

Aaltjes: levenswijze en -cyclus

Algemeen

Aaltjes of nematoden (Griekse woord *nema* = draad) vormen binnen het dierenrijk een van de grootste groepen en komen nagenoeg in alle milieu's voor: niet alleen in grond en water, maar ook in plant, dier en mens. Wereldwijd zijn er ongeveer 20.000 aaltjessoorten bekend, waarvan de helft op het land en in zoet water voorkomt.

In Nederland komen ongeveer 1200 soorten aaltjes voor. Hiervan zijn ca. 100 soorten plantenparasitair. De meeste aaltjessoorten zijn echter nuttig. Deze zijn 'saprofaag' van aard (onder andere bacterie-, schimmeleters) en helpen bij het afbreken van allerlei dood organisch materiaal. Andere nuttige aaltjes zijn insectenparasieten, waarvan sommige te koop zijn als biologisch bestrijdingsmiddel. Ook carnivore (roof-) aaltjes komen voor, waaronder aaltjes die andere aaltjes opeten. Plantenparasitaire aaltjes zijn obligate parasieten, dat wil zeggen dat ze de plant nodig hebben om zich te voeden en te vermeerderen. Wortelaaltjes gaan daarvoor op zoek naar wortels en kunnen zich in de grond over een afstand van ongeveer een meter per jaar op actieve wijze verplaatsen. Voor het voeden worden ze onderverdeeld in drie levenswijzen:

1. Ectoparasitair (buiten de plant levend),
2. Semi-endoparasitair (gedeeltelijk in de plant levend) en
3. Endoparasitair (geheel in de plant levend).

Naast de virusoverbrengende aaltjes, die ectoparasitair leven, zorgen de endoparasitaire aaltjes voor de grootste problemen. Deze aaltjes ruïneren het plantenweefsel in ernstige mate doordat ze zich tussen en door de cellen voortbewegen, of ze belemmeren de wortelfunctie door hormonale effecten en vorming van voedingscellen.

De endoparasitaire aaltjes worden in twee groepen onderscheiden: migrerende aaltjes (o.a. blad-, stengel-, wortellesie- en wortelnecroseaaltjes) en sedentaire aaltjes (o.a. wortelknobbel- en cystenaaltjes).

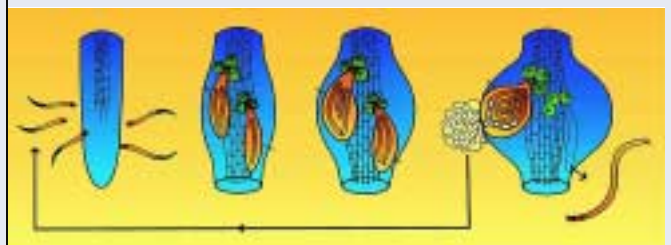
Wortelknobbelaaltjes

Wortelknobbelaaltjes komen in het tweede-juveniele-stadium (J2) uit de eitjes en gaan via de grond op zoek naar wortels (zie figuur onder). Alleen dit stadium is tot aantasting in staat. Een J2 varieert in lengte van 380 tot 460 µm (ca. 0,4 mm) en heeft een diameter van ca. 14 µm. Een J2 dringt de wortel binnen in de strekkingszone juist achter het wortelmutsje en verplaatst zich, tussen de cellen door, naar de jonge vaatbundels. Hier induceert het een voedingsplek, bestaande uit reuzencellen en floem-vaten. Deze dienen als voedselbron voor het zich ontwikkelende aaltje. Na drie vervellingen ontstaat uit een J2, via het J3- en J4-stadium, een volwassen vrouwtje of mannetje. Een vrouwtje is ovaal tot bolvormig (540 x 800 µm) en melkwit van kleur en leidt een sedentair leven. Een mannetje is in tegenstelling tot het vrouwtje aalvormig en zal de wortel verlaten, eventueel om te paren.

Veel wortelknobbelaaltjes vermeerderen zich echter parthenogenetisch ofwel ongeslachtelijk, dus zonder paring met een mannetje.

Vrouwtjes zetten de eitjes buiten het lichaam af in een gelatine-achtige substantie, de zogenaamde eiprop. Hierdoor zijn de eitjes redelijk goed beschermd tegen ongunstige omstandigheden. Een eiprop bevat 300–500 eitjes, maar uitschieters tot duizend eitjes zijn mogelijk. Door extra celdeling ontstaan er op de wortels ook wortelknobbels of gallen, die per aaltjessoort en gewas kunnen variëren in grootte en vorm.

Knobbels met een dikte van 2 cm zijn bij tomaat en komkommer geen uitzondering. Het ei maakt een embryonale ontwikkeling door die resulteert in een eerste-stadium-juveniel (J1). Deze blijft in het ei en vervelt, waarna het aaltje als een J2 uit het ei te voorschijn komt. Hiermee is de cyclus rond. De levenscyclus van *M. incognita* duurt bij 18°C ruim zeven weken, terwijl deze bij 20°C en nog maar 3,5 week bedraagt.



Levenscyclus van wortelknobbelaaltjes.

Aaltjes Beheersings Strategie (ABS)

Biologische glasteelten zijn grondgebonden teelten. Bedrijven die jaarrond telen en een krappe vruchtwisseling hanteren, lopen risico op infecties van bodemschimmels of aaltjes. Aaltjes kunnen in hoge populaties schade aan gewassen veroorzaken.

Om de aaltjesdruk terug te brengen, zijn glastelers genoodzaakt de bodem te stomen, dit met negatieve effecten op het aanwezige bodemleven en natuurlijke antagonisme. Binnen Biokas is er gezocht naar middelen om de populatie van aaltjes in de bodem en negatieve effecten ervan beheersbaar te maken. Het resultaat is beschreven in de Aaltjes-Beheersings-Strategie voor biologische glastuinbouw.

