

UIT DE LITERATUUR

ONKRUIDBESTRIJDING OP GROEISTOFBASIS ¹⁾

DOOR

D. BAKKER (biol. drs)

(Landbouwkundige bij de Directie van de Wieringermeer)

INLEIDING

Sedert F. W. WENT in 1927 het bestaan van celstrekkingsgroeistoffen aantoonde, heeft het groeistoffenonderzoek een hoge vlucht genomen. Door KÖGL werden deze in de plant voorkomende stoffen (auxines) geïsoleerd. Langs synthetische weg bereide men verschillende stoffen met een in vele opzichten analoge werking als de auxines.

Vele nieuwe mogelijkheden zijn sindsdien voor de praktijk geopend. Synthetische groeistoffen vinden thans in vele takken van de land- en tuinbouw toepassing. Ondanks de waarde voor de praktijk, geeft het onderzoek van deze synthetische groeistoffen slechts een geringe blikverruiming voor het eigenlijke groeistoffenprobleem.

Eén van de meest recente ontwikkelingen is de toepassing van synthetische groeistoffen bij de onkruidbestrijding.

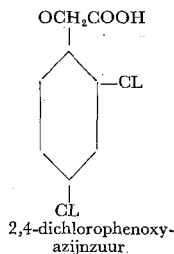
FUNKE (24) spreekt echter nog in 1934 zijn twijfel uit over de mogelijkheid om remstoffen voor de onkruidbestrijding te gebruiken.

ONTDEKKING VAN DE HERBICIDEN OP GROEISTOFBASIS

In Amerika werden de onderzoeken op dit gebied gedurende de laatste oorlog geheim gehouden, daar ze een onderdeel van de „Chemical Warfare Service” vormden (54). Na de oorlog kwamen de resultaten voor publicatie vrij.

KRAUS wees in 1941 op de mogelijkheid groeistoffen voor de onkruidbestrijding te gebruiken (38, 54). ZIMMERMAN en HITCHCOCK (68) onderzochten een groot aantal groeistoffen op het vermogen, de spruitvorming bij aardappelen te remmen. Van deze stoffen bleek het 2, 4-dichlorophenoxyazijnzuur (2, 4-D) een zeer geschikt onkruidbestrijdingsmiddel te zijn. Grassen en granen waren voor deze verbinding veel minder gevoelig dan vele breedbladige onkruiden (42),

Door de onderzoeken van CHEN (12) was het bekend geworden, dat β -indolylazijnzuur, afgescheiden door *Rhizobium*, de deformatie van de wortelharen van Leguminosen veroorzaakte. Op het laboratorium te Rothamsted in Engeland testten THORNTON en NUTMAN (57), β -indolylazijnzuur in concentraties van 10,1 en 0,1 p.p.m. (parts per million) op rode klaver, lucerne, mosterd en tarwe. Het β -indolylazijnzuur was voor klaver en lucerne reeds toxisch in een concentratie van 0,1 p.p.m. en voor mosterd bij 1 p.p.m., terwijl tarwe eerst bij 10 p.p.m. schade ondervond. Dit gaf aanleiding tot proeven, waarbij groeistoffen als selectieve onkruidbestrijders gebruikt werden. Een bezwaar van het β -indolylazijnzuur



¹⁾ Ontvangen voor publicatie Maart '48.

was echter, dat het spoedig door de bodembacteriën in onwerkzame bestanddelen omgezet werd en bovendien veel te duur voor een toepassing in de praktijk was. Met het 2,4-dichlorophenoxyazijnzuur, dat deze bezwaren niet had, kon men ook in de praktijk bevredigende resultaten bereiken (57).

TEMPLEMAN en zijn medewerkers, van het „Jealotts Hill Research Station”, vonden, dat 25 pounds α -naphthylazijnzuur per acre in haver, *Brassica sinapis* Visiani, dat er als onkruid groeide, doodde. De haver leed iets, maar herstelde zich volledig.

Voegde men de groeistof direct na de inzaai toe, dan kiemde 84 % van *Brassica* niet en de rest stierf na de kieming. Tarwe, gerst en rogge gedroegen zich als haver, terwijl weegbree en duizendblad in gedrag met *Brassica* overéénkwamen. Zij onderzochten daarna een groot aantal synthetische groeistoffen op de werking als herbiciden. Het 2-methyl 4-chlorophenoxyazijnzuur (M.C.P.A.) bleek één van de actiefste stoffen te zijn. Het onderdrukte snel de ontwikkeling van verschillende kiemplanten van tweezaadlobbige onkruiden in concentraties, die op de granen geen effect hadden. (57).

Ook met het 2, 4, 5-trichlorophenoxyazijnzuur bereikte men goede resultaten (26, 32).

De hoge kosten van dit middel maken een toepassing in de praktijk echter onmogelijk (KEPHART, schriftelijke mededeling).

In 1929 nam FRIESEN (21) een groeivertraging van haver- en tarwezaailingen, na behandeling met aethyl-N-phenylcarbamaat, waar. In 1945 deelden TEMPLEMAN en SEXTON (62) mede, dat het isopropyl-N-phenylcarbamaat ($C_6H_5NHCOOCH(CH_3)_2$) een groeiremmende invloed op haver had, terwijl deze stof in dezelfde concentratie de groei van mosterd niet beïnvloedde.

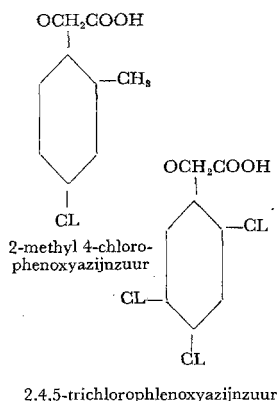
In Amerika kwamen de onderzoekers van de „Chemical Warfare Service” tot hetzelfde resultaat (1,18).

Het isopropyl-N-phenylcarbamaat (I.P.C.) is de tegenhanger van de phenoxyazijnzuurderivaten, daar de grassen en de granen gevoeliger voor het I.P.C. zijn dan de meeste tweezaadlobbige planten. Het resultaat met I.P.C. stelde in de praktijk teleur. Thans zijn enige andere stoffen voor de selectieve bestrijding van grassen in onderzoek genomen, zoals het ammoniumzout van trichloro-azijnzuur en chlorophenylcarbamaat. Voorlopig dient men t.o.v. deze middelen een afwachtende houding aan te nemen, totdat nadere gegevens beschikbaar zijn (55).

