

# Biodiversiteit en gewasbescherming

Nico M. van Straalen

## TREFWOORDEN

Biodiversiteit, insecten, gewasbescherming, pesticiden

Entomologische Berichten 73 (4): 127-131

In de voetsporen van Rachel Carson kan de vraag gesteld worden of de chemische gewasbescherming die nodig is om hoogproductieve landbouw in Nederland te bedrijven zich verdraagt met de instandhouding van de biodiversiteit. Vaak wordt het functioneren van ecosystemen aangevoerd als belangrijk argument voor de bescherming van biodiversiteit, maar dit argument staat zwak omdat in bijna elk systeem een hoge mate van functionele redundantie heerst. Sinds de Rio-conferentie, nu 20 jaar geleden, wordt erkend dat het begrip biologische diversiteit drie aspecten kent: genetische variatie, soortenrijkdom en diversiteit in het landschap. Op elk van deze drie niveaus kunnen bestrijdingsmiddelen effecten veroorzaken, door flessenhalseffecten in populaties, sterke gerichte selectie en verlies van gevoelige soorten. Causale relaties zijn echter moeilijk te leggen. Er zijn drie kritische punten waarop meer onderzoek nodig is. In de eerste plaats zijn sommige insecten door hun gedrag speciaal gevoelig voor de effecten van subletale blootstelling aan insecticiden. In de tweede plaats is de endocriene regulatie van ontwikkeling en reproductie een uitermate gevoelig proces gebleken. Ten derde kunnen mengsels van stoffen onverwachte effecten hebben. Vanwege gebrek aan kennis op alle drie punten kan de vraag hoe het huidige niveau van gewasbescherming de Nederlandse biodiversiteit beïnvloedt nog niet goed causaal onderbouwd worden.

## Entomologie, Dode Lente en de biodiversiteit

In haar klassieke boek 'Dode Lente' schildert Rachel Carson (1962) geen positief beeld van de entomologie. Zo stelt ze dat 'the entomologist, whose specialty is insects, is not so qualified by training, and is not psychologically disposed to look for undesirable side effects of his control programme', en: 'certain outstanding entomologists are among the leading advocates of chemical control'. Zij beschuldigt entomologen ervan te werken voor de chemische industrie en de mening te verkondigen dat insecticiden geen nadelige effecten hebben.

Natuurlijk moeten zulke uitspraken gezien worden in het licht van de jaren 1960 toen inderdaad vele 'economische entomologen' zich bezig hielden met chemische plaagbestrijding en de selectiviteit van insecticiden. Gelukkig ontstond er sinds de jaren 1970 ook een grote groep entomologen, zeker ook in Nederland, die zich richtte op biologische plaagbestrijding (Joop van Lenteren e.a. van de Wageningen Universiteit) en op de negatieve ecologische effecten van insectidenbespuitingen in het veld (James Everts e.a., ook van de Wageningen Universiteit). De vooraanstaande positie van het Nederlandse onderzoek op deze twee gebieden, biologische plaagbestrijding en ecotoxicologie, rechtvaardigt volledig het feit dat het juist de Nederlandse Entomologische Vereniging (NEV) was die het initiatief nam tot het organiseren van een symposium 'Silent Spring – 50 jaar later'. In 1987, 25 jaar na dato, was het de Nederlandse Vereniging voor Toxicologie die een herdenkingsymposium organiseerde.

Het jaar 2012 was niet alleen 50 jaar na 'Dode Lente' maar ook 20 jaar na de totstandkoming van het mondiale 'verdrag inzake biologische diversiteit' waarvoor de basis gelegd werd bij

