



Bio-Wetenschappen en Maatschappij



- Plagen bestrijden zonder gif
- Lijfwachten van de plant
- De speurneus van de sluipwesp
- Wapenwedloop plant en insect
- Malariamug bestrijden met schimmel
- De insectenfabriek

NATUUR ALS BONDGENOOT

Biologische bestrijding van
ziekten en plagen

Met een voorwoord van Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit,
Gerda Verburg

Redactie:

Jan Osse
Louis Schoonhoven
Marcel Dicke
Rob Buiter (eindredactie)

Cahier 4 | 2008 - 27^e jaargang

Natuur als Bondgenoot

Het cahier is een uitgave van Stichting
Bio-Wetenschappen en Maatschappij (BWM)
en verschijnt vier maal per jaar.
Stichting BWM is ondergebracht bij NWO.

Bestuur: prof. dr. E. Schroten (*voorzitter*),
J.F.B.C.D. van Oranje M.Sc. MBA (*vicevoorzitter*),
dr. J.J.E. van Everdingen (*penningmeester*),
prof. dr. W.G. van Aken, prof. dr. J.P.M. Geraedts,
prof. dr. J.M. van den Broek, prof. dr. P.R. Bär,
prof. dr. J.A. Knottnerus, prof. dr. J.W.M. Osse

Redactie: Prof. dr. J.W.M. Osse,
prof. dr. L. Schoonhoven, prof. dr. M. Dicke,
Rob Buiten (eindredactie)

Bureau: Annette Uijterlinde en Monique Verheij

Vormgeving: Vi-taal, Den Haag

Druk: Drukkerij Groen bv, Leiden

© Stichting BWM

ISBN/EAN 978-90-73196-49-0

Informatie en bestellingen losse nummers:
Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij
Postbus 93402, 2509 AK Den Haag
telefoon: 070 - 34 40 781
e-mail: bwm@nwo.nl
www.biomaatschappij.nl

Abonnementen:
Betapress Abonnementen Services
Postbus 97, 5126 ZH Gilze
telefoon: 0161 - 45 94 67
e-mail: cahier@betapress.audax.nl

Stichting BWM heeft datgene gedaan wat
redelijkerwijs van haar kan worden gevergd
om de rechten van de auteursrechthebbende
op de beelden te regelen volgens de wettelijke
bepalingen. Degenen die menen rechten te
kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot
Stichting BWM wenden.

Foto omslag: © Tibor Bukovinszky

Natuur als Bondgenoot

Biologische bestrijding in land- en tuinbouw

redactie	Ten geleide -	2
Gerda Verburg	Voorwoord -	3
Jan Osse en Louis Schoonhoven	Veilig voedsel voor veel monden -	5
Joop van Lenteren	Waar komen plagen vandaan? -	14
Joop van Lenteren	Plagen bestrijden zonder gif -	17
Joop van Lenteren	Biologische bestrijding in perspectief -	26
Louis Schoonhoven	Onkruid vergaat niet -	28
Peter de Jong	De wapenwedloop tussen plant en insect -	31
Hans Smid en Tibor Bukovinszky	De speurneus van de sluipwesp -	37
Ties Huigens	Biologische bestrijding met hulp van sluipwespen: De vrouwen doen het werk -	40
Marcel Dicke	Plant vertroetelt zijn lijfwachten -	43
Karel Bolckmans	De insectenfabriek -	51
Antoon Loomans	De bijwerkingen van biologische bestrijding -	53
Arnold van Huis	Wedden op meer paarden -	57
Peter de Jong	Insecten in het veranderende klimaat -	65
Bart Knols en Willem Takken	Schimmels als nieuw wapen tegen malaria -	69
Willem Takken	Het Panamakanaal: wereldprimeur in muggenbestrijding -	76
	Begrippenlijst -	78
	Informatie -	79



Ten geleide

‘Eerst komt het eten, dan pas de moraal!’ De Duitse dichter en toneelschrijver Berthold Brecht had in 1928 zijn prioriteiten goed op een rijtje. Want wat zal je je nou druk maken om ethische of morele vraagstukken als je niet eens een gevulde maag hebt? Anno 2008 is die stelling echt niet meer vol te houden. Eten is moraal, zeker nu we elk jaar 80 miljoen mensen extra moeten voeden.

Sinds de productie van voedsel grootschalig is geworden, hebben we ook flinke last gekregen van plagen. Vooral insecten hebben het op ons eten gemunt. Van de 450.000 soorten planteneterende insecten zijn er ongeveer 5.000 die plagen veroorzaken. Lange tijd zochten we het antwoord in de chemie. Maar in haar schokkende boek *Silent Spring* – in het Nederlands vertaald als ‘Dode Lente’ (1962) – liet Rachel Carson zien dat het anders moest. De eenzijdige chemische bestrijding van die plagen bedreigt niet alleen de vruchtbaarheid van de bodem, ook de biodiversiteit en onze eigen gezondheid gaan eraan.

Zoals wel vaker hadden de oude Chinezen al een alternatief. Zij zorgden met bruggen van stokken tussen bomen dat mieren een soort ‘snelweg’ door de boomgaarden kregen. Daar konden die mieren zich vervolgens tegoed doen aan plaaginsecten. Sinds ongeveer een eeuw heeft die aanpak voor het eerst echt school gemaakt in de Westerse landbouw: met biologische bestrijding

worden sindsdien de planteneters onder de insecten door vleeseters in toom gehouden. Beestjes worden nu ook met beestjes bestreden. De natuur is de bondgenoot geworden in de strijd!

In dit cahier beschrijven erkende wetenschappers de geschiedenis van de voedselproductie, vanaf het moment dat we overstapten van jagen en verzamelen op landbouw. Waarom betekent ‘voedsel verbouwen’ automatisch ‘last van plagen’, en hoe kun je die plagen het beste bestrijden? De schrijvers vertellen hoe je planten kunt helpen zichzelf te beschermen tegen belagers, over de fenomenale speurneus van insecten, over de bijna letterlijke schreeuw om hulp van een plant die wordt belaagd. Al deze kennis over biologische bestrijding heeft een heel nieuwe bedrijfstak in het leven geroepen. Naast fabrieken voor chemische bestrijdingsmiddelen zijn er nu ook fabrieken die sluipwespen, roofinsecten en roofmijten leveren aan boeren en tuinders. En niet alleen de boeren en tuinders profiteren van biologische bestrijding. Ook de bestrijding van malariamuggen kan worden geholpen door milieuvriendelijke schimmels.

Eerst eten, dan pas de moraal? Met de natuur als bondgenoot is er weer een extra stukje moraal in de productie van ons eten gekomen!

De Redactie.

PS

We hopen dat dit cahier weer zijn weg zal vinden in het onderwijs. Als eerste aanzet tot ‘verder denken’ hebben we in de kantlijn van de hoofdstukken alvast enkele suggesties voor vragen geformuleerd.

Voorwoord

Een vitale land- en tuinbouw is voor de Nederlandse samenleving van groot belang. Immers, onze land- en tuinbouw zorgt voor hoogwaardig voedsel en draagt bij aan een mooi en toegankelijk cultuurlandschap. Bovendien is onze land- en tuinbouw ook nog eens een kurk waar de Nederlandse economie op drijft.

Kenmerkend voor ons kleine land zijn de intensieve teeltsystemen met een relatief hoog gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Met mogelijke gevolgen voor bodem, water en lucht. Al jaren proberen we die extra belasting voor het milieu stap voor stap terug te dringen. En met succes. De milieudoelstellingen voor 1995 zijn gehaald. En op dit moment zetten overheid en bedrijfsleven alles op alles om de einddoelstelling voor 2010 te halen.

Eén van de manieren om de belasting voor het milieu te vermindern is het toepassen en verder ontwikkelen van geïntegreerde gewasbescherming. Geïntegreerde gewasbescherming is een systeem dat onder meer uitgaat van het inzetten van de natuur als bondgenoot. Denk daarbij bijvoorbeeld aan het inzetten van sluipwespen om luis te bestrijden of trips met de roofmijt. Het is teeltmanagement dat het gebruik van chemische gewasbescherming beperkt en daar waar mogelijk gaat voor het inzetten van biologische bestrijders.

De stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij beschrijft in dit boekwerk hoe dat precies te werk gaat. En wel op zo'n manier dat

ook voor niet-deskundigen de ontwikkeling en de stand van zaken van biologische bestrijding, inzichtelijk wordt gemaakt. Ik vind dit themanummer dan ook een aanrader. Niet alleen omdat blijkt dat we in Nederland al heel veel kunnen en doen op het gebied van biologische bestrijders. Maar vooral ook omdat er ook nog veel kansen en mogelijkheden liggen voor de Nederlandse land- en tuinbouw. Dat is een wenkend en uitdagend perspectief.

Lezen dus!

Gerda Verburg
Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit



© Siebe Swart / Hollandse Hoogte



Onze verre voorouders konden hun eten gewoon uit de natuur halen. Natuur genoeg voor zo'n klein clubje mensen. Maar de bijna zeven miljard monden van nu kun je alleen voeden met de hulp van intensieve landbouw. 'Daarmee is kennis van de biologie en van biologische bestrijding van levensbelang', zeggen emeritus hoogleraren Jan Osse en Louis Schoonhoven van de Wageningen Universiteit.

Veilig voedsel voor veel monden

door Jan Osse en Louis Schoonhoven

Soms zie je ze nog wel eens staan: borden aan de rand van een weiland met daarop de strijdkreet: *‘Geen toekomst zonder boeren.’* Met die leus vchten Nederlandse boeren lange tijd voor erkenning. En als je er even over nadenkt is de maatschappij van nu inderdaad alleen maar denkbaar dankzij de landbouw. Een vaste woonplaats en een grotere voedselzekerheid leidde tot het ontstaan van dorpen en steden. Bovendien maakten de steeds betere productiemethoden van boeren het lang geleden mogelijk dat mensen zich met andere zaken bezig konden houden dan met voedselproductie. Er ontwikkelde zich een scala van beroepen: naast boeren kwam er behoefte aan ambachtslieden, ambtenaren, bestuurders, priesters en ook soldaten. *‘Geen geschiedenis zonder boeren’* zou je dus net zo goed kunnen zeggen. Inmiddels moet die landbouw over de hele wereld bijna zeven miljard monden voeden. Dat is geen sinecure.

Professor Jan Osse en professor Louis Schoonhoven zijn emeritus hoogleraren, respectievelijk algemene dierkunde en entomologie van de Wageningen Universiteit

Waarom nomaden maar moeilijk stoppen met rondtrekken

De moderne mens, *Homo sapiens* ontstond 300 tot 400 duizend jaar geleden uit *Homo erectus*. Zijn eerste levensbehoefte, voedsel, haalde die mens, net zoals de dieren dat doen, gewoon uit de natuur. Die manier van leven heeft de mens heel lang volgehouden. Als je terugkijkt is dat eigenlijk merkwaardig. *Homo sapiens* betekent immers ‘de met rede begiftigde mens’. En wat is er nou ‘redelijker’ dan met hulp van de natuur zelf iets te gaan produceren; om landbouw te bedrijven dus. Toch is dat idee pas heel recent – ongeveer 12 duizend jaar geleden – voor het eerst in de praktijk gebracht. Vóór die tijd had *Homo sapiens* al wel ontdekt hoe je wapens en gereedschap bij de jacht kon gebruiken en hoe je vuur kon benutten voor de bereiding van voedsel.

Waarom heeft het zo lang geduurd voordat wij van verzamelen en jagen overstapten naar het telen van planten en het houden en verzorgen van dieren? Het antwoord is aan de ene kant heel simpel: de mens is een gewoontedier en ingeslepen gewoonten krijg je er niet zomaar uit. Tegelijk is landbouw nog niet zo simpel. Je moet maar op het idee komen zelf planten te zaaien, terwijl je niemand hebt om het van af te kijken. Hoe maak je wilde planten geschikt voor teelt? Hoe domesticeer je dieren? Dat waren geen eenvoudige vragen toen het vak ‘boer’ nog geboren moest worden.

De overgang van jagen en verzamelen naar landbouw had, naast vergroting van het voedselaanbod, ook andere gevolgen. De opkomende landbouw betekende een forse ingreep in de natuur. En die verstoring nam alleen maar toe naarmate de bevolking groeide. De wilde planten, planteneters, en in hun kielzog de vleeseters, parasieten en ziekteverwekkers, alles en iedereen zou merken dat de mens aan het boeren was geslagen.

De mens in het ecosysteem

Landbouw en veeteelt hebben het ‘systeem aarde’ in de afgelopen 12 duizend jaar diepgaand veranderd. De ecooloog Garrett Hardin stelde in een aantal ‘ecologische wetten’, dat ingrepen in een ecosysteem nooit beperkt blijven tot slechts één effect: in het web van interacties heeft iedere soort – direct of indirect – banden met andere soorten. De mens is daarin niet anders dan dieren. Meestal hebben we maar nauwelijks een idee wat voor effecten ons handelen op andere plaatsen in een ecosysteem teweegbrengen.

Onbegrensde groei bestaat niet

Een tweede wet die Hardin beschreef, zegt dat geen enkel systeem een permanente ‘positieve terugkoppeling’ lange tijd kan overleven. Dat betekent dat een ecosysteem dat uitsluitend zelf versterkende groei vertoont, uiteindelijk zal vastlopen. Zo kan een kleine konijnenpopulatie een tijdje exponentiële groei vertonen. Ouders planten zich voort, hun jongen gaan zich voorplanten enzovoort. Maar in werkelijkheid bestaat een continu groeiend systeem niet. Op een bepaald moment treedt een negatieve terugkoppeling in werking. Voedselgebrek, sociale stress tussen de konijnen onderling, ziekten of andere problemen zetten een rem op de groei. Onbegrensde groei bestaat niet. Niet bij konijnen en niet in de rest van de ecologie!

Het milieu stelt de grens

Een derde hoofdregel zegt dat je de draagkracht van het milieu niet mag overschrijden, op straffe van vernietiging of onherstelbare schade aan dat milieu. Overschrijding van draagkracht is zelfs zó riskant, dat beperking van het aantal individuen noodzakelijk kan worden. Onverbeterlijke optimisten denken dat we met nieuwe technologie zulke risico's kunnen uitsluiten. En inderdaad, door steeds betere landbouwmethoden is de draagkracht van het ‘systeem aarde’ voor de mens gigantisch toegenomen. Toch kunnen niet alle problemen met nieuwe technologie worden opgelost. Wanneer erosie goede landbouwgrond wegspoelt heb je tijd nodig voor herstel in plaats van technologie en ook als we heel veel hout kappen voor huizen of meubels, dan kan alleen voldoende tijd die voorraad aanvullen. Vanuit de ecologie bekeken is het zelfs meer dan duidelijk dat de grenzen aan de groei ook voor de mens zelf gelden. Hoe gevoelig die stelling buiten de ecologie ligt, bewijst bijvoorbeeld de discussie rond de één-kind-politiek in China.

Beperkt houdbaar

Hardin beschreef ook regels rond bestrijding van landbouwplagen. ‘Elk bestrijdingsmiddel, of het nu een insecticide, fungicide of herbicide is, loopt uiteindelijk dood.’ Als je het beruchte middel DDT als voorbeeld neemt klopt dat als een bus. Bij de introductie, in 1939 leek het een droomproduct. Het was breed toepasbaar, effectief en lekker goedkoop te produceren. Pas veel later bleek dat ook de ‘neveneffecten’ buitengewoon sterk waren (figuur 1).

Hardins laatste regel zegt dat plagen noch ziekten met één simpel middel duurzaam bestreden kunnen worden. Dat is het gevolg van de complexiteit van een ecosysteem. Duurzame gewasbescherming kan alleen door de manier van teelt te verbeteren en door



DIRECTE NADELEN	INDIRECTE NADELEN
• Doodt nuttige organismen, inclusief natuurlijke vijanden	• Accumuleert in voedselketens
• Giftig voor boer en tuinder	• Stimuleert ontwikkeling van resistentie
• Giftig voor consument	• Verspreiding door milieu, inclusief bodem en water
• Giftig voor bloembestuivers	
• Kostbaar	



figuur 1 Neveneffecten van het gebruik van pesticiden

verschillende bestrijdingsmethoden te combineren. Deze ‘Hardin-regels’ scheppen een goed kader voor het verantwoord oplossen van ecologische problemen in de landbouw.

Jagen en verzamelen, de echte ‘gouden eeuw’?

Jagen en verzamelen was zo gek nog niet. Bosjesmannen uit de Kalahariwoestijn besteedden gemiddeld ongeveer vijftien uur per week aan het verzamelen van voedsel voor de gehele samenlevende groep. Slechts tweederde van de groep deed daaraan mee. Met andere woorden: weinig zorg en veel vrije tijd. Was de periode van jagen en verzamelen misschien de echte gouden eeuw voor de toenmalige mensen? Met die vraag in gedachte ging de Amerikaanse onderzoeker Jack Harlan het veld in. Hij had ontdekt dat een voorloper van de moderne tarweplant, de wilde einkorn (*Triticum boeoticum*) weelderig groeide op een plek in Zuidoost-Turkije. Staande in dat veld vroeg hij zich af hoe aantrekkelijk een dergelijke groeiplaats zou zijn voor een verzamelaar uit de steentijd. Hoeveel tijd zou het kosten om voldoende van dat voedsel te verzamelen

figuur 2a De aar van einkorn (*Triticum boeoticum*) en losse zaden die door kaf stevig zijn ingepakt. Midden de aar van tarwe (*T. aestivum*) en losse graankorrels met gemakkelijk loslatende kafblaadjes. Rechts een vuurstenen mes, 8.000 tot 6.500 voor Christus, Marokko



figuur 2b Een vuurstenen mes, 8.000 tot 6.500 voor Christus, Marokko



voor een maaltijd? Zonder gereedschap kon Harlan ongeveer een kilo graan per uur verzamelen. Maar als hij een stenen mesje uit de Jonge Steentijd gebruikte, dan ging het al een stuk beter. Zijn conclusie was dat een familiegroep, die aan de onderkant van de berg begon en geleidelijk, met de rijping van de halmen, de helling op werkte, in drie weken gemakkelijk genoeg graan kon verzamelen om de hele groep een jaar lang te voeden. Bovendien was het heel hoogwaardig voedsel (figuur 2).

Met een paar uur werk per dag waren verzamelaars beter af dan de eerste boeren

Ruzie

Deze voorbeelden suggereren dat verzamelaars met een paar uur werk per dag beter af waren dan de eerste boeren. Waarschijnlijk waren ze nog gezonder ook. Maar door de groei van het aantal mensen ontstond mogelijk toch onderlinge strijd om de gunstige plaatsen. Waarschijnlijk nam het aantal bejaagbare dieren af. Tegelijk werd de techniek voor het verzamelen, behandelen en bewaren van voedsel beter. Opgravingen en datering op basis van radioactief koolstof laten zien dat in die tijd, acht à negen duizend jaar voor Christus, al sikkels van vuursteen werden gemaakt. Daarnaast werden manden gevlochten en gebruikte men primitieve keramische technieken voor het maken van vaten en kannen, waarin voedsel kon worden bewaard, veilig voor insecten en knaagdieren.

Mensen ontdekten waarschijnlijk ook de bijkomende voordelen van het bewaren van zaden. Wat gemorst werd, kwam het volgend seizoen weer op. Andere zaden kwamen met de uitwerpselen weer in de omgeving terecht. Van sommige planten is bekend dat hun zaden eerst het darmkanaal van een dier moeten passeren voor ze kunnen ontkiemen. Het bewaren van een deel van de zaden en het uitstrooien daarvan op een geschikte plaats werd daarmee een logische stap. Daarmee was de landbouw geboren.

Het valt niet keihard te bewijzen dat uiteindelijk de toename van het aantal mensen de belangrijkste oorzaak is van het begin van de landbouw. Het lijkt op zijn minst aannemelijk dat tegen het eind van het Pleistoceen, zo'n 11 duizend jaar geleden, de populatie van jagende en verzamelende mensen op een aantal plaatsen aan zijn maximum zat. De beperkte draagkracht van de aarde kwam hier en daar in zicht. Daardoor ontstond geleidelijk een stimulans om de oude manier van voedsel zoeken te combineren met nieuwe methoden.

Planten temmen

Mensen trokken vroeger niet voor hun lol, maar omdat hun leefgebied was uitgeput. Door de domesticatie van planten en dieren werd dat rondtrekken onnodig. Er kwam zekerheid van voldoende voedsel voor een langzaam groeiende groep mensen voor terug. Domesticatie van planten betekende het voortdurend kweken, waarbij – bewust of onbewust – de erfelijke aanleg van de plant veranderde. Door alleen met de goede planten door te kweken, ontstond een steeds betere voedselbron. Uit de enorme natuurlijke verscheidenheid aan wilde planten ontstond uiteindelijk een relatief kleine

vraag 1 Waar onze landbouwplanten hun oorsprong letterlijk over de hele wereld hebben, komen bijna alle landbouwhuisdieren van oorsprong uit Eurazië. Welk landbouwhuisdier komt niet uit Europa of Azië?

collectie van bruikbare soorten. Dat waren ongetwijfeld dezelfde die eerder in de vrije natuur verzameld werden: de planten met de beste smaak van vruchten, zaden, spruiten of wortels en de beste houdbaarheid en voedingswaarde.

Landbouw kwam in een oogwenk

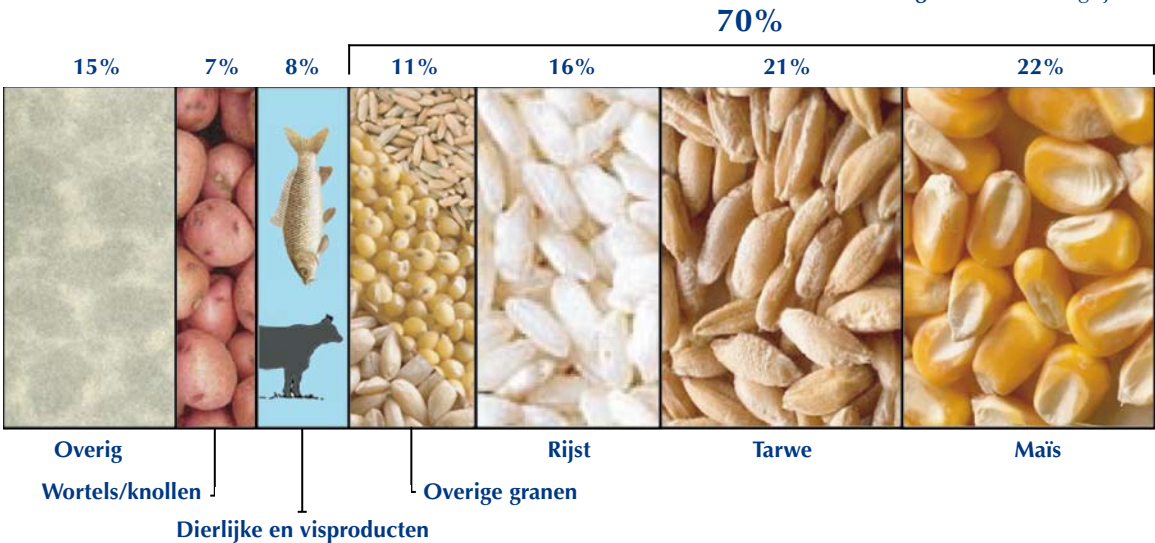
Vergeleken met de vele tienduizenden jaren die het kostte voordat de mens gereedschapen maakte en vuur benutte, vond de overgang naar landbouw in een oogwenk plaats. De vroegste landbouwgebieden liggen in Zuid-Turkije, Palestina en het zogenoemde ‘Tweestromenland’ van de Eufraat en Tigris. Dit gebied wordt wel de ‘Gouden Driehoek’ genoemd (figuur 3). Daar voltrok zich in slechts drie millennia, tussen acht en vijf duizend voor Christus, de revolutie naar landbouw en veeteelt. Andere primaire centra van landbouw ontstonden in China, Midden-Amerika, de Andes, Amazonica en misschien nog enkele andere gebieden.

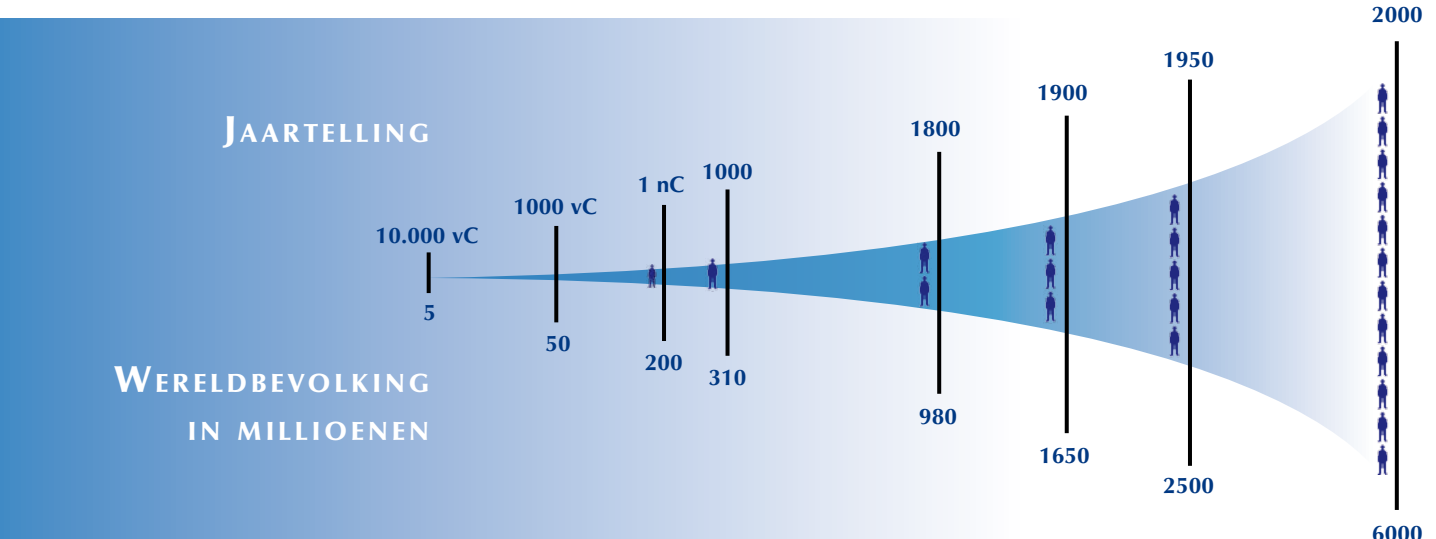
In de Gouden Driehoek kozen de mensen uit 32 natuurlijke grassoorten de twee met de grootste zaden en de beste smaak: emmertarwe en gerst. Beide soorten floreren in gematigde streken en relatief droge gebieden. Het bleek een goede keuze want tot op de dag van vandaag zijn dat twee belangrijke voedselgewassen. Al heel vroeg werden peulvruchten, zoals erwten, bonen en linzen gekweekt. De olijfbom is sinds circa vier duizend voor Christus een van de oudste gekweekte bomen. Rijst, een grassoort uit een vochtig en warm klimaat, wordt al sinds zeven duizend voor Christus in China gevonden. Maïs, gekweekt in zowel de gematigde als in tropische streken, komt oorspronkelijk uit Midden-Amerika. Granen, vooral tarwe, rijst en maïs, leveren nu nog steeds 70% van de energie van de voeding van de hele wereldbevolking (figuur 4).



figuur 3 De ‘Gouden Driehoek’ in Klein-Azië, het oorsprongsgebied van de oudste landbouwgewassen

figuur 4 De belangrijkste voedselgewassen



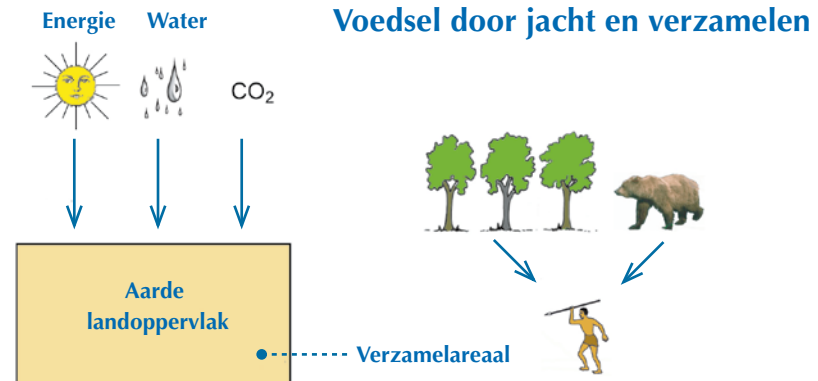


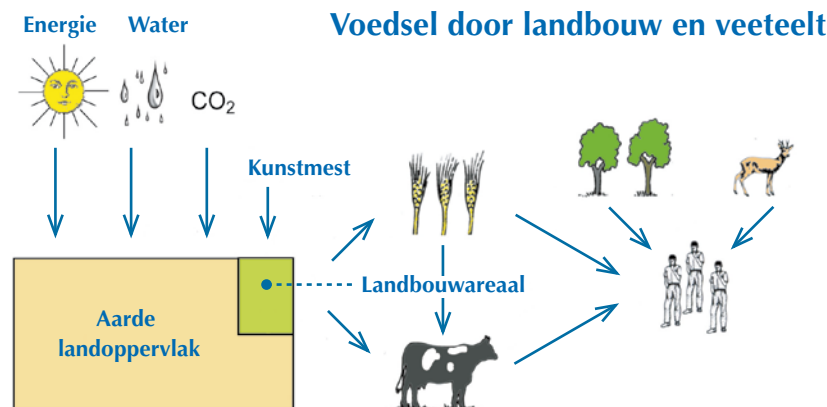
figuur 5 Omvang van de wereldbevolking sinds de mens zijn voedingsgewassen begon te telen

Bevolkingsexplosie

De verspreiding van landbouw en veeteelt over de wereld veroorzaakte niet alleen grote veranderingen in de ecologie van onze aarde. Het veranderde de hele menselijke samenleving. Intensieve voedselproductie en sociale organisatie horen bij elkaar en versterken elkaar. Het wonen op een vaste plaats, de zogenoemde sedentaire leefwijze, leidt tot specialisatie binnen de bevolking. Naast producenten – boeren dus – ontstonden ambachtslieden, ambtenaren, bestuurders, priesters en soldaten. De bevolking kon nu flink groeien, want landbouw maakte een tien tot honderd keer zo hoge dichtheid van de menselijke populatie mogelijk (figuur 5 en figuur 6). Landbouw leidde niet alleen tot een explosie van de bevolking, maar ook tot een ‘vereenvoudiging’ van ecosystemen die

figuur 6a Voor het begin van landbouwactiviteiten voorzag de vrije natuur de mens van voldoende voedsel





figuur 6b Intensieve landbouw en veeteelt maken een hogere voedselproductie mogelijk

tot dat moment nog uiterst complex waren. Door de toenemende eenvormigheid van de begroeiing in landbouwgebieden, ontstonden nieuwe kansen voor 'plaa-soorten'.

