

1
V
42

VERTROUWELIJK

Proefstation Bloemisterij en Glasgroenten

Inventariserend onderzoek wortelverdikking bij komkommer

door

W. Verkerke (redactie)

met bijdragen van

**X. Berents
K. Buitelaar
J. Kipp
P. Paternotte
M. Schols
W. Voogt**

Intern verslag PBG nr 4

februari 1995

224 3728

Inhoud

Samenvatting	3
1. Inleiding	3
2. Resultaten	3
2.1 Optreden van de problemen	3
2.2 Beschrijving symptomen	5
2.3 Betrokkenheid van micro-organismen	8
2.4 Invloed van meststoffen	9
2.5 Oriënterende proeven op het PTG	10
2.6 Oriënterende proeven bij de NAK-G	11
3. Discussie	12
4. Conclusie	13
5. Hypothese	14
6. Literatuur	15

Samenvatting

Er wordt een overzicht gegeven van alle tot nu toe bekende gegevens over de problemen met wortelverdikking in komkommer. De resultaten van verschillende onderzoeken worden naast elkaar gelegd en besproken aan de hand van relevante literatuur. De oorzaak van de problemen is nog niet duidelijk. Om de oorzaak van wortelverdikking te achterhalen zijn teeltextperimenten noodzakelijk.

1. Inleiding

Wortelverdikking bij komkommer is voor het eerst massaal opgetreden rond de jaarwisseling 1993/94. De oorzaak van deze problemen was niet duidelijk en er werd verondersteld dat de verdikking een gevolg was van een samenspel van verschillende factoren. De onzekerheid over de oorzaak van dit probleem heeft geleid tot veel discussie in de vakpers (De Hoog, 1994, 1995; Nunnink, 1995). Ook is er veel overlegd tussen de NAK-G, verschillende onderzoeksinstellingen, plantenkwekers en steenwolfabrikanten.

Wortels van komkommers blijken in het algemeen vrij gevoelig te zijn voor allerlei stressfactoren (Van der Vlugt, 1989). Bacteriën (*Agrobacterium spp.*) en aaltjes (*Meloidogyne spp.*) worden wel genoemd als veroorzaker van knolvormige wortelverdikking (Blancard *et al.*, 1991), maar of deze pathogenen in dit geval een rol spelen is onduidelijk. In dit verslag wordt een overzicht gegeven van de op het PTG uitgevoerde onderzoeken en wordt er kort ingegaan op de resultaten van proeven die zijn uitgevoerd door de NAK-G. De resultaten worden besproken aan de hand van relevante literatuur. Tenslotte wordt er een hypothese geformuleerd over het ontstaan van de wortelverdikking, die kan leiden tot het gericht opzetten van teeltextperimenten.

2. Resultaten

2.1 Optreden van de problemen

Zomer 1993 - In de zomerteelt van 1993 ontstonden de eerste problemen met wortelverdikking bij komkommer. In de eerste week van juli werden bij een plantenkweker ernstige groeiproblemen geconstateerd in de opkweek. In eerste instantie werd als diagnose wortelknobbelaaltje gesteld. Op het bedrijf van de plantenkweker is veel met Vydate gewerkt. Een gedeelte van de partijen werd al tijdens de opkweek vernietigd. Aan \pm 7 telers zijn planten afgeleverd waarin vroeg of laat ernstige of minder ernstige problemen optraden. De symptomen waren verdikking, verbruining en verglazing van de fijne wortels en uiteindelijk de vorming van tot \pm pinkdikte opgezwollen wortels. In de opkweek waren de

symptomen na ± 16 dagen zichtbaar. Op matten waarin aangetaste wortels zaten, werden gezonde planten ook aangetast. De bij de plantenkweker in de mat aangetroffen symptomen werden tot in de maand augustus steeds ernstiger en op een bepaald moment moesten bijna alle partijen vernietigd worden; er is toen besloten om op een andere lokatie te gaan opkweken. De symptomen kwamen op deze nieuwe lokatie niet terug. Bij tuinders zijn uiteindelijk veel problemen met aantastingen door *Pythium* opgetreden, waardoor grote financiële schade ontstond. Waarschijnlijk zijn deze problemen secundair en zijn ze ontstaan door de toediening van bestrijdingsmiddelen.

Winter 1993-1994 - In tegenstelling tot in de zomerperiode, werden in de winter van 1993 de symptomen op 31 december het eerst bij tuinders gesignaleerd. Zo'n 14 dagen na het uitplanten werd bij ongeveer 20 bedrijven de wortelverdikking in verschillende mate van aantastingen aangetroffen. De verdikkingsverschijnselen bleven meestal beperkt tot de pot; enkele malen is waargenomen dat van een wortel waarvan het gedeelte in de pot verdikt was, het gedeelte in de mat volkomen normaal groeide. De aantasting was terug te voeren naar een aantal plantenkwekers. De mate van aantasting was verschillend per plantenkweker. Door de ervaringen in 1993 is er minder gehoosd met middelen; waarschijnlijk bleven de planten daarom goed doorgroeien en viel de financiële schade uiteindelijk mee. In een praktijkproef bleek dat een scala aan insecticiden, nematiciden en fungiciden niet hielp tegen de verdikking en slechts negatieve gevolgen had. Verder bleek uit deze proeven dat gezonde planten op besmette matten opnieuw symptomen gingen vertonen.