de beroemde Conventie in Rio de Janeiro. In dat verdrag werd voor het eerst door bijna alle landen ter wereld vastgelegd dat de biologische diversiteit op aarde beschermingswaardig was. Men onderscheidde daar drie niveaus van biologische diversiteit. (1) Genetische variatie binnen een soort: dit niveau van biodiversiteit behelst de verschillen in het DNA tussen individuen van dezelfde soort, vooral die verschillen die tot uiting komen in het fenotype. De achtergrond is dat genetische variatie noodzakelijk is voor aanpassing van een populatie (en daarmee van een soort) aan een veranderend milieu en dat heterozygotie over het algemeen een positieve bijdrage levert aan de fitness van een individu. (2) Soortenrijkdom: dit is het type biodiversiteit dat meestal bedoeld wordt zonder verdere specificatie. Biologen voegen daar aan toe dat het niet alleen gaat om een soortenlijst, maar ook om de verdeling van aantallen over soorten (de dominantiestructuur van de levensgemeenschap) en om de diversiteit in relatie tot plaats en tijd. Ook voor insecten is  $\beta$ -diversiteit van groot belang: een lokale gemeenschap kan gedomineerd worden door enkele soorten, maar op elke plek domineren weer andere soorten, zodat de biodiversiteit van een hele regio toch groot kan zijn. (3) Diversiteit van ecosystemen: dit type biodiversiteit wordt het meest gewaardeerd door het grote publiek. Het gaat dan om de afwisseling van open en dichte terreinen, weilanden met bomen en heggen, waterpartijen met oevervegetatie, kenmerkende structuren in het landschap, enz.

De conjunctie van 50 jaar Dode Lente en 20 jaar Biodiversiteit is een goede gelegenheid om de relatie tussen die twee eens onder de loep te nemen.



1. Insecticiden kunnen in subletale doseringen subtiele effecten hebben op het gedrag van een soort, zoals bijvoorbeeld het geval is bij het maken van een web door een spin, het broedzorggedrag van oorwormen of het foerageergedrag van bijen. Foto's: Peter Koomen  
1. Insecticides in sublethal doses can have subtle effects on the behaviour of species, like web-making in spiders, brood-care in earwigs or foraging behaviour in bees.

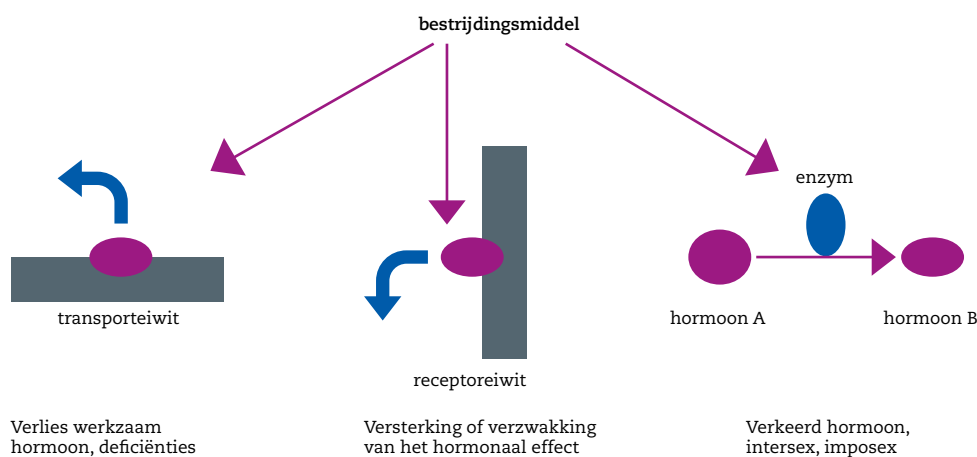
## Biodiversiteit en functionele redundantie

Tijdens het internationale jaar van de biodiversiteit 2010 is door talloze organisaties benadrukt dat biodiversiteit een belangrijke functionele betekenis heeft en zelfs nodig is voor het voortbestaan van de mens. Het beschermen van biodiversiteit als doel op zich valt namelijk haast niet uit te leggen aan beleidsmakers en het grote publiek, omdat je dan moet aantonen dat allerlei bijzondere of zeldzame soorten beschermingswaardig zijn. Iedereen in de praktijk van de natuurbescherming kent het gniffelend ongeloof dat de natuurbeschermers te beurt valt als hij het leefgebied van de zeggekorfslak (*Vertigo moulinsiana*) of de rugstreeppad (*Bufo calamita*) inbrengt als argument tegen een gemeentelijk uitbreidingsproject voor woningen of een industrieterrein.

Toch zijn vele biologen meegegaan in het functionaliteitsdenken en hebben hun onderzoeksprogramma's gericht op de vraag of soortenrijkdom nodig is om het voortbestaan of de stabiliteit van ecosystemen op de lange duur te garanderen. In Nederland is onder andere een NWO-programma 'functionele biodiversiteit' uitgevoerd en internationaal heeft het onderwerp ontzettend veel aandacht gekregen. Er zijn talloze theorieën ontwikkeld en er is langlopend experimenteel veldonderzoek verricht, onder andere in graslanden ingezaaid met een verschillend aantal plantensoorten, waarbij vervolgens gekeken werd naar de productiviteit (zie voor een recent artikel op dit terrein bijv. Hooper et al. 2012).

