

Schimmels als belagers van schadelijke mijten op planten

De studie van ziekten bij evertebraten, veroorzaakt door pathogene micro-organismen, staat al jaren in de belangstelling, niet alleen vanuit de vergelijkende ziekteleer maar ook vanuit de toegepaste biologie, vanwege de mogelijkheden voor de biologische bestrijding van schadelijke arthropoden. In dit artikel worden enkele ziekten van plantenetende mijten besproken die veroorzaakt worden door schimmels. Dergelijke schimmels spelen vaak een belangrijke rol bij de natuurlijke regulatie van mijtenpopulaties. Een voorbeeld is de schimmel *Neozygites floridana* die onder meer wordt aangetroffen in spintmijtenpopulaties in katoen, soja, citrus en cassave. Roest- en galmijten daarentegen worden vooral geïnfecteerd en gedood door schimmels uit de klasse van de Deuteromycetes. De ontwikkeling van de ziekten en eventuele mogelijkheden van toepassing van pathogene schimmels bij de bestrijding van schadelijke mijtensoorten worden besproken.

Entomologische Berichten 64(5): 146-156

Trefwoorden: pathogenen, pathologie van mijten, *Neozygites*, *Hirsutella*, spintmijten, roestmijten

Inleiding

Ziekten van ongewervelde dieren zijn een belangrijk onderwerp van studie voor zowel de fundamenteel als de toegepast onderzoeker. Voor de fundamentele vergelijkende pathologie is kennis over ziekteverwekkers van ongewervelden onontbeerlijk voor het verkrijgen van een goed beeld over de verschillende groepen van pathogene organismen en voor het leren kennen van de pathogenese (ziekteverloop). De toegepast bioloog echter wordt geconfronteerd met praktische problemen: ziekten in kweken van schaaldieren, bijen, zijderupsen, natuurlijke vijanden van schadelijke plaagorganismen, etcetera. Dergelijke ziekten, vaak veroorzaakt door pathogene micro-organismen, kunnen grote economische schade aanrichten. Daarentegen bieden pathogenen ook mogelijkheden voor de bestrijding van plagen in onder andere landbouwgewassen en bij de beteugeling van medisch en/of veterinair schadelijke arthropoden. Zij spelen ook een belangrijke rol in de regulering van natuurlijke populaties van evertebraten.

Leo van der Geest

Runmoolen 28
1181 NZ Amstelveen
lpsvdgeest@planet.nl

Mijten en teken kunnen worden geïnfecteerd en gedood door pathogenen uit allerlei groepen van micro-organismen. Voorbeelden worden gevonden bij bacteriën, schimmels, protozoa, microsporidiën en virussen. In dit artikel worden pathogene schimmels van plantenetende (herbivore) mijten besproken, in het bijzonder van roest- en spintmijten. Voor een volledig beeld van ziekten bij mijten wordt verwezen naar een aantal overzichtsartikelen dat recent is verschenen (McCoy 1996, Poinar & Poinar 1998, Chandler *et al.* 2000, Miętkiewski *et al.* 2000, Van der Geest *et al.* 2000). Een overzicht van ziekten bij teken is enkele jaren geleden gepubliceerd door Samish & Řeháček (1999).

Veel soorten schimmels staan bekend als pathogeen voor arthropoden. Met name insecten worden geïnfecteerd door schimmels uit allerlei taxa. Fytofage mijten worden vooral belaagd door vertegenwoordigers uit de Zygomycetes (tabel 1) en Deuteromycetes (tabel 2). Daarnaast worden enkele infecties bij mijten veroorzaakt door de Laboulbeniales (Ascomycetes). Deze groep zal niet in dit artikel worden besproken.

Voorbeelden van infecties door Zygomycetes

Binnen de Zygomycetes zijn vooral de Entomophthorales pathogeen voor insecten en andere arthropoden. Sommige soorten binnen dit taxon leven parasitair op desmiden (sieralgen) of op de prothalli (structuur waarop de geslachtsorganen gevormd worden) van varens, terwijl weer andere een saprofytische levenswijze (levend op dood organisch materiaal) kennen en gevonden worden op bijvoorbeeld plantenresten. Verreweg de meeste schimmels in deze orde zijn zoö-

Tabel 1. Een overzicht van *Entomophthorales*-infecties in mijten.
Entomophthoralean fungus infections in mites.

schimmelsoort	gastheersoort	familie gastheer	referentie
<i>Basidiobolus</i> sp.	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Jegina 1976
<i>Conidiobolus</i> sp.	<i>Bryobia</i> sp.		Miętkiewski et al. 2000
<i>Conidiobolus brefeldionis</i>	<i>Tyrophagus perniciosus</i> Zakhvatkin	Acaridae	Lipa 1971
<i>Conidiobolus chlapowski</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Lipa 1971
<i>Conidiobolus coronatus</i>	<i>Trichouropoda orbicularis</i> (C.L. Koch)	Trematuridae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Conidiobolus</i>	<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	Phytoseiidae	Petrova & Petrov 1976
	<i>Mononychellus tanajoa</i> Bondar	Tetranychidae	Nyiira 1982
	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Jegina & Cinowskis 1970
<i>Conidiobolus thromoides</i>	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Jegina 1976
<i>Erynia phalangicidae</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
	<i>Pergamasus septentrionalis</i> (Oudemans)	Parasitidae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Neozygites</i> sp.	<i>Atrichoproctus uncinatus</i> Flechtmann	Tetranychidae	Van der Geest et al. 2002
	<i>Eotetranychus sexmaculatus</i> (Riley)	Tetranychidae	Selhime & Muma 1966
	<i>Euseius citrifolius</i> (Denmark & Muma)	Phytoseiidae	Furtado et al. 1996
	<i>Tetranychus evansi</i> Baker & Pritchard	Tetranychidae	Humber et al. 1981
	<i>Tetranychus pacificus</i> McGregor	Tetranychidae	Steinhaus & Marsh 1962
	<i>Tetranychus turkestanii</i> (Ugarov & Nikolskii)	Tetranychidae	Carner & Carnerday 1968
	<i>Vatacarus</i> sp.	Trombiculidae	Poinar & Poinar 1998
<i>Neozygites acaridis</i>	<i>Halotydeus destructor</i> (Tucker)	Penthaleidae	James 1994
	<i>Penthaleus major</i> (Dugès)	Penthaleidae	James 1994
<i>Neozygites floridana</i>	<i>Bryobia</i> sp.	Tetranychidae	Miętkiewski et al. 1993
	<i>Eotetranychus sexmaculatus</i> (Riley)	Tetranychidae	Selhime & Muma 1966
	<i>Eutetranychus banksi</i> (McGregor)	Tetranychidae	Weiser & Muma 1966
	<i>Mononychellus tanajoa</i> (Bondar)	Tetranychidae	Delalibera et al. 1992
	<i>Oligonychus gossypii</i> (Zacher)	Tetranychidae	Yaninek et al. 1996
	<i>Oligonychus hondoensis</i> (Ehara)	Tetranychidae	Nemoto & Aoki 1975
	<i>Oligonychus pratensis</i> (Banks)	Tetranychidae	Dick et al. 1992, Dick & Buschman 1995
	<i>Panonychus citri</i> (McGregor)	Tetranychidae	Fisher 1951
	<i>Tetranychus ludeni</i> Zacher	Tetranychidae	Rameseshiah 1971
	<i>Tetranychus tumidus</i> Banks	Tetranychidae	Saba 1971
	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Smith & Furr 1975, Carner 1976
<i>Tarichium acaricolum</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium azygosporicum</i>	<i>Pergamasus brevicornis</i> Berlese	Parasitidae	Bałazy et al. 1987
<i>Tarichium distinctum</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy et al. 1987
<i>Tarichium azygosporicum</i>	<i>Pergamasus brevicornis</i> Berlese	Parasitidae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium hyalinum</i>	<i>Tectocephus velatus</i> (Michael)	Parasitidae	Bałazy et al. 1987
<i>Tarichium monokaryoticum</i>	<i>Trichouropoda szczecinensis</i> Wisniewski & Hirschmann	Trematuridae	Bałazy et al. 1987
<i>Tarichium obtusoangulatum</i>	<i>Uropoda minima</i> Kramer	Trematuridae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium oplitidis</i>	<i>Oplitis alophora</i> (Berlese)	Uropodidae	Miętkiewski et al. 2000
	<i>Trichouropoda ovalis</i> (C.L. Koch)	Trematuridae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium pusillum</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium silesianum</i>	<i>Veigaia</i> sp.	Veigaiidae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium slovincense</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium sphaericum</i>	<i>Trachyuropoda coccinea</i> (Michael)	Trachyuropodidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium subglobosum</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
	<i>Uropoda minima</i> Kramer	Uropodidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium svalbardense</i>	<i>Dinychus carinatus</i> Berlese	Prodibychidae	Bałazy et al. 1987
	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
	<i>Veigaia</i> sp.	Veigaiidae	Bałazy et al. 1987
<i>Tarichium tatricum</i>	niet gedetermineerde soort	Parasitiformes	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium tenuisculpturatum</i>	<i>Pergamasus</i> sp.	Parasitidae	Bałazy & Wiśniewski 1984
<i>Tarichium ternuiparietatum</i>	niet gedetermineerde soort	Oribatidae	Miętkiewski et al. 2000
<i>Tarichium uropodinis</i>	<i>Trachyuropoda coccinea</i> (Michael)	Trachyuropodidae	Bałazy & Wiśniewski 1982
<i>Tarichium verruculosum</i>	<i>Celaenopsis coccinea</i> (Michael)	Celaenopsidae	Bałazy et al. 1987
	niet gedetermineerde soort	Galumnidae	Bałazy et al. 1987
<i>Zoophthora radicans</i>	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Jegina & Cinowskis 1972
niet gedetermineerde	<i>Abacarus hystrix</i> (Nalepa)	Eriophyiidae	Miętkiewski et al. 2000
entomophthorale schimmel	<i>Agistemus</i> sp.	Stigmaeidae	Van der Geest et al. 2002
	<i>Amblyseius igarassuensis</i> Gondim Jr. & Moraes	Phytoseiidae	Van der Geest et al. 2002
	<i>Arctoseius</i> sp.	Arctoseiinae	Bałazy & Wiśniewski 1989
	<i>Asca</i> sp.	Ascidae	Van der Geest et al. 2002
	<i>Macrocheles peregrinus</i> Krantz	Macrochelidae	Milner 1985
	<i>Pergamasus crassipes</i> (L.)	Parasitidae	Milner 1985
	<i>Tetranychus desertorum</i> Banks	Tetranychidae	Walter 1999
	<i>Vasates mckenziei</i> Keifer	Eriophyiidae	Miętkiewski et al. 2000