SOORTEN

Uit de uitgevoerde identificatie van wortelknobbelaaltjes op zes biologische groententeeltbedrijven is gebleken dat in ieder geval de volgende soorten wortelknobbelaaltjes kunnen voorkomen: vooral de warmteminnende soort *Meloidogyne incognita* en in mindere mate de gematigde soort *M. hapla*, soms samen op één bedrijf. Uit het verleden zijn echter ook aantastingen bekend door de warmteminnende soorten *M. arenaria* en *M. javanica*. Minder bekend is het eveneens warmteminnend wortelknobbelaaltje *M. hispanica*. Deze soort is tot nu toe slechts één keer in Nederland aangetroffen, namelijk in een kas met komkommer. Bij komkommer veroorzaakte dit aaltje productieverminderingen van meer dan 50% (Amsing en van Gurp, 2003).



Onderstammenonderzoek 2004

LEVENSZYCLUS MELOIDOGYNE INCOGNITA

De generatieduur of levenscyclus van wortelknobbelaaltjes verschilt per soort en hangt af van de temperatuur en in mindere mate de voeding. Van wortelknobbelaaltjes die in kassen met biologisch geteelde groenten aanwezig kunnen zijn, is in de tabel een overzicht opgenomen van het aantal dagen dat de levenscyclus duurt in relatie tot de bodemtemperatuur. Voorbeeld: bij 18°C duurt de levenscyclus van *M. incognita* ruim zeven weken, terwijl deze bij 27°C en nog maar 3,5 week bedraagt. Uit deze gegevens kan per soort de temperatuur-drempel en de benodigde temperatuursom boven die drempel worden berekend. Hiermee kan het effect van elk willekeurig temperatuurverloop worden bepaald.

Levenscyclus van wortelknobbelaaltjes in relatie tot de bodemtemperatuur (afgeleid uit Ploeg & Maris, 1999).

De gegeven temperatuursom boven de drempelwaarde is nodig voor het verschijnen van de eerste J2. Voor het bereiken van het maximale nakomelingschap moet deze temperatuursom ongeveer worden verdubbeld.

Levenscyclus in dagen

Meloidogyne sp.	Bodemtemperatuur (°C)				Temperaturredrempel (°C)	Temp. som boven drempel
	18°C	21°C	24°C	27°C		
<i>M. arenaria</i>	54	36	27	21	12.1	318
<i>M. hapla</i>	56	43	35	29	8.3	545
<i>M. incognita</i>	51	37	29	24	10.1	404
<i>M. javanica</i>	69	43	32	25	12.8	357



SCHADE

Dat wortelknobbelaaltjes in grondgebonden kasteelten een groot probleem zijn, heeft verschillende oorzaken. In de eerste plaats moet de intensieve teeltwijze worden genoemd. Vooral in gestookte teelten krijgt de bodem nauwelijks tijd om op adem te komen via natuurlijke afname van deze aaltjes. Na het ruimen van een gewas staat het volgende gewas meestal binnen een maand alweer in de grond. In economisch opzicht is er nauwelijks een goede vruchtwisseling mogelijk, de hoofdgewassen, tomaat, paprika, aubergine en komkommer zijn allen goede waardplanten voor wortelknobbelaaltjes. Bij de eerste drie gewassen zijn wel resistenties aanwezig, maar deze zijn onvolledig. Vooral komkommer is gevoelig voor aaltjes in de teeltzone. Een derde oorzaak is het ontbreken van effectieve biologische bestrijders.

MAATREGELEN

Op diverse fronten wordt onderzoek gedaan (onder andere onderstammen, ziekteverendheid van organische meststoffen, biologische bestrijding) om de problemen met wortelknobbelaaltjes beheersbaar te maken, maar geen van de afzonderlijke maatregelen werkt afdoende. De problemen zijn vaak zo groot dat de afgelopen jaren steeds meer biologische telers zijn overgegaan tot het stomen van de grond. De huidige wijze van stomen geeft wel tijdelijke verbetering, maar heeft negatieve gevolgen op het aanwezige bodemleven. Als gevolg van stomen wordt het natuurlijke bodemleven grotendeels tenietgedaan, waarna pas weer geleidelijk herstel optreedt.

GEÏNTEGREERDE AANPAK

Omdat enkelvoudige oplossingen ontbreken, vraagt het probleem van de wortelknobbelaaltjes om een geïntegreerde aanpak, waarbij zoveel mogelijk maatregelen bij elkaar worden gevoegd. Daarmee moet het probleem

zodanig beheersbaar worden gemaakt dat een redelijk productie-niveau gewaarborgd is. Deze aanpak staat bekend onder de naam Aaltjes-Beheersings-Strategie (ABS) en is enkele jaren geleden geïntroduceerd door PPO-AGV, Lelystad (Molendijk, 1995). Deel-aspecten van de ABS zijn overgenomen en vertaald naar biologische kasteelten. De ABS laat zien welke maatregelen er al geïntegreerd kunnen worden toegepast en waar er nog hiaten zijn die om een oplossing vragen om het aaltjesprobleem beter beheersbaar te maken. Inzicht in de levenswijze van wortelknobbelaaltjes maakt een meer gerichte aanpak mogelijk. De volledige versie van ABS is verkrijgbaar via Biokas, zie www.biokas.nl.

AALTJES BEHEERSINGS STRATEGIE (ABS)

Het schema geeft een schematisch overzicht van de verschillende onderdelen waaruit een Aaltjes-Beheersings-Strategie (ABS) kan bestaan. Deze onderdelen zullen achtereenvolgens de revue passeren. Een optimaal bouwplan vormt de kern van de ABS. Daar omheen zijn preventie, inventarisatie en aanvullende maatregelen gegroepeerd om schadelijke aaltjessoorten op het cruciale moment onder de schadedrempel te hebben. In de glastuinbouw is de keuzevrijheid op het vlak van het bouwplan vaak beperkt, waardoor preventie en aanvullende beheersingsmaatregelen relatief belangrijker zijn dan in de vollegrondsteelten.