Uit het experimentele en theoretische onderzoek op dit terrein blijkt (1) dat een zekere mate van soortenrijkdom nodig is om het functioneren van ecosystemen mogelijk te maken, en (2) dat een groter aantal soorten nodig is om stabiliteit van ecosystemen op de lange termijn te garanderen in een veranderend milieu (Loreau et al. 2001). Bovendien is gebleken dat de diversiteit en complementariteit van ecologische kenmerken in een gemeenschap belangrijker zijn dan de soortenrijkdom op zich (Heemsbergen et al. 2004, Wardle et al. 2011).

Toch is het de vraag of het functionele argument de bescherming van de biodiversiteit veel vooruit helpt. Het resultaat van de studies is namelijk een curve van verminderde meeropbrengst als een functionele variabele (bijv. productiviteit) uitgezet wordt tegen het aantal soorten in het systeem. Bij een klein aantal soorten neemt het functioneren toe met elke toevoeging van een nieuwe soort, maar al gauw ontstaat er een plateau, waarbij elke nieuwe soort het functioneren van het systeem niet meer noemenswaardig vooruit helpt. Voorbeelden waarbij de honderdste soort nog steeds een effect heeft op het functioneren heb ik nooit gezien. Maar in de natuurbescherming gaat het om duizenden soorten, inclusief de zeldzame. Men noemt dit principe 'functionele redundantie'. Het functioneren van een systeem wordt bepaald door een beperkt aantal robuuste en dominante soorten, die gereguleerd worden door een eveneens beperkte maar minder dominante groep van herbivoren en predatoren. Het merendeel van de



2. Illustratie van drie manieren waarop pesticiden de werking van steroïde hormonen kunnen verstoren: effecten op het transport, de receptorbinding en het metabolisme. Zulke effecten zijn aange-toond voor organochloorverbindingen (transport, receptorbinding) en tributyltin (metabolisme).

2. Illustration of three mechanisms of disturbance of steroid hormone action by pesticides: effects on transport, receptor binding and metabolism. Such effects have been demonstrated for organochlorines (transport, receptor binding) and tributyl tin (metabolism).

soorten draagt nauwelijks bij aan de functie en is in die zin redundant.

Dat het redundantieargument van de levensgemeenschap-ecologie omgekeerd kan worden is feilloos herkend door Bas Haring in zijn bekende boek 'Plastic panda's' (Haring 2011). Hij betoogt hierin dat, gezien het feit dat niet alle soorten er toe doen, er gerust een aantal mogen uitsterven. Dat is geen ramp; het is hoogstens jammer. Desnoods vervangen we de reuzen-panda door plastic speelgoedpanda's; die zijn ook mooi.

Het plastic panda-argument leidt tot een misantropische kijk op de biodiversiteit. Het biedt zeker geen houvast bij de natuurbescherming. Daar tegenover wil ik het biofilie-argument van E.O. Wilson stellen (Wilson 1984). Wilson betoogde dat de mens een natuurlijke neiging heeft om te geven om andere soorten. Die aangeboren liefde voor de natuur, die in elk mens te vinden is, is de beste basis voor de natuurbescherming. Ik wil er nog aan toevoegen dat biofilie zijn oorsprong vindt in de verbinding tussen de mens en alle andere levende organismen via de stamboom van het leven. Dat die evolutionaire boom er toe doet blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat de mate van biofilie die mensen ervaren ten opzichte van een bepaalde soort ongeveer evenredig is met de evolutionaire afstand tussen ons en de betreffende soort. Het is niet voor niets dat het in Nederland verboden is om proeven te doen met chimpansees en dat in de Wet op de Dierproeven gewervelden wel, maar ongewervelden niet als proefdier worden beschouwd. Ook Gerard Jagers op Akkerhuis legt, in zijn inspirerende filosofische essay over de betekenis van biodiversiteit, de nadruk op het evolutionaire perspectief en de eenheid tussen fysica, biologie en de evolutie van het hele natuurlijke systeem (Jagers 2012).

