

# Symbionten und Arthropoden: Welche Rolle spielen sie in der biologischen Schädlingsbekämpfung?

Alexandre Aebi<sup>1</sup> und Renate Zindel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität de Neuchâtel, 2000 Neuchâtel, Schweiz

<sup>2</sup>Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Alexandre Aebi, E-Mail: alexandre.aebi@unine.ch, Tel. +41 32 718 31 47



Die Ernährung der Milbe *R. robini* wird durch die Zusammensetzung ihres Mikrobioms bestimmt.

## Einleitung

Zahlreiche Arthropoden (Gliederfüsser) verursachen in der Landwirtschaft grosse wirtschaftliche Verluste. Neue oder immer wieder auftauchende Kulturschädlinge sind für Umwelt und Landwirtschaft eine stete Herausforderung. Für die in der Schweiz häufig eingesetzte biologische Schädlingsbekämpfung, bei der natürliche Feinde verwendet werden (Arthropoden, Nematoden, Bakterien, Pilze oder Viren), sind gegenwärtig 53 Arten zugelassen.

Die Mehrheit der Arthropoden lebt in Gemeinschaft mit zahlreichen endosymbiontischen Bakterien (Bakterien, die im Inneren der Wirtszellen leben, oft in Fortpflanzungsgeweben, siehe Abb. 1). So sind zum Beispiel 66 % der Insektenarten vom Endosymbionten (ES) *Wolbachia* und 7 % vom ES *Cardinium* infiziert (Zindel et al. 2011). Ausserdem sind 52 % der Marienkäfer-Arten (von denen einige als Nützlinge gegen Blattläuse eingesetzt werden) von mindestens einer der drei Bakteriengattungen *Wolbachia*, *Rickettsia* und *Spiroplasma* infiziert (Weinert et al. 2007). Es existieren verschiedene Arten von Beziehungen zwischen Arthropoden und Bakterien. Die obligatorischen (oder primären) Symbionten sind an lebensnotwendigen Funktionen ihrer Wirte beteiligt. Der Verlust dieser Bakterien hat den Tod ihres Wirts zur Folge. So wird zum Bei-

spiel die Erbsenlaus *Acyrtosiphon pisum* von ihrem obligatorischen Symbionten *Buchnera aphidicola* mit essenziellen Aminosäuren versorgt, die sie nicht mit der Nahrung aufnehmen kann. Im Gegensatz dazu sind die fakultativen (oder sekundären) Symbionten, zu denen die Endosymbionten gehören, für ihren Wirt nicht lebensnotwendig, sie können aber einen neutralen, positiven oder negativen Einfluss auf die Ernährung, Fortpflanzung oder das Überleben ihres Wirts ausüben.

Von manchen Endosymbionten ist bekannt, dass sie das Fortpflanzungsverhalten ihrer Wirte beeinflussen (O'Neill et al. 1997). Da diese Bakterien vertikal übertragen werden, das heisst von der Mutter an die Nachkommen weitergegeben werden, haben sie verschiedene Strategien entwickelt, um die Fortpflanzung der infizierten gegenüber nicht-infizierten Weibchen zu begünstigen und damit ihre eigene Übertragung zu fördern. Bestimmte Endosymbionten können ihren Wirt, der sich sexuell fortpflanzt, dazu bringen, sich parthenogenetisch (asexuell oder klonal) zu vermehren. Ein Beispiel dafür ist ein *Wolbachia*-Stamm, der pflanzenfressenden Milbe *Bryobia* spp. asexuelle Fortpflanzung auslöst. Andere Bakterien verhindern die Entwicklung von Embryonen, wenn sie durch die Kreuzung infizierter Männchen mit nicht-infizierten Weibchen entstanden sind, indem sie eine cytoplasmatische Inkompatibilität auslösen. Dieses Phänomen wurde beim parasitoiden Hautflügler *Encarsia pergandiella* beschrieben, der von *Cardinium* infiziert wird. Ein anderer *Cardinium*-Stamm kann ein genetisches Männchen der ebenfalls zur Parasitoidenwelt gehörenden Insektenart *Encarsia hispida* in ein funktionelles Weibchen verwandeln. Dieses Phänomen wird Feminisierung genannt. Bei Arthropoden, die ihre Eier in Gruppen ablegen, stellen frisch geschlüpfte Larven für etwas ältere Larven oft eine willkommene erste Mahlzeit dar. Einige Bakterien, die beim Marienkäfer *Adalia bipunctata* von der Mutter an die Nachkommen weitergegeben werden, töten selektiv die männlichen Embryonen. Durch diesen Nahrungsbeitrag können sich die Weibchen, die von derselben infizierten Mutter stammen, schneller entwickeln, womit sie konkurrenzfähiger sind als die weiblichen Larven nicht-infizierter Mütter.