Preventie

• plantmateriaal • water • bedrijfshygiëne

Inventarisatie

- grondsoort
- historie
- gewasinspectie
- bemonstering
- identificatie
- schaderelaties

Teeltplan

- gewaskeuze
- ras- & onderstamkeuze
- teeltfrequentie en teeltduur
- gewasvolgorde

Aanvullend

- braakperioden
- vanggewassen
- onkruidbeheersing
- organische meststoffen
- biologische bestrijding
- GNO's en gewasresten
- (bio-)grondontsmetting

Onderdelen van een Aaltjes Beheersing Strategie (ABS).



Preventie

Te allen tijde moet worden voorkomen dat een ‘schoon’ bedrijf of een afdeling wordt besmet met schadelijke organismen, waaronder wortelknobbelaaltjes. Dit vereist aaltjesvrij plantmateriaal, schoon water en een goede bedrijfshygiëne. Het risico op introductie van nieuwe soorten, waaronder de gematigde quarantaine aaltjes *M.chitwoodi* en *M.fallax* moet serieus worden geminimaliseerd.

PLANTMATERIAAL

Plantmateriaal behoort vrij zijn van plantenparasitaire aaltjes en andere ziekten en plagen. In dit verband is het raadzaam te weten hoe er op een vermeerderingsbedrijf te werk wordt gegaan om besmet plantmateriaal te voorkomen. Door het vermeerderingsbedrijf tijdens de opkweek een keer te bezoeken, kan hierover de nodige informatie worden verkregen.

WATER

Wat voor het plantmateriaal geldt, geldt ook voor water. Ook dit moet vrij zijn van ziekteverwekkers. Bron- en leidingwater zijn geen verdachte bronnen, maar het gebruik van oppervlaktewater zonder het te ontsmetten wordt ten stelligste afgeraden. Allerlei ziekteverwekkers, waaronder aaltjes, komen via drainage in het oppervlaktewater terecht. Dit kan vanuit besmette kassen gebeuren, maar ook vanuit planten die buiten groeien. Veel van deze planten

zijn immers waardplanten voor aaltjes, zoals het wortelknobbelaaltje *M. hapla* en het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans*. Water in open bassins kan ook als een verdachte bron worden beschouwd. Via wind en dieren kan bassinwater worden verontreinigd. Onderzoek van regenwaterbassins op rozenbedrijven wees uit dat hierin wortelknobbelaaltjes aanwezig kunnen zijn (Amsing en García, 2003). Ook de aanwezigheid van ziekteverwekkende schimmels in bassinwater behoort tot de mogelijkheden en is een aantal keren aangetoond. Daarbij ging het om de schimmels *Verticillium albo-atrum* (Paternotte en Groen, 2003) en *Fusarium oxysporum f.sp. radicum-lycopersici* (Rattink, 1991), beide kunnen tomaat aantasten.

Maar ook vochtminnende schimmels als *Phytophthora spp.* en *Pythium spp.*, die zich prima in water kunnen handhaven en zelfs vermeerderen, kunnen in waterbassins worden aangetroffen.

ONTSMETTEN

Verspreiding van ziekteverwekkers door middel van besmet water is te voorkomen door het te ontsmetten. Voor ontsmetting tegen aaltjes komen alleen verhitting en UV-straling in aanmerking. Ook schimmels en bacteriën worden hierdoor gedood. Ozon, waterstofperoxide en langzame zandfiltratie zijn niet of minder geschikt om aaltjes onschadelijk te maken (Amsing en Runia, 2000). Een bemonstering van water kan worden uitgevoerd, waarbij doorgaans het filtraat van ca. 100 liter water wordt geanalyseerd.

BEDRIJFSHYGIËNE

Bedrijfshygiëne is een onderwerp waaraan over het algemeen te weinig aandacht wordt besteed op de bedrijven. Maatregelen tegen insleep van aaltjes stelt besmetting uit. Hierbij gaat het om passieve verspreiding door menselijk toedoen. Op de eerste plaats vanaf andere bedrijven en op de tweede plaats binnen het eigen bedrijf zelf. Voor verspreiding van bedrijf naar bedrijf moet vooral gedacht worden aan machines waarmee grondbewerkingen worden uitgevoerd. Deze machines moeten ontdaan van alle grond. Op het eigen bedrijf zijn het behalve machines ook schoeisel, handen en huisdieren waarmee besmette grond wordt verspreid. Besmetting van aaltjesvrije kassen via schoeisel is te voorkomen door bij de ingang ontsmettingsbakken met bijvoorbeeld een organisch zuur te plaatsen of schoeisel te gebruiken waarmee alleen in deze kassen wordt gelopen. Houd huisdieren en ongedierte buiten de schone kassen.



Verwelking en achterblijvende groei door aaltjes-aantasting in komkommer. (foto F. Zoon)



Inventarisatie

Het opstellen van een ABS vereist allereerst inzicht in de problemen die zich op het bedrijf voordoen of zouden kunnen voordoen. Een goede inventarisatie vormt de basis. De volgende onderdelen vormen onderdelen van de inventarisatie: grondsoort, historie, gewasinspectie, bemonstering en identificatie.