## Effecten van bestrijdingsmiddelen op drie niveaus van biodiversiteit

Bestrijdingsmiddelen kunnen door hun toxiciteit een sterke selectiedruk uitoefenen op doelwitpopulaties en daardoor resistenties in de hand werken. Toen de chemische gewasbeschermingsmiddelen op de markt kwamen was dit gelijk duidelijk. De eerste resistenties tegen DDT en andere organochloorverbindingen dateren al uit de jaren 1950, direct na de introductie van DDT (Busvine 1951). Inmiddels is voor talloze insecten resistentie aangetoond; zo is bijvoorbeeld de Coloradokever (*Leptinotarsa decemlineata* (Say)) nu resistent tegen vijftig verschillende insecticiden.

Resistentie leidt over het algemeen tot verlies aan genetische variatie omdat slechts enkele genotypen zich weten te handhaven in een milieu dat onder druk staat van pesticiden. Daarnaast zullen bestrijdingsmiddelen leiden tot een sterke

reductie van de populatieomvang, niet alleen van de plaagpopulatie maar ook van nuttige, antagonistische organismen. Dit zal over het algemeen ook leiden tot verlies aan genetische variatie. Deze effecten worden wel samengevat onder de term 'genetische erosie' (Van Straalen & Timmermans 2002).

Ondanks de plausibiliteit van het 'genetische erosie'-argument blijkt in de praktijk toch moeilijk aantoonbaar dat blootstelling aan toxische stress leidt tot verlies aan genetische variatie (Hoffmann & Willi 2008, Van Straalen et al. 2011). De sterkste aanwijzingen komen uit studies naar vissen. Bij insecten zijn geen voorbeelden bekend. Hiervoor zijn verschillende redenen. In de eerste plaats berusten resistenties vaak op genetisch beperkte veranderingen (bijv. genduplicaties of herschikking van een promotor), waardoor een groot deel van de variatie in de rest van het genoom onaangetast blijft. In de tweede plaats zijn er meestal kosten verbonden aan een resistentie, waardoor na een bespuiting een snelle terugval naar het wildtype optreedt. Verder speelt wellicht een rol dat insectenpopulaties groot zijn en mobiel, zodat door dispersie de lokale genetische verarming snel hersteld kan worden.

Verder is de relatie tussen genetische variatie en de levensvatbaarheid van een veldpopulatie ook veel minder duidelijk dan je zou denken. Een mooi voorbeeld is de populatie van grijze wolven (*Canis lupus*) in Scandinavië, die zijn oorsprong vindt in één enkel paartje dat in 1980 migreerde van Rusland naar Finland, terwijl er in 1991 een derde migrant bij kwam, een mannetje dat kruiste met de bestaande populatie (Hagenblad et al. 2009). De genetische variatie van de Scandinavische wolvenpopulatie is buitengewoon gering maar toch doen ze het zo goed dat de Zweedse regering in 2010 besloot een aantal wolven af te schieten om de populatie op een niveau van 210 individuen te houden.

Of de chemische gewasbescherming een effect heeft op het tweede niveau van biodiversiteit, de soortenrijkdom, is het onderwerp van een aantal artikelen in dit nummer van Entomologische Berichten. Een relatie is niet een, twee, drie duidelijk. De trends in de Nederlandse biodiversiteit, zoals beschreven in het magnifieke boek van Noordijk en collega's (2010) zijn wel duidelijk: algemene soorten worden zeldzaam, karakteristieke soorten verdwijnen, bossoorten en soorten van stromend water nemen toe. Of deze trends een relatie hebben met het huidige niveau van chemische gewasbescherming is moeilijk te zeggen. Wel zijn er volgens mij drie gevoelige targets die zorg opleveren (1) situaties waarin het gedrag van een soort een cruciale overlevingsfactor is, (2) de endocriene regulatie van voortplanting en ontwikkeling, en (3) combinaties van bestrijdingsmiddelen met verschillende werking. Deze drie zorgpunten worden hieronder besproken.

