

Plaagonderdrukkende landschappen op de computer

Wopke van der Werf
Felix Bianchi

TREFWOORDEN

simulatiemodel, ruimtelijke dynamiek, predator-prooi-interactie, landschapsinrichting, voorspellen

Entomologische Berichten 67 (6): 218-222

Uit empirisch onderzoek wordt steeds duidelijker dat de inrichting van het agrarisch landschap de onderdrukking van plaagorganismen in de landbouw kan beïnvloeden. In dit artikel wordt geïllustreerd hoe simulatiemodellen van ruimtelijke dynamische interacties tussen natuurlijke vijanden en plaagorganismen op landschapsschaal gebruikt kunnen worden om meer inzicht te krijgen in de werking van biologische bestrijding in een landschapscontext. Dergelijke modellen kunnen goed helpen bij het zoeken naar een landschapsinrichting die biologische bestrijding maximaal ten goede komt.

Inleiding

Uit empirisch onderzoek wordt steeds duidelijker dat de inrichting van het agrarisch landschap van invloed is op de onderdrukking van plaagorganismen in de landbouw (Thies & Tschardt 1999, Den Belder *et al.* 2002, Thies *et al.* 2003, 2005, Bianchi *et al.* 2005, 2006). Een vaak toegepaste empirische onderzoeksmethode werkt als volgt. Men zet plaagorganismen in verschillende landschappen uit en meet vervolgens het percentage parasitering en predatie op de uitgezette plaagorganismen. Vervolgens wordt met GIS het omringende landschap gedigitaliseerd en gekwantificeerd, en wordt met lineaire regressie, een statistische techniek, bepaald welke landschapsfactoren een verband vertonen met de gemeten parasitering en predatie, en over welke afstand dat verband aantoonbaar is. In de voorgaande artikelen (Den Belder *et al.* en Baveco & Bianchi, beide dit nummer) wordt nader uitgelegd hoe deze methode werkt en wat de resultaten kunnen zijn.

Uit de empirische methode blijkt dat het landschap van invloed is op plaagonderdrukking. Deze methode laat echter niet zien hoe het landschap de plaagonderdrukking beïnvloedt en deze methode is ook niet zo geschikt om uit te zoeken welk landschap de beste plaagonderdrukking zou geven. Om dat uit te zoeken worden computermodellen gebruikt.

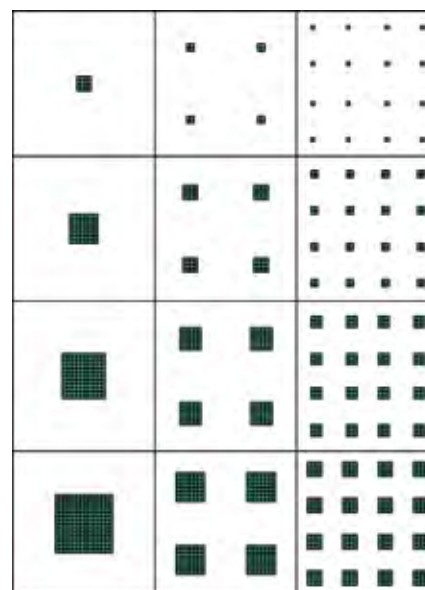
In deze modellen wordt biologische bestrijding als een dynamisch proces op landschapskaartjes ruimtelijk gesimuleerd. In principe zijn er twee methodes van modellering in zwang. De eerste is gebaseerd op het statistische gemiddelde gedrag van populaties van organismen. De tweede methode gaat uit van individuen. Van beide methoden geven we hier een voorbeeld. Aan het eind van het artikel kijken we kritisch naar de waarde van de bijdrage van modellen.