Kansen voor planteneters

De verarming van de oorspronkelijke ecosystemen leidde niet meteen tot ernstige plagen. Akkers waren nog klein, minder talrijk en minder geconcentreerd in bepaalde gebieden. Bovendien waren ze nog omgeven door de natuurlijke begroeiing. Daarin leefden de natuurlijke vijanden van planteneterende insecten die het op de landbouwgewassen gemunt zouden kunnen hebben. Boeren leerden ook al snel dat teeltmaatregelen, zoals de zogenoemde vruchtwisseling, de ontwikkeling van plagen kon tegenwerken. Slechts een beperkt deel van de oogst ging verloren.

Tot ongeveer 1800 wisten boeren niet precies waarom ze met verschillende teeltmethoden grote oogstverliezen konden voorkómen. Het ging om het succes in de praktijk, niet om de wetenschap erachter. Op grond van hun ervaring boerden de boeren op een manier die we nu 'ecologisch' zouden noemen. Het landbouwecosysteem werd zó ingericht dat ziekten en plagen weinig kans kregen. Chinese boeren, bijvoorbeeld, legden bundels stro op plaatsen waar veel spinnen zaten. Die bundels brachten ze later naar hun akkers. Zo konden spinnen schadelijke insecten opruimen. Doordat in de twintigste eeuw de arealen met monoculturen steeds groter werden, ontstonden nieuwe en vooral ernstiger problemen. Ook in de zogenaamd beschermde teelten onder glas, ver van de natuurlijke situatie, bleken ziekten en plagen goed te gedijen!

Liefde voor chemie

Rond 1945 werden chemische pesticiden populair. 'Dit was het ei van Columbus om plagen te bestrijden'. Deze 'chemofiele' aanpak van gewasbescherming heeft zo'n 45 jaar de boventoon gevoerd. Tot op de dag van vandaag zet het een rem op de ontwikkeling van andere, biologisch meer gezonde methoden. Toch waren er al vroeg andere geluiden te horen. Zo adviseerde de Duitser Theodor Hartig al in 1827 om geparasi-

vraag 2 Boeren krijgen op enkele plaatsen in ons land subsidie om akkerranden met wilde bloemen in te zaaien. Waarom?

teerde rupsen te verzamelen. Wanneer je die in een kooi kon bewaren zouden daar parasitaire sluipwespen uit tevoorschijn komen. Die kon je vervolgens in het gewas loslaten om plaaginsecten te belagen. Helaas werden publicaties van ecologen als Hartig in de jaren vijftig en zestig niet al te serieus genomen. Pas later, toen mens, dier

De eerste periode van biologische bestrijding was vallen en opstaan

vraag 3 DDT is niet helemaal in de ban gedaan. Er rest nog één belangrijke toepassing van dit gif. Welke?

figuur 7 Het boek *Silent Spring* ('Dode Lente'), waarin Rachel Carson in 1962 de dramatische gevolgen van het gebruik van pesticiden aanschouwelijk maakte



en milieu werden vergiftigd door resten van bestrijdingsmiddelen, en na het ontstaan van grootschalige resistentie tegen chemische middelen, merkte men dat chemische bestrijding niet het laatste woord had.

Dode lente

In 1962 schreef de Amerikaanse Rachel Carson het boek *Silent Spring*, twee jaar later in het Nederlands vertaald als 'Dode Lente'. Dat boek werd een ware *eye opener* voor velen (figuur 7). Het boek wordt wel als het beginpunt gezien van de milieubeweging. Carson liet het grote publiek kennismaken met de schadelijke gevolgen van pesticiden, vooral voor vogels. De ban op DDT als pesticide was voor een deel aan *Silent Spring* te danken. Pas rond 1990 kwam er een echt sterke afname van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen. De aandacht voor zogenoemde geïntegreerde bestrijdingsmethoden groeide. Er kwam zelfs teelt van gewassen op gang zonder enige hulp van chemische middelen.

De eerste periode van biologische bestrijdingsmethoden was er een van vallen en opstaan. Zo mislukte in 1873 de invoering van een Amerikaanse roofmijt ter bestrijding van de Franse druifluis, die de Franse wijngaarden bedreigde. Daar staat een spectaculair succes tegenover bij de bestrijding van een schildluis in de Californische citrusteelt. Die teelt dreigde aan het eind van de negentiende eeuw geheel te gronde te gaan door de toevallig uit Australië geïmporteerde schildluis *Icerya purchasi*. Het beestje ontwikkelde zich explosief omdat er in Californië geen natuurlijke vijanden aanwezig waren van de schildluis. Ten einde raad stuurden de Californiërs een entomoloog naar Australië om natuurlijke vijanden van dit insect te bestuderen. Hij kwam terug met onder meer het lieveheersbeestje *Rodolia cardinalis*. Al na een maand waren de eerst citrusbomen vrij van schildluizen en na 18 maanden was de totale citruscultuur in Californië grotendeels schoon!

Met dit eerste succes op zak begon de zoektocht naar nieuwe methoden van biologische bestrijding van plagen. Maar ook in de plantenveredeling werd de koers verlegd. Naast de aandacht voor planten met betere opbrengst, ging men letten op natuurlijke afweer tegen ziekten en plagen. De trukendoos van de huidige oogstbeschermers is daarmee zeer gevarieerd geworden (figuur 8).

Methoden voor het beheersen van plagen



Figuur 8 De verschillende methoden die op een duurzame manier onze oogsten kunnen beschermen

Noot: In brede zin zijn methoden 7 en 8 ook 'biologische bestrijdingsmethoden'

antwoord 1 Schaap, rund, geit, paard en varken komen van oorsprong uit Eurazië. Alleen de kip komt van oorsprong uit Zuidoost-Azië.

antwoord 2 Wilde akkerranden om landbouwgrond zorgen voor een duidelijke afname van insectenvraat, tot wel 30 meter uit die rand. De wilde rand herbergt veel natuurlijke vijanden van plaaginsecten. Daardoor hoeft er minder gif gespoten te worden op een akker met wilde randen,

antwoord 3 Bij de bestrijding van malaria-muggen wordt nog DDT gebruikt.

Waar komen plagen vandaan?

door Joop van Lenteren

‘Sahel overspoeld door vraatzuchtige sprinkhanen’, ‘Bladluis bedreigt Nederlandse oogst’, ... Als je de krantenkoppen mag geloven worden wij constant bedreigd door de gemeenste insecten. De waarheid is anders. De meeste plagen veroorzaken wij zelf! Plagen bestaan pas sinds de mens tien duizend jaar geleden gewassen ging verbouwen.

De vegetariërs onder de insecten – honderdduizenden soorten – vreten in natuurlijke ecosystemen maar een paar procent van de planten. In de landbouw loopt die vraat soms op tot honderd procent: het hele gewas gaat eraan. Hoe verklaar je dat? Loop in gedachten eens van een boerenbedrijf naar een natuurgebied en ga na wat je ziet. Op de boerderij zie je enorme oppervlakten van een enkele plantensoort; biet, een graan, of aardappel. In het natuurgebied zie je honderden plantensoorten. In de natuur moet een vegetarisch insect dus vele meters vliegen om precies die plant te vinden die nodig is om van te eten of om zich op voort te planten. Daarbij loopt het insect een risico ten prooi te vallen aan spinnen, roofinsecten, reptielen, vogels en zoogdieren. Of een sluipwesp legt een ei in het insect. Het aantal soorten natuurlijke vijanden van een vegetarisch insect in een natuurgebied is veel groter dan op de boerderij, juist door die grote biodiversiteit van het natuurgebied. Die natuurlijke vijanden zorgen er voor dat het aantal vegetariërs niet te sterk toeneemt: de natuur blijft daardoor ‘groen’.

Op boerenbedrijven is er vooral veel van hetzelfde. Voor een vegetarisch insect is dat fantastisch. Het bevindt zich in een Lui-lekkerland: overal eten beschikbaar in topconditie. Want de planten die geselecteerd zijn op goede voedingskwaliteit voor de mens, zijn ook bijzonder aantrekkelijk voor insecten. Die planten krijgen ook nog eens regelmatig water en kunstmest en smaken dus sappig. En dezelfde gewassen worden jaar in jaar uit op dezelfde percelen geteeld. Het zijn meestal ‘saaie’ gewassen waarin natuurlijke vijanden zich niet prettig voelen. Kortom: de mens organiseert een gigantische picknick voor vegetarische

Professor Joop van Lenteren is hoogleraar entomologie aan Wageningen Universiteit

insecten en maakt het juist onaantrekkelijk voor de natuurlijke vijanden van die insecten.

Plagers op reis

Behalve ‘monocultuur’ zijn er nog enkele andere belangrijke oorzaken van plagen. Zo slepen we onze gewassen over de hele wereld. Het lijkt logisch dat je probeert om de plaagsoorten niet mee te slepen. Toch is dat in het verleden vaak gebeurd, toen men simpelweg niet wist waardoor plagen werden veroorzaakt. Zo zijn in de middeleeuwen honderden soorten plaaginsecten vanuit Europa naar Amerika en Azië vervoerd. Dat gebeurde meestal op de gewassen die men meenam en in nieuwe gebieden wilde aanplanten. Ongeveer de helft van de insecten die landbouwplagen veroorzaken in de Verenigde Staten is op die manier door de mens zelf verhuisd van Europa naar Amerika. Pas veel later hebben onderzoekers de natuurlijke vijanden van een aantal van die plaagsoorten kunnen opsporen in Europa. Die zijn vervolgens losgelaten in Amerika waardoor er minder problemen optraden. Ondanks de vaak intensieve controles aan grenzen, slagen nog steeds veel plaagsoorten er in zich te vestigen in nieuwe gebieden. In Nederland importeren we op deze manier elk jaar wel een nieuwe plaag. Dit gebeurt vooral in kassen. Soms worden diersoorten bewust geïmporteerd, omdat men denkt dat ze nuttig zouden kunnen zijn. Een bekend voorbeeld is het importeren en loslaten van het lieveheersbeestje *Harmonia axyridis* voor de bestrijding van bladluizen in parken. Dit veelkleurig Aziatische lieveheersbeestje is op diverse plaatsen een plaag geworden. Er zijn ook gevallen bekend waarbij een van oorsprong onschadelijk insect ergens wordt ingevoerd en daar, in dat nieuwe woongebied toch een enorme plaag veroorzaakt.

Zo is de appelbloedluis (*Eriosoma lanigerum*) rond 1750 vanuit Noord-Amerika in Europa terecht gekomen, waar het insect grote schade aanrichtte. Gelukkig vond men later een geschikte natuurlijke vijand in Noord-Amerika. Die is in grote delen van Europa losgelaten waar hij het plaaginsect voldoende bestrijdt. In weer andere gevallen komt het plaaginsect op eigen kracht naar een nieuw gebied, bijvoorbeeld vanuit Zuid-Europa naar Noord-Europa. Vroeger gebeurde dat al, maar koude winters resulteerden meestal in het uitsterven van die insecten. Door klimaatverandering kunnen diverse soorten die vroeger alleen als 'toeristen' bekend waren, zich nu blijvend vestigen. Een derde oorzaak van plagen is de chemische bestrijding. Door gebruik van pesticiden kunnen oude plagen versterkt terugkomen en kunnen nieuwe plagen ontstaan. De natuurlijke vijanden van de plaagsoorten worden gedood terwijl de plaagsoort zelf resistent kan worden. Zo bleek bij de intensieve chemische bestrijding van mijten dat de diertjes vrij snel resistent werden tegen het gebruikte chemische middel. Hun natuurlijke vijanden waren kennelijk veel gevoeliger, want die konden in intensief bespoten percelen nauwelijks overleven. Het resultaat was dat mijten die vroeger weinig schade veroorzaakten, zich nu tot een belangrijke plaag ontwikkelden. Dit 'boemerangeffect' is bekend bij enkele honderden plaagsoorten. Geen zeldzaam verschijnsel dus.

Kieskeurige consumenten vragen om plagen

Een laatste oorzaak van plagen lijkt triviaal, maar is in de westerse samenleving toch heel belangrijk: vroeger accepteerde de consument wel een ruw plekje op een appel of een beschadigd blaadje aan een roos. Dat moest wel. Bestrijding was vaak niet mogelijk of te duur. Met de komst van synthetische bestrijdingsmiddelen kon men ineens op een goedkope manier 'plagen' bestrijden. De middelen werden zelfs preventief ingezet, tegen plagen die er nog niet eens waren. Zo kon in de afgelopen vijftig jaar vrijwel alles goedkoop worden 'platgespoten' en werd vrijwel elk beestje op een plant ineens 'schadelijk' genoemd. Door die frequente bespuitingen zijn nieuwe plagen ontstaan, is het milieu vervuild, zijn er gezondheidsproblemen opgetreden en is resistentie tegen pesticiden nu zo algemeen dat sommige serieuze plaagsoorten niet meer met chemische middelen kunnen worden bestreden. Inmiddels is de kennis over het ontstaan van plagen het uitgangspunt geworden voor de bestrijding. Zo worden landbouwsystemen ontwikkeld die veel meer biodiversiteit vertonen, bijvoorbeeld in akkerranden met wilde bloemen. De internationale

controle op plaagorganismen is in veel landen verbeterd en de chemische bestrijding wordt veel spaarzamer en verstandiger gebruikt. Bovendien is er een groeiende groep consumenten die liever gifvrije producten met een vlekje heeft dan cosmetisch perfecte, maar bespoten producten.

Foto: Appelbloedluis (*Eriosoma lanigerum*)

© Stephen Dalton / Foto Natura



Boeren grijpen meestal naar de gifspuit als zij insecten uit hun gewas willen verdrijven. Al sinds de negentiende eeuw weten we dat ook insecten dat werk kunnen doen. Professor Joop van Lenteren schetst – grotendeels uit eerste hand – de ontwikkeling van de biologische bestrijding in de landbouw.



© Hans Smid / www.bugsinthepicture.com

Plagen bestrijden zonder gif

door Joop van Lenteren

Het ziet er triest uit: een volledig kaal gevreten plant. Niet meer dan een stengel met wat dunne sprietjes waar ooit blaadjes zaten. Zo'n droevig plaatje kom je in de natuur gelukkig niet vaak tegen. Want voordat een plantenetend insect de kans heeft gekregen om een plant helemaal kaal te vreten, is hij zelf al te grazen genomen door een vleesetende collega. Of hij is gevelde door een ziekmakende schimmel, een bacterie of een virus (figuur 1). In de natuur houden de verschillende partijen elkaar doorgaans in toom. Hoe anders is dat in de landbouw. De biodiversiteit aan planten, planteneters en vleeseters op onze akkers is dramatisch laag. De boer teelt maar enkele soorten planten en doodt het liefst vrijwel alle andere planten, helaas vaak met vervuilende onkruidbestrijdingsmiddelen. Omdat er weinig soorten planten zijn, zie je ook weinig soorten planteneters. Maar de planteneters die van de landbouwgewassen houden, komen dan wel meteen massaal voor. En die worden vervolgens ook met gif bestreden. Of beter gezegd: werden. Want tegenwoordig maken boer en tuinder gelukkig vaak gebruik van biologische bestrijding.

Professor Joop van Lenteren is hoogleraar entomologie aan Wageningen Universiteit

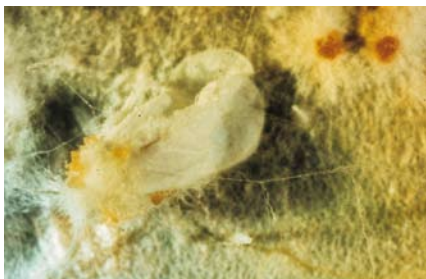
Biologische bestrijding bestaat al een eeuw

Biologische bestrijding kon pas worden toegepast toen men begreep dat vleesetende insecten de plantenetende insecten onder de duim kunnen houden. Dit inzicht ontstond in de negentiende eeuw. Wetenschappers adviseerden om naar de natuurlijke vijanden van planteneters te gaan zoeken en die uit te zetten in landbouwgewassen. Maar dat was makkelijker gezegd dan gedaan. Wáár zoek je en wát zoek je? Welke vijanden van plaaginsecten zijn veelvraters en veroorzaken een snelle afname van de plaag? En vormen die vijanden op hun beurt geen gevaar voor andere dieren zodra ze de schadelijke planteneters hebben opgevreten?

Door gebrek aan kennis ging het in het begin niet altijd goed. Soms werd een natuurlijke vijand zelf een plaag. Zo voerden de bewoners van Caraïbische eilanden in de negentiende eeuw civetkatten in om ratten te bestrijden. De ratten verdwenen inderdaad. Maar toen ze op waren, vreten de civetkatten vervolgens veel inheemse vogels en hun eieren op.

De eerste biologische bestrijder: een Australisch lieveheersbeestje

In de landbouw zijn veel plagen per ongeluk meegelift met gewassen die we uit andere landen importeerden. Hun natuurlijke vijanden waren meestal thuis gebleven. Daardoor konden die plaaginsecten zich ongeremd voortplanten. De beste manier om ze te



figuur 1 De kaswittevlieg *Trialeurodes vaporariorum*, hier rechts op de foto op de onderkant van een tomatenblaadje, is een belangrijk plaaginsect. Deze plaag kan bestreden worden met parasieten (de sluipwesp *Encarsia formosa*, linksboven), met predatoren (de rover *Macrolophus caliginosus*, linksmidden) of met een ziekmaker (de pathogene schimmel *Aschersonia aleyrodes*, linksonder).
Bron: Joke J. Fransen, J.C. van Lenteren, Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit; Bioplanet, Italië

bestrijden leek dus om natuurlijke vijanden te zoeken in het land waar gewas en plaag vandaan kwamen. Vervolgens kon je die natuurlijke vijanden in het nieuwe land loslaten, en klaar zou Kees zijn geweest. Maar zo simpel bleek de praktijk niet. De eerste keer dat deze strategie werd beproefd werkte toevallig wél perfect. Dat was in 1888. Kort daarvoor had men bijna de teelt van sinaasappelen in Noord-Amerika opgegeven, omdat er een hardnekkige schildluis (*Icerya purchasi*) op voorkwam. Een insectendeskundige opperde dat de schildluis waarschijnlijk uit Australië kwam. Na intensief speurwerk werd de schildluis daar inderdaad gevonden op acaciabomen. Daar werd hij onder de duim gehouden door sluipwespen en lieveheersbeestjes. De entomoloog verzamelde enkele honderden van die natuurlijke vijanden om ze mee te nemen naar Amerika. Vliegtuigen waren er niet. Er moest dus een goede kweekmethode worden bedacht om tijdens de vele weken op de boot de planten en insecten in leven te houden. Je kunt je de verbazing van de medepassagiers voorstellen toen de entomoloog

een aantal kooien op het dek bouwde waarin hij acacias, de *Icerya* schildluizen en de *Rodolia cardinalis* lieveheersbeestjes ging kweken (figuur 2). Het lukte om een paar natuurlijke vijanden levend naar Californië te verschepen. Daar werden ze in een tent om een sinaasappelboom losgelaten. En inderdaad: enkele weken later was de boom vrij van schildluizen. De tent werd verwijderd en de natuurlijke



figuur 2 Lieveheersbeestje *Rodolia cardinalis* bij de resten van de schildluis *Icerya purchasi*
Bron: J.C. van Lenteren, Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit

vijanden vlogen uit. Twee jaar later waren er in heel Californië geen plagen van schildluizen meer te vinden in de sinaasappelplantages. Intussen was de schildluis per ongeluk op plantmateriaal en vruchten naar vele andere landen verscheept. Gelukkig konden de natuurlijke vijanden ook op die plekken worden gebruikt. Zo werden de eerste lieveheersbeestjes in 1897 in Portugal losgelaten. Ze komen nu wereldwijd voor en helpen overal sinaasappelbomen vrij van schildluizen te houden. Dit loslaten van een gering aantal natuurlijke vijanden heet ‘inoculatieve’ bestrijding.

Dergelijke inoculatieve biologische bestrijding gebruiken we in Europa tegen de appelbloedluis. Die werd rond 1920 per ongeluk vanuit Noord-Amerika naar Frankrijk verscheept. In het gebied van oorsprong van de bloedluis vonden entomologen een sluipwesp die vervolgens in Europa is losgelaten. Die sluipwesp kan 80 jaar na de eerste loslating nog steeds in appelboomgaarden worden gevonden bij bloedluis kolonies. Ons land importeerde daarna nog verschillende keren natuurlijke vijanden voor inoculatieve loslatingen. In enkele gevallen is Nederland exporteur van natuurlijke vijanden geweest. Zo verzamelde ik met collega's rond 1980 duizenden kortschildkevers voor export naar Californië. De Amerikanen gebruiken deze kortschildkevers voor de bestrijding van slakkenplagen in citrusboomgaarden. De verbazing bij het dierenhotel van Schiphol was groot toen wij daar de kortschildkevers voor transport afleverden. De medewerkers verwachtten een vrachtwagen ‘vol met duizenden dieren’. Ze kregen slechts

vraag 1 In Nederland worden lieveheersbeestjes ingezet in de biologische bestrijding. Inmiddels is daarvan een keerzijde bekend. Welke?

enkele dozen. Een dag later arriveerden de kevers in Californië waar ze zich tegood konden doen aan de slakken.

Overigens: hadden de Californiërs dezelfde culinaire gewoonten gehad als de Fransen, dan zou dit probleem zich nooit hebben ontwikkeld. De Fransman zelf is immers de natuurlijke vijand van slakken.

In Nederland zijn ruim honderd soorten natuurlijke vijanden te koop

Een vloedgolf van natuurlijke vijanden

Naast bescheiden, inoculatieve loslatingen kun je ook grote aantallen natuurlijke vijanden met de hand, een tractor, een helikopter of een vliegtuig in het veld brengen. Vanwege die grote aantallen noemen we deze vorm 'inoculatieve biologische bestrijding'. Letterlijk wil dat zeggen dat het gebied wordt overspoeld met natuurlijke vijanden. In Nederland gebruiken tuinders bijvoorbeeld inundatieve loslatingen van roofmijten voor de bestrijding van thrips (een piepklein insect) in kassen en in het veld.

Het gebruik van zulke grote aantallen beesten betekent dat er een fabriek nodig is om ze te kweken. In die 'insectenfabrieken' (zie 'De insectenfabriek' op pagina 51) worden wekelijks miljoenen natuurlijke vijanden gekweekt, geteld, verpakt, verscheept en losgelaten in het veld (figuur 3). Zo'n productieproces houdt in dat je speciale methoden voor kwaliteitscontrole van de natuurlijke vijanden moet ontwikkelen. Zoals een iPod wordt getest op zijn MP3 kwaliteiten, zo testen deze insectenfabrieken hun insecten op hun vermogen om plagen op te ruimen.

Biologische bestrijding als 'Hollandse waar'

Nederland ontwikkelde nog een derde vorm van biologische bestrijding: seizoens-inoculatie, vooral voor gebruik in kassen. Door de hoge temperaturen in kassen ontwikkelen insecten zich heel snel. Daarom kan meestal niet worden volstaan met een eenmalige inundatieve loslating. Maar steeds opnieuw beesten loslaten wordt veel te duur. We kwamen daardoor op het idee om de inoculatieve en inundatieve methoden te combineren. Aan het begin van het seizoen laat je een paar keer een flink aantal natuurlijke vijanden los, zoals bij inundatie. Die doden op dat moment de plaaginsecten en planten zich voort. Hun nakomelingen houden daarna de volgende generaties plaaginsecten onder de duim. Dat lijkt dus op inoculatie.

Aan het eind van het kweekseizoen ruimt de tuinder het gewas op, en daarmee verdwijnen ook de plaaginsecten en natuurlijke vijanden. Vandaar het gebruik van de term 'seizoens-inoculatie', ieder kweekseizoen moeten de natuurlijke vijanden opnieuw worden losgelaten. Zo'n terugkerende vraag naar insecten is natuurlijk prettig voor de 'insectenfabrieken'. Maar is het niet een beetje dom van de tuinder? Er zijn al slimme tuinders die een paar planten met plaaginsecten en natuurlijke vijanden laten staan tot het volgende kweekseizoen. Die hoeven dus geen nieuwe beesten te kopen. In Nederland zijn nu ruim honderd soorten natuurlijke vijanden te koop voor de bestrijding van allerlei plaaginsecten en mijten. Daarmee zijn we wereldwijd absolute



figuur 3 Uitzetten van natuurlijke vijanden in het veld met behulp van een ultralicht vliegtuigje of een modelvliegtuigje
© Koppert Biosystems, Nederland; Arbico Co., Arizona, USA

koploper op het gebied van biologische bestrijding in kassen. Biologische bestrijding in de Nederlandse glastuinbouw is zo populair omdat gif spuiten vooral in kassen erg vervelend is. De tuinder moet wachten met oogsten tot het gif is uitgewerkt en bovendien is er altijd het risico van gifresten op groente en fruit. Het is tegenwoordig gelukkig heel normaal om in een kas verschillende natuurlijke vijanden aan te treffen. Toch zit een kas niet barstensvol insecten, want bij biologische bestrijding houdt de natuurlijke vijand de plaaginsecten op zo'n laag niveau dat beide soorten moeilijk in grote aantallen te vinden zijn.

Natuurlijke vijanden stimuleren

Er is nog een vorm van biologische bestrijding die we meestal met een slechte vertaling uit het Engels *'conservering van natuurlijke vijanden'* noemen. Het is eigenlijk een groot aantal verschillende manieren om natuurlijke vijanden te vertroetelen. Zo kun je heel eenvoudige nestmogelijkheden aanbrengen voor roofdieren, zoals stukjes golfkarton voor oorwormen. Ze produceren dan meer jongen die zich veilig kunnen ontwikkelen. Of je plant een akkerrand met bloemen die veel nectar en stuifmeel hebben, waar sluipwespen zich mee kunnen voeden. Door dat voedsel leven ze veel langer en doden ze veel meer plaaginsecten (figuur 4). Een belangrijk onderdeel van *'conservering'* is het simpelweg vermijden van chemische bestrijding, zodat natuurlijke vijanden niet worden doodgespoten.

Lijfwachten rekruteren om planten te beschermen

Het principe van biologische bestrijding klinkt heel eenvoudig: je hebt een plaag en dus ga je op zoek naar een natuurlijke vijand. Die laat je los en de klus is geklaard.

vraag 2 Nederland is een belangrijk land op het gebied van biologische bestrijding. Hoe zou dat komen?

figuur 4 Bloemrijke akkerranden bieden voedsel voor natuurlijke vijanden
Bron: P.C.J. van Rijn, Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Heteren





figuur 5 Verzamelen van natuurlijke vijanden

Bron: J.C. van Lenteren, Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit

Helaas – of voor de onderzoekers gelukkig – komt er heel wat vooronderzoek aan te pas. Waar moet je gaan zoeken? Hoeveel soorten verschillende natuurlijke vijanden vind je voor een bepaald plaaginsect? Welke kies je en waarom kies je die? Hoe kweek je ze met miljoenen per week? Hoe sla je ze op, hoe verscheep je ze over de wereld en hoe laat je ze op een goede manier los? Zijn er risico's verbonden aan het loslaten van exotische natuurlijke vijanden? Het zijn allemaal vragen die voor onderzoekers enorme uitdagingen vormen. We willen per slot van rekening duurzame en veilige methoden voor plaagbeheersing ontwikkelen. Veel van deze vragen kunnen we inmiddels beantwoorden. Toch vraagt elk nieuw plaaginsect vaak weer een speciale aanpak. Het is logisch om naar natuurlijke vijanden te zoeken op de plaats waar het plaaginsect vandaan komt. De eerste stap in een biologisch bestrijdingsprogramma is: het oorspronkelijke leefgebied van het plaaginsect vaststellen. Vaak betekent dat een buitenlandse expeditie. Niet zelden vind je daar in de loop van een seizoen tientallen soorten natuurlijke vijanden (figuur 5).

De tweede stap is om uit die enorme rijkdom de juiste soort te kiezen. Een goede natuurlijke vijand is in staat om de plaaginsecten op een laag niveau te krijgen en daar te houden. Hij heeft een heel sterke voorkeur voor het plaagorganisme. Zijn biologie is nauw afgestemd op die van de plaag en hij is makkelijk in grote aantallen te kweken. En tenslotte: hij vormt geen gevaar voor de lokale flora of fauna.