Winter 1994-1995 - Dit jaar hebben grotere aantallen tuinders (totaal zo'n 50 bedrijven) met wortelverdikking te maken gehad. De problemen traden nu echter behalve bij komkommer ook bij paprika's op, hoewel het nog niet zeker is dat het hier om hetzelfde verschijnsel gaat. Er leken zo'n zestal plantenkwekers bij de problemen betrokken te zijn. De betrokken verdachte potten waren alle afkomstig van een bepaalde fabriek. De symptomen werden over het algemeen eerder en in heviger mate aangetroffen. In de ernstigste gevallen van aantasting bleek een wortel ook in de mat verdikt te zijn.

Komkommer - In de winter van 1994 werden de eerste symptomen al in de tweede week van december bij 1 plantenkweker ± 16 dagen na zaaien gesignaleerd. De symptomen waren ernstiger dan in de vorige jaren, maar ook duidelijker zichtbaar omdat deze plantenkweker het plantgat niet afstrooide na het verspenen. In de extreemste gevallen begon de aantasting al in het plantgat, waarbij de wortels eerst glazig werden en daarna roestbruin; ook trad er een sterke verdikking op. De plantvoet zwol op, barstte open en de wortels wilden de pot nauwelijks in. Hierdoor bleven er weinig gezonde wortels over. Bovengronds waren deze planten gekenmerkt door een groeiachterstand van ± 1 week, een lichtere bladkleur en een meer getand blad. Deze bovengrondse symptomen waren in voorgaande jaren nog niet opgetreden. Bij andere plantenkwekers waren de symptomen wat milder en leken ze meer op die van voorgaande jaren, waarbij de aantasting vaak pas zichtbaar werd bij de tuinder. Met

name bij 1 plantenkweker waren de symptomen ernstig,

Paprika - Ook bij paprika's deden zich dit jaar problemen voor. Bij dit gewas bestonden de symptomen in ernstige gevallen uit een opgezwollen plantvoet en verdikte wortels in plantgat. In mildere vorm wilden de wortels de pot niet in, werden bruin en stierven af. De plant bleef ver achter in groei en kleurde donker. Bij komkommer lijken de problemen na verloop van tijd mee te vallen, maar bij paprika ontstond er ongelijkheid en grote achterstand. In een aantal gevallen zijn de planten niet afgeleverd of is er bij de tuinder gerooid. **Tomaat en aubergine** - Er is verondersteld dat soortgelijke problemen ook een rol hebben gespeeld bij een mindere doorworteling bij aubergine en tomaat. De symptomen zijn bij deze gewassen echter volstrekt anders dan bij komkommer. Vooralnog gaan we er van uit dat hierbij andere factoren een rol hebben gespeeld.

2.2 Beschrijving symptomen

Aangetaste wortels van het ras Ventura werden verzameld bij Van Scheijndel (Erica) op 3 februari 1994. Beginstadia van aantasting en niet-aangetaste wortels (ras Ventura) werden verzameld bij Van der Berg (Bleiswijk) op 22 februari 1994. Er werden ook enkele wortelpruiken onderzocht die afkomstig waren van de door P. Paternotte op het PTG uitgevoerde proeven (zie 2.3). In 1995 zijn planten onderzocht die afkomstig zijn van de proeven uitgevoerd door het PTG (zie 2.5) en de NAK-G (2.6). De wortels werden gefixeerd met FAA, ingebed in GMA en gesneden met glasmessen op een semi-dünschnitt microtoom. De coupes werden gekleurd met behulp van de PAS reactie en toluidine blauw. De anatomische eigenschappen van aangetaste en niet-aangetaste wortels zijn vastgelegd in een diaserie die op het PBG ter inzage is.

