

Entomologica Austriaca	13	63-82	Linz, 17.3.2006
------------------------	----	-------	-----------------

Koexistenz oder Verdrängung? Prädation zwischen zwei Raubmilbenarten (Acari: Phytoseiidae), die um Spinnmilben (Acari: Tetranychidae) konkurrieren

A. WALZER

Abstract: The spider mite predators *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT and *Neoseiulus californicus* MCGREGOR (Acari: Phytoseiidae) are considered to possess complementary traits in spider mite control (Acari: Tetranychidae). The diet-specialist *P. persimilis* is able to rapidly suppress the spider mites, but prey depletion inevitably results in a local breakdown of the predator population. Thus, single releases of *P. persimilis* provide only short term control of spider mites. The diet-generalist *N. californicus* has the ability to persist at low spider mite densities by switching to other food resources. Therefore the combined release of *P. persimilis* and *N. californicus* should enhance both the efficient and long-term spider mite control in greenhouse crops. The precondition for this scenario is coexistence between the two predator species. However, the two predator species prey also on each other, which is defined as intraguild predation (IGP). The objective of the thesis was, whether coexistence is possible between *P. persimilis* and *N. californicus* despite of the occurrence of IGP.

Our results revealed that IGP was strongly asymmetric between *P. persimilis* and *N. californicus* favoring the latter. The little mobile and defenceless larvae were the most preferred IG prey of *N. californicus*. However, the consequences of IGP on population level decreased with increasing complexity of the experimental systems. On detached bean leaves *P. persimilis* was displaced by *N. californicus* by IGP despite of ample spider mite prey. In plant systems *P. persimilis* proved to be the dominant predator at high spider mite densities. In a further experiment at the individual level *P. persimilis* avoided oviposition in prey patches occupied by the superior IG predator *N. californicus*. This behavior may reduce the risk of IGP for *P. persimilis*. Thus, the threat or evolutionary "ghost" of IGP may lead to a more favorable dispersion of the predatory mites in the crop and as a consequence enhance spider mite suppression. The results of the thesis suggest that the combined release of *P. persimilis* and *N. californicus* may compensate the shortcomings of the single species releases and facilitate sustainable spider mite control. However, it remains an open question whether the effects of the combined release of the two predator species are additive or synergistic.

Key words: *Phytoseiulus persimilis*, *Neoseiulus californicus*, Prädation, Konkurrenz, Spinnmilbenkontrolle.

1 Einleitung

Interspezifische Interaktionen zwischen Organismen werden in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die beteiligten Organismen mit + (Vorteil), 0 (keine Auswirkung) und – (Nachteil) charakterisiert. Konkurrenz um eine limitierte Ressource hat in der Regel für

die Beteiligten negative Folgen, daher wird diese Interaktion mit - / - gekennzeichnet. Prädation¹ hingegen ist für den Prädator durch den Energiegewinn mittels Nahrungsaufnahme von Vorteil, für die Beute ist Prädation nachteilig. Folglich werden die Auswirkungen der Prädation auf Prädator und Beute mit + / - klassifiziert (BEGON et al. 1996).

Häufig nutzen verschiedene Arten dieselbe Ressource in ähnlicher Art und Weise, wobei es sich in vielen Fällen um die Nahrungsressource handelt. Diese Artengemeinschaften werden als Gilde bezeichnet (ROOT 1967). Wenn Prädation zwischen den konkurrierenden heterospezifischen Mitgliedern einer Gilde auftritt, so ist dies eine Form der interspezifischen Prädation. Für interspezifische Prädation innerhalb einer Gilde hat sich der Terminus "intraguild predation" (IGP) in der Literatur durchgesetzt und wird auch in dieser Arbeit in der abgekürzten Form verwendet (POLIS et al. 1989). IGP stellt eine Kombination von Konkurrenz und Prädation dar. Diese Interaktion unterscheidet sich aber in ihren Auswirkungen auf die beteiligten Organismen sowohl von Konkurrenz als auch von Prädation. Anders als bei Konkurrenz profitiert ein Individuum (IG Prädator) von der Interaktion, während es für das andere Individuum (IG Beute) nachteilig ist. Gegenüber der klassischen Prädation profitiert der IG Prädator in dreifacher Hinsicht: (1) durch die Nahrungsaufnahme, (2) durch die Eliminierung eines Konkurrenten und (3) eines potenziellen Prädators. Daher sind die Auswirkungen der IGP auf die Populationsdynamik der beteiligten Arten komplexer als Konkurrenz oder Prädation.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht IGP zwischen zwei Raubmilbenarten (Acari: Phytoseiidae) und der Einfluss der IGP auf die Populationsentwicklung der beiden Raubmilbenarten. Erste Hinweise auf mögliche Auswirkungen der IGP auf die Zusammensetzung von Raubmilbengilden gab es schon 1959. CHANT (1959) spekulierte, dass die Dominanz von *Euseius finlandicus* (OUDEMANS) über *Phytoseius macropilis* (BANKS) und *Typhlodromus pyri* SCHEUTEN (Acari: Phytoseiidae) in Obstanlagen auf das Erbeuten von Juvenilstadien der unterlegenen Raubmilbenarten durch *E. finlandicus* zurückzuführen ist. Weitere Hinweise für die Bedeutung von IGP auf die Populationsdynamik von Raubmilbenarten lieferten Ergebnisse von Labor- als auch Freilandstudien (LAING & HUFFAKER 1969, DUSO 1989, YAO & CHANT 1989, CROFT & MACRAE 1992ab, LANGE & TRAUTMANN 1994). In den letzten 15 Jahren wurden Versuche auf Individualebene durchgeführt, um Fragen wie die Intensität und Richtung der IGP zwischen Raubmilben und/oder die Nahrungsqualität von heterospezifischen Raubmilbenarten bezüglich Entwicklung und Reproduktion des IG-Prädators zu klären (YAO & CHANT 1989, SCHAUSBERGER & CROFT 1999). Ein wichtiger Impuls für die intensive Forschungstätigkeit über die Bedeutung von IGP zwischen Raubmilbenarten kam aus der biologischen Schädlingskontrolle. Zahlreiche Raubmilbenarten werden als Gegenspieler von diversen Schädlingen (Milben, Thripse) sowohl im Freiland als auch in geschützten Kulturen verwendet. In den letzten Jahren wurden häufig mehrere Raubmilbenarten in einer Kultur eingesetzt, womit die Voraussetzungen für das Auftreten von IGP zwischen den verschiedenen Arten geschaffen wurden. Neben

¹ Laut Definition bedeutet Prädation die Konsumation eines lebenden Organismus (Beute) durch einen anderen Organismus (Prädator), wobei dieser Begriff echte Räuber, Weidegänger, Parasiten und Parasitoiden inkludiert. Hier wird der Begriff Prädator auf echte Räuber eingeschränkt, die ihre Beute unmittelbar nach dem Angriff auch töten (BEGON et al. 1996).

zahlreichen anderen Faktoren (klimatische Bedingungen, Ausbreitungsfähigkeit der Raubmilben im Pflanzenbestand, Pestizidresistenz, usw.) können die Auswirkungen von IGP nicht nur die Populationsdynamik der Raubmilbenarten beeinflussen, sondern auch über den Erfolg oder Misserfolg der Schädlingskontrolle entscheiden.

Arten aus der Familie der Phytoseiidae können durch folgende Merkmale charakterisiert werden: (1) Es handelt sich um sehr kleine pflanzenbewohnende Tiere (Größe: maximal 500µm), die keine Lichtsinnesorgane besitzen. (2) Beide Geschlechter entwickeln sich aus ursprünglich diploiden Eiern, wobei der männliche Chromosomensatz bei den Männchen im Laufe der Embryogenese eliminiert wird (Pseudoarrhenotokie). Folglich sind die Männchen haploid, die Weibchen hingegen diploid (SCHULTEN 1985). (3) Die Entwicklung verläuft über das Ei-, Larven-, Proto- und Deutonymphenstadium zum Adultus. (4) Der Körper ist in das Gnathosoma und Idiosoma untergliedert. Die vier Laufbeinpaare entspringen am Idiosoma. Am Dorsalschild befinden sich paarig angeordnete Setae, welche wichtige differentialdiagnostische Artbestimmungsmerkmale darstellen. Das Gnathosoma ist der Träger der Mundwerkzeuge, bestehend aus paarigen Pedipalpen, Cheliceren und Stiletten (CHANT 1985). (5) Phytoseiidae können Milben, Insekten, Pollen, Pilzhyphen und Honigtau als Nahrung verwerten, wobei das Spektrum von mehr oder weniger monophagen bis hin zu polyphagen Arten reicht (MCMURTRY & CROFT 1997).