In het onderzoek gebruiken we een afstreeplijst waarbij we de riskante of nutteloze kandidaten zo snel mogelijk elimineren. Zo vallen kandidaten die te veel soorten prooien aanvallen direct af. Want daarmee loop je het risico dat ze op de loslaatplek niet alleen de plaag, maar ook allerlei andere organismen zoals bijvoorbeeld zeldzame vlinders aanvallen. Vervolgens vallen alle slome natuurlijke vijanden af. Die ontwikkelen zich zo langzaam of vangen zo weinig prooien dat ze de plaag nooit onder controle kunnen krijgen. Uit de overgebleven kandidaten kiezen we een makkelijk te kweken soort die liefst alleen het plaaginsect aanvalt.

Foutje

In de afgelopen 120 jaar zijn er enkele duizenden soorten natuurlijke vijanden geselecteerd en op allerlei plekken wereldwijd losgelaten. Gelukkig tot nu toe met bijzonder weinig vergissingen. Helaas is er een paar jaar geleden wel een fout gemaakt door Aziatische lieveheersbeestjes in Europa – ook in Nederland – los te laten die veel te veel

Helaas zijn in Europa Aziatische lieveheersbeestjes losgelaten

soorten prooien eten (figuur 6). Het gevolg is dat het beest zich ten koste van andere organismen uitbreidt en die andere organismen misschien zelfs zal uitroeien. Daarom passen we sinds die vergissing een zogenoemde milieurisicoanalyse toe. Daarmee proberen we nog beter dan in het verleden de mogelijke gevaren van het loslaten van uitheemse organismen te bepalen. (zie *De bijwerkingen van biologische bestrijding*, pag 53) Het opsporen van een nieuwe, effectieve natuurlijke vijand kost ongeveer tien jaar en

twee miljoen euro. Dat lijkt veel, maar het is veel goedkoper dan het ontwikkelen van een nieuw chemisch bestrijdingsmiddel wat ongeveer 160 miljoen euro vergt.

Biologische bestrijding is overal

Overal waar planten groeien is biologische bestrijding mogelijk. Elke plant wordt bezocht door planteneters, die op hun beurt weer belaagd worden door natuurlijke vijanden. In natuurlijke ecosystemen treden zelden plagen op. En als ze wél optreden, dan is dat vrijwel altijd het gevolg van menselijke activiteit. Ook in de landbouw veroorzaken wij de plagen meestal zelf (zie 'Waar komen plagen vandaan' op pagina 14). Toch komt er zelfs binnen landbouwgewassen veel natuurlijke biologische bestrijding voor. Van alle plagen in landbouw-ecosystemen wordt 95 procent onder de duim gehouden door insecten of andere organismen die daar van nature voorkomen. Vrijwel niemand realiseert zich dat, maar we zijn er in een harde les achter gekomen door met chemische middelen te spuiten. We roeiden daarbij de natuurlijke vijanden uit, waardoor weer nieuwe plagen ontstonden.

De mens doet zijn uiterste best om de resterende vijf procent van de plaagsoorten met allerlei middelen te doden. Biologische bestrijding wordt een steeds belangrijker wapen in die strijd. Inoculatieve biologische bestrijding, zoals tegen de schildluis in de sinaasappelteelt, wordt nu op tien procent van de landbouwgrond over de hele wereld gebruikt. De afgelopen 120 jaar zijn er ruim vijfduizend keer natuurlijke vijanden losgelaten in landen over de hele wereld. Sommige soorten, zoals de lieveheersbeestjes die de schildluis op sinaasappel bestrijden, zijn in 60 verschillende landen ingevoerd. Andere soorten slechts op enkele plekken vanwege het lokaal voorkomen van een plaag. We hebben tot nu toe ongeveer tweeduizend soorten natuurlijke vijanden gebruikt. Er wachten nog honderdduizenden soorten op ontdekking.

Inundatie en seizoensinoculatie worden op een minder groot oppervlak gebruikt. Maar deze methoden laten wel een sterke groei zien. In Rusland, China en Latijns-Amerika worden jaarlijks op ruim tien miljoen hectare landbouwgrond natuurlijke vijanden losgelaten. Op zulke enorme oppervlakten gebruiken de boeren vliegtuigjes, helikopters en grote tractoren om de natuurlijke vijanden in het veld te brengen (figuur 3). In Europa en Noord-Amerika worden deze twee vormen van biologische bestrijding op enkele honderdduizenden hectaren gebruikt, onder andere in kassen. Bij gebruik in kleine velden en in kassen worden de poppen van de natuurlijke vijanden op kaartjes geplakt om ze makkelijk te hanteren. Die kaartjes worden vervolgens in de planten gehangen. Vandaag de dag is het mogelijk ruim 150 soorten natuurlijke vijanden tegen tientallen plagen – desgewenst online of per telefoon – te bestellen.

Biologische bestrijding in Nederland

In ons land wordt biologische bestrijding veel toegepast in de fruitteelt en de tuinbouw. Vooral in de fruitteelt werd vroeger erg veel gespoten tegen plaaginsecten. Dat was niet alleen slecht voor het milieu. Er ontstond resistentie tegen het gif, bijvoorbeeld bij de fruitspintmijt, *Panonychus ulmi*. De fruitspintmijt (figuur 7) veroorzaakt geen plaag in onbespoten boomgaarden. Maar door de vele ongerichte bespuitingen werd het leger



figuur 6 *Harmonia lieveheersbeestje* op weg naar prooi

© Nina Fatouros, www.bugsinthepicture.com



figuur 7 Fruitspintmijt (*Panonychus ulmi*) en zijn natuurlijke vijand, roofmijt (*Typhlodromus pyri*)

Bron: Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit

van natuurlijke vijanden van de spintmijt uitgedund, zodat de inmiddels resistente spintmijt zich ongelimiteerd kon voortplanten. Toen fruittelers andere plagen heel gericht, met uitgekende middelen gingen bestrijden, kon de belangrijkste natuurlijke vijand van de spintmijt, de roofmijt *Typhlodromus pyri* weer aarden in de boomgaard. Vanaf dat moment was het gedaan met de spintmijttenplaag.

De geschiedenis van de appelbladmineermot, *Stigmella malella* verliep langs eenzelfde lijn. Zolang je de vijanden van de mineermot niet doodt ontstaat er geen probleem. Maar door jarenlang spuiten werden de natuurlijke vijanden vrijwel compleet uitgeroeid. Vervolgens kwam er een rem op de zogenoemde 'breedwerkende middelen'. De introductie van sluipwespen die op de mot parasiteren vanuit onbespoten boomgaarden, leidde ook hier tot de oplossing van het probleem.

In de fruitteelt worden nog diverse andere plaagsoorten onder de duim gehouden door natuurlijke vijanden, zolang er maar niet of weinig wordt gespoten. Maar we kunnen niet alle plagen in de fruitteelt biologisch bestrijden. Voor de resterende plagen gebruiken fruittelers nu 'vriendelijke' bestrijdingsmethoden, die kunnen worden gecombineerd met biologische bestrijding, zoals insectenhormonen en lokstoffen. Lokstoffen moeten de mannelijke plaaginsecten wegllokken van de vrouwtjes, zodat de plaaginsecten zich niet voortplanten. De combinatie van bestrijdingsmethoden waarin bij voorkeur geen chemische bestrijdingsmiddelen worden gebruikt, heet geïntegreerde gewasbescherming.

Succesverhalen uit de kas

De biologische bestrijding in Nederlandse kassen is een wereldberoemd succesverhaal. Eén van de belangrijkste plagen in kassen is de kasspintmijt (*Tetranychus urticae*). Kort na het toepassen van pesticiden ontstonden resistentieproblemen: de mijt werd steeds weer ongevoelig voor nieuw gif. Bij toeval werd een roofmijt (*Phytoseiulus persimilis*) ontdekt die in het klimaat van de kas de spintmijt kon bestrijden. De voortplanting van de roofmijt is sneller dan die van de kasspintmijt. Bovendien is het een heel effectieve rover en weet de roofmijt nieuwe spintmijtkolonies meestal te ontdekken nog voordat ze schade hebben veroorzaakt.

De spintmijt wordt meestal niet in de hele kas voor de volle 100 procent uitgeroeid door de roofmijt. Gedurende de zes tot negen maanden van de teelt zie je telkens op andere plaatsen weer spintmijten tot ontwikkeling komen, die dan weer door roofmijten worden ontdekt. Weer volgt een bijna complete uit uitroeiing, waarbij enkele spintmijten vertrekken om elders tot voortplanting te komen. Maar dankzij de roofmijt lijdt de productie van het gewas er niet onder.

Een andere belangrijke plaag in kassen is wittevlug (*Trialeurodes vaporariorum*). Kort na de Tweede Wereldoorlog werd deze plaagsoort voor het eerst bestreden met chemische middelen. Maar door dat gifgebruik kon er geen biologische bestrijding van de kasspintmijt worden toegepast. Het gif tegen wittevlug nekte immers ook de roofmijt. Een ware epidemie van wittevlug in 1971 zorgde voor de introductie van biologische bestrijding tegen deze plaag. In enkele landen werd het beestje toen al bestreden door een sluipwesp (*Encarsia formosa*). Inmiddels is het de populairste natuurlijke vijand in kassen (figuur 8).

vraag 3 'Uiteindelijk is biologische bestrijding niets meer dan symptoombestrijding.' Cynisch of niet?

Er kan nog veel meer

Er zijn nog ongekennde mogelijkheden voor biologische bestrijding. Niet alleen plaaginsecten, ook onkruiden in Noord-Amerika, Afrika en Australië worden al met insecten bestreden. En andere dieren, zoals vogels, hagedissen, ja zelfs slangen worden in kassen gebruikt voor plaagbestrijding. Virussen worden in Australië ingezet om konijnenplagen in te dammen. Schimmels pakken in Afrika sprinkhanen aan, en in de toekomst misschien zelfs malariamuggen (zie *Schimmels als nieuw wapen tegen malaria*, pag. 69). Mogelijkheden te over. Omdat de meeste mensen het gebruik van gif niet meer op prijs stellen, zal biologische bestrijding in de komende jaren verder groeien. Het zoeken en vooral het vinden van natuurlijke vijanden zal bij onderzoekers nog vaak tot grote voldoening leiden. Het is bepaald geen straf om bijvoorbeeld in fraaie natuurgebieden in de tropen op zoek te gaan naar nieuwe kandidaten. Ondertussen help je voedsel en milieu schoon te houden en zorg je dat de biodiversiteit op de boerderij weer toeneemt.



figuur 8 Wittevlies aan de onderkant van een tomatenblaadje

Bron: J.C. van Lenteren, *Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit*

antwoord 1 Het veelkleurig Aziatisch lieveheersbeestje heeft zich vrij massaal in het wild verspreid. Hier en daar zorgen massa's overwinterende lieveheersbeestjes al voor overlast en het is niet duidelijk hoe de inheemse lieveheersbeestjes op deze exoten gaan reageren.

antwoord 2 Nederland is eerst groot geworden in intensieve landbouw. Vanuit dat oogpunt bezien is het niet zo vreemd dat we relatief snel zijn geconfronteerd met de nadelen van die intensieve landbouw en de mogelijke oplossingen.

antwoord 3 Biologische bestrijding kan 'symptombestrijding' zijn. Maar als het op de juiste manier wordt ingezet, kan biologische bestrijding ook voorkómen dat er nieuwe problemen ontstaan.

Biologische Bestrijding in perspectief

door Joop van Lenteren

De economische waarde van biologische bestrijding

Klassieke, inoculatieve biologische bestrijding wordt toegepast op drieënhalf miljoen vierkante kilometer landbouwareaal. Dat is ongeveer acht procent van het totale landbouwareaal.

Inundatieve, en seizoensinoculatieve vormen van biologische bestrijding worden toegepast op 0,16 miljoen vierkante kilometer, zo'n veertiende procent van het wereldlandbouwareaal. Maar eigenlijk doet Moeder Natuur overal op aarde waar planten groeien aan biologische bestrijding. Alleen al in landecosystemen gaat het dan om 89,5 miljoen vierkante kilometer. Een schatting van waterecosystemen is nog nooit gemaakt.

Het is niet zo eenvoudig om al dat werk van Moeder Natuur in geld uit te drukken. Toch hebben de Amerikaanse ecoleer Robert Costanza en zijn collega's in het wetenschappelijk tijdschrift *Nature*, in 1997 een poging gedaan*. Zij schatten dat de natuurlijke beheersing van plagen in gezonde ecosystemen een minimale jaarlijkse waarde heeft van vierhonderd miljard euro. Dat is nog los van wat Moeder Natuur in landbouwgebieden doet.

De jaarlijkse waarde van natuurlijke biologische bestrijding in landbouwgewassen kun je als volgt schatten: Van alle mogelijke plagen in landbouwgebieden wordt 95 procent onder de duim gehouden door insecten of andere organismen die daar van nature voorkomen. Wereldwijd wordt een bedrag van zes en half miljard euro besteed aan chemische bestrijding van insectenplagen. Als natuurlijke biologische bestrijding er niet zou zijn, zou er dus – simpel gerekend – nog eens 110 miljard euro extra nodig zijn om onze gewassen te beschermen.

Opgeteld: de enorme jaarlijkse bijdrage van natuurlijke biologische bestrijding is minimaal 510 miljard euro. Geen enkele minister van milieu of landbouw kent die cijfers, laat staan dat ze er rekening mee houden. Erger nog, door onwetendheid en onkunde verstoren we deze ecosysteemfunctie voortdurend, waardoor er flink moet worden betaald om de door ons gecreëerde problemen weer te corrigeren.

Professor Joop van Lenteren is hoogleraar entomologie aan Wageningen Universiteit

Economisch gezien is biologische bestrijding de meest geslaagde, meest kosteneffectieve en meest milieuveilige bestrijdingsmethode. De slaagkans bij het zoeken naar een natuurlijke vijand voor een nieuwe plaag is gemiddeld één op de twintig. Je moet dus zo'n twintig soorten bestuderen voordat je een effectieve natuurlijke vijand vindt. Bij het zoeken naar een nieuw chemisch bestrijdingsmiddel is die slaagkans gemiddeld slechts één op de tweehonderd duizend. Het vinden van een nieuwe natuurlijke vijand kost ongeveer twee miljoen euro, terwijl het vinden van een nieuw pesticide gemiddeld honderdvijftig miljoen euro kost. Elke geïnvesteerde euro in biologische bestrijding levert, afhankelijk van het type biologische bestrijding, twee tot meer dan honderd euro op. Bij chemische bestrijding levert elke euro gemiddeld twee euro op en dan hebben we daar de sociale kosten – gezondheidseffecten en milieuvervuiling – nog niet eens van afgetrokken. De milieurisico's van biologische bestrijding zijn vrijwel nihil, terwijl ze bij chemische bestrijding aanzienlijk kunnen zijn.

Als biologische bestrijding zo rendabel is, waarom vindt dan 99,9 procent van alle biologische bestrijdingsactiviteiten plaats bij overheidsinstellingen? Dat wordt in belangrijke mate veroorzaakt door het feit dat de grote industrie niet is geïnteresseerd in deze bestrijdingsmethode. Natuurlijke vijanden zijn immers niet te patenten, ze kunnen niet zo grootschalig worden geproduceerd als pesticiden, ze moeten lokaal geproduceerd worden, ze moeten snel bij de boer worden bezorgd en ze kunnen niet jaren op de plank worden bewaard. Allemaal niet zo aantrekkelijk, commercieel gesproken. Toch groeit de commerciële markt voor biolo-



gische bestrijding. Wereldwijd zijn er tientallen bedrijven die ruim honderdvijftig soorten natuurlijke vijanden produceren en verkopen. De huidige marktaandeel van commerciële biologische bestrijding is ongeveer tweehonderd miljoen euro per jaar.

De sluipwesp *Cotesia glomerata* parasiteert rupsen van het groot koolwitje © Hans Smid, www.bugsinthepicture.com

Rond het jaar 2030 zou eenderde van alle plagen wel eens onder de duim kunnen worden gehouden met biologische bestrijding. Nog eens eenderde kan worden voorkómen door planten resistent te maken tegen plagen. Het resterende deel kan dan door een boekje van andere methoden worden bestreden, zoals preventie, cultuurmaatregelen en slim gebruik van chemische verbindingen die al dan niet door de plant zelf worden aangemaakt bij aanval door een plaag.

* Costanza et al., 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature* 387: 253-260.

Onkruid vergaat niet zonder insecten

door Louis Schoonhoven

‘Onkruid vergaat niet’, wordt wel gezegd. Maar voor een recht-gearde plantenkenner geldt eerder: ‘onkruid bestaat niet’. Wat voor de een onkruid is, is voor de ander gewoon een mooie plant. Onkruid is uiteindelijk niets meer dan een plant op een plaats waar iemand hem niet wil hebben. Dat zijn dus ook planten die concurreren met onze landbouwgewassen. Oogstverliezen door onkruiden bedragen wereldwijd ongeveer negen procent. Niet zelden zijn onkruiden exoten die van oorsprong niet in een bepaald gebied voorkwamen. Een beroemd voorbeeld is de geschiedenis van de Amerikaanse *prickley pear* in Australië. In 1839 bracht een Australische landeigenaar enkele potten met opuntia's vanuit Sydney naar zijn huis in Scone, 250 kilometer verderop. ‘Deze cactussen zouden een mooie heg rond zijn woning kunnen vormen’. En inderdaad, de *prickley pear* groeide snel tot een goede afscheiding. De schijven waar de cactus uit is opgebouwd bleken bovendien goed veevoer in tijden van droogte. Tevredenheid alom!

Toch ging het mis. Restanten van de snel groeiende cactussen werden gedumpt op ongebruikte terreinen. Daar ontwikkelde de van origine Amerikaanse plant zich tot een onbeheersbaar onkruid. Het bleek noch met mechanische middelen, noch met branden of andere paardenmiddelen te bedwingen. Natuurgebieden en cultuurterreinen werden in rap tempo overwoekerd met cactussen van één tot twee meter hoogte. De vegetatie werd ondoordringbaar voor mens en dier. Boeren moesten hun landerijen prijs geven en hun waardeloos geworden boerderijen verlaten. Alleen al in de staten Queensland en New South Wales was in 1925 al 25 miljoen hectare land onbruikbaar geworden.

In 1920 kwam de Australische overheid in actie. In de strijd tegen landverlies werd de *Commonwealth Prickley Pear Board* opgericht. Het eerste doel van deze organisatie was het vinden van insecten die het onkruid konden terugdringen of verdelgen. De zoektocht begon in het land van herkomst: Amerika.

Professor Louis Schoonhoven is emeritus hoogleraar entomologie van Wageningen Universiteit

Verscheidene insectensoorten uit de rijke Amerikaanse fauna bleken de opuntia's in Australië wel aan te tasten, maar niet echt effectief te onderdrukken.

In 1926 werd alsnog de grote slag geslagen met de verspreiding van een nietig Argentijns motje, *Cactoblastis cactorum*. De rupsjes van dit insect graven tunneltjes in de cactusschijven en groeien snel. Binnen twee jaar vernietigden zij immense cactuspopulaties. Slechts dorre plantendelen en uitgeholde schijffrestanten bleven over (figuur 1). In 1939 kon de *Board* zichzelf opheffen: missie geslaagd! Insect en opuntia komen beide nog steeds in Australië voor. Maar nu houden ze elkaar in lage aantallen in evenwicht.

figuur 1 De larven van *Cactoblastis* maken korte metten met de *prickley pear* (foto: Graham Prichard)



Invasie van varentjes

Het succesverhaal van het motje tegen de cactus laat zien hoe wilde planten in de natuur in toom worden gehouden door een samenspel met planteneters. Ook bij waterplanten is dat dikwijls het geval. Dat laat het voorbeeld van het vlotvarentje *Salvinia molesta* zien (figuur 2). Dit twee tot 10 centimeter lange, drijvende waterplantje komt oorspronkelijk uit Brazilië. Mensen hebben het verspreid over vele tropische en subtropische gebieden. Buiten zijn oorspronkelijke leefgebied veroorzaakte zijn snelle en onbegrensde groei op veel plaatsen ernstige problemen. Op het wateroppervlak kan het wel tot één meter dikke lagen vormen. Hele meren en rijstvelden kunnen er mee worden bedekt en waterwegen raken volledig verstopt. Hoe desastreus de gevolgen kunnen zijn blijkt uit een ontsnapping in 1972 van enkele plantjes in het stroomgebied van de rivier de Sepik in Papoea Nieuw Guinea. In acht jaar tijd groeiden zij uit tot matten met een omvang van 250 vierkante kilometer en een totaal gewicht van twee miljard kilo. De versterking van de waterhuishouding ontwrichtte het dagelijks leven in een groot gebied. Hele dorpen moesten uiteindelijk worden verlaten. In Brazilië is het vlotvarentje de waardplant van een minuscule snuitkevertje. Een paar duizend van deze twee millimeter grote kevertjes werden losgelaten in een Australisch meer, dat bedekt was geraakt met een enorme vlotvarenlaag. Daar bleek het insect zich in minder dan een jaar tot meer dan honderd miljoen individuen te hebben vermeerderd. Al fokkend ruimden de kevertjes dertig miljoen kilo *Salvinia* op. Ook in Afrika en Azië werd het beestje in de afgelopen decennia met groot succes ingezet tegen de voorheen onhandelbare massa's vlotvarens. Het werd een schoolvoorbeeld van biologische onkruidbestrijding

Niet alleen succes

Niet alle voorbeelden van onkruidbestrijding met insecten zijn succesverhalen geworden. Ongeveer dertig procent van alle onkruidbestrijdingoperaties met insecten was volledig succesvol. In andere gevallen zijn de resultaten dikwijls niet meer dan matig te noemen. Meer dan eens mislukte het zelfs totaal. Het zwakste punt van deze methoden blijkt de onvoorspelbaarheid. Die wordt vooral veroorzaakt door de vele verschillende factoren die invloed hebben op de insecten. Een tweede nadeel van deze bestrijdingsmethode is de tijd die nodig is voor je resultaat ziet. Toch zijn de voordelen evident. Het voorbeeld van de Amerikaanse cactussen in Australië laat zien hoe een effect blijvend kan zijn.

Het enige blijvende effect van chemische en mechanische onkruidbestrijdingsmethoden zijn doorgaans de benodigde aandacht en de kosten. De ontwikkelingskosten van biologische bestrijding zijn relatief bescheiden. Het toetsen van een kandidaat-onkruidvreter – eet hij geen andere plantensoorten, kan hij tegen



figuur 2 Het vlotvarentje en zijn minuscule belager

het plaatselijke klimaat, hoe kweken we hem massaal? – kost gemiddeld drie tot vijf mensjaren aan onderzoek. In het geval van de Australische cactusplaag werden 49 insectensoorten onderzocht. Daarvan werden er 24 in het veld losgelaten, waarvan de helft goed bleek te overleven. Toch wist uiteindelijk alleen het Argentijnse motje de cactusplaag te decimeren. Deze getallen staan in scherp contrast met de veel hogere ontwikkelingskosten van chemische pesticiden. Daar wordt slechts één bruikbare stof gevonden na het testen van tweehonderd duizend chemicaliën. Behalve de milieuvriendelijkheid van biologische onkruidbestrijding – alleen het doelorganisme wordt aangetast, er blijven geen smerige stoffen achter na de behandeling, er zijn geen gezondheidseffecten – is ook het economische plaatje aantrekkelijk. Traditionele bestrijdingsmethoden hebben een gemiddelde kosten-batenverhouding van één op 2,5. Bij biologische onkruidbestrijding bedragen de baten vaak meer dan tien maal de kosten, in sommige gevallen zelfs meer dan honderd maal! Als je dan ook nog weet dat er op de wereld anderhalf keer zoveel geld wordt uitgegeven aan herbiciden als aan insecticiden, dan wacht onkruidbestrijding via biologische middelen – na het nodige vervolgonderzoek – nog een grote toekomst.



© Sven Klaschik / iStockphoto

*Meer dan de helft van alle bekende insecten leeft van planten.
Maar planten laten zich niet zomaar opeten.
'Er is een continue wapenwedloop aan de gang tussen de eters
en hun eten', vertelt insectendeskundige Peter de Jong.*

De wapenwedloop tussen plant en insect

door Peter de Jong

Meer dan de helft van alle beschreven insecten is 'fytofaag'. Dat wil zeggen dat ze planten eten. Die insecten zijn goed aangepast aan hun voedsel. Ze hebben bijvoorbeeld gespecialiseerde monddelen, waarmee ze bepaalde delen van planten zo goed mogelijk kunnen verorberen. Hun gedrag is erop gericht om hun voedselplanten goed te kunnen vinden. Veel insecten zijn zelfs gespecialiseerd op één specifieke voedselplant. De rups van de monarchvlinder bijvoorbeeld (figuur 1), eet alleen van melkkruid. Die plant is normaal gesproken giftig voor plantenetende insecten. Maar op één of andere manier is deze rups in staat om dat gif te omzeilen.

Niet alleen de insecten passen zich aan hun voedsel aan. Ook de plant wapent zich tegen zijn belagers. Denk maar eens aan stekels, doorns, of branderige haren. Hoe is deze situatie ontstaan? Hoe verdedigen planten zich tegen insectenvraat, en hoe 'ontmantelen' sommige insecten deze verdediging?

Natuurlijke selectie in een notendop

Het antwoord ligt in de natuurlijke selectie. Tussen een aantal individuen van één bepaalde soort zie je verschillen in allerlei kenmerken. Neem het tweestippelige lieveheersbeestje. Sommigen zijn wat groter, anderen juist klein. De kleur rood van hun dekschildjes varieert, net als de grootte van hun stippen. Sommige exemplaren zijn overwegend zwart en hebben rode in plaats van zwarte stippen, soms meer of minder dan twee. Er zijn zelfs exemplaren die helemaal geen dekschildjes hebben. Een deel van deze variatie is een effect van de omgeving op het lieveheersbeestje. Als bijvoorbeeld een larve van het lieveheersbeestje bij toeval maar weinig bladluizen tegenkomt (figuur 2), zal hij niet zo hard groeien als andere larven. Als volwassen beest zal hij dan ook relatief klein zijn. Een ander deel van de variatie heeft een erfelijke basis. Het kleurpatroon op de dekschilden, bijvoorbeeld, wordt bepaald door een aantal genen, die worden doorgegeven van ouder op kind. Het is deze erfelijke variatie die belangrijk is voor het proces van natuurlijke selectie.

Erfelijke variatie

Erfelijke variatie ontstaat door zogenoemde mutaties: veranderingen in de genetische codes. Door schrijffoutjes bij het kopiëren, of door omgevingsfactoren zoals uv-stralen van de zon, ontstaan er voortdurend kleine afwijkingen in het erfelijke materiaal. Wanneer dit in de geslachtscellen gebeurt, zullen die afwijkingen worden doorgegeven aan het nageslacht. Meestal zijn genetische afwijkingen niet gunstig voor de drager

Dr. Peter de Jong is als evolutionair entomoloog verbonden aan het Laboratorium voor Entomologie van Wageningen Universiteit



figuur 1 De rups van de monarchvlinder gebruikt het gif van melkkruid om zelf on-eetbaar te worden

© Wil Meinderts / Foto Natura

ervan. Ze kunnen zelfs dodelijk zijn. Zulke afwijkingen verdwijnen dan vanzelf uit de populatie van deze soort. Maar er ontstaan zoveel afwijkingen, dat er een goede kans is dat er af en toe eentje bij zit die toevallig gunstig is voor de drager. Zo'n afwijking wordt doorgegeven aan het nageslacht en zal dus bij steeds meer individuen voorkomen. Nieuwe variatie wordt 'geboren' door een toevallige mutatie. Wanneer hij een gunstige uitwerking heeft op de drager, neemt hij in frequentie toe. Dit is de basis van natuurlijke selectie. En die natuurlijke selectie vindt bij alle soorten plaats. Bij planten en bij planten-etende insecten.

Giftig is beter

Wanneer een bepaalde plant wordt aangevreten door insecten is dat niet goed voor zo'n plant. In het ergste geval kan de plant er zelfs aan doodgaan. Maar zelfs als dit niet gebeurt, dan is een plant die *niet* wordt aangevreten beter af. Het belangrijkste is misschien nog wel dat al die insectenvraat ten koste gaat van het aantal zaden of stuifmeelkorrels die de plant kan produceren. Want zelfs al herstelt de plant van de vratschade, de energie die daarvoor nodig is moet ergens vandaan komen. Omdat je energie maar één keer kunt gebruiken houdt je dus minder over voor de productie van nageslacht. Wanneer nu door een toevallige mutatie een plant is ontstaan die een chemisch stofje maakt dat giftig is voor de insecten die ervan eten, wordt zo'n plant minder aangevreten dan zijn soortgenoten. Die plant zal uiteindelijk meer zaden kunnen produceren. Omdat het hier over een mutatie in het erfelijke materiaal ging, zullen alle planten die uit deze zaden komen dat giftige stofje ook produceren. Het aandeel giftige planten in de volgende generatie zal daarmee toenemen. Het kenmerk 'giftig' neemt door natuurlijke selectie in frequentie toe: een-nul voor de plant.

vraag 1 Wat gif is voor de één, kan voor de ander een lekkernij of een roesmiddel worden. Welke gifstoffen uit planten hebben mensen leren 'waarderen'?