2.2.1 Morfologie wortelstelsel (Figuur 1a-d)

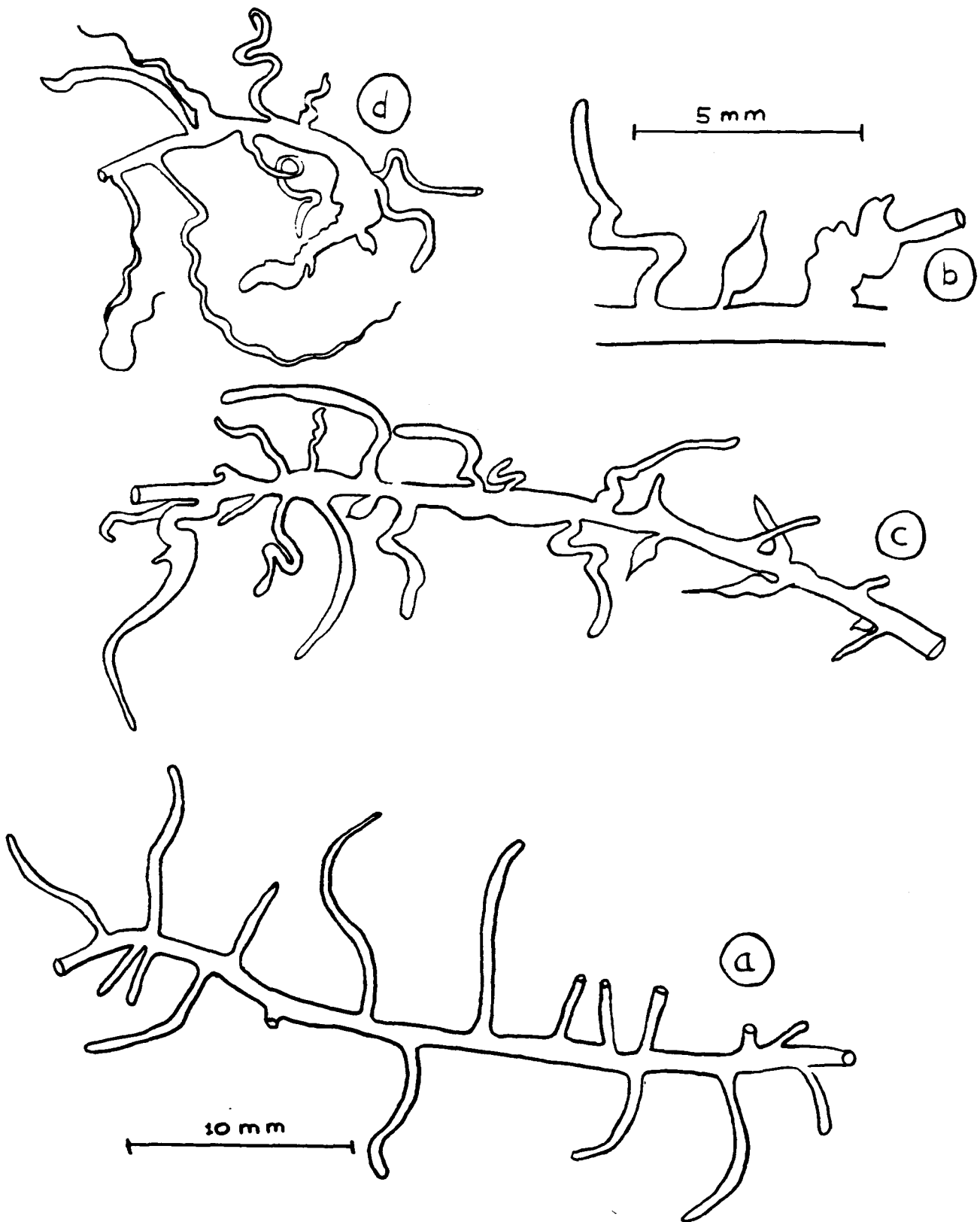
Bij de beschrijving van de symptomen is de terminologie aangehouden zoals gebruikt door Rose (1983). Het wortelstelsel van jonge planten (40 dagen na zaaïen) bestaat uit een vrij korte en dikke hoofdwortel waaruit tientallen laterale wortels ontspringen die bij elkaar de wortelpruik vormen. De hoofdwortel is 30 - 40 mm lang en 4 - 5 mm dik. De laterale wortels zijn aan de basis tot 1.5 mm dik zijn en kunnen een lengte van 20-25 mm bereiken. Uit deze laterale wortels ontspringen op regelmatige afstanden vele 2e orde laterale wortels (Figuur 1a). De 2e orde lateralen zijn aanvankelijk veel dunner, maar kunnen op den duur net zo dik worden als 1e orde lateralen, zodat het verschil tussen 1e en 2e orde lateralen niet meer zichtbaar is. Alle laterale wortels van zowel de 1e als de 2e orde zijn bezet met vele wortelharen. Het eerste symptoom van wortelverdikking bestaat uit een basale verdikking van de 2e orde laterale wortel; andere 2e orde lateralen zijn afwijkend kronkelig en hebben

een glazig aspect en kunnen bruin verkleuren (Figuur 1b). In het onderzochte materiaal lijkt het er op dat deze verschijnselen optreden als de jonge wortels voor het eerst in contact komen met de steenwolpot. In een volgend stadium van aantasting kunnen 1e orde lateralen ook dikker en glaziger worden (Figuur 1c,d). In verder voortgeschreden stadia is veelal het proximale stuk van de 1e orde lateralen onregelmatig verdikt tot pinkdikte (5 - 7 mm), terwijl terminale stukken niet verdikken en kennelijk normaal functioneren. Op de verdikte stukken zijn veel minder 2e orde lateralen aanwezig, maar de talrijke bruine littekens doen vermoeden dat deze aanvankelijk wel aanwezig waren maar zijn afgebroken.