Populatiemodel

Als voorbeeld van een populatiemodel nemen we de interactie tussen het zevenstippelig lieveheersbeestje, *Coccinella septempunctata* Linnaeus en graanluizen. Het doel van de modellering is om uit te zoeken wat het effect is van oppervlakte, vorm en ruimtelijke verdeling van niet-agrarische landschapselementen

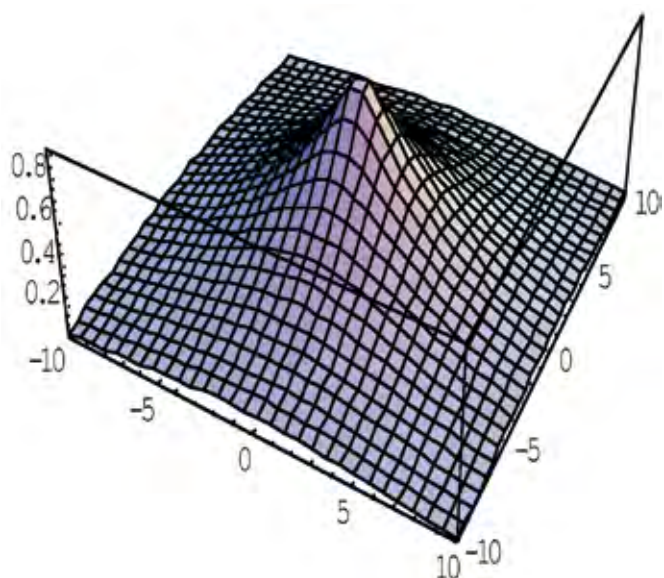
op de biologische bestrijding van graanluizen (Bianchi & Van der Werf 2003).

In figuur 1 staan twaalf landschapskaartjes. De kaartjes representeren 12 modellandschappen die verschillen in de oppervlakte en fragmentatie van vierkante niet-agrarische landschapselementen (bijvoorbeeld bospercelen). Deze elementen beslaan 1, 4, 9 of 16% van het landschap en een landschap heeft 1, 4 of 16 van deze elementen. Elk kaartje in de figuur bestaat uit 40 x 40 cellen van 10 x 10 meter. Het landschap is dus 400 x 400 meter groot. Lieveheersbeestjes hebben de niet-agrarische elementen nodig voor overwintering.



1. Twaalf modellandschappen van elk 400 x 400 m met niet-agrarische habitats waarin lieveheersbeestjes kunnen overwinteren (groen) en agrarische elementen (blanco) waarop graan wordt geteeld, en waarin bladluispopulaties tot ontwikkeling komen. Doel van het model is om de invloed van oppervlakte en fragmentatie van niet-agrarische habitatelementen op de plaagonderdrukking te beschouwen. De twaalf landschappen verschillen in percentage niet-agrarisch habitat (1, 4, 9 of 16%) en de mate van fragmentatie van het niet-agrarisch habitat: 1, 4 of 16 elementen.