GRONDSOORT EN HISTORIE

De grondsoort geeft een indicatie over de aaltjes die aanwezig kunnen zijn. Wortelknobbel-aaltjes komen vooral voor op lichtere grondsoorten, maar zware klei is ook mogelijk. Zo is *M. incognita* aanwezig op een bedrijf met 46% afslibbaar en weet zich daar goed te vermeerderen. Cystenaaltjes (*Globodera* spp.) voelen zich zowel in lichte als zware grondsoorten thuis. Maar deze aaltjes hebben in tegenstelling tot vele andere aaltjes slechts een beperkte waardplantenreeks. Behalve aardappel tasten ze ook tomaat en aubergine aan. Wortellessieaaltjes (*Pratylenchus penetrans*), die een brede waardplantenreeks hebben, waaronder *Solanaceae*, andijvie en sla, beperken zich vooral tot de lichte grondsoorten van zand tot zavel. Tot nu toe zijn er op de biologische groententeeltbedrijven geen problemen bekend met cystenaaltjes en wortellessieaaltjes. Virusoverbrengende wortelaaltjes, die vooral in lichtere grondsoorten voorkomen, spelen tot nu toe evenmin een

rol in de biologische kasgroententeelt. Op basis van ervaringen uit het verleden spelen in de biologische kasgroententeelt vooral wortelknobbelaaltjes een rol van betekenis. Andere aaltjes zijn niet uitgesloten, maar wortelknobbel-aaltjes voeren de boventoon. In de bloemeteelt zijn wortelknobbelaaltjes eveneens het meest voorkomend, naast wortellessie-aaltjes en andere soorten.

GEWASINSPECTIE EN BEMONSTERING

Tuinders zijn intensief met het gewas bezig en weten doorgaans waar er op zijn bedrijf grondgebonden problemen aanwezig zijn. Deze kunnen op een bedrijfskaart worden ingetekend. Maar daarmee is de oorzaak niet altijd bekend. Aantasting door aaltjes openbaart zich bovengronds vaak in een groeiachterstand, gebreksverschijnselen, verwelking en in het ernstigste geval in het afsterven van planten. Aaltjes zijn echter niet de enige ziekteverwekkers die dergelijke symptomen kunnen veroorzaken. Ook schimmels zoals *Phytophthora* spp. en *Fusarium* spp. zijn hiertoe in staat. Om de juiste oorzaak te achterhalen, is gewasonderzoek noodzakelijk.

Aantasting door wortelknobbelaaltjes laat zich over het algemeen gemakkelijk verraden door de aanwezigheid van wortelknobbels. Afhankelijk van het gewas, soort wortelknobbelaaltje en ouderdom van de aantasting kunnen kleine en/of grote wortelknobbels worden aangetroffen.



Aantasting van sla en aubergine door *Meloidogyne incognita*



Zo zijn de knobbels die *M. hapla* induceert over het algemeen vertakt en slechts enkele millimeters dik, terwijl bij een aantasting door *M. incognita* knobbels tot 2 cm eerder regel dan uitzondering zijn. Bij wortelinspectie is het gebruik van een spa gewenst, vooral wanneer de wortels in lichte mate zijn aangetast en maar kleine knobbeltjes bevatten. Worden de wortels zonder meer uit de grond getrokken, dan blijven er veel wortels in de grond achter en wordt een moeilijk zichtbare aantasting gemakkelijk over het hoofd gezien. De ervaring leert dat in oudere kassen waarin al meerdere jaren zonder tussentijds stomen in de grond wordt geteeld geen aaltjesvrije plekken meer te vinden zijn.

Niet alle aaltjes laten echter zulke duidelijke wortelsymptomen achter als wortelknobbelaaltjes. Het kan dan ook nodig zijn diagnostische bemonsteringen uit te voeren om de oorzaak te achterhalen. Daarvoor kunnen uit de rand van een slechte plek en enkele meters daarbuiten grond en wortels worden verzameld en onderzocht op ziekteverwekkers. Vergelijking van beide uitslagen geeft een indicatie van de ziekteverwekker die mogelijk verantwoordelijk is voor de groeiachterstand. Meerdere ziekteverwekkers tegelijk (ziekte-complex) zijn ook mogelijk. Diagnostische bemonstering is ook noodzakelijk als niet bekend is welke soorten wortelknobbelaaltjes aanwezig zijn. Schimmels kunnen tegenwoordig ook via DNA onderzoek worden geïdentificeerd.

BEGIN- EN EINDBESMETTING

Kwantitatieve bemonstering is een middel om te achterhalen in welke mate de grond aan het einde van een teelt besmet is met aaltjes. De eindbesmetting (Pf) vormt weer een beginbesmetting (Pi) voor de volgende teelt. Kwantitatieve informatie is nuttig voor het opstellen van



Wortelknobbelaaltjes op komkommer.
(foto DLV)

het bouwplan en voor het nemen van bestrijdingsmaatregelen. Bemonsteren en analyseren van de grond geeft een beeld van het besmettingsniveau per afdeling waarin een bepaald gewas wordt geteeld. Grondmonsters kunnen echter een vertekend beeld opleveren van het besmettingsniveau, wanneer er nog grote aantallen aaltjes als eitjes in of aan de wortels zitten. Aan het einde van de teelt kan dit probleem enigszins worden omzeild door niet alleen de grond, maar ook de wortels te bemonsteren. Het beste zou zijn om eerst de wortels enkele maanden te laten verteren en dan grondmonsters te nemen, maar in geval van continueelten is daarvoor geen tijd. Inspectie van de wortels tijdens of aan het einde van de teelt levert ook veel en vroegtijdige informatie op over de plaatsen waar wortelknobbelaaltjes in een afdeling aanwezig zijn en over de ernst van de besmetting. Doorgaans zal de keuze van het volgende

Identificatiemethoden

Niet alle laboratoria zijn in staat om Meloidogyne soorten betrouwbaar te onderscheiden. Identificatie op soort kan gebeuren op grond van de morfologie van juvenielen en wijfjes (PD, Blgg e.a.) maar dit is tamelijk specialistisch en bewerkelijk. Een tweede methode (PD) is het onderzoek aan eiwitten (isozymen) uit de wijfjes. Beide methoden worden doorgaans met 20 individuen gedaan, zodat een bijmenging van 5-10% van een andere soort een redelijke kans maakt om opgemerkt te worden.

