



© 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 planteneterende 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 vraatschade, 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 wél 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 tabakspplanten 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.