollen in 1945

Loofmonsters zijn niet genomen, zodat alleen het P_2O_5 -gehalte van de knollen met de fosfaattoestand van de grond in verband kan worden gebracht (fig. 7). Het resultaat is waarschijnlijk in wezen niet verschillend van het in fig. 6 en 4, resp., voor het gehalte van knol en loof in 1943, afgebeelde. In dit geval komt echter veel sterker naar voren, dat

FIG. 7. Verband tussen P-citr en het P_2O_5 -gehalte van aardappelknollen bij verschillende pH-trappen (1945).

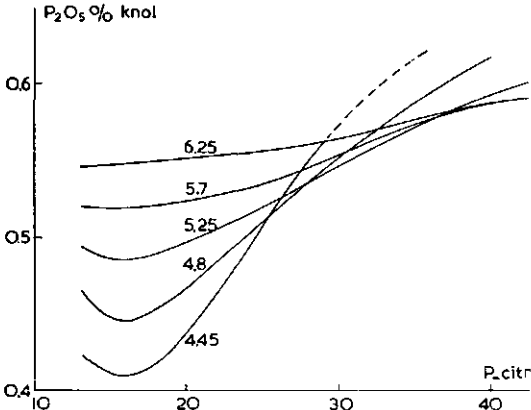


FIG. 7. Relation between P-citr number and the P_2O_5 content of potato tubers at different pH levels (1945).

ook al omdat het zou betekenen, dat de fosfaatopname bij hoge pH geheel onafhankelijk zou zijn van het P-citr en het vermoeden ligt daarom voor de hand, dat deze krommen slechts op misvormde wijze weergeven, hoe de fosfaatopname is verlopen. Er kan op worden gewezen, dat de op de P_2O_5 -gehalten van de knol betrekking hebbende fig. 6 (in 1943) eveneens een ander, en minder plausibel beeld geeft, dan de in een vroeger groeistadium bepaalde krommen van fig. 4. De lagere gehalten, die bij hoog P-citr bij hogere pH worden gevonden, passen beter in het beeld, dat wij ons van de invloed van de wateroplosbaarheid van het bodemfosfaat op de opname hebben gevormd.

Het verband tussen de oplosbaarheid van het bodemfosfaat in water (P-getal) en de P_2O_5 -gehalten van de knol is minder sterk, dan in de eerder behandelde proefjaren (Fig. 8).

De afgebeelde lijnen staan betrekkelijk weinig vast, een lijnvereffening kon niet worden uitgevoerd. Het is echter voldoende duidelijk, dat van een

het verband tussen het P-citr en het P_2O_5 -gehalte bij verschillende pH bij laag P-citr volkomen tegengesteld is als bij hoog P-citr. De bij lage pH vastgestelde kromme heeft volkomen dezelfde vorm als de overeenkomstige kromme in fig. 4 (P_2O_5 -gehalte loof), maar ligt veel lager dan de bij hoge pH gevonden kromme. Bij deze pH blijkt het verschil in P-toestand nauwelijks invloed op het P_2O_5 -gehalte te hebben gehad. Bij laag P-citr is het gehalte van de knol bij hoge pH dus aanmerkelijk hoger dan bij lage pH, maar bij hoger P-citr keert dit om.

Hieruit zou de gevolgtrekking kunnen worden gemaakt, dat de beschikbaarheid van fosfaat in P-rijke grond bij lage pH het gunstigst zou zijn, maar bij P-arme grond bij hoge pH. Dit laatste lijkt niet erg aannemelijk,

FIG. 8. Verband tussen P-getal en het P_2O_5 -gehalte van aardappelknollen bij verschillende pH-trappen (1945).