2.2.2 Anatomie wortels (Tabel 1)

Niet aangetast - 1e orde lateralen van niet aangetaste planten zijn tot 0.5 - 1.5 mm dik en hebben een primaire opbouw. De vasculaire cylinder, die onder het binoculair zichtbaar is als een witte streep in de wortel, bevat exarch xyleem met een monarche tot diarche rangschikking, de schors bestaat uit meerlagig parenchym. Oudere stadia van 1e orde lateralen kunnen een dikte bereiken van 2-3 mm en vertonen in de proximale stukken de eerste stadia van secundaire diktegroei; er ontwikkelt zich een cambium en er treedt enige vat-differentiatie op in de metaxyleem-elementen. De 2e orde laterale wortels bestaan slechts uit enkele xyleem-elementen en een dunne schors en zijn niet dikker dan 160 μm .

Aangetast - De 1e orde lateralen van aangetaste planten kunnen verdikken tot 5 - 7 mm. De verdikking is het gevolg van een normaal verlopende secundaire diktegroei waardoor de primaire opbouw geleidelijk verdwijnt. Er ontstaat een triarche of tetrarche structuur met brede mergstralen en een goed ontwikkeld cambium. Er treden kleine storingen in de xyleemdifferentiatie op, waardoor er plaatselijk schizogene holtes ontstaan waar een zeefvat had moeten zitten, maar niet zit. In de oudere vaten komen veel thyllen voor; soms zijn deze vaten ook gevuld met een massa bacteriën. Het enige echt afwijkende aan deze wortelverdikking is dat deze secundaire diktegroei in normale wortels pas veel later in de ontwikkeling van de plant optreedt en dan waarschijnlijk minder explosief verloopt. De 2e orde lateralen hebben veelal een beschadigde of afwezige epidermis. De cortex is hier en daar verdwenen en veel van deze wortels sterven af. Op plekken waar ze verdikt zijn (tot 1 mm doorsnede), bestaat de cortex uit sterk opgezwollen cellen. Deze opgezwollen cortex-cellen geven aan de 2e orde laterale wortels het glazige aspect. Het in 1995 onderzochte materiaal verschilt anatomisch niet met dat van 1994.



Figuur 1. Verschillende stadia van wortelverdikking. 1a: niet aangetast, laterale wortel 1e orde, met vertakkingen van 2e orde lateralen; 1b: eerste stadia van aantasting op laterale wortels 2e orde; 1c: verder stadium van aantasting, waarin de 1e orde laterale wortel ook is verdikt; 1d: verdere verdikking van 1e orde laterale wortel.

Tabel 1. Samenvatting van de wortelanatomie van niet aangetaste en aangetaste planten.

type wortel	niet aangetast	aangetast
2e orde lateraal	bochtig, niet verdikt	kronkelig, basaal verdikt, glazig; later afstervend
1e orde lateraal	1-2 mm dik; oudere wortels met eerste stadia van secundaire diktegroei	onregelmatig verdikt tot 8 mm; aanvankelijk glazig, later sterke secundaire diktegroei
	vaten meest zonder thyllen	vaten vol met thyllen en bacteriën

2.3 Betrokkenheid van micro-organismen

Reproduceren van de verschijnselen - In kasproeven konden de symptomen gereproduceerd worden wanneer gezonde uitpootbare komkommerplanten op steenwolmatten werden gezet waarop planten met wortelknobbels hadden gestaan. Deze matten kwamen van een komkommerbedrijf waar deze symptomen zeer ernstig waren. Planten op nieuwe steenwolmatten bleven gezond. Het lukte niet de symptomen te reproduceren door verspeembare planten in steenwolpotten aan te gieten met voedingsoplossing uit deze "besmette" matten of door verdikte wortels in het opkweekblok met verspeende komkommerplanten te doen.

Voorkomen van de symptomen - In een proef is onderzocht of het optreden van wortelverdikking kan worden voorkomen door matten te stomen of planten en matten te behandelen met chemische middelen. Voor de proef werden zwaar besmette matten van een komkommerbedrijf gebruikt. Een deel van de matten is 15 minuten gestoomd bij 100° C. Steenwolpotten met verspeende en uitpootbare komkommerplanten werden voor het uitplanten gedompeld en de plantgaten waarop de planten werden geplant aangegoten met 2% Fytostrep-60 en met 0.2% Fongarid + Parathion 5 pp. 10 liter op 9 planten. Na 10 dagen zijn de planten nogmaals aangegoten met dezelfde chemische middelen in dezelfde concentraties en hoeveelheden. De ingestelde temperatuur was 22°C.

De symptomen konden het best worden gereproduceerd op matten behandeld met Fongarid

en Parathion, in zeer lichte mate op onbehandelde matten en niet op gestoomde matten of matten behandeld met Fytostrep-60. De fytoxiciteit van de middelen was echter groot. Om de wortelverdikking sterker op te wekken en de fytoxiciteit te beperken is de proef in de zomer herhaald. Hierbij werd in 2 afzonderlijke kassen een normale en hoge temperatuur aangehouden en zijn de middelen toegediend in lagere concentraties. In deze proef konden de symptomen alleen in de kas met hoge temperaturen slechts in lichte mate worden opgeroepen (Paternotte, 1994).