BESCHRIJVING VAN DE GROEISTOFFEN (WEED KILLERS)

De beide phenoxyazijnzuurderivaten (M.C.P.A. en 2, 4-D) zijn moeilijk oplosbaar in water.

Voor de bereiding van een waterige oplossing moet men een oplosmiddel toevoegen. Carbowax 1500 (een polyaethyleen glycol) werd bij vele proeven voor dit doel gebruikt (50). De zouten en esters van de groeistoffen (zuren!) hebben dezelfde werking als de groeistoffen (69). Ze hebben echter het voordeel, dat ze beter oplosbaar in water zijn dan de zuren. Men gebruikt dan ook in hoofdzaak zouten, aminezouten en esters van deze groeistoffen.



Van de phenoxyazijnzuurderivaten worden de volgende vormen als herbiciden gebruikt:

1. Van 2-methyl 4-chlorophenoxyazijnzuur (M.C.P.A.) is het natriumzout als vloeistof of poeder verkrijgbaar. Deze verbinding is onder de namen Agroxone en Methoxone bekend. Ook de Nederlandse industrie interesseert zich voor dit middel.

Volgens de Amerikanen is M.C.P.A. minder werkzaam dan 2,4-D, daar het alleen „zwakke” onkruiden doodt (schriftelijke mededeling van KEPHART).

2. Het natrium- en ammoniumzout van 2, 4-D is in de handel. Het natriumzout wordt in hoofdzaak gebruikt. Deze zouten zijn het goedkoopst. Ze worden alleen aanbevolen voor onkruiden, die gemakkelijk te doden zijn.

Een bezwaar is de moeilijke oplosbaarheid, vooral in hard water. Een natriumzout dringt niet snel een plant binnen. Wanneer het binnen zes uur na de behandeling regent, wordt het effect sterk verminderd.

Bij de natriumzouten kan men het percentage actieve stof hoog opvoeren (tot 90 %). Dit geeft een kostenbesparing bij het transport, vergeleken met de andere 2, 4-D preparaten, die men niet zo hoog concentreren kan.

Deze zouten worden in poeder of tabletvorm en als vloeistof geleverd.

3. Van 2, 4-D worden drie verschillende aminezouten gefabriceerd en wel het triaethanol-, het diaethanol- en het morpholinezout.

De aminezouten zijn goed oplosbaar in water en niet vluchtig. Ze zijn echter duurder dan het natriumzout. De aminezouten dringen vrij snel de plant binnen, zodat regen twee uur na de toepassing geen invloed meer op het resultaat heeft.

De diaethanol- en triaethanolaminezouten zijn alleen als vloeistof verkrijgbaar, terwijl het morpholinezout in poedervorm en als vloeistof voorkomt. De hoeveelheid actieve stof varieert van 10 tot 70 %.

4. De esters van 2, 4-D zijn de duurste en meest heftig werkende vormen. De methyl-, aethyl-, isopropyl-, butyl- en amyl-esters komen onder verschillende namen in de handel. De concentratie van de actieve stof komt niet boven de 40 %. De esters worden als poeder en als vloeistof in de verkoop gebracht.

De esters zijn enigszins vluchtig, maar dringen zeer snel in de plant, zodat men zelfs bij lichte regenval een bestrijding uitvoeren kan. Door de heftige werking en de vluchtigheid is voorzichtigheid geboden, daar er ook gemakkelijk beschadigingen aan waardevolle planten op kunnen treden.

5. Thans is ook het 2, 4-D als vrij zuur in de handel. Voor het gebruik moet men zelf een oplosmiddel toevoegen (b.v. een mengsel van monoaethyl- en triaethylamine). Ook wordt 2, 4-D als zuur met toegevoegd oplosmiddel gefabriceerd. Ervaringen in de praktijk zijn mij hiermee nog niet bekend.

Het isopropyl-N-phenylcarbamaat (I.P.C.) is onoplosbaar in water, echter wel in verschillende organische oplosmiddelen (methyl- en aethylalcohol). Het komt als poeder in de handel.

DE SELECTIEF-DODENDE WERKING

Generaliserend worden de phenoxyazijnzuurderivaten als Dicotylenbestrijders aangeduid, terwijl I.P.C. als Monocotylen doder gequalificeerd wordt (46). Geheel juist is dit niet. Inderdaad zijn de meeste Gramineëen niet zo gevoelig voor M.C.P.A. en 2, 4-D als de Dicotylen. Toch treedt er bij de bestrijding van paarden-

bloem en weegbree in grasland ook beschadiging van struisgrassen (*Agrostis spec.*) op (51).

Verschillende Monocotylen, niet Gramineëën, kunnen daarentegen met 2, 4-D in Gramineëncultures vernietigd worden. Zo kon men in de tropen *Commelina* en *Cyperus*, beide Monocotylen en lastige onkruiden in het suikerriet, met 2, 4-D verwijderen zonder schade aan het suikerriet te doen (56).

Ook de bestrijding van onkruiden in uien met 2,4 D of M.C.P.A. is zeer riskant.

Verschillende Dicotylen zijn daarentegen weinig gevoelig voor de normale hoeveelheid 2, 4-D (b.v. *Silene spec.*).

I.P.C. viel vooral op door zijn dodende werking van kweek (*Agropyron repens*) (53), maar ook de jonge planten van *Festuca*, *Lolium*, *Phleum*, gerst, haver en tarwe zijn zeer gevoelig (2, 62).

De kieming van boekweit (*Fagopyrum esculentum*), een Dicotyl, werd ook geheel onmogelijk gemaakt door de toediening van de normale dosis I.P.C. (2).

Over het algemeen zijn de eenjarige grassen veel minder gevoelig voor I.P.C. dan de overblijvende. Zo werd zelfs de eerste ontwikkeling van bloedgerst (*Digitaria sanguinalis*), een éénjarig gras, gestimuleerd door toevoeging van I.P.C. (53).

De eerste bestrijdingsproeven van kweek met I.P.C. in Amerika werden in de buurt van Washington gedaan. De resultaten waren veelbelovend, zodat enige fabrieken de productie van I.P.C. ter hand namen. Later bleek dat in andere delen van Amerika de bestrijding van kweek met I.P.C. lang niet altijd mogelijk was. (KEPHART, schriftelijke mededeling).

Verschil in gevoeligheid binnen een bepaalde soort treft men ook in minder uitgesproken mate aan bij de toepassing van de phenoxyazijnzuurderivaten aan.