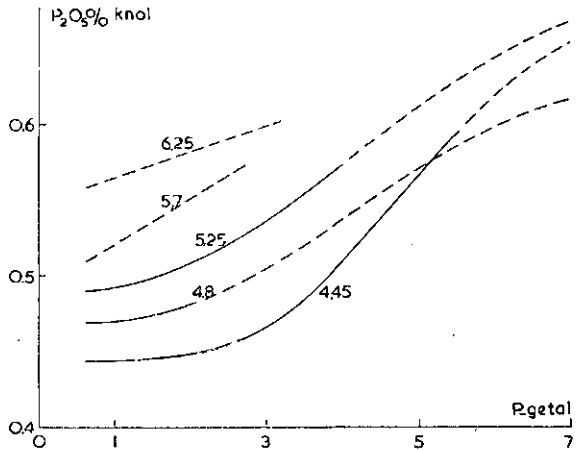


FIG. 8. Relation between P-water number and the P_2O_5 content of potato tubers at different pH levels (1945).

vrijwel samenvallen van de lijnen, zoals in fig. 3 (1946) en in fig. 5 (1943) geen sprake is. Het komt ons evenwel voor, dat deze afwijkende uitkomst geen weerlegging inhoudt van de eerder getrokken conclusie omtrent de betekenis van de oplosbaarheid van het bodemfosfaat voor de P-opname van het gewas.

Verdere uitgevoerde analyses van oogstproducten hebben onvoldoende duidelijke verschillen opgeleverd, zodat ze onbesproken blijven.

2. UITKOMSTEN VAN DE OPBRENGSTBEPALINGEN

De in 6 oogstjaren verkregen uitkomsten zijn in fig. 9 bijeen gebracht. In deze figuur zijn de opbrengsten aan aardappelknollen, resp. graankorrels, uitgezet tegen de pH voor 5 (in een geval 4) verschillende P-toestanden.

De oogstjaren 1941 en 1943 met aardappelen en 1944 met rogge hebben zeer met elkaar overeenstemmende resultaten opgeleverd.

Het verband tussen pH en opbrengst bleek bij laag P-citr te worden weergegeven door een optimumkromme. Naarmate de P-toestand beter is, verdwijnt dit reactie-

TABEL 1. Procentuele vermeerdering van de opbrengst door sterke verhoging van de P-toestand bij opklimmende pH (I—V).

Jaar	Gewas	pH-trappen				
		I	II	III	IV	V
1941	Aardappelen (<i>potatoes</i>)	13	9	14	21	
1942	Rogge (<i>rye</i>)	34	15	12	13	15
1943	Aardappelen (<i>potatoes</i>)	14	9	12	19	23
1944	Rogge (<i>rye</i>)	7	4	7	12	18
1945	Aardappelen (<i>potatoes</i>)	41	24	23	27	34
1946	Haver (<i>oats</i>)	2	3	5	10	32
	Gemiddeld (<i>mean</i>)	18,5	10,5	12	16,5	24,5
Year	Crop	I	II	III	IV	V
		pH-levels				

TABEL 1. Relative increase of the yield in percentages by increasing the phosphate level at different pH conditions (I = low, V = high).

type en wordt de hoogste opbrengst bij de hoogste pH bereikt. Dit wil dus zeggen, dat de grootste effecten van de verhoogde fosfaattoestand in deze gevallen bij de laagste en vooral bij de hoogste pH zijn verkregen en dat het effect bij een middelmatige pH het geringst is geweest. Als de opbrengstverschillen niet in absolute getallen, maar in procenten worden uitgedrukt, is dit laatste nog veel duidelijker. In tabel 1 zijn de opbrengstvermeerderingen in procenten van de bij de laagste P-toestand verkregen opbrengsten aangegeven.

In de oogstjaren 1945 met aardappelen en 1942 met rogge is de interactie tussen de factoren kalk en fosfaat zwakker geweest en de bij verschillende P-citr bepaalde krommen vertonen een tamelijk parallel verloop. Bij de aardappelen is het type van

Fig. 9. Verband tussen pH en de opbrengsten van in 6 proefjaren verbouwde gewassen bij verschillende P-citr trappen. a, b, c, aardappelen, resp. in 1941, 1943 en 1945, d en e rogge in 1942 en 1944, f haver in 1946.