Invloed van enten - Er is onderzocht in hoeverre tomaat en geënte komkommer gevoelig zijn voor wortelverdikking. Hiertoe zijn op besmette matten uit de praktijk zowel uitpootbare ongeënte komkommerplanten als komkommerplanten die geënt zijn op verschillende onderstammen en tomatenplanten geplant. De onderstammen waren *Cucurbita ficifolia*, *Benincasa cerifera* en RS 841. Drie weken na uitplanten waren op de wortels van niet geënte komkommerplanten de eerste verdikkingen zichtbaar. Ruim twee maanden na uitplanten is de proef beëindigd en zijn de wortels beoordeeld. Aan het gewas waren op dat moment geen bovengrondse symptomen zichtbaar. 50 % van de komkommerplanten had verdikkingen aan de wortels onder de steenwolpot, de wortels van de geënte planten en de tomatenplanten hadden deze symptomen niet.

Inoculatie - In een kasproef is in samenwerking met de PD met een aantal herkomsten van *Agrobacterium spp.* geprobeerd de wortelverdikking op te roepen. De bacteriesoorten waren *Agrobacterium radiobacter*, *A. tumefaciens* en *A. rhizogenes*. Verspeembare komkommerplanten werden met de wortels gedompeld in een bacteriesuspensie en uitgeplant in steenwolblokken. 24 Dagen na besmetten zijn de planten op steenwolmatten gezet. De kastemperatuur was ingesteld op 22- 23°C. Bij veel instraling liep de temperatuur echter op tot boven 30°C. Ongeveer 2 maanden na inoculatie zijn de planten beoordeeld op aantasting. Met geen van de herkomsten kon wortelverdikking worden opgeroepen.

Isolatie - Zowel op het PTG als op de PD is het niet gelukt om uit plantmateriaal met wortelverdikkingen een micro-organisme te isoleren dat pathogeen was op komkommer.

2.4 Invloed van meststoffen

Op grond van een aantal ervaringen, o.a. een praktijkproef, was de indruk ontstaan dat het optreden van wortelverdikking bij een plantenkweker in 1993 zou samenhangen met het gebruik van een bepaalde herkomst van de meststof monokaliumfosfaat. Daarnaast zouden problemen met recirculeren van voedingsoplossing bij de teelt van tomaat in een aantal gevallen ook door deze herkomst zijn veroorzaakt. Uit analyses van deze specifieke herkomst en ook van plantmateriaal geteeld met deze meststof bleken gehalten van vooral fluor, maar ook van barium, strontium, chroom en enkele andere relatief hoog te zijn in vergelijking met andere soortgelijke produkten. Uit berekeningen van potentiële gehalten in het wortelmilieu

en in de plant, alsmede uit literatuuronderzoek bleek echter dat geen van de genoemde elementen een toxische grens benaderde. Bovendien werden er geen aanwijzingen gevonden die duiden op het optreden van wortelverdikking.

Om toch de verkregen indruk te ontzenuwen dat deze herkomst van monokaliumfosfaat problemen gaf bij komkommer en tomaat, is een proef gedaan met een aantal verschillende herkomsten van deze meststof, o.a. degene die bij de bewuste plantenkweker is gebruikt; ook werd een tweetal behandelingen met fluor uitgevoerd (Voogt, 1994). De proef is gestart op 27 december 1993, met komkommer en tomaat in steenwol met recirculerende voedingsoplossing. Op 24 februari 1993 is de proef beëindigd. Er zijn waarnemingen uitgevoerd aan de groei en ontwikkelingen van de bovengrondse delen; ook werden de wortels intensief beoordeeld. Er konden geen effecten van de verschillende herkomsten van monokalifosfaat op het wortelstelsel worden vastgesteld.

2.5 Oriënterende proeven op het PTG

2.5.1 Verspenen of zaaien in ongebruikte potten van verdachte en onverdachte herkomst

Inzet	14 december 1994 (verspeenbare planten, Bronco); 23 december 1994 (gezaaide planten, Mustang)
type pot	twee typen verdachte potten, afkomstig van plantenkweker 1 (verdachte pot); pot van zelfde fabriek, afkomstig van PTG (onverdachte pot)

Opzet - Elke partij potten is in tweeën gesplitst. De helft van de potten werd natgemaakt tot verzadiging, de andere helft werd met een 4 maal zo grote hoeveelheid water doorgespoeld. In totaal ontstonden zo 6 verschillende behandelingen. Per behandeling zijn 36 potten gebruikt. Deze potten werden in plastic bakken geplaatst, waardoor de verschillende behandelingen van elkaar werden gescheiden. In elke bak stonden 18 planten, zodat er van elke behandeling 2 bakken waren. De planten zijn onder assimilatiebelichting (SON-T en hoge druk kwik) in twee kleine kassen geplaatst. De temperatuur bedroeg constant 24 graden overdag en 22 graden 's nachts. De planten kregen naar behoefte van onderaf water (eb-vloed).