Die beiden Raubmilbenarten *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT und *Neoseiulus californicus* MCGREGOR kommen sympatrisch in Chile vor und sind Mitglieder einer Gilde, die Spinnmilben (Acari: Tetranychidae) als Nahrung nutzen (DOSSE 1958). Als Nahrungsspezialist hat *P. persimilis* zahlreiche Adaptionen an Spinnmilben der Gattung *Tetranychus* aufzuweisen. *P. persimilis* ist anderen Raubmilbenarten in der Suche nach Spinnmilben überlegen und kann sich in den Gespinsten von *Tetranychus*-Arten fortbewegen. Verglichen mit anderen Raubmilbenarten sind die Prädationsraten und Ovipositionsraten sehr hoch und die hohe innere Vermehrungsrate (r_m) gewährleistet ein rasches Populationswachstum bei ausreichender Nahrung. Die zweite Raubmilbenart *N. californicus* hat ebenfalls eine Nahrungspräferenz für Spinnmilben, kann aber auch andere tierische (andere Milbenarten, Insekten) und pflanzliche Nahrung (Pollen, Honigtau) verwerten. Daher ist *N. californicus* als Nahrungsgeneralist einzustufen. Die Prädations- und Ovipositionsraten von *N. californicus* bei Konsumation von Spinnmilben sind geringer als jene von *P. persimilis*.

Beide Raubmilbenarten werden kommerziell gezüchtet und weltweit in verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionssystemen als Gegenspieler von Spinnmilben eingesetzt. *P. persimilis* und *N. californicus* besitzen aufgrund ihrer biologischen und ökologischen Charakteristika komplementäre Eigenschaften in Bezug auf die Spinnmilbenkontrolle. *P. persimilis* ist ein sehr effizienter Gegenspieler von Spinnmilben, kann aber bei Nahrungsmangel nur kurze Zeit überleben. Spinnmilbenmangel führt daher unweigerlich zum Zusammenbruch der lokalen Populationen. Daher ist mit dem alleinigen Einsatz von *P. persimilis* nur eine kurzfristige Spinnmilbenkontrolle gewährleistet. *N. californicus* hat zwar ein deutlich geringeres Prädationspotential als *P. persimilis*, kann aber als Nahrungsgeneralist bei Spinnmilbenmangel auf andere Nahrungsquellen ausweichen. Folglich sollte sich *N. californicus* im Gegensatz zu *P. persimilis* im Pflanzenbestand langfristig etablieren können. Theoretisch könnte daher ein kombinierter Einsatz der beiden Raubmilbenarten die Nachteile der jeweils anderen Art aufheben und sowohl eine

effiziente (durch *P. persimilis*) als auch langfristige Spinnmilbenkontrolle (durch *N. californicus*) ermöglichen. Dies setzt aber voraus, dass die beiden Raubmilbenarten koexistieren, solange Spinnmilben vorhanden sind. IGP ist ein häufig beobachtetes Phänomen zwischen Raubmilben und die potentiellen Auswirkungen von IGP können im Extremfall zur Verdrängung einer der beiden Raubmilbenarten führen und negative Auswirkungen auf die Spinnmilbenkontrolle zur Folge haben.

In der vorliegenden Arbeit wurde erstmals der Versuch unternommen, alle wesentlichen Aspekte der IGP zwischen zwei wirtschaftlich relevanten Raubmilbenarten zu ermitteln. Aufgrund der Ergebnisse soll geklärt werden, ob ein kombinierter Einsatz von *P. persimilis* und *N. californicus* möglich ist oder ob IGP zur Verdrängung einer der beiden Arten führt. Daher werden unter anderem folgende Fragen behandelt:

- Sind heterospezifische Raubmilben als Beute in Bezug auf die Reproduktion und/oder die Juvenilentwicklung des Prädatoren als hochwertige Nahrung einzustufen?
- Verläuft IGP zwischen den beiden Raubmilbenarten symmetrisch oder asymmetrisch?
- Zeigen die beiden Raubmilbenarten eine Prädatorenpräferenz, wenn sie die Wahl zwischen con- und heterospezifischen Raubmilben haben?
- Beeinflusst die Verfügbarkeit der Primärnahrung (Spinnmilben) die Intensität der IGP?
- Welchen Einfluss haben das IG-Prädatoren/IG-Beute-Größenverhältnis und der Grad der Nahrungsspezialisierung auf die Intensität der IGP?
- Welche Auswirkungen hat IGP auf die Populationsdynamik der beiden Raubmilbenarten?
- Welche Auswirkungen haben Nahrungskonkurrenz und IGP zwischen den beiden Raubmilbenarten auf die Spinnmilbenkontrolle?
- Beeinflusst die Anwesenheit von heterospezifischen Eiern das Ovipositionsverhalten der Raubmilben?

Die vorliegende Arbeit stellt eine Zusammenfassung einer kumulierten Dissertation dar. Es werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Sämtliche Ergebnisse und eine detaillierte Beschreibung der angewandten Methodik und Statistik sind aus den einzelnen Publikationen (im Literaturverzeichnis angeführt) zu entnehmen.

2 Methodiken

P. persimilis stammte von einem Nützlingsproduzenten (Biohelp GmbH, Wien). *N. californicus* und der kalifornische Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* PERGANDE (Thysanoptera: Thripidae) wurden in einer Rosengärtnerei (Wien) gesammelt. Zur Nahrungsversorgung der beiden Raubmilbenarten wurden Spinnmilben der Art *Tetranychus urticae* KOCH (Acari: Tetranychidae) verwendet. *P. persimilis* wurde auf Buschbohnenpflanzen gezüchtet. *N. californicus* und *Frankliniella occidentalis* wurden auf Buschbohnenblättern gezüchtet, die sich auf einer Kunststoffunterlage befanden. Dem kalifornischen Blütenthrips wurde *Rhizinus communis* L. Pollen als Nahrung zur Verfügung gestellt.

Bei Experimenten in den Kapiteln 3.1, 3.2 und 3.3 wurden geschlossene Plexiglaszellen verwendet (SCHAUSBERGER 1997). Ein engmaschiges GazeNetz bildete den Boden der Zelle und durch ein Deckglas wurde die Zelle nach dem Einfügen der Testorganismen geschlossen (Abb. 1).

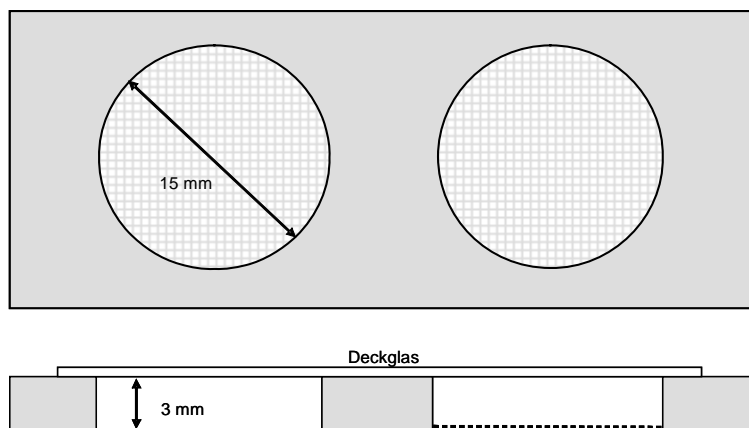


Abb. 1: Verschließbare Plexiglaszellen für Versuche auf Individualebene.

Blattarenen wurden sowohl für Experimente auf Individualebene (Kapitel 3.2 und 3.6) als auch für Experimente auf Populationsebene (Kapitel 3.4) verwendet. Einzelne Buschbohnenblätter wurden mit der Oberseite auf einen feuchten Schwamm gelegt, der sich in einem Kunststoffbehälter befand. Bei den Wahlversuchen (Kapitel 3.6) wurden zwei Buschbohnenblätter mit einer Wachsbrücke verbunden.

Einzelpflanzen (*Gerbera*) dienen als Versuchseinheiten bei den Populationsversuchen im Kapitel 3.5. Alle Versuche wurden in Klimakammern durchgeführt, mit Ausnahme des Populationsversuches mit Einzelpflanzen, der in Glashauskabinen stattfand.