Eine weitere Strategie, um sich in der Wirtspopulation auszubreiten, besteht darin, sich für den Wirt unentbehrlich zu machen. Wenn Endosymbionten ihre Wirte gegen bestimmte natürliche Feinde wie parasitoiden Hautflügler, Fadenwürmer oder entomopathogene Pilze, Bakterien oder Viren zu schützen vermögen, sichern sie damit gleichzeitig ihren eigenen Fortbestand und fördern die Verbreitung in ihrer Population. Gewisse Endosymbionten sind an der Entwicklung von Resistenzen ihrer Wirte gegenüber bestimmten Pestiziden beteiligt, andere sogar an Anpassungsmechanismen an ungünstige Umweltbedingungen (Zindel *et al.* 2011).

Endosymbionten können deshalb wesentlich zum Erfolg eines Programms zur biologischen Schädlingsbekämpfung beitragen. Diese «Untermieter» können nicht nur die Aufzucht von Nützlingen für die Schädlingsbekämpfung beeinflussen (indem sie die Reproduktionsart ihrer Wirte verändern), sondern auch die Interaktionen zwischen Nutzinsekten und den bekämpften Schädlingen einer Kultur (durch Induktion von Resistenzen gegenüber bestimmten natürlichen Feinden). Der vorliegende Artikel, der auf einem im *Journal of Applied Ecology* publizierten Review-Artikel von Zindel *et al.* (2011) beruht, erklärt, weshalb ES eine Rolle bei der biologischen Schädlingsbekämpfung spielen können, führt einige praktische Beispiele von biologischen Pflanzenschutzprogrammen in der Schweiz auf (Tab. 1) und zeigt auf, wie mögliche Gefahren erkannt werden, wenn ES beteiligt sind.

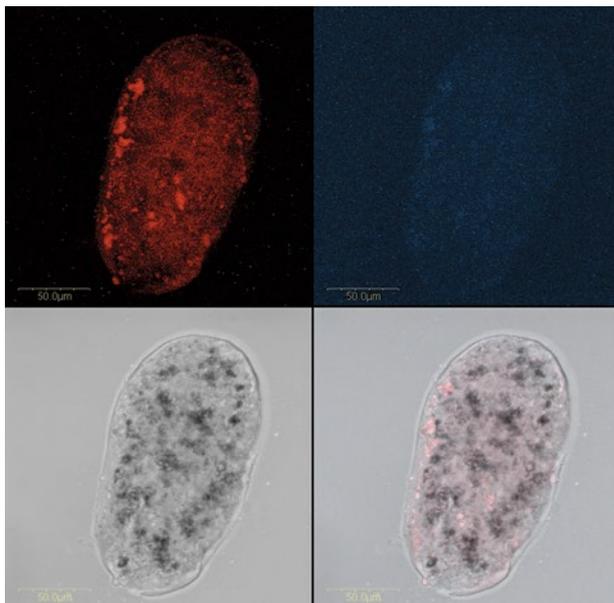
### **Kasten 1 | Informationen zur biologischen Schädlingsbekämpfung**

Ein kostenloses Verzeichnis mit einer Liste der Endosymbionteninfektionen in der Schweiz und in Europa am häufigsten eingesetzten Nützlingen (EPPO Standard on Safe Use of Biological Control – PM6/3 – Version 2010) und mehreren bekannten ES steht auf der Webseite «Symbionts in Control: Ein Verzeichnis der Nützlinge, welche in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden, und ihrer Symbionten» zur Verfügung. Adresse: <http://www.symbiontsincontrol.ch>. Diese Website wurde entwickelt, um Leute, welche in der Schädlingsbekämpfung aktiv sind, über die oft unterschätzten Wirkungen von ES auf Arthropoden zu informieren und ihnen Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, mit denen sie das in Bekämpfungsprogrammen eingesetzte Material auf ES prüfen können.