De meeste recente (moleculaire) methoden (PRI, PD, Blgg) berusten op het aantonen van soortspecifieke stukjes DNA of RNA via een ophopingstechniek (PCR of taqman-PCR); met deze technieken kunnen momenteel alle belangrijke Meloidogyne soorten worden onderscheiden en zijn bijmengingen van 1-5% van een andere soort zichtbaar.

Biotypen

Soms kan het gewenst zijn om de identificatie nog verder door te voeren, namelijk op het biotype-niveau. Een biotype binnen een aaltjessoort kan betrekking hebben tot een afwijkende waardplantreeks (biotype=fysiologisch ras), een afwijkende interactie met een resistentiegen (biotype=pathotype), of bijvoorbeeld een afwijkend voortplantingssysteem. Bij *M. incognita* zijn vier fysiologische rassen bekend en bij *M. arenaria* twee. *M. hapla* heeft twee biotypen die refereren aan het voortplantingssysteem, maar vermoedelijk ook aan de waardplantreeks. Zo vermeldt Molendijk (1995) dat slechts één van de twee biotypen van *M. hapla* zich vermeerderd op *Tagetes* (afrikaantjes). Vermoedelijk tasten al deze biotypen tomaat en andere Solanaceeën aan, maar voor andere plantenfamilies is er wel verschil. Het kan dus voor bepaalde gewassen gewenst zijn om de waardplantstatus per bedrijf te bepalen.





Een lichte aantasting door *Meloidogyne hapla* laat sporadische 'spin-achtig' vertakte knobbeltjes zien. (foto F.Zoon).

gewas gebaseerd zijn op de gemiddelde besmettingsgraad met wortelknobbelaaltjes van een kasafdeling. Op zwaar aangetaste plekken binnen een afdeling kunnen eventueel extra maatregelen worden toegepast.

IDENTIFICATIE

Identificatie van de soorten plantenparasitaire aaltjes die op een bedrijf of per afdeling aanwezig zijn, is een onmisbare schakel in de ABS. Dit vormt de basis voor het nemen van effectieve maatregelen. Dit geldt zeker voor het opstellen van een goed bouwplan. Immers resistenties en toleranties hebben alles te maken met de interactie tussen plant en aaltje, waarbij de interactie vaak soortafhankelijk is. Grote verschillen in vatbaarheid van een gewas voor diverse soorten aaltjes zijn eerder regel dan uitzondering. Dat geldt ook met betrekking tot de schadegevoeligheid. Ook in verband met biologische bestrijding door middel van schimmels en bacteriën is identificatie gewenst. De effectiviteit van biologische bestrijding wordt in veel gevallen bepaald door de soort waartoe het te bestrijden aaltje behoort. Naarmate er meer wordt gestookt, is er een grotere rol van de warmte-minnende soorten te verwachten in vergelijking met de gematigde soorten die vooral in koude kasteelten floreren.

Het bemonsteren van de grond per afdeling is een goede methode om te achterhalen welke soorten er op het bedrijf aanwezig zijn. Zo kan de gewaskeuze per afdeling worden afgestemd op de soorten aaltjes die daarin aanwezig zijn. Veelal is er onvoldoende kennis over de aanwezigheid van plantenparasitaire wortelaaltjes op de bedrijven. In de meeste gevallen is wel bekend dat er wortelknobbelaaltjes aanwezig zijn, maar is er geen betrouwbare informatie over de soort(en). Laat staan dat er iets bekend is over de aanwezigheid van andere plantenparasitaire wortelaaltjes.

SCHADERELATIES

Over de schade door wortelknobbelaaltjes als functie van de begindichtheid zijn weinig kwantitatieve gegevens voorhanden. Opbrengstreducties tussen 20 en 50 % (Amsing & van Gurp 2003) zijn niet ongebruikelijk. De oorzaak is vooral belemmering van de aanvoer van water en nutriënten via de wortelvaten. Schade wordt meestal zichtbaar wanneer er enkele honderden aaltjes per 100 ml grond gevonden zijn. Bij populatiedichtheden van enkele duizenden aaltjes zijn flinke problemen te verwachten. Door zware aaltjesaantasting kunnen schimmelinfectie verergeren en individuele planten afsterven.



Teeltplan

Het beheersbaar maken van aaltjesproblemen vereist het creëren van een gezonde bodem. Een goed bouwplan vormt de basis. Elementen uit het bouwplan zijn: gewaskeuze, ras- & onderstamkeuze, teeltfrequentie en gewasvolgorde.

WAARDPLANTEN

Problemen met aaltjes zitten ingebakken in het teeltplan. Elk teeltplan roept zijn eigen aaltjesproblemen op, maar biedt bij een juiste keuze van gewassen tevens handvatten om aaltjes te beperken wanneer ze aanwezig zijn. Wanneer de uitgangssituatie door een goede inventarisatie duidelijk is, kan het teeltplan worden bijgesteld. De kern van het plan is dat naar een uitgebalanceerde set gewassen wordt gezocht, die bij de aaltjesbesmetting past. Passend wil zeggen een voldoende aandeel van niet-waardplanten. Voor wortelknobbelaaltjes is dit vanwege de brede waardplantenreeks geen eenvoudige zaak. Op alle hoofdgewassen:

Resistente genen en tolerante onderstammen

Om de resistentie duurzamer te maken, d.w.z. bestand tegen hogere temperaturen en virulente wortelknobbelaaltjespopulaties, zijn onderzoekers op zoek naar andere resistentie-genen en hebben deze ook gevonden, maar de waarde daarvan moet nog blijken (Williamson, 1998, Kaloshian and Roberts, 2002 en Huang et al., 2004). Ook paprika (*Capsicum annuum*) beschikt over resistente rassen. Deze resistentie is gebaseerd op het N-gen en geldt tegen *M. arenaria*, *M. incognita* en *M. javanica*, maar niet tegen *M. hapla*. Ook deze resistentie is niet volledig en wordt doorbroken bij hogere temperaturen. Bij het andere hoofdgewas komkommer (*Cucumis sativus*) ontbreekt het tot nu toe aan bekende resistenties tegen wortelknobbelaaltjes. Wel is de komkommeronderstam Harry (*Sicyos angulatus*) door de sterke wortelgroei behoorlijk tolerant voor *M. incognita* en *M. hispanica*, maar is tegelijkertijd wel een goede waardplant voor deze wortelknobbelaaltjes (Amsing en van Gurp, 2002 en 2003; Hogendonk, et al. 2004). Onderstammen met resistentie bieden meer uitkomst omdat deze een veel lagere eindbesmetting achter laten.



Een niet-resistente komkommer-onderstam in grond met *Meloidogyne* geeft al na korte tijd veel dikke wortelknobbels te zien. (foto F. Zoon).

tomaat, paprika, aubergine (*Solanaceae*) en komkommer (*Cucurbitaceae*) kunnen wortelknobbelaaltjes zich goed vermeerderen. Behalve deze vruchtgroenten zijn ook de meeste bladgewassen, zoals sla en andijvie, goede waardplanten, behalve bij zeer korte teeltduur. Voor bedrijven met een intensief bouwplan vormen resistente en tolerante rassen en onderstammen een uitweg, maar hieraan kleven beperkingen.

RESISTENTIE

Bij tomaten (*Lycopersicon esculentum*) en aubergines (*Solanum melongena*) zijn resistente rassen en deels dezelfde resistente onderstammen beschikbaar (Hogendonk en Steenberg, 2004). De resistentie, die gebaseerd is op het Mi-gen (Williamson, 1998), heeft een paar beperkingen. Het betreft alleen resistenties tegen *M. arenaria*, *M. incognita* en *M. javanica*, maar niet tegen *M. hapla*. Of deze resistentie ook geldt tegen *M. hispanica*, een wortelknobbelaaltje dat tot de *incognita*-groep behoort, is niet bekend. Een andere beperking van het Mi-gen is dat het wordt doorbroken bij bodemtemperaturen van 28°C en hoger. Zo was na de warme zomer van 2003 de onderstam Eldorado, waarvan de veredelaar aangeeft dat deze resistent is, in ernstige mate aangetast door *M. incognita*. Deze aantasting kan echter ook te maken hebben met het feit dat er bij continu of regelmatig gebruik van gewassen met het Mi-gen virulente aaltjespopulaties worden geselecteerd die wel op deze gewassen tot aantasting komen. De mate van resistentie van 'resistente' onderstammen valt dan ook vaak tegen.



Aanvullende maatregelen

Lukt het niet om met het bouwplan een zodanige gezonde bodem te creëren dat bij de volgende teelt geen of slechts weinig schade mag worden verwacht, dan zijn aanvullende maatregelen nodig. Maatregelen die tot doel hebben **1. verlagen van de beginbesmetting, 2. verhogen van de tolerantie en 3. verminderen van de populatietoename.**

BRAAK EN ONKRUIDBEHEERSING

Braak is een effectieve methode om de aaltjespopulatie omlaag te brengen. Het effect van braak is afhankelijk van het soort aaltje, de hoogte van de beginbesmetting, bodemtemperatuur en -vocht, duur van de braakperiode en een goede onkruidbeheersing. Onder een goede onkruidbeheersing wordt hier verstaan het vrijhouden van onkruid. Om de braakperiode effectiever te laten zijn, is het zinvol om zoveel mogelijk aangetaste wortels uit de grond te verwijderen en af te voeren. In welke mate de aaltjespopulatie onder kasomstandigheden afneemt, is niet bekend, maar zal zeker een periode van zes maanden in beslag moeten nemen om redelijk effect te kunnen sorteren. *Meloidogyne incognita* en andere warmteminnende soorten nemen vooral af bij temperaturen boven 20°C en beneden 10°C. De gematigde soorten (onder andere *M. hapla*) blijven bij lage temperatuur lang aanwezig. In combinatie met afdekken met plastic (solarisatie) is braak effectiever omdat bij hogere temperatuur de aaltjes meer energie verliezen. In het open veld wordt gerekend op een afname van



Vanggewas *Tagetes*. (foto DLV)

ongeveer 85% na een jaar. Niet alleen tijdens braak moeten de onkruiden worden verwijderd, ook in de teelt van niet-waardplanten, resistente waardplanten en antagonistische vanggewassen is dit van essentieel belang, om onkruiden niet de gelegenheid te geven het effect van deze gewassen teniet te doen.

ANTAGONISTISCHE GEWASSEN

Het telen van antagonistische gewassen kan een goede aanvullende maatregel zijn om de aaltjespopulatie zodanig omlaag te brengen dat er zonder risico op mislukking een hoofdgewas kan worden geteeld. Onder de antagonistische gewassen zijn zogenaamde vanggewassen en gewassen die tijdens de teelt of na inwerken een dodend effect hebben. Vanggewassen treden op als 'waardplant', waarin het aaltje niet tot ontwikkeling komt maar afsterft. Er kunnen twee categorieën vanggewassen worden onderscheiden.