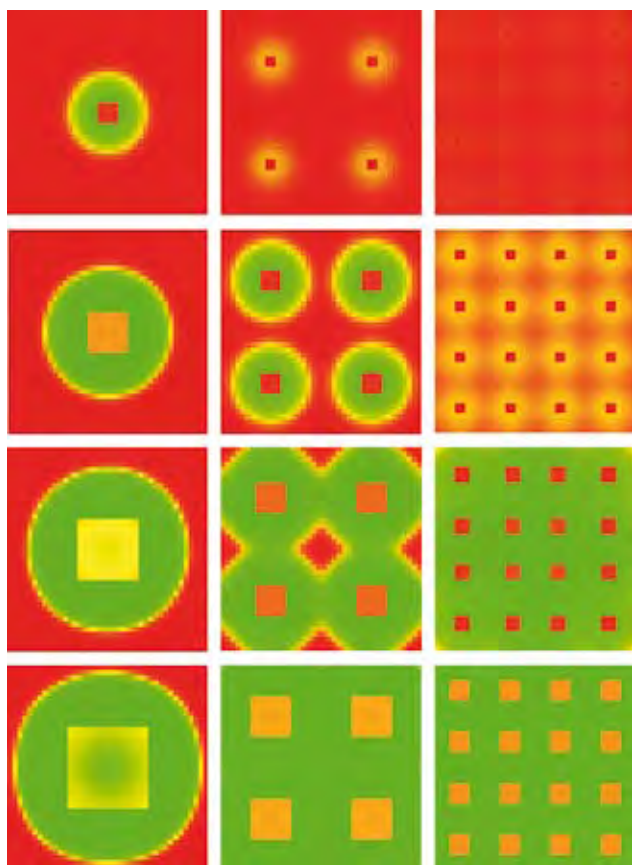
Twelve model landscapes, 400 x 400 m each, with non-crop habitats that are used by coccinellids for overwintering (green) and crop elements (white) with cereals. Both the crop and non-crop habitats support aphid populations. The modelling investigates the influence of area and configuration of non-crop habitats on pest suppression in the cereals. The twelve landscapes differ in the percentage of non-crop habitat (1, 4, 9 and 16%) and the degree of fragmentation of non-crop habitat (1, 4 or 16 elements).



2. Dispersal kernel, gemodelleerd als een geroteerde exponentiële verdeling (Laplace-verdeling). Langs x- en y-as staat afstand in meters. Langs de z-as (vertikaal) staat de relatieve kansdichtheid. Dispersal kernel, modelled as a rotated exponential distribution (Laplace distribution). Horizontal axes: distance in meters. Vertical axis: relative probability density.

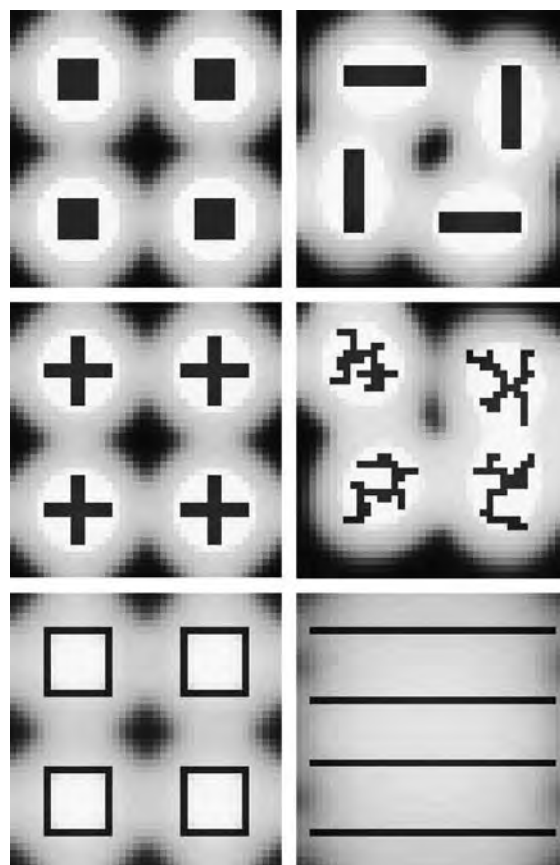
Na de overwintering gaan de lieveheersbeestjes zich over het gehele landschap verspreiden en komen ze in principe overal terecht, maar aanvankelijk vooral in delen van het landschap die dicht bij de overwinteringsplekken liggen. Het dispersiegedrag wordt geregeld door een zogeheten 'dispersal-kernel', die de kansverdeling in de ruimte aangeeft van dispersieafstanden (figuur 2). Aan de hand van deze kansverdeling wordt van dag tot dag bepaald hoe de lieveheersbeestjes zich herverdelen over het landschap. De neiging tot dispersie hangt af van het aantal bladluizen op een plek; hoe meer luizen er zijn, hoe geringer de neiging tot dispersie. In de loop van de tijd verspreiden de lieveheersbeestjes zich over het gehele landschap en aggregeren ze op de plekken met de meeste bladluizen.