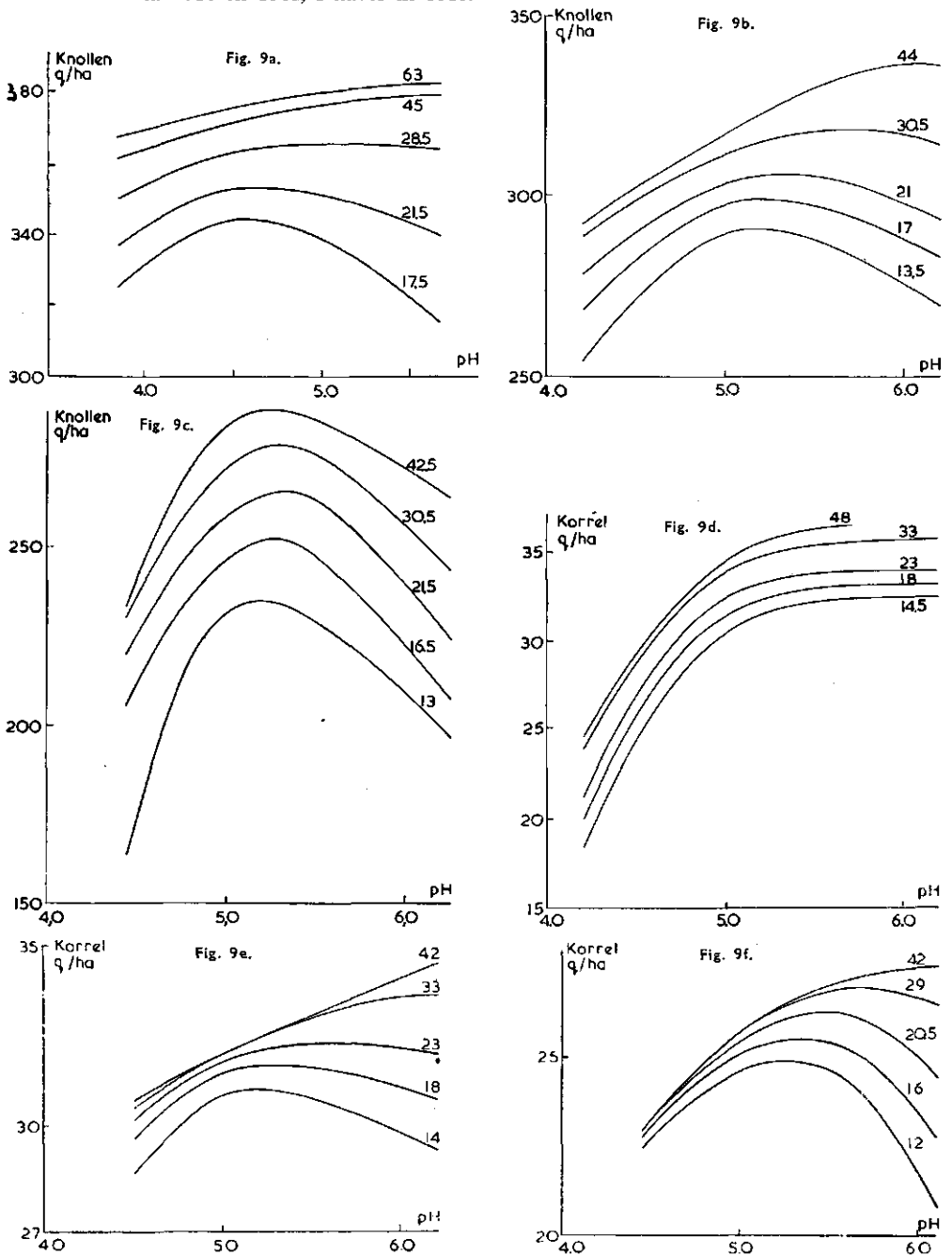


FIG. 9. Relation between pH and yields of 6 experimental years at different P levels, a, b, c, potatoes in 1941, 1943 and 1945, d and e rye in 1942 and 1944, f oats in 1946.

optimunkromme ook bij hogere fosfaattoestand aanwezig; bij de rogge is echter in het genoemde jaar bij hogere pH geen opbrengstdaling gevonden. Toch blijkt uit tabel 1, dat wel degelijk bij hoge en lage pH relatief de grootste fosfaatreacties zijn opgetreden. In beide gevallen is deze bij lage pH het sterkst, bij de rogge in 1942 is de toename van de reactie bij hoge pH wel zeer gering. Van versterkte P-reactie is dus nauwelijks sprake en het wekt de indruk dat de geringe wateroplosbaarheid van het bodemfosfaat van weinig betekenis is geweest. De grootte van P-citr was bepalend voor de opgetreden reactie, niet echter de grootte van het P-getal.