pathogeen en behoren tot de familie van de Entomophthoraceae. Veel soorten staan bekend als pathogenen van insecten, bijvoorbeeld van bladluizen en vliegen, maar ook van mijten, waaronder vooral spintmijten (Tetranychidae).

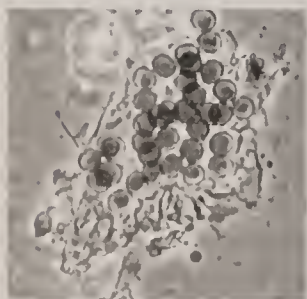
De taxonomie van de familie Entomophthoraceae is jarenlang onderwerp van discussie geweest: het genus *Entomophthora* is een vijftiental jaren geleden op basis van cellulaire eigenschappen gesplitst in enkele nieuwe genera (Ben Ze'ev *et al.* 1987, Humber 1989), waarvan *Neozygites* regelmatig gevonden wordt in onder andere spintmijten. Het genus *Neozygites* is vervolgens geplaatst in een nieuwe familie, de Neozygitaceae.

Van sommige Entomophthorales is alleen de rustspore bekend en het is niet mogelijk tot een volledige determinatie van de schimmel te komen. Vaak worden dergelijke schimmels gevonden in mijten die voorkomen in de bodem, bijvoorbeeld op plantenresten en in mierenhopen. In Polen is hieraan uitgebreid werk verricht door ondermeer Bałazy *et al.* (1987), Bałazy & Wiśniewski (1982, 1984) en Miętkiewski *et al.* (2000). Deze schimmels heeft men in een voorlopig genus geplaatst, *Tarichium*. Het onderzoek aan deze schimmels in Polen is vooral inventariserend; er zijn geen gegevens bekend over de rol van deze pathogenen in de regulatie van mijtenpopulaties.

Eigenschappen van Entomophthorales

Entomophthorales bezitten vaak een beperkt gastheerspectrum en zijn obligate pathogenen: zij kunnen slechts leven in de gastheer, die zij pas doden als alle voedingsstoffen zijn opgebruikt. Dit is in tegenstelling tot bijvoorbeeld de Deuteromycetes, waar toxineproductie vaak voorkomt en tot een snelle dood van de gastheer kan leiden. Het kweken van Entomophthorales is vaak zeer moeilijk, vooral van soorten met een beperkt gastheerspectrum.

Zygomycetes worden gekenmerkt door hun seksuele reproductie, de zogenaamde zygosporievorming. Deze sporen worden gevormd door fusie van twee gametangia, die zich ontwikkelen tot een zygote en vervolgens tot een dikwandige zygosporie, of rustspore (figuur 1). Meer algemeen is de vorming van asexuele sporen, ook wel angiosporen genoemd. Deze zijn onbeweeglijk en worden in zakachtige structuren gevormd, de sporangiolen. Als deze sporen volgroeid zijn worden zij, bij hoge luchtvochtigheid, met kracht afgeschoten van de sporangiophoren (of conidiadragers), de structuren waarop de sporen worden gevormd. Deze sporen, ballistosporen (door de meeste mycologen primaire conidia genoemd) vormen een halo rond de gastheer. De conidia hebben een slijmachtige substantie op de buitenwand waardoor zij gemakkelijk blijven kleven aan het substraat waarop ze terecht komen.

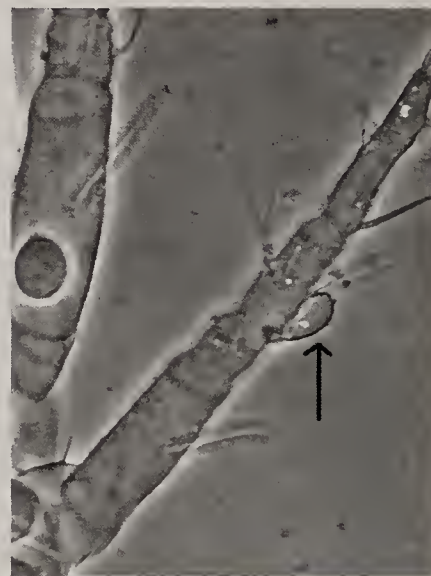


Figuur 1. Rustsporen van Entomophthorales.
Foto: Leo van der Geest
Resting spores of Entomophthorales.

Verloop van infectie door Entomophthorales

Entomophthorales dringen hun gastheer binnen via de cuticula met behulp van een kiembuis die door het conidium wordt gevormd. Als het conidium niet op of nabij een geschikte gastheer is terecht gekomen, wordt een secundair en eventueel nog een tertiair conidium gevormd. Deze heeft dezelfde vorm als het primaire conidium maar is kleiner. Bij sommige soorten worden secundaire conidia met een duidelijk andere vorm gevormd op de top van slanke capillaire kiembuisjes. Deze capilliconidia worden beschouwd als de infectieuze sporen van entomophthorale schimmels, welke spintmijten kunnen infecteren (figuur 2). Na binnendringen wordt in de lichaamsholte van de mijt mycelium gevormd dat later gefragmenteerd wordt tot kleinere eenheden, de zogenaamde 'hyphal bodies'. Deze deeltjes delen zich verder en zorgen ervoor dat schimmelweefsel zich door het hele mijtenlichaam verspreidt. Uiteindelijk sterft de gastheer als het lichaam is doorwoerd door het mycelium. De gedode mijt, ook wel sclerotium genoemd, wordt vaak gefixeerd aan het substraat door de vorming van rhizoïden, myceliumdraden die zich verankeren aan het oppervlak waarop de mijt zich bevindt. Onder gunstige condities (bij hoge luchtvochtigheid) worden conidiadragers gevormd die door de cuticula heen groeien en waarop zich conidia vormen, die weer nieuwe gastheren kunnen infecteren. Een schema van het verloop van de infectie staat in figuur 3.

Figuur 2. Capilliconidium van *Neozygites* sp. op een poot van een spintmijt. Foto: Leo van der Geest
Capilliconidium of Neozygites sp. on a leg of a spider mite.



Veldwaarnemingen

De eerste beschrijving van een *Neozygites*-infectie in spintmijten is van Fisher (1951). Zij trof de schimmel aan in Florida, USA, in populaties van de citrusspintmijt *Panonychus citri* (McGregor), waarin het pathogeen 32-95% sterfte veroorzaakte. De schimmel kwam in geheel Florida voor en werd vooral aangetroffen in de nazomer en vroege herfst. Sindsdien zijn *Neozygites* spp. waargenomen in verscheidene andere mijtensoorten, in het bijzonder in spintmijten: Weiser & Muma (1966) beschreven *Neozygites floridana* (Weiser & Muma) Remaudière & Keller als pathogeen van de Texascitrusspintmijt *Eutetranychus banksi* (McGregor) en Weiser (1968) beschreef *N. tetranychii* (Weiser) Remaudière & Keller als pathogeen van de kasspintmijt *Tetranychus urticae* Koch in een fruitboomgaard in Tsjechië. *Neozygites adjarica* (Tsintsadze & Vartapetov) Remaudière & Keller is door Keller & Wuest (1983) waargenomen in populaties van *T. urticae* op boon in Zwitserland. Hoe verschillend al deze *Neozygites*-soorten zijn is een punt van discussie: Keller (1991) heeft

Tabel 2. Een overzicht van Deuteromycetes-infecties in mijten.
Deuteromycetes infections in mites.

