

SONDERDRUCK

aus

3 | 2022

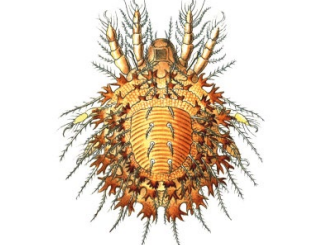
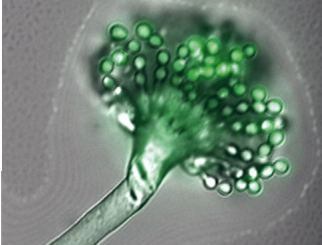
VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

MYKOLOGIE
Lebensbedrohliche
Pilzinfektionen

**BODEN-
ORGANISMEN**
Hornmilben

ÖKOLOGIE
Chemodiversität
bei Pflanzen



BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

Fleischproduktion 2.0



ABB. 1 Freilandexperiment mit verschiedenen Chemotypen des Rainfarns (*Tanacetum vulgare*).

Chemische Diversität bei Pflanzen – wozu?

CAROLINE MÜLLER

*In einigen Pflanzenarten unterscheiden sich Individuen untereinander deutlich in der Zusammensetzung ihrer spezialisierten chemischen Verbindungen, weisen also eine hohe Chemodiversität auf. Welchen Nutzen dies für Pflanzen in einer sich verändernden Umwelt haben könnte, ist derzeit Gegenstand intensiver Forschung, unter anderem am Rainfarn (*Tanacetum vulgare*, Abbildung 1). Chemodiversität ist eine wichtige Dimension von Biodiversität und sollte künftig mehr Beachtung finden – auch in der Landwirtschaft.*

Individuen einer Art unterscheiden sich in zahlreichen Merkmalen. Manche davon sind sehr offensichtlich, wie beispielsweise die Größe oder die Form (Abbildung 2). Bei Tieren, inklusive dem Menschen, sind Verhaltensunterschiede besonders auffallend, hier können verschiedene Persönlichkeiten beobachtet werden [1]. Bei Pflanzen finden sich gut sichtbare innerartliche Unterschiede zum

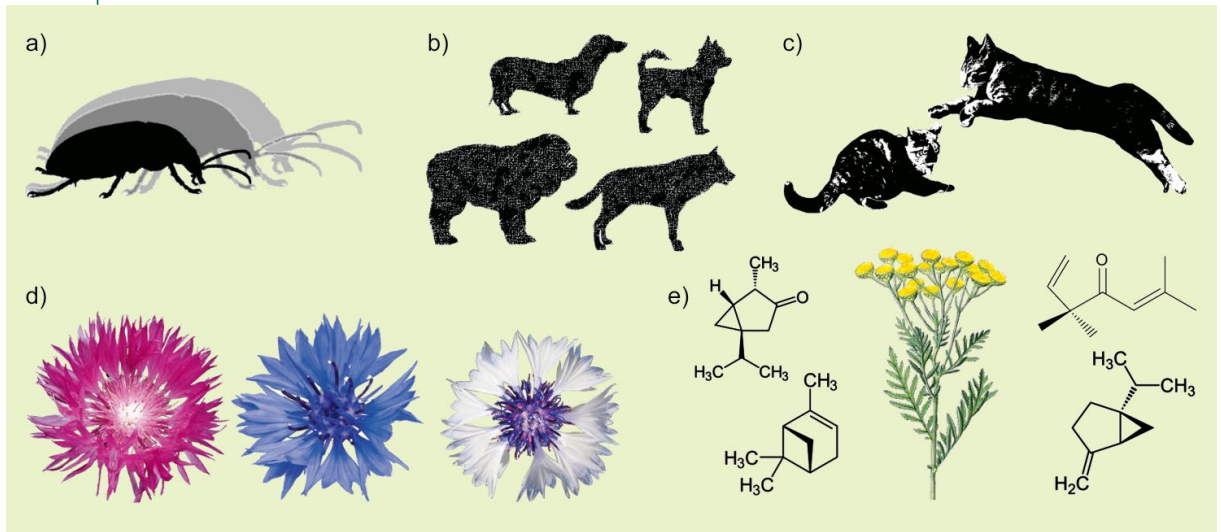
Beispiel in der Blütenfarbe. Weniger offensichtlich – und daher weitaus weniger gut untersucht – sind Unterschiede in der Zusammensetzung an für die Art oder die Pflanzenfamilie spezifischen chemischen Inhaltsstoffen, sogenannte spezialisierte (oder: sekundäre) Metaboliten, die in Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und anderen Organismen involviert sind. Diese Metaboliten dienen im Allgemeinen der Abwehr von Fressfeinden oder Pathogenen wie Pilzen und Bakterien, können jedoch auch Organismen anlocken, die auf die Pflanzenart spezialisiert sind. Damit bestimmen sie ganz zentral die ökologische Nische eines Individuums, die ► individuelle Nische [2]. Die Kommunikation mittels chemischen Metaboliten ist die älteste „Sprache“ der Welt: Für eine erste Verständigung im Meer war ein Informationsaustausch mittels chemischer Botenstoffe unabdingbar; bei der sexuellen Fortpflanzung finden Spermien mithilfe chemischer Botenstoffe die Eizelle. Nach wie vor wird sowohl im Wasser als auch an Land ein Großteil der Informationen chemisch vermittelt.