**Zusammenfassung** Die meisten Arthropoden sind auf das Zusammenleben mit zahlreichen Bakterien angewiesen. Während gewisse Bakterien lebenswichtige Funktionen ihrer Wirte unterstützen, sind andere weniger bedeutend, und können eine neutrale, positive oder negative Wirkung auf die Ernährung, die Fortpflanzung oder das Überleben ihres Wirts haben. Von manchen Endosymbionten ist bekannt, dass sie das Fortpflanzungsverhalten ihrer Wirte beeinflussen. Solche Bakterien, die an die nächste Wirtegeneration weitergegeben werden, haben verschiedene Strategien entwickelt, um die Fortpflanzung von infizierten gegenüber nicht-infizierten Weibchen zu begünstigen und damit ihre eigene Übertragung zu fördern. Eine weitere Strategie, um sich in der Wirtspopulation auszubreiten, besteht darin, sich für den Wirt unentbehrlich zu machen. Wenn Endosymbionten ihre Wirte gegen bestimmte natürliche Feinde zu schützen vermögen, sichern sie damit gleichzeitig ihren eigenen Fortbestand und die Verbreitung innerhalb ihrer Population. Endosymbionten können deshalb den Erfolg eines Programms zur biologischen Schädlingsbekämpfung wesentlich beeinflussen. Dieser Artikel beschreibt, wie Endosymbionten die Umsetzung eines Programms zur biologischen Schädlingsbekämpfung beeinflussen können, nennt einige praktische Beispiele und zeigt auf, wie mögliche Gefahren im Zusammenhang mit dem Einsatz von Endosymbionten erkannt werden.

### **Induktion der Parthenogenese und biologische Schädlingsbekämpfung**

Gewisse parasitoiden Hautflügler und räuberische Milben sind wichtige Nützlinge in der biologischen Schädlingsbekämpfung. Bei einigen dieser Ordnungen ist das Geschlecht durch die Anzahl Chromosomensätze festgelegt. In diesen Gruppen mit Haplodiploidie sind die Männchen haploid (ein Chromosomensatz) und entwickeln sich aus unbefruchteten Eiern, während die Weibchen diploid sind (zwei Chromosomensätze) und normalerweise aus befruchteten Eiern entstehen. Durch die Induktion einer Parthenogenese, bei der keine Männchen benötigt werden, könnte die Fortpflanzungsrate erhöht und die Massenzucht dieser Organismen vereinfacht werden. Die Induktion einer parthenogenetischen Fortpflanzung durch ES kann einen grossen Einfluss auf den Erfolg der biologischen Schädlingsbekämpfung haben, wenn die Population der Zielart je nach Geschlecht des Nützlings unterschiedlich stark dezimiert wird. In den meisten Fällen (z. B. bei parasitoiden Hautflüglern) spielen nur die Weibchen eine direkte Rolle bei



**Abb. 1** | Bakterien (rot) im Inneren eines Eis der Milbe *Rhizoglyphus robini*. Mit der FISH-Methode (Fluorescent In Situ Hybridization) können Bakterien im Gewebe des Wirts sichtbar gemacht werden.

der Bekämpfung eines Schädlings (Eiablage in oder auf ein Individuum der Zielart). Die Männchen würden dann nur benötigt, um die Weibchen zu befruchten. Theoretisch könnte also eine parthenogenetische Hautflüglerpopulation doppelt so viele Wirte parasitieren wie eine gleich grosse Population mit geschlechtlicher Fortpflanzung (Geschlechterverhältnis 1:1).