schimmelsoort	gastheersoort	familie gastheer	referentie
<i>Acremonium larvarum</i>	niet gedetermineerde soort	Oribatida	Mietkiewski et al. 2000
<i>Acremonium strictum</i>	<i>Micreremus brevipes</i> (Michael)	Micreremidae (Oribatida)	Mietkiewski et al. 2000
<i>Aphanodadium album</i>	<i>Dendrolaelaps</i> sp.	Rhodacaridae	Mietkiewski et al. 2000
<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Dinothrombium giganteum</i>	Trombidiidae	Sanassi & Oliver 1971
	<i>Dinothrombium gigas</i> (Trouessart)	Trombidiidae	Sanassi & Amirthavalli 1970
<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
	<i>Varroa jacobsoni</i> (Oudemans)	Varroidae	Chernov 1981
	<i>Halotydeus destructor</i> (Tucker)	Eupodidae	Ireson & Rath 1991
	<i>Steneotarsonemus spirifex</i> (Marchal)	Tarsonemidae	Oudemans 1915 in Lipa 1971
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
	<i>Amphitetranynchus viennensis</i> (Zacher)	Tetranychidae	In: Lipa 1971
	<i>Bryobia rubrioculus</i> (Scheuten)	Tetranychidae	In: Lipa 1971
	<i>Mononychellus</i> sp.	Tetranychidae	Bartowski et al. 1988
	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Dresner 1949
	<i>Proctolaelaps</i> sp.	Ascidae	Bařazy et al. 1987
<i>Beauveria brongniartii</i>	niet gedetermineerde soort	Parasitiformes	Mietkiewski et al. 2000
<i>Cephalosporium diversiphialidum</i>	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Bařazy 1973
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	<i>Eotetranychus</i> sp.	Tetranychidae	Humber 1992
<i>Cladosporium</i> sp.	<i>Retracus johnstoni</i> Keifer	Eriophyoidea	Van der Geest et al. 2002
<i>Fusarium</i> sp.	<i>Mononychellus</i> sp.	Tetranychidae	Bartowski et al. 1988
	<i>Mononychellus tanajoa</i> (Bondar)	Tetranychidae	Yaninek et al. 1996
	<i>Oligonychus gossypii</i> (Zacher)	Tetranychidae	Yaninek et al. 1996
<i>Hirsutella</i> sp.	<i>Amrineus cocofolius</i> Flechtmann	Eriophyoidea	Van der Geest et al. 2002
	<i>Mononychellus</i> sp.	Tetranychidae	Bartowski et al. 1988
	<i>Pronematus</i> sp.	Tydeidae	Cabrera & McCoy 1984
	<i>Propilus syagris</i> Gondim Jr.	Eriophyoidea	Van der Geest et al. 2002
	<i>Tarsonemus</i> sp.	Tarsonemidae	Van der Geest et al. 2002
<i>Hirsutella brownorum</i>	bodem mijten		Humber 1992
<i>Hirsutella gregis</i>	<i>Abacarus hystris</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Minter et al. 1983
	niet gedetermineerde soort	Acaridae	Mietkiewski et al. 2000
<i>Hirsutella haptospora</i>	<i>Uropodina</i> sp.	Uropodoidea	Humber 1992
	<i>Uroobovella</i> sp.	Uropodoidea	Mietkiewski et al. 2000
	niet gedetermineerde soort	Parasitiformes	Mietkiewski et al. 2000
<i>Hirsutella kirchneri</i>	<i>Abacarus hystris</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Minter et al. 1983
	<i>Eutetranychus orientalis</i> (Klein)	Tetranychidae	Sztejnberg et al. 1997
	<i>Hemisarcopetes coccophagus</i> Meyer	Hemisarcoptidae	Sztejnberg et al. 1997
	<i>Panonychus citri</i> (McGregor)	Tetranychidae	Sztejnberg et al. 1997
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Cabrera & Dominguez 1987a, Sztejnberg et al. 1997
<i>Hirsutella necatrix</i>	<i>Abacarus hystris</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Minter et al. 1983
	<i>Tetranychus cinnabarinus</i> Boisduval	Tetranychidae	Sztejnberg et al. 1997
	<i>Dendrolaelaps cornutus</i> (Krämer)	Digamasellidae	Mietkiewski et al. 2000
<i>Hirsutella nodulosa</i>	<i>Aceria guerreronis</i> Keifer	Eriophyoidea	Cabrera & Dominguez 1987b
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Cabrera & Dominguez 1987a
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
	<i>Steneotarsonemus fragariae</i> (Zimmerman)	Tarsonemidae	Mietkiewski et al. 2000
	= <i>Phytonemus pallidus</i> (Banks)		
<i>Hirsutella rostrata</i>	<i>Dendrolaelaps tetrasspinosus</i> Hirschmann	Digamasellidae	Bařazy & Wiřniewski 1989
	<i>Proctolaelaps</i> sp.	Ascidae	Bařazy & Wiřniewski 1989
<i>Hirsutella thompsonii</i>	<i>Abacarus hystris</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Lewis et al. 1981
	<i>Acalitus vaccinii</i> (Keifer)	Eriophyoidea	Baker & Neunzig 1968
	<i>Aceria cynodoniensis</i> Sayed	Eriophyoidea	McCoy 1996
	<i>Aceria guerreronis</i> Keifer	Eriophyoidea	Humber 1992
	<i>Aceria sheldoni</i> (Ewing)	Eriophyoidea	McCoy 1996, Sosa Gomez & Moscardi 1991
	<i>Aceria</i> sp.	Eriophyoidea	McCoy & Selhime 1977
	<i>Aculops lycopersici</i> (Masse)	Eriophyoidea	In: Chandler et al. 2002
	<i>Calacarus heveae</i> Feres	Eriophyoidea	Tanzini et al. 2000
	<i>Colomerus novaehbridensis</i> Keifer	Eriophyoidea	Hall et al. 1980
	<i>Epitremus goniathrix</i> Micos & Flechtmann	Eriophyoidea	Van der Geest et al. 2002
	<i>Notostris attenuata</i> Gondim Jr., Flechtmann & Moraes	Eriophyoidea	Van der Geest et al. 2002
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Fisher 1950
	<i>Retracus elaeis</i> Keifer	Eriophyoidea	Urueta 1980
	<i>Rhynacus</i> sp.	Eriophyoidea	Cabrera et al. 1987
	<i>Vasates destructor</i> (Keifer)	Eriophyoidea	McCoy 1996

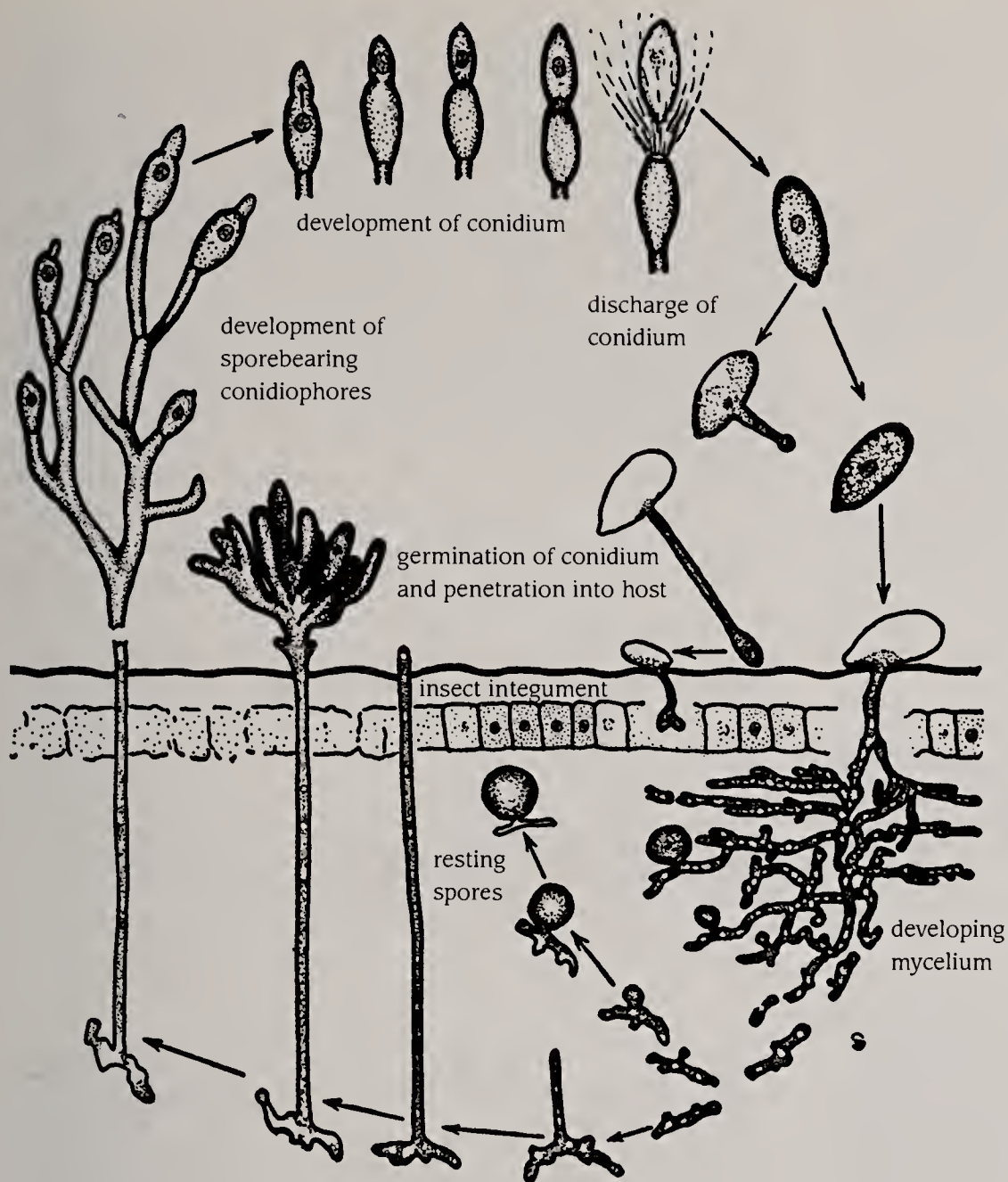
Tabel 2 vervolg.
Table 2 continued.

