

CHEMISCHE TRICKS DER TIERE UND PFLANZEN

Schutzschild für die Puppe

Um sich von einer Raupe zum erwachsenen Insekt zu entwickeln, müssen sich Käfer verpuppen. Da sich die Puppe nicht mehr bewegen kann, ist sie besonders durch Räuber gefährdet. Der Schildkäfer *Chelymormpha alternans* geht deshalb eine Schutzsymbiose mit einem Pilz ein.



Abb. 1 Der Schildkäfer *Chelymormpha alternans* ernährt sich von Pflanzenmaterial. Um schwer abbaubare pflanzliche Polysaccharide wie Pektin verwerten zu können, verlässt er sich auf symbiotische Bakterien. (Foto: Pavel Kirillov, St. Petersburg, Russland)

In verschiedenen Beiträgen dieser Serie haben wir bereits erfahren, dass Pflanzen und Tiere chemische Verbindungen einsetzen, um sich vor Fressfeinden zu schützen. Tiere sind allerdings oft nicht in der Lage, diese Verbindungen (vollständig) selbst herzustellen. Der Erdfloh kapert deshalb beispielsweise Senfölglykoside der Meerrettichpflanze, die er bei Bedarf selbst in giftiges Isothiocyanat umwandeln kann [1]. Andere Tiere gehen stattdessen Symbiosen mit Mikroorganismen ein, die bestimmte Stoffwechselverbindungen bereitstellen. Meist handelt es sich bei den Symbionten um Bakterien, die eine große Vielfalt an chemischen Verbindungen für spezielle Zwecke -

Sekundärmetabolite - produzieren können. Aber auch Pilze kommen als Symbionten infrage. Ein Forschungsteam des Max-Planck-Instituts für Biologie in Tübingen, der dortigen Universität und des Smithsonian Tropical Research Institute in Panama hat nun beschrieben, wie ein Pilz, der normalerweise Pflanzen infiziert, das Überleben des tropischen Schildkäfers *Chelymormpha alternans* (Abbildung 1) sichert.

Ein gefundenes Fressen

Käfer machen als holometabole Insekten eine vollständige Metamorphose durch. Das bedeutet, dass die Larven und die erwachsenen Tiere sehr verschieden aussehen und oft auch eine unterschiedliche Lebensweise haben. Die Umwandlung von der Larve zum erwachsenen Tier erfordert deshalb einen großen Umbau des Körpers, der im Schutze eines Kokons - als Puppe - vollzogen wird. Besonders eindrucksvoll ist dieser Gestaltwandel von der Larve über die Puppe zum erwachsenen Tier bei Schmetterlingen.

Käfer sind für viele Vögel, Reptilien und Kleinsäuger, aber auch für andere Insekten wie Ameisen, parasitisch lebende Wespen oder Fadenwürmer ein echter Leckerbissen. Während erwachsene Käfer meist fliegen können, und außerdem oft Panzer tragen, sind die Jugendstadien kaum in der Lage zu fliehen oder sich zu verteidigen. Ihnen bleibt in erster Linie der chemische Schutz. Tatsächlich sind viele Käfer bekannt, die ihre Eier und Larven durch toxische Sekundärmetabolite von mikrobiellen Symbionten schützen. Für Puppen war diese Strategie jedoch bisher noch nicht beschrieben, ob-

wohl gerade sie aufgrund ihrer fast vollständigen Unbeweglichkeit besonders schutzbedürftig sind.

Die Tübinger Biologen haben nun herausgefunden, dass der Schildkäfer *C. alternans* gezielt sein Puppenstadium schützt, indem er eine Symbiose mit dem Schlauchpilz *Fusarium oxysporum* eingeht. Letzterer befällt als Pflanzenpathogen eine große Bandbreite an Wirtspflanzen, darunter wichtige Nutzpflanzen wie Bananen, Lein, Tomaten und Rüben. Entsprechende Pilzinfektionen, sogenannte Fusariosen, können außerdem bei Nutzpflanzen zu starken Ernteeinbußen führen.

