

Raupen gegen Kreuzblütler

Schmetterlingsraupen ernähren sich von Pflanzen, die sie durch ihren Fraß sehr stark schädigen können. Kreuzblütler wie Kohl, Raps, Meerrettich oder Senf wehren sich dagegen, indem sie sogenannte Senfölglycoside produzieren und speichern, das sind Verbindungen aus Senfölen und einem Zucker. Eine Beschädigung des Pflanzengewebes z. B. durch Raupentätigkeit bewirkt eine Aktivierung des Enzyms Myrosinase, welches die Senfölglycoside spaltet und dadurch die giftigen, scharfen Senföle freisetzt, welche die Fressfeinde abschrecken.

Die Raupen des Kohlweißlings und weiterer Arten der Schmetterlings-Familie *Pieridae* besitzen in ihrem Darm zwei Enzyme, von denen schon länger angenommen wird, dass sie für eine Entgiftung der Pflanzenkampfstoffe verantwortlich sind: das NSP-Enzym (*nitrile specifier protein*) und das MA-Enzym (*major allergen*).

Eine Forschergruppe unter der Leitung von Yu Okamura und Heiko Vogel vom Max-Planck-Institut für chemische Ökologie in Jena wollten experimentell überprüfen, ob diese beiden Enzyme für die Entgiftung notwendig sind und ob sich ihre Funktion von Art zu Art unterscheidet, je nach Zusammensetzung des Senfölglycosid-Cocktails der jeweiligen Wirtspflanzen. Sie setzten die Genschere CRISPR-Cas9 ein, um jeweils das Gen für das eine oder das andere dieser Enzyme auszuschalten.

Die aus diesen Manipulationen hervorgegangenen Raupen wurden auf Wirtspflanzen mit unterschiedlichen Gehalten an Senfölen gesetzt. Dabei wurde festgestellt, dass Raupen, die nur über das NSP- oder das MA-Enzym verfügten, zwar überlebten, aber deutlich langsamer wuchsen als Raupen mit beiden Enzymen. Raupen, denen beide Enzyme fehlten, überlebten dagegen nicht. Wie schnell die Raupen mit nur einem Entgiftungs-Enzym wuchsen, hing von der Art der Senföle der Wirtspflanze ab. Dies weist auf eine unterschiedliche Wirkung der beiden Enzyme hin.

Aufgaben:

- 1 Stellen Sie die Komponenten der hier dargestellten Koevolution plakativ dar.
- 2 Begründen Sie die Wahl von CRISPR-Cas9 als Manipulations-Methode für die vorliegende Untersuchung.
- 3 Nah verwandten Schmetterlings-Arten, deren Raupen sich von Wirtspflanzen ernähren, die keine Senföle verwenden, fehlen die Enzyme NSP und MA. Erklären Sie diese Beobachtung aus evolutionsbiologischer Sicht.
- 4 Die Strategie der Kohlweißlings-Raupen besteht nicht nur im bloßen Vorhandensein der beiden Entgiftungs-Enzyme. „Für den Erfolg der Schädlinge sind auch die Regulierung und Aktivierung von Entgiftungsenzymen wichtige Faktoren“, so Yu Okamura. Belegen Sie diese Aussage anhand des Informationstextes.
- 5 Das NSP-Gen und das MA-Gen sind untereinander sehr ähnlich und ähneln gleichzeitig einem in Schmetterlingen weit verbreiteten Gen für ein Darmprotein mit (noch) unbekannter Funktion. Formulieren Sie eine Hypothese zur Entstehung der beiden Entgiftungs-Enzyme entsprechend der synthetischen Evolutionstheorie.

Hinweise für die Lehrkraft:

Der Informationstext enthält Aussagen und Fachbegriffe, die für die Bearbeitung der Aufgaben nicht wichtig sind. Die Kursteilnehmer können daran üben, wie sie mit diesem Überangebot umgehen, was für die Bearbeitung von Abituraufgaben wesentlich ist. Beispielsweise sind die konkreten Bezeichnungen der genannten Enzyme unwesentlich.

- 1 Raupenfraß schädigt Wirtspflanze > Wirtspflanze setzt Senföle frei > Raupe entgiftet die Kampfstoffe mit Hilfe zweier Enzyme
- 2 Mit CRISPR-Cas9 können gezielt bestimmte Stellen in der DNA angesteuert werden, so dass (in der Regel) keine unerwünschten Nebeneffekte auftreten. Außerdem ist das Verfahren vergleichsweise einfach in der Handhabung. (Der Knock-Out jeweils eines Gens kann durch Herausschneiden einer Nukleotid-Sequenz erreicht werden.)
- 3 Die Herstellung der Entgiftungs-Enzyme ist aufwendig und würde bei Abwesenheit der Kampfstoffe nur Kosten verursachen, ohne einen Nutzen für das individuelle Überleben zu bewirken.
- 4 Je nach Senföle-Cocktail wachsen die Raupen mit nur einem der beiden Entgiftungs-Enzyme schneller oder langsamer. Raupen mit beiden Enzymen können je nach Senföle-Typ das eine oder das andere Enzym in größerer Menge herstellen, um eine optimale Wirkung zu erzielen.
- 5 Durch zufällige Mutation entsteht eine Genvariante des ursprünglichen Darmproteins. Mit Hilfe des daraus entstehenden Enzyms können die Kampfstoffe bestimmter Pflanzen unschädlich gemacht werden. Diese Pflanzen eignen sich nun als Wirtspflanzen, wobei Konkurrenz durch die Raupen von Schmetterlingsarten ohne ein solches Enzym vermieden wird (ökologische Nische).
Sobald eine zweite Genvariante mit etwas unterschiedlicher Wirkung entstanden ist, ist es den Raupen möglich, auf unterschiedliche Senföle-Cocktails mit unterschiedlicher Genexpression zu reagieren und damit Ressourcen zu sparen bzw. ein schnelleres Raupenwachstum zu ermöglichen. Bessere Ernährung führt zu höherer Fitness.

Originalpublikation: Okamura, Y., Dort, H., Reichelt, M., Tunström, K., Wheat, C. W., Vogel, H. (2022). Testing hypotheses of a coevolutionary key innovation reveals a complex suite of traits involved in defusing the mustard oil bomb. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, DOI: 10.1073/pnas.2208447119
<https://doi.org/10.1073/pnas.2208447119>

Thomas Nickl, Oktober 2023