schimmelsoort	gastheersoort	familie gastheer	referentie
<i>Hirsutella thompsonii</i>	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
	<i>Vasates mckenzie</i> Keifer	Tarsonemidae	Miętkiwski et al. 2000
	<i>Dolichotetranychus floridanus</i> (McGregor)	Tenuipalpidae	Humber 1992
	<i>Eutetranychus banksi</i> (McGregor)	Tetranychidae	McCoy & Selhime 1977
	<i>Eotetranychus sexmaculatus</i> (Riley)	Tetranychidae	McCoy & Selhime 1977
	<i>Eutetranychus orientalis</i> (Klein)	Tetranychidae	Gerson et al. 1979
	<i>Mononychellus tanajoa</i> (Bondar)	Tetranychidae	Yaninek et al. 1996
	<i>Panonychus citri</i> (McGregor)	Tetranychidae	McCoy & Selhime 1977
	<i>Oligonychus gossypii</i> (Zacher)	Tetranychidae	Yaninek et al. 1996
	<i>Tetranychus cinnabarinus</i> (Boisduval)	Tetranychidae	Cehrnin et al. 1997
	<i>Oligonychus ilicis</i> (McGregor)	Tetranychidae	Gardner et al. 1982
	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Gardner et al. 1982
	<i>Tetranychus turkestanii</i> (Ugarov & Nikolskii)	Tetranychidae	In: Chandler et al. 2000
	<i>Trachyuropoda coccinea</i> (Michael)	Trachyuropodidae	Bałazy & Wiśniewski 1982
<i>Hirsutella tydeicola</i>	<i>Lorryia formosa</i> Cooreman	Tydeidae	Cabrera, see Samson & McCoy 1982
	<i>Tydeus californicus</i> (Banks)	Tydeidae	Cabrera, see Samson & McCoy, 1982
	<i>Tydeus gloveri</i> Asmead	Tydeidae	Samson & McCoy 1982
<i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>Macrocheles</i> sp.	Macrochelidae	In: Chandler et al. 2000
<i>Paecilomyces eriophytis</i>	<i>Halotydeus destructor</i> Tucker	Eupodidae	In: Chandler et al. 2000
	<i>Aceria hippocastani</i> (Fockeu)	Eriophyoidea	Leatherdale 1965
	<i>Aceria vaccinii</i> (Keifer)	Eriophyoidea	Baker & Neunzig 1968
	<i>Cecidophyopsis ribis</i> (Westwood)	Eriophyoidea	Leatherdale 1965
	<i>Eriophyes padi</i> Nalepa	Eriophyoidea	Leatherdale 1965
	<i>Panonychus ulmi</i> (Koch)	Tetranychidae	Leatherdale 1965
	<i>Phytoptus avellanae</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Leatherdale 1965
	<i>Proctolaelaps</i> sp.	Ascidae	Bałazy et al. 1987
	<i>Pergamasus mediocris</i> Berlese	Parasitidae	Bałazy et al. 1987
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
	<i>Vasates spondiasii</i> (Boczek)	Eriophyoidea	see McCoy 1996
	<i>Proctolaelaps</i> sp.	Ascidae	Miętkiwski et al. 2000
	niet gedetermineerde soort	Oribatida	Miętkiwski et al. 2000
	<i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks)	Tarsonemidae	Peña et al. 1996
<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Kenneth et al. 1971
<i>Paecilomyces terricola</i>	<i>Abacarus hystrix</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Minter et al. 1983
<i>Ramularia ludoviciana</i>	<i>Proctolaelaps</i> sp.	Ascidae	Miętkiwski et al. 2000
<i>Scopulariopsis fusca</i>	<i>Aculus fockeui</i> (Nalepa & Trouessart)	Eriophyoidea	Schliesske 1992
<i>Sporothrix schenckii</i>	<i>Aceria guerreronis</i> Keifer	Eriophyoidea	Sreerama Kumar & Singh 2001
<i>Sporothrix fungorum</i>	bodem mijten	Oribatidae	Humber 1992
<i>Tolypocladium inflatum</i>	<i>Mycobates</i> sp.	Mycobatidae	Humber 1992
<i>Trichothecium roseum</i>	<i>Halotydeus destructor</i> Tucker	Eupodidae	Ridsdill-Smith & Gaull 1995
<i>Verticillium bulbillosum</i>	niet gedetermineerde soort	Oribatida	Bałazy et al. 1987
<i>Verticillium lamellicola</i>	niet gedetermineerde soort	Belbidae	Miętkiwski et al. 2000
<i>Verticillium lecanii</i>	<i>Abacarus hystrix</i> (Nalepa)	Eriophyoidea	Lewis et al. 1981
	<i>Aceria guerreronis</i> Keifer	Eriophyoidea	Sreerama Kumar & Singh 2001
	<i>Eutetranychus orientalis</i> (Klein)	Tetranychidae	In: Chandler et al. 2000
	<i>Tetranychus urticae</i> Koch	Tetranychidae	Gams 1971
<i>Verticillium psalliotae</i>	niet gedetermineerde soort	Bdellidae	Bałazy et al. 1987
	bodem mijten	Oribatidae	Humber 1992
	<i>Scheloribates latipes</i> (C.L. Koch)	Oribatulidae	Miętkiwski et al. 2000
	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Boekhout et al. 2003
<i>Acaromyces ingoldii</i>	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Boekhout et al. 2003
<i>Meira argovae</i>	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Boekhout et al. 2003
<i>Meira geulakonigii</i>	<i>Phyllocoptruta oleivora</i> (Ashmead)	Eriophyoidea	Boekhout et al. 2003

materiaal, verkregen van verschillende locaties, vergeleken en neemt op basis van deze studie aan dat alle *Neozygites* spp., voorkomend op spintmijten, tot de soort *N. floridana* behoren. Toch bestaan er grote verschillen tussen de verschillende isolaten: *N. floridana* geïsoleerd van de cassave-spintmijt *Mononychellus tanajoa* (Bondar) heeft een beperkt gastheerspectrum en is nauwelijks pathogeen voor andere spintmijtsoorten (De Moraes & Delalibera 1992), terwijl er ook verschillen bestaan in de grootte van de conidia van verschillende isolaten (Sosa-Gómez et al. 1996).

Talloze voorbeelden tonen aan dat *N. floridana* een grote

rol kan spelen in de regulering van natuurlijke populaties van spintmijten. Saba (1971) nam een sterke reductie waar van *T. tumidus* Banks in katoen in het vochtige subtropische gedeelte van Florida: zo trad ten gevolge van de schimmel een reductie op van spintmijtaantastingen van gemiddeld 220 mijten per katoenblad tot <1 mijt per blad na een periode van heet warm weer met zware regenval. De schimmel wordt ook beschouwd als de belangrijkste factor in de reductie van *T. urticae*-populaties in katoen in de delta van de Mississippi (Smith & Furr 1975) en in de Noord-Amerikaanse staten Georgia, Zuid-Carolina en Alabama (Carner 1976).



Figuur 3. De ontwikkelingscyclus van een entomophthorale schimmel. De onderste helft van de figuur geeft het deel van de cyclus weer dat binnen de gastheer plaatsheeft, de bovenste helft het deel dat zich afspeelt op het oppervlak of buiten de gastheer. Bron: Steinhaus 1949.

The developmental cycle of an entomophthoralean fungus. The lower half represents the part of the cycle that takes place inside the host, the upper half the part which occurs on the surface or outside the host.

Een ander voorbeeld betreft het voorkomen van de schimmel in populaties van *T. urticae* in maïs in Noord-Carolina (Smitley *et al.* 1986b). De auteurs konden aantonen dat het voorkomen van de ziekte sterk afhankelijk is van de klimatologische omstandigheden: vochtig weer induceert een epidemie, maar onder droge condities kunnen spintmijtpopulaties zich bijna onbeperkt vermeerderen. Vergelijkbare situaties werden waargenomen bij spintmijtaantastingen in soja in de 'midwest' in de Verenigde Staten (Klubertanz *et al.* 1991). Voor verdere details en andere voorbeelden wordt verwezen naar de review van Van der Geest *et al.* (2000). Een overzicht van waargenomen gastheren van Entomophthorales staat in tabel 1.

Neozygites en de cassavespintmijt

Begin jaren 1970 is vanuit Zuid-Amerika de cassavespintmijt geïntroduceerd in Oost Afrika. Binnen luttele jaren bleek deze cassaveplaag zich over het gehele tropische deel van Afrika te hebben verspreid en vormde zij een ernstige bedreiging voor het grootste deel van de cassaveteelt (Yaninek 1988). Chemische bestrijding bleek voor deze plaag geen oplossing

vanwege de relatief hoge kosten en de ongewenste effecten op het milieu. Klassieke biologische bestrijding leek een goed alternatief. Verscheidene pogingen zijn ondernomen om exotische natuurlijke vijanden te introduceren, vooral roofmijten van de familie Phytoseiidae. De vondst van een *Neozygites*-infectie in cassavespintmijtpopulaties in Venezuela (Agudela-Silva, 1986) en later ook in Noordoost-Brazilië (Delalibera *et al.* 1992) werd gezien als een aanvullende mogelijkheid de cassavespintmijt in Afrika te bestrijden. De vondst initieerde een uitgebreid laboratoriumonderzoek naar de biologische eigenschappen van de schimmel (Oduor *et al.* 1995a, b, 1996a, b, 1997a, b), terwijl ook veldonderzoek door anderen is verricht in Noordoost-Brazilië (Elliot *et al.* 2002a, b).