Die biologische Schädlingsbekämpfung kann unerwünschte Wirkungen auf die Umwelt haben (Bigler *et al.* 2006). Zum Beispiel könnte ein geschlechtlicher Parasitoid, der in eine neue Umgebung eingeführt wird, Hybriden mit heimischen Arten erzeugen und so die genetische Integrität dieser Arten schädigen. Die Bildung von Hybriden gehört zu den unbeabsichtigten Wirkungen der Freisetzung von Nutzinsekten in die Umwelt. Mit dem Einsatz parthenogenetischer Nützlinge könnte dieses Risiko umgangen werden. Der Einsatz parthenogenetischer Arten hat jedoch auch Nachteile. Es wurde gezeigt, dass die Reproduktionsrate bei Linien mit sexueller Vermehrung grösser war als bei einer asexuellen Linie. Verantwortlich ist die durch *Wolbachia* verursachte verzögerte Entwicklung oder die höhere Sterblichkeit in den juvenilen Stadien. In den zahlreichen aktuellen Diskussionen zur Entwicklung und Aufrechterhaltung einer sexuellen oder asexuellen Reproduktion werden die Vor- und Nachteile der beiden Fortpflanzungsarten deutlich.

Heute ist bekannt, dass *Wolbachia*, *Cardinium* und *Rickettsia* bei ihren Wirten die parthenogenetische Fortpflanzung auslösen können. Bei der industriellen Aufzucht haplodiploider Arten empfehlen wir, die mögli-

chen Wirkungen dieser ES auf die Populationen der Nützlinge im Auge zu behalten. Wenn durch einen ES eine Parthenogenese ausgelöst wird, ist es effizienter, statt beider Geschlechter nur Weibchen freizusetzen. Ausserdem könnte der Einsatz von Antibiotika gegen pathogene Bakterien in einer Aufzucht eine nachteilige Wirkung auf die nützlichen ES haben.

### Cytoplasmatische Inkompatibilität und biologische Schädlingsbekämpfung

Bei der cytoplasmatischen Inkompatibilität wird die Entwicklung von Embryonen gehemmt, die durch die Kreuzung infizierter Männchen mit nicht-infizierten Weibchen entstanden sind. Dieses Phänomen kann deshalb als Strategie zur Sterilisierung einer Population von Schädlingen genutzt werden (analog zur Sterile-Insekten-Technik). Die Mittelmeerfruchtfliege *Ceratitis capitata* verursacht in zahlreichen Ländern bedeutende Schäden an Kulturen. Griechische Forscher konnten einen *Wolbachia*-Stamm (aus der Hämolymphe der infizierten Fruchtfliege *Rhagoletis cerasi*) in *C. capitata* einbringen und dadurch eine cytoplasmatische Inkompatibilität auslösen. Das Bakterium breitete sich in der Laborpopulation aus, und es konnten zahlreiche infizierte Männchen produziert werden. Wenn nun eine Testpopulation mit vielen männlichen *Wolbachia*-Trägern versetzt wurde, konnte diese *Ceratitis-capitata*-Population im Labor reduziert werden (Zabalou *et al.* 2004). Gegenwärtig wird das Potenzial dieser neuen Strategie der Sterilisierung von Schädlingen unter natürlichen Bedingungen untersucht.

Das Auslösen einer cytoplasmatischen Inkompatibilität durch ES kann auch eine indirekte Wirkung auf ein Programm zur Schädlingsbekämpfung mit Hilfe natürlicher Feinde haben. Wenn das Ziel darin besteht, die Population von natürlicherweise bereits vorhandenen Nützlingen zu vergrössern, könnten die ES verhindern, dass es zu Kreuzungen der durch Massenzucht produzierten und freigesetzten Individuen mit den wilden Individuen kommt. Ausserdem könnten die in bestimmten Nutzinsekten vorhandenen ES zu Problemen führen, wenn Material zwischen verschiedenen Laboratorien oder Produktionsorten ausgetauscht wird. Tatsächlich wird aufgrund der Marktnachfrage, aber auch zur Auffrischung bestehender Populationen von Nützlingen, häufig biologisches Material ausgetauscht. Durch den Kontakt mit Stämmen, die mit ES infiziert sind, welche eine cytoplasmatische Inkompatibilität auslösen, könnte es zu einer bedeutenden Abnahme einer Laborpopulation kommen.