Resultaten - Vijf weken na de inzet zijn de wortels beoordeeld op het voorkomen van wortelverdikking. In geen van de behandelingen traden symptomen van wortelverdikking op; het wortelstelsel was in alle gevallen gezond.

Tijdens bezoeken bij plantenkwekers viel op dat er erg veel potten stonden waaruit een rode kleurstof te voorschijn kwam. De (paprika)planten in deze potten toonden een sterk achterblijvende groei in combinatie met wortelafsterving. Ook potten in de omgeving vertoonden slechte groei. Een aantal van deze potten is meegenomen naar het PTG. In deze potten bleken harde brokken te zitten, welke oplosbaar bleken.

2.5.2 Verspenen in ongebruikte potten van verdachte en onverdachte herkomst, met toevoegen van verdacht water

Inzet gezaaid 10 januari 1995 in vermiculiet, verspeend op 17 januari
Plantmateriaal Mustang
Type pot als in proef 1
Verdacht water water waarin voornoemde brokken zijn opgelost

Opzet - De helft van de potten is natgemaakt met voedingswater, de andere helft is natgemaakt met voedingswater waarin voornoemde brokken werden opgelost.

Resultaten - De potten die met een oplossing met brokken zijn natgemaakt vertonen opvallend meer algengroei, maar er traden geen symptomen van wortelverdikking op.

2.6 Oriënterende proeven bij de NAK-G

Op de NAK-G zijn ook proeven uitgevoerd met potten van verschillende herkomsten en twee rassen komkommer (Ventura en Pylalis). Naast dezelfde serie potten als op het PTG, zijn ook verdachte potten van een andere plantenkweker opgenomen. Daarnaast zijn er potten gebruikt van een onverdacht merk en verdachte potten waarin aangetaste paprika's hadden gestaan (=gebruikte potten). Een gedeelte van de planten werd verspeend en een ander gedeelte werd rechtstreeks in de pot gezaaid. Een gedeelte van de potten werd natgemaakt met voedingswater; een ander gedeelte werd natgemaakt met water afkomstig uit potten waarin paprika's met wortelproblemen hadden gestaan. Een gedeelte van de potten is alleen natgemaakt, een ander gedeelte is gespoeld en uitgeknepen. Alle planten waren van elkaar gescheiden door ze op een schoteltje te plaatsen. De planten kregen water op dit schoteltje. Na twee weken waren de eerste symptomen van verdikking al zichtbaar. Na 5 weken werd er beoordeeld, waarbij de symptomen geen, licht, matig en zwaar werden onderscheiden.

Resultaten - De wortelverdikking kon al na twee weken worden aangetroffen. De ergste symptomen waren te zien in gebruikte verdachte potten van plantenkweker 2; zowel de verspeende als de gezaaide planten waren ernstig aangetast. In alle behandelingen met verdachte potten werden de symptomen aangetroffen. Ook in onverdachte potten die waren behandeld met spoelwater uit de verdachte potten kwamen lichte symptomen voor. In

onbehandelde onverdachte potten kwam bij een op de zes planten een zeer lichte aantasting aan de buitenkant van de pot voor. Uitknippen van verdachte potten leidde niet tot een vermindering in de aantasting. Meststoffen of gewasbeschermingsmiddelen lijken vrijwel zeker uitgesloten als mogelijke veroorzakers van wortelverdikking.

3. Discussie

Anatomie - Omdat er nog geen materiaal uit eigen proeven beschikbaar was, moest de ontwikkeling van de symptomen worden gereconstrueerd uit verschillende ontwikkelingsstadia die van diverse kanten werden toegestuurd. Het beschikbare materiaal wijst echter wel in een duidelijke richting.

De niet-aangetaste 1e orde laterale wortels hebben een primaire structuur. Ze verschillen niet wezenlijk van in de literatuur beschreven voorbeelden (Harrison-Murray & Clarkson, 1973; Whiting, 1938). De verdikking van deze wortels verloopt in grote lijnen zoals beschreven voor pompoen *Cucurbita pepo* (Hayward, 1938; Esau, 1977). De aangetroffen thyllen kunnen, maar hoeven niet per se een reactie te zijn op infecties. Thyllen worden niet alleen als een reactie op infecties in vaten gevormd, maar treden bij Cucurbitaceae ook op in normale verouderende vaten (Küster, 1916). De wortelverdikking lijkt dus normaal te verlopen, zij het dat dit normaal pas veel later en veel minder extreem optreedt bij onze komkommerplanten.

Het is bekend dat verschillende plantenhormonen (hoofdzakelijk auxines en ethyleen) een rol spelen bij de initiatie van secundaire diktegroei van wortels. Deze hormonen zijn echter ook betrokken bij de initiatie van zijwortels, al of niet in combinatie met sucrose en/of aminozuren (Street, 1969; Blakeley *et al.*, 1982; Torrey, 1986; Woods, 1991). Het afsterven van cellen kan leiden tot de aanmaak van auxinen (Sheldrake & Northcote, 1968). Dit duidt op een mogelijk verband tussen het afsterven van de kleinere wortels en het verdikken van de grotere wortels.