3. IG Prädationsraten und die Effekte auf Entwicklung und Reproduktion: Welche Raubmilbenart profitiert mehr von IGP?

Ob ein IG Prädator einen bestimmten IG Beutetyp bevorzugt attackiert und erbeutet oder nicht, hängt unter anderem von der Nahrungspräferenz des Prädators ab. Die bevorzugte IG Beute sollte eine Nahrung mit hohem Energiegewinn darstellen, der sich in der Umsetzung biologischer Prozesse wie Entwicklung und/oder Reproduktion äußern sollte. Aufgrund der unterschiedlichen Nahrungstypen (Spezialist versus Generalist) sind Unterschiede in der Anpassung an IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* zu erwarten. Als Generalist sollte *N. californicus* besser angepasst sein, Nahrung wie heterospezifische Raubmilben in Entwicklung oder Reproduktion umzusetzen. Für den Spezialisten *P. persimilis* war bisher keine andere Nahrungsquelle außer Spinnmilben der Gattung *Tetranychus* bekannt, welche die Entwicklung zum Adultstadium bzw. die Reproduktion ermöglicht. Als Versuchseinheiten wurden geschlossene Plexiglaszellen

verwendet. Einzelnen Weibchen oder Larven von *P. persimilis* oder *N. californicus* wurden heterospezifische Eier oder Larven als Nahrung angeboten. Die Prädation, die Entwicklung und die Oviposition wurden ermittelt.

Die Weibchen beider Raubmilbenarten konsumierten mehr Larven als Eier (Tab. 1).

Das Anstechen der Eier bereitete den Weibchen vor allem dann Schwierigkeiten, wenn die Eier auf einer offenen Fläche ohne unmittelbare Begrenzung lagen. Die Bevorzugung von Larven als IG Beute wurde auch für andere Raubmilbenarten nachgewiesen (SCHAUSBERGER & CROFT 1999). *N. californicus* erwies sich als der stärkere IP Prädator. Unabhängig vom Entwicklungsstadium waren die Prädationsraten von *N. californicus* deutlich höher als jene von *P. persimilis*. Nur *N. californicus* konnte bei Konsumation von heterospezifischer Beute sowohl Eier produzieren als auch die Entwicklung zum Adultstadium abschließen, womit die Hypothese bestätigt wurde (Tab. 1 und 2). Damit können heterospezifische Raubmilben als Alternativnahrung zu Spinnmilben für *N. californicus* eingestuft werden. Dies trifft auch für andere Generalisten innerhalb der Phytoseiiden zu (SCHAUSBERGER & CROFT 1999). Erstmals konnte nachgewiesen werden, dass für die Juvenilstadien der als Nahrungsspezialisten eingestuften Raubmilbe *P. persimilis* heterospezifische Raubmilben eine hochwertige Nahrungsquelle darstellen, die eine erfolgreiche Entwicklung zum Adultstadium ermöglicht. Hingegen konnte *P. persimilis* keine Eier produzieren, wenn heterospezifische Raubmilben erbeutet wurden (Tab. 1 und 2). Damit ist die Nahrungsbandbreite der Juvenilen größer als jene der Weibchen, die nach derzeitigem Wissensstand nur bei Konsumation von *Tetranychus*-Arten Eier produzieren können.

Tab. 1: Prädation und Oviposition von einzelnen *P. persimilis* und *N. californicus* Weibchen in Plexiglaszellen bei Nahrungsangebot von heterospezifischen Eiern oder Larven über 12 Tage.

Parameter	Beute	Prädator	
		<i>P. persimilis</i>	<i>N. californicus</i>
Prädation (Eier oder Larven/Weibchen/Tag)	Eier	0,13	0,59
	Larven	1,90	3,68
Oviposition (Eier/Weibchen/Tag)	Eier	0,00	0,60
	Larven	0,03	1,22

Tab. 2: Prädation und Entwicklung von einzelnen *P. persimilis* und *N. californicus* Juvenilstadien in Plexiglaszellen bei Nahrungsangebot von heterospezifischen Larven über 8 Tage.

Prädator	Beute	Prädation ^a	Entwicklung ^b
<i>P. persimilis</i>	<i>N. californicus</i>	0,58	5,66
<i>N. californicus</i>	<i>P. persimilis</i>	0,90	5,72

^aLarven/Tag. ^bTage.

Nach den vorliegenden Resultaten kann das Auftreten von IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* nicht ausgeschlossen werden, wobei aber zu beachten ist, dass das Vorhandensein der Primärnahrung beider Raubmilbenarten (Spinnmilben) die Intensität der IGP reduzieren sollte. Sollte IGP trotzdem auftreten, so ist mit asymmetrischen Auswirkungen auf die Populationsentwicklung der beiden Arten zu rechnen. *N. californicus* sollte auf Kosten von *P. persimilis* von IGP profitieren.

4. Die Wahl zwischen con- und heterospezifischer Beute: Werden Individuen der eigenen Art von der Prädation verschont?

Bei Spinnmilbenmangel kann die Erbeutung von con- oder heterospezifischen Raubmilben das Überleben von *N. californicus* oder *P. persimilis* sichern (WALZER & SCHAUSBERGER 1999a). Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Raubmilben der eigenen Art und anderer Arten sollte die Fähigkeit der Unterscheidung zwischen con- und heterospezifischen Raubmilben von Vorteil für die Prädatoren sein. Diese Eigenschaft sollte zur Bevorzugung von heterospezifischer Beute führen, um das Überleben der eigenen Population zu gewährleisten. Es ist anzunehmen, dass der Nahrungsgeneralist *N. californicus* zwischen con- und heterospezifischen Raubmilbenstadien unterscheiden kann und bei Wahlmöglichkeit bevorzugt heterospezifische Raubmilben erbeutet. Der Spezialist *P. persimilis* sollte dazu nicht in der Lage sein (SCHAUSBERGER 1999). Diese Hypothese wurde für den Spezialisten *P. persimilis* und den Generalisten *N. californicus* mit Hilfe von Wahlversuchen mit con- und heterospezifischen Larven in Plexiglaszellen überprüft. Eine weitere Frage war, ob die Verfügbarkeit der Primärnahrung (Spinnmilben) der beiden Raubmilbenarten die Intensität von IGP beeinflusst. Allgemein wird angenommen, dass IGP unter Raubmilben hauptsächlich bei Spinnmilbenmangel auftritt. Das Vorhandensein von Spinnmilben sollte die Intensität der IGP zwar reduzieren, aber an der Asymmetrie der IGP (*N. californicus* erbeutet häufiger *P. persimilis* als umgekehrt) nichts ändern. Diese Versuche mit einzelnen Weibchen von *P. persimilis* und *N. californicus* wurden auf Blattarenen durchgeführt, wobei den Raubmilben Spinnmilben und heterospezifische Larven als Nahrung zur Verfügung standen.

Tab. 3: Prädationspräferenz von einzelnen *P. persimilis* und *N. californicus* Weibchen in Plexiglaszellen bei con- und heterospezifischen Larven als Beute innerhalb 24h.

Prädator	Erstwahl ^a		Beuteverhältnis ^b	
	NC	PP	NC>PP	NC<PP
<i>P. persimilis</i>	9	7	6	3
<i>N. californicus</i>	3	12	1	12

NC: *N. californicus*, PP: *P. persimilis*.

^aAnzahl der Fälle, in welchen innerhalb von 12h entweder zuerst *N. californicus* oder *P. persimilis* Larven erbeutet wurden.

^bAnzahl der Fälle, in welchen das Beuteverhältnis innerhalb von 24h entweder zugunsten von *P. persimilis* oder *N. californicus* Larven war.

Wenn con- und heterospezifische Larven als Beute zur Auswahl standen, zeigte *N. californicus* bei der Erstwahl eine deutliche Bevorzugung von heterospezifischen Larven und erbeutete auch deutlich mehr hetero- als conspezifische Larven. Somit kann der erste Teil der Hypothese von SCHAUSBERGER (1999) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit und anderer Studien bestätigt werden (SCHAUSBERGER & CROFT 1999). Ob nun Spezialisten wie *P. persimilis* nicht zwischen con- und heterospezifischen Raubmilben unterscheiden können, lässt sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse weder bestätigen noch widerlegen. *P. persimilis* zeigte zwar keine Prädationspräferenz bei gleichzeitigem Angebot von con- und heterospezifischen Raubmilben, aber die Erkennung von con- und heterospezifischen Raubmilben kann auch zu anderen Entscheidungen als zur Prädation einer der beiden Beutetypen führen, zumal sowohl con- als auch heterospezifische Raubmilben für *P. persimilis* Weibchen eine minderwertige Nahrung darstellen (WALZER & SCHAUSBERGER 1999a).

Die Verfügbarkeit von Spinnmilben reduzierte zwar die Prädationsraten an Raubmilbenlarven, aber wieder erwies sich *N. californicus* als der gefährlichere IG Prädator. *N. californicus* Weibchen erbeuteten 1,6 *P. persimilis* Larven/Tag. Diese Prädationsraten waren zwar niedriger als jene bei ausschließlicher Verfügbarkeit von *P. persimilis* Larven (Tab. 1), aber etwa doppelt so hoch wie die Prädationsraten von *P. persimilis* Weibchen an *N. californicus* Larven (0,92/Tag). Daraus lässt sich ableiten, dass heterospezifische Raubmilben zum erweiterten Nahrungsspektrum von *N. californicus* zu zählen sind. Hingegen lassen die niedrigen Prädationsraten von *P. persimilis* an Raubmilben den Schluss zu, dass im Gegensatz zu *N. californicus* die Erbeutung von Raubmilben eher zufällig erfolgt.