VANGGEWASSEN MET INWENDIGE TOXINES

Een goed voorbeeld daarvan is het afrikaantje *Tagetes patula* tegen wortelknobbelaaltjes en wortellesieaaltjes (*Pratylenchus*). Een teeltduur van drie maanden reduceert het aantal wortellesieaaltjes in sterke mate. De meeste wortelknobbelaaltjes (*Meloidogyne*) worden door bepaalde afrikaantjes-rassen ook gedood, maar alleen als de teelttemperatuur tussen 15 en 30°C ligt (Ploeg en Maris, 1999a). Effectieve rassen zijn *T. patula* 'Single gold' en 'Tangerine' en *T. erecta* 'Flor de Muerto'. Cystenaaltjes en ectoparasitaire wortelaaltjes hebben geen last van *Tagetes*. Voor trichodoride aaltjes is *Tagetes* zelfs een goede waardplant. Ook voor sommige soorten wortelknobbelaaltjes of zelfs biotypen fungeert het als een waardplant (Molendijk, 2000). De teelt van *Tagetes* is vrij lastig omdat het gewas traag start, zodat onkruid een kans krijgt.

TOXISCHE WERKING NA INWERKING

Onder de antagonistische gewassen met toxisch effect bij inwerken na de teelt zijn 'biofumigatiegewassen'. De meeste kruisbloemige plantensoorten (o.a. Brassica's) bevatten zwavelhoudende glucosinolaten die bij kneuzing worden omgezet in reactieve isothiocyanaten (de pittige mosterdsmaak) die in hoge concentratie dodelijk zijn voor aaltjes. (Zoon et al., 2004). Van mosterd zijn ook producten in gedroogde vorm of vloeibaar verkrijgbaar. De werking





Ter plekke telen van biofumigatiegewassen lukt alleen bij voldoende temperatuur of langere teeltduur. Er is ca 40-50 ton per ha nodig (dat is een gewashoogte van ca 60 cm). (foto's F. Zoon).

van deze geconcentreerde extracten moeten voor bedekte teelten nog nader worden onderzocht.

Teelt van voldoende biomassa (40-50 ton/ha) bij lage wintertemperatuur in de kas vraagt 3-4 maanden, in de zomer kan het veel sneller. Indien dergelijke gewassen over langere periode ter plaatse worden geteeld, is aaltjesresistentie vereist, maar het telen buiten de kas is ook een optie, waarbij resistentie niet noodzakelijk is. Verschillende andere antagonistische gewassen zijn onderzocht in andere delen van de wereld. Daaronder zijn enkele tropische *Crotalaria* soorten die resistent zijn voor *Meloidogyne* en die bovendien bij inwerken extra doding geven (Wang et al., 2002). *Crotalaria juncea* (Sunnhemp) kan in twee (zomer) maanden voldoende verse biomassa produceren voor een flinke onderdrukking van de aaltjespopulatie. Bovendien kan dit vlinderbloemige gewas door stikstofbinding bijdragen aan de mineralenbalans. (Duke, 1981; Roseberg, 1996). Ervaring in Nederland met dit gewas is er nog niet.

KORTE TEELTEN

Ook gewassen die in principe goede waardplanten zijn, kunnen soms als vanggewas worden ingezet. Het is van belang een dergelijk vanggewas inclusief de wortels te ver-

nietigen voordat er nieuwe aaltjes ontstaan. In het onderzoek van Cuadra et al. (2000) werd de aaltjesbesmetting met 50% teruggedrongen door korte teelten van sla, paksoi, chinese kool en radijs, waarbij de wortels werden verwijderd. Ook in Nederlandse kassen fungeren korte slateelten in de zomer (teeltduur: 4-5 weken) als vanggewas 'door omstandigheden'. Als gevolg daarvan worden veel aaltjes weggevangen en ervaren de jaarrondtelers van sla in de winter weinig problemen met aaltjes. In tegenstelling hiermee ondervinden telers, die alleen in het najaar en in de winter sla telen na vruchtgroenteteelt, in de winter wel veel aaltjesproblemen bij hun sla (teeltduur: ca. 3 maanden). De afname van wortelknobbelaaltjes onder een niet-waardgewas is globaal gelijk aan de afname onder braak.

ORGANISCHE MESTSTOFFEN

Het aan de grond toedienen en inwerken van organische meststoffen kan om verschillende redenen een positief effect hebben op de ziekteverendigheid van de bodem en daarmee op de gewasproductie.

- verbetering van de bodemstructuur,
- verbetering van de voedingssituatie,
- vrijkomen van stoffen die toxisch zijn voor aaltjes,
- bevordering van de groei van antagonisten tegen aaltjes.



Indeling van biologische aaltjesantagonisten naar hun werkingsmechanisme

Plantversterkers en geïnduceerde resistentie	Aaltjesvangende schimmels en bodemfauna	Parasieten van wijfjes en eieren
Bacillus firmus Bacillus subtilis Pseudomonas fluorescens	Arthrobotrys oligospora Arthrobotrys superba Dactylaria spp. Dactylella spp. Roofaaltjes en bodem-roofmijten	Pasteuria penetrans Pochonia (Verticillium) spp. Paecilomyces lilacinus Catenaria spp.

Van organisch materiaal, zoals composten en dierlijke mestproducten die worden toegepast ter verbetering van de bodemstructuur en de voedingssituatie, mag slechts een marginaal effect worden verwacht ten aanzien van het bestrijden van aaltjes (Kimpinski et al., 2003). Soms kan het zelfs gebeuren dat de aaltjespopulatie er door toeneemt of dat de ziekteverendheid ten aanzien van schimmels afneemt. Niettemin mag bij gebruik van organische meststoffen op een groeibevorderend effect worden gerekend als gevolg van een verbetering van fysische en chemische bodemeigenschappen. Eigen onderzoek met diverse compost- en mestsoorten binnen de Biokas en Organische Stofmanagement hebben geen verbetering van de ziekteverendheid ten aanzien van wortelknobbelaaltjes te zien gegeven (Amsing en Postma, 2004 en Janmaat et al., 2004). Van afgewerkt ricinus-schroot is bekend dat het aaltjesremmende stoffen bevat en bovendien afstotend is voor aaltjes (Zoon, pers.med. 2005). Er zijn nog andere organische meststoffen in ontwikkeling met vergelijkbare eigenschappen.