## Drie processen bijzonder gevoelig voor neveneffecten

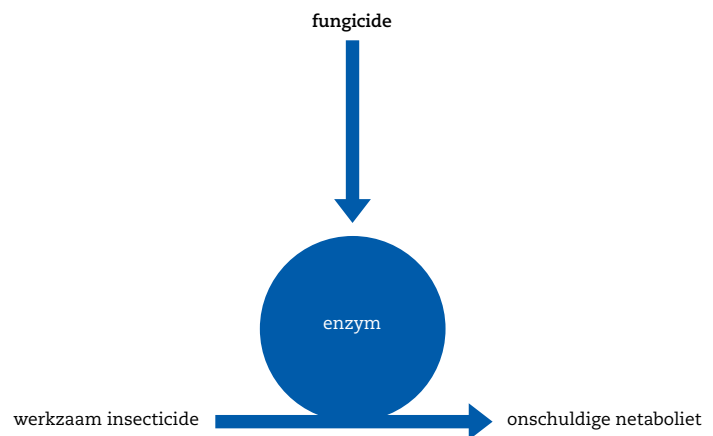
Bij ecotoxiciteitstesten naar de neveneffecten van pesticiden worden effecten op het gedrag van een soort over het algemeen niet uitvoerig onderzocht. Toch kunnen insecticiden, vooral als ze gericht zijn tegen een doelwit in het zenuwstelsel, in subletale doseringen subtiele effecten hebben op het gedrag. Voor sommige dieren is het gedrag bovendien zo cruciaal dat een kleine verstoring ervan het voortbestaan van de soort direct in gevaar brengt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het maken van een web door een spin, het broedzorggedrag van oorwormen of het foerageergedrag van bijen (figuur 1). De laatste jaren hebben de mogelijke effecten van een groep systemische insecticiden, de neonicotinoïden, sterk de aandacht getrokken en is er een relatie gelegd met de achteruitgang van honingbijen (*Apis mellifera* Linnaeus) en Hymenoptera in het algemeen (Henry et al. 2012, Whitehorn et al. 2012).

De achteruitgang van honingbijen is een bijzonder gecompliceerd verschijnsel waarbij een invloed van algemeen gebruikte neonicotinoïden zoals imidacloprid, niet uitgesloten kan worden. Er zijn aanwijzingen dat honingbijen zich door blootstelling aan deze stoffen minder goed kunnen oriënteren in het habitat, zodat de aanvoer van stuifmeel geringer is en het volk als geheel verzwakt de winter in gaat. Soortgelijke effecten worden bij hommels gezien. Toch is de relatie tussen blootstelling en effect in deze studies nogal onduidelijk, omdat men niet het klassieke principe uit de toxicologie toepast: het gebruik van meerdere doseringen waarbij het effect een kwantitatieve relatie heeft met de blootstelling. Daarom blijven er voor de risicobeoordeling van neonicotinoïden en hun effecten op bijen nog veel vragen over (Blacquière et al. 2012).

Een tweede potentieel gevoelig doelwit bestaat uit de endocriene regulatie van ontwikkeling en voortplanting. Hormonen zijn stoffen die in zeer lage concentraties door het lichaam circuleren en een specifiek effect op een doelwitorgaan hebben. Omdat ze in zulke lage concentraties werkzaam zijn is er ook maar weinig voor nodig om een verstoring te veroorzaken, met grote gevolgen. Van een aantal, meest oude, bestrijdingsmiddelen is aangetoond dat ze endocrien-verstorend zijn. Daarbij kunnen ze werken op het metabolisme van een hormoon, het transport door het lichaam of op een cellulaire receptor (figuur 2). Vanwege het biochemische sleutel-slot-principe gaat het vaak om zeer specifieke effecten die goed te begrijpen zijn vanuit de moleculaire structuur van het bestrijdingsmiddel. De effecten kunnen zowel agonistisch (versterkend) zijn als antagonistisch (remmend).

Endocriene verstoring heeft in Nederland vooral de aandacht getrokken bij vissen (vervrouwelijking van mannelijke brasems (*Abramis brama*)) en mariene slakken (imposex bij purperslak (*Nucella lapillus*) en wulk (*Buccinum undatum*)) (Boon et al. 1996, Vethaak et al. 2002). Internationaal is veel aandacht geweest voor een mogelijk effect op de mannelijke vruchtbaarheid van de mens. Deze effecten zijn toe te schrijven aan de chemische gelijkenis tussen sommige pesticiden en steroïde hormonen. Of endocriene verstoring ook een rol kan spelen bij de achteruitgang van insecten is niet bekend. De hormoonhuishouding van insecten zit totaal anders in elkaar dan bij vertebraten. Van de steroïde hormonen is vooral ecdyson bekend, dat de vervellingen reguleert. Of ecdysonreceptoren of andere targets van de hormoonhuishouding gevoelig zijn voor pesticiden is niet bekend.