Rupsen van de monarchvlinder slaan het gif van de plant in hun lijf op

Het insect slaat terug

Nu vindt er bij één van de insecten die vroeger van de plant aten een mutatie plaats. Toevallig, net zoals dat bij de plant gebeurde. Na ontelbare mutaties die geen gunstig effect hadden, is dat nu eens een mutatie die ervoor zorgt dat het gif van de plant onwerkzaam wordt gemaakt. Dit insect kan nu van de giftige plant eten: het is resistent tegen de afweer van de plant. En niet alleen dat, hij heeft aan tafel ook geen concurrentie meer van zijn soortgenoten of van andere insectensoorten die *niet* resistent zijn geworden. Het aantal nakomelingen dat dit resistente insect produceert zou dus wel eens hoger kunnen liggen dan van zijn soortgenoten. Het kenmerk 'resistentie' zal in frequentie kunnen toenemen. Sterker nog: als het voordeel van het eten van deze giftige plant maar groot genoeg is, kan dit insect zich ontwikkelen tot een echte specialist, eentje die uitsluitend nog van deze giftige plant gebruik maakt. Nieuwe mutaties in het insect, die ervoor zorgen dat het insect juist het gif van de plant gebruikt om de plant makkelijk te kunnen vinden, kunnen daarbij helpen. Omdat planten-etende insecten hun voedsel vooral vinden door gebruik te maken van geuren, is dit idee niet eens zo



onwaarschijnlijk. Het gif wordt dan ineens een lokstof voor de aangepaste insecten. Een andere mogelijkheid is dat het insect het gif van de plant in zijn lichaam kan opslaan. Daardoor wordt het insect zelf giftig voor insecteneters. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de monarchvlinder: de rupsen slaan het gif van het melkkruid op in hun eigen lichaam. Ze 'adverteren' die giftigheid door hun felle kleur. Daardoor wordt de kans dat ze worden opgegeten door bijvoorbeeld vogels veel kleiner. De monarchvlinder is dus een echte specialist geworden wat betreft zijn voedselkeuze: hij eet uitsluitend van het melkkruid.

En zo werd de stand één-één tussen de planten en het plantenetende insect. We zijn weer terug bij af. De giftige plant wordt nu gegeten door een resistent insect. Elke mutatie die nu de vraat door dit insect vermindert zal worden gehandhaafd door natuurlijke selectie. De plant kan een variant van het gif produceren die (nog) niet door het insect geneutraliseerd kan worden. En dan is het weer wachten op een nieuwe mutatie bij het insect. Biologen spreken in zo'n geval van co-evolutie: de wederzijdse aanpassingen van verschillende soorten aan elkaar. In dit geval heeft deze co-evolutie de vorm aangenomen van een heuse wapenwedloop.

Kosten van de wapenwedloop

Er zit nog wel een soort 'rem' op deze wapenwedloop. In de eerste plaats zijn niet alle denkbare aanpassingen echt haalbaar. De bestaande genetische variatie beperkt het aantal opties voor verdere aanpassing. Daarnaast zijn er kosten verbonden aan het handhaven van verdediging- en aanvalsmechanismen. Het produceren van een giftige stof kost energie, en energie kun je maar een keer uitgeven. De energie die een plant in

figuur 2 Het uiterlijk van een lieveheersbeestje is een gevolg van omgeving en genetica

© Stephen Dalton / Foto Natura

vraag 2 Veel planten hebben een verdediging die in de hele plant op elk moment aanwezig is. Gif is daarvan een voorbeeld. Daarnaast bestaat 'geïnduceerde' verdediging. Die wordt pas in gang gezet zodra een insect van de plant begint te eten. Waarom zouden planten niet voor de zekerheid altijd de verdediging op peil houden.

de verdediging stopt kan bijvoorbeeld ten koste gaan van de zaadproductie. Dit geldt net zo goed voor de zogenoemde detoxificatie van het gif door het insect. De instandhouding hiervan kan ten koste gaan van het aantal gelegde eieren. Het is dus voordelig voor zowel de plant als het insect om de investering in de wapenwedloop te minimaliseren. In experimenten is aangetoond dat een plant-met-verdediging die je een tijd kweekt in de afwezigheid van insecten, zijn verdediging kwijtraakt. De plant had de verdediging immers niet meer nodig, en op dat moment zijn varianten die meer energie in hun zaadproductie steken en minder in afweer, in het voordeel.

Dit voorbeeld geeft het principe van co-evolutie en de wapenwedloop juist weer. Maar het is wel een vereenvoudigde weergave van wat er in de natuur plaatsvindt. De laatste paar jaar hebben biologen geleerd dat de wederzijdse aanpassingen in co-evoluerende soorten niet op elke plek op aarde op dezelfde manier plaatsvindt. Men spreekt daarom van een 'geografische mozaïek van co-evolutie'. Op sommige plaatsen vindt er inderdaad wederzijdse aanpassing van beide soorten aan elkaar plaats. Dit noemen we dan een 'co-evolutionaire hot-spot'. Er zijn ook 'cold-spots', bijvoorbeeld op locaties waar maar één van de soorten voorkomt. Doordat insecten en zelfs planten zich verspreiden over de aarde treedt er voortdurend menging op van de kenmerken. Daardoor is het mogelijk dat er op een bepaalde plaats ineens schijnbaar onaangepaste individuen voorkomen. Bovendien staan individuen van een bepaalde soort bloot aan selectiedruk uit verschillende richtingen. Die verschillen in selectiedruk kunnen geografisch variëren. De aanpassing aan een bepaald 'probleem' kan worden beperkt door de eisen die een ander plaatselijk 'probleem' aan het betreffende insect of de betreffende plant stelt.

Kleine stapjes of een grote sprong

Tot nu toe hebben we aangenomen dat een mutatie een plant in één keer resistent maakt tegen insectenvraat en dat een mutatie bij het insect hem in één keer ongevoelig maakt voor het gif van een plant. Dit gebeurt in de praktijk ook echt. We spreken bij die mutaties van een 'major gene'. Maar in veel andere gevallen wordt de aanpassing eigenlijk bepaald door het effect van een aantal genen samen. De afzonderlijke genen dragen elk een beetje bij aan de aanpassing. In die gevallen spreken we van 'minor genes' en van 'polygene' aanpassingen. Of een aanpassing 'mono-' of 'polygeen' is, hangt waarschijnlijk samen met de kracht

Onze landbouw is een paradijs voor plantenetende insecten

van de selectiedruk. Als een plant bijvoorbeeld door een mutatie een giftige stof gaat produceren die alle belagers van een bepaalde insectensoort resoluut doodt, dan kun je je voorstellen dat er maar één manier is om je daaraan aan te passen: het insect zal moeten wachten op een mutatie die hem in één klap in staat stelt te overleven op die plant. Dat zal dus een 'major gene mutatie' moeten zijn. Maar als insecten al wel kunnen overleven op een matig giftige plant, dan zal een insect met een 'minor gene mutatie' ook al een voordeel hebben. Een klein effect op zijn vermogen het gif

onwerkzaam te maken kan hem al op voorsprong zetten tegenover zijn minder goed ‘bewapende’ soortgenoten. In de volgende generatie insecten geldt dit weer, zodat je een opeenstapeling kunt verwachten van mutaties met elk maar een klein effect op de resistentie van het insect. Op die manier ontstaat polygene resistentie.

Wapenwedloop op de akkers

Nu we de erfelijke basis van resistentie begrijpen, kunnen we hem toepassen in de landbouw. Want met onze manier van landbouw bedrijven hebben we een paradijs gemaakt voor plantenetende insecten. We telen onze gewassen in relatief grote, homogene blokken. Bovendien zijn onze voedselgewassen vaak ‘vreemde’, geïntroduceerde plantensoorten. Dit betekent dat lokale plantenetende insecten letterlijk nieuw voedsel voorgeschoteld krijgen dat nog niet is bewapend tegen hun vraatactiviteiten. Daarnaast bestaat de kans dat in die landbouwgebieden de natuurlijke vijanden van de betreffende plantenetende insecten ontbreken. In dat geval kunnen deze insecten ongeremd hun gang gaan. Het gewas wordt dan zeer vatbaar voor plagen.

De boeren hebben vanzelfsprekend geprobeerd dit probleem te verhelpen. Eén van de manieren om onze voedselgewassen te beschermen tegen insectenvraat is niet te wachten op spontane mutaties van de planten, maar zelf resistentie introduceren. Dit is een onderdeel van het vakgebied plantenveredeling. Resistentie was ooit misschien van nature aanwezig in de voorgangers van onze landbouwgewassen. Maar doordat wij als mensen vooral oog hadden voor het maximaliseren van de opbrengst van de gewassen, is deze resistentie langzaam maar zeker verloren gegaan. De energie die een plant in de hogere opbrengst steekt moet immers ergens vandaan komen.

De oplossing hiervoor is selectief kweken: gebruik alleen die planten die resistentie laten zien tegen insectenvraat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de genetische variatie die nog aanwezig is in de betreffende planten. Je kunt ook ‘hybridiseren’, dat wil zeggen: kruisen met bijvoorbeeld wilde verwanten. Op deze manier worden de planten als het ware ‘herbewapend’ om hun belagers het hoofd te bieden. De genetica achter deze herbewapening is vergelijkbaar met de natuurlijke situatie, zoals hierboven beschreven: er kan één resistentiegen geïntroduceerd worden, of er kan geprobeerd worden een polygene resistentie te introduceren. Dit laatste is lastiger, kost meer tijd en is dus duurder. Maar deze polygene resistentie is wel stabiel tegen ‘kraken’ door nieuwe genetische wapens van insecten. Ondanks het tijdrovende en dure proces van klassieke plantenveredeling, levert het enorm veel op. De economische opbrengst van resistente gewassen kan netto wel een factor 120 hoger zijn dan van niet-resistente variëteiten.

Nog grotere genetische sprongen

Met moderne biotechnologie kun je de nadelen van de klassieke veredeling in sommige gevallen omzeilen. Losse genen – zelfs van niet-verwante soorten – kunnen tegenwoordig op ingenieuze wijze in het erfelijke materiaal van onze gewassen worden ingebouwd. Een bekend voorbeeld hiervan zijn de zogenoemde *Bt*-gewassen. Deze bevatten genen van de bacterie *Bacillus thuringiensis*, die coderen voor de aanmaak van een insectendodend gif in de plant. Op deze manier worden deze gewassen bewapend tegen insectenvraat.



figuur 3 Barbarakruid in goeden doen...
© Agence Images / Hollandse Hoogte

vraag 3 Zouden insecten resistent kunnen worden tegen genetisch gemodificeerde Bt-gewassen?

figuur 4 ...en na bezoek van de aardvlo.

Bron: www.inra.fr



Ondanks de herbewapening van onze gewassen is de wapenwedloop niet afgelopen. Na de introductie van resistentie in de planten neemt het proces van natuurlijke selectie het weer gewoon over. Er zullen onder de insecten opnieuw mutanten ontstaan die de plantenverdediging kunnen omzeilen, en daarna in frequentie toenemen. Daarom is het onderzoek naar deze wapenwedloop – met name in de vrije natuur – heel belangrijk. De miljoenen jaren van evolutie hebben geleid tot ingewikkelde genetische mechanismen in zowel de planten als insecten. Pas als je deze genetische mechanismen goed hebt bestudeerd, kun je er op een verstandige manier op ingrijpen. Je wilt per slot van rekening weten wat jouw ingrijpen teweeg gaat brengen.

antwoord 1 Strikt genomen is nicotine in tabaksplanten een gif dat insectenvraat tegengaat. Voor rokers is het de stof die sigaretten een soort roes geeft. Voor thc uit cannabis geldt hetzelfde.

antwoord 2 Alles heeft een prijs. Bij geïnduceerde verdediging worden er alleen energie en grondstoffen verbruikt als dat nodig is, namelijk als de insecten aan het vreten zijn. Bij permanente verdediging verspillen de planten energie op momenten dat ze niet worden aangevallen door insecten.

antwoord 3 Dat blijkt inderdaad te gebeuren, al moet het wel een ‘major gene mutatie’ zijn. Plantenetende insecten zijn waarschijnlijk niet eerder met de door de bodembacteriën geproduceerde Bt-toxinen in aanraking gekomen. De dosis gif die in de planten tot expressie wordt gebracht zal zo groot zijn dat insecten die er niet resistent tegen zijn, dood gaan. Het is in dit geval dus niet mogelijk dat de insecten een ‘beetje resistent’ zijn tegen de toxinen; er zal gewacht moeten worden op een mutatie die het insect in een keer resistent maakt.

Biologische bestrijding met hulp van sluipwespen:

De vrouwen doen het werk

door Ties Huigens

Biologische bestrijding van veel plaaginsecten gebeurt met hulp van sluipwespen. Uiteraard leggen alleen vrouwelijke sluipwespen eitjes in of op plaaginsecten. De larven die uit die eitjes komen vreten het plaaginsect vervolgens op. Mannetjeswespen lijken daarmee eigenlijk nutteloos voor de biologische bestrijding. Voor bedrijven die 'biologische bestrijders' produceren lijkt het dus handig om alleen maar vrouwtjeswespen te kweken. Dat is tot op zekere hoogte mogelijk: veel sluipwespensoorten produceren alleen maar dochters.

Voorplanting zonder mannen

De meeste sluipwespen hebben een vorm van seksuele voortplanting die uniek is in het dierenrijk. Vrouwtjeswespen bepalen namelijk zelf of ze dochters of zonen produceren. Een bevrucht eitje wordt een dochter en een onbevrucht eitje ontwikkelt zich tot een zoon.

Sommige sluipwespen doen aan uniseksuele voortplanting. Daarbij produceren de vrouwtjes alleen maar dochters. Die uniseksualiteit kan in sommige gevallen genetisch bepaald zijn. Maar in andere gevallen heeft een bacterie de regie over de voortplanting overgenomen (figuur 1). *Wolbachia* bacteriën manipuleren de voortplanting van de sluipwespen op zo'n manier dat ze zelf optimaal kunnen meeliften naar toekomstige generaties wespen. De bacteriën hebben belang bij vrouwelijke nakomelingen. Ze kunnen immers alleen via eicellen meeliften omdat die veel meer celvocht bevatten dan de veel kleinere spermacellen. In tenminste vijftig wespensoorten die in de biologische bestrijding worden gebruikt, veroorzaken bacteriën uniseksualiteit. In dat geval komen zelfs uit onbevruchte eitjes dochters. In bijna al die soorten heeft dit geleid tot het uitsterven van de mannetjes. Geef je die vrouwtjes vervolgens een antibioticum, waarmee *Wolbachia* wordt vernietigd, dan produceren de wespen alleen nog maar zonen uit onbevruchte eicellen. Zelfs als ze paren met – door antibioticumbehandeling ontstane – mannetjes, dan nog

Dr. Ties Huigens werkt bij het Laboratorium voor Entomologie van Wageningen Universiteit

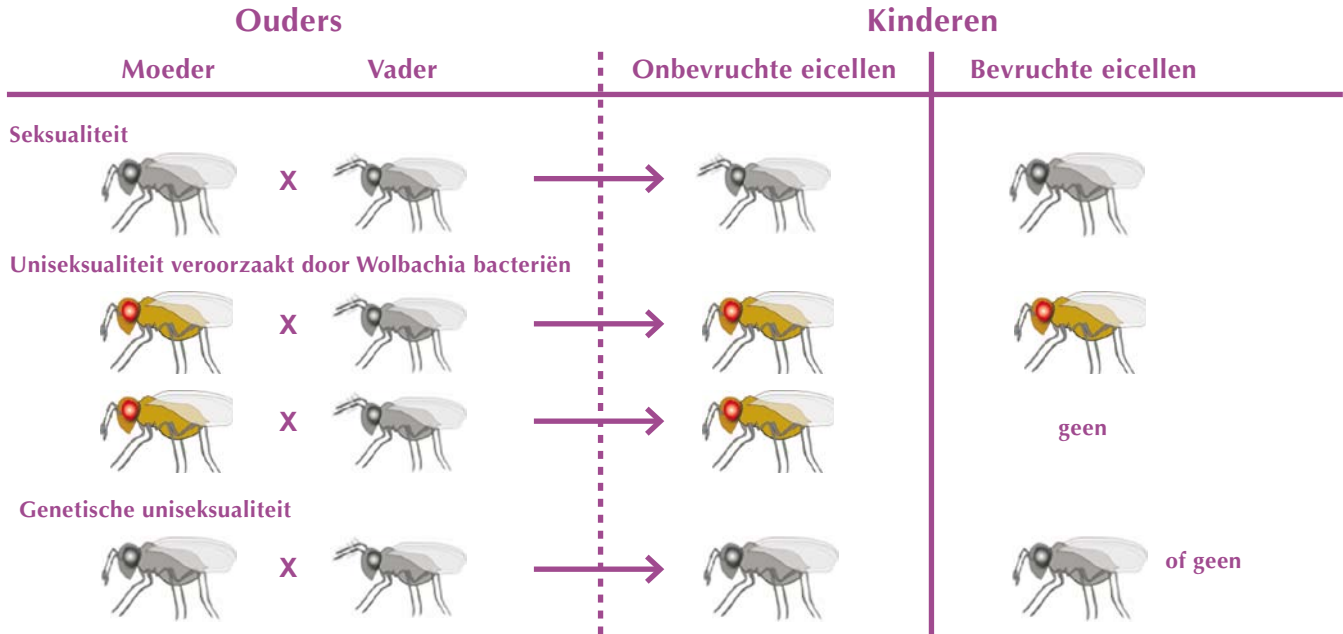
kunnen ze geen dochters produceren uit bevruchte eicellen. Een voorbeeld hiervan is de sluipwesp *Encarsia formosa*. Die sluipwesp wordt veel in kassen ingezet tegen wittevlies.

Minuscule *Trichogramma* sluipwespen (figuur 2) leggen hun eitjes in eieren van verschillende vlinders en motten. In die eieren ontwikkelen de sluipwespen zich ten koste van de rupsen-embryo's. Ze worden daarom veelvuldig ingezet in de bestrijding van rupsenplagen. Wereldwijd is *Trichogramma* sinds 1975 de meest gebruikte sluipwesp. Jaarlijks worden ze op meer dan acht miljoen hectare gewas losgelaten.

De seksuele voortplanting van een aantal *Trichogramma*-soorten wordt door *Wolbachia* bacteriën behoorlijk in de war geschopt. Besmette vrouwtjes produceren net als andere besmette soorten alleen maar dochters. Maar als besmette vrouwtjes in het laboratorium met antibiotica worden behandeld zijn ze wél weer in staat tot seksuele voortplanting. Ze produceren dan zonen uit onbevruchte eicellen en dochters uit bevruchte eicellen, net zoals onbesmette vrouwtjes dat doen.

Naast deze vorm van uniseksuele voortplanting, die wordt opgelegd door bacteriën, zijn er ook uniseksuele sluipwespen waarbij hun bijzondere manier van voortplanten een genetische basis heeft. Bij deze soorten ligt de eigenschap beschreven in het DNA in de celkern. Een voorbeeld is de sluipwesp *Trichogramma cacoeciae*. In de biologische bestrijding wordt deze soort ingezet om rupsenschade tegen te gaan. Andere soorten bestaan zowel uit seksuele als uit genetisch uniseksuele wespen, andere soorten bestaan weer uit alleen maar vrouwtjes met een genetische vorm van uniseksualiteit.

Seksuele en uniseksuele voortplanting bij sluipwesten



Vrouwkje (onbehaarde antennes) onbesmet



Mannetje (behaarde antennes) onbesmet



Vrouwkje (onbehaarde antennes) besmet met Wolbachia bacteriën

figuur 1

Bron: Ties Huigen

Elk voordeel heeft zijn nadeel

Een populatie sluipwespen die alleen maar vrouwtjes produceert, groeit in principe sneller dan een populatie die 'energie verspilt' aan het maken van mannetjes. Zulke uniseksuele wespen zijn dan ook goedkoper te kweken door de bedrijven die actief zijn in de biologische bestrijding. Bovendien heb je minder sluipwespen nodig bij de eigenlijke biologische bestrijding, want de vrouwen kunnen in hun eentje het werk doen. Als ze in een gewas eerst nog naar mannetjes zouden moeten gaan zoeken zouden er veel meer diertjes nodig zijn.

Er zijn ook nadelen. Bij uniseksuele soorten is er geen uitwisseling van genetische informatie. Alle dieren hebben nagenoeg dezelfde eigenschappen. Wanneer de omgeving of de omstandigheden veranderen, dan loop je het risico dat de sluipwespen zich niet kunnen aanpassen. Binnen een soort waarbij mannetjes en vrouwtjes wel continu erfelijk materiaal mixen, is ieder individu

uiteindelijk genetisch uniek. De kans dat er één of meer dieren zijn die zich aan een veranderende omgeving kunnen aanpassen is dan veel groter.

Seksuele of toch liever uniseksuele wespen

De potentiële voordelen van het gebruik van uniseksuele wespen zijn nog niet voldoende onderzocht. Naar schatting vijftien procent van de sluipwespensoorten die worden ingezet in de biologische bestrijding is uniseksueel. Er zijn talloze voorbeelden van succesvolle bestrijdingsprogramma's met die uniseksuele wespen, zoals in het geval van *Encarsia formosa*. Toch zijn er ook minder succesvolle voorbeelden. Hetzelfde geldt voor seksuele sluipwespen; er zijn succesverhalen en er zijn teleurstellingen.

Hoe haal je de seks uit de wesp?

Het valt nog niet mee om gewone, seksuele sluipwespen met *Wolbachia* bacteriën te besmetten om ze te veranderen in uniseksuele wespen. Er is wel geprobeerd om sluipwespen eitjes met behulp van minuscule naaldjes met bacteriën te injecteren. Dat lukte in principe wel, maar de besmetting werd slecht overgedragen naar de volgende generaties wespen. Uiteindelijk ging de besmetting en de uniseksuele voortplanting zelfs weer verloren. Een minder bewerkelijke methode is om besmette en onbesmette wespen dezelfde voedselbron te laten delen. Als we in het laboratorium bijvoorbeeld onbesmette *Trichogramma* wespen een vlinder ei laten delen met sluipwespen die de bacterie bij zich dragen, dan blijken ze soms wel in veertig procent van de gevallen besmet te raken. De dochters die vervolgens worden geboren zijn ook besmet. Welke methode in de praktijk het beste werkt is nog onderwerp van onderzoek.



figuur 2 Vrouwelijke sluipwesp staat klaar om eitjes van het groot koolwitje te parasiteren

© Nina Fatouros, www.bugsinthepicture.com

De speurneus van een sluipwesp

door Hans Smid en Tibor Bukovinszky

Sluipwespen zijn de bekendste biologische bestrijders. Met gewone wespen hebben deze diertjes niets te maken. Het zijn kleine, tengere insecten die heel goed zijn in het opsporen van hun slachtoffers. Die slachtoffers – of beter gezegd, gastheren waar zij hun eitjes in kunnen leggen – zijn meestal de goed gecamouflerde eitjes of rupsen van vlinders. Eigenlijk is het een wonder dat de sluipwespen die slachtoffers zo goed weten te vinden op de oneindige akkers.

Bij het zoeken naar eitjes en rupsen maken sluipwespen vooral gebruik van hun reukvermogen. Niet dat de gastheren zelf zo sterk ruiken, maar de planten waarvan ze eten produceren een kenmerkende geur die alleen wordt afgegeven als er insecten van de plant eten. De plant roept als het ware om hulp, en de sluipwespen komen maar al te graag helpen! De geuren die een plant produceert bij insectenvraat – de zogenoemde vraatgeïnduceerde geuren – zijn vaak specifiek voor de soort of zelfs de leeftijd van de rups die op de plant zit. Een sluipwesp kan dus van afstand ruiken welke gastheer er op een plant te vinden is.

Geurende cocktail

Een plantengeur, zoals spruitjeslucht, is een mengsel van honderden verschillende chemische stoffen. De samenstelling en de concentratie van al deze stoffen is bepalend om het geurmengsel als 'spruitjeslucht' te herkennen. Maar de spruitkoolplant waarop een rups aan het eten is, ruikt voor een sluipwesp toch net even anders dan een spruitkoolplant waarop geen rups eet. Om te begrijpen hoe de sluipwesp dat subtiele verschil kan ruiken, wordt onderzoek gedaan aan het zoekgedrag van sluipwespen. De insecten mogen in een proefopstelling kiezen uit verschillende plantengeuren. Omdat sluipwespen zich vliegend, tegen de wind in oriënteren, gebeurt dit onderzoek meestal in een windtunnel. Bij de luchtinlaat worden twee planten gezet: één bijvoorbeeld met rupsen die een dag geleden uit hun ei zijn gekropen, de ander met oudere rupsen. Wanneer een sluipwesp aan de andere kant

Dr. Hans Smid en dr. Tibor Bukovinszky werken beiden bij het Laboratorium voor Entomologie van Wageningen Universiteit

van de windtunnel wordt losgelaten mag zij kiezen: vliegt ze naar plant een of twee? Door tientallen sluipwespen achter elkaar te testen kan de onderzoeker zien welke geur aantrekkelijker is. In plaats van een windtunnel, kan een sluipwesp ook in een zogenoemde 'Y-buis reukmeter' tot een experimentele keuze worden gedwongen (figuur 1). Een sluipwesp herkent niet meteen alle vraatgeïnduceerde geuren. Maar de diertjes leren snel. Zoals een hond kan leren om een pootje te geven als hij daarvoor wordt



figuur 1 In een Y-buis kun je de voorkeur van een sluipwesp meten. Bron: Hans Smid

beloond met iets lekkers, zo kan een sluipwesp leren om de geur van een plant te onthouden als ze wordt beloond met gastheren. Als ze bij een bepaalde geur is beloond, gaat ze voortaan specifiek zoeken naar de plantensoort met die geur. Op die manier kan een sluipwesp zich snel aanpassen aan veranderingen in de aanwezigheid van gastheerplanten.

Langzaam leren is soms beter

Het onderzoek aan dit leervermogen laat zien hoe leren engeheugen zich ontwikkelen. Het leervermogen van diverse soorten sluipwespen is namelijk enorm verschillend. Sommige soorten leren heel snel. Al na één keer een gastheer te hebben gevonden op een plant, onthouden ze de geur van die plant gedurende vele dagen. Een andere soort heeft vele herhalingen nodig voordat ze de plantengeur kan onthouden. Maar is die snel lerende sluipwesp nu slimmer dan die langzaam lerende sluipwesp? Dat valt te bezien. Soms is het goed om snel te leren, maar meestal is het beter om het wat langzamer aan te doen. Alleen als informatie heel betrouwbaar is, is het slim om het na één ervaring op te slaan. Is de informatie minder betrouwbaar, dan is het slimmer om het eerst nog even te 'checken', dus te wachten of er vergelijkbare ervaringen komen. Die ervaringen moeten dan niet kort achter elkaar plaatsvinden, zoals bij veel rupsen op dezelfde plant. De informatie wordt pas echt betrouwbaar als de sluipwesp met langere tussenpozen 'bruikbare' rupsen vindt op verschillende planten van dezelfde soort.

Of de informatie snel of langzaam wordt opgeslagen door de sluipwesp, dat hangt af van de vlinders die deze dieren als slachtoffer kiezen. Vlindersoorten waar 'snel lerende sluipwespen' op af komen, zetten hun eitjes af in grote clusters tegelijk, op één plant die in een groep planten staat van dezelfde soort. De vlinder 'hoopt' dat alle rupsen die uit haar eitjes komen zo voldoende voedsel zullen vinden. Maar de snel lerende sluipwesp 'weet' na het vinden van de eerste rups dat er waarschijnlijk meer slachtoffers in de buurt zijn.

De vlindersoort die wordt geparasiteerd door een langzaam lerende soort sluipwesp, legt haar eitjes juist apart op allerlei verschillende soorten planten die ver uit elkaar liggen. De informatie die de sluipwesp krijgt van een enkele rups of ei is dus veel minder betrouwbaar. Deze sluipwesp kan beter wachten op meer informatie van andere planten uit de buurt.

Sluipwesp als speurhond

De combinatie van de goede reuk en het snelle leervermogen van sluipwespen maakt onverwachte toepassingen mogelijk. Zouden sluipwespen niet alleen kunnen worden gebruikt in biologische bestrijding, maar ook als alternatief voor dure en traag lerende

speurhonden? Het blijkt inderdaad dat sluipwespen en andere insecten zoals de honingbij, goed en snel kunnen worden getraind om bijvoorbeeld hasj of explosieven te kunnen vinden (figuur 2). Hongerige sluipwespen die de geur van DNT – een afgeleide stof van TNT, 'dynamiet' – aangeboden krijgen, gevolgd door een beloning met suikerwater, vliegen daarna in een windtunnelst direct naar een geurbron waar DNT in zit.

Maar hoe volg je zo'n speurende honingbij of sluipwesp? Niet aan een hondenriem! Er zijn wel proeven gedaan met laserdetectie (LINDAR, *light detection and ranging*). In een proefveld met DNT-geurbronnen bleek de dichtheid van vliegende honingbijen, zoals gemeten met LINDAR, goed overeen te komen met de verdeling van DNT bronnen. Een andere mogelijkheid is het bevestigen van een minizendertje op het insect. Dit kan momenteel alleen bij grotere insecten, zoals honigbijen of grotere sluipwespen. Maar de verdere miniaturisering van deze zendertjes maakt het wellicht mogelijk om in de toekomst ook kleinere insecten te volgen. De kleinste zendertjes wegen nu nog maar tweehonderd milligram en hebben een bereik van maar liefst twee kilometer!