Ondertussen zijn in de graangewassen de bladluispopulaties gaan groeien. Zonder natuurlijke vijanden gaat het populatie-groeiproces ongeremd zijn gang, tot de planten boordevol bladluizen zitten. De populatiegroei wordt echter geremd als er tijdig voldoende lieveheersbeestjes. We zien dat als gevolg van de ruimtelijke predator-prooi-interactie dicht bij de overwinteringshabitats van de lieveheersbeestjes de populatiegroei van de bladluizen substantieel wordt geremd, terwijl verder in het landschap de populatiegroei niet noemenswaardig wordt beïnvloed (figuur 3). Verder zien we in figuur 3 een interessante interactie: fragmentatie van de overwinteringshabitats heeft een



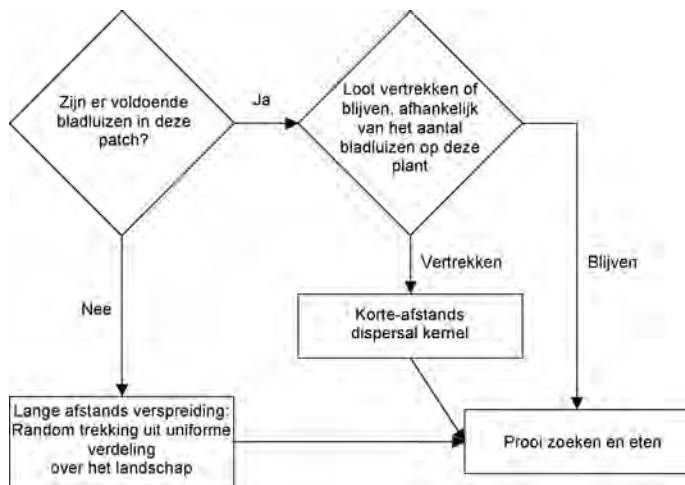
3. Plaagdichtheid (bladluizen per m²) na tachtig dagen in de twaalf modellandschappen van figuur 1. De kleurschaal loopt van groen (weinig bladluizen) via geel (intermediair) naar rood (veel bladluizen). De dichtheid van bladluizen bedroeg twee per m² aan het begin van het groeiseizoen in het gehele landschap, dus zowel in agrarische als niet-agrarische landschapselementen. De begindichtheid van lieveheersbeestjes was tien per m² in de niet-agrarische landschapselementen.

Density of aphids (number per m²) after eighty days in the twelve model landscapes of figure 1. The colour scale runs from green (few aphids) via yellow (medium number of aphids) to red (many aphids). The density of aphids was two per m² at the beginning of the growing season over the whole landscape, including crop and non-crop. The initial density of coccinellids was ten per m² in non-crop elements and zero in crops.



4. Plaagonderdrukking in zes landschappen met hetzelfde percentage niet-agrarisch habitat (9%) maar verschillend in vorm en ruimtelijke verdeling van de niet-agrarische elementen. De kleurschaal loopt van wit (weinig bladluizen) naar zwart (veel bladluizen).

Pest suppression in six landscapes with the same percentage (9%) of non-crop habitat, but configured differently over the landscape. Colour scale is from white (few aphids) to black (many aphids). The best distribution of biological control services is obtained using linear elements.