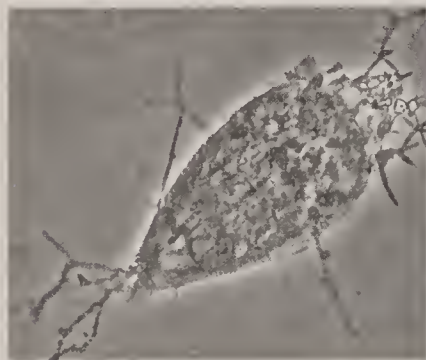
Voor de vorming van conidia en voor de kieming van de capilliconidia is een hoge relatieve luchtvochtigheid (>97%) vereist. Deze wordt gewoonlijk bereikt aan het einde van de nacht, wanneer de temperatuur het laagst is en de luchtvochtigheid relatief hoog. Daarnaast moet men zich realiseren dat de spintmijten zich aan de onderzijde van bladeren dicht bij de oppervlakte bevinden, waar de relatieve luchtvochtigheid aanzienlijk hoger is dan in de omgeving van de plant. Uit het onderzoek van Oduor *et al.* bleek dat transmissie van de schimmel van een geïnfecteerd kadaver naar een gezonde spintmijt snel verloopt: kieming van primaire conidia en vervolgens vorming van capilliconidia gebeurt in circa negen uur. Capilliconidia kiemen binnen twee uur wanneer zij op een geschikte gastheer zijn geland. De interactie tussen licht, vochtigheid en temperatuur is nogal complex en waarschijnlijk sterk afhankelijk van de lokale condities. Opti-

mumtemperatuur voor de vorming van primaire conidia bedraagt 18-23 °C voor isolaten uit Brazilië (Oduor *et al.* 1996b), 16-21 °C voor isolaten uit de zuidelijke staten van de Verenigde Staten (Smitley *et al.* 1986a) en 37 °C voor een stam uit Israël (Kenneth *et al.* 1971).

De vorming van primaire conidia geschiedt gewoonlijk 's nachts, maar licht is geen remmende factor (Oduor *et al.* 1996b). Deze sporen zijn veel minder tolerant voor ongunstige omgevingscondities dan de capilliconidia die tot vier dagen kunnen overleven. Het is zeer waarschijnlijk dat de meeste capilliconidia zich overdag aan spintmijten hechten vanwege de grotere beweeglijkheid van de mijten bij hogere temperaturen. De kans op geslaagde infecties neemt hierbij toe, ofschoon vaak slechts 1-4 capilliconidia nodig zijn voor een geslaagde infectie. Studies in Noordoost-Brazilië hebben aangetoond dat het optreden van epidemieën van de schimmel in spintmijten sterk afhankelijk is van een hoge relatieve luchtvochtigheid (Elliot *et al.* 2002a). Voor het overleven van de schimmel gedurende droge perioden spelen rustsporen waarschijnlijk een belangrijke rol. De auteurs menen dat introductie van de schimmel in nieuwe gebieden vaak zal

mislukken als geen rustsporen worden gevormd.

Elliot *et al.* (2002b) bestudeerden epidemieën van *N. floridana* in de cassavespintmijt onder veldcondities. Volwassen vrouwtjes bleken vaker geïnfecteerd dan mannetjes of onvolwassen stadia. Zij konden aantonen dat dit vooral wordt veroorzaakt door de grotere kans dat de mijten in aanraking komen met het pathogeen, deels door hun grotere afmetingen, maar ook door de grotere beweeglijkheid van vrouwtjes. Op basis van deze waarnemingen speculeren de auteurs dat sessiele (vastzittende) micro-arthropoden minder vatbaar zullen zijn voor pathogenen.



Figuur 4. *Hirsutella thompsonii*-infectie in *Calacarus heveae*. Foto: Leo van der Geest
Hirsutella thompsonii infection in *Calacarus heveae*.

Is toepassing van *Neozygites* mogelijk voor mijtenbestrijding?

Toepassing van Entomophthorales voor de bestrijding van arthropode plagen is moeilijk, daar voor de werking van deze schimmels een hoge relatieve luchtvochtigheid is vereist, zowel voor de kieming van de conidia en capilliconidia als voor de sporulatie. Daarnaast is vermeerdering van de schimmel in kunstmatige voedingsmedia nauwelijks mogelijk en is men dus aangewezen op vermeerdering in levende mijten. Massaproductie van de schimmel is om deze reden bewerkelijk en relatief duur. De houdbaarheid van conidia is beperkt, maar bewaren van sclerotia (met schimmel geïnfecteerde mijkadavers) over lange perioden is wel mogelijk onder lage luchtvochtigheid (Oduor *et al.* 1995b). Het uitzetten van sclerotia uit Latijns Amerika in West-Afrikaanse cassavevelden heeft nog niet geleid tot succesvolle bestrijding van cassavespintmijt. Toch kunnen deze schimmels een grote rol spelen bij regulatie van mijten- en insectenpopulaties in landbouwgewassen. Hierbij is het noodzakelijk een verantwoord gebruik te maken voor pesticiden, vooral van fungiciden (schimmelbestrijdingsmiddelen), om zoveel mo-



Figuur 5 Conidium van *Hirsutella thompsonii*. Foto: Marcel R. Tanzini
Conidium of Hirsutella thompsonii.

gelijk te voorkomen dat schade wordt toegebracht aan de pathogenen. De keuze van gewasvariëteiten (bijvoorbeeld de dichtheid van het gewas) kan van grote invloed zijn op het microklimaat binnen het gewas en daarmee op de mogelijke ontwikkeling van epidemieën.

Voorbeelden van infecties door Deuteromycetes

De Deuteromycetes (of Deuteromycota), vroeger de Fungi Imperfecti genoemd, hebben gemeen dat er geen seksueel stadium van bekend is. Het is dan ook moeilijk deze schimmels te plaatsen in het schimmelclassificatiesysteem, dat vooral gebaseerd is op de wijze van seksuele reproductie. Algemeen wordt aangenomen dat de meeste Deuteromycetes de non-seksuele stadia zijn van seksueel reproducerende schimmels, die behoren tot vooral de Ascomycetes en in mindere mate tot de Basidiomycetes. Van de Deuteromycetes, met ongeveer 17.000 soorten, zijn veel soorten bekend die pathogeen zijn voor arthropoden: ongeveer 30 genera hebben vertegenwoordigers die Arthropoda kunnen infecteren.

Het geslacht *Hirsutella*

Deuteromycetes die pathogeen zijn voor mijten treft men vooral aan in het geslacht *Hirsutella*. Van dit geslacht zijn ongeveer 50 soorten bekend, die vooral gevonden worden in de tropen. De schimmels vormen ovale tot ronde conidia op zogenaamde phialiden, die zijwaarts op het mycelium geplaatst zijn (figuren 4, 5). De conidia zijn bedekt met een

Kader. *Hirsutella thompsonii* als biologische acaricide

Het grote infectiepotentieel van *Hirsutella thompsonii* en de gemakkelijke kweekbaarheid in kunstmatige voedingsmedia zijn eigenschappen die veelbelovend zijn voor het gebruik van de schimmel als biologisch bestrijdingsmiddel tegen mijtenplagen. Zo is men in de jaren 1975-1985 in de Verenigde Staten overgegaan tot de industriële productie van een biologisch insecticide, Mycar™, op basis van conidia van *H. thompsonii* (McCoy 1981). Het bestrijdingsmiddel werd profylactisch toegepast voor de bestrijding van de citrusroestmijt: de schimmel werd vroeg in het seizoen in citrusboomgaarden verspreid teneinde de opbouw van roestmijtpopulaties te reduceren. Bij gunstige weersomstandigheden vormt de schimmel grijze plakken mycelium op de bladeren. Vanuit deze schimmelvlekken worden de roestmijten geïnfecteerd als de luchtvochtigheid voldoende hoog is. Na aanvankelijk hoopvolle resultaten heeft men na een aantal jaren de productie van het middel gestaakt omdat te veel factoren de stabiliteit en betrouwbaarheid van het middel negatief beïnvloedden. Toch bestaat er nog steeds grote interesse in biologische bestrijding op basis van *H. thompsonii* in onder andere Brazilië, Argentinië, Cuba en India, met name voor de bestrijding van galmijten in kokospalmen. Recent onderzoek heeft in India geleid tot de ontwikkeling van het bio-insecticide Mycohit, gebaseerd op een *H. thompsonii*-stam, dat vooral werkzaam blijkt te zijn tegen de galmijt *Aceria guerreronis*, een belangrijke plaag in kokospalm (Moore 2000, Sreerama Kumar & Singh 2001). Mycohit wordt als stuifmiddel toegepast (na periodes van vochtig weer) of, bij droge weersomstandigheden, in de vorm van een vloeibare formulering. Het blijkt mogelijk na enkele weken sterfte te verkrijgen van meer dan 95%.



Figuur 6. Kadaver van *Calacarus heveae* geïnfecteerd door *Hirsutella thompsonii*. Foto: Marcel R. Tanzini
Cadaver of *Calacarus heveae* infected by *Hirsutella thompsonii*.

slijmerig laagje waardoor de sporen zich gemakkelijk aan een gastheer hechten. Een tiental soorten is bekend als ziekteverwekker van mijten, in het bijzonder van Eriophyidae (gal- en roestmijten). Een overzicht van gastheren van deze schimmels staat in tabel 2.