Er zijn ook verschillende exogene factoren bekend die kunnen leiden tot groeiremming van wortels of initiatie van secundaire diktegroei. Met name een tekort aan CO₂ in het voedingsmedium, een lichte dosis straling en rood licht worden genoemd als remmend op de wortelontwikkeling. Daarnaast is bekend dat korte dag omstandigheden kunnen leiden tot initiatie van secundaire diktegroei. Boriumgebrek wordt ook wel in verband gebracht met groeiproblemen van wortels, maar daarbij gaat het altijd om een remming van de lengtegroei (Albert & Wilson, 1961). Een remming van de lengtegroei van de wortel leidt echter tot stimulering van de groei van zijwortels (Street, 1966), dus de betrokkenheid van borium ligt niet voor de hand.

De genoemde processen van secundaire diktegroei en laterale wortelgroei lijken nauw met elkaar verbonden te zijn (Street & Roberts, 1952). Het is dus niet onaannemelijk dat de

vroege secundaire diktegroei in de wortel een reactie van de plant is op het afsterven van de 2e orde laterale wortels. Welke factoren voor dit afsterven verantwoordelijk zijn is echter niet duidelijk. Er zijn echter diverse typen micro-organismen berucht om dit soort verschijnselen (Blancard *et al.*, 1991; Torrey, 1986), maar het is denkbaar dat een willekeurige fysisch-chemische oorzaak middels een vergelijkbaar mechanisme tot dezelfde gevolgen zou kunnen leiden.

Betrokkenheid micro-organismen - Micro-organismen lijken wel betrokken bij wortelverdikking, maar het is niet aangetoond dat deze los van andere factoren het probleem zelfstandig kunnen opwekken. Wellicht spelen ze, in combinatie met een of meer andere factoren toch wel een rol bij het ontstaan van de problemen. Dat er een vervuilde meststof in het spel is lijkt echter niet waarschijnlijk.

Opwekken van de symptomen - De resultaten bij de NAK-G verschillen met die op het PTG. Wellicht spelen kleine verschillen in de opkweekomstandigheden hierbij een rol. De NAK-G heeft de planten minder regelmatig van water voorzien. Dit suggereert dat het probleem zich bij het natmaken van de potten gemakkelijk kan verspreiden. Het is ook mogelijk dat de oorzaak van het probleem zich in slechts enkele potten van de partij bevindt, waardoor bij een te kleine steekproef uit een pallet zulke potten worden gemist.

Hoe groot is het probleem nu eigenlijk - Bij paprika is de schade aanzienlijk, maar bij komkommer is er tot nu toe enkel een achterstand in de ontwikkeling opgetreden. Het is echter nog niet volledig zeker of het bij deze twee gewassen om hetzelfde probleem gaat. Het is gebleken dat door te rommelen met bestrijdingsmiddelen de schade aan wortels alleen maar toeneemt. Wellicht was de verdikking van de wortels altijd al in geringe mate aanwezig, maar is het voordien nooit opgemerkt. Dit zou kunnen verklaren dat ook in potten van onverdachte herkomst er soms ook een lichte mate van verdikking gevonden is. In elk geval verloopt het proces van verdikking volstrekt normaal, zij het te vroeg en wellicht te snel. Hierdoor zou een jonge plant met een relatief klein wortelstelsel eerder in problemen kunnen komen met zijn watervoorziening.

4. Conclusie

Optreden - De symptomen verschillen enigszins van jaar tot jaar in het tijdstip van optreden en de mate van aantasting. De eerste stadia van aantasting zoals die met behulp van het bioculair en de microscoop zijn waargenomen zijn echter identiek. Het is dus waarschijnlijk dat we in alle aangestaste gevallen steeds met hetzelfde fenomeen te maken hebben. Of het bij paprika om hetzelfde probleem gaat is echter nog niet zeker.

Anatomie - De dikke wortels lijken het gevolg van een normaal proces van secundaire diktegroei in de wortels. Deze secundaire diktegroei wordt gereguleerd door een bepaalde combinatie van plantenhormonen. Dezelfde hormonen zijn echter ook betrokken bij de vorming van laterale wortels. Waarschijnlijk leidt de hormonale activiteit na het afsterven van de kleinste wortels tot secundaire diktegroei in de grotere wortels.

Pathogenen - Er zijn wel aanwijzingen in de richting van pathogene oorsprong van het probleem, maar voorlopig is de betrokkenheid van micro-organismen nog niet bewezen. Het is theoretisch mogelijk dat zowel een schadelijke stof als een pathogeen die de kleine wortels beschadigt uiteindelijk tot eenzelfde secundaire diktegroei in de grotere wortels kan leiden. Zowel de waarnemingen in de praktijk als de resultaten van de tot nu toe uitgevoerde proeven lijken aanwijzingen in deze richting op te leveren. Wellicht kan een combinatie van een fysisch/chemisch agens en een secundair pathogeen meer schade doen optreden dan de individuele agentia afzonderlijk.