5. Stroomdiagram van de beslissingen die een individueel lieveheersbeestje maakt in een model voor foerageren in een landschap met een ruimtelijk heterogeen, geclusterd patroon van bladluizen. Flow chart of the decision process of an individual lady beetle as used in an individual-based model for foraging in a landscape with a spatially heterogeneous clustered pattern of aphids.

negatief effect op de biologische bestrijding als de niet-agrarische habitatelementen klein zijn, maar een positief effect als de elementen groot zijn. Dit komt doordat het aantal lieveheersbeestjes dat uit een klein element komt te klein is om een merkbaar effect te hebben op de populatiegroei van de bladluizen. Kleine elementen zou je dus beter niet kunnen splitsen. Grotere elementen kun je wél splitsen, want er komen voldoende lieveheersbeestjes uit, en door de overwinteringshabitats beter over het landschap te spreiden (door fragmentatie) wordt het grote effect beter gespreid. Dus: fragmentatie van kleine overwinteringshabitats werkt negatief, als gevolg van verdunning van de impact, terwijl fragmentatie van grote overwinteringshabitats juist positief werkt, als gevolg van betere spreiding van de impact.

In een volgend computerexperiment werd onderzocht hoe de vorm van de niet-agrarische elementen de mate van plaagonderdrukking beïnvloedt. Uit de resultaten blijkt dat lijnvormige elementen van de zes verschillende vormen de beste 'uitstraling' hebben (figuur 4). Dit is een direct gevolg van de grote omtrek/oppervlakte-ratio van deze elementen, als gevolg waarvan de dispersie-afstand naar graanlocaties in het landschap zo klein mogelijk wordt.

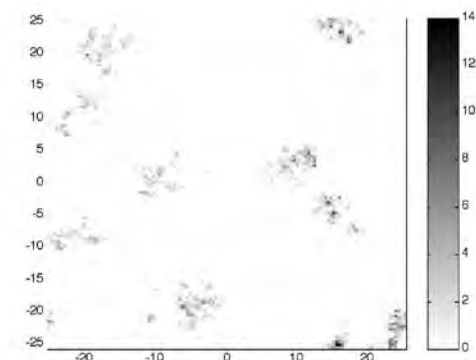
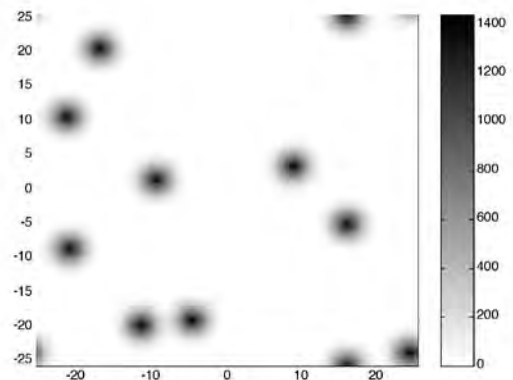
Individuummodel

Voor sommige doeleinden is een populatiemodel niet zo geschikt. Wanneer je bijvoorbeeld de invloed wilt onderzoeken van foerageerstrategieën van lieveheersbeestjes op het aantal luizen dat wordt gevangen, dan is een individubenedering nodig (Potting et al. 2005). Bij deze benadering wordt het beslissingsproces van foerageren en dispersie op individuniveau afgehandeld. Stel dat de 'beslissing' om een plek (patch) te verlaten afhangt van de gemiddelde dichtheid van bladluizen binnen die plek terwijl de neiging tot het opzoeken van een andere plant binnen dezelfde plek afhangt van het aantal bladluizen op de plant waarop het lieveheersbeestje zich bevindt. Dit beslissingsproces wordt geïllustreerd in het stroomdiagram van figuur 5. In figuur 6 wordt het resulterende foerageerpatroon van twaalf individuele lieveheersbeestjes in een computer-gegenereerd patroon van bladluizen geïllustreerd. Op basis van dit soort patronen proberen we inzicht te krijgen in de invloed van foerageerstrategieën op het vermogen van verschillende soorten lieveheersbeestjes om

bladluiscusters te vinden en te onderdrukken. Tevens kan zo'n model gebruikt worden om te bepalen of een complex van meerdere soorten lieveheersbeestjes met verschillende strategieën misschien effectiever is in de biologische bestrijding dan één dominante soort. Deze vraag is opportuun nu zowel in Europa als in Noord Amerika het Aziatische lieveheersbeestje *Harmonia axyridis* (Pallas) andere soorten lieveheersbeestjes lijkt te verdringen. Er wordt gevreesd dat dit negatieve effecten kan hebben voor de biologische bestrijding van bladluizen in het landschap (Alyokhin & Sewell 2004).