De in verhouding vrij zwakke toename van de fosfaatreactie van de aardappelen in 1945 is in overeenstemming met de minder sterk op de pH reagerende P_2O_5 -gehalten bij dit gewas (blz. 11—13).

Het met haver in 1946 verkregen resultaat komt weer in belangrijke mate met de resultaten van 1941, 1943 en 1944 overeen, echter met dit verschil, dat de reactie op fosfaat bij lage pH zeer gering was en bij stijgende pH steeds groter werd.

In tabel 1 is ook nog de gemiddelde uitkomst van deze zes proefjaren opgegeven. De reactie op fosfaat bleek gemiddeld bij middelmatige pH het geringst te zijn en was bij hogere, en ook bij lagere pH, belangrijk sterker.

Tenslotte zijn eenmaal, in 1942 na de rogge, stoppelknollen verbouwd. De wegens onregelmatigheid vrij onbetrouwbare resultaten worden in fig. 10 weergegeven. Een lijnvereffening was niet mogelijk. Waarschijnlijk is ook in dit geval bij middelmatige pH de minste reactie op fosfaat gevonden. Het is wel duidelijk, dat deze bij hogere pH belangrijk is toegenomen.

De naar hoge pH toenemende fosfaatreactie is geheel in overeenstemming met de bij het grondonderzoek gevonden daling van de wateroplosbaarheid van het bodemfosfaat en de uitkomsten van het chemische gewasonderzoek, die op een geringe opneembaarheid wezen. De haver vertoont dit beeld het zuiverst, daar de fosfaatreactie hier van de laagste pH af regelmatig bij stijgende pH is toegenomen. Dat de aardappelen dit verschijnsel in 1945 minder sterk vertoonden dan de aardappelen in 1943 en de haver in 1946, stemt overeen met de minder sterk op de pH reagerende P_2O_5 -gehalten van dit gewas. Bovendien is herhaaldelijk geconstateerd, dat het bij hoge pH gegroeide gewas bij onvoldoende fosfaatvoeding de sterkste symptomen van P-gebrek vertoonde.

Niet in overeenstemming met de uitkomsten van het chemische grond- en gewas- onderzoek is evenwel de grotere reactie van de opbrengst op fosfaat, die bij lage pH

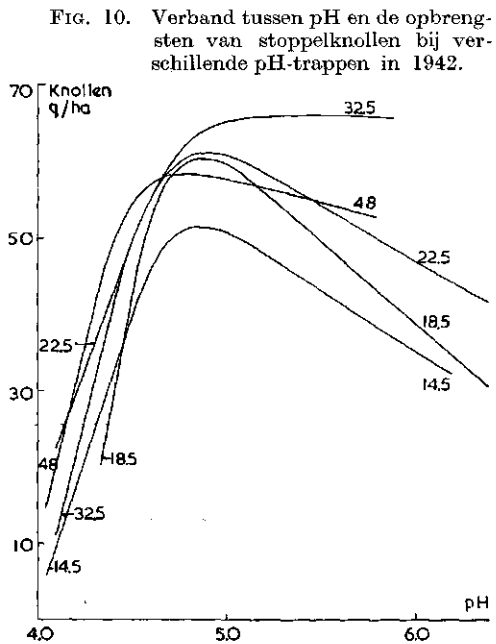


FIG. 10. Relation between pH and yields of turnips at different pH levels (1942)

gevonden is. Een geringere opneembaarheid kan niet de oorzaak zijn, daar de oplosbaarheid van het fosfaat in water hier het grootst is en het P_2O_5 bij deze pH ook het sterkst is opgenomen. Een laag fosfaatgehalte in de plant blijkt dus voor het onder deze omstandigheden gegroeide gewas meestal tot grotere groeivertraging aanleiding te geven dan bij een wat gunstiger pH. Het is niet opgemerkt, dat dit met sterkere symptomen van P-gebrek in het gewas gepaard gaat.

Strikt genomen is het niet bewezen, dat de toename van de reactie op fosfaat bij hogere pH niet eenzelfde verschijnsel is als bij lage pH en het mag niet uit het oog worden verloren, dat de veranderde groeiomstandigheden ook op andere wijze invloed op de reactie kunnen hebben gehad. Het belangrijkste verschil schuilt echter in de fosfaatopname, die bij lage pH niet, maar bij hoge pH wel sterk verminderd is, zodat de aangetoonde achteruitgang van de wateroplosbaarheid van het bodemfosfaat in dit geval de oorzaak van de toegenomen fosfaatbehoefte is.