ANTAGONISME

Aantasting door wortelaaltjes kan mogelijk worden beperkt door het inzetten van gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oorsprong (GNO's) en biologische bestrijders (levende organismen). Op biologische bedrij-



Extra compost zorgt voor gunstige groeiomstandigheden bij de start van de teelt



Aaltje met aangehechte sporen van Pasteuria.

ven konden plekken worden aangewezen waar de aaltjespopulatie niet tot grote dichtheden toenam of zelfs afnam. Hier is waarschijnlijk sprake van natuurlijk antagonisme, al weten we nog niet welke organismen daarbij betrokken zijn en hoe we die kunnen stimuleren. Van het extra toedienen van levende organismen die reeds in de grond aanwezig zijn, wordt weinig effect verwacht. Biologische bestrijders die niet op het bedrijf voorkomen, kunnen mogelijk wel iets toevoegen. Voorwaarde daarbij is wel dat ze zich in de grond weten te handhaven of bij voorkeur weten uit te breiden. In de afgelopen jaren zijn diverse biologische bestrijders getest. Hieronder zijn enkele perspectievolle antagonisten, zoals de bacteriën *Bacillus firmus* en *Pasteuria penetrans* en de schimmels *Arthrobotrys superba* en *Paecilomyces lilacinus*. *Pasteuria penetrans* is een van de meest veelbelovende bestrijders die bovendien zeer persistent is. Echter niet elke bacteriestam pakt elk soort wortelknobbelaaltje even goed aan. Een product van de Japanse markt had goede affiniteit met *Meloidogyne javanica* en veel minder met *M. incognita* isolaten van biologische bedrijven. Deze middelen vereisen, indien een bestrijdend effect wordt geclaimd, een toelating.



Gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oorsprong (GNO)

De niet-levende producten bevatten toxische of repelente (afstotende) stoffen of produceren deze tijdens het afbraakproces van het organische materiaal, of stimuleren de groei van antagogenisten.

GRONDONTSMETTING

Voor chemische grondontsmetting zijn diverse alternatieven beschikbaar. Het doel daarvan is om de beginbetsmetting voor het planten onder de economische schade-drempel te brengen.

Alternatieven zijn: stomen, solarisatie, anaerobe biologische grondontsmetting (BGO), inundatie en biofumigatie. Vindt bij stomen en solarisatie de dodende werking via verhitting van de bodem plaats, bij BGO en inundatie gaat het om het creëren van zuurstofloze omstandigheden in de bodem waardoor er tijdens het verteren van organisch materiaal aaltjesdodende stoffen ontstaan, onder andere propion- en boterzuur. Bij biofumigatie wordt gebruik gemaakt van het feit dat bepaalde soorten organisch materiaal tijdens het afbraakproces in de grond gasvormige stoffen opleveren die een aaltjesdodende werking hebben.

STOMEN

Stomen werkt veruit het snelst, een paar dagen na het stomen kan er al worden geplant, terwijl bij de andere methoden in weken tot maanden moet worden gerekend. Stomen is in principe een goede ontsmettingsmethode, maar moet wel op een goede manier worden uitgevoerd wat in de praktijk vaak te wensen overlaat. Enkele kanttekeningen bij de huidige wijze van stomen: er wordt gestoomd in de winter in plaats van in de zomermaanden, de grond wordt niet of onvoldoende losgemaakt (soms liggen er verwarmingsslangen op ca. 40 cm diepte), zeilenstomen i.p.v. stomen met afzuigen. Een nadeel is dat met stomen meer kapot gaat dan de teler lief is.



Experimentele toepassing van gewasresten en aangevoerde biofumigatiegewassen. Een deel van de proef is vervolgens met zuurstofdicht folie afgedekt om anaërobie op te wekken. (foto F. Zoon)

Door verminderde ziekteverendheid kunnen aaltjes sneller terugkomen op een hoog niveau.

ANAEROBE BIOLOGISCHE GROND ONTSMETTING (BGO) EN INUNDATIE

In het open veld is de nodige ervaring met anaerobe BGO en inundatie, ook met biofumigatie is al enige ervaring opgedaan. Deze methoden zijn nog nauwelijks onder kasomstandigheden getest. Eerste resultaten in het kader van BOKAS geven aan dat het onderwerken van 50 t/ha mosterd in combinatie met anaërobie door afdekken met plastic een reductie van 80-90% van wortel-knobbelaaltjes kan geven. In andere gevallen en ook zonder afdekken komen we soms niet verder dan ca. 50% doding. De algemene microbiële activiteit van de bodem herstelt snel door de toegevoegde organische gewasresten. De materialen en methoden voor biofumigatie kunnen nog verder worden geoptimaliseerd. Het ziet er naar uit dat combinatie van methoden nodig is om hoge effectiviteit te bereiken in beperkte tijd.

Afstotende stoffen

Saviton is niet remmend maar wel afstotend voor wortelknobbelaaltjes en wortellesieaaltjes. Chitinehoudende producten gemaakt van krab- of garnalenafval en producten op basis van azadirachtine (Neem). Het punt bij de laatstgenoemde producten is vaak dat de doseringen dermate hoog moeten zijn voor een effect, dat de bestrijding niet alleen erg duur wordt, maar bovendien dat de middelen directe schade kunnen veroorzaken bij het te telen gewas. De kans op schade is groter naarmate de toediening kort voor het planten plaatsvindt. Een nog weinig onderzochte mogelijkheid is het gebruik van gewasresten, zo bleken Paprika en Tomaat in BOKAS-onderzoek enig effect tegen wortelknobbelaaltjes te hebben.