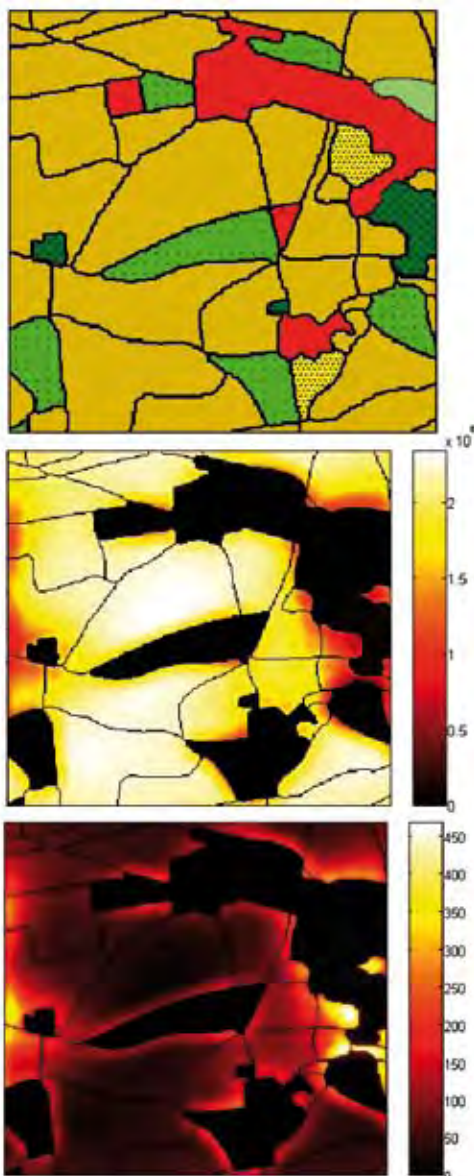
Discussie

Modellen van dispersieprocessen en predator-prooi-interacties in een landschapscontext zijn een fascinerend hulpmiddel om deze interacties beter te leren begrijpen en landschapsontwerpen te verzinnen die goed zijn voor biologische bestrijding. Deze modellen kunnen natuurlijk empirisch onderzoek niet vervangen. Een simulatie is de werkelijkheid niet. Empirisch onderzoek, zoals dat op diverse plekken in en buiten Nederland gebeurt, is daarom absoluut onmisbaar. Tegelijkertijd is het wel erg handig om simulaties als instrument te hebben, want daarmee kunnen opties voor landschapsontwerp in hun functionaliteit worden verkend. Deze onderzoeksmethode is complementair aan de empirische methode. Bovendien is het praktisch niet mogelijk om 'nieuwe' landschappen (meerdere vierkante kilometers) aan te leggen en in een experiment te testen of ze plaagonderdrukkend werken. Zo'n experiment zou te groot en te duur



6. Simulatie van een individu-gebaseerd model van twaalf lieveheersbeestjes in een prooilandschap (boven). Het resulterende verspreidingspatroon van de lieveheersbeestjes (onder) laat zien dat ze voornamelijk in prooiplekken foerageren.

Results of twelve simulations with an individual based model of foraging of a single lady beetle in a prey landscape (top). The resulting foraging pattern of the lady beetles (bottom) shows that the foraging rules outlined in figure 5 allow the beetles to concentrate their foraging in prey patches.