3. UITKOMSTEN VAN DE STANDBEOORDELINGEN

De stand van het gewas tijdens de ontwikkeling correspondeert niet altijd met de opbrengst. Oorzaken hiervan zijn welbekend; een aanvankelijk welig gewas kan later achter geraken, b.v. door watergebrek of een te dichte stand. Uit een fysiologisch oogpunt zijn daarom opbrengstbepalingen van het loof van het jonge gewas, of ter vervanging daarvan, visuele standbeoordelingen, veelal van meer belang dan de uiteindelijk verrichte opbrengstbepalingen, die mede door secundaire invloeden zijn bepaald. Een bezwaar is uiteraard, dat standcijfers geen objectieve maat zijn voor de hoeveelheid gevormde stof.

De in betrekkelijk jong stadium van de ontwikkeling gegeven standcijfers van de aardappelen in de jaren 1943 en 1945 geven een ander beeld dan de opbrengsten (fig. 11). In de eerste plaats valt het op, dat het effect van het fosfaat relatief veel

FIG. 11. Verband tussen pH en de stand van jonge aardappelen bij verschillende P-citr trappen in 1943 (links) en in 1945 (rechts).

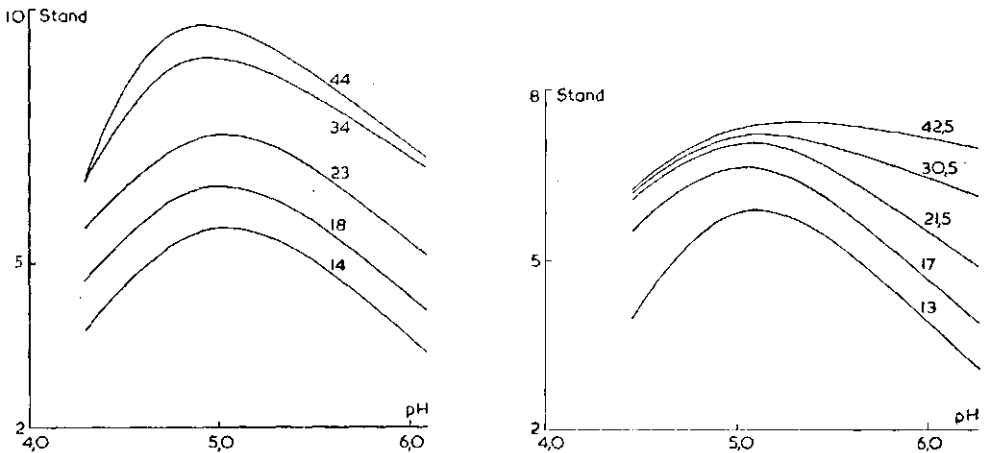


FIG. 11. Relation between pH and vigour markings for young potatoes at different P levels in 1943 (left) and in 1945 (right).

groter is en hoewel standcijfers verschillen kwantitatief niet geheel hetzelfde betekenen als gewogen opbrengstverschillen, is het toch wel zeer waarschijnlijk, dat de verschillen in massa aanvankelijk veel aanzienlijker zijn geweest.

Een ander opvallend verschil is, dat in 1943 een stel optimumkrommen is verkregen, dat overeenkomst vertoont met de uitkomsten van de opbrengstbepaling in 1945, maar niet met die van hetzelfde jaar, toen alleen bij laag P-citr een optimumkromme voor de pH gevonden werd, evenwel niet bij hoog P-citr (vgl. fig. 9). Het bij middelmatige pH zeer welig gegroeiende gewas is blijkbaar relatief belangrijk in knolvorming achtergebleven.

De standcijfers van 1945 geven daarentegen meer het beeld van de opbrengsten in 1943; de sterke fosfaatreactie bij hoge pH, welke bij de opbrengsten belangrijker geringer was, valt op. Dit laatste blijkt ook duidelijk bij de vergelijking van de relatieve toename: bij laagste, middelmatige en hoogste pH voor de opbrengsten 41, 23 en 34 % (tabel I), voor de stand 60, 30 en 120 %. In dit jonge stadium gaf dit gewas dus geen resultaten, die van de in 1941 en 1943 gevondene in principe verschillend zijn.