Een derde zorgpunt ligt in de mogelijkheid van combinatiewerkingen. Ook deze effecten worden over het algemeen niet uitvoerig onderzocht bij het testen van bestrijdingsmiddelen. Dat kan ook moeilijk omdat verschillende middelen door verschillende fabrikanten op de markt gebracht worden. Uit de biochemische toxicologie is bekend dat veel xenobiotische



3. Door simultane blootstelling aan pesticiden met verschillende werkingsmechanismen kunnen synergistische effecten optreden, bijvoorbeeld als het ene middel (hier een fungicide) de enzymatische afbraak van een tweede middel (hier een insecticide) remt. Zulk soort effecten zijn bijvoorbeeld aangetoond voor het fungicide benomyl in combinatie met het insecticide diazinon.

3. Synergistic effects can be due to simultaneous exposure to pesticides with different modes of action, for instance if one product (e.g. a fungicide) inhibits the enzymatic degradation of another product (e.g. an insecticide). Such effects have been demonstrated for the fungicide benomyl combined with the insecticide diazinon.

stoffen in het lichaam afgebroken worden via een enzymstelsel dat bekend staat als cytochroom P450. Datzelfde enzym kan een doelwit zijn voor andere chemicaliën. Bij simultane blootstelling kan het voorkomen dat de afbraak van het ene middel geremd wordt door een tweede middel, waardoor de toxiciteit van het eerste middel geweldig toeneemt (figuur 3). Dat is bijvoorbeeld het geval met het fungicide benomyl dat een sterke toename veroorzaakte van de giftigheid van het insecticide diazinon bij experimenten met de pissebed *Porcellionides pruinosus* (Vink & Van Straalen 1999).

Een gecombineerde werking – van twee pesticiden – werd ook gevonden bij veldexperimenten met aardhommels (*Bombus terrestris* (Linnaeus)) (Gill et al. 2012). Hier betrof het de stoffen imidacloprid en  $\lambda$ -cyhalothrin, twee insecticiden uit verschillende chemische groepen. Wat in dit geval het mechanisme van de mengselwerking zou moeten zijn is echter niet bekend. In zijn algemeenheid zijn combinatiewerkingen in de ecologische beoordeling van milieuchemicaliën slecht onderzocht, vooral vanwege de aanzienlijke experimentele inspanning die er voor nodig is. Ze zijn ook moeilijk voorspelbaar vanwege gebrek aan inzicht in de werking op niet-doelwitorganismen. Er ligt wel een goed raamwerk klaar voor de interpretatie van effecten (Van Gestel et al. 2011).

## Conclusies

Kunnen we de Nederlandse biodiversiteit goed beschermen als we tegelijkertijd op grote schaal blijven doorgaan met chemische plaagbestrijding? In 1962 was het antwoord overduidelijk 'nee', maar 50 jaar later lijkt het nog steeds een onmogelijke opgave. Insecten zullen als groep altijd te lijden hebben van bestrijdingsmiddelen, omdat ze nu eenmaal verreweg de meest soortenrijke diergroep vormen; vanwege die grote biodiversiteit zijn er altijd wel soorten met een specifieke gevoeligheid of soorten die in toxicologisch opzicht lijken op een plaagorganisme. Toch is de relatie tussen achteruitgang van biodiversiteit en het gebruik van pesticiden niet goed causaal onderbouwd. In dit artikel heb ik drie kritische interacties aangegeven waarbij neveneffecten van chemische gewasbescherming kunnen optreden. Vanwege gebrek aan kennis op alle drie punten kan de vraag nog niet goed beantwoord worden.