### Schutz gegen abiotische Stressfaktoren

Endosymbionten können einen Schutz vor abiotischen Stressfaktoren vermitteln und dadurch die Überlebens-

**Tab. 1 | Bekannte Endosymbionten und deren Wirkungen bei Insekten- und Milbenarten, die in der Schweiz zur biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden, oder bei Schädlingen.**

Art	Taxonomie	Endosymbionten und bekannte Wirkungen
<i>Insecta</i>		
<i>Adalia bipunctata</i>	Coccinellidae, Coleoptera	W, R und S: selektive Abtötung von Männchen
<i>Anthocoris nemoralis</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Aphelinus abdominalis</i>	Aphelinidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Aphidius colemani</i> *	Braconidae, Hymenoptera	W: unbekannte Wirkung <b>Regiella insecticola: schützt den Wirt (Blattlaus) gegen A. colemani</b>
<i>Aphidius ervi</i> *	Braconidae, Hymenoptera	<b>Hamiltonella defensa: schützt den Wirt (Blattlaus) gegen A. ervi</b>
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Cecidomyiidae, Diptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	Coccinellidae, Coleoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Dacnusa sibirica</i>	Braconidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Diglyphus isaea</i>	Hymenoptera, Eulophidae	W: unbekannte Wirkung
<i>Encyrtus lecaniorum</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Eretmocerus eremicus</i>	Hymenoptera (Aphelinidae)	Bisher kein ES bekannt
<i>Eretmocerus mundus</i>	Hymenoptera (Aphelinidae)	W: Induktion von Parthenogenese
<i>Feltiella acarisuga</i>	Cecidomyiidae, Diptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Habrobracon hebetor</i>	Braconidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Lariophagus distinguendus</i>	Pteromalidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Leptomastidea abnormis</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Leptomastix dactylopii</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Macrolophus caliginosus</i>	Miridae, Heteroptera	W: Induktion cytoplasmatischer Inkompatibilität, nachgewiesen bei <i>Macrolophus pygmaeus</i> , einer oft unter dem Namen <i>M. caliginosus</i> ** vertriebenen Art
<i>Metaphycus helvolus</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Orius insidiosus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Orius laevigatus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	W: unbekannte Wirkung
<i>Orius majusculus</i>	Anthocoridae, Hemiptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Pseudaphycus maculipennis</i>	Encyrtidae, Hymenoptera	Bisher kein ES bekannt
<i>Trichogramma brassicae</i> Bezdenko	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	W: Induktion von Parthenogenese
<i>Trichogramma cacoeciae</i>	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	W: Induktion von Parthenogenese, Einschränkung der «Fitness»
<i>Trichogramma evanescens</i>	Hymenoptera (Trichogrammatidae)	Bisher kein ES bekannt
<i>Acarina</i>		
<i>Amblyseius californicus</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Bisher kein ES bekannt
<i>Amblyseius cucumeris</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	R***: unbekannte Wirkung
<i>Amblyseius degenerans</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Bisher kein ES bekannt
<i>Amblyseius barkeri</i> (mackenziei)	Phytoseiidae, Mesostigmata	Bisher kein ES bekannt
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	Bisher kein ES bekannt
<i>Typhlodromips swirskii</i>	Phytoseiidae, Mesostigmata	R***: unbekannte Wirkung
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	Laelapidae, Mesostigmata	S***: unbekannte Wirkung C***: unbekannte Wirkung
<i>Hypoaspis miles</i>	Laelapidae, Mesostigmata	S***: unbekannte Wirkung

\*ES= Endosymbiont, W= *Wolbachia*, R= *Rickettsia*, S= *Spiroplasma*. \*\*Machtelinckx T. et al. (2009). \*\*\*Zindel und Aebi (Daten nicht publiziert).

rate ihrer Wirte bei bestimmten Umweltbedingungen verbessern. Ein gut beschriebenes Beispiel ist das humanpathogene Bakterium *Anaplasma phagocytophilum* (der Erreger der Anaplasmose), das bei der Zecke *Ixodes scapularis* die Produktion eines Gefrierschutzproteins auslöst, was die Überlebensrate der Zecken bei niedrigen Temperaturen erhöht (Neelekanta et al. 2010). In diesem Fall verbessert das pathogene Bakterium also seine Übertragungswahrscheinlichkeit, indem es die Überlebenschance seines Wirts vergrößert. Bei der Erbsenlaus *Acyrtosiphon pisum* schützt der Symbiont *Serratia symbiotica* seinen Wirt bei einem thermischen Schock, indem

er ihm durch die eigene Zellyse sofort lebenswichtige Metaboliten zur Verfügung stellt (Burke et al. 2009). Im Gegensatz dazu kann *Rickettsia* bei der Weissen Fliege *Bemisia tabaci* die Resistenz gegenüber bestimmten Pestiziden vermindern (Kontsedalov et al. 2008).