In 1943 verschilde de reactie van de stand op de pH van de reactie van de opbrengst op de pH, maar de reactie van de stand op fosfaat was wel absoluut, maar niet relatief verschillend van de reactie op de opbrengst. Bij de in de vorige alinea genoemde pH-trappen steeg de opbrengst met 14, 12 en 23 %, de stand verbeterde met 70, 60 en 100 %, zodat de onderlinge verhouding niet belangrijk is gewijzigd.

Het meegedeelde toont duidelijk, dat aan opbrengstbepalingen als physiologische maatstaf slechts een beperkte betekenis toekomt, en dat met secundair optredende veranderingen rekening moet worden gehouden. Beslissende betekenis mag daarom aan opbrengstkrommen zeker niet worden toegekend; voorkomende verschillen tussen proefjaren kunnen geheel van toevallige aard zijn en behoeven niet op verschillende omstandigheden van fosfaatopname of van opnemend vermogen (b.v. verschil aardappelen-rogge) te wijzen. Het gemiddelde resultaat, zoals in tabel I is vermeld, geeft daarom vermoedelijk het betrouwbaarste beeld. Hieruit bleek de naar hoge en lage pH toenemende reactie op fosfaat. Het blijft natuurlijk mogelijk, dat de slechts eenmaal vastgestelde afwijkende reactie van haver kenmerkend is voor dit gewas.

Er is geen aanleiding om op de bij andere gewassen verrichte standwaarnemingen in detail in te gaan. Zij geven weliswaar soms een enigszins afwijkend beeld van de opbrengsten, maar hebben geen wezenlijke invloed op de getrokken conclusies. Hetzelfde geldt ook voor de opbrengsten aan stro, die gewoonlijk nauwer aansluiten bij de standbeoordelingen dan de opbrengsten aan korrel.

4. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Het belang van dit onderzoek is in de eerste plaats, dat hierdoor duidelijk is komen vast te staan, dat de vermindering in de oplosbaarheid van het bodemfosfaat, die onder invloed van een stijgende pH op zandgrond (en dalgrond) tot stand komt, wel degelijk van betekenis is voor het gewas (aardappelen, rogge, haver, knollen), dat onder deze omstandigheden moeilijker fosfaat opneemt, zodat een ruimere voorziening nodig is. De tegenstrijdigheid van vroegere uitkomsten vindt zijn verklaring in een zekere variabiliteit, die gedeeltelijk door toevallige omstandigheden wordt bepaald. Het is natuurlijk niet uitgesloten, dat op andere gronden enigszins

andere resultaten zullen worden verkregen, maar de veelvuldige aanwijzingen stempelen het tot een verschijnsel van algemene betekenis. Naast deze verschillende behoefte aan fosfaat, welke door de mate van oplosbaarheid in de grond wordt bepaald, kunnen blijkbaar ook de groeiomstandigheden van invloed zijn. Bij zeer lage pH bleek de behoefte aan ruime fosfaatvoeding groter, zonder dat er enige aanwijzing was, dat de oplosbaarheid in de grond of de opneembaarheid door het gewas ongunstig was beïnvloed.

Een praktisch belang van dit onderzoek is, dat de omstandigheden voor gunstige fosfaatvoeding in het algemeen bij een middelmatige pH (ongeveer 4,8—5,5) het best bleken. Hierbij worden slechts matige eisen aan de P-voorziening gesteld. Bij hoge pH, en in mindere mate bij lage pH, is de kans op het optreden van ernstig fosfaattekort zeer veel groter. In alle praktijkgevallen, waar de pH aan de hoge kant is, zal men op fosfaatgebrek bedacht moeten zijn en zal ruim met deze meststof moeten worden bemest. De daling van de opbrengst, die bij stijgende pH optreedt, is zonder twijfel in vele gevallen aan P-gebrek toe te schrijven. In sommige gevallen zal het streven naar een wat lagere pH aanbeveling verdienen.

De betrekkelijk belangrijke opbrengstverhoging, die bij zeer lage pH door middel van ruime P-voorziening kan worden verkregen, is op zichzelf wel interessant, maar als praktische maatregel moet meer in een verbetering van de kalktoestand worden gezien. De uitkomst is misschien het meest van betekenis als voorbeeld van een algemenere regel, dat ongunstige groeiomstandigheden ten dele door gunstige bemesting kunnen worden opgeheven (vgl. 3, 9, 10, 13).