Uit het voorgaande blijkt, dat de familie van de grassen opvalt, enerzijds door de ongevoeligheid voor 2, 4-D en M.C.P.A., anderzijds door de gevoeligheid voor I.P.C. Men moet deze regel echter niet absoluut opvatten, daar er tal van uitzonderingen zijn.

De onkruidbestrijding met groeistoffen berust dus op de selectief-dodende werking van een bepaalde hoeveelheid groeistof op een bepaalde plantensoort. Voert men de hoeveelheid actieve stof op, dan kunnen alle plantensoorten gedood worden, zodat de groeistof als een „alles dodend middel” werkt (4).

Zo vertonen vele tweezaadlobbigen groeistoornissen bij hoeveelheden van 0,1 tot 1 % 2,4-D. Tomaten stierven bij 0,01 % 2, 4-D, terwijl men bij *Poa pratensis* tot 1 % gaan kon. Door 0,001 % 2,4-D wordt bij verschillende planten (b.v. maïs) de groei gestimuleerd (32,61). Volgens ATKINSON (3) is de tomaat echter voor 0,001 % 2,4-D nog enigszins in ongunstige zin gevoelig.

Onze ervaring was, dat groeibevordering door zwakke concentraties groeistof in de praktijk eerder uitzondering dan regel is.

DE TOEPASSING IN DE PRACTIJK

M.C.P.A. en 2,4-D hebben betekenis voor de selectieve onkruidbestrijding in granen en grassen. De toepassing in vlas (20) en uien moet beslist ontraden worden. Grotere doses van deze stoffen kan men aanwenden als „alles dodend middel” (4).

Men kan de phenoxyazijnzuurderivaten op de volgende wijzen toedienen:

a. Men lost het middel in water op en versproeit de oplossing over de begroeiing.

In granen kan men tot 1000 gr en in grasland tot 2000 gr actieve stof per ha gaan zonder ernstige schade aan het gewas te veroorzaken.

De concentratie van de oplossing is niet zozeer belangrijk. Het komt aan op de gelijkmatige verdeling van de benodigde hoeveelheid actieve stof over de begroeiing. Een sproeimachine gebruikt daartoe 800–1000 liter water per ha. Een „Atomizer” kan 25 liter gelijkmatig over een ha verdelen (30).

In het laatste geval wordt een nevel gevormd. De kans op overwaaien naar aangrenzende, gevoelige gewassen is dan groot.

EVANS (19) vermeldt, dat een al te fijne verdeling (100 miljoen deeltjes per m²) van de sproeivloeistof minder resultaat geeft dan een grovere verdeling (10–20 miljoen deeltjes per m²).

Een gewone sproeimachine geeft een goede verdeling. De grote hoeveelheid water, die men nodig heeft, is een bezwaar van deze machines.

Met de waterige oplossing van de groeistoffen heeft men bij de onkruidbestrijding tot nu toe de beste resultaten bereikt (8).

b. Ook strooit of verstuift men de groeistof als poeder met een neutrale draagstof (b.v. kalk). In dit geval heeft men minstens tweemaal zoveel van de actieve stof nodig als bij het gebruik van een waterige oplossing (8).

Een voordeel is, dat het kostbare watertransport uitvalt.

Met de poedervorm heeft men over het algemeen minder goede resultaten gekregen, dan met de oplossing in water. In dit verband dient opgemerkt te worden, dat in ons land in de veenkoloniën de aanwending van poeder beter slaagde dan het gebruik van de waterige oplossing.

c. Met een 2, 4-D bevattend aerosol werden in Amerika proeven genomen (26). Van een toepassing in de praktijk is mij niets bekend.

d. Een oplossing van 2, 4-D in olie wordt voor streken met veel regen aanbevolen (67). Voor de bereiding van een oplossing in olie wordt tributylphosphaat genoemd om de oplosbaarheid van 2, 4-D te verhogen (16). De kans op beschadiging van het gewas door olie is dan niet denkbeeldig.

Uit het bovenstaande blijkt, dat op het ogenblik alleen de toepassingen van de oplossing in water en de poedervorm betekenis hebben.

In het onderstaande worden de toepassingsmogelijkheden voor ons land besproken.

1. Onkruidbestrijding in granen met phenoxyazijnzuurderivaten

Wil men onkruiden in granen bestrijden, dan maakt het verschil of men zaad- of wortelonkruiden in het gewas heeft.

Zaadonkruiden, dat zijn eenjarige na- en voorjaarskiemers, kunnen door 1000 gr, M.C.P.A. of 2, 4-D (in waterige oplossing) gedood worden, als men de behandeling toepast wanneer de onkruiden in het jeugd stadium zijn ¹⁾. Sommige zaadonkruiden zijn echter resistent, zoals veelknopen (*Polygonum spec.*) en kruiskruid (*Senecio vulgaris*).

Voert men de hoeveelheid groeistof op, dan neemt de kans op beschadiging van het gewas toe.

Voor de bestrijding van wortelonkruiden heeft men een dosis groeistof nodig, die ook de meeste granen sterk beschadigt (minstens 2 kg actieve stof per ha in waterige oplossing).

¹⁾ Wij kregen echter betere resultaten met 5 kg D.N.C. in 800–1000 L water per ha (geen groeistof!).

De akkerdistel (*Cirsium arvense*) kan echter ook door de gewone dosering reeds sterk achteruitgaan. Plaatselijk treden verschillen in gevoeligheid op (55).

Bij de bestrijding van wortelonkruiden met groeistoffen speelt de ouderdom van de plant een belangrijke rol. Jonge onkruiden met een nog weinig ontwikkeld wortelstelsel zijn gemakkelijker te doden dan oude planten.

Men moet onderscheid maken tussen zomer- en wintergranen, daar op bepaalde tijdstippen in de levenscyclus van de granen, deze gewassen zeer gevoelig zijn voor de groeistoffen. Zowel voor de zomer- als voor de wintergranen geldt dat:

- a. het zaad gevoelig is voor groeistoffen,
- b. de kieming geremd of verhinderd wordt door groeistoffen,
- c. de kiemplant gevoelig is voor groeistoffen,
- d. tijdens het stoelen de plant weinig gevoelig is voor groeistoffen,
- e. tijdens het schieten de plant gevoelig is voor groeistoffen,
- f. tijdens de bloei de plant gevoelig is voor groeistoffen,
- g. tijdens de melkrijpheid de plant weinig gevoelig is voor groeistoffen.