5. Die Relevanz des Prädator/Beute Größenverhältnisses und der Nahrungsspezialisierung auf die Häufigkeit und Richtung der IGP

Das Größenverhältnis zwischen einem IG Prädator und der IG Beute und die Nahrungsbandbreite des IG Prädators werden als die Schlüsselfaktoren für die Richtung und Häufigkeit der IGP angesehen (POLIS et al. 1989). IG Prädatoren sind entweder größer oder gleich groß als die IG Beute (SABELIS 1992). Generalisten überwältigen und fressen einen großen Anteil der Beutetypen, mit denen sie zusammentreffen. Spezialisten

hingegen attackieren und töten nur ihre bevorzugte Beuteart, die nur einen geringen Anteil der vorhandenen Beutetypen ausmacht (BEGON et al. 1996). Daher sollte die Wahrscheinlichkeit für eine IG Beute von einem Generalisten attackiert zu werden größer sein als von einem Spezialisten. Folglich sollten die Kombinationen negatives Prädator/Beute Größenverhältnis + Spezialist und positives Prädator/Beute Größenverhältnis + Generalist die Endpunkte eines Kontinuums sein, das vom nicht gefährlichen bis zum sehr gefährlichen Prädator für die IG Beute reicht. In diesem Versuchsblock wurde ein weiteres Mitglied der Prädatorengilde in die Experimente miteinbezogen, nämlich der kalifornische Blüenthrips *Frankliniella occidentalis*.

Diese Thripsart ist zwar überwiegend herbivor, kann aber ebenfalls Spinnmilbeneier erbeuten. In landwirtschaftlichen Pflanzensystemen bildet *F. occidentalis* mit den beiden Raubmilbenarten häufig eine Gilde, deren Mitglieder Spinnmilben als Nahrung nutzen. Die Larven von *F. occidentalis* dienen als IG Beute für die beiden Raubmilbenarten. In diesem Versuchsblock wurde untersucht, ob große Generalisten (*N. californicus* Weibchen) und kleine Spezialisten (*P. persimilis* Protonymphen) die Endpunkte einer Skala von sehr gefährlichen IG Prädator zu harmlosen IG Prädator für die Larven von *F. occidentalis* darstellen. In einem ersten Schritt wurden die Prädator/Beute Größenverhältnisse für die Protonymphen und Weibchen von *P. persimilis* und *N. californicus* mit Hilfe von mikroskopischen Präparaten ermittelt. Zweitens wurde das Prädationsverhalten der Raubmilben (Aggressivität, Prädationserfolg) gegenüber einzelnen Thripslarven beobachtet und bewertet. Zur Ermittlung der Aggressivität wurden sowohl der Zeitpunkt der ersten Attacke (unabhängig, ob erfolgreich oder nicht) an Thripslarven als auch das Verhältnis zwischen attackierenden und nicht attackierenden Prädatoren innerhalb von 480 Minuten berücksichtigt. Der Prädationserfolg wurde als das Verhältnis zwischen erfolgreicher Attacke (Thripslarve wird ausgesaugt und folglich getötet) und nicht erfolgreicher Attacke (Thripslarve kann nach der Attacke entkommen) definiert. Abschließend wurde überprüft, ob eine Entwicklung zum Adultstadium und die Produktion von Eiern möglich ist, wenn *F. occidentalis* Larven oder Spinnmilben (*Tetranychus urticae*) als Nahrung zur Verfügung standen. Alle Versuche wurden in Plexiglaszellen durchgeführt.

Tab. 4: Aggressivität (Kombination aus dem Verhältnis attackierende/nicht attackierende Prädatoren und dem Zeitpunkt der ersten Attacke) von einzelnen Protonymphen und Weibchen von *P. persimilis* (PP) und *N. californicus* (NC) gegenüber einzelnen *F. occidentalis* Larven in Plexiglaszellen innerhalb von 480 Minuten.

Prädator	Entwicklungsstadium	attackierende Prädatoren (Verhältnis)	Zeitpunkt der ersten Attacke (Minuten)	Aggressivität (Signifikanz) ³
PP	P ¹	0,26	451,6	a
NC	P ¹	0,60	359,1	b
PP	AW ²	0,00	keine Attacke	c
NC	AW ²	0,54	376,9	b

¹ Protonymphen, ² adulte Weibchen

³ Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Aggressivitätsniveaus (Kombination aus dem Verhältnis attackierende/nicht attackierende Prädatoren und dem Zeitpunkt der ersten Attacke).

Tab. 5: Mortalität (Verhältnis) und Entwicklungszeiten (Tage) von einzelnen Juvenilstadien von *P. persimilis* und *N. californicus* in Plexiglaszellen bei Versorgung mit *F. occidentalis* Larven oder *T. urticae* Eiern und mobilen Stadien.

Prädator	Beute	Mortalität Entwicklung (Ei-Adultstadium)	
		Mortalität	Entwicklung (Ei-Adultstadium)
<i>N. californicus</i>	<i>Frankliniella occidentalis</i>	0,63	10,42
<i>P. persimilis</i>	<i>Frankliniella occidentalis</i>	0,86	8,66
<i>N. californicus</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	0,00	5,67
<i>P. persimilis</i>	<i>Tetranychus urticae</i>	0,00	4,65

Vergleiche der Prädator/Beute Größenverhältnisse zeigten, dass nur die Weibchen von *P. persimilis* (Prädator/Beute Größenverhältnis = 1,32) größer waren als Larven von *F. occidentalis*, während *N. californicus* Weibchen (Prädator/Beute Größenverhältnis = 0,94) etwa gleich groß waren wie *F. occidentalis* Larven. Die *P. persimilis* Protonymphen (Prädator/Beute Größenverhältnis = 0,82) waren geringfügig kleiner, die *N. californicus* Protonymphen (Prädator/Beute Größenverhältnis = 0,58) hingegen deutlich kleiner als die Beute. Unabhängig vom Entwicklungsstadium erwies sich der Generalist *N. californicus* als aggressiver und attackierte die angebotene Beute früher als der Spezialist *P. persimilis* (Tab. 4). Dieses aggressive Verhalten gegenüber heterospezifischer Beute zeigen zahlreiche Generalisten unter den Raubmilben (SCHAUSBERGER & CROFT 2000b). Die kleinen Protonymphen von *P. persimilis* waren aggressiver als die größeren Weibchen, welche die Beute nicht attackierten. Jede Attacke der *N. californicus* Weibchen gegenüber der Beute war erfolgreich, der Prädationserfolg der *P. persimilis* Protonymphen lag bei 70 %, der von *N. californicus* Protonymphen bei 20%. Die Konsumation von Thripslarven ermöglichte beiden Raubmilbenarten die Entwicklung bis zum Adultstadium. Allerdings waren die Mortalität und die Entwicklungszeiten der Juvenilstadien beider Arten deutlich höher als bei Konsumation ihrer primären Beute (Spinnmilben) (Tab. 5). Nur Weibchen von *N. californicus* waren in der Lage, die Erbeutung und Konsumation von Thripslarven in Oviposition (0,59 Eier/Weibchen/Tag) umzusetzen. Wieder waren die Ovipositionsraten von *N. californicus* (1,80 Eier/Weibchen/Tag) bei Verfügbarkeit ihrer Primärnahrung (Spinnmilben) deutlich höher.

Somit erwiesen sich die großen, aggressiven *N. californicus* Weibchen als die gefährlichsten IG Prädatoren für *F. occidentalis*, womit der erste Teil der Annahme bestätigt wurde. Allerdings waren nicht die kleinen Protonymphen des Spezialisten *P. persimilis* die harmlosesten IG Prädatoren für den kalifornischen Blüenthrrips, sondern die großen *P. persimilis* Weibchen. Weiters wurde für die Juvenilstadien im Gegensatz zu den Weibchen von *P. persimilis* eine weitere Alternativnahrung gefunden, die eine Entwicklung zum Adulttier ermöglicht. Dies wirft die Frage auf, ob die Spezialisierung auf Spinnmilben als Nahrung erst im Laufe der Ontogenese entsteht.