Voor de toepassing van het grondonderzoek is van belang, dat een bij hogere pH vastgesteld P-citr waarschijnlijk aanmerkelijk lager gewaardeerd zal moeten worden dan een even hoog P-citr, dat bij een lagere pH werd bepaald. Weliswaar is ons onderzoek slechts op een enkel proefveld verricht, maar vroegere ervaringen wijzen in gelijke richting. De uitkomst, dat een P-citr van ongeveer 40 bij normale pH reeds tamelijk voldoende is, stemt eveneens met andere ervaringen overeen. Bij een pH van ongeveer 6 of hoger, is dit echter geenszins het geval. Ruime P-bemesting zal dan zeker nodig zijn.

Deze lagere waarde van het P-citr bij hogere pH staat mede in verband met de stijging, die dit getal bij gelijke P-voorraad onder invloed van een stijgende pH ondergaat (vgl. DE VRIES EN HETTERSCHIJ (14)). Hierboven werd vermeld, dat op de zuurste grond een P-citr van 36 werd bereikt tegen 44 bij even zware fosfaatbemesting op de minst zure. De chemische oorzaak hiervan moeten wij hier in het midden laten. Deze stijgende tendens van P-citr gaat juist tegengesteld aan de waardering, die aan dit getal wordt gegeven. De gevonden verschillen in de opneembaarheid van fosfaat zijn echter niet alleen door deze gevoeligheid van P-citr voor de pH verklaarbaar. P-citr cijfers, die bij sterk uiteenlopende pH als gelijkwaardig worden beoordeeld, lopen nog veel sterker uiteen (vgl. blz. 9—11).

Het P-getal, dat de geringe oplosbaarheid bij hogere pH aangeeft, kan een waardevolle aanvulling geven bij de beoordeling van het P-citr. Is dit eerste bij betrekkelijk hoge pH laag, dan zal ondanks een evtl. hoog P-citr toch grote aandacht aan de P-voeding moeten worden gegeven.

Er zijn geen zekere aanwijzingen verkregen, dat de verschillende verbouwde gewassen verschillend zouden reageren. Voor zover verschillen zijn opgetreden, kunnen deze van toevallige aard zijn geweest.

SAMENVATTING

Op een proefveld op zandgrond is de wisselwerking van de factoren kalk en fosfaat onderzocht. Bij verschillende gewassen (aardappelen, rogge, haver, voederknollen) bleek de reactie op fosfaat sterk van de kalktoestand afhankelijk te zijn.

Bij stijgende pH neemt het effect van een betere fosfaattoestand op de opbrengst als regel toe, onvoldoende fosfaatvoorziening leidt dan tot belangrijke opbrengstdaling. De opname van fosfaat is bij een overigens vergelijkbare P-toestand bij hoge pH aanmerkelijk geringer dan bij lage pH. Het is waarschijnlijk, dat dit verschijnsel aan de aanzienlijk geringere oplosbaarheid van het bodemfosfaat in water (P-getal) bij stijgende pH moet worden toegeschreven. De daling van de opbrengst bij stijgende pH en laag P-citr kon voor een belangrijk deel door ruimere P-voeding worden voorkomen. Meestal is de hoogste opbrengst bij de hoogste pH verkregen, mits de P-voeding voldoende was.

Ook bij zeer lage pH is een groter fosfaateffect gevonden. Dit bleek echter geen gevolg te zijn van een verminderde oplosbaarheid van het bodemfosfaat en een geringere opname van P_2O_5 te zijn. Mogelijk zijn ongunstige groeiomstandigheden hier door ruime fosfaatvoorziening gedeeltelijk gecompenseerd.

Op zand- en dalgronden met betrekkelijk hoge pH is een ruime fosfaatvoorziening nodig. Bij pH 4,8—5,5 bleek de fosfaatopname optimaal.

Bij de beoordeling van het P-citr zal met de pH terdege rekening moeten worden gehouden. Het P-getal (in water oplosbaar P_2O_5) zal hierbij belangrijke aanwijzingen kunnen geven.