Veldwaarnemingen

De eerste vermelding van een ziekte in een eriophyide mijt is van de hand van Speare & Yothers (1924), die een plotselinge reductie waarnamen van een grote populatie van de citrusroestmijt (*Phyllocoptruta oleivora* (Asmead)) op grapefruit in Florida: in juni werden dichtheden waargenomen van 5000 mijten op een enkele vrucht, maar snel daarna werd de populatie gereduceerd tot ongeveer nul. Bij dissectie werden in de mijkadavers schimmelhyphen waargenomen, hetgeen wijst op een schimmelinfectie. De auteurs toonden ook aan dat de ziekte een veel lagere incidentie (ziektepercentage) bereikte na het gebruik van fungiciden (koperpreparaten). De schimmel werd later door Fisher (1950) beschreven als *Hirsutella thompsonii* Fisher.

Conidia zijn de infectieuze sporen van *Hirsutella*. Deze ongeslachtelijke sporen bezitten een slijmerige laag waardoor zij gemakkelijk aan de gastheer blijven kleven. Voor de kieming van de conidia is een hoge luchtvochtigheid vereist. Na kieming van de sporen wordt een kiembuis gevormd die de cuticula van de mijt op allerlei plaatsen van het lichaam kan doorboren: bij spintmijten vindt penetratie gewoonlijk bij de poten plaats. De schimmels produceren eiwitsplitsende (proteases) en chitine-oplossende (chitinolytische) enzymen, waardoor penetratie van de kiembuis wordt vergemakkelijkt. Binnen de mijt wordt een takvormig mycelium gevormd in de haemocoel (lichaamsholte) van de mijt (figuur 4). Na de dood van de gastheer groeit de schimmel door het integument van de mijt en vormt nieuwe ongeslachtelijke sporen (conidia, figuur 5) die rond de mijt op het bladoppervlak blijven kleven. Het duurt ongeveer vier uur voor de schimmel een mijt kan binnendringen, terwijl de tijd tussen infectie en sporulatie ongeveer vier dagen bedraagt bij 25-30 °C.

Productie van toxines door de schimmel wanneer de schimmel wordt gekweekt in kunstmatige voedingsmedia is waargenomen door Vey *et al.* (1993). Het toxine blijkt giftig voor allerlei soorten insecten en mijten en veroorzaakt cytotoxische effecten, zoals pycnose (degeneratie) van de celkern en reductie van de dichtheid van het cytoplasma. Meerdere

toxines blijken een rol te spelen, waaronder het Hirsutelline A, een thermostabiel (hittebestendig) eiwit met een molecuulgewicht van 15-16 kDalton. Dit toxine blijkt de vruchtbaarheid van de citrusroestmijt te verlagen.

Hirsutella-soorten treft men ook in andere eriophyiden aan, zoals bijvoorbeeld in *Calacarus heveae* Feres, een belangrijke plaag van rubber. In de omgeving van Itiquira, Mato Grosso, Brazilië, bevindt zich een rubberplantage van Michelin ter grootte van ongeveer 10.000 hectare. Ieder jaar ondervindt men hier grote schade ten gevolge van deze eriophyide mijt. In tegenstelling tot de meeste roestmijten bevindt deze mijt zich aan de bovenzijde van de bladeren. Populaties van vele honderden mijten per blad vormen geen uitzondering. De mijtenpopulaties worden echter na enkele weken gedecimeerd door het optreden van de pathogene schimmel *H. thompsonii* (figuren 4, 5, 6, 7), zij het dat deze epidemieën gewoonlijk te laat optreden om schade aan de rubberbomen (massale bladval) te voorkomen. Om na te gaan of bestrijding van de mijt mogelijk is met behulp van preparaten die pathogene schimmels als werkzaam bestanddeel bevatten zijn experimenten ondernomen. Deze proeven zijn echter tot nu toe niet succesvol gebleken. Om deze reden wordt op dit ogenblik alleen chemische bestrijding uitgevoerd. Of chemische bestrijding noodzakelijk is is afhankelijk van de resultaten van bemonstering van de rubberbomen. Door de grootte van de percelen en de afmetingen van de bomen zijn deze bemonsteringen echter zeer onbetrouwbaar.



Figuur 7. *Calacarus heveae*-mijten gedood door de schimmel *Hirsutella thompsonii* aan de bovenzijde van bladeren van de rubberboom *Hevea brasiliensis*. Foto: Marcel R. Tanzini.

Calacarus heveae mites killed by the fungus *Hirsutella thompsonii* on the upper surface of leaves of the rubber tree *Hevea brasiliensis*.

Hirsutella-soorten treft men ook aan in andere mijten-taxa, onder meer in spintmijten (zie tabel 2). Daarnaast zijn ook andere Deuteromycetes als pathogenen van mijten waargenomen. Zo heeft men recent in Israël van de citrusroestmijt drie verschillende schimmels geïsoleerd waarvan geen seksuele stadia konden worden vastgesteld. Alledrie schimmels bleken nieuwe soorten te zijn; ze zijn beschreven als *Meira geulakonigii*, *M. argovae* en *Acaromyces ingoldii* (Boekhout *et al.* 2003). Op basis van DNA-sequentie analyses concludeerden de auteurs dat de schimmels mogelijk behoren tot de Ustilagomycetes (Basidiomycota), de brandzwammen, waarvan verschillende soorten bekend staan als pathogenen van planten. Wij hebben deze soorten

in tabel 2 ondergebracht bij de Deuteromycetes omdat (nog) geen seksueel stadium bekend is. Voor details over hier niet besproken pathogenen wordt verwezen naar Van der Geest *et al.* (2000) en Chandler *et al.* (2000).

Nabeschouwing

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat pathogene schimmels een belangrijke rol kunnen spelen in de regulatie van mijtenpopulaties in natuurlijke habitats en in landbouwkundige systemen. In de landbouw hebben pathogenen een groot potentieel bij de beteugeling van schadelijke mijten. De ontwikkeling van biologische bestrijdingsmiddelen op basis van pathogene schimmels is tot nu toe niet erg succesvol geweest, vooral omdat een succesvolle toepassing onder andere sterk afhankelijk is van de klimatologische condities. Met name de relatieve luchtvochtigheid in drogere gebieden is vaak te laag voor sporulatie en sporekieming. Soms wordt een hoge relatieve luchtvochtigheid wel bereikt, bijvoorbeeld in de vroege ochtend. Toch zijn de omstandigheden in een groot gedeelte van de tropen wel geschikt, zoals blijkt uit de succesvolle toepassing van Mycohit tegen roestmijten in kokos (zie kader).

Meer onderzoek is noodzakelijk naar formuleringen van schimmelsporen die sporenkieming mogelijk maken onder droge omstandigheden. Zo claimden Prior *et al.* (1992) dat het gebruik van speciale formuleringen van sporen in olie-schimmelinfecties van woestijnsprinkhanen mogelijk maken onder zeer lage luchtvochtigheidscondities. Uitgebreider onderzoek is echter noodzakelijk voordat zulke formuleringen toepasbaar zullen zijn. Dergelijke formuleringen bieden mogelijk ook soelaas bij de biologische bestrijding van plagen onder minder extreme klimatologische omstandigheden. Daarnaast is een verantwoord gebruik van fungiciden van groot belang. Reeds van nature aanwezige schimmels worden zo gespaard, zodat zij een rol kunnen blijven spelen in de regulatie van schadelijke mijtenpopulaties.