Daar de bestrijding in het voorjaar plaats heeft, zal men er bij de wintergranen voor moeten zorgen, dat men vóór het schieten behandelt. Bij de zomergranen moet men de behandeling echter niet te vroeg uit voeren, daar het graan dan nog op de kiemwortels staat, terwijl men eveneens voor het schieten gesproeid zal moeten hebben.

Na een groeistofbehandeling in granen kan men geen vlinderbloemige ondervrucht inzaaien, daar de nawerking minstens acht weken duurt.

Daar 2, 4-D de kieming van zaden remt of verhindert, tracht men in Amerika de kieming van onkruidzaden tegen te gaan met 2,4-D (36). Men zou op deze wijze het zaaibed schoon kunnen maken.

Door de Plantkundige afdeling van de Directie van de Wieringermeer werd deze mogelijkheid in studie genomen. Voorlopig staan wij nog sceptisch tegenover deze onkruidbestrijdingswijze.

2. Onkruidbestrijding in grasland met de phenoxyazijnzuurderivaten

Daar de meeste weidegrassen minder gevoelig voor groeistoffen zijn dan de granen, kan men de hoeveelheid actieve stof opvoeren tot het dubbele van die in granen. Wel bleek, dat de eerste weken na de behandeling de ontwikkeling van *Festuca rubra*, *Poa pratensis* en *Agrostis alba* sterk geremd werd, waarvan zij zich echter wel herstelden. Het herstel ging snel, wanneer men aan het bestrijdingsmiddel een stikstofgift in de vorm van ureum toevoegde (44).

MARTH en MITCHELL (43, 45) kregen belangrijke opbrengst-verhogingen wanneer ze 2, 4-D gemengd met een $N_3P_2O_5$ en K_2O bevattende meststof toepasten.

Zowel de onkruidbestrijding als het herstel van het gras leverde dan het beste resultaat op. Ook wordt een stikstofbemesting na de groeistofbehandeling aanbevolen (9, 14).

Jonge grassen zijn gevoeliger voor deze groeistoffen dan de oude, zodat een toepassing in jong grasland afgeraden moet worden (52,55). In vele weiden in Nederland speelt witte klaver een belangrijke rol. Klaver wordt echter beschadigd door deze groeistoffen. Het is nu gebleken, dat de oude klaver in weilanden zich weer herstelt. De opengevallen ruimte kan dan (tijdelijk) door de waardevolle grassen worden ingenomen, daar deze zich gemakkelijker van een

eventuele beschadiging herstellen. De oude klaver komt er ook wel weer bovenop, al moet men het eerste jaar met een vermindering van de klaver rekening houden. Jonge klaver doodt men echter geheel met de gebruikelijke dosis groeistof. In jonge weilanden als b.v. in de N.O.-polder, waar de klaver een overheersende rol speelt, kan men deze onkruidbestrijding dan ook niet toepassen.

Het tijdstip, waarop men de groeistofbehandeling in grasland toepast is afhankelijk van het type onkruid, dat er voorkomt (9).

De scherpe- en kruipende boterbloem kan men vrijwel het gehele seizoen bestrijden, terwijl de distel en de paardenstaart enige malen behandeld moeten worden (9). HITCHCOCK en ZIMMERMAN (33) vonden, dat men bij de bestrijding van paardenbloem het beste resultaat in de maand Juli bereikte. Voor elk onkruidtype zal men het juiste tijdstip voor de bestrijding door systematisch onderzoek moeten vinden. Een voor 100 % vernietigen van alle onkruiden is echter niet bereikbaar zonder ernstige schade aan het grasland toe te brengen.

3. *De phenoxyazijnzuurderivaten als „alles dodende middelen”*

Voor de bestrijding van wortelonkruiden langs wegranden, slootkanten of op sterk vervuilde plekken van akkers, wordt veelal natriumchloraat gebruikt. Een middel dat het grote bezwaar heeft, één tot twee jaar zijn sporen na te laten in het gewas.

Voor de bestrijding van wortelonkruiden op akkers openen de groeistoffen nieuwe perspectieven (4). Het bleek ons, dat na de oogst de sterk vervuilde plekken in de graanstoppel aangepakt konden worden met 2, 4-D of M.C.P.A. Men kan zonder risico 2-3 kg van de actieve stof per ha, verspreiden en zo nodig alleen de vuile plekken behandelen. Een grotere dosis is over het algemeen on-economisch, daar het resultaat er niet door verbeterd wordt. Een toepassing van twee maal de enkelvoudige dosis (1000 gr per ha) met een tussenruimte van ongeveer vier weken, gaf in vele gevallen beter resultaat dan éénmaal de dubbele dosis. Een tweede behandeling maakt de kosten natuurlijk hoger, zodat het aanbeveling verdient eerst na te gaan of men met één toepassing van de dubbele dosis niet reeds het gewenste resultaat bereiken kan.

Door hun felle werking zijn de esters van 2,4-D bijzonder geschikt voor de behandeling in de stoppel. Na twee maanden zijn de groeistoffen in de bodem omgezet, zodat men dan zonder risico een gewas inzaaien kan.

Verskillende omstandigheden zijn van invloed op het resultaat van een bestrijding met 2,4-D en M.C.P.A. Als algemeen geldende regel werd tot voor kort aangenomen, dat planten het meest gevoelig voor deze middelen zijn in het actieve groeistadium.

De krachtigste groei heeft bij de meeste planten in het voorjaar en in de voorzomer voor de bloei plaats. Door de meeste auteurs wordt dit tijdstip dan ook als het gunstigst voor de bestrijding aangewezen (19, 42). HITCHCOCK en ZIMMERMAN (33) hadden echter bij de bestrijding van de paardenbloem in Juli, dus na de bloei, meer succes dan in Mei, Juni en September. Bij onze bestrijdingsproeven van Klein hoefblad (*Tussilago Farfara*) in de N.O.-polder bereikten wij nog goede resultaten in de nazomer, zodat het mogelijk is om dit lastige onkruid in de stoppel te bestrijden.

Ook na de actiefste groei blijkt het dus mogelijk te zijn verschillende planten te vernietigen.

Bij een goede vocht- en voedselvoorziening verkeren de onkruiden in de gunstigste toestand voor een effectieve bestrijding met groeistoffen (63). Zo trachtten HITCHCOCK en ZIMMERMAN (33) tevergeefs paardenbloemen in een vochtig, slecht ontwaterd grasveld met 2,4-D te doden. Dit wijst inderdaad op de noodzakelijkheid van gunstige groeivoorwaarden voor een bestrijding met 2,4-D.