Transportdienst als Gegenleistung

Bei *C. alternans* ist der Pilz als Symbiont in allen Lebensphasen nachweisbar. Allerdings nimmt seine Biomasse beim Übergang ins Puppenstadium extrem zu. In dieser Entwicklungsphase wird der Pilz sogar mit bloßem Auge sichtbar: Er spinnt die Puppen regelrecht in ein wachartiges, weißes Gespinnst aus Pilzfäden ein (Abbildung 2). Ob dies das Überleben der Puppen verbessert, untersuchten die Forscher in einem Freilandversuch in Panama. Dazu wurden zuerst mit Hilfe des Antipilzmittels Benzimidazol Käferpuppen erzeugt, die frei vom Symbionten waren. Diese wurden in Gehegen im Freiland gehalten, die wahlweise räuberischen Insekten den Zugang ermöglichten oder verwehrten. Als Kontrolle dienten unbehandelte Puppen, die noch ihr Schutzschild aus Pilzfäden trugen. Während im Labor die Behandlung mit Benzimidazol die Entwicklung der Käfer nicht beeinflusste, überlebten im Freiland deutlich mehr der unbehandelten Puppen.

Die Symbiose mit dem Pilz ist also ein echter Lebensretter für den Käfer. Aber was hat der Pilz davon? Sobald die Entwicklung der Raupe zur Imago, dem erwachsenen Käfer, abgeschlossen ist, arbeitet sich dieser mit Hilfe seiner Vorderbeine aus dem Puppenkokon heraus. Dabei bleiben

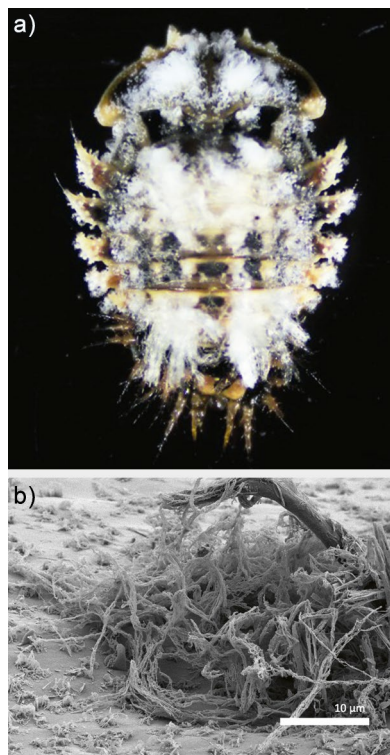


Abb. 2 Puppe von *C. alternans* mit Pilzfäden. a) Die Pilzfäden sind als weißes Gespinnst mit bloßem Auge sichtbar. b) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme. (Fotos: Dr. Hassan Salem und Dr. Aileen Berasategui, MPI für Biologie, Tübingen)

Pilzreste an seinen Vorderbeinen hängen, die er überträgt, wenn er neue Wirtspflanzen anfliegt. Damit handelt es sich bei der Interaktion zwischen Käfer und Pilz um eine echte Symbiose, bei der beide Partner profitieren: Im Gegenzug für die Schutzwirkung gewährleistet der Käfer die Verbreitung des Pilzes auf neue Wirtspflanzen. Experimentell konnten die Forscher dies an Süßkartoffelpflanzen (*Ipomoea batatas*) bestätigen. Genetische Studien ergaben dazu passend, dass der Symbiont zwar aufgrund seines Zusammenlebens mit den Käfern sein Genom reduziert hat, Stoffwechselwege, die