Voor sluipwespen is nog een ander 'volgsysteem' bedacht. Getrainde insecten worden in een doosje gedaan waar vervolgens de te testen lucht door wordt geblazen. Een videocamera, gekoppeld aan een computer die het gedrag van de beestjes herkent, kan de reactie van de sluipwespen omzetten in een signaal. Toepassing van insecten als geurdetectoren is dus in principe al mogelijk. Maar er moet nog veel onderzoek worden gedaan voor het in de praktijk kan worden toegepast. Het aantal keren dat een insect 'loos alarm' geeft, of juist 'onterechte geruststelling' moet natuurlijk minimaal zijn. Insecten moeten dag in dag uit constante resultaten geven. En wat doe je wanneer je deze koudbloedige diertjes onder koude omstandigheden wilt inzetten? Er zijn nog vragen genoeg, voordat de douane of de explosieven opruimingsdienst, net als de biologische bestrijding sluipwespen kan inzetten.



figuur 2 Een sluipwesp kun je ook trainen om explosieven op te sporen
Bron: Hans Smid



© Hans Smid / www.bugsinthepicture.com

Planten zijn geen passieve dingen die daar maar een beetje staan te staan. Ze 'weten' drommels goed dat zij de hulp van sommige insecten goed kunnen gebruiken. En die hulp roepen zij op grote schaal in, vertelt Marcel Dicke, hoogleraar entomologie aan Wageningen Universiteit

Plant vertroetelt zijn lijfwachten

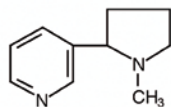
door Marcel Dicke

‘Een kasplantje!’ Veel dieper kun je als mens niet zinken. Als alle actie uit je lijf is gestroomd en alleen medische zorg je nog op de been houdt, dan heb je het trieste niveau van een kasplantje bereikt. Maar wie de taal van een echte kasplant verstaat – of om het even welke andere plant – die begrijpt zoveel minachting niet. In de praktijk blijken planten uitstekend in staat om zichzelf op geavanceerde manieren te verdedigen. Niet alleen passief, ook actief. Met zes tot tien miljoen soorten insecten op de wereld, waarvan de helft vegetariër, is er geen plant die niet in aanraking komt met plantetende insecten. Toch biedt de wereld een groene aanblik. Want planten verdedigen zich met twee slimme strategieën: de doe-het-zelf strategie en de lijfwachtstrategie.

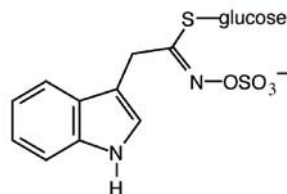
Doe-het-zelf verdediging voor planten

De doe-het-zelf strategie kent vele varianten. Planten kunnen zich verdedigen door middel van stekels, doorns, beharing, of een dikke waslaag. Dit is vaak een eerste barrière die veel planteneters moeten nemen om bij de smakelijke inhoud van de plant te komen. En als ze dan eindelijk een hap van de plant kunnen nemen, dan zit hun voedsel vaak vol met allerlei giftige stoffen.

Planten zijn een soort chemische fabrieken die een grote verscheidenheid aan gifstoffen kunnen maken. Zo bevatten zogenoemde kruisbloemige planten – kool hoort bij die groep – mosterdolie glucosiden. Dat zijn gifstoffen die veel planteneters vermijden. Andere planten bevatten grote hoeveelheden stoffen die de vertering van het voedsel door de planteneter hinderen (figuur 1).



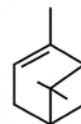
Nicotine



Glucobrassicine

Professor Marcel Dicke is hoogleraar entomologie aan Wageningen Universiteit

figuur 1 Enkele voorbeelden van secundaire metabolieten van planten zijn nicotine in tabak, het mosterdolie glucoside glucobrassicine in kool en alfa-pineen in naaldbomen.



α-Pineen

De meeste van die gifstoffen vallen onder de zogenoemde secundaire metabolieten. Ze heten ‘secundair’ omdat ze niet meteen noodzakelijk zijn voor de stofwisseling van de plant, maar ze helpen de plant wel te overleven in de strijd tegen belagers. Er zijn inmiddels meer dan honderdduizend van die stoffen bekend. Enkele belangrijke groepen zijn alkaloiden, zoals nicotine in tabak, terpenen, zoals azadirachtine in de Aziatische neemboom en fenolen, zoals tanninen, die wijn een wat bittere nasmaak kunnen geven.

Planten kunnen vleeseters roepen op het moment dat de nood aan de plant is

Gewapend tegen de doe-het-zelvers

Op hun beurt hebben veel vegetarische insecten verfijnde manieren ontwikkeld om de verdediging van de planten te doorbreken. Zo zijn er rupsen die ontgiftingsmechanismen hebben ontwikkeld om de mosterdolie glucosiden af te breken tot niet giftige bestanddelen. Deze rupsen hebben zich zó gespecialiseerd op kruisbloemige planten, dat ze de mosterdolie glucosiden zelfs gebruiken als ‘signaalstof’ bij het zoeken van de juiste voedselplant.

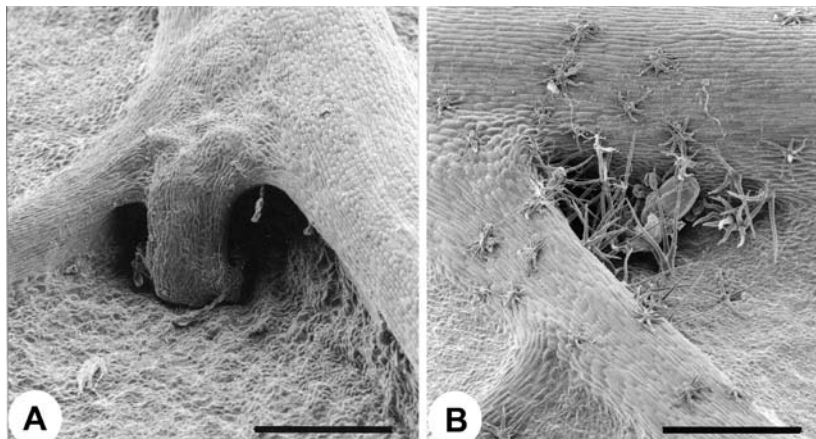
Maar de doe-het-zelf strategie is geen gefixeerde strategie. Planten reageren bijvoorbeeld actief op vretende insecten door meer gifstoffen te maken. De sterkte van de reactie kan zelfs afhankelijk zijn van de identiteit van de aanvaller: het ene insect krijgt waar nodig meer voor zijn kiezen dan de ander. Op die manier kan de plant zijn energie en grondstoffen flexibel inzetten, afhankelijk van de omstandigheden.

Lijfwachtstrategie

Niet alleen de plant, ook de planteneter heeft vijanden. Vegetarische insecten worden aangevallen door lieveheersbeestjes, roofwantsen of roofmijten. Daarnaast zijn er sluipwespen die hun eieren leggen in de plantenetende insecten, waarna de larven de planteneter van binnenuit opeten. Al die vijanden kunnen voor een flinke sterfte zorgen

figuur 2 Electronenmicroscopische foto van schuilplaatsen op (A) *Acer tegmentosum* en (B) *Styrax japonica* met een roofmijt in de schuilplaats. Balkje geeft een lengte van 0.5 mm weer.

Bron: D.J. O’Dowd, Monash University, Australië



onder de vegetariërs. Vanuit de plant gezien zou het goed zijn om samen te werken met de vleesetende insecten. En dat is dus precies wat planten doen: de lijfwachtstrategie. Er zijn planten die speciale schuilplaatsen bieden aan vleeseters (figuur 2). Dat kunnen minuscule holletjes zijn op de bladeren, waarin bijvoorbeeld roofmijten beschutting zoeken. Het kunnen ook grote, holle stekels zijn, waarin mieren nestelen (figuur 3 en 4). Sommige planten hebben ziekmakende bacteriën in de stekels. Dieren die zich aan de stekels verwonden worden dan meteen besmet. Behalve schuilplaatsen, kunnen planten ook voedsel leveren voor de vleeseters. Dat kan suiker zijn op bladsteeltjes of bladeren, waar mieren en sluipwespen op afkomen. Als de vleeseters de schuilplaatsen of de suikerbronnen gebruiken, dan zijn ze meteen in de buurt voor het geval planteneters de aanval op de plant inzetten. Wie bijvoorbeeld in de tropen wel eens een acaciaboom heeft aangeraakt, met daarop grote bolvormige stekels vol mieren, die weet hoe snel die mieren ter plaatse zijn.

Planten kunnen de vleeseters ook ‘roepen’ op het moment dat de nood aan de plant is. In reactie op vraatschade, kunnen planten een speciaal geurmengsel produceren dat als een SOS-sigitaal functioneert. Het trekt sluipwespen en andere vijanden aan die vervolgens de planteneter aanvallen. Dit is een actieve reactie van de plant. De productie van de geurstoffen komt pas op gang, nadat de plant is aangevallen. Bij alle plantensoorten die op deze strategie zijn onderzocht, is dit ‘SOS-mechanisme’ ook gevonden. Het is dus eerder regel dan uitzondering in het plantenrijk.

Landbouw gebruikt de zelfverdediging van planten

Plantenveredelaars kweken massa's planten. Uit al die planten selecteren ze die exemplaren die de eigenschappen hebben die ze graag willen zien. Met die planten kweken ze weer verder. Een eigenschap waar veredelaars op selecteren kan de hoeveelheid spruitjes aan een spruitkoolplant zijn, de extra goede smaak van een tomaat, of de resistentie tegen ziekten en plagen. Bij die laatste eigenschap letten de veredelaars vooral op de doe-het-zelf strategie. Planten met een dikke waslaag of met bepaalde chemische afweer worden geselecteerd omdat die resistenter zijn tegen insecten. Daarbij rijzen wel problemen. Als het om groenten en fruit gaat, dan zijn de planten uiteindelijk bedoeld om op te eten. En een koolplant die vol zit met mosterdolie glucosiden heeft een sterke spruitjeslucht. Dat maakt hem niet erg geliefd bij consumenten, ook al worden deze stoffen in de keuken kapot gekookt. Een ander voorbeeld: bittere komkommers zijn resistent tegen spint. Maar de consument houdt niet van een bittere komkommer. Bovendien kunnen sommige insecten zich aanpassen aan de verdediging van planten. Er zijn altijd wel specialisten die de verdediging doorbreken, zoals de rupsen die mosterdolie glucosiden kunnen ontgiften. De plantenveredeling kan dus meer doen tegen ziekten, dan tegen insectenplagen.

Biologische bestrijders en veredelaars werken samen

Behalve plantenveredeling is er ook biologische bestrijding van plagen in de landbouw (zie hoofdstuk 2). Lange tijd gingen veredelaars en biologische bestrijders elk hun eigen weg. Maar het goed functioneren van de natuurlijke vijanden is voor een belangrijk deel



figuur 3 Bullhorn acacia, Kenia

Foto: Marcel Dicke



figuur 4 Detail van stekel van de bullhorn acacia, waarin mieren huizen, Kenia

Foto: Marcel Dicke

vraag 1 Roepen alle planten even hard om hulp?

afhankelijk van de eigenschappen van de plant. En die eigenschappen worden weer beoordeeld door de plantenveredelaar. Een veredelaar die geen rekening houdt met de eigenschappen van een plant die biologische bestrijding beïnvloeden, kan dus ongewild planten selecteren waarop die biologische bestrijding minder goed werkt. Vandaar dat

Het lieveheersbeestje glijdt uit op planten met een te dikke waslaag

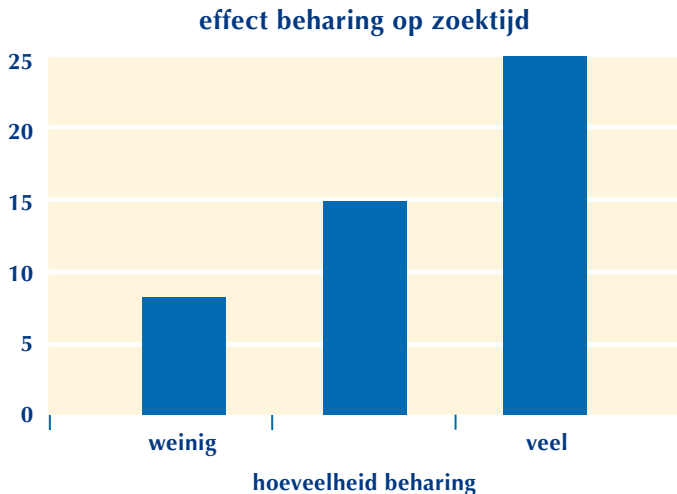
er tegenwoordig actieve samenwerking is tussen veredelaar en biologische bestrijder. Er worden nu planten geselecteerd die naast een goede doe-het-zelver ook een goede vriend zijn van lijfwachten.

Selecteren op een vrij slagveld

Vleeseters moeten over de plant lopen om de planteneters te vinden. Maar over gebaan-de paden is het makkelijker zoeken dan door een dicht oerwoud. Zo worden roofmijten die op gerberaplanten naar spintmijten zoeken sterk gehinderd door de beharing van de plant. Hoe dichter de beharing, hoe langer het duurt voordat de roofmijt een prooi gevonden heeft (figuur 5).

Figuur 5 Hoe meer haren op de gerberabladeren, hoe langer het duurt voor een roofmijt een prooi vindt

Data: Olga Krips en Marcel Dicke



figuur 6 Sluipwesp *Encarsia formosa* op een behaard komkommerblad

Tekening: Peter Glas en Joop van Lenteren, Wageningen Universiteit

Soms kunnen de haren nog een extra barrière opleveren. Sluipwespen die op zoek zijn naar larven van de wittevlieg, raken besmeurd met kleverige honingdauw, de suikerige 'poep' van de larven die aan de haartjes zit. In plaats van larven zoeken, moeten de sluipwespen dus tijd besteden aan het schoonmaken van hun eigen lijf. Op komkommerplanten met weinig haren op de bladeren verliep de biologische bestrijding van wittevlieg veel beter dan op planten met een dichte beharing (figuur 6 en 7). De eigenschap

‘behaving’ zit genetisch vrij eenvoudig in elkaar. Plantenveredelaars kunnen daar dus makkelijk op selecteren.

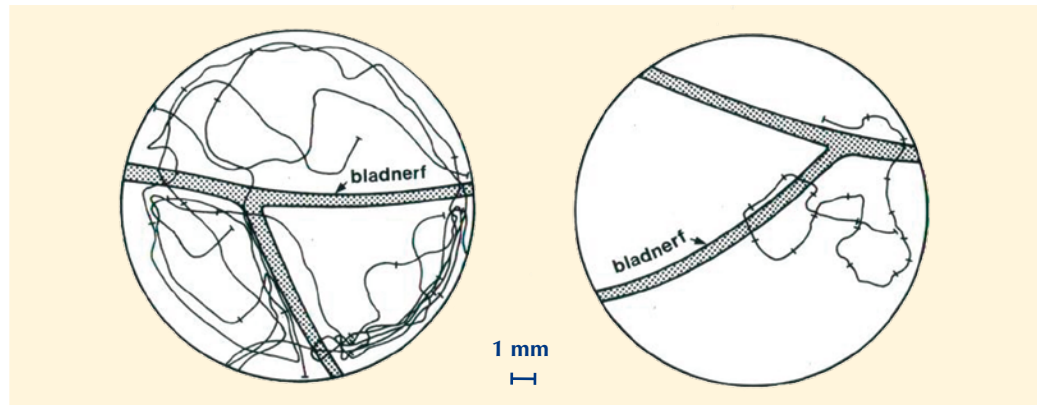
Lieveheersbeestje glijdt uit

Ook de waslaag op het bladoppervlak is van belang. De waslaag van planten kan het planteneters moeilijk maken om van de plant te eten, maar ook nuttige vleeseters kunnen door de was worden gehinderd. Rovers zoals lieveheersbeestjes glijden letterlijk uit op planten met een te dikke waslaag. Daardoor kunnen ze maar weinig prooien zoals bladluizen, opeten.

Soms kan de architectuur van de plant de lijfwachten helpen of hinderen. Op een erwtenplant die door een genetische verandering groene ranken heeft in plaats van bladeren, vallen veel meer bladluizen ten prooi aan lieveheersbeestjes. De lieveheersbeestjes blijken vaker van gladde bladeren van de gewone plant af te vallen. Maar op de stengels

figuur 7 Looppatronen van *Encarsia formosa* op een onbehandeld komkommerblad, drie minuten en dertig seconden (links) en een behandeld komkommerblad drie minuten en tien seconden (rechts)

Tekening: Joop van Lenteren, Wageningen Universiteit



van de bladloze mutant hadden ze een goede grip. Ook hier ging het om een genetisch eenvoudige eigenschap die door veredelaars in een nieuwe lijn van erwtenplanten kon worden gekruist.

Selecteren op goede behuizing voor lijfwachten

In een onderzoek met katoenplanten werden kunstmatig extra schuilplaatsen aan- gebracht op de helft van de planten. Dit zorgde ervoor dat er op de behandelde planten veel meer lijfwachten konden huizen dan op de onbehandelde planten. De planten met extra behuizing hadden vervolgens minder last van spint. De katoenopbrengst van de planten met de kunstmatige schuilplaatsen ging met maar liefst dertig procent omhoog. De aandacht voor extra goede behuizing werd lange tijd verwaarloosd. Maar dit onderzoek laat zien dat het wel degelijk de moeite loont om naar deze eigenschap te kijken bij het selecteren van goede planten in de landbouw.

vraag 2 Zou er zoiets bestaan als een ‘ultieme’ lijfwacht voor een bepaalde plant?



De sluipwesp *Cotesia glomerata* parasiteert rupsen van het groot koolwitje

© Hans Smid, www.bugsinthepicture.com, Wageningen Universiteit

Selecteren op de hardste schreeuwers

Tussen de verschillende planten binnen één soort is er variatie in de hoeveelheid en de samenstelling van de SOS-geuren die de plant maakt in reactie op aantasting door planteneters. Zo trekken gerbera's die meer terpenen in hun geurmengsel stoppen meer roofmijten aan als ze worden aangevallen. Ook voor andere planten, zoals komkommer, is aangetoond dat er verschillen zijn tussen de ene of de andere komkommer in hun noodgeuren.

De planten die we nu gebruiken in de land- en tuinbouw zijn niet uitgezocht op hun vermogen om 'help' te roepen wanneer ze worden aangevallen. Sterker nog: door onze sterke aandacht voor veel en lekkere landbouwproducten, zijn andere eigenschappen zoals de kracht van een SOS-sigitaal in de loop der tijd alleen maar minder geworden. Voor veredelaars ligt er dus een mooie uitdaging om voortaan planten te selecteren die wat harder om hulp roepen wanneer ze worden aangevallen. Hun lijfwachten zullen die plant sneller weten te vinden.

Er zijn inmiddels verschillende genen ontdekt die coderen voor de productie van SOS-geuren. Als deze genen in een 'proefmodel' (het 'onkruid' zandraket) worden ingebouwd, dan wordt die zandraket ineens aantrekkelijk voor roofmijten of sluipwespen. Zonder het extra gen werden die lijfwachten niet naar de zandraket getrokken. In plaats van moeilijke proeven met planten en insecten in het veld, kunnen veredelaars zoeken naar de nuttige genen die betrokken zijn bij de productie van SOS-geurstoffen. Alleen de planten met actieve genen kunnen vervolgens in het veld getest worden op hun vermogen om lijfwachten aan te trekken. Op die manier zouden we weer hard-om-hulp-roepende gewassen kunnen gaan verbouwen.

Selecteren op de beste lijfwachten

De beste biologische bestrijders zijn aangepast aan het klimaat waarin ze moeten werken, ze zijn goed te kweken en hebben geen ongewenste 'bijwerkingen'. Bovendien moeten ze effectief zijn in het opeten van de plaaggeesten, ook als die nog maar net aan hun invasie zijn begonnen. Voor de meeste biologische bestrijders is hun vermogen om te reageren op de SOS-geuren van planten dan ook van groot belang. De biologische bestrijders verschillen in de mate waarop ze reageren op de SOS-geuren. Daarom is het theoretisch mogelijk om binnen één soort bestrijder, die exemplaren te selecteren die het beste reageren op SOS-signalen (figuur 8). Tot nu toe gebeurt dat nog niet; vooralsnog wordt er 'alleen maar' naar de beste soort lijfwacht gezocht.

Bij het zoeken naar de beste soort lijfwacht is het zaak om rekening te houden met het gewas waarin de bestrijder haar werk – alleen de vrouwtjes zijn interessant – moet doen. Mogelijk zijn sommige soorten beter aangepast aan de eigenschappen van de plant, zoals de beharing. Bijvoorbeeld, bij het selecteren van de sluipwesp *Encarsia formosa* voor de bestrijding van wittevlies was het doelgewas tomaat. De sluipwesp is in dat gewas zeer effectief in het bestrijden van wittevlies. Maar toen men later de sluipwesp in komkommer wilde inzetten, bleek de sluipwesp daar niet erg goed uit de voeten te kunnen door de sterke en stugge beharing van komkommerbladeren. Hadden de onderzoekers meteen de komkommer als doel voor ogen gehad, dan was *Encarsia*



Zevenstippelig lieveheersbeestje Foto: Manabu Kamimura, National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba, Japan



figuur 8 De reactie van roofmijten op de SOS-geuren van planten kan worden onderzocht in een Y-buis reukmeter. Als bonenplanten met en zonder kasspintmijten als geurbronnen worden aangeboden kiest ongeveer negentig procent van de roofmijten voor de geur van de aangetaste planten.

Slechts vier van de veertig roofmijten gaan af op een schone plant, de andere 36 hebben een overduidelijke voorkeur voor de plant waar kasspintmijten op zitten

formosa nooit door de selectie gekomen. Maar wordt een komkommervariëteit gebruikt met minder haren, dan is deze sluipwesp ook succesvol op komkommer.

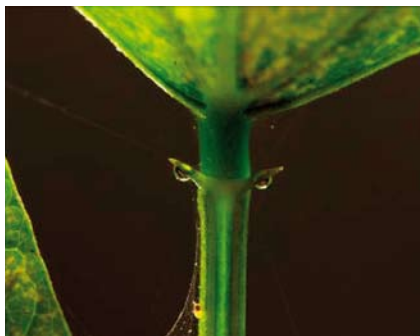
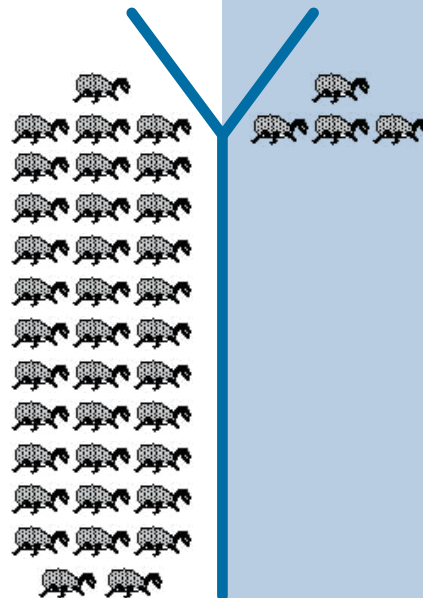
Koester de beste vijanden

Als een natuurlijke vijand eenmaal is geselecteerd en in kweek genomen, dan is het belangrijk dat de kwaliteit van de dieren op peil blijft. De kwaliteit van de vleeseters kan door verschillende oorzaken achteruit gaan. Tijdens de massale kweek kan onbedoeld selectie plaatsvinden op eigenschappen die niet in het belang zijn van de kwaliteit als biologisch bestrijder in een gewas. Stel dat in de massakweek de vleeseters niet langer hoeven te zoeken naar plaagorganismen, dan zou dat kunnen leiden tot een 'luie' populatie die in het gewas, waar de plaagdieren bij lage dichtheid gevonden moeten worden, niet effectief meer is. Ook ziekten door bijvoorbeeld virussen of bacteriën, kunnen tot problemen leiden in de massakweek. Ziekten kunnen leiden tot sterfte en daarmee het instorten van een massakweek. Er zijn ziekten die de effectiviteit van de

**Plant door
spint aangetast
(geweest)**



Schone plant



(links) Bonenblad met spint geïnfecteerd, let op de suikerhoudende druppeltjes aan de bladsteel

(rechts) Extraflorale nectariën, klieren die suikerhoudend vocht uitscheiden – detail van foto bonenblad met spint
© Hans Smid, www.bugsinthepicture.com, Wageningen Universiteit

biologische bestrijders kunnen schaden. Bij de roofmijt *Phytoseiulus persimilis*, een zeer succesvolle bestrijder van kasspint, is een bacteriële ziekte bekend die er toe leidt dat de roofmijten niet langer reageren op de SOS-geuren van het gewas. Als de roofmijten met deze bacterie besmet raken, vinden ze hun prooi niet meer. Daarnaast zijn er nog andere effecten van de ziekte, die maken dat de roofmijt niet langer in staat is om kasspintmijten succesvol te bestrijden.

vraag 3 Nemen we planten wel serieus genoeg?

Nederlandse naam en faam

De Nederlandse land- en tuinbouw heeft een uitstekende internationale naam. De Nederlandse tuinbouw alleen al heeft een economische belang van 21,7 miljard euro en genereert 24 procent van het overschot op de Nederlandse betalingsbalans. Acht van de tien internationale veredelingsbedrijven hebben hun hoofdkantoor of hun onderzoek en ontwikkelingsafdeling in Nederland. Het Nederlandse veredelingsbedrijfsleven werkt intensief samen met de Nederlandse kennisinstellingen bij de ontwikkeling van nieuwe variëteiten en veredelingsmethoden.

Het grootste bedrijf ter wereld dat biologische bestrijders verkoopt is in ons land gevestigd. Daarnaast zijn er meer gespecialiseerde bedrijven in Nederland gevestigd die zich richten op biologische bestrijding in specifieke omgevingen zoals kantoorgebouwen of botanische tuinen. Ook die biologische bestrijdingsbedrijven werken nauw samen met Nederlandse kennisinstellingen bij het ontwikkelen van nieuwe methoden.

Het kan nog beter

In de Nederlandse tuinbouw gebruiken honderden bedrijven biologische bestrijding tegen een groot aantal plagen. Zo gebruiken ongeveer duizend bedrijven roofmijten om spint te bestrijden in groenten onder glas en nog eens 550 bedrijven in bloemen onder glas. Ondanks die indrukwekkende cijfers zijn er nog altijd verbeteringen nodig. Nog niet alle plagen op alle gewassen zijn biologisch te bestrijden. Het integreren van biologische bestrijding met plantenveredeling kan het antwoord zijn. Biologische bestrijding wordt ook gebruikt in open gewassen, zoals fruitboomgaarden. En juist in die open teelten is er nog veel vooruitgang te boeken.

antwoord 1 Er zit verschil tussen 'schreeuw' van de verschillende planten binnen één soort. Dat biedt dus mogelijkheden om alleen met de hardste schreeuwers verder te kweken.

antwoord 2 In de natuur is er niet één beste lijfwacht. Naast de zelfverdediging roept een plant hulp in van verschillende insecten. Maar sommige lijfwachten kunnen ook elkaar te lijf gaan of andere 'bijwerkingen' hebben. Op de monotone akkers wil je dat soort risico's uitsluiten. Vandaar dat bedrijven in de biologische bestrijding heel streng selecteren tot ze de allerbeste lijfwacht hebben gevonden.

antwoord 3 Zonder planten nou meteen intelligentie toe te kennen: nee, we hebben ze lange tijd niet serieus genoeg genomen. Ze zijn een cruciaal onderdeel van een uitgekiend samenspel tussen planten, insecten en de rest van het milieu.

De insectenfabriek

door Karel Bolckmans

Plaaginsecten bestrijden met de hulp van andere insecten; het klinkt makkelijk. Maar waar haal je als boer of tuinder die nuttige beestjes vandaan? In veel gevallen kun je die tegenwoordig gewoon kopen: in een flesje, een doosje of handig verpakt in poppen, die op hun beurt weer zijn vastgeplakt op een stukje karton.

In Nederland werken drie bedrijven aan de productie van natuurlijke vijanden. De oudste – en meteen ‘s werelds grootste – is al actief sinds 1967. Wereldwijd zijn ongeveer dertig bedrijven actief in deze branche. Hun gezamenlijke omzet wordt geschat op honderdvijftig tot tweehonderd miljoen euro en groeit nog steeds. Toch is het nog maar een schijntje vergeleken met de 6,25 miljard euro die omgaat in chemische bestrijding van insecten. Om een goed alternatief te kunnen zijn voor die chemische middelen moet een biologische bestrijder niet alleen de juiste biologische eigenschappen hebben. Hij moet ook betaalbaar zijn en op het juiste moment beschikbaar. Daarom hebben biologen en ingenieurs zogenoemde massakweeksystemen ontwikkeld om op grote schaal sluipwespen, roofmijten en andere biologische bestrijders te kunnen leveren: *high tech* biologie!

Poppen kweken op tabak

De meest natuurlijke manier om natuurlijke vijanden te kweken is met de hulp van plaaginsecten op planten. Zo kun je in een tuinbouwkas op tabaksplanten de wittevlieg kweken die je vervolgens laat parasiteren door sluipwespen. De geparasiteerde poppen van de wittevlieg, met daarin de larven van de sluipwesp, kun je vervolgens met een machine ‘oogsten’, op kaartjes plakken en verkopen aan tuinders die last hebben van de wittevlieg. Zo’n kweekstelsel blijft natuurlijk alleen maar draaien als de planten niet massaal ten ondergaan aan de wittevlieg. Dat vereist dus de nodige ervaring. Om dat probleem te omzeilen worden sommige nuttige insecten zonder de hulp van complete planten

Ir. Karel Bolckmans werkt als entomoloog bij Koppert BV

gekweekt. Zo hebben Belgische onderzoekers enkele jaren geleden bijvoorbeeld een systeem ontwikkeld om bladluizen te kweken op een kunstmatig medium. Op die bladluizen worden vervolgens weer natuurlijke vijanden gekweekt. Nederlandse onderzoekers hebben ontdekt dat je roofmijten kunt kweken door bepaalde soorten van zogenoemde voorraadmijten als alternatieve kweekgastheer te gebruiken. Voorraadmijten komen voor in bijvoorbeeld meel, of bij de opslag van gedroogde vruchten. De productie van nuttige roofmijten heeft door dat gebruik van voorraadmijten een enorme versnelling gekregen. Op die manier kun je goedkoop heel veel roofmijten produceren die daardoor zelfs tegen een acceptabele prijs in buitenteelten kunnen worden uitgezet. Buiten heb je uiteraard veel meer rovers nodig dan in een afgesloten systeem zoals een kas.