7. Simulatie van de verspreiding van bladluizen en lieveheersbeestjes in een realistisch computerlandschap, gemodelleerd naar de regio Ruzyně, nabij de luchthaven van Praag (boven). Dit landschap meet 5 x 5 km, opgebouwd uit cellen van 20 x 20 m. De middelste en onderste figuren laten de gesimuleerde verspreiding van bladluizen en lieveheersbeestjes in juni zien (Bianchi et al. 2007). De kleurschaal voor bladluizen en lieveheersbeestjes loopt van zwart (afwezig) via rood (matige dichtheid) naar wit (hoge dichtheid). lichtbruin = graan, bleekgroen = weiland, felgroen = alfalfa, donkergroen = bos, bruin = bosrand, zwart = akkerrand, rood = urbaan, geel = koolzaad

Simulation of the spatial distribution of aphids and lady beetles in a realistic computer landscape, modeled on the region Ruzyně near Prague (top). This landscape measures 5 x 5 km, composed of cells of 20 x 20 m. The middle and bottom figure show the simulated patterns of aphids and lady beetles in June (Bianchi et al. 2007). The colour scale for aphids and lady beetles runs from black (absent) via red (medium density) to white (high density). pale brown = wheat, light green = meadow, bright green = alfalfa, dark green = forest, brown = forest edge, black = edge of arable land, red = urban area, yellow = rape-seed

bruik van fluorescerende kleurstoffen of andere merkstoffen die met een rugspuit, of zelfs met een tractor kunnen worden verspoten, waarna de gemerkte insecten tot op grote afstand (honderden meters tot kilometers) teruggevonden kunnen worden (Schellhorn et al. 2004, 2007). Dispersal kernels kunnen ook worden afgeleid uit waarnemingen aan zogenaamde 'sentinels', plaagorganismen die in verschillende landschappen worden uitgezet, en waaraan de mate van predatie en parasitering wordt gemeten, wat door middel van regressietechnieken wordt gerelateerd aan landschapskenmerken (Baveco & Bianchi, dit nummer). Naarmate we deze dispersal kernels beter kwantificeren, kunnen we ook betere voorspellingen doen over de mate van plaagonderdrukking van verschillende landschappen. Verder wordt de rekenkracht van PCs steeds groter en kunnen we anno 2007 al weer veel intensievere berekeningen uitvoeren dan in 2003 mogelijk was. Ook op het gebied van de wiskunde van ruimtelijke interacties wordt snelle voortgang geboekt. De ruimtelijke ecologie is wel schertsend gekenschetst als 'the final frontier' in de ecologie. Zowel empirisch als mathematisch is op dit gebied grote activiteit. Dat zal nog wel even zo blijven, want zowel op het niveau van het perceel (gradiënten uit de perceelsrand) als op het niveau van het landschap is er nog heel veel te leren over de ruimtelijke ecologie van plaagonderdrukkende organismen en hun interactie met plaagorganismen in de landbouw. Het maatschappelijk belang wordt hoog geacht, in verband met de vrees voor verlies van biodiversiteit door landschapsverarming (Ives & Carpenter 2007). Bovendien kan functionele biodiversiteit helpen bij het realiseren van een landbouw die minder afhankelijk is van pesticiden. Het nut en de betrouwbaarheid van modellen kan de komende tijd nog fors toenemen naarmate er meer ervaring mee wordt opgedaan en als de input van modellen kan worden verbeterd en de voorspellingen worden getoetst aan metingen in het veld.

zijn en een veel te grote impact hebben op de gebruikers van het landelijk gebied. Het is technisch echter uitstekend uitvoerbaar om echte landschappen te digitaliseren en dynamische simulaties van predator-prooi-interacties te maken op zulke realistische kaarten (Bianchi et al. 2007, figuur 7).