6. Kein Entkommen möglich: Der Einfluss von IGP auf die Populationsentwicklung der beiden Spinnmilbenprädatoren

Die Auswirkungen von Nahrungskonkurrenz und/oder IGP zwischen zwei Arten können entweder zur vorhersagbaren Verdrängung einer Art, zu unvorhersehbarer Verdrängung einer der Arten abhängig von den Anfangsdichten, oder zur Koexistenz beider Arten führen (SHORROCKS & BEGON 1975, POLIS et al. 1989, HOLT & POLIS 1997). Eine wesentliche Komponente bezüglich Nahrungskonkurrenz ist die Beutesucheffizienz der Konkurrenten. *P. persimilis* ist in dieser Eigenschaft *N. californicus* überlegen und daher auch als stärkerer Nahrungskonkurrent einzustufen. Aufgrund der Versuchsanordnung war eine Migration der Raubmilben nicht möglich und das Platzangebot limitiert. Die Beute war daher unmittelbar verfügbar und musste nicht erst aufgespürt werden. Folglich sollte Nahrungskonkurrenz eine eher untergeordnete Rolle spielen und die Auswirkungen der IGP auf die Populationsentwicklung von *P. persimilis* und *N. californicus* sollten dominieren. Daher kann angenommen werden, dass *N. californicus* als überlegener IG Prädator in der Lage sein sollte, *P. persimilis* zu verdrängen. In dieser Versuchsserie wurden die Populationsentwicklungen von *P. persimilis* und *N. californicus* in Einzelartsystemen und in einem dualen Artssystem auf Blattarenen beobachtet. Die Nahrung (Spinnmilben) wurde täglich ergänzt.

Beide Raubmilbenarten konnten in den Einzelartsystemen bis zum Ende des Experiments hohe Populationsdichten aufbauen. *P. persimilis* erreichte deutlich höhere Populationsdichten als *N. californicus*. Im dualen Artssystem verdrängte der Generalist *N. californicus* den Spezialisten *P. persimilis* trotz ausreichender Nahrung innerhalb von 30 Tagen (Abb. 2). Als Ursache kann die häufig beobachtete IGP von *N. californicus* an Juvenilstadien von *P. persimilis* angesehen werden. IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* verläuft hochgradig asymmetrisch. Erstens kann *N. californicus* zwischen con- und heterospezifischen Raubmilbenstadien unterscheiden und erbeutet daher bevorzugt heterospezifische Raubmilben. Zweitens gehören heterospezifische Raubmilben zum erweiterten Beutespektrum von *N. californicus*. Drittens stellen im Gegensatz zu *P. persimilis* heterospezifische Raubmilben für *N. californicus* eine hochwertige Nahrung dar (WALZER & SCHAUSBERGER 1999ab). Rückschlüsse auf einen kombinierten Einsatz von *P. persimilis* und *N. californicus* in der Praxis sind nur eingeschränkt möglich, da aufgrund der Einfachheit der Versuchsanordnung wichtige Nischendimensionen fehlten. In einem räumlich komplexen System spielt z. B. die Beutesucheffizienz der Raubmilben eine wichtige Rolle, und in dieser Eigenschaft ist *P. persimilis* anderen Raubmilbenarten, inklusive *N. californicus*, überlegen.

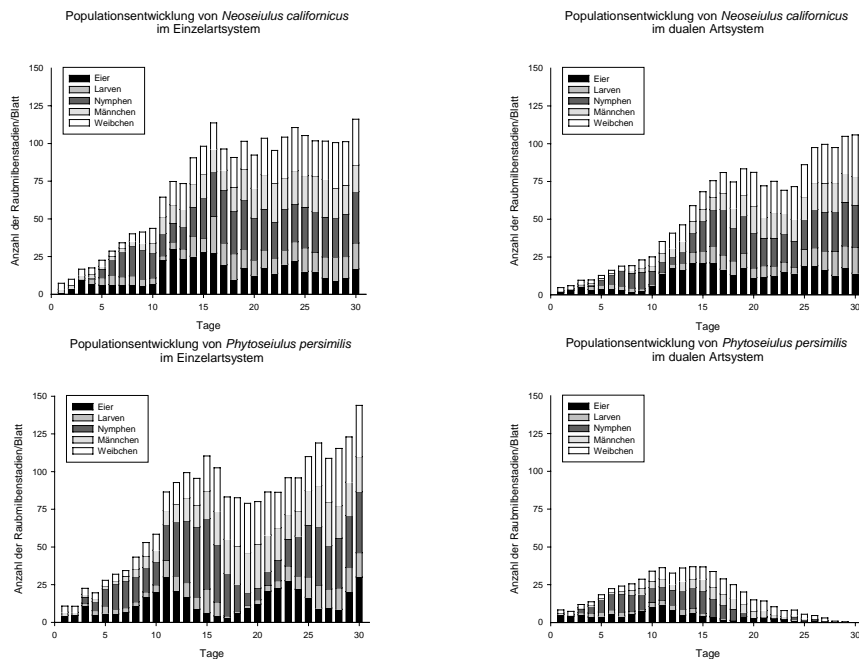


Abb. 2: Populationsentwicklung von *P. persimilis* und *N. californicus* in Einzelartsystemen und im dualen Artssystem auf Bohnenblättern bei nicht limitierter Nahrung (Spinnmilben) über einen Zeitraum von 30 Tagen.

7. Der kombinierte Einsatz zweier Raubmilbenarten in einem Pflanzensystem: Prädator – Prädator Interaktionen und Spinnmilbenkontrolle

In einem Pflanzensystem sind *P. persimilis* und *N. californicus* gezwungen, unregelmäßig verteilte Spinnmilben zu suchen. Daher beeinflussen sowohl Nahrungskonkurrenz als auch IGP die Populationsentwicklung der beiden Raubmilbenarten. Welche der beiden Interaktionen dominiert, sollte von der Spinnmilbendichte abhängen. Bei hohen Spinnmilbendichten sollte der überlegene Nahrungskonkurrent *P. persimilis* dominant sein. Bei niedrigen Spinnmilbendichten ist mit häufigeren Begegnungen zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* zu rechnen und folglich sollte verstärkte IGP durch *N. californicus* zur Verdrängung von *P. persimilis* führen. Eine weitere offene Frage betrifft die Auswirkungen von Nahrungskonkurrenz und IGP zwischen den beiden Raubmilbenarten auf die Spinnmilbenkontrolle. Die frühzeitige Verdrängung einer der beiden Raubmilbenarten würde keine wesentliche Verbesserung der Spinnmilbenkontrolle im Vergleich zum Einzeleinsatz von *P. persimilis* bringen. Nur Koexistenz der beiden Raubmilbenarten würde eine effiziente und langfristige Spinnmilbenkontrolle gewährleisten. Die Entwicklung der Spinn- und Raubmilbenpopulationen wurden in zwei Einzelartsystemen (die zwei Raubmilbenarten getrennt) und einem dualen Artssystem (beide Raubmilbenarten zusammen) auf Einzelpflanzen (*Gerbera*) beobachtet. Die Nahrung für die Raubmilben (Spinnmilben)

wurde während des Versuches nicht ergänzt.

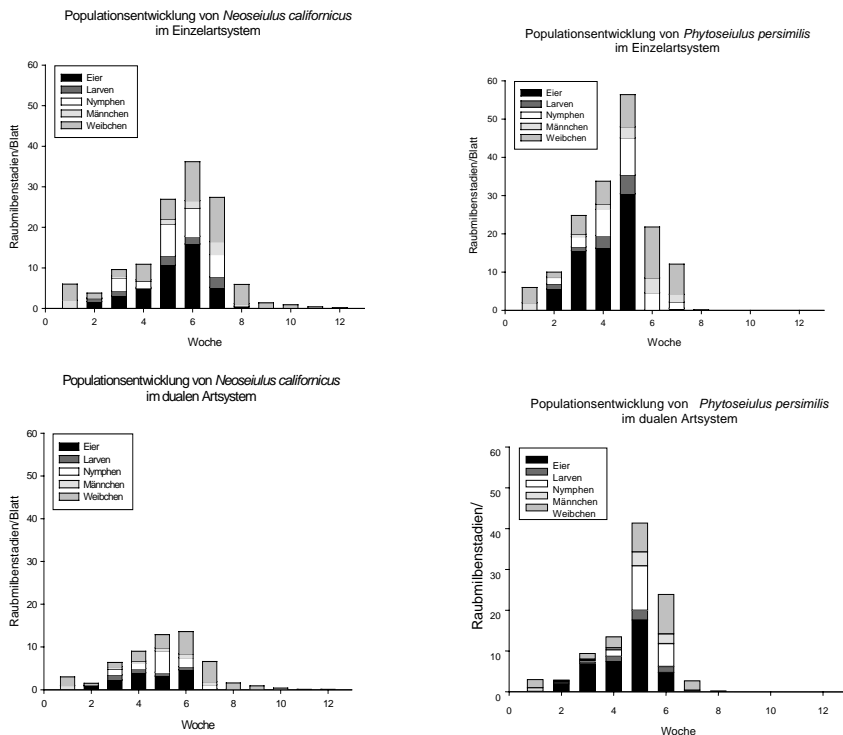


Abb. 3: Populationsentwicklung von *P. persimilis* und *N. californicus* auf Gerberapflanzen bei limitierter Nahrung (Spinnmilben) über einen Zeitraum von 12 Wochen.