Een kilo eitjes: zeshonderd euro!

Een goede manier om roofinsecten in een kweekstelsel te voeden is met behulp van eitjes van de meelmot. Omdat deze eitjes wel zeshonderd euro per kilo kosten, wordt er al lang gezocht naar kunstmatige voeding voor nuttige insecten. Tot nu toe is het gebruik van deze kunstmatige voeding echter nog beperkt. Al dat gemanipuleer van de insecten in een massakweek mag er natuurlijk niet toe leiden dat er insecten worden geproduceerd die het prima doen in de ‘insectenfabriek’, maar niet in het gewas. Het is dus belangrijk dat een kweker bij aanvang van zijn massakweek gebruik maakt van een heel diverse populatie insecten die hij bijvoorbeeld op veel verschillende plaatsen in de natuur heeft verzameld. Hij doet er goed aan om de omstandigheden van zijn kweek te variëren, zodat er voldoende genetische diversiteit blijft in de kweekpopulatie. Hoe dan ook



De eerste commerciële verpakking van *Encarsia*-sluipwespen

Bron: J.C. van Lenteren, *Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit*



Het loslaten van natuurlijke vijanden (zwarte stippen) op kaartjes die in het gewas hangen

Bron: J.C. van Lenteren, *Laboratorium voor Entomologie, Wageningen Universiteit*

moet de kwaliteit van de geproduceerde insecten en mijten continu gecontroleerd worden om te zien of ze wel sterk en gezond zijn.

Boodschappenlijstje

Op het boodschappenlijstje van een tuinder zou je het zomaar kunnen zien staan: een kilo tomatenzaadjes, vijf snoeischaren en twee kokertjes met tienduizend roofmijten. De verpakking van insecten is inderdaad een vak apart. Sluipwespen, roofwantsen en roofmijten worden machinaal verpakt per 250, vijfhonderd, duizend of zelfs tien duizend beestjes in plastic flessen of kartonnen kokers. Deze worden vervolgens door de teler zorgvuldig in zijn gewas uitgestrooid. Wittevliegpoppen met daarin de larven van sluipwespen worden met een speciaal daartoe ontworpen machine op kaartjes geplakt die in het gewas kunnen worden uitgehangen. In sommige gewassen kun je zakjes met zien hangen. Op die zemelen leven voorraadmijten die op hun beurt weer als voedsel dienen voor roofmijten. De volwassen roofmijten verlaten het zakje om in het gewas op jacht te gaan naar schadelijke insecten. Zo'n zakje kan gedurende anderhalve maand een bron zijn van nuttige roofmijten.

Beperkt houdbaar

Over het algemeen kan een producent van biologische bestrijders geen grote voorraad aanleggen. De insecten zouden dood gaan in de opslag. Sommige insecten kunnen wel in een soort rustfase – de zogenoemde diapauze – worden gebracht. In dat geval kun je ze wel maanden bewaren zonder kwaliteitsverlies.

Begeleiden

Je kunt niet zomaar de ene plaag biologisch bestrijden en de andere met een chemisch gewasbeschermingsmiddel. Biologische bestrijding vereist een geïntegreerde aanpak. Het is ook belangrijk om op het juiste ogenblik voldoende bestrijders van de juiste soort uit te zetten. Heel af en toe moeten de plaagbeestjes wel eens worden 'bijgestuurd' met een selectief chemisch gewasbeschermingsmiddel. Plagen bestrijden met natuurlijke vijanden vergt dus de nodige kennis en ervaring. Daarom bezoeken leveranciers van bestrijders de telers wekelijks tot tweewekelijks om hen bij te staan en technisch advies te geven.

De bijwerkingen van biologische bestrijders

door Antoon Loomans

Sinds een jaar of vijf kun je in de Nederlandse natuur bijzondere lieveheersbeestjes vinden. Het veelkleurig Aziatisch lieveheersbeestje heet officieel *Harmonia axyridis*. Zoals de Nederlandse naam al doet vermoeden is het een uitheemse soort, die ons land binnen is gekomen via de biologische bestrijding. In land- en tuinbouw maar ook in het openbaar groen is hij ingezet tegen bladluizen. Wie bijvoorbeeld in een straat met lindebomen woont, weet hoe lastig bladluizen kunnen zijn. Ze poepen een mierzoete stof uit, de zogenoemde honingdauw. En als die zoete druppeltjes op auto's belanden, zorgt een schimmel ervoor dat ze veranderen in een zwarte, nauwelijks weg te poetsen koek. Maar geen nood, lieveheersbeestjes, waaronder de Aziatische soort, zouden het probleem bij de basis kunnen uitroeien. Met één ding hadden de initiatiefnemers van deze biologische bestrijding geen rekening gehouden: de Aziatische lieveheersbeestjes gedijen uitstekend in ons klimaat en zijn nu dus overal en nergens te vinden. De grote vraag is nu: zitten ze onze eigen inheemse lieveheersbeestjes in de weg en gaan ze misschien de Nederlandse natuur een beetje op zijn kop zetten?

De andere kant van de medaille

Lang leek het erop dat biologische bestrijding alleen maar voordelen had: plagen bestrijden met hun eigen vijanden, wat kan daar nu fout mee gaan? Bij introductie van bestrijders uit een ander gebied letten de onderzoekers er dus vooral op dat ze effectief waren tegen de beoogde plagen, dat er geen natuurlijke vijanden van de bestrijders zelf werden uitgezet en dat ze zich – waar nodig – in het ‘bestrijdingsgebied’ konden handhaven. Wanneer insecten als bestrijder van onkruiden werden ingezet, werd er goed op gelet dat er geen waardevolle planten werden aangetast. Landbouwgewassen mochten immers geen gevaar lopen. En werden er insecten ingezet om andere insecten te bestrijden, dan werd er vooral op gelet dat de plaag effectief werd bestreden. Neveneffecten op inheemse insecten kregen in eerste instantie weinig aandacht.

Dr. Antoon Loomans werkt bij de plantenziektkundige dienst in Wageningen

Biodiversiteitsverdrag

Twintig jaar geleden veranderden de inzichten. Dit leidde in 1992 tot het opstellen van het Biodiversiteitsverdrag, de *Convention on Biological Diversity*. Ook biologische bestrijders moesten voortaan vanuit een nieuw gezichtspunt worden bekeken. De invloed van exoten op inheemse soorten en hun leefomgeving moest worden gewogen. Wat eerder als niet belangrijk of zelfs als een bijkomend voordeel werd gezien, zag men vanaf toen soms als een nadeel. Zo vonden onderzoekers het in het begin wel handig wanneer een bestrijder ook van andere prooidiersoorten kon leven dan alleen van de plaagsoort zelf. Op die manier kon de bestrijder zich handhaven in tijden waarin er eventjes weinig exemplaren van de plaagsoort zouden zijn. Tegenwoordig letten we ook op de invloed van exoten op andere soorten.

Een diersoort die in Nederlandse omstandigheden niet kan overwinteren of zich hier niet kan vermenigvuldigen zal een gering effect hebben op de inheemse fauna. Ook een soort die zich niet of nauwelijks op eigen kracht kan verspreiden kan niet meteen veel kwaad doen buiten de plek waar hij wordt losgelaten. Als zo'n diersoort ook nog eens een beperkt dieet heeft, waardoor hij alleen een of enkele prooidiersoorten eet, zal het nut groter zijn dan het nadeel. Maar een exoot die zich in Nederland uitstekend kan handhaven, die hier kan overwinteren en een populatie kan opbouwen, die veel prooidiersoorten lust en die zich in veel verschillende gebieden thuisvoelt, die heeft misschien meer nadan voordelen. Zeker als zo'n exoot zich over grote afstanden op eigen kracht kan verspreiden en niet vies is van een hapje van nuttige of beschermde plant- of diersoorten.

Ongewenste bijwerkingen

De essentie van biologische bestrijding is niet het uitroeien van de plaag. Het terugdringen van een plaagorganisme tot op een niveau dat deze geen schade meer doet is al goed genoeg. Wat zijn de belangrijkste mogelijke bijwerkingen?

1

Het wordt riskant wanneer een geïntroduceerde bestrijder, een exoot dus, niet alleen de plaag bestrijdt, maar ook een inheemse soort drastisch in aantal terugbrengt. Wanneer die inheemse soort bedreigd of beschermd is, is dit een extra risico.

2

Een exoot kan als overbrenger fungeren van ziekten of parasieten die gevaarlijk zijn voor inheemse soorten.

3

Exoten kunnen zelf een plaag worden, en vervolgens met inheemse natuurlijke vijanden om prooidieren concurreren en hen zelf in aantal terugdringen.

4

Exotische biologische bestrijders kunnen nieuwe genetische eigenschappen in inheemse populaties van dezelfde soort brengen en daarmee die inheemse soorten blijvend veranderen.

5

Wanneer biologische bestrijders in grote aantallen per hectare worden uitgezet, kunnen ze een risico vormen voor inheemse soorten in de directe omgeving. Ze zouden populaties van bedreigde of beschermde soorten in de directe omgeving onder de voet kunnen lopen.

Som gaat het mis

Wereldwijd zijn ruim vijfduizend keer exoten als plaagbestrijders uitgezet. Daarvoor zijn tweeduizend soorten gebruikt. In ongeveer 75 gevallen, waarbij ongeveer zestig soorten werden uitgezet, gaf dit aanleiding tot problemen, zoals verschuivingen in dichtheden van inheemse soorten of zelfs verdringing daarvan. De meeste problemen deden zich voor bij het uitzetten van natuurlijke vijanden, zoals amfibieën, reptielen en vissen. Dit zijn relatief grote roofvijanden die geen specifieke voorkeur hebben voor de te bestrijden plaag, maar ook andere prooidieren lusten. Zo vraten mangoesten – kleine katachtige roofdierjes – die op Fiji, Hawaï en West-Indië waren uitgezet om ratten te bestrijden, ook de eieren van op de grondbroedende vogels en reptielen op. Ook het gebruik van insecten en mijten als bestrijders van andere insecten of onkruiden heeft in enkele gevallen geleid tot problemen. Het binnendringen van de cactusmot *Cactoblastis* in het Caraïbisch gebied en Mexico leidde tot een serieuze bedreiging van de inheemse *Opuntia* cactussen. En de sluipvlieg *Comptosia concinnata*, die als bestrijder van ‘de plakker’ (een nachtvlinder) vanuit Europa in Amerika was geïntroduceerd, parasiteert en onderdrukt niet alleen plaagsoorten, maar ook een aantal beschermde nachtpauwogen.

Risico's beoordelen

Bij de keuze van een nieuwe bestrijder ligt het accent tegenwoordig niet meer alleen op haar effectiviteit als bestrijder. De vraag of een soort zich vrij zal vestigen, zich actief door het land kan verspreiden, en of zij naast te bestrijden plaagsoort ook andere prooidieren eet krijgt nu alle aandacht. Daarbij wordt onder andere gekeken naar de ervaringen elders in de wereld met zo'n potentiële plaagbestrijder. Wanneer een soort in een nieuw gebied wordt geïntroduceerd, is dat in principe onomkeerbaar: biologische bestrijders die zich weten te handhaven, gaan niet meer weg. Daarom moet een risicoanalyse worden uitgevoerd vóórdat een organisme wordt toegepast. Vooral biologische bestrijders met een brede smaak, de zogenoemde generalisten, zouden bij voorkeur uit het eigen natuurlijk verspreidingsgebied, de eigen ‘achtertuin’, moeten komen.

Wat zegt de wet?

In Nederland is er een wet die het uitzetten van biologische bestrijders in goede banen moet leiden: de Flora- en Faunawet uit 2002. Veel soorten die al vele jaren in Nederland gebruikt werden zonder dat er nadelige effecten op andere soorten bekend waren, zijn in 2002 na een verkorte procedure vrijgesteld van verdere wettelijke maatregelen. Maar andere soorten waarvan nadelige effecten van elders bekend waren of waarbij in Nederland problemen verwacht konden worden, kwamen niet voor vrijstelling in aanmerking.

Voor soorten die ná 2002 voor het eerst in ons land worden gebruikt, moet een ontheffing worden aangevraagd. Op deze manier proberen we het gebruik van die uitheemse natuurlijke vijanden te stimuleren die veilig zijn voor de inheemse flora en fauna en biodiversiteit.

Hoe het verder zal gaan met het veelkleurig Aziatisch lieveheersbeestje? De geschiedenis in Noord-Amerika laat zien wat ook ons in West-Europa te wachten zou kunnen staan. In 1984 begon

het Aziatische beestje aan een opmars in Amerika. Al snel werd het de meest algemene soort en drong zij in diverse leefgebieden de andere lieveheersbeestjes naar de achtergrond. *Harmonia* is in Nederland van 1995 - 2003 als bestrijder van bladluizen uitgezet en is in 2002 voor het eerst in het wild aangetroffen. Inmiddels is zij geen bijzondere verschijning meer, maar is zij een van de meest algemene lieveheersbeestjessoorten. Welke bijwerkingen zij hier eventueel heeft, dat is nu onderwerp van wetenschappelijk onderzoek.



Het veelkleurig Aziatisch lieveheersbeestje kent veel verschijningsvormen....

© Antoon Loomans, Plantenziektenkundige Dienst



...en komt in enorme aantallen tegelijk voor.

© Antoon Loomans, Plantenziektenkundige Dienst



Foto: Hans Wilps

Door de groei van de – steeds veeleisender – wereldbevolking, rijst de vraag naar landbouwproducten de pan uit. Daarom zullen boeren steeds grootschaliger gaan werken, ook in de tropen. Risico's op grootschalige plagen horen daarbij. 'Zeker in de tropen zul je die plagen op een diverse en geïntegreerde manier moeten bestrijden', zegt professor Arnold van Huis, hoogleraar tropische entomologie aan de Wageningen Universiteit.

Plaagbestrijding in de tropen: wedden op meer paarden

door Arnold van Huis

Het waren indrukwekkende tv-beelden in 1986: de lucht in West-Afrikaanse landen als Senegal en Mauritanië werd letterlijk verduisterd door wolken van miljoenen en nog eens miljoenen sprinkhanen. Alle planten die ze op hun weg tegenkwamen waren binnen de kortste keren kaal, zo niet helemaal verdwenen. Een beetje zwerm was al gauw tien vierkante kilometer groot en telde vijftig miljoen sprinkhanen, of zelfs een veelvoud daarvan. Per stuk eet een sprinkhaan 'slechts' twee gram per dag. Maar daarmee was zo'n zwerm dus goed voor minimaal honderdduizend ton verloren landbouwgewassen. Dag in dag uit. Geholpen door de spectaculaire beelden kwam de hulp uit de hele wereld op gang. Drie jaar en 315 miljoen dollar later was de plaag onder controle. In 2003 diende zich alweer een volgende plaag aan. Die duurde 'slechts' een jaar en vergde 240 miljoen dollar aan bestrijdingsinspanningen. Uiteindelijk brachten de weersomstandigheden, en niet de bestrijding deze plaag tot stilstand. Dergelijke sprinkhanenzwermen vormen misschien wel de meest indrukwekkende plaag die de tropische landbouw kan bedreigen. Om te weten hoe je zo'n plaag kunt bestrijden, moet je weten hoe hij ontstaat.

Van bescheiden eenling naar vraatzuchtig groepsdier

De woestijnsprinkhaan *Schistocerca gregaria* komt voor in de centrale droge gebieden tussen West-Afrika en India (figuur 1). Meestal leeft het insect als eenling in zogenoemde recessiegebieden. Die recessiegebieden worden geschat op een kleine vijftien miljoen vierkante kilometer, verspreid over 25 landen. Maar als de insecten elkaar voor de voeten

Professor Arnold van Huis is hoogleraar tropische entomologie aan de Wageningen Universiteit

figuur 1 De woestijnsprinkhaan op sorghum in Mauritanië

Foto: Thami Benhalima, FAO



figuur 2 Zwerm woestijnsprinkhanen in Mauritanië, juli 2005

Foto: Giampiero Diana, FAO



gaan lopen, dan wordt het pas echt gevaarlijk. Want een sprinkhaan die soortgenoten tegenkomt gaat groepsgedrag vertonen. Hij wordt dan 'gregair' (figuur 2). Dan kunnen de zwermen zich verspreiden over een gebied dat bijna dertig miljoen vierkante kilometer beslaat over meer dan 65 landen.

De gregaire vorm van de sprinkhaan is zó verschillend van de solitaire dat men vroeger

De schimmel Green Muscle doodt sprinkhanen binnen veertien tot twintig dagen

zelfs dacht dat het twee verschillende diersoorten waren. De kleur, de afmetingen, het gedrag, alles wordt anders. Zwermen gregaire woestijnsprinkhanen kunnen landbouwvelden volledig kaalvreten. Ze zijn ook reislustig. In 1989 trok een zwerm vanuit Mauritanië binnen een week naar het Caraïbisch gebied, een tocht van vijfduizend kilometer.

Alle hens aan dek

Als er sprinkhaanplagen zijn is het alle hens aan dek. Boeren, gewasbeschermingsdiensten, bedrijven, ministeries van landbouw, ja zelfs de ministeries van defensie; iedereen levert werk, geld, pesticiden, voertuigen, vliegtuigen en bespuitingsapparatuur. De Voedsel en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties, FAO, coördineert dergelijke bestrijdingsacties. Diezelfde FAO houdt ook de mogelijke gedaantewisseling van de sprinkhanen in de gaten. Zijn er al eenlingen die groepsgedrag gaan vertonen? Op die manier doet de FAO voorspellingen over aanstaande plagen.

Vogel helpt sprinkaanbestrijder

In West-Afrika is onlangs ontdekt dat sprinkhanenbestrijders die met schimmels werken hulp krijgen van vogels. Roofvogels als de grauwe kiekendief, de zwarte wouw en de kleine torenvalk leven tijdens de wintermaanden in Afrika van sprinkhanen. Een sprinkhaan die met *Metarhizium* is bespoten wordt in eerste instantie sloom. De sprinkhaan-etende vogels merken dat meteen en storten zich massaal op hun favoriete prooi, die ineens heel makkelijk te pakken is. Zo snijdt het mes aan twee kanten: sprinkhaanbestrijders worden door sprinkhaan-etende vogels geholpen. En omdat er niet met gif wordt gewerkt, sneuvelen die vogels niet meer door het bestrijden van de insecten. De schimmel is volstrekt ongevaarlijk voor de vogels.



Deze grauwe kiekendief eet 's zomers in Nederland muizen. In de winter leeft hij in Afrika en eet hij vooral sprinkhanen.

© Hans Hut, www.fotohut.nl

Bestrijden met schimmel

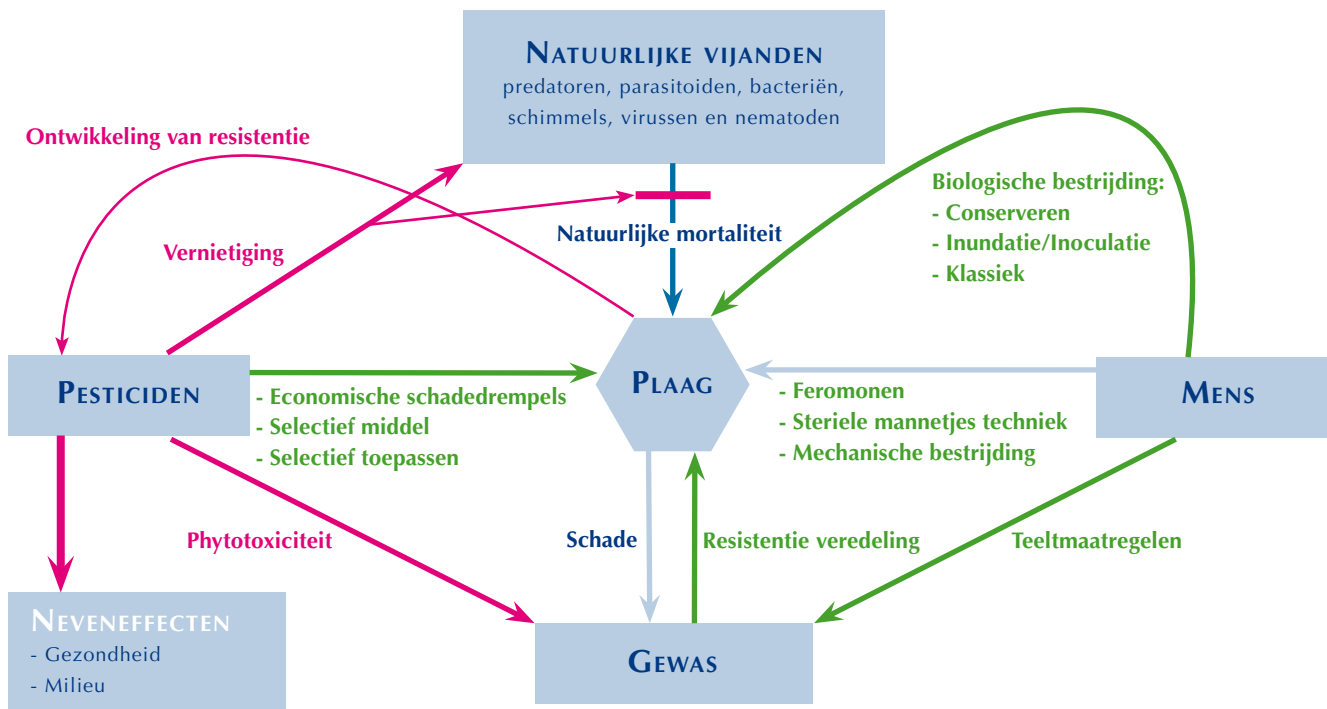
De enige manier om de woestijnsprinkhaan te bestrijden is met pesticiden. Vangen is geen optie. In woestijngebieden is het lastig met water te werken, dus pesticiden in water oplossen is geen goede methode. Aan het begin van de jaren negentig ontdekten sprinkhaanonderzoekers dat schimmelsporen ook kiemen in plantaardige oliën. Sinds kort is er een effectief anti-sprinkhanenmiddel op de markt dat is gebaseerd op sporen van de schimmel *Metarhizium anisopliae*, opgelost in olie. Het werd ontwikkeld in Afrika en Australië. Dit biopesticide is bekend geworden onder de naam 'Green Muscle': behandelde sprinkhanen slaan groen uit. Het doodt zeventig tot negentig procent van de behandelde sprinkhanen binnen een periode van veertien tot twintig dagen. In Australië wordt het al met succes toegepast om sprinkhanenplagen te bestrijden. Australië exporteert veel vlees en chemische insecticiden zijn daar geen optie. Volgens de internationale afspraken mag geëxporteerd vlees namelijk geen resten van pesticiden bevatten.

vraag 1 Hoe spoor je sprinkhanen op, nog voordat ze gaan zwermen en een probleem worden?

Steeds meer gif

Spuiten met gif tegen landbouwplagen is nogal eens een doodlopende weg. De plaagbeesten worden niet zelden resistent tegen pesticiden. Daarnaast vernietigt het gif vaak ook de natuurlijke vijanden van een plaag. Als reactie daarop gaan boeren in eerste instantie meer pesticiden gebruiken in steeds hogere concentraties. Totdat de kosten

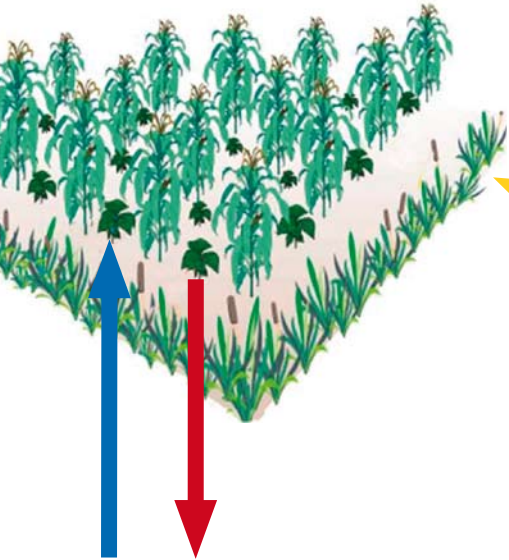
figuur 3 De technische componenten van geïntegreerde bestrijding (in groen) en de negatieve effecten van chemische bestrijding (in rood)



hiervan zo hoog worden dat het op een gegeven moment de moeite niet meer loont. Dit was de reden dat omstreeks 1960 boeren in de Rio Grande Valley in Texas in de Verenigde Staten zijn gestopt met het telen van katoen.

Behalve de financiële kosten brengen pesticiden enorme gezondheids- en milieurisico's met zich mee. Wat kun je nu doen om deze problemen zoveel mogelijk te vermijden? Er is een heel arsenaal aan alternatieve methoden. Gecombineerd worden die aangeduid als 'geïntegreerde gewasbescherming'.

MAÏS HOOFDGEWAS



Desmodium:

- Repellent voor vlinders van stengelboorder ('push') (rode pijl)
- Lukt natuurlijke vijanden van stengelboorder ('pull') (blauwe pijl)
- Bestrijdt parasitair onkruid *Striga*
- Bindt 180 kg stikstof per jaar
- Gebruikt als veevoer

figuur 4 Het 'push-pull' systeem

Bron: Dr. Zeyaur R. Khan van het International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE) te Nairobi en Prof. Johnnie van den Berg

Geïntegreerde gewasbescherming

De methoden die worden gebruikt in de geïntegreerde bestrijding zijn meestal niet chemisch. Soms zijn chemische pesticiden onvermijdelijk, maar dan vooral als – zorgvuldig toegepast – laatste redmiddel. Beter is het om het gewas of de omgeving op voorhand al minder aantrekkelijk te maken voor plaaginsecten en gunstiger voor natuurlijke vijanden (figuur 3).

Napier gras:

- Trekt vlinders van stengelboorder aan ('pull')
- Gebruikt als veevoer

Timing

Door een gewas op een uitgekiend tijdstip te zaaien, kan de boer zorgen dat een plaaginsect van nature niet aanwezig is op het moment dat het gewas daarvoor het meest gevoelig is. Die zorgvuldige timing van een gewas scharen landbouwonderzoekers onder de noemer 'teeltmaatregelen'. Nog zo'n teeltmaatregel: bij ziekten kan de boer ervoor zorgen dat aangetaste planten of vruchten snel worden vernietigd. Daarmee verkleint hij het aantal ziektekiemen dat gezonde planten zou kunnen besmetten. Een ander voorbeeld is het toepassen van mengteelten, dat wil zeggen: meerdere gewassen op één perceel. Een plaaginsect moet dan meer moeite doen om de voor hem aantrekkelijke waardplant te vinden tussen de 'onaantrekkelijke' niet-waardplanten.

Verjagen en lokken tegelijk

In Kenia is een interessante variant van 'mengteelt' ontwikkeld: de 'push and pull-methode'. Boeren beschermen daar hun gewas door het te combineren met voor insecten onaantrekkelijke planten (push), terwijl ze tegelijkertijd naar een aantrekkelijke plek (pull) worden gelokt waar de beesten zich niet op kunnen ontwikkelen (figuur 4).

In maïs bijvoorbeeld, zijn stengelboorders een probleem. Door de plantensoort *Molasses minutiflora* tussen de maïsplanten te zaaien, worden de stengelboorders verdreven. De sluipwesp *Cotesia flavipes* wordt juist aangetrokken door de plant. Die sluipwesp

parasiteert de stengelboorder. Daarnaast zaaien boeren napier gras (*Pennisetum purpureum*) aan de randen van hun maïsakkers. Dat trekt de boorders aan, maar de larven van de boorder die daar uiteindelijk op uitkomen, kunnen het gras niet eten en gaan dood.

Handwerk

In Soedan hebben boeren last van wantsen van de soort *Aspongopus viduatus*, die in meloenplanten gaan zitten. In de droge tijd klitten die wantsen in grote groepen bij elkaar. In de provincie Kordofan verzamelden vrouwen en kinderen met de hand wel tweehonderd ton insecten, waarna ze werden vernietigd. Ook in de katoenteelt in Egypte worden de eipakketten van de vlinder *Spodoptera littoralis* met de hand verzameld, net als vruchten waar de roze katoenrups *Pectinophora gossypiella* op zit. Verbranden en weg ermee!

Gewas dat tegen een stootje kan

De makkelijkste manier om plagen te voorkomen is het telen van planten die geen last hebben van plagers. Want niet alle gewasvariëteiten zijn even vatbaar voor een ziekte of een plaaginsect. Je kunt de sterke variëteit uit de massa selecteren, of je kunt door middel van plantenveredeling bepaalde eigenschappen in de plant proberen te brengen. Een probleem bij de resistentieveredeling is dat de ziekte of de plaag vroeg of laat in staat zal zijn de resistentie van de plant te doorbreken.