Literatuur

- Agudela-Silva P 1986. A species of *Triplosporium* (Zygomycetes: Entomophthorales) infecting *Mononychellus progressivus* (Acari: Tetranychidae) in Venezuela. *Florida Entomologist* 69: 444-446.
- Baker JR & Neunzig HN 1968. *Hirsutella thompsonii* as a fungus parasite of the blueberry mite. *Journal of Economic Entomology* 61: 1117-1118.
- Bałazy S 1973. A review of entomopathogenic species of the genus *Cephalosporium* Corda (Mycota, Hyphomycetales). *Bulletin de la Société des Amis des Sciences et des Lettres de Poznan* 14: 101-137.
- Bałazy S & Wiśniewski J 1982. Two species of entomopathogenic fungi on the myrmecophilic mite *Trachyuropoda coccinea* (Michael, 1891) (Acari: Uropodina). *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série Sciences Biologiques* 30: 81-84.
- Bałazy S & Wiśniewski J 1984. Records on some lower fungi occurring on mites (Acarina) from Poland. *Acta Mycologica* 20: 159-172.
- Bałazy S & Wiśniewski J 1989. Pathogene Pilze bei Milben. *Mikrokosmos* 78: 299-304.
- Bałazy S, Wiśniewski J & Kaczmarek S 1987. Some noteworthy fungi occurring on mites. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Biological Sciences* 35: 199-224.
- Bartkowski J, Odindo MO & Otieno WA 1988. Some fungal pathogens of the cassava green spider mite *Mononychellus* spp. (Tetranychidae) in Kenya. *Insect Science and its Application* 9: 457-459.
- Ben-Ze'ev I, Kenneth RG & Uziel A 1987. A reclassification of *Entomophthora turbinata* in *Thaxterosporium* gen. nov. *Neozygita-ceae* fam. nov. (Zygomycetes: Entomophthorales. *Mycotaxon* 28: 313-326.
- Boekhout T, Theelen B, Houbraken J, Robert V, Scorzetti G, Gafni A, Gerson U & Szejnberg A 2003. Novel anamorphic mite-associated fungi belonging to the Ustilaginomycetes: *Meira geulakonigii* gen. nov., sp. nov., *Meira argovae* sp. nov. and *Acaromyces ingoldii* gen. nov., sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 53: 1655-1664.
- Cabrera RI & McCoy CW 1984. El acaró *Vasates destructor* nuevo hospedero del hongo *Hirsutella thompsonii*. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Protección de Plantas* 7: 69-79.
- Cabrera RI & Domínguez D 1987a. *Hirsutella nodulosa* y *Hirsutella kirchneri*: Dos nuevos hongos patógenos del caro del moho, *Phyllocoptotrus oleivora*. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Protección de Plantas* 10: 139-142.
- Cabrera RI & Domínguez D 1987b. El hongo *Hirsutella nodulosa*, nuevo parásito para el caro del cocotero *Eriophyes guerreronis*. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Cítricos y Otros Frutales* 10: 41-51.
- Cabrera RI, Cáceres I & Domínguez D 1987. Estudios de dos especies de *Hirsutella* y sus hospedantes en el cultivo de la guayaba, *Psidium guajava*. *Agrotecnia de Cuba* 19: 29-34.
- Carner GR 1976. A description of the life cycle of *Entomophthora* sp. in the two-spotted spider mite. *Journal of Invertebrate Pathology* 28: 245-254.
- Carner GR & Carnerday TD 1968. Field and laboratory investigations with *Entomophthora fresenii*, a pathogen of *Tetranychus* spp. *Journal of Economic Entomology* 61: 956-959.
- Cehrnin L, Gafni A, Mozes-Koch R, Gerson U & Szejnberg A 1997. Chitolytic activity of the acaropathogenic fungi *Hirsutella thompsonii* and *Hirsutella necatrix*. *Canadian Journal of Microbiology* 43: 440-446.
- Chandler D, Davidson G, Pell JK, Ball BV, Shaw K & Sunderland KD 2000. Fungal Biocontrol of Acari. *Biocontrol Science and Technology* 10: 357-384.
- Chernov KS 1981. [Transmission of mycoses, an aspect of *Varroa* infestations.] *Byulletin Vsesoyuznogo Instituta Eksperimentalnoi Veterinari* 41: 59-60.
- Delalibera I, Sosa Gomez DR, Moraes GJ de, Alencar JA de & Farias Araujo W 1992. Infection of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) by the fungus *Neozygites* sp. (Entomophthorales) in northeastern Brazil. *The Florida Entomologist* 75: 145-147.
- Dick GL & Buschman LL 1995. Seasonal occurrence of a fungal pathogen, *Neozygites adjarica* (Entomophthorales: Neozygitaceae), infecting Banks grass mites, *Oligonychus pratensis*, and two-spotted spider mites, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), in field corn. *Journal of the Kansas Entomological Society* 68: 425-436.
- Dick GL, Buschman LL & Ramoska WA 1992. Description of a species of *Neozygites* infecting *Oligonychus pratensis* in the western great plains of the United States. *Mycologia* 84: 729-738.
- Dresner E 1949. Culture and use of entomogenous fungi for the control of insects. *Contributions of the Boyce Thompson Institute* 15: 319-335.
- Elliot SL, Moraes GJ de & Mumford JD 2002. Importance of ambient saturation deficits in an epizootic of the fungus *Neozygites floridana* in cassava green mites (*Mononychellus tanajoa*). *Experimental and Applied Acarology* 27: 11-25.
- Elliot SL, Mumford JD, Moraes GJ de & Sabelis MW 2002. Age-dependent rates of infection of cassava green mites by a fungal pathogen in Brazil. *Experimental and Applied Acarology* 27: 169-180.
- Fisher FE 1950. Two new species of *Hirsutella* Patouillard. *Mycologia* 42: 13-16.
- Fisher FE 1951. An *Entomophthora* attacking citrus red mite. *The Florida Entomologist* 34: 83-88.
- Furtado IP, Moraes GJ de & Keller S 1996. Infection of *Euseius citrifolius* (Acari: Phytoseiidae) by an entomophthoralean fungus in Brazil. *Rev. Ecosistema* 21: 85-86.
- Gams W 1971. *Cephalosporium*-artige Schimmelpilze (Hyphomycetes). *Gustav Fischer Verlag, Stuttgart*.
- Gardner WA, Oetting RD & Storey GK 1982. Susceptibility of the

- two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch, to the fungal pathogen *Hirsutella thompsonii* Fisher. The Florida. Entomologist 65: 458-465.
- Geest LPS van der, Elliot SL, Breeuwer JAJ & Beerling EAM 2000. Diseases of mites. Experimental and Applied Acarology 24: 497-560.
- Geest LPS van der, Moraes GJ de, Navia D & Tanzini MR 2002. New records of pathogenic fungi in mites (Arachnida: Acari) from Brazil. Neotropical Entomology, 31: 493-495.
- Gerson U, Kenneth R & Muttath TI 1979. *Hirsutella thompsonii*, a fungal pathogen of mites. II. Host-pathogen interactions. Annals of Applied Biology 91: 29-40.
- Hall RA, Hussey NW & Mariau D 1980. Results of a survey of biological control agents of the coconut mite *Eriophyes guerreronis*. Oleagineux 35: 395-400.
- Humber RA 1989. Synopsis of a revised classification for the Entomophthorales (Zygomycotina). Mycotaxon 34: 441-446.
- Humber RA 1992. Collection of Entomopathogenic Fungi: Catalog of Strains 1992. Agricultural Research Service Publications 110: vii, 1-177.
- Humber RA, De Moraes GJ & Dos Santos JM 1981. Natural infection of *Tetranychus evansi* (Acarina: Tetranychidae) by a *Triplosorium* sp. (Zygomycetes: Entomophthorales) in northeastern Brazil. Entomophaga 26: 421-425.
- Ireson JE & Rath AC 1991. Preliminary observations on the efficacy of entomopathogenic fungi for the control of the lucerne flea, *Sminthurus viridis* (L) and the redlegged earth mite, *Halotydeus destructor* (Tucker). Proceedings of the National Workshop on Redlegged Earth mite, Perth, Australia: 104-109.
- James DG 1994. Biological control of earth mites in pasture using endemic natural enemies. In: Proceedings of the 2nd National Workshop on Redlegged Earth Mite, Lucerne Flea and Blue Oat Mite, Rutherglen, Victoria, Australia: 69-71.
- Jegina K 1976. [Studies on the effectivity of *Basidiobolus* sp.] In: Entomopathogenic Micro-organisms and their Utilization in the Control of Plant Pests (Cibul'ska AI ed): 72-77. Zizatne Press, Riga.
- Jegina K & Cinowskis J 1972. Entomofloru senu lieto?ana cina prēt tiklēcēm. Latvijas Zinatnu Akademijas Vestis 9: 44-47.
- Keller S 1991. Arthropod-pathogenic Entomophthorales of Switzerland. II. *Erynia*, *Erynnopsis*, *Neozygites*, *Zoophthora* and *Tarichium*. Sydowia 43: 39-122.
- Keller S & Wuest J 1983. Observations sur trois espèces de *Neozygites* (Zygomycetes: Entomophthoraceae). Entomophaga 28: 123-134.
- Kenneth R, Wallis G, Olmert Y & Halperin J 1971. A list of entomogenous fungi of Israel. Israel Journal of Agricultural Research 21: 63-66.
- Klubertanz TH, Pedigo LP & Carlson RE 1991. Impact of fungal epizootics on the biology and management of the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) in soybean. Environmental Entomology 20: 731-735.
- Leatherdale D 1965. Fungi infecting rust and gall mites (Acarina: Eriophyidae). Journal of Invertebrate Pathology 7: 325-328.
- Lewis GC, Heard AJ, Brady BL & Minter DW 1981. Fungal parasitism of the eriophyid mite vector of rye grass mosaic virus. In: Pests and Diseases. Proceedings of the 1981 British Crop Protection Conference: 109-111.
- Lipa JJ 1971. Microbial control of mites and ticks. In: Microbial Control of Insects and Mites (Burgess HD & Hussey NW eds): 357-373. New York.
- McCoy CW 1981. Pest control by the fungus *Hirsutella thompsonii*. In: Microbial Control of Pests and Plant Diseases (Burgess HD ed): 499-512. New York.
- McCoy CW 1996. Pathogens of eriophyids. In: Eriophyid Mites - Their Biology, Natural Enemies and Control (Lindquist EE, Sabelis MW & Bruin J eds): 481-490. Amsterdam.
- McCoy CW & Selhime AG 1977. The fungus pathogen, *Hirsutella thompsonii* and its potential use for control of the citrus mite in Florida. In: Proceedings of the Primer Congreso Mundial de Citricultura (Carpena O ed): 521-527. Murcia, Spain.
- Miętkiewski R, Bałazy S & Van der Geest LPS 1993. Observations on a mycosis of spider mites (Acari: Tetranychidae) caused by *Neozygites floridana* in Poland. Journal of Invertebrate Pathology 61: 317-319.
- Miętkiewski R, Bałazy S & Tkaczuk C 2000. Mycopathogens of Mites in Poland - A Review. Biocontrol Science and Technology 10: 459-465.
- Milner RJ 1985. *Neozygites acaridis* (Petch) comb. nov.: An entomophthoralean pathogen of the mite, *Macrocheles peregrinus*, in Australia. Transactions of the British Mycological Society 85: 641-647.
- Minter DW, Brady BL & Hall RA 1983. Five *Hyphomycetes* isolated from eriophyid mites. Transactions of the British Mycological Society 81: 455-471.
- Moore D 2000. Non-chemical control of *Acaria guerreronis* on coconuts. Biocontrol News and Information 21: 83N-88N.
- Moraes GJ de & Delalibera I 1992. Specificity of a strain of *Neozygites* sp. (Zygomycetes: Entomophthorales) to *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). Experimental and Applied Acarology 14: 98-94.
- Nemoto H & Aoki J 1975. *Entomophthora floridana* (Entomophthorales: Entomophthoraceae) attacking the sugi spider mite, *Oligonychus hondoensis* (Acarina: Tetranychidae) in Japan. Applied Entomology and Zoology 10: 90-95.
- Nyiira ZM 1982. Cassava green mite: its distribution and possible control. In: Root Crops in Africa: Proceedings of a Workshop held in Kigali, Ruanda, 23-27 November 1980: 65-67. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Oduor GI, Moraes GJ de, Yaninek JS & Van der Geest LPS 1995a. Effect of temperature, humidity and photoperiod on mortality of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) infected by *Neozygites cf. floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales). Experimental and Applied Acarology 19: 571-579.
- Oduor GI, Yaninek JS, Van der Geest LPS & Moraes GJ de 1995b. Survival of *Neozygites cf. floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales) in mummified cassava green mites and the viability of its primary conidia. Experimental and Applied Acarology 19: 479-488.
- Oduor GI, Moraes GJ de, Van der Geest LPS & Yaninek JS 1996a. Production and germination of primary conidia of *Neozygites floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales) under constant temperatures, humidities, and photoperiods. Journal of Invertebrate Pathology 68: 213-222.
- Oduor GI, Yaninek JS, Van der Geest LPS & Moraes GJ de 1996b. Germination and viability of capilliconidia of *Neozygites floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales) under constant temperature, humidity and light conditions. Journal of Invertebrate Pathology 67: 267-278.
- Oduor GI, Moraes GJ de, Van der Geest LPS & Yaninek JS 1997a. The effect of pathogen dosage on the pathogenicity of *Neozygites floridana* (Zygomycetes: Entomophthorales) to *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). Journal of Invertebrate Pathology 70: 127-130.
- Oduor GI, Sabelis MW, Lingeman R, Moraes GJ de & Yaninek JS 1997b. Modelling fungal (*Neozygites cf. floridana*) epizootics in local populations of cassava green mite (*Mononychellus tanajoa*). Experimental and Applied Acarology 21: 485-506.
- Peña JE, Osborne LS & Duncan RE 1996. Potential of fungi as biocontrol agents of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). Entomophaga 41: 27-36.
- Petrova VI & Petrov VM 1976. [Possibility of simultaneous use of the pathogenic fungus *Entomophthora thaxteriana* Petch and then phytoseiid predatory mite for the control of greenhouse pests.] In: Entomopathogenic Micro-organisms and their Utilization in the Control of Plant Pests, AI Cibul'ska, (ed.): 78-85. Riga.
- Poinar G Jr & Poinar R 1998. Parasites and pathogens of mites. Annual Review of Entomology 43: 449-469.
- Prior C Lomer, Herren CJ, Paraíso A, Kooyman C & Smit JJ 1992. The IIBC/IITA/DFPV collaborative research programme on the biological control of locusts and grasshoppers. In: Biological Control of Locusts and Grasshoppers (Lomer CJ & Prior C eds): 8-18. CAB International, Wallingford, UK.
- Ramaseshiah G 1971. Occurrence of an *Entomophthora* on tetranychid mites in India. Journal of Invertebrate Pathology 24: 218-223.
- Ridsdill-Smith J & Gaull A 1995. An improved method rearing *Halo-*