Lage temperaturen (40°–60° F) vertragen de snelheid van inwerking van de phenoxyazijnzuurderivaten. Oorspronkelijk dacht men dat lage temperaturen het uiteindelijke resultaat van de bestrijding met groeistoffen zouden verminderen. Onze ervaring was, dat lage temperaturen bij een toepassing in de praktijk het effect wel secundair kunnen beïnvloeden, daar bij lage temperaturen de opname van de groeistoffen ook langzamer gaat. In ons vochtige klimaat kan bij lage temperaturen in de periode tussen aanwending en opname door de plant reeds een belangrijke uitspoeling van de groeistoffen plaats hebben.

Schaduw vertraagt de werking. Het eindresultaat wordt er niet door beïnvloed (63). De snelste werking heeft in onze streken plaats, bij temperaturen van 65°–75° F. Wordt de temperatuur nog hoger dan worden de levensprocessen in de plant geremd en de werking van de groeistoffen dienovereenkomstig verminderd (19, 41).

Over de invloed van regen tijdens de uitvoering van de bestrijding werd reeds het één en ander medegedeeld. Bij regenachtig weer en veel wind wordt de werking op de plant sterk verminderd.

Wanneer het zes uur na de behandeling regent, heeft dit over het algemeen geen invloed meer.

Het is niet onmogelijk, dat de uitéénlopende resultaten bij de bestrijding van een bepaalde soort voor een deel toegeschreven kunnen worden aan de genotypische verschillen ten opzichte van de gevoeligheid voor groeistoffen. Zo werd reeds melding gemaakt van de verschillende uitwerkingen van I.P.C. op kweek. Bij onze proeven in de N.O.-polder bleken bepaalde, morphologisch niet te onderscheiden, planten van kruiskruid (*Senecio vulgaris*) drie tot vijf maal zoveel M.C. P.A. te verdragen dan de meerderheid van het kruiskruid. EVANS (19) vermeldt dat enige planten van muur (*Stellaria media*) tegen twintig maal grotere dosis 2,4-D bestand waren dan de overige *Stellaria*'s.

Ook de gewassen zelf vertonen verschillen, die mogelijk langs deze weg verklaard kunnen worden. Zoals men bij granen rassen heeft, met een verschillende resistentie tegen koude en ziekten, kan men zich dit ook ten opzichte van de groeistoffen voorstellen. Zo is volgens Amerikaanse publicaties haver gevoeliger voor 2,4-D dan tarwe (19). In ons land heeft men juist de tegengestelde ervaring. Hier geldt haver als minder gevoelig voor de groeistoffen dan tarwe. Slechts een systematisch onderzoek kan tenslotte leren, welke factoren een rol spelen bij de bestrijding met groeistoffen.

Van I.P.C. werd reeds medegedeeld, dat het voor een toepassing in de praktijk, tot nu toe niet bruikbaar is. In tegenstelling tot de phenoxyazijnzuurderivaten, die zowel door de wortels als door de bovengrondse delen opgenomen worden, komt I.P.C. alleen via de wortels in de plant. Bij proeven werd I.P.C. gemengd met zand in de grond gebracht (53). Voor een toepassing in het groot brengt dit bezwaren mee. Ook het sproeien van een waterige oplossing van I.P.C. is voor de praktijk nog niet naar bevrediging uitgewerkt (18).

DE NAWERKING VAN 2,4-D EN M.C.P.A. IN DE BODEM

De duur van de nawerking in de bodem van deze stoffen is zeer verschillend, bovendien reageren de gewassen niet gelijk op het in de bodem aanwezige residu van 2,4-D of M.C.P.A.

Verschillende factoren kunnen deze nawerking beïnvloeden. Een volledig inzicht heeft men echter nog niet in dit probleem.

In droge streken duurt de toxische nawerking in de bodem langer dan in een vochtig gebied, daar in het eerste geval de uitspoeling geringer is dan in het tweede (13, 55). Volgens MITCHELL en MARTH (52) behield 2,4-D in droge grond 18 maanden zijn giftige invloed. In ons vochtige klimaat beïnvloeden deze stoffen over het algemeen twee maanden tot 10 weken na een behandeling ingezaaide gewassen niet meer (34).

Er kunnen ook belangrijke schommelingen in de duur van de nawerking optreden, die men niet aan een verschil in vochtigheid toeschrijven kan. Zo kan de uitspoeling door een verschil in doorlatendheid van de grond ongelijk plaats hebben. Ook is het mogelijk, dat de micro-organismen in de bodem aan de omzetting van deze stoffen deelnemen. Deze afbraakprocessen zijn op hun beurt weer afhankelijk van de bodemmilieufactoren. De afbraakproducten kunnen aan colloïdale bodembestanddelen geadsorbeerd worden, maar ook onderling chemisch reageren.

Het bleek bij verschillende proeven, dat organische stof de omzetting in de bodem versnelde, terwijl de aanwezigheid van kalk remmend op dit proces werkte (28, 31).

HAMNER, MOULTON en TUKEY (31) vonden dat 2,4-D uit grond die veel organische mest bevatte, in vier weken verdwenen was. KRIES (39) voegde halfverrot blad en 2,4-D aan de grond toe. Het bleek, dat de toevoeging van halfverrot blad de omzetting van 2,4-D versnelde. Kalk vertraagde echter de omzetting weer. Volgens TAYLOR (61) duurt de toxische werking in een alkalische of neutrale leem bij het gebruik van een normale dosis groeistof, zeven weken. DE ROSE (58) voegde een grotere dosis 2,4-D aan de bodem toe. Acht en zestig dagen na deze behandeling ingezaaide soyabonen ontwikkelden zich normaal. M.C.P.A. veroorzaakte echter na 68 dagen nog groeistoornissen bij soyabonen. CRAFTS (13) vermeldt, dat op lichte, zandige grond de planten sterker op groeistof reageren dan op zware klei.

Een te vroege inzaai, na behandeling met groeistoffen, brengt bij de meeste planten groeistoornissen te weeg. Deze groeistoornissen veroorzaken een oogstvermindering en in de ergste gevallen de dood van de plant. Bij maïs waren de planten op de behandelde percelen echter veel krachtiger dan op onbehandelde. Ongeveer 30 dagen na de toediening van 2,4-D was de werking het gunstigst (61).

Hoewel dus de kennis van de nawerking in de bodem van de groeistoffen nog vele leemten vertoont, kan men in het algemeen zonder groot risico na twee maanden wel weer inzaaien.