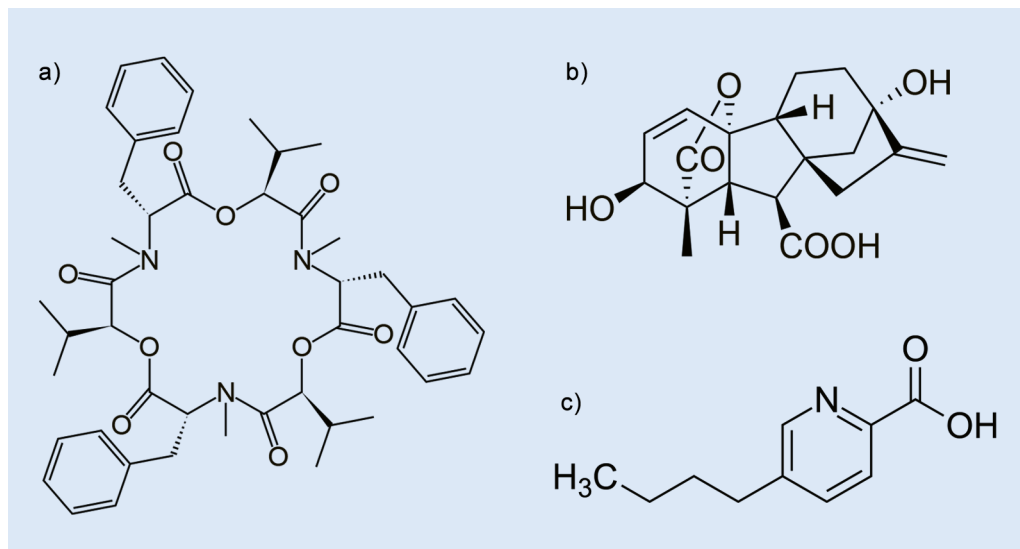


Abb. 3 Von *Fusarium oxysporum* gebildete Mykotoxine. a) Beauvericin ist ein zyklisches Depsipeptid mit antibakterieller und insektizider Wirkung. b) Die Diterpenoidcarbonsäure Gibberellinsäure ist als Pflanzenhormon bekannt, wird aber auch von *Fusarium* eingesetzt, um das Verhalten von Insekten zu manipulieren. c) Fusarinsäure ist für die von *F. oxysporum* ausgelöste Pflanzenwelke verantwortlich und wirkt außerdem gegen Insekten und Bakterien. (Abbildungen: Alle Wikimedia, a) Fvasconcellos, b) Calvero, c) Emeldir)

für die Infektion von Pflanzen benötigt werden, aber erhalten geblieben sind.

Pilzgifte am Werk

Die Gattung *Fusarium* ist bekannt dafür, Sekundärmetabolite zu produzieren, die giftig für Pflanzen und Tiere einschließlich Insekten sind. Die meisten dieser Verbindungen werden über Enzyme aus den Gruppen der nicht-ribosomalen Peptidsynthetasen, Polyketidsynthetasen und Terpensynthetasen hergestellt. Bei dem Schildkäfersymbionten fanden die Forscher eine große Vielfalt entsprechender biosynthetischer Gencluster. Der Abgleich mit der Syntheseleistung anderer Fusarien legt nahe, dass die Gencluster die Synthese der insektiziden Mykotoxine Beauvericin, Gibberellinsäure und Fusarinsäure (Abbildung 3) ermöglichen sollten. Beauvericin ist eine

zyklische antibiotische Verbindung mit starkem zytotoxischem Effekt auf verschiedene Insekten-Großgruppen. Gibberellinsäure ist ein Diterpenoid, das Insekten unter anderem den Appetit verleidet und auch ihr Gewebe schädigen kann. Fusarinsäure schädigt die Wirtspflanzen von *Fusarium*, wirkt aber ebenfalls gegen Insekten. Im Vergleich zu anderen Insekten sind Käfer relativ unempfindlich gegenüber Mykotoxinen aus *Fusarium*-Arten. Vielleicht hat ihnen das überhaupt erst die Symbiose mit dem Pflanzenpathogen ermöglicht.

Literatur

- [1] L. Tetsch, *Chemie in unserer Zeit*, **2021**, 55, 150.
- [2] A. Berasategui et al., *Current Biology*, **2022**, 32, 4114.

Larissa Tetsch, Maisach

DOI: 10.1002/ciuz.202200044