Genetische modificatie

Via moleculaire technieken kunnen zelfs specifieke, vreemde genen in een plant worden gebouwd die coderen voor resistentie tegen een bepaalde plaag.

In 2006 teelden boeren in twintig landen genetisch gemodificeerde (GM) gewassen op honderd miljoen hectare. Dat is acht procent van het totale akkerbouwareaal op de wereld. In diverse landen telen boeren maïsvariëteiten die een stukje genetisch materiaal van een bacterie in zich dragen: Bt-mais. *Bacillus thuringiensis* produceert een gif dat met name rupsen die aan de plant vreten doodt. In Zuid Afrika bleek Bt-katoen hogere opbrengsten te geven, maar dan alleen als de zorg van het gewas optimaal was. In het noorden van KwaZulu Natal kon die optimale zorg niet worden geleverd. In zo'n geval is Bt-katoen alleen maar extra duur. Als het gewas dan ook nog eens mislukt, heeft deze *high tech* plant meer nadelen dan voordelen.

Signaalstoffen

Insecten produceren signaalstoffen – feromonen bijvoorbeeld – om met elkaar en met andere insecten te communiceren. Vrouwtjes kunnen mannetjes lokken via seksferomonen. Veel van deze feromonen zijn inmiddels na te maken. Ze zijn heel soortspecifiek. Je kunt mannetjes dus massaal misleiden en vangen door 'feromoonvallen' te maken. Een andere toepassing is om de seksferomonen in grote hoeveelheden in het gewas te brengen. De mannetjes weten in deze overdaad van geurstof de echte vrouwtjes niet meer te vinden. Deze methode wordt onder meer gebruikt in katoen in het Midden Oosten, tegen de schadelijke rupsen van de vlindersoort *Pectinophora gossypiella*.

Steriele mannen

In de tropen hebben veeboeren onder andere last van de tsetseevlieg. Wanneer die is besmet met een parasiet (*Trypanosoma brucei*) kan hij de zogenoemde slaapziekte overbrengen. De vlieg kan worden bestreden door mannetje onvruchtbaar te maken met behulp van radioactieve straling. Laat je deze steriele mannetjes vervolgens los in de natuurlijke populatie, dan paren ze wel, maar deze paring brengt geen nakomelingen voort. De vrouwtjes paren maar één keer. Door regelmatig onvruchtbare mannetjes los te laten wordt hun aandeel in de populatie steeds groter. Daardoor kan de natuurlijke populatie uiteindelijk worden uitgeroeid.

Steriele mannen besparen alleen al in Noord-Afrika een kwart miljard dollar

De vleesvlieg *Cochliomyia hominivorax* werd in 1988 ontdekt in Libië. In 1990 werden miljarden steriele mannetjes uit Mexico geïmporteerd. Daardoor is de verspreiding van de vleesvlieg vanuit Libië naar de rest van het Afrikaanse continent, het gebied rondom de Middellandse zee en het Nabije Oosten voorkomen. Alleen al voor Noord-Afrika werden de baten van deze steriele Mexicaanse mannen geschat op een kwart miljard dollar.

Natuur als bondgenoot

Bij biologische bestrijding worden levende organismen ingezet voor het bestrijden van de plaagorganismen. Dit kunnen rovers zijn die hun prooi oppeuzelen. Het kunnen ook insecten zijn die eieren in of op de gastheer leggen en de larven ontwikkelen zich dan ten koste van de gastheer; dit zijn de parasitoïden. Het verschil tussen een 'gewone' parasiet en een parasitoïde is dat de eerste zijn gastheer niet doodt, en de tweede wel. Een aparte groep zijn de 'biopesticiden.' Dat zijn micro-organismen zoals bacteriën, schimmels, virussen of nematoden. De hierboven genoemde bacterie *Bacillus thuringiensis* (Bt) is zo'n biopesticide. Een bepaalde vorm van Bt is heel specifiek en werkt alleen maar tegen rupsen van vlinders. Door het vreten van bespoten plantendelen raken de rupsen geïnfecteerd met de bacterie. In het darmstelsel produceert de bacterie sporen en eiwitkristallen. Pas bij de afbraak van de kristallen in het darmkanaal komt een gif vrij. Dit gif tast de darmwand aan en zorgt ervoor dat de rups enkele uren na opname stopt met vreten. Geïnfecteerde rupsen bewegen traag, verkleuren en verschrompelen. Ongeveer twee tot vijf dagen na opname van de bacterie sterven ze.

Toch een beetje chemie

Chemische bestrijding heeft wel degelijk een plaats(je) binnen de geïntegreerde aanpak. Maar dan alleen als er wordt gespoten wanneer het echt nodig is, dus als het aantal insecten boven een zogenoemde economische schadedrempel uitkomt. Neem bijvoorbeeld schade aan bladeren van planten. Dat ziet er altijd heel spectaculair uit, maar het leidt maar zelden tot oogstverlies. Een maïsplant kun je in de eerste drie weken van de groei tot de grond toe afknippen zonder dat dit tot vermindering van de opbrengst leidt.

vraag 2 Zolang landbouw kleinschalig is en er geen pesticiden worden gebruikt, komt biologische bestrijding vanzelf naar de akker toe. In de tropen hoeven boeren dus minder snel in actie te komen. Waar of niet?

Ook rijstplanten kun je tot de helft ontbladeren zonder gevolgen voor de opbrengst. En pesticiden hoef je niet altijd overal op het gewas te spuiten. Je kunt het heel selectief toedienen, alleen op de plaats waar het echt nodig is, bijvoorbeeld alleen de zaden behandelen tegen een zaadschimmel.

Veldscholen voor boeren

In de jaren zestig en zeventig voltrok zich een Groene Revolutie in de natte rijstteelt in Azië. Betere gewassen haalden hogere opbrengsten door het gebruik van kunstmest en pesticiden. Boeren konden deze middelen zonder problemen kopen omdat er krediet werd verstrekt. Landen als Indonesië en Vietnam hoefden niet langer rijst te importeren maar konden het nu zelfs exporteren. Maar die revolutie had ook nadelen. In Indonesië werden boeren gedwongen de kunstmest en pesticiden te gebruiken want het was een onderdeel van een technologisch pakket dat werd aanbevolen door de overheid. De pesticiden die werden gebruikt hadden een brede werking. Daardoor trad niet alleen resistentie op onder de plaaginsecten, maar werden ook de vele natuurlijke vijanden vernietigd. Uiteindelijk leidde dit tot een explosie van de *brown planthopper* (*Nilaparvata lugens*). Door dit insect ging in één jaar ongeveer 275 duizend hectare rijst verloren, genoeg om drie miljoen mensen gedurende een jaar te voeden.

In 1986 besloot president Suharto van Indonesië het gebruik van 57 van de 63 gebruikte insecticiden te verbieden. In plaats daarvan werd in 1989 een geïntegreerd bestrijdingsprogramma gestart via de 'Boeren Veldschool.' Daarbij staat de opleiding van de boer centraal en niet de technologische aanpak. Want het was inmiddels wel bewezen dat een honderd procent technische benadering van geïntegreerde bestrijding van plagen lang niet altijd succes had. De menselijke dimensie werd nogal eens vergeten. Het is uiteindelijk de boer die de technologie moet toepassen en niet de landbouwwetenschapper. En een boer die inzicht heeft in de biologie van zijn eigen landbouwsysteem, die kan betere beslissingen nemen om ziekten en plagen in bedwang te houden.

vraag 3 'De Westerse mens staat mijlenver van de natuur. In de tropen leven boeren doorgaans nog dicht bij de natuur. Voor hen is biologische bestrijding makkelijker in de dagelijkse praktijk op te nemen.' Is deze stelling kolonialistische onzin, of zit er echt wat in?

antwoord 1 Als je weet waar de sprinkhanen zich ophouden voordat ze gaan zwermen, kun je in die gebieden heel gericht hun voedselplanten in de gaten houden. Gedijen die planten ineens misschien extra goed na een schaarse regenbui? Dat kun je tegenwoordig zelfs op satellietbeelden checken.

antwoord 2 Deze stelling is waar! Sluipwesp en roofinsecten uit het wild doen veel werk voor de boer en houden allerlei plagen onder controle. De problemen beginnen op het moment dat je deze 'natuurlijke bestrijding' om zeep helpt met pesticiden.

antwoord 3 Zolang bestrijding natuurlijk verloopt klopt dit. Maar het kweken en uitzetten van natuurlijke vijanden van plagen is een ingewikkelde zaak en vereist veel kennis en middelen. Dit soort actieve biologische bestrijdingsacties is dus niet weggelegd voor de kleine boer. In de tropen maken boerencoöperaties of grotere bedrijven wel gebruik van actieve biologische bestrijding,

Boerenveldschool

Op een Boerenveldschool gaan de 'leerlingen' het veld in om planten te meten en om plaaginsecten en hun natuurlijke vijanden te tellen en te verzamelen. In een eenvoudige gebouwde overkapping in het veld, worden die tellingen op flap-overs ingetekend en in de groep bediscussieerd. Officieel heet dit de Agro-Ecologische Analyse.

Er worden ook experimenten gedaan met een 'dierentuin voor insecten'. Dat is niet meer dan een jampotje waarin een plaaginsect en een belager worden gedaan, bijvoorbeeld een bladluis en een lieveheersbeestje. Het zien van een lieveheersbeestje die de bladluis te grazen neemt is een geweldige openbaring voor een boer die meestal alle insecten als 'schadelijk' over één kam schoor. Nu kan hij duidelijk zien dat er onder die insecten veel vrienden zijn. Ook worden insectenkooien gebruikt om de levenscyclus van een insect te bestuderen. Uit een ei komt een rups en de rups wordt pop en late een vlinder die weer eieren legt. Het laatste onderdeel van de school is het 'practicum'. Met eenvoudige experimenten kunnen de boeren bijvoorbeeld leren dat

bladschade niet altijd een daling in opbrengst betekent. Als je de helft van de bladeren van een rijstplant knipt en je ziet dat er geen verlies in de opbrengst is, dan ben je in de toekomst minder bang voor onschadelijke insectenvraat. Andere experimenten zijn bijvoorbeeld het testen van zelfbereide botanische pesticiden (figuur 5). Bijvoorbeeld van vruchten van de 'neem tree' (*Azadirachta indica*) kan de boer zelf een pesticide bereiden.

Voorheen werden insecticiden gezien als 'medicijn' voor een gewas. Na de opleiding op de Veldschool beseffen veel boeren dat ze met een vergif te maken hebben dat hun natuurlijke vijanden om zeep helpt. Maar het gaat nog verder. Door als groep op de veldschool te werken komen ook sociale, economische en zelfs politieke zaken ter sprake. Dat maakt de veldschool revolutionair. Miljoenen boeren in Azië zijn nu al opgeleid in de veldscholen, eerst in rijst en later in andere gewassen zoals katoen en groenten. Na Azië zijn de veldscholen ook in Afrika en in Zuid- en Midden-Amerika begonnen. In eerste instantie draaiden de 'lessen' vooral om ziekten en plagen. Maar van geïntegreerde bestrijding ging het van lieverlee naar geïntegreerd gewasbeheer. Als boeren een probleem hadden met de afzet van hun oogst werd dat meegenomen in de veldschool. Er zijn nu ook veldscholen die zich richten op verbetering van de kwaliteit van de grond, op het verbeteren van de veeteelt en zelfs op het verbeteren van de gezondheidszorg. In 'Life Schools' wordt bijvoorbeeld het HIV/AIDS-probleem besproken. De geïntegreerde bestrijding is er dus de oorzaak van geweest dat voorlichtingssystemen in de hele wereld op hun kop werden gezet. In 78 landen bestaan nu Boerenveldscholen. In totaal werden al vier miljoen boeren opgeleid.



figuur 5 Het experimenteren met botanische pesticiden tijdens een Boerenveldschool (hut op de achtergrond) in een dorp in Benin

Insecten in het veranderende klimaat

door Peter de Jong

Insecten zijn koudbloedig. Dat is een wat misleidende term, want het wil niet zeggen dat hun bloed letterlijk koud is. Het betekent wel dat deze dieren niet of nauwelijks in staat zijn om hun lichaamstemperatuur door verbranding van voedingsstoffen constant te houden, zoals zoogdieren en vogels dat doen. Toch is die lichaamstemperatuur voor koudbloedige dieren als insecten belangrijk, want veel processen in het lichaam zijn afhankelijk van de temperatuur.

Insecten zijn voor hun lichaamstemperatuur vooral afhankelijk van hun omgeving. Bijvoorbeeld de snelheid waarmee spiervezels zich kunnen samentrekken neemt toe bij hogere omgevingstemperaturen. Voor een insect betekent dit dat het zich bij een hogere temperatuur sneller zal kunnen voortbewegen. Bij warm weer is het dus moeilijker vliegen vangen. Sneller voortbewegen kan ook betekenen dat het insect eerder een partner vindt om mee te paren, en zich daardoor sneller voortplant. Deze snellere voortplanting kan op zijn beurt allerlei gevolgen hebben voor het insect en zijn omgeving.

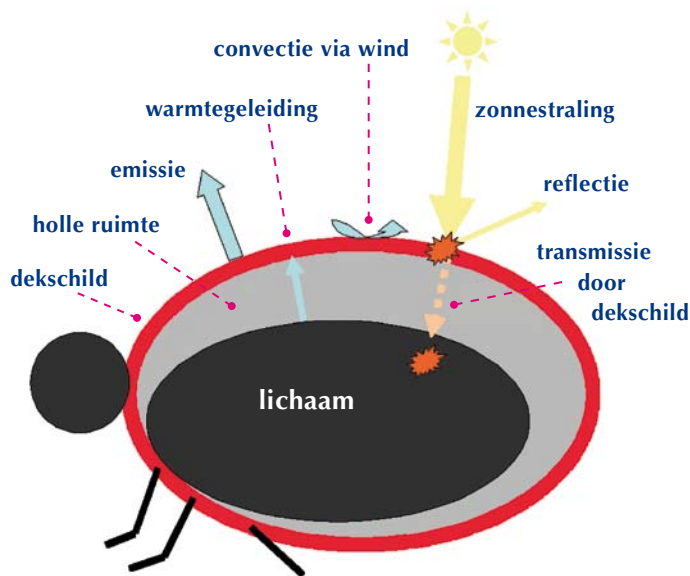
De positieve relatie tussen temperatuur en insectenactiviteit kent zijn grenzen. Er zijn minimum- en maximumtemperaturen waarbuiten de biologische processen in het lichaam niet meer mogelijk zijn. Bij die te hoge en te lage temperaturen kan het

figuur 1 Schema van een lieveheersbeestje met de processen die de warmtehuishouding beïnvloeden. De rode sterren geven locaties aan waar warmte geproduceerd wordt door absorptie van straling. Tussen het lichaam en de dekschilden bevindt zich een holle ruimte waarin de vliegvlugels in rust worden opgevouwen. Dit werkt als een isolerende laag die de warmte die dieper in het lichaam geproduceerd wordt, vasthoudt. Uiteindelijk ontstaat er een evenwicht, waarbij er een bepaalde buitentemperatuur is, een bepaalde temperatuur aan de oppervlakte van de dekschilden, en een bepaalde temperatuur in het lichaam.

Dr. Peter de Jong is insectendeskundige bij Wageningen Universiteit

insect dus niet leven. De tolerantie voor dit soort extremen verschilt van soort tot soort.

Het succes van insecten is dus rechtstreeks afhankelijk van het klimaat. Daarom mag je verwachten dat klimaatsverandering een heel directe invloed heeft op insecten en andere koudbloedigen. Als je weet hoe belangrijk insecten zijn in ecosystemen – driekwart van alle beschreven diersoorten zijn insecten, en deze hebben allemaal hun eigen functie in ecosystemen – dan kun je wel nagaan wat de impact zal zijn van klimaatsverandering op het leven op aarde.



De warmtebalans van een kever

Neem een kever als voorbeeld (figuur 1). Dit insect zit ergens waar een bepaalde temperatuur heerst, de zon schijnt op zijn schild en er waait een beetje wind. Hoe kunnen we nu bepalen hoe warm dit dier zal worden? Dit vereist de toepassing van enige natuurkunde.

De omgevingstemperatuur beïnvloedt voor een deel de lichaamstemperatuur van het insect. En er gebeurt meer. Een deel van de zonnestraling zal door het oppervlak van het insect worden teruggekaatst, een ander deel wordt geabsorbeerd. Het is ook mogelijk dat een deel van de zonnestraling dieper in het kevertje doordringt, bijvoorbeeld als hij dekschilden heeft die enigszins doorschijnend zijn. De geabsorbeerde zonnestraling wordt omgezet in warmte. Een deel van de warmte wordt aan het oppervlak weer afgevoerd door de wind, door een proces dat 'convectie' heet. Dieper in het insect, onder de dekschilden, staat geen wind. De warmte die hier ontstaat kan slechts worden afgevoerd door warmtegeleiding. Wanneer het insect warm wordt, gaat het zelf lang-golvige straling uitzenden. Bovendien wordt in het lichaam van de kever een klein beetje extra warmte geproduceerd door de stofwisseling, al is deze bij koudbloedige dieren van ondergeschikt belang.

Het kevertje vangt dus straling op, waardoor het warmer wordt en het raakt straling kwijt, waardoor het afkoelt. Volgens de wetten van de natuurkunde treedt er een evenwicht op waarbij de straling die binnenkomt gelijk is aan de straling die afgevoerd wordt. Bij

dit evenwicht past een bepaalde lichaamstemperatuur. Wanneer we dus een aantal klimaatsfactoren kunnen meten, en een paar eigenschappen van de kever kennen, zoals grootte en de mate van reflectie van hun dekschilden, kunnen we door het invullen van een natuurkundige formule de lichaamstemperatuur van de kever voorspellen. Als we dan bovendien de relatie weten tussen de lichaamstemperatuur en de activiteit van het insect, kunnen we voorspellen hoe verschillende klimaatsfactoren de activiteit van een insect beïnvloeden.

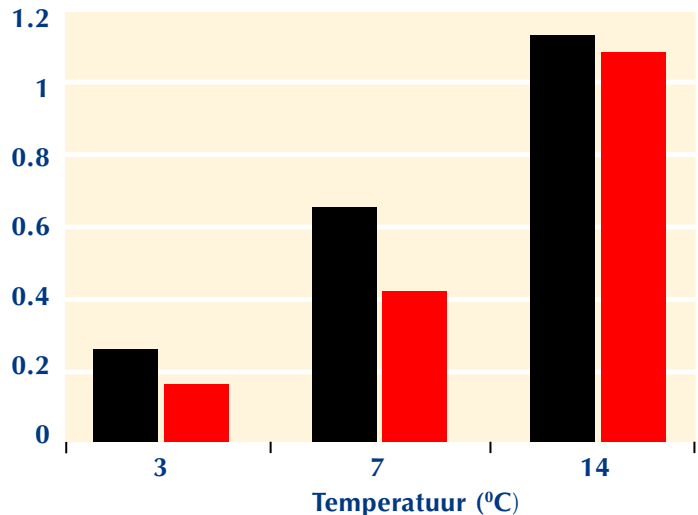
Dit natuurkundige model werd door onderzoekers toegepast op het tweestippelig lieveheersbeestje, een 'economisch belangrijk beestje' omdat hij bladluizen eet. Lieveheersbeestjes worden ingezet om op een natuurlijke manier bladluisplagen te bestrijden. Het tweestippelig lieveheersbeestje is bijzonder, omdat er twee kleurvormen bestaan: ze kunnen zwart zijn met rode stippen, of juist andersom: rood met zwarte stippen. Deze eigenschap biedt een mooie mogelijkheid om het effect van klimaat op de activiteit te onderzoeken: is er een verschil tussen de kleurvormen wat betreft hun warmtehuishouding?

Zwarte kevers werken harder

Een zwart voorwerp dat in de zon wordt gelegd absorbeert veel meer zonnestraling dan een lichter gekleurd voorwerp. Het zal daardoor warmer worden. Is dit ook zo bij de lieveheersbeestjes? De onderzoekers deden een aantal metingen aan lieveheersbeestjes, zoals aan de reflectie van de rode en zwarte dekschilden, de

Loopsnelheid (lijnen/seconde)

figuur 2 De loopsnelheid van rode en zwarte lieveheersbeestjes, gemeten als het aantal lijnen op ruitjespapier dat per seconde gepasseerd wordt. Het experiment is herhaald bij drie verschillende omgevingstemperaturen (drie, zeven en veertien graden Celsius), steeds met dezelfde lichtbron boven de lieveheersbeestjes. Vooral bij de lagere temperaturen lopen de zwarte lieveheersbeestjes (zwarte balkjes in de grafiek) sneller dan de rode (rode balkjes).



grootte en de transparantie van de dekschilden. Uit de berekeningen bleek dat de zwarte lieveheersbeestjes onder de meeste omstandigheden warmer zouden moeten worden dan de rode. Van de theorie naar de praktijk: levende zwarte en rode lieveheersbeestjes werden in een goed gecontroleerde ruimte blootgesteld aan verschillende combinaties van klimaatsfactoren. Hun lichaamstemperatuur werd met een minuscule thermometer geregistreerd. De metingen bevestigden de voorspellingen: de zwarte individuen werden meestal warmer. Ook de activiteit van de lieveheersbeestjes werd geregistreerd. Geheel volgens verwachting waren de zwarte exemplaren actiever (figuur 2). De onderzoekers zagen dat de verschillen tussen zwarte en rode lieveheersbeestjes kleiner werden naarmate de omgevingstemperatuur hoger werd. Dat is logisch: als de omgevingstemperatuur maar hoog genoeg is, kunnen zowel rode als zwarte lieveheersbeestjes actief zijn en is er geen extra absorptie van zonnestraling nodig om actief te worden. Het belang van de verschillende kleuren dekschilden verdwijnt dus bij hogere temperaturen.

Steeds meer rode

Wat betekent dit allemaal voor de aantallen en de verspreiding van de verschillende kleurvormen van dit lieveheersbeestje in relatie tot de klimaatverandering. In de afgelopen decennia is regelmatig door heel Nederland de verhouding tussen het aantal rode en zwarte lieveheersbeestjes geteld. Daaruit bleek dat er zo'n dertig jaar geleden grote verschillen waren tussen verschillende plaatsen in het aandeel van de twee kleurvormen. In het zuidoosten van Nederland was meer dan zestig procent zwart, in het noordwesten minder dan tien procent. Eén van de mogelijke verklaringen was dat de klimaatsomstandigheden verschilden, waardoor de zwarte exemplaren in het zuidoosten actiever konden zijn dan de rode, en daardoor algemener werden. Sinds die eerste tellingen zijn de verhoudingen dramatisch veranderd. Vooral het aandeel zwarte beesten in het zuidoosten nam af. Kunnen we dit rijmen met de klimaatsveranderingen die in die tijd zijn opgetreden? In de afgelopen dertig jaar is de gemiddelde maximumtemperatuur op veel plaatsen in Nederland met bijna 1°C toegenomen. Dit betekent dat het relatieve belang van absorptie van zonnestraling voor de activiteit – en dus het succes – van de lieveheersbeestjes is afgenomen. Beide kleurvormen kunnen actief zijn als de temperatuur maar hoog genoeg is.



figuur 3 Zwarte, melanistische tweestips lieveheersbeestjes, en de meer algemene, 'typica' kleurvorm (rood met twee zwarte stippen), temidden van een aantal grotere zevenstippelige lieveheersbeestjes. *Bron: Paul Brakefield*

Klimaat verandert het voedselweb

Dit voorbeeld illustreert een aantal gevolgen van de klimaatsverandering. Als er door de opwarming steeds meer ruimte komt voor (rode) lieveheersbeestjes, zullen die meer bladluizen gaan eten. Maar de vijanden van de lieveheersbeestjes krijgen ook meer te eten. Een veranderend klimaat en het effect op één van de leden van een voedselweb zal uiteindelijk dus consequenties hebben voor andere dieren en planten. Dat heeft ook economische gevolgen. Zo heeft klimaatverandering dus zelfs gevolgen voor het succes van bladluizenbestrijding.

Een ander gevolg is het vóórkomen. Wanneer de verspreiding van insecten, direct of indirect, wordt beïnvloed door het klimaat, dan zal klimaatsverandering dus gevolgen hebben voor de plaatsen waar deze dieren kunnen leven. Dit kan ver gaande consequenties hebben. Denk bijvoorbeeld aan de verspreiding van insecten die ziekten kunnen overbrengen. Het is moeilijk in te schatten hoe groot de consequenties van een veranderend klimaat zullen zijn voor insecten en uiteindelijk voor de mens en zijn omgeving. Maar als je weet dat insecten direct worden beïnvloed door klimaatsverandering, en dat zij bovendien een zeer grote rol spelen in onze ecosystemen, dan kun je op je klompen aanvoelen dat de gevolgen meer dan marginaal zullen zijn.



Er gaat ieder jaar veel geld om in de – chemische – bestrijding van malariamuggen. Maar dankzij een veelbelovende schimmel staat een heel nieuwe, duurzame aanpak voor de deur, zeggen medisch entomologen Bart Knols en Willem Takken. ‘Het is toch schrijnend dat we aan het begin van de eenentwintigste eeuw nog steeds afhankelijk zijn van DDT.’

© Hans Smid / www.bugsinthepicture.com

Schimmels als nieuw wapen tegen malariamuggen

door Bart Knols en Willem Takken

De cijfers zijn hard: iedere dertig seconden sterft er iemand in Afrika aan malaria. Vooral jonge kinderen en zwangere vrouwen moeten het ontgelden. En niet alleen in Afrika, ook in andere tropische gebieden is malaria een harde *killer*. Het totale aantal ziektegevallen is zelfs vijfhonderd tot zeshonderd miljoen mensen per jaar. Daarmee heeft bijna negen procent van de wereldbevolking met deze ziekte te maken. Op jaarbasis kost malaria alleen al in Afrika achtenhalf miljard euro aan medicijnen, patiëntenzorg en bestrijding van muggen. Huishoudens verliezen tien procent van hun inkomen aan malaria en de ziekte veroorzaakt een afname in de economische groei in heel Afrika van 1,3 procent (figuur 1). Bij een parasitaire ziekte als malaria is vaccinatie normaal gesproken de beste optie. Maar vooralsnog zijn er alleen experimentele vaccins. Het zal nog minstens vijf tot tien jaar duren voordat deze op de markt komen. In de tussentijd zijn we aangewezen op het behandelen van infecties met medicijnen en het bestrijden van muggen die de malariaparasiet *Plasmodium* overbrengen.

Op beide fronten is er slecht en goed nieuws. Te beginnen met het goede nieuws over de medicijnen: het gebruik van combinatietherapieën maakt de kans op de ontwikkeling van resistente parasieten – die dus ongevoelig worden voor de gebruikte medicijnen – een stuk kleiner. In zo'n combinatiebehandeling zitten twee of meer medicijnen die verschillende biologische processen van de parasiet tegelijk remmen. Daarnaast heeft de massale opmars van met insecticide geïmpregneerde klamboes een duidelijke afname in kindersterfte laten zien in verschillende Afrikaanse landen.

Maar dan het slechte nieuws: tegen de meest gangbare medicijnen en veelgebruikte insecticiden treedt op steeds grotere schaal resistentie op. De smaak van succes zal dus van korte duur zal zijn. En dat terwijl er juist nu internationaal veel aandacht en geld is voor malariabestrijding. Het *Global Fund for AIDS, Tuberculosis and Malaria* is in het jaar 2000 ingesteld om een extra injectie te geven in de bestrijding van malaria. Ook Microsoft topman Bill Gates en zijn vrouw Melinda hebben met de naar hen genoemde stichting veel geld beschikbaar gesteld voor malariabestrijding, net als het Amerikaanse *President's Malaria Initiative*. Tussen 1970 en 1990 leidde een vergelijkbare periode van 'veel moeite voor weinig plezier' al eens tot twee decennia van 'donormoeheid'. Opnieuw zo'n verslapping van de aandacht zou desastreuze gevolgen kunnen hebben.

Het wondermiddel DDT

Diphenyl-Dichloro-Trichloroethaan, beter bekend als DDT, werd in 1939 ontdekt door de Zwitser Paul Müller. Een wondermiddel leek het. Anno nu wordt het vooral in één

Dr. Bart Knols is medisch entomoloog, professor Willem Takken is hoogleraar medische en veterinaire entomologie, beiden bij het Laboratorium voor Entomologie van Wageningen Universiteit



figuur 1 *Anopheles*, het muggengeslacht dat malaria overbrengt
© Hugh Sturrock



figuren 2 en 3 DDT werd gebruikt als bestrijdingsmiddel op gewassen. Het wordt nog steeds gebruikt om huizen vrij te houden van malariamuggen

Bron figuur 2: CDC

Bron figuur 3: Edward Baker

vraag 1 Malaria lijkt met name in Afrika een hardnekkig probleem. Waarom is de ziekte juist hier zo ernstig en wijd verspreid. En waarom is de malaria mug juist hier zo slecht uit te roeien?

adem genoemd met milieuproblemen. Maar ondertussen heeft DDT mondiaal wel een enorme bijdrage geleverd aan het terugdringen van malaria. Het is goedkoop en het werkt langdurend, waardoor één bespuiting per jaar voldoende is om muggen buitenshuis te houden, dan wel te doden bij contact (figuren 2 en 3).