Verspreiding - De oorzaak van het probleem bevindt zich waarschijnlijk in de potten die op pallets staan opgeslagen bij de plantenkwekers. Het probleem lijkt zich slechts in een klein gedeelte van de potten te bevinden. Door het natmaken van de potten met hergebruikt water lijkt het probleem zich gemakkelijk te verspreiden naar andere potten. De opkweekomstandigheden lijken invloed te hebben op de mate van aantasting. Door spoelen van de potten is het probleem wellicht te verminderen, maar niet uit te sluiten.

5. Hypothese

Wellicht hebben we hier met een tweetrapsraket te maken, waarbij een (nog onbekend) agens de wortels beschadigt, waarna een secundaire infectie leidt tot het afsterven van 2e orde lateralen en later verdikking van 1e orde lateralen.

Onze hypothese luidt dus als volgt:

- 1 - Iets veroorzaakt een invalspoort in de wortel
- 2 - Er ontstaat een verdikking aan de basis van een jonge zijwortel of kronkeling zijwortel
- 3 - De zijwortel gaat dood; de hoofdwortel gaat verdikken door secundaire diktegroei
- 4 - Secundaire pathogenen infecteren 2e orde laterale wortels
- 5 - Als de wortelpruik klein is en de verdikte stukken een relatief groot aandeel vormen zijn er ook bovengrondse symptomen, anders ontstaat er alleen groeiachterstand

Deze hypothese kan een basis vormen voor het opzetten van verdere teeltproeven.

6. Literatuur

- Albert, L.S. & C.M. Wilson - Effect of boron on elongation of tomato root tips. *Plant. Physiol.* **36**: 244-251 (1961).
- Blakely, L.M., M. Durham, T.A. Evans & R.M. Blakely - Experimental studies on lateral root formation in radish seedling roots. 1. General methods, developmental stages, and spontaneous formation of laterals. *Bot. Gaz.* **143**: 341-352 (1982).
- Blancard, D., H. Lecoq, M. Pitrat - *Maladies des Cucurbitacees*. 301 pp., INRA, Paris (1991).
- Esau, K. - *Anatomy of seed plants*. 2nd Ed. 550 pp. Wiley, New York (1977).
- Harrison-Murray, R.S. & D.T. Clarkson - Relationship between structural development and the absorption of ions by the root system of *Cucurbita pepo*. *Planta* **114**: 1-16 (1973).
- Hayward, H.E. - *The structure of economic plants*. 674 pp., MacMillan, New York (1938).
- Hoog, J. de - Wortelknobbels vragen om een oplossing. *Groenten & Fruit* **21**: 14-15 (27 mei 1994).
- Hoog, J. de - Wortelknobbels: paniek is een slechte raadgever. *Groenten & Fruit* **8**: 9 (24 februari 1995).
- Küster, E. - *Pathologische Pflanzenanatomie*. 447 pp. Fischer, Jena (1916).
- Nunnink, E. - Twijfel oorzaak wortelproblemen houdt gemoederen bezig. *Groenten & Fruit* **4**: 4-5 (27 januari 1995).
- Paternotte, P. - Stomen voorkomt wortelverdikking. *Groenten en Fruit* **22**: 25 (3 juni 1994).
- Rose, D.A. - The description of the growth of root systems. *Plant and Soil* **75**: 405-415 (1983).
- Sheldrake, A.R. & D.H. Northcote - The production of auxin by autolysing tissues. *Planta* **80**: 227-236 (1968).
- Street, H.E. - The physiology of root growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **17**: 315-344 (1966).
- Street, H.E. - Factors influencing the initiation and activity of meristems in roots. In: W.J. Whittington (Ed.), *Root growth*. pp. 20-41 Butterworth, London (1969).
- Street, H.E. & E.H. Roberts - Factors controlling meristematic activity in excised roots. 1. Experiments showing the operation of internal factors. *Phys. Plant.* **5**: 498-509 (1952).
- Torrey, J.G. - Endogenous and exogenous influences on the regulation of lateral root formation. In: M.B. Jackson (Ed.), *New root formation in plants and cuttings*. Nijhoff, Hingham (Mass.), pp. 31-66 (1986).
- Vlugt, J.L.F. van der - A literature review concerning root death in cucumber and other crops. *Norw. J. Agric. Sci.* **3**: 265-274 (1989).
- Voogt, W. - Fluor niet giftig voor tomaat. *Groenten & Fruit* **43**: 35 (21 oktober 1995).
- Whiting, A.G. - Development and anatomy of primary structures in the seedling of *Cucurbita maxima*. *Bot. Gaz.* **99**: 497-528 (1938).
- Woods, F.W. - Cambial activity of roots. In: Y. Waisel, A. Eshel & U. Kafkafi (Eds.) *Plant roots - the hidden half*. Marcel Dekker, New York 948 pp. (1991).