Es zeigte sich, dass *P. persimilis* bei hohem Spinnmilbenangebot *N. californicus* deutlich überlegen war und daher im dualen Artensystem dieselben Populationsmaxima erreichte wie im Einzelartensystem. Die Populationsmaxima von *N. californicus* waren im dualen Artensystem deutlich geringer als im Einzelartensystem. Diese Resultate zeigten, dass das Populationswachstum von *P. persimilis* in dieser Phase mehr von der intraspezifischen Konkurrenz als von der interspezifischen Konkurrenz mit *N. californicus* beeinflusst war. Im Gegensatz dazu war der langsame Populationsanstieg von *N. californicus* im dualen Artensystem auf die Auswirkungen der interspezifischen Konkurrenz zurückzuführen. Somit konnte belegt werden, dass *P. persimilis* der überlegene Nahrungskonkurrent um Spinnmilben war. Bei niedrigen Spinnmilbendichten nahm die *P. persimilis* Population im dualen Artensystem rascher ab als im Einzelartensystem. Somit dürfte IGP im dualen Artensystem eine größere Rolle gespielt haben als Kannibalismus im Einzelartensystem. Das Fehlen von *P. persimilis* Juvenilstadien bei niedrigen Spinnmilbendichten im dualen Artensystem kann als Beleg für das verstärkte Auftreten von IGP an *P. persimilis* angesehen werden, da Juvenilstadien die bevorzugte IG Beute von *N. californicus* sind (WALZER & SCHAUSBERGER 1999a) (Abb. 3).

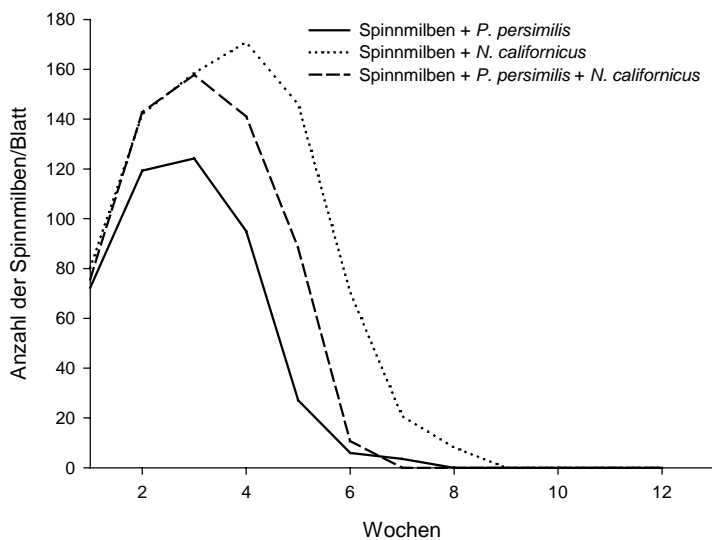


Abb. 4: Spinnmilbenentwicklung auf Gerberapflanzen bei Vorhandensein der Raubmilben *P. persimilis* oder *N. californicus* oder beider Raubmilbenarten über einen Zeitraum von 12 Wochen.

Die Spinnmilbenbekämpfung war im Einzelartsystem mit *P. persimilis* am effektivsten, gefolgt vom dualen Artssystem mit beiden Raubmilbenarten (Abb. 4). *N. californicus* konnte in beiden Systemen auch ohne Spinnmilben überleben. Blütenpollen, Honigtauausscheidungen von *Trialeurodes vaporariorum* (WESTWOOD) (Homoptera: Aleurodidae) oder Larven von *F. occidentalis* könnten mögliche Alternativnahrungsquellen für *N. californicus* gewesen sein (WALZER et al. 2004). Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass *P. persimilis* und *N. californicus* komplementäre Eigenschaften in Bezug auf die Spinnmilbenkontrolle haben und der gemeinsame Einsatz der beiden Raubmilbenarten zu einer effizienten und langfristigen Spinnmilbenkontrolle führen kann.

8. Heterospezifische Eier beeinflussen das Ovipositionsverhalten von *P. persimilis* und *N. californicus*

Zahlreiche Studien belegen, dass IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* stark asymmetrisch zu Gunsten des Generalisten *N. californicus* verlaufen kann (SCHAUSBERGER & CROFT 1999, WALZER & SCHAUSBERGER 1999ab, WALZER et al. 2001). Allerdings scheinen die Effekte der IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* mit der Zunahme der Komplexität der Testsysteme abzunehmen (SCHAUSBERGER & WALZER 2001, WALZER et al. 2001, BLÜMEL & WALZER 2002). Auf Blattarenen ohne Migrationsmöglichkeiten für die Milben wurde *P. persimilis* unabhängig von der Spinnmilbendichte von *N. californicus* verdrängt (WALZER et al. 2001). Im Pflanzenbestand (*Gerbera*, Rose) war hingegen bei hohen Spinnmilbendichten *P. persimilis* der dominante Prädator (SCHAUSBERGER & WALZER 2001, BLÜMEL &

WALZER 2002). Theoretisch sollte ein Weibchen einen bestimmten Nahrungsplatz für die Eiablage nicht nur hinsichtlich der Qualität und Quantität der Nahrung für die Nachkommen auswählen, sondern das Weibchen sollte auch das Prädationsrisiko seiner Nachkommen berücksichtigen. *N. californicus* bevorzugt Larven von *P. persimilis* gegenüber Eiern und Protonymphen. Eine Möglichkeit, das Prädationsrisiko der Larven von *P. persimilis* zu reduzieren, wäre die Vermeidung der Eiablage in Spinnmilbenplätzen mit *N. californicus*. Umgekehrt hat *N. californicus* zwar nur ein geringes Prädationsrisiko in Nahrungsplätzen mit *P. persimilis*, aber der Nahrungsspezialist *P. persimilis* ist der deutlich stärkere Konkurrent. Daher sollte auch *N. californicus* Nahrungsplätze mit Spinnmilben und *P. persimilis* meiden. Diese Annahmen wurden mittels Wahlversuchen überprüft, indem zwei Blattarenen mit einer Wachsbrücke verbunden wurden. Ein Blatt enthielt ausschließlich Spinnmilben, das andere Blatt Spinnmilben und heterospezifische Raubmilbeneier. Einzelne Weibchen von *P. persimilis* oder *N. californicus* wurden in die Mitte der Brücke gesetzt und ihre Nahrungsplatzpräferenz und das Ovipositionsverhalten wurden beobachtet.

Die beiden Raubmilbenarten zeigten unterschiedliche Strategien, um das Überleben ihrer Nachkommen zu maximieren. *N. californicus* Weibchen legten ihre Eier unabhängig von der Zusammensetzung des Nahrungsplatzes in jenem Nahrungsplatz, den sie zuerst wählten. Die Weibchen verließen auch den zuerst gewählten Nahrungsplatz sehr selten. Daher waren die abgelegten Eier zwischen den beiden angebotenen Nahrungsplätzen immer gleich verteilt. IGP an heterospezifischen Eiern konnte häufig beobachtet werden. *P. persimilis* hingegen wechselte häufig die Nahrungsplätze und bevorzugte eindeutig Nahrungsplätze ohne heterospezifische Eier für die Eiablage. Diese Verhaltensweisen von *P. persimilis* und *N. californicus* Weibchen setzen aber voraus, dass die Weibchen in der Lage sind, die Anwesenheit von heterospezifischen Raubmilben zu erkennen. Für *N. californicus* wurde diese Fähigkeit mehrmals nachgewiesen (PALEVSKY et al. 1999, WALZER & SCHAUSBERGER 1999, SCHAUSBERGER & CROFT 2000a), die zur Prädation an heterospezifischen Raubmilben führt. Bei *P. persimilis* löste das Erkennen von heterospezifischen Raubmilben eine andere Reaktion aus, nämlich ein Ausweichen auf andere Nahrungsplätze. Es kann angenommen werden, dass die beiden unterschiedlichen Verhaltensweisen von *N. californicus* (Elimination eines überlegenen Nahrungskonkurrenten) und *P. persimilis* (Vermeidung der Eiablage in Nahrungsplätzen mit IG Prädatoren) die Fitness ihrer Nachkommen erhöhen (WALZER et al. 2005).