DE GIFTIGHEID VOOR MENS, DIER EN MICRO-ORGANISMEN

In de lage concentraties, waarin deze middelen toegepast worden, zijn ze onschadelijk voor mens en dier. Veevoer vermengde men met 2,4-D, zonder dat het vee daar enige hinder van ondervond (32). Dit is belangrijk daar deze groeistoffen

in grasland veel gebruikt worden. Vele geconcentreerde handelspreparaten kunnen echter een irritatie van de huid veroorzaken.

Op de micro-organismen in de bodem zouden de normale doses van de phenoxy-azijnzuurderivaten en I.P.C. geen invloed hebben (19, 40). Werden concentraties groter dan 0,4 % 2,4-D gebruikt, dan werd de groei van sommige microben geremd (40). Ook zijn er waarnemingen bekend, dat 0,01 % 2,4-D reeds het aantal nitrificerende bacteriën verminderde. Er trad echter na 10-40 dagen volledig herstel op (6).

FULTS en PAYNE (22, 23) vonden dat 2-16 p.p.m. 2,4-D in de grond de knolletjes-vorming bij de boon door *Rhizobium leguminosarum* verminderde. De populatie-dichtheid van de bacteriën in de knolletjes verminderde eveneens. De lange staaftjes namen in aantal af, terwijl de korte staaftjes daarentegen toenamen. Welke betekenis dit verschijnsel bij een toepassing van de groeistoffen in de praktijk heeft, is zonder verder onderzoek niet te zeggen. In ieder geval lijkt de uitspraak, dat de groeistoffen geen invloed op de micro-organismen in de bodem hebben, overhaast.

DE PHYSIOLOGISCHE WERKING

Na de behandeling met een toxische hoeveelheid groeistof treden er afwijkingen op in de physiologische processen van de plant.

Tot nu toe beschreef men verschillende van de afwijkingen, zonder de wijzigingen in de plant te kennen die hiertoe aanleiding gaven.

Bij *Ipomoea lacunosa* (een winde soort) nam het drooggewicht van de met 0,1 % 2,4-D behandelde planten af, terwijl het in de onbehandelde juist toenam. De koolhydraten waren na drie weken uit de behandelde planten verdwenen. Vooral in de reserve-organen ging het verbruik zeer snel. Het suikergehalte nam de eerste week na de aanwending van 2,4-D toe, maar in de loop van de tweede en derde week verminderde het tot nul (47). Tijdens de bloei van *Ipomoea* bleek de ademhaling op de vierde dag na de behandeling, met 80,6 % toegenomen te zijn.

SMITH, HAMNER en CARLSON (59), vonden bij de akkerwinde (*Convolvulus arvensis*) eveneens dat 2,4-D in de plant eerst een toename van het gehalte aan suiker veroorzaakte. Later nam het echter tot normaal af. Het zetmeelgehalte verminderde sterk, terwijl de stikstofhoeveelheid in de bladeren geringer was, maar in de stengel en wortel juist groter dan bij de onbehandelde planten. Deze veranderingen in stikstofgehalte gingen gepaard met een activiteit van het meristematische weefsel en met een toename van de ademhaling.

Zij schrijven deze abnormaliteiten, veroorzaakt door een toxische dosis 2,4-D niet toe aan een afname van de reservestoffen in de plant, maar aan een verbreken van de correlatie tussen de verschillende physiologische processen.

Volgens deze auteurs zou vooral het phloëem door de groeistoffen beïnvloed worden.

Bij *Phaseolus vulgaris* was de wateropname en transpiratie vijf dagen na de toepassing van 0,1 % 2,4-D, 66 % van de onbehandelde. De wateraccumulatie in de bladeren nam af, in de stengel echter toe, onder invloed van 2,4-D. De ademhaling was 24 uur na de behandeling 19-80 % groter dan bij de onbehandelde planten (10).

De aanwending van 2,4-D op de bladeren stimuleerde een groei- en vorm-

verandering in de stengel (50). BEAL (5) behandelde stengels van *Lathyrus* met 4-chlorophenoxyazijnzuur en nam daarop een groeiverandering in de wortel waar.

Het bleek, dat deze stimulans afhankelijk was van het transport van organische stoffen in de plant. De verplaatsing van deze „prikkel” werd alleen door levende cellen getransporteerd, waarschijnlijk door het phloëem of parenchym.

Behandelde men het wortelstelsel met 2,4-D, dan werd de „prikkel” door de niet levende cellen naar boven doorgegeven. Dit laatste maakt een transport van beneden naar boven met de transpiratiestroom door het xyleem waarschijnlijk (48). Bij lucerne had de verplaatsing van de groeistof van boven naar beneden binnen een uur plaats, wanneer het gepaard ging met het transport van organische stof.

De snelheid van de benedenwaartse beweging werd beïnvloed door de photosynthese en de ouderdom van het blad.

Het merkwaardige verschijnsel werd waargenomen, dat behandeling met 2,4-D van het bovenste gedeelte van de stengel veel sterkere groeiveranderingen in de gehele plant veroorzaakte, dan wanneer men de groeistof lager op de stengel toediende. Het is niet onmogelijk dat de nabijheid van het meristeem bij de top dit verschijnsel verklaarbaar maakt (66).

HSUEH en LOU (35) vonden dat het verloop van de Kieming van gerst en rijst onder aërobe en anaërobe voorwaarden een treffende gelijkenis vertoonden met de kieming van onbehandelde en met 2,4-D behandelde gerst en rijstkorrels.

Zij kregen de indruk, dat 2,4-D de ademhaling van de zaden verhinderde. Daar gerst alleen onder aërobe voorwaarden kiemt, was de kieming van de behandelde korrels onmogelijk.

Rijst kan echter ook in een anaëroob milieu kiemen. Met 2,4-D behandelde rijstkorrels waren dan ook in staat te kiemen, hoewel de hoge concentraties 2,4-D (0,1 %) de kieming wel vertraagden.

Al deze afwijkingen in de physiologische processen wijzen op een verbreking van de correlatie in de plant. Hoe een toxische dosis van deze celstrekkingsgroei-stoffen bij het binnendringen van de plantencel werkt is echter nog niet verklaard.

In dit verband dient opgemerkt te worden, dat VELDSTRA (65), op grond van structuur onderzoeken, de werking van het hechtend (= ring) systeem van de groeistoffen gelocaliseerd denkt in het protoplasma-membraan. Zowel het ring-systeem van de groeistoffen als de protoplasma-membraan hebben een overheersend lipofiel karakter.