### Schutz gegen parasitoide Hautflügler

Mikroorganismen können mit ihren Wirten interagieren, um sie gegen natürliche Feinde zu schützen. Einige ES der Erbsenlaus schützen diese gegen *Aphidius ervi*, einen parasitoiden Hautflügler. Dieser Nützling wird weltweit zur Bekämpfung von Blattläusen eingesetzt, die verschie-

dene Gemüse und Zierpflanzen befallen. 2003 konnten amerikanische Forscher zeigen, dass die unterschiedliche Resistenz gegen den Parasitoiden bei verschiedenen Blattlaus-Stämmen auf ein unterschiedliches Ausmass einer Infektion mit fakultativen ES zurückzuführen war (Oliver *et al.* 2003). Sie wiesen nach, dass die Bakterien *Hamiltonella defensa* und *Regiella insecticola* eine Resistenz gegen *A. ervi* bewirken, indem sie die Entwicklung der Parasitoidenlarven verhindern. Jüngere Studien haben gezeigt, dass die für die Larven tödlichen Toxine von *H. defensa* und einem Bakteriophagen hergestellt werden, der mit diesem Bakterium auftritt (Oliver *et al.* 2009). Diese Mikroorganismen können demnach die Resistenz der Blattläuse verändern und den Erfolg eines Feldprogramms zur biologischen Schädlingsbekämpfung mit Hilfe von *A. ervi* stark beeinflussen.

#### Schutz gegen Nematoden

Mehrere Arten von Arthropoden können von Fadenwürmern (Nematoden) befallen werden. Zum Beispiel werden mit dem Nematoden *Howardula aoronymphibium* infizierte Weibchen der Taufliege *Drosophila neotestacea* steril. Kürzlich wurde gezeigt, dass der ES *Spiroplasma* gegen den Nematoden schützt und die Entwicklung der meisten Ei von infizierten *Drosophila*-Weibchen ermöglicht. Wegen des selektiven Vorteils, den *Spiroplasma* seinem Wirt verschafft, konnte sich das Bakterium innerhalb der Population von *H. aoronymphibium* rasch ausbreiten (Jaenike *et al.* 2010).

#### Schutz gegen entomopathogene Pilze

Zahlreiche Arthropoden werden von entomopathogenen Pilzen wie *Beauveria bassiana* befallen. *Beauveria bassiana* wird häufig als Nützling gegen zahlreiche Schadinsektenarten verschiedenster Ordnungen eingesetzt. Eine Laborstudie zur Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* hat gezeigt, dass die Anzahl der Individuen, die eine Infektion mit dem Pilz *B. bassiana* überleben, dreimal höher war, wenn diese mit dem ES *Wolbachia* infiziert waren. Individuen mit dem ES waren also gegen den Pilz geschützt. Ausserdem korrelierte die Beherrschung von ES mit einer veränderten Vorliebe für das Substrat zur Eiablage, und infizierte Männchen hatten einen grösseren Reproduktionserfolg (Panteleev *et al.* 2007).

#### Schutz gegen Viren

Mehrere Viren führen bei Insekten zu einer hohen Sterblichkeit. *Wolbachia* kann auch die Resistenz seines Wirts gegen Viren beeinflussen, die ebenfalls zur biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. *Drosophila melanogaster* wurde als Modell zur Untersuchung der Resistenz von Arthropoden gegenüber Viren verwendet.

Zwei Forschergruppen haben unabhängig voneinander eine durch *Wolbachia* vermittelte Resistenz gegen das Virus «Drosophila C Virus» und drei RNA-Viren («Cricket Paralysis Virus», «Nora Virus» und «Flock House Virus»; Hedges *et al.* 2008; Teixeira *et al.* 2008) nachgewiesen. Bisher sind die genauen Mechanismen der Resistenzinduktion noch unbekannt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass solche Interaktionen zwischen symbiontischen Bakterien und pathogenen Viren in der Natur häufig sind, da diese beiden Mikroorganismengruppen im selben intrazellulären Raum zusammenleben.