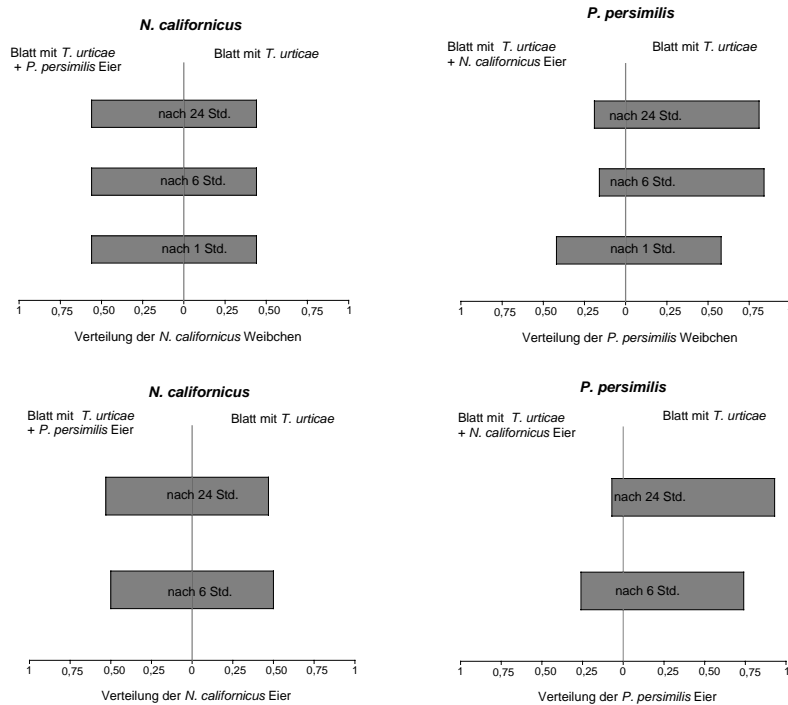


Abb. 5: Verteilung der *P. persimilis* und *N. californicus* Weibchen und deren abgelegte Eier bei der Wahl zwischen Nahrungsplätzen mit ausschließlich Spinnmilben (*T. urticae*) und Nahrungsplätzen mit Spinnmilben und heterospezifischen Raubmilbeneiern innerhalb von 24 Stunden.

9. Implikationen auf die biologische Spinnmilbenkontrolle

Die Frage, ob ein gemeinsamer Einsatz zweier oder mehrerer Nützlingsarten zur biologischen Schädlingskontrolle zu nicht-additiven, additiven oder synergistischen Effekten führt, stand im Mittelpunkt zahlreicher Studien (CHAN 1996, FERGUSON & STILING 1996, LOSEY & DENNO 1998). Der Einsatz von zwei Nützlingsarten gegen eine Schädlingsart ist nur dann sinnvoll, wenn die gemeinsamen Effekte der Nützlinge (z.B. Mortalitätsrate des Schädlings durch Prädation) zumindest der Summe der Einzeleffekte der Nützlingsarten gegenüber dem Schädling entsprechen. In diesem Fall spricht man von additiven Effekten. Kommt es zu einer positiven Beeinflussung der beiden Nützlingsarten, so sind synergistische Effekte gegenüber dem Schädling zu erwarten, die größer sind als die Summe der Einzeleffekte. Interaktionen wie IGP zwischen zwei Prädatoren können aber auch zu nicht-additiven Effekten führen, die den Bekämpfungserfolg in Frage stellen (ROSENHEIM et al. 1995).

Die vorliegenden Ergebnisse belegten zwar die stark asymmetrische IGP zwischen *P. persimilis* und *N. californicus* bei den Einzeltierversuchen (WALZER & SCHAUSBERGER 1999ab), aber die Auswirkungen von IGP auf Populationsebene waren vernachlässigbar (SCHAUSBERGER & WALZER 2001, BLÜMEL & WALZER 2002). Grundvoraussetzung für

die Koexistenz zwischen einem IG Prädator und der IG Beute ist, dass die IG Beute dem IG Prädator in Bezug auf die Nutzung der gemeinsamen Ressource überlegen ist (HOLT & POLIS 1997). Dies trifft auf den Spinnmilben-Spezialisten *P. persimilis* zu. Daher ist zu erwarten, dass bei einem gemeinsamen Einsatz von *P. persimilis* und *N. californicus* keine nicht-additiven Effekte auf die Spinnmilbenkontrolle auftreten. Ob die Effekte auf die Spinnmilbenkontrolle additiv oder synergistisch sind, ist eine offene Frage.

Drei Bedingungen sollten erfüllt sein, damit synergistische Effekte durch den Einsatz von zwei Prädator-Arten auf die Kontrolle einer Schädlingsart zu erwarten sind. (1) Eine Prädatorart sollte ein Fluchtverhalten der Beute auslösen, welches zu einem Ortswechsel der Beute führt. (2) Beide Arten müssen synchron auftreten. (3) Die Auswirkungen von Interaktionen zwischen den beiden Prädator-Arten wie IGP sollten minimal sein (LOSEY & DENNO 1999). Es gibt einige Hinweise, dass diese drei Bedingungen auf das Prädator/Beutesystem mit Spinnmilben und den Prädatoren *P. persimilis* und *N. californicus* zutreffen. Erstens zeigt *T. urticae* eindeutiges Anti-Prädationsverhalten, wenn die Spinnmilben die Wahl zwischen Blättern mit und ohne *P. persimilis*. *T. urticae* bevorzugte eindeutig Blätter, auf denen sich vorher nicht *P. persimilis* befand (GROSTAL & DICKE 1999). Auch vermied *T. urticae* das Besiedeln von Pflanzen, welche Duftstoffen von *P. persimilis* ausgesetzt waren (PALLINI et al., 1999). Zweitens bevorzugen beide Raubmilbenarten Spinnmilben als Nahrung und wurden auch gemeinsam auf Pflanzen mit Spinnmilben gefunden (DOSSE 1958), aber ihre Verteilung innerhalb eines Pflanzensystems ist aufgrund ihrer Lebensweisen doch unterschiedlich. Das Verbreitungsmuster von *P. persimilis* ist aufgrund der stark gehäuften Verteilung ihrer bevorzugten Beute (Spinnmilben) ebenfalls stark aggregiert (ZHANG & SANDERSON 1997). *N. californicus* hingegen nutzt auch andere Beutetypen und ist daher gleichmäßiger auf Pflanzen verteilt als Spinnmilbenspezialisten (PRATT et al. 1998). Das Ausweichen von *T. urticae* auf Blätter ohne *P. persimilis* sollte die Wahrscheinlichkeit von Begegnungen zwischen *T. urticae* und *N. californicus* erhöhen, was auch zu einer stärkeren Prädation von *N. californicus* an *T. urticae* führen sollte. Drittens konnte belegt werden, dass die Auswirkungen von IGP auf Populationsebene vernachlässigbar sind.

10. Zusammenfassung

Die beiden Raubmilbenarten *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT und *Neoseiulus californicus* MCGREGOR (Acari: Phytoseiidae) besitzen aufgrund ihrer biologischen und ökologischen Charakteristika komplementäre Eigenschaften in Bezug auf die Spinnmilbenkontrolle. Als Nahrungsspezialist ist *P. persimilis* ein sehr effizienter Gegenspieler von Spinnmilben, kann aber bei Nahrungsmangel nur kurze Zeit überleben. Daher ist mit dem alleinigen Einsatz von *P. persimilis* nur eine kurzfristige Spinnmilbenkontrolle gewährleistet. *N. californicus* hat zwar ein deutlich geringeres Prädationspotential als *P. persimilis*, kann aber als Nahrungsgeneralist bei Spinnmilbenmangel auf andere Nahrungsquellen ausweichen. Folglich sollte sich *N. californicus* im Gegensatz zu *P. persimilis* im Pflanzenbestand langfristig etablieren können. Theoretisch könnte daher ein kombinierter Einsatz der beiden Raubmilbenarten die Nachteile der jeweils anderen Art aufheben und sowohl eine effiziente als auch langfristige Spinnmilbenkontrolle ermöglichen. Jedoch können die beiden Raubmilbenarten sich auch gegenseitig erbeuten ("intraguild predation"), was im Extremfall zur Verdrängung einer der beiden Raubmilbenarten führen kann und negative Auswirkungen auf die Spinnmilbenkontrolle zur Folge haben könnte.

Die Resultate belegten, dass *N. californicus* der überlegene IG Prädator gegenüber *P. persimilis* ist.

Auf Populationsebene nahmen aber die Effekte der IGP mit zunehmender Komplexität der Versuchssysteme ab. Auf Blattarenen kam es zur Verdrängung von *P. persimilis* durch *N. californicus*. Auf Einzelpflanzen war hingegen *P. persimilis* bei hohen Spinnmilbendichten die dominante Raubmilbenart. Auf Individualebene konnte eine Prädationsvermeidungsstrategie von *P. persimilis* nachgewiesen werden. *P. persimilis* Weibchen vermeiden die Eiablage in Nahrungsplätzen, die von *N. californicus* besetzt sind. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass keine negativen Auswirkungen durch IGP zu erwarten sind und der gemeinsame Einsatz von *P. persimilis* und *N. californicus* zu besseren Ergebnissen bei der Spinnmilbenkontrolle führen soll.