Juist die zogenoemde persistentie van DDT heeft voor problemen gezorgd. De stof hoopt op in het milieu en dus in verschillende voedselketens. Daarnaast zijn er de – al dan niet vermeende – effecten op de gezondheid van de mens, die hebben geleid tot een sterke afname in het gebruik van DDT. In 2001 werd DDT bijna wereldwijd in de ban gedaan. Alleen landen in zuidelijk Afrika maakten zich toen sterk voor continuering van gebruik binnen de malariabestrijding. De Stockholm Conventie in 2001 en de Wereldgezondheidsorganisatie in 2006, gingen door de knieën. Daardoor is DDT opnieuw populair geworden, zelfs in landen die het gebruik ervan eerder hadden stopgezet. In 2008 wordt het middel ingezet tegen malaria in elf Afrikaanse landen, met een jaarlijks verbruik van rond de één miljoen kilo. Bij uitblijven van resistentie werken bespuitingen binnenshuis nog steeds uitstekend. Recent zijn bijvoorbeeld de meeste huizen op het eiland Zanzibar bespoten. Het aantal gevallen van malaria nam daardoor met maar liefst zeventig procent af.

Toch worden muggenpopulaties uiteindelijk ook resistent tegen DDT. Dit werd voor het eerst waargenomen rond 1950, tijdens de campagne tegen malaria op Sardinië. In Indonesië en Nigeria trad resistentie al na anderhalf jaar op. Het is dus een kwestie van tijd totdat dit middel zal verdwijnen uit het arsenaal van de malariabestrijders. Bovendien bestaat er het risico dat DDT illegaal gebruikt zal worden in de Afrikaanse landbouw. Door de scherpe regels van de EU rond bestrijdingsmiddelengebruik op landbouwproducten, zou de export van gewassen uit Afrika dus gevaar kunnen lopen.

Chemische soep

Naast DDT is er nog een tweede belangrijke chemische stof in de malariabestrijding: de pyrethroiden. Vrijwel alle klamboes worden geïmpregneerd met synthetische pyrethroiden, omdat de werking van het anti-muggennet hierdoor sterk verbetert. Maar in West-Afrika zijn malariamuggen al op grote schaal resistent geworden tegen deze stoffen. De pyrethroiden worden ook gebruikt in de landbouw, bijvoorbeeld bij de productie

DDT hoopt op in het milieu en in de voedselketen

van katoen. Het water waar muggenlarven in opgroeien is op veel plaatsen niets minder dan een chemische soep van bestrijdingsmiddelen geworden. De muggen kunnen dus niet ontsnappen aan blootstelling aan lage concentraties van insecticiden. Juist die lage, niet dodelijke concentraties zorgen voor resistentievorming. In delen van Benin zijn de klamboes door die resistentie nog maar weinig effectief.

Om met Einstein te spreken: *'If you do what you did, you get what you got'*. Met andere woorden: een zoektocht naar een nieuw chemisch middel zal steeds dezelfde vicieuze cirkel opleveren: middel X, resistentie tegen X, middel Y, resistentie tegen middel Y, enzovoorts. Toch pompt de *Bill and Melinda Gates Foundation* momenteel een slordige vijftig miljoen dollar in het zoeken naar nieuwe insecticiden.

Een mug met een achilleshiel

De biologie van de malariamug bepaalt waar en hoe het beestje te bestrijden is. Dat geldt zowel voor de oude als de nieuwe middelen. Malariamuggen steken het liefst binnenshuis, en dan vooral 's nachts. Vandaar dat slapen onder een klamboe effectief is. Na een bloedmaaltijd rusten de volgezogen vrouwtjes – het zijn alleen de dames die bloed drinken – op de wanden en de plafonds van de huizen. Wanneer die zijn bespoten met DDT komen de muggen daar in aanraking met het dodelijke insecticide. In die zin is het spuiten tegen malariamuggen eigenlijk heel simpel: je moet vooral de muren binnenshuis behandelen. Om de ontelbare poeltjes met stilstaand water, waar de muggen hun eitjes in leggen, hoeft je je niet druk te maken.

Een tweede belangrijke factor is de tijd die de malariaparasiet nodig heeft om in de mug tot ontwikkeling te komen. Afhankelijk van de omgevingstemperatuur duurt die ontwikkeling gemiddeld tien tot veertien dagen. Omdat vrouwtjesmuggen pas ná deze periode actieve parasieten injecteren in het bloed van hun gastheer, zijn ze de eerste twee weken van hun volwassen leven nog ongevaarlijk. Een vrouwtjesmug leeft gemiddeld ongeveer vier tot vijf weken en neemt iedere drie dagen een bloedmaal. Wanneer haar overlevingskans met hulp van bijvoorbeeld klamboes en DDT wordt gereduceerd, zal ook de kans dat de parasiet zich onder mensen kan verspreiden sterk afnemen.

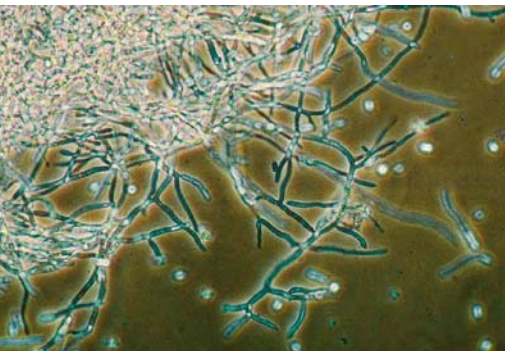
Deze twee factoren – het aanpakken van muggen binnenshuis en het feit dat enkel en alleen oudere vrouwtjes in staat zijn parasieten door te geven aan nieuwe slachtoffers – vormen de basis voor de zoektocht naar alternatieve bestrijdingsmethoden. Echt vernieuwende methoden moeten een minimale kans op resistentievorming opleveren en ze moeten milieuvriendelijk en sociaal-economisch acceptabel zijn.

vraag 2 De ultieme oplossing van het malariaprobleem lijkt een goed vaccin. Zou je, als zo'n vaccin er eenmaal is, nog steeds muggen moeten bestrijden?

Tenenkaas

De Wageningen Universiteit werkt al lange tijd aan de ontwikkeling van pesticidenvrije methoden voor plaagbestrijding. In de bestrijding van malariamuggen wordt bijvoorbeeld gezocht naar geuren waar muggen tijdens hun nachtelijke zoektocht naar bloed op

Malariamuggen worden aangetrokken door de geur van tenenkaas



Figuur 4 Microscopische opname van de schimmel *Metarhizium*

reageren. Als je weet op welke geuren uit het menselijk lichaam de mug reageert, kun je de muggen misschien met een lekker mengsel van luchtjes naar vallen lokken. Op die manier zou je de populatie muggen en de overdracht van de ziekte kunnen terugdringen. Er zijn al successen geboekt met lokstoffen die onder andere op zweetvoeten gevonden worden. Malariamuggen worden dus aangetrokken door de geur van tenenkaas! Sinds enkele jaren is daar de ontwikkeling van biologische bestrijding van volwassen muggen aan toegevoegd. De natuur blijkt zelf namelijk de ergste vijanden te kennen van malariamuggen: zogenoemde entomopathogene schimmels (figuur 4).

Groene killer

Bijna twintig jaar geleden begon de commerciële ontwikkeling van een veelbelovende schimmel uit de groep van de hyphomyceten: *Metarhizium anisopliae*. De schimmel *Metarhizium* komt van nature over de hele wereld voor en infecteert voornamelijk bodeminsecten. Een variant van deze schimmel bleek uitermate geschikt voor het bestrijden van woestijnsprinkhanen (zie hoofdstuk 5). Tot dat moment werden die sprinkhanen vanuit de lucht alleen bespoten met chemicaliën. Aangezien de schimmel groene sporen vormt op het dode insect verwierf het product de naam 'Green muscle'. Inmiddels is Green muscle geregistreerd als biopesticide in Zuid-Afrika, Zambia, Namibië, Soedan, Mozambique en delen van West-Afrika, met producenten in Zuid-Afrika, Kenia en sinds kort Senegal. De ontwikkeling ervan kostte 'slechts' 11,5 miljoen euro. In vergelijking met de 70 tot wel 160 miljoen euro die het op de markt brengen van een chemisch pesticide kost is dat een schijntje.

De eerste experimenten met deze schimmel tegen malariamuggen vonden plaats in 1999. Ernst-Jan Scholte, student van de Wageningen Universiteit liet tijdens zijn stage bij het *International Centre of Insect Physiology and Ecology* (ICIPE) in Kenia zien dat volwassen malariamuggen zeven tot veertien dagen na infectie met de schimmel sterven. De mug wordt via zijn uitwendige skelet, de cuticula, geïnfecteerd met sporen van de schimmel (figuren 5 en 6, grafiek).

Muggen en schimmels

De veelbelovende eerste experimenten met schimmels en malariamuggen resulteerden in een reeks van nieuwe studies. Later bleek dat ook de tiggermug *Aedes aegypti*, die gele koorts en knokkelkoorts overbrengt, goed geïnfecteerd kan worden met *Metarhizium*. Onderzoek in Engeland liet bovendien zien dat muggen die zowel malariaparasieten



figuur 5 Infectie van muggen met de schimmel *Beauveria bassiana* over enkele dagen (van links naar rechts) © Hugh Sturrock

als de schimmel bij zich dragen, veel minder goed malaria kunnen overdragen. Niet alleen vanwege een kortere levensduur van het insect, ook door een direct effect van de schimmel op de parasiet. Schimmels produceren een reeks van stoffen die giftig zijn voor muggen: zogenaemde destruxines. Mogelijk hebben die een negatief effect op de malariaparasiet. Het precieze mechanisme hierachter is nog niet bekend.

Een mug die de schimmel bij zich draagt neemt ook minder bloedmaaltijden. Voor de verspreiding van malaria is dat natuurlijk van groot belang. Een mug zonder parasieten krijgt dankzij de schimmel minder kans die parasieten op te nemen bij een geïnfecteerd mens en een mug met krijgt minder kans die parasiet door te geven.

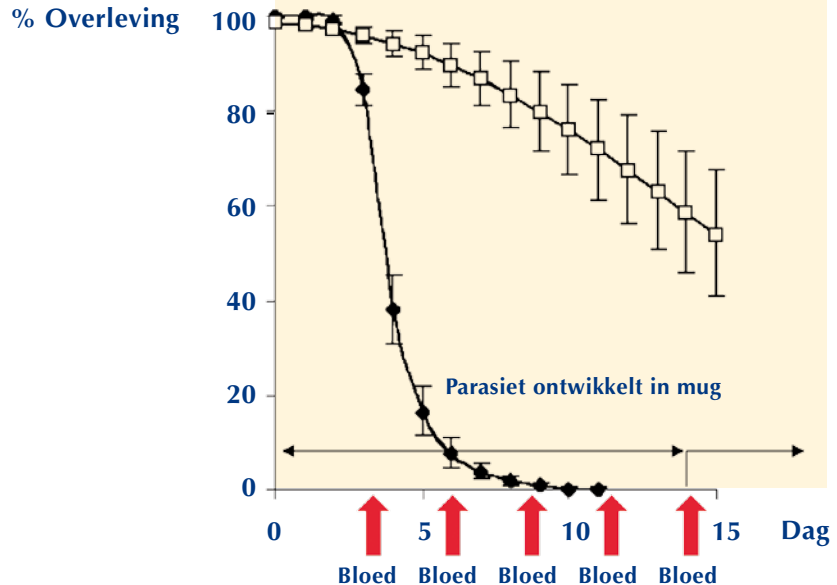
Na het laboratorium werd in 2004 voor het eerst een echt experiment in het veld gedaan, in Tanzania. In een typisch dorp met traditionele woningen werden enkele weken muggen binnenshuis gevangen om te zien of ze misschien van nature al geïnfecteerd waren met *Metarhizium*. Dat bleek niet het geval. Daarna werden in tien huizen zwarte doeken van één bij drie meter tegen het plafond gehangen. Op die doek was zonnebloemolie gesmeerd met daarin sporen van de schimmel.

Iedere dag werden de muggen die op die doek kwamen rusten gevangen en zo lang mogelijk in leven gehouden. Na hun dood werd bepaald of ze inderdaad geïnfecteerd



figuur 6 Malariamug geïnfecteerd met *Beauveria bassiana* © Hugh Sturrock

figuur 7 Invloed van schimmelinfectie (gesloten symbolen) op transmissie van malaria in vergelijking met muggen zonder infectie (open symbolen). Op dag elf zijn alle met schimmel besmette muggen dood, terwijl meer dan vijftig procent van de muggen zonder infectie dan nog leeft. Aangezien pas veertien dagen na infectie met de malariaparasiet muggen in staat zijn de infectie door te geven, kunnen schimmels dus voordat dit kan de meeste muggen doden.



waren met de schimmel (figuur 7). Ongeveer een kwart (23 procent) van alle muggen die de huizen binnenkwamen op zoek naar bloed bleek uiteindelijk geïnfecteerd. Met deze gegevens werd een spectaculaire berekening gemaakt. Waar de dorpelingen tot dat moment jaarlijks ongeveer 260 keer werden geïnfecteerd door een malariamug, zou dit teruglopen tot hooguit zestig beten wanneer overal doeken met schimmelsporen zouden worden opgehangen: een afname van zeventig procent! Het aantal infectieuze beten hangt vervolgens direct samen met het aantal ziektegevallen en de sterfte aan malaria. Dus deze proef mag zonder overdrijven een groot succes worden genoemd.

De malariabestrijding van de nabije toekomst

Na de eerste successen is een internationaal consortium van zeven onderzoeksgroepen opgericht. De groep wil biologische bestrijding van malariamuggen naar hetzelfde niveau tillen als chemische bestrijding nu. Maar voor die tijd valt er nog veel te leren. Hoe produceren je bijvoorbeeld op grote schaal schimmelsporen? In Wageningen onderzoekt de afdeling Bioprocesstechnologie van de universiteit onder welke omstandigheden de schimmel de beste kwaliteit sporen kan produceren. De onderzoekers gebruiken daarvoor speciale kweekmedia waar voedingsstoffen aan worden toegevoegd. Het Laboratorium voor Entomologie onderzoekt ondertussen hoe je de muggen zo efficiënt mogelijk kunt infecteren met zo min mogelijk sporen (figuur 8).

Afrikaanse waterpotten blijken uitstekende rustplaatsen voor muggen. Behandeling van de binnenzijde van die potten met sporen bleek meer dan negentig procent van de muggen

vraag 3 Er wordt wel eens gezegd dat de klimaatverandering malaria weer terug zal brengen naar Nederland. Zou dat echt kunnen?

die erin rusten te infecteren. Daarnaast wordt er gezocht naar andere oplosmiddelen om sporen in te verwerken. Misschien zijn er andere oliën dan zonnebloemolie waar de sporen beter in overleven. Al deze verbeteringen zijn nodig om de behandeling van de infectieplaatsen tegen zo min mogelijk kosten uit te kunnen voeren.

In Tanzania worden de resultaten van het eerste veldexperiment inmiddels op grotere schaal herhaald. Twee dorpen met in totaal 1.900 woningen zijn bij een zogenoemd 'cross-over' experiment betrokken. In het eerste jaar worden alle huizen in het ene dorp met schimmel behandeld, waarbij het andere dorp als 'onbehandelde controle' fungeert. Het jaar erna draait dit om. Wanneer deze experimenten op dorpsniveau opnieuw hoop bieden, komt wellicht de moeilijkste stap aan bod: hoe overtuig je de officiële instanties zoals de Wereldgezondheidsorganisatie of de nationale Ministeries van Gezondheid van de zegeningen van dit plan. En hoe ga je de methode in de praktijk van alledag inzetten? Kan dit in samenwerking met de lokale bevolking? Pas als al deze vragen op een bevredigende manier zijn beantwoord kan de schimmel een plaatsje veroveren op de plank naast of misschien wel in plaats van de pot met DDT.



figuur 8 Traditionele waterpotten worden in het laboratorium behandeld met schimmelsporen

© Hans Smid

antwoord 1 Afrika is het armste continent. Dat maakt de bestrijding van iedere ziekte lastig. Bovendien blijken de malariamuggen in Afrika sterker dan elders op mensen gericht en leven ze langer.

antwoord 2 Als je met een vaccin een ziekte wilt uitroeien moet je alle 'dragers' vinden. Dat lijkt bij malaria onmogelijk. Muggenbestrijding zal dus altijd nodig blijven.

antwoord 3 Malaria zal in Nederland geen voet aan de grond krijgen. Onze gezondheidszorg is zo goed georganiseerd dat er nooit een 'reservoir' van malariaparasieten onder de bevolking kan ontstaan.

Panamakanaal wereldprimeur

in muggenbestrijding door Willem Takken

Het Panamakanaal is de economische ader die de Atlantische Oceaan en de Grote Oceaan verbindt. Voor Amerika is die verbinding van levensbelang. Hij maakt het mogelijk dat schepen via een korte route tussen de oost- en de westkust van Noord-Amerika kunnen varen. Het had niet veel gescheeld, of de Amerikanen waren van de Fransen afhankelijk geweest om door dat kanaal te mogen varen. Het is eigenlijk aan malaria en gele koorts te danken dat de Amerikanen de bouw en – tot 2000 – de zeggenschap over het kanaal in handen kregen. Tegelijk is de geschiedenis van het Panamakanaal een mooi staaltje van ‘geïntegreerde insectenbestrijding *avant la lettre*’.

Het verhaal begint in 1880. Onder leiding van de man die eerder het Suezkanaal bouwde, de Fransman Ferdinand de Lesseps, werd begonnen met de bouw van de vaarweg dwars door Centraal-Amerika (figuur 1). Maar in 1889 gaven de Fransen er de brui aan. Er waren technische problemen en, belangrijker nog, er waren inmiddels twintigduizend arbeiders overleden aan gele koorts en malaria. Beide ziekten waren in de zestiende eeuw met Afrikaanse slaven Zuid-Amerika binnengebracht. Onder de Indianenbevolking maakten deze infecties duizenden slachtoffers. In Zuid-Amerika wordt gele koorts overgebracht door de steekmug *Haemagogus janthinomys*, een mug die vooral in het tropisch regenwoud voorkomt. De belangrijkste zogenoemde vectoren voor malaria in Panama zijn de muggen *Anopheles darlingi* en *Anopheles albimanus*.

In het dun bevolkte Panama kregen gele koorts en malaria in eerste instantie weinig voet aan de grond. Het aantal mensen dat parasieten droeg was domweg te klein voor echte epidemieën van deze ziekten. De duizenden ingenieurs en arbeiders die voor de bouw van het Panamakanaal nodig waren brachten daar verandering in. Mensen woonden ineens dicht op elkaar in bouwketen, vaak aan de randen van het oerwoud waar het nieuwe kanaal doorheen werd aangelegd. De cyclus aap-mug-mens voor gele koorts, en de cyclus mens-mug-mens voor malaria werd ineens

Professor Willem Takken is hoogleraar medische en veterinaire entomologie bij Wageningen Universiteit

kort. Muggen hoefden alleen maar in de keten te wachten op nieuwe slachtoffers om te infecteren.

Dagelijks werden nieuwe zieken gerapporteerd. Veel mensen overleden al binnen een maand na aankomst in Panama aan de gevolgen van gele koorts of malaria. Het werd een regelrechte humanitaire ramp. De Fransen kregen ook nog eens te maken met almaar oplopende bouwkosten. Daarom trokken ze in 1889 de stekker eruit. Het project werd verkocht aan de gretige Verenigde Staten.

figuur 1 De bouw van het Panamakanaal



Muggenbestrijding trekt de bouw vlot

Het project werd door de Amerikanen weer vlotgetrokken na nieuwe ontdekkingen over de rol van steekmuggen bij de overdracht van malaria en gele koorts, in respectievelijk 1898 en 1900. Niet de behandeling van zieke mensen maar de bestrijding van muggen kwam centraal te staan (figuur 2). De Amerikanen zagen nu een nieuwe mogelijkheid om het kanaal af te bouwen zonder het leven van de ingenieurs en arbeiders in gevaar te brengen. Als de bestrijding van de vectoren van gele koorts en malaria effectief uitgevoerd kon worden, zouden mensen verschoond blijven van deze infectieziekten.

De Amerikaanse legerarts William C. Gorgas werd in 1904 aangesteld om deze klus te klaren. Een paar jaar daarvoor had hij in de Cubaanse hoofdstad Havana laten zien hoe je door hygiëne-maatregelen rond broedplaatsen van muggen gele koorts kon uitroeien. Ook in Panama ging Gorgas met militaire precisie aan het werk. Hij zette een breed pakket aan maatregelen in om de gele koortsmug te bestrijden: drainage, muggengaas voor ramen en deuren, huis-aan-huis behandeling met gassen van zwavel of pyrethrum, afgewerkte olie in wateropslagplaatsen, goten en poelen om muggen te verdelgen... Binnen één jaar kon hij de kanaalzone vrij verklaren van gele koorts!

Voor malaria was bestrijding veel lastiger, want de broedplaatsen van malariamuggen komen tot ver in het regenwoud voor.

Mensen die aan de rand van het bos woonden werden dan ook nog regelmatig gebeten. Tussen woonhuizen en het bos werd daarom een brede rand van 200 meter kaal gemaakt. Poelen en plassen werden drooggelegd, roofvissen werden uitgezet om de muggenlarven op te vreten en stilstaande watertjes werden bedekt met een laagje olie om de muggen te laten stikken, of de insecten werden vergiftigd met een mengsel van carbolzuur, resine en soda. Biologische bestrijding werd gecombineerd met aanpassingen aan het leefgebied van de muggen en met mechanische bestrijding. Tussen 1906 en 1909 nam het aantal malariadoden onder de bevolking met 84 procent af, van 1621 per honderdduizend tot 258 per honderdduizend inwoners. Het aantal ziekenhuisopnames onder werknemers met malaria nam af van 9,6 procent tot 1,6 procent. Door deze unieke aanpak van de ziekteoverbrengers waren voortaan noch gele koorts, noch malaria een serieuze bedreiging voor de gezondheid van mensen in de kanaalzone.



figuur 2 Insectenbestrijding rond het Panamakanaal

Het Panamakanaal werd uiteindelijk geopend in 1914. Door het uitbreken van de Eerste Wereldoorlog werd het kanaal aanvankelijk weinig gebruikt. Vanaf 1919 werd het een druk bevaren waterweg. Gele koorts is een regelmatig terugkerende ziekte in Panama, omdat deze ziekte endemisch is in andere delen van Midden- en Zuid-Amerika. Ook malaria is nooit helemaal verdwenen. Maar het aantal slachtoffers door deze ziekten blijft beperkt door effectieve vaccinatie tegen gele koorts en door maatregelen tegen malariamuggen.

De bouw van het Panamakanaal gaat niet alleen de geschiedenis in als een technisch hoogstandje. Het is tegelijk de grootste door de mens gecreëerde tragedie van een infectieziekte. Eentje die voorkomen had kunnen worden als in 1880 bekend was geweest hoe gele koorts en malaria door insecten worden overgedragen. Helaas was die kennis pas jaren later beschikbaar.

Begrippenlijst

Biologische Bestrijding

Het beheersen van ziekten, plagen en onkruiden met behulp van hun natuurlijke vijanden.

DDT

Diphenyl-Dichloro-Trichloroethaan, beter bekend als DDT, werd in 1939 ontdekt door de Zwister Paul Müller. Het is vooral bekend geworden als insectendoder. In de landbouw wordt het bijna nergens meer gebruikt. Alleen bij de bestrijding van malariamuggen wordt DDT nog gebruikt.

DNA

De drager van erfelijke informatie in plant en dier. Lange strengen DNA bevatten afgebakende genen: de 'woorden' van het genetisch codeboek.

Ecologie / ecosysteem

De ecologie is een onderdeel van de biologie. Het bestudeert de verspreiding, de dynamiek en de samenhang tussen levende organismen en hun omgeving. Een ecosysteem is het samenhangende geheel van planten, dieren en andere levende organismen en hun niet-levende omgeving.

Entomologie

Kennis en leer der insecten, met veel deelgebieden.

Exoot

Een planten- of diersoort buiten zijn oorspronkelijke leefgebied. Planten of dieren worden regelmatig door mensen verplaatst. Dat kan bewust gebeuren, bijvoorbeeld in het kader van biologische bestrijding, of onbewust, doordat een beest of een plantenzaad met een schip, een vliegtuig of een schoenzool over de wereld wordt versleept.

Feromonen

Insecten en andere dieren kunnen met soortgenoten communiceren door middel van deze 'geur- en smaakstoffen'.

Fungicide

Bestrijdingsmiddel dat tegen schimmels wordt gebruikt.

Geïntegreerde gewasbescherming

Het voorkómen van ziekten en plagen door middel van een samenspel van verschillende methoden. Gebruik van gif is op zijn best een laatste redmiddel in de geïntegreerde gewasbescherming.

Genetische modificatie / manipulatie

Wanneer losse stukken erfelijk materiaal van het ene organisme in een ander organisme worden gezet, spreek je van genetische modificatie of manipulatie. Het gebruik van de ene of de andere term hangt doorgaans af van hoe je tegen deze techniek aankijkt. Vind je het een goed idee dat bijvoorbeeld een gen uit een bacterie planten wapent tegen insectenvraat, dan spreek je van modificatie. Actiegroepen als Greenpeace wijzen stevast op de risico's en gebruiken dus liever het negatief geladen woord manipulatie.

Genen (zie DNA)

Herbicide

Bestrijdingsmiddel dat tegen onkruid wordt gebruikt.

Inundatie

Letterlijk: het onder water zetten van een gebied. In de biologische bestrijding: het loslaten van een grote hoeveelheid natuurlijke vijanden in een gewas met als doel een onmiddellijk bestrijdingseffect.

Inoculatie

Letterlijk: inenten, enten. Het gericht inzetten van een (beperkte) hoeveelheid natuurlijke vijanden van een plaaginsect, met als doel: een langdurig bestrijdings-effect.

Insecticide

Bestrijdingsmiddel dat wordt ingezet tegen insecten.

Mijten

Mijten komen in vele soorten en maten. Het zijn geen insecten. Samen met teken vormen ze een aparte orde in het dierenrijk; de Acarina. Er zijn mijten die plagen kunnen vormen (de spintmijt bijvoorbeeld), maar ook zogenaemde roofmijten, die juist ingezet kunnen worden om plaaginsecten te bestrijden.

Pesticide

Chemisch bestrijdingsmiddel (zie fungicide, herbicide of insecticide)

Predator

Een rover die actief op zoek gaat naar eetbare prooien. Een predator kan een groot zoogdier of vogel zijn, maar ook een minuscule insect zoals een lieveheersbeestje.

Sluipwesp

Sluipwespen vormen een belangrijke groep biologische bestrijders. Ze hebben niets met de beruchte (limonade)wespen te maken. Het zijn veel rankere insecten die hun eitjes leggen in of op levende gastheren, zoals rupsen.

Veredeling / Plantenveredeling

In de plantenveredeling worden die planten uit een groep geselecteerd die de gewenste eigenschappen hebben voor een boer of een tuinder. Wanneer steeds met de beste exemplaren wordt doorgekweekt en gekruist, wordt uiteindelijk een steeds betere, 'veredelde' plant gekweekt.

Vruchtwisseling

Bij vruchtwisseling worden enkele gewassen in afwisseling met elkaar op een zelfde perceel verbouwd. Op die manier worden bodemziekten tegengegaan.

Wittevlieg

Wittevlieg is, zoals de naam al doet vermoeden, een wit insect, maar geen echte vlieg. Ze zijn een paar millimeter groot, maar kunnen wel grote plagen vormen, vooral in de glastuinbouw.

Veel van de auteurs uit dit cahier werken of werkten bij de Wageningen universiteit. De Leerstoelgroep Entomologie (insectenkunde) is te vinden op www.insect-wur.nl. Enkele leden van die groep zijn – naast hun wetenschappelijk werk – ook verdienstelijke insectenfotografen. Hun homepage is www.bugsinthepicture.com

De plantenziektekundige dienst houdt bij welke (ernstige) plantenziekten in ons land voor (dreigen te) komen. De dienst is een onderdeel van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en te bereiken via www.minlnv.nl

Veel Engelstalige informatie over biologische bestrijding is te vinden op www.IOBC-GLOBAL.org

Een willekeurige steekproef van de bedrijven die actief zijn in Biologische Bestrijding:
www.biobest.be
www.biocontrole.nl
www.entocare.nl
www.koppert.nl

Natuur als Bondgenoot

Biologische bestrijding van ziekten en plagen

Sinds mensen hun voedsel zijn gaan verbouwen in plaats van het te verzamelen in de vrije natuur, hebben ze ook last gekregen van plagen. Vooral een flink leger plantenetende insecten heeft het gemunt op onze eindeloze akkers met landbouwgewassen. De gifspuit is nog steeds ons belangrijkste antwoord. Maar steeds meer boeren en tuinders ontdekken het goedkoper, veiliger en gezonder alternatief: zij bestrijden beestjes met beestjes.

Dit cahier beschrijft niet alleen de – meer dan 100 jaar oude! – geschiedenis van biologische bestrijding. Het verklaart ook de ‘biologica’ achter deze milieuvriendelijke manier van plagen bestrijden. Het vertelt over de fenomenale speurneus van insecten en de gerichte schreeuw om hulp van planten. Het laat zien hoe er een heel nieuwe bedrijfstak is ontstaan naast de bestrijdingsmiddelenfabrieken: de insectenfabriek. Aan het slot kijkt dit cahier vooruit: wat kan biologische bestrijding betekenen voor de bestrijding van de tropische *killer* malaria. En wat gaat het veranderende klimaat doen met plagen en biologische plaagbestrijding?



Bio-Wetenschappen en Maatschappij

ISBN 978-90-73196-49-0



9 789073 196490 >

Kwartaalcahiers zijn een uitgave van de onafhankelijke Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij. Elk nummer is geheel gewijd aan een thema uit de levenswetenschappen, speciaal met het oog op de maatschappelijke gevolgen ervan.