In de physiologische concentratie beschouwt hij de werking als een permeabiliteitsbeïnvloeding, in het bijzonder ten opzichte van water en daarin opgeloste stoffen.

Vanuit dit gezichtspunt gezien, zouden toxische hoeveelheden groeistoffen, afwijkingen in de permeabiliteit van het protoplasma-membraan kunnen veroorzaken.

DE AFWIJINGEN IN DE PLANT, VEROORZAAKT DOOR DE PHENOXYAZIJNZUURDERIVATEN

De kieming van de granen wordt geremd door het gebruik van deze middelen. Er ontstaan zeer veel korte adventief-wortels, waaraan de grond blijft kleven.

De kiemplanten reageren eveneens op 2,4-D en M.C.P.A. Vele jonge planten sterven, bij andere worden adventief-wortels gevormd, tevens treden er sterke geelkleuringen op.

Tijdens het stoelen zijn de granen minder gevoelig. Een te grote dosis geeft echter ook beschadigingen, die zich als geelkleuringen, stagnatie van de lengtegroei, onregelmatigheid in de aren en legeren manifesteren.

Tijdens het schieten en het in de aar komen, veroorzaakt de gewone dosis reeds het zojuist genoemde beschadigingsbeeld. Vooral in de aar kan men de invloed van de groeistof het duidelijkst waarnemen (15). Zwakke beschadigingen neemt men als een onregelmatige stand van de bloempakjes in de aar waar, terwijl in ernstige gevallen de aar een gebroken en armbloemig aanzien heeft. Ook de korrel is dan klein en glazig. Merkwaardig is dat in het laatste geval de kiemkracht niets geleden heeft. In hoeverre de waarde als broodgraan en de opbrengst dan teruggelopen zijn, zal een nader onderzoek moeten leren.

Het beschadigingsbeeld van de grassen is vergelijkbaar met dat van de granen, hoewel de grassen minder gevoelig zijn.

De reactie van de breedbladige planten (onkruiden en gewassen) op toxische hoeveelheden van de phenoxyazijnzuurderivaten is zeer verschillend. Voor elke soort zou men de storingen in de ontwikkeling apart kunnen beschrijven. De algemene tendens is dat de kieming vertraagd of onmogelijk gemaakt wordt. Bij de kiemplanten kan men vele adventief-wortels, verkleuringen en groeistoornissen waarnemen.

In het algemeen treden er bij de bovengrondse delen van jonge en volwassen planten verschijnselen van epinastie en hyponastie op. Bij epinastie groeit de bovenzijde van een orgaan sneller dan de onderzijde, terwijl het bij hyponastie juist omgekeerd gaat. Door deze ongelijke groei krijgen de bovengrondse delen een gedraaid en gewonden uiterlijk. Tevens stagneert de lengtegroei en verkleuren vele plantendelen. Afhankelijk van de soort en de omstandigheden duurt het enige uren tot 14 dagen na de behandeling voordat de plant reageert. Bij „krachtige” planten verstrijkt onder gunstige omstandigheden toch nog een periode van 4-5 weken eer de plant geheel dood is. In deze periode kunnen „krachtige” onkruiden nog geheel of gedeeltelijk hun schadelijke werking verrichten. Vlinderbloemigen reageren echter zeer snel op deze groeistoffen (6, 7).

De verkleuring van de bladeren gaat via geel of rood in bruin over. Het stengel- en wortelweefsel wordt sponsachtig en bros.

Ook de onderaardse delen vertonen een remming van de lengtegroei. Opvallend aan de wortels zijn de grote hoeveelheden adventief-wortels. In de pericambiale zone worden veel wortelknoppen aangelegd (11). Wanneer de knoppen uitgroeien, zwelt de wortel plaatselijk op, waarna het bastweefsel barst. Vooral in de barsten ziet men tientallen korte adventief-wortels liggen. Ook de bladnerven en de stengel kunnen plaatselijk opzwellingen vertonen.

Meestal komen de behandelde breedbladige planten niet tot bloei. Bloeien de planten toch, dan blijft pollenvorming uit (25).

SAMENVATTING

Van twee groepen synthetische groeistoffen werd de betekenis voor de onkruidbestrijding besproken. Het bleek, dat de beide phenoxyazijnzuurderivaten (M.C. P.A. en 2,4-D) in de granen en grasland toegepast kunnen worden voor de bestrijding van breedbladige, in hoofdzaak tweezaadlobbige onkruiden. In granen kan men echter alleen zaadonkruiden langs deze weg vernietigen, daar de benodigde dosis voor wortelonkruiden ook het graangewas schaadt. Bij de bestrijding van zaadonkruiden in granen waren in ons land de resultaten met het ammonium-

zout van dinitro- ortho- cresol (geen groeistof!) gunstiger dan met de groeistoffen.

In grasland ,waar klaver niet overheerst, worden de phenoxyazijnzuurderivaten (M.C.P.A. en 2,4-D) met succes voor de bestrijding van onkruiden toegepast. In jong grasland is echter voorzichtigheid geboden.

Als „alles dodende middelen” met een korte nawerking in de bodem kunnen deze beide stoffen betekenis krijgen, vooral de esters van 2,4-D.

De grassen en granen zijn voor hoeveelheden M.C.P.A. en 2,4-D ongevoelig, waardoor de meeste andere planten beschadigd of gedood worden. De verschillende vormen, waarin deze middelen voorkomen, werden besproken, tevens werd een overzicht gegeven van de giftigheid voor mens, dier en micro-organismen. De eerste indruk was, dat de gebruikelijke hoeveelheden ongevaarlijk zijn. Een verder onderzoek is echter nog gewenst.

Het bleek, dat de physiologische werking van de phenoxyazijnzuurderivaten in de plant nog niet bekend is. Wel kwam duidelijk aan het licht, dat de correlatie tussen de verschillende processen verbroken was.

De groeistoornissen na de toepassing van een toxische dosis van deze stoffen, werden in het kort behandeld. Stagnatie van de lengtegroei en het massaal optreden van adventief-wortels, waren de meest op de voorgrond tredende afwijkingen.

Van het isopropyl-N-phenylcarbamaat (I.P.C.) werd vermeld dat hoeveelheden, die grassen en granen doden, de meeste breedbladige planten onaangetast laten. Voor de practijk is dit middel echter nog niet geschikt, daar de toediening van I.P.C. te omslachtig is.