11. Literatur

- BEGON M., HARPER J.L. & C.R. TOWNSEND (1996): Ecology - Individuals, Populations, Communities. — Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- BLÜMEL S. & A. WALZER (2002): Efficacy of different release strategies of *Neoseiulus californicus* MCGREGOR and *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS HENRIOT (Acari: Phytoseiidae) for the control of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* KOCH) on greenhouse cut roses. — Syst. Appl. Acarol. **7**: 35-48.
- CHANG G.C. (1996): Comparison of single versus multiple species of generalist predators for biological control. — Environ. Entomol. **25**: 207-212.
- CHANT D.A. (1959): Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part I. Bionomics of seven species in Southeastern England. — Can. Entomol. **12**: 5-44.
- CHANT D.A. (1985): External Anatomy. pp 5-10. — In: HELLE W. & M.W. SABELIS (eds). Spider mites. Their biology, natural enemies and control. — Volume **1B**. Amsterdam, Elsevier.
- CROFT B.A. & I.V. MACRAE (1992a): Biological control of apple mites by mixed populations of *Metaseiulus occidentalis* (NESBITT) and *Typhlodromus pyri* SCHEUTEN (Acari: Phytoseiidae). — Environ. Entomol. **21**: 202-209.
- CROFT B.A. & I.V. MACRAE (1992b): Persistence of *Typhlodromus pyri* SCHEUTEN and *Metaseiulus occidentalis* (NESBITT) (Acari: Phytoseiidae) on apple after inoculative release and competition with *Zetzellia mali* (Acari: Stigmaeidae). — Environ. Entomol. **21**: 1168-1177.
- DOSSE G. (1958): Über einige neue Raubmilbenarten (Acar. Phytoseiidae). — Pfla. Ber. **21**: 44-61.
- DUSO C. (1989): Role of the predatory mites *Amblyseius aberrans* (OUD.), *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (CHANT) (Acari, Phytoseiidae) in vineyards. I. The effects of single or mixed phytoseiid population releases on spider mite densities (Acari, Tetranychidae). — Appl. Entomol. **107**: 474-492.
- FERGUSON K.I. & P. STILING (1996): Non-additive effects of multiple natural enemies on aphid populations. — Oecologia **108**: 375-379.
- GROSTAL P. & M. DICKE (1999): Direct and indirect cues of predation risk influence behavior and reproduction of prey: a case for acarine interactions. — Behav. Ecol. **10**: 422-427.
- HOLT R.D. & G.A. POLIS (1997): A theoretical framework for intraguild predation. — Am. Nat. **149**: 745-764.
- LAING J.E. & C.B. HUFFAKER (1969): Comparative studies of predation by *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOT and *Metaseiulus occidentalis* (NESBITT) (Acarina: Phytoseiidae) on populations of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). — Res. Pop. Ecol. **11**: 105-126.
- LANGE E. & M. TRAUTMANN (1994): Zum Konkurrenzverhalten der Raubmilbenarten *Amblyseius andersoni* (CHANT) und *Typhlodromus pyri* (SCHEUTEN). — Erwerbsgartenbau **36**: 63-65.

- LOSEY J.E. & R.F. DENNO (1998): Positive predator-predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. — *Ecol.* **79**: 2143-2152.
- LOSEY J.E. & R.F. DENNO (1999): Factors facilitating synergistic predation: The central role of synchrony. — *Ecol. Appl.* **9**: 378-386.
- MCMURTRY J.A. & B.A. CROFT (1997): Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. — *Ann. Rev. Entomol.* **42**: 291-321.
- PALEVSKY E., REUVENY H., OKONIS O. & U. GERSON (1999): Comparative behavioural studies of larval and adult stages of the phytoseiids (Acari: Mesostigmata) *Typhlodromus athiasae* and *Neoseiulus californicus*. — *Exp. Appl. Acarol.* **23**: 467-485.
- PALLINI A., JANSSEN A. & M.W. SABELIS (1999): Spider mites avoid plants with predators. — *Exp. Appl. Acarol.* **23**: 803-815.
- POLIS G.A., MYERS C.A. & R.D. HOLT (1989): The ecology and evolution of intraguild predation: Potential competitors that eat each other. — *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **20**: 297-330.
- PRATT P.D., MONETTI L.N. & B.A. CROFT (1998): Within- and between-plant dispersal and distribution of *Neoseiulus californicus* and *N. fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in simulated bean and apple plant systems. — *Environ. Entomol.* **27**: 148-153.
- ROSENHEIM J.A., KAYA H.K., EHLE L.E., MARIOS J.J. & B.A. JAFFEE (1995): Intraguild predation among biological control agents: theory and evidence. — *Biol. Control* **5**: 303-335.
- ROOT R. (1967): The niche exploitation pattern of the blue-grey gnat catcher. — *Ecol. Monogr.* **37**: 317-350.
- SABELIS M.W. (1992): Predatory arthropods. pp. 225-264. — In: CRAWLEY M.J. (Ed.) *Natural enemies - The population biology of predators, parasites and diseases*. — Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- SCHAUSBERGER P. (1997): Inter- and intraspecific predation on immatures by adult females in *Euseius finlandicus*, *Typhlodromus pyri* and *Kampimodromus aberrans* (Acari, Phytoseiidae). — *Exp. Appl. Acarol.* **21**: 131-150.
- SCHAUSBERGER P. (1999): Predation preference in *Euseius finlandicus*, *Typhlodromus pyri* and *Kampimodromus aberrans* (Acari, Phytoseiidae) when offered con- and heterospecific immature life stages. — *Exp. Appl. Acarol.* **23**: 389-398.
- SCHAUSBERGER P. & B.A. CROFT (1999): Predation and discrimination between con- and heterospecific eggs among specialist and generalist phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae). — *Environ. Entomol.* **28**: 523-528.
- SCHAUSBERGER P. & B.A. CROFT (2000a): Nutritional benefits of intraguild predation and cannibalism among generalist and specialist phytoseiid mites. — *Ecol. Entomol.* **25**: 1-8.
- SCHAUSBERGER P. & B.A. CROFT (2000b): Cannibalism and intraguild predation among phytoseiid mites: are aggressiveness and prey preference related to diet specialization? — *Exp. Appl. Acarol.* **24**: 709-725.
- SCHAUSBERGER P. & A. WALZER (2001): Combined versus single species release of predaceous mites: predator-predator interactions and pest suppression. — *Biol. Control* **20**: 269-278.
- SCHULTEN G.G.M. (1985): Pseudo-Arrhenotoky. pp 67-72. — In: HELLE W. & M.W. SABELIS (eds), *Spider mites. Their biology, natural enemies and control*. — Volume **1B**. Amsterdam, Elsevier.
- SHORROCKS B. & M. BEGON (1975): A model of competition. — *Oecologia* **20**: 363-367.
- WALZER A. & P. SCHAUSBERGER (1999a): Cannibalism and interspecific predation in the phytoseiid mites *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*: predation rates and effects on reproduction and juvenile development. — *BioControl* **43**: 457-468.

- WALZER A. & P. SCHAUSBERGER (1999b): Predation preferences and discrimination between con- and heterospecific prey by the phytoseiid mites *P. persimilis* and *Neoseiulus californicus*. — *BioControl* **43**: 467-478.
- WALZER A., BLÜMEL S. & P. SCHAUSBERGER (2001): Population dynamics of interacting predatory mites, *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*, held on detached bean leaves. — *Exp. Appl. Acarol.* **25**: 731-743.
- WALZER A., PAULUS H.F. & P. SCHAUSBERGER (2004): Ontogenetic shifts in intraguild predation on thrips by phytoseiid mites: the relevance of body size and diet specialization. — *Bul. Entomol. Res.* **94**: 577-584.
- WALZER A., PAULUS H.F. & P. SCHAUSBERGER (2005): Oviposition behavior of interacting predatory mites: response to the presence of con- and heterospecific eggs. — *Ins. Behav.* [eingereicht].
- YAO D.S. & D.A. CHANT (1989): Population growth and predation interference between two species of predatory mites (Acarina: Phytoseiidae) in interactive systems. — *Oecologia* **80**: 443-455.
- ZHANG Z.I. & J.P. SANDERSON (1997): Patterns, mechanisms and spatial scale in generalist and specialist predatory mites (Acari: Phytoseiidae). — *Exp. Appl. Acarol.* **21**: 393-404.

Anschrift des Verfassers: Andreas WALZER,
 Institut für Pflanzenschutz,
 Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und
 Pflanzenbiotechnologie,
 Universität für Bodenkultur,
 Peter Jordanstrasse 82,
 1180 Wien, Austria
 E-Mail: andreas.walzer@boku.ac.at