## Schlussfolgerungen

Es gibt zahlreiche abiotische und biotische Faktoren, die sich auf einen Nützlichling oder ein Schadinsekt auswirken und so das Ergebnis eines Programms zur biologischen Schädlingsbekämpfung wesentlich mitbestimmen können.

Die in einem Schadinsekt vorhandenen und interagierenden Mikroorganismen (Bakterien oder Viren) gehören vermutlich zu den unberechenbarsten und am häufigsten unterschätzten Faktoren. Tatsächlich ist bekannt, dass ES i) die Populationsdynamik ihrer Wirte (Nützlinge oder Schädlinge) beeinflussen, ii) eine wichtige Rolle in der Entwicklung von Resistenzen gegenüber häufig eingesetzten Nützlingen spielen, iii) Resistenzen gegenüber Pestiziden vermitteln und iv) die Toleranz ihrer Wirte gegenüber belastenden Umweltbedingungen verändern können.

Wir empfehlen deshalb, dass bei der Entwicklung und Umsetzung von Programmen zur biologischen Schädlingsbekämpfung der Einfluss allfällig vorhandener ES untersucht wird. Mit Nutzinsekten assoziierte Mikroorganismen werden als Störfaktor betrachtet, welche die Wirksamkeit der Nützlinge beeinflussen können. Aufgrund der Häufigkeit, mit der Endosymbionten in der Literatur beschrieben werden, und der grossen Vielfalt von Nützlingen ist zu vermuten, dass es sich bei den bisher beobachteten Wirkungen nur um die Spitze des Eisbergs handelt. Tabelle 1 zeigt, dass 41 % der Insekten und Milben, die in der Schweiz in biologischen Schädlingsbekämpfungsprogrammen eingesetzt werden, mit einem oder mehreren ES infiziert sind, und dass für die Hälfte davon (d. h. 21 % der eingesetzten Arten) eine der oben aufgeführten Wirkungen nachgewiesen ist. Aus diesen Gründen unterstützen wir eine Zusammenarbeit zwischen Anwendern des biologischen Pflanzenschutzes und Forschenden, bei der es darum geht, den positiven oder negativen Einfluss von ES auf die Wirksamkeit der biologischen Schädlingsbekämpfung in Erfahrung zu bringen. ■

## Riassunto

### Simbionti e artropodi – quali implicazioni per la lotta biologica?

La maggioranza degli artropodi vive in simbiosi con numerosi batteri. Alcuni di essi sono implicati nelle funzioni vitali dei loro ospiti, mentre altri non sono indispensabili e la loro presenza può avere un effetto neutro, positivo o negativo su nutrizione, riproduzione o sopravvivenza dei loro ospiti. Alcuni endosimbionti sono conosciuti per l'influenza che esercitano sulla strategia riproduttiva dei loro ospiti. Trasmessi verticalmente, questi batteri hanno sviluppato strategie differenti per favorire la riproduzione delle femmine infette rispetto a quelle non infette così da agevolare la loro propria trasmissione. Un'altra strategia per propagarsi in seno alla popolazione del proprio ospite è rendersi indispensabili per quest'ultimo. Proteggendolo contro determinati nemici naturali gli endosimbionti assicurano contemporaneamente la loro permanenza e propagazione in seno alla popolazione. Gli endosimbionti possono quindi influenzare significativamente il successo di un programma di lotta biologica. Il presente articolo spiega come gli endosimbionti possono agire sull'attuazione di un programma di lotta biologica, fornendo alcuni esempi pratici e illustrando come procedere per identificare i potenziali problemi legati alla loro presenza.