LITERATUUR

1. ALLARD, R. W., ROSE DE R. H., SWANSON, C. P., Bot. Gaz., 107, 1946, 575.
2. ALLARD R. W., ENNIS, W. B., ROSE DE R. H., WEAVER, R. J., Bot. Gaz., 107, 1946, 589.
3. ATKINSON, J. D., New. Zeal. Journ. Agr., 1947.
4. BARRONS, C. K., Agr. Chem., 2, 1947, 7.
5. BEAL, J. M., Bot. Gaz. 105, 1944, 471.
6. BEAL, J. M., Bot. Gaz., 106, 1944, 165.
7. BEAL, J. M., Bot. Gaz., 107, 1945, 200.
8. BLACKMAN, G. E., Agr., 53, 1946, 16.
9. BOER DE, TH. A., Maandbl. Landb. Voorl. 4, 1947, 513.
10. BROWN, J. W., Bot. Gaz., 107, 1946, 332.
11. CARLTON, W. M., Bot. Gaz., 105, 1943, 268.
12. CHEN, H. K., Nature, 142, 1938, 753.
13. CRAFTS, A. S., State Cal. Dep. Agr., 35, 1946, 34.
14. DAWSON, R., ESCRITT, J. R., Nature 158, 1946, 748.
15. ENGELHARD, J., Mach. Agr., 62, 1947, 4.
16. ENNIS, W. B., THOMPSON, H. E., SMITH, H. H., Sc., 103, 1946, 476.
17. ENNIS, W. B., BOYD, F. T., Bot. Gaz., 107, 1946, 552.
18. ENNIS, W. B., Sc., 105, 1947, 95.
19. EVANS, W. G., Dep. Bot. Ontario Agr. Coll., 1947.
20. FRIEDERICH, J. C., Radiorede, 1948,
21. FRIESEN, G., Planta, 8, 1929, 666.
22. FULTS, J. L., PAYNE, M. G., Am. Journ. Bot., 34, 1947, 245.
23. FULTS, J. L., PAYNE, M. G., Journ. Am. Soc. Agron., 1947.

24. FUNKE, J. L., 1943, Noorduyn reeks.
25. GRIGSBY, B. H., Mich. Agric. Exp. Sta. Bull., 28, 1946, 4.
26. HAMNER, C. L., TUKEY, H. B., 100, 1944, 154.
27. HAMNER, C. L., TUKEY, H. B., Bot. Gaz., 106, 1945, 232.
28. HAMNER, C. L., MOULTON, J. E., Tukey, H. B., Sc., 103, 1946, 476.
29. HAMNER, C. L., MOULTON, J. E., TUKEY, H. B., 107, 1946, 352.
30. HAMNER, C. L., TUKEY, H. B., Sc. 105, 1947, 104.
31. HANKS, R. W., Bot. Gaz., 108, 1946, 186.
32. HILDEBRAND, E. M., Sc., 103, 1946, 465.
33. HITCHCOCK, A. E., ZIMMERMAN, P. W., Contr. Boyce Thompson Inst., 14, 1947, 471.
34. HUDSON, H. G., Agr., 53, 1946, 22.
35. HSUEH, J. L., LOU, C. H., Sc., 105, 1947, 283
36. KEPHART, L. W., Agr. Eng., 27, 1946, 506.
37. KEPHART, L. W., Agr. Chem., 2, 1947, 25.
38. KRAUS, E. J., MITCHELL, J. W., Bot. Gaz., 108, 1947, 301.
39. KRIES, O. H., Bot. Gaz., 108, 1947, 510.
40. LEWIS, R. W., HAMNER, C. L., Mich. Agr. Expl. Sta. Bull., 29, 1946, 112.
41. MARTH, P. C., DAVIS, F. F., Bot. Gaz., 106, 1945, 463.
42. MARTH, P. C., MITCHELL, J. W., Bot. Gaz., 106, 1945, 224.
43. MARTH, P. C., MITCHELL, J. W., Bot. Gaz., 108, 1947, 108, 414.
44. MARTH, P. C., MITCHELL, J. W., Bot. Gaz., 107, 1946, 417.
45. MARTH, P. C., MITCHELL, J. W., Sc., 104, 1946, 77.
46. MEEUSE, B. J. D., Vakbl. Biol., 26, 1946, 126.
47. MITCHELL, J. W., BROWN, J. W., Bot. Gaz., 107, 1945, 120.
48. MITCHELL, J. W., BROWN, J. W., Bot. Gaz., 107, 1946, 393.
49. MITCHELL, J. W., BROWN, J. W., Sc., 106, 1947, 266.
50. MITCHELL, J. W., HAMNER, CH. L., Bot. Gaz., 105, 1944, 474.
51. MITCHELL, J. W., MARTH, P. C., Bot. Gaz., 107, 1945, 276.
52. MITCHELL, J. W., MARTH, P. C., Bot. Gaz., 107, 1946, 408.
53. MITCHELL, J. W., MARTH, P. C., Sc., 106, 1947, 15.
54. NORMAN, A. G., Bot. Gaz., 107, 1946, 475.
55. North Central Weed Control Conf., Proc., 1946, 1947.
56. OVERBEEK VAN, J., VELEZ, I., Sc., 103, 1946, 472.
57. Plantgrowth substances as selective weed-killers, Nature, 155, 1945, 497.
58. ROSE DE, R. H., Bot. Gaz., 107, 1946, 583.
59. SMITH, F. G., Hamner, C. S., CARLSON, R. F., Plant Phys., 22, 1947, 58.
60. SMITH, N. R., DAWSON, V. T., WENZEL, M. E., Proc. Soil Sc. Soc. Am., 10, 1946, 197.
61. Taylor, D. L., Bot. Gaz., 108, 1947, 432.
62. TEMPLEMAN, W. G., SEXTON, W. A., Nature, 156, 1945, 630.
63. THORNTON, B., Col. Farm Bull., 8, 1946, 3.
64. TUKEY, H. B., HAMNER, C. L., IMHOFE, B., Bot. Gaz., 107, 1945, 62.
65. VELDSTRA, H., Landb. Tijdschr., 58, 1946, 483.
66. WEAVER, R. J., ROSE DE, R. H., Bot. Gaz., 107, 1946, 509.
67. WEAVER, R. J., MINARIK, C. E., BOYD, F. T., Bot. Gaz., 107, 1946, 540.
68. ZIMMERMAN, P. W., HITCHCOCK, A. E., Contr. Boyce Thompson Inst., 12, 1942, 321.
69. ZIMMERMAN, P. W., Cold Spring Harbor Symp., 10, 1942, 152 (niet gezien).