SUMMARY

RELATION BETWEEN THE LIME STATUS AND THE AVAILABILITY
OF PHOSPHATE ON A SANDY SOIL

The interaction of the factors phosphate level and lime status with respect to the availability of phosphate to the crops has been investigated on a sandy soil.

At the beginning of the experiment different levels of phosphate and lime had been realized by application of varying amounts of phosphate and lime (or sulphur) in 25 combinations. After a few years the pH varied between 4,2 and 6,3, the P-citr number (phosphoric acid soluble in 1 % citric acid) between 12 and 50.

The experiment was continued for 6 years; three times potatoes, twice rye, oats and turnips.

On this type of soil the solubility of phosphoric acid in water, as indicated by the P-water number, diminishes the higher the pH of the soil. The P-citr number however is rather independent of the pH.

In most cases the effect of a high P-level on the yield was most important at a high pH. Deficiency of phosphate resulted in this case in markedly decreased yields (see table 1, fig. 9, 10). The absorption of P_2O_5 measured as P_2O_5 contents of plant material was considerably less at a high pH (fig. 2, 4, 6).

The P_2O_5 contents correlated very closely with the P-water numbers. Therefore it is very likely that the decrease of solubility of soil phosphate is responsible for the decrease of availability.

Ample dressings with phosphate may prevent the decreased yield as observed at a high pH. Generally optimal yields were obtained when both lime and phosphate level were high.

A very low pH has a similar effect on the relation between phosphate level and yield as has a high pH. (table 1, fig. 2, 4, 6). In this case however no decrease in phosphoric acid content of the plants was found. The increased reaction of the yield on an improved phosphate level is therefore not to be attributed to a limited absorption of phosphate under these conditions.

The absorption of phosphate proved to be optimal at a pH 4,8—5,5. At higher pH ample dressing with phosphate is desirable.

The evaluation of the P-citr number apparently depends on the pH. In this connection the P-water number may give valuable additional information. A drawback of the latter method is however the rather limited value.

LITERATUUR

1. BRUIN, P. Samenvatting van eenige resultaten van kalkproefvelden op bouwland. *Versl. landbouwk. onderz.* **42** (18) A, (1936) 773.
2. ITALLIE, TH. B. VAN. De betekenis van het gewasonderzoek bij fosforzuur- en kaliproefvelden in Nederland. *Versl. landbouwk. onderz.* **45** (24) A, (1939) 679.
3. PAAUW, F. VAN DER. Over den samenhang tusschen groeifactoren en opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen. *Landbouwk. T.* **50**, (1938) 745.
4. — Grondonderzoek naar fosfaat- en kalitoestand op grasland. *Versl. landbouwk. onderz.* **49** (17) A, (1943) 915.
5. — Onderzoekingen over fosfaat- en kalibemesting op de kleigronden van de Zuidhollandse eilanden. *Versl. landbouwk. onderz.* **53** (5) A, (1947) 214.
6. — Fosfaat- en kalibemestingsonderzoek op de Betuwse rivierklei met behulp van zeer eenvoudig opgezette proefvelden. *Landbouwk. T.* **60**, (1948) 290.
7. — Fosfaatbemesting in de landbouw. Serie Landbouw I, (1948) 1.
8. PAAUW, F. VAN DER en CREMER, L. CH. N. DE LA LANDE. *Versl. landbouwk. onderz.* ter perse.
9. VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst. *Versl. landbouwk. onderz.* **44** (6) A, (1938) 313.
10. — Kalktoestand en oogstopbrengst. II. Keniagerst *Versl. landbouwk. onderz.* **45** (14) A, (1939) 395.
11. — Een onderzoek naar de kali- en fosforzuurhuishouding van de Groninger klei- en zavelgronden. *Versl. landbouwk. onderz.* **48** (3) A, (1942) 87.
12. VRIES, O. DE. Eenige aspecten van het kalktoestandsvraagstuk. *Landbouwk. T.* **46**, (1934) 677.
13. — Opbrengstcurven en opbrengstwetten; de wisselwerking der groeifactoren. *Landbouwk. T.* **51**, (1939) 727.
14. VRIES, O. DE en HETTERSCHIJ, C. W. G. Der Phosphorsäure-Haushalt in moorkolonialem Boden. *Phosphorsäure*, **5**, (1935) 38.