## Literatuur

- Blacquière T, Smagghe G, Van Gestel CAM & Mommaerts V 2012. Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology* 21: 973-992.
- Boon JP, Mensink BP, Van Hattum BGM & Ten Hallers-Tjabbes CC 1996. Mechanisme en voorkomen van imposex in zeelakken onder invloed van tributyltin (TBT) uit aangroeiwerende verf op scheepshuiden. In: Oestrogen-actieve stoffen in het milieu (Leonards PEG, Vethaak AD & De Voogt P eds): 53-58. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.
- Busvine JR 1951. Mechanism of resistance to insecticide in houseflies. *Nature* 168: 193-195.
- Carson R 1962. *Silent Spring*. Penguin Books.
- Gill RJ, Ramos-Rodriguez O & Raine NE 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual - and colony - level traits in bees. *Nature* 491: 105-107.
- Hagenblad J, Olsson M, Parker HG, Ostrander EA & Ellegren H 2009. Population genomics of the inbred Scandinavian wolf. *Molecular Ecology* 18: 1341-1351.
- Haring B 2011. *Plastic panda's*. Over het opheffen van de natuur. Nijgh & Van Ditmar.
- Heemsbergen DA, Berg MP, Loreau M, Van Hal JR, Faber JH & Verhoef HA 2004. Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. *Science* 306: 1019-1020.
- Henry M, B guin M, Requier F, Rollin O, Odoux J-F, Aupinel P, Aptel J, Tchamitchian S & Decourtye A 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336: 348-350.
- Hoffmann A & Willi Y 2008. Detecting genetic responses to environmental change. *Nature Reviews Genetics* 9: 421-432.
- Hooper DU, Adair EC, Cardinale BJ, Byrnes JEK, Hungate BA, Matulich KL, Gonzales A, Duffy JE, Gamfeldt L & O'Connor MI 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486: 105-108.
- Jagers G 2012. *De soortenstorm*. Het nut van biodiversiteit in evolutionair perspectief. KNNV Uitgeverij.
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D & Wardle DA 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294: 804-808.
- Noordijk J, Kleukers RMJC, Van Nieukerken EJ & Van Loon AJ (eds) 2010. *De Nederlandse Biodiversiteit*. Nederlandse Fauna 10. Nederlands Centrum voor Biodiversiteit Naturalis & EIS - Nederland.
- Van Gestel CAM, Jonker MJ, Kammenga JE, Laskowski R & Svendsen C (eds) 2011. *Mixture Toxicity. Linking Approaches from Ecological and Human Toxicology*. SETAC Press and CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Van Straalen NM & Timmermans MJTN 2002. Genetic variation in toxicant-stressed populations: an evaluation of the 'genetic erosion' hypothesis. *Human and Ecological Risk Assessment* 8: 983-1002.
- Van Straalen NM, Janssens TKS & Roelofs D 2011. Micro-evolution of toxicant tolerance: from single genes to the genome's tangled bank. *Ecotoxicology* 20: 574-579.
- Vethaak AD, Rijs GBJ, Schrap SM, Ruiters H, Gerritsen A & Lahr J 2002. Estrogens and xeno-estrogens in the aquatic environment of the Netherlands. Occurrence, potency and biological Effects, RIZA Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, Lelystad, and RIKZ Institute for Coastal and Marine Management, Den Haag.
- Vink K. & Van Straalen NM 1999. Effects of benomyl and diazinon on isopod-mediated leaf litter decomposition in microcosms. *Pedobiologia* 43: 345-359.
- Wardle DA, Bardgett RD, Callaway RM & Van der Putten WH 2011. Terrestrial ecosystem responses to species gains and losses. *Science* 332: 1273-1277.
- Wilson EO 1984. *Biophilia*. The human bond with other species. Harvard University Press.
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL & Goulson D 2012. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336: 351-352.

## Summary

### Biodiversity and crop protection

In the footsteps of Rachel Carson, the question arises whether the use of pesticides needed to ensure a highly productive agriculture in The Netherlands is compatible with protection of the country's biodiversity. Functioning of ecosystems is often invoked as an important argument for the protection of biodiversity, but this argument is weakened by the high degree of functional redundancy in almost every system. Since the Rio Conference, now 20 years ago, it is recognized that the concept of biological diversity has three aspects, genetic variation, species richness and diversity in the landscape. Pesticides can affect each of these three levels, by bottlenecks in populations, strong directional selection and loss of sensitive species. Causal relationships are, however, difficult to establish. In this article I argue that there are three critical points where more research is needed. In the first place, some insects are specifically susceptible to pesticides due to the fact that their behaviour is disturbed by sub-lethal exposure to an insecticide. Secondly, the endocrine regulation of reproduction and development processes has shown to be extremely sensitive in several species, and in the third place mixtures of substances can have unexpected effects. Due to lack of knowledge on all three points, the question how the current level of Dutch biodiversity is affected by chemical plant protection products cannot yet be causally answered.



Nico M. van Straalen  
Vrije Universiteit Amsterdam  
Faculty of Earth and Life Sciences  
Department of Ecological Science  
De Boelelaan 1085  
1081 HV Amsterdam  
n.m.van.straalen@vu.nl