### Literatur

- Bigler F., Babendreier D. & Kuhlmann U., 2006. Environmental impact of invertebrates for biological control of arthropods: methods and risk assessment. CABI Publishing, Wallingford, 288 p.
- Burke G., Fiehn O. & Moran N., 2009. Effects of facultative symbionts and heat stress on the metabolome of pea aphids. *The ISME Journal* 4, 242–252.
- Hedges L. M., Brownlie J. C., O'Neill S. L. & Johnson K. N., 2008. *Wolbachia* and Virus Protection in Insects. *Science* 322, 702.
- Jaenike J., Unckless R., Cockburn S. N., Boelio L. M. & Perlman S. J., 2010. Adaptation via symbiosis: recent spread of a *Drosophila* defensive symbiont. *Science* 329, 212–215.
- Kontsedalov S., Zchori-Fein E., Chiel E., Gottlieb Y., Inbar M. & Ghanim M., 2008. The presence of *Rickettsia* is associated with increased susceptibility of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides. *Pest Management Science* 64, 789–792.
- Machtelinckx T., Van Leeuwen T., Vanholme B., Gehesquiere B., Dermauw W., Vandekerckhove B., Gheysen G. & De Clercq P., 2009. *Wolbachia* induces strong cytoplasmic incompatibility in the predatory bug *Macrolophus pygmaeus*. *Insect Molecular Biology* 18 (3), 373–381.
- Neelakanta G., Sultana H., Fish D., Anderson J. F. & Fikrig E., 2010. *Anaplasma phagocytophilum* induces *Ixodes scapularis* ticks to express an antifreeze glycoprotein gene that enhances their survival in the cold. *The Journal of Clinical Investigation* 120, 3179–3190.
- Oliver K. M., Russell J. A., Moran N. A. & Hunter M. S., 2003. Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. *Pro-*

## Summary

### Symbionts and arthropods – potential implications for biological control

Most arthropod species live in association with numerous bacteria. Their interactions can have different outcomes. While some bacteria are crucial for their host's survival, others are facultative and their presence can have a negative, positive or neutral effect on the nutrition, reproduction or survival of their host. Some endosymbionts (such as *Wolbachia* for example) are known as reproduction manipulators. Vertically transmitted, these bacteria developed several strategies (such as parthenogenesis induction, cytoplasmic incompatibility) to increase the transmission of infected females in their host population, in comparison to un-infected females. Another way to ensure its propagation is to become crucially needed by its host. By protecting their host against natural enemies such as hymenopteran parasitoids, nematodes, entomopathogenic fungi, bacteria or viruses, endosymbionts achieved this goal. Endosymbionts may then greatly influence biological control programs. These influential house mates may not only affect the rearing of beneficial arthropods (by altering their reproduction mode) but also influence their interactions with target crop pest species (by inducing resistances for example). This paper explains how endosymbionts may influence biological control and provides practical examples and a protocol to follow to identify problems associated to their presence.

**Key words:** symbiont, arthropod, biological control.

*ceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100, 1803–1807.

- Oliver K. M., Degnan P. H., Hunter M. S. & Moran N. A., 2009. Bacteriophages Encode Factors Required for Protection in a Symbiotic Mutualism. *Science* 325, 992–994.
- O'Neill S. L., Hoffmann A. A. & Werren J. H., 1997. *Influential Passengers*. Oxford University Press Inc., New York, USA, 214 p.
- Pantelev D. Y., Goryacheva I. I., Andrianov B. V., Reznik N. L., Lazebny O. E. & Kulikov A. M., 2007. The endosymbiotic bacterium *Wolbachia* enhances the nonspecific resistance to insect pathogens and alters behaviour of *Drosophila melanogaster*. *Russian Journal of Genetics* 43, 1066–1069.
- Teixeira L., Ferreira A. & Ashburner M., 2008. The Bacterial Symbiont *Wolbachia* Induces Resistance to RNA Viral Infections in *Drosophila melanogaster*. *PLoS Biology* 6, 2753–2763.
- Weinert L. A., Tinsley M. C., Temperley M. & Jiggins F. M., 2007. Are we underestimating the diversity and incidence of insect bacterial symbionts? A case study in ladybird beetles. *Biology Letters* 3, 678–681.
- Zabalou S., Riegler M., Theodorakopoulou M., Stauffer C., Savakis C. & Bourtzis K., 2004. *Wolbachia*-induced cytoplasmic incompatibility as a means for insect pest population control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101, 15042–15045.
- Zindel R., Gottlieb Y. & Aebi A., 2011. Arthropod symbiosis, a neglected parameter in pest and disease control programs. *Journal of Applied Ecology* 48, 864–872.