De modellen zullen in de komende jaren verder ontwikkeld kunnen worden. Zo leidt de vraag naar verspreidingsverdelingen (dispersal kernels) ertoe dat er nu op diverse plekken metingen worden gedaan aan de ruimtelijke kansverdeling van dispersieafstanden. Een krachtige techniek om deze te meten is het ge-

Literatuur

- Alyokhin A & Sewell G 2004. Changes in a lady beetle community following the establishment of three alien species. *Biological Invasions* 6: 463-471.
- Belder E den, Elderson J, Brink WJ van den & Schelling G 2002. Effect of woodlots on thrips density in leek fields: a landscape analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 139-145.
- Bianchi FJJA, Booij CJH & Tschardt T 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273: 1715-1727.
- Bianchi FJJA, Honšák AH & Werf W van der 2007.

- Changes in agricultural land use can explain population decline in a ladybeetle species in the Czech Republic; evidence from a process-based spatially explicit model. *Landscape Ecology*, in druk.
- Bianchi FJJA & Werf W van der 2003. The effect of the area and configuration of hibernation sites on the control of aphids by *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) in agricultural landscapes: a simulation study. *Environmental Entomology* 32: 1290-1304.
- Bianchi FJJA, Wingerden WKRE van, Griffioen AJ, Veen M van der, Straten MJJ van der, Wegman RMA & Meeuwse HAM 2005. Landscape factors affecting the control of *Maestra brassicae* by natural enemies in Brussels sprout. *Agriculture, Ecosystems and En-*

- vironment* 107: 145-150.
- Ives AR & Carpenter SR 2007. Stability and diversity of ecosystems. *Science* 317: 58-62.
- Potting RPI, Perry JN & Powell W 2005. Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agro-ecosystem diversification strategies. *Ecological Modelling* 182: 199-216.
- Schellhorn NA, Siekmann G, Paull C, Furness G & Baker G 2004. The use of dyes to mark populations of beneficial insects in the field. *International Journal of Pest Management* 50: 153-159.
- Schellhorn NA, Bellati J, Paull CA & Maratos L 2007. Parasitoid and moth movement from refuge to crop. *Basic and Applied Ecology*, in druk.

Thies C, Roschewitz I & Tschamtké T 2005. The landscape context of cereal aphid-parasitoid interactions. *Proceedings of the Royal Society of London (Series B)* 285: 893-895.

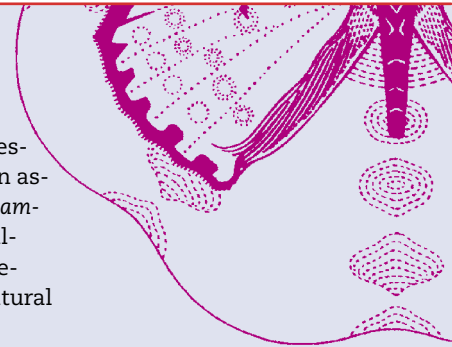
Thies C, Steffan-Dewenter I & Tschamtké T 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos* 101: 18-25.

Thies C & Tschamtké T 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.

Summary

Pest suppressive landscapes on the PC

Empirical evidence is mounting that the composition of landscape matters for the suppression of pests in agricultural crops. Forested areas and forest edges, for instance, have been associated with higher levels of predation and parasitism on eggs of the cabbage noctuid *Mamestra brassicae* and the larvae of the diamond back moth *Plutella xylostella*. The current challenge is to use our insight in the spatial dynamics of pest organisms and their natural enemies, in conjunction with insights in predator-prey dynamics, to predict the impact of natural set-aside areas as a source of the ecosystems service of natural pest suppression in field crops. Simulations of the spatio-temporal interplay between pests and their enemies in spatio-temporally varying landscape mosaics may be used to increase understanding and appreciation of the effect of landscape design on pest-enemy interactions. Economic analyses can be added to those simulations to weigh costs and benefits. Such simulations and analyses may assist in land use planning and land use policies. This paper provides two illustrations of such use of models. Distinction is made between population models and individual based models.



Wopke van der Werf
Wageningen Universiteit
Leerstoelgroep Gewas- en onkruidedecologie
Postbus 430
6700 AK Wageningen
wopke.vanderwerf@wur.nl