- tydeus destructor* (Acari: Penthaleidae) in the laboratory. Experimental and Applied Acarology 19: 337-345.
- Saba F 1971. Population dynamics of some tetranychids in subtropical Florida. In: Proceedings 3rd International Congress of Acarology, Prague (Daniel M & Rosický B eds): 237-240. The Hague.
- Samish M & Řeháček J 1999. Pathogens and predators of ticks and their potential in biological control. Annual Review of Entomology 44: 159-182.
- Samson RA & McCoy CW 1982. A new fungal pathogen of the scavenger mite, *Tydeus gloveri*. Journal of Invertebrate Pathology 40: 216-220.
- Sanassi A & Amirthavalli S 1970. Infection of the velvet mite, *Thrombidium gigas*, by *Aspergillus flavus*. Journal of Invertebrate Pathology 16: 54-56.
- Sanassi A & Oliver JH 1971. Integument of the velvet-mite, *Dinothrombium giganteum*, and histopathological changes caused by the fungus *Aspergillus flavus*. Journal of Invertebrate Pathology 17: 354-365.
- Schliesske J 1992. The free living gall mite species (Acari: Eriophyoidea) on pomes and stone fruits and their natural enemies in northern Germany. Acta Phytopathologia et Entomologia Hungarica 27: 583-586.
- Selhime AG & Muma MH 1966. Biology of *Entomophthora floridana* attacking *Eutetranychus banksi*. The Florida Entomologist 49: 161-168.
- Smith JW & Furr RE 1975. Spider mites and some natural control agents found in cotton in the Delta area of Mississippi. Environmental Entomology 4: 559-560.
- Smitley DR, Brooks WM & Kennedy GG 1986a. Environmental effects on production of primary and secondary conidia, infection and pathogenesis of *Neozygites floridana*, a pathogen of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. Journal of Invertebrate Pathology 47: 325-332.
- Smitley DR, Kennedy GG & Brooks WM 1986b. Role of the entomogenous fungus, *Neozygites floridana*, in population declines of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, on field corn. Entomologia Experimentalis et Applicata 41: 255-264.
- Sosa Gómez DR & Moscardi F 1991. Microbial control and insect pathology in Argentina. Ciência e Cultura 43: 375-379.
- Sosa Gómez DR, Almeida AM, Santos M & Oliveira LJ 1996. Adendo aos entomo-patógenos que ocorrem na cultura da soja e da erva mate. In: Abstracts of the V Simpósio de Contorle Biológico: 318. Foz de Iguaçu, Brazil.
- Speare AT & Yothers WW 1924. Is there an entomogenous fungus attacking the citrus rust mite in Florida? Science 40: 41-42.
- Sreerama Kumar P & Singh SP 2001. Coconut mite in India: Biopesticide breakthrough. Biocontrol News and Information 22: 76N-77N.
- Steinhaus EA 1949 Principles of Insect Pathology. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Steinhaus EA & Marsh GA 1962. Reports of diagnosis of diseased insects 1951-1961. Hilgardia 33: 349-490.
- Sztejnberg A, Doron-Shloush S & Gerson U 1997. The biology of the acaropathogenic fungus *Hirsutella kirchneri*. Biocontrol Science and Technology 7: 577-590.
- Tanzini MR, Alves SB, Tamai MA, De Moraes GJ & Ferla NJ 2000. An epizootic of *Calacarus heveae* (Acari: Eriophyidae) by *Hirsutella thompsonii* on rubber trees. Experimental and Applied Acarology 24: 141-144.
- Urueta EJ 1980. Control del cario *Retracus elaeis* Keifer mediante el hongo *Hirsutella thompsonii* Fisher y inhibición de este por dos fungicidas. Revista Colombiana de Entomología 6: 3-9.
- Vey A, Quiot JM, Mazet I & McCoy CW 1993. Toxicity and pathology of crude broth filtrate produced by *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* in shake culture. Journal of Invertebrate Pathology 61: 131-137.
- Walter DE 1999. Cryptic inhabitants of a noxious weed: mites (Arachnida: Acari) on *Lantana camara* L. invading forests in Queensland. Australian Journal of Entomology 38: 197-200.
- Weiser J 1968. *Triplosporium tetranychii* sp.n. (Phycomycetes: Entomophthoraceae), a fungus infecting the red spider mite *Tetranychus althaeae* Hanst. Folia Parasitologia (Prague) 15: 115-122.
- Weiser J & Muma MH 1966. *Entomophthora floridana* n.s. (Phycomycetes: Entomophthoraceae), a parasite of the Texas citrus mite *Tetranychus banksi*. The Florida Entomologist 49:155-159.
- Yaninek JS 1988. Continental dispersal of the cassava green mite, an exotic pest in Africa, and implications for biological control. Experimental and Applied Acarology 4: 211-224.
- Yaninek JS, Saizonou S, Onzo A, Zannou I & Gnanvossou D 1996. Seasonal and habitat variability in the fungal pathogens, *Neozygites cf. floridana* and *Hirsutella thompsonii*, associated with cassava green mites in Benin, West Africa. Biocontrol Science and Technology 6: 23-33.

Geaccepteerd 8 juni 2004.

Summary

Fungi against phytophagous mites

Diseases of invertebrates caused by pathogenic micro-organisms receive an increasing attention. This is not only due to the interest of the comparative pathologist but also of the applied biologist, as several of these pathogens have a great potential for the control of noxious arthropod pests in agricultural and veterinary systems. In this article a few examples are discussed of fungal diseases in phytophagous mites. For example, *Neozygites floridana*, an entomophthoraceous fungus, plays a major role in the control of spider mites in agricultural crops such as soybean, citrus, cassava and cotton. An other example is the deuteromycete *Hirsutella thompsonii*, which causes high mortality in rust mites populations in citrus orchards. The pathogenesis of these fungi is discussed as well as the potential these fungi may have for the control of noxious mite pests.