Ausgeprägte individuelle Unterschiede in den Eigenschaften einer Art führen zu hoher Diversität in einer Population. Chemische Diversität, oder kurz ► Chemodiversität, ist nicht sichtbar, aber wir können sie riechen oder schmecken, wenn wir beispielsweise Thymian oder Oregano als Gewürze verwenden. Beide Arten zeigen deutliche innerartliche Unterschiede in der Zusammensetzung von

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 246 erklärt.



ABB. 2 | INNERARTLICHE UNTERSCHIEDE



Innerhalb einer Art finden sich vielfach Unterschiede im Erscheinungsbild zwischen Individuen, die zu Diversität führen. So kann sich beispielsweise a) die Größe, b) die Form, c) die Persönlichkeit, d) die Farbe oder e) die Chemie zwischen Individuen einer Art unterscheiden. Abb.: Silvia Eckert.

spezialisierten Metaboliten, den Terpenen, die für den intensiven Geruch und Geschmack verantwortlich sind. Individuen, welche solche innerartlichen Unterschiede in ihrem Metabolitenmuster zeigen, nennt man auch ► Chemotypen. Diese Unterschiede beruhen auf genetischen und biochemischen ► Polymorphismen. Bereits vor über 20 Jahren wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese Po-

lymorphismen mit der Tatsache zusammenhängen, dass Individuen einer Pflanzenart von verschiedenen herbivoren Organismen befallen werden und mit verschiedenen anderen Pflanzenarten konkurrieren [3]. In der Tat konnten die Autoren der Studie damals zeigen, dass verschiedene Chemotypen von Thymian bzw. verschiedene in der Art vorkommende Terpene eine unterschiedliche Wirkung auf pflanzenfressende Schnecken-, Insekten- und Säugetierarten, aber auch auf Bakterien, Pilze und die Keimung von Samen anderer Pflanzenarten hatten [3]. Für manche Pflanzenarten sind nur zwei bis drei verschiedene Chemotypen beschrieben, andere weisen eine deutlich höhere Anzahl an Chemotypen auf wie zum Beispiel der Rainfarn (*Tanacetum vulgare*, Abbildung 1).

IN KÜRZE

- Innerhalb verschiedener Pflanzenarten kann sich die **Zusammensetzung an chemischen Inhaltsstoffen** stark unterscheiden. Die Ökologie und Evolution der Funktion solcher Chemodiversität ist derzeit Gegenstand intensiver Forschung.
- Der Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) weist eine besonders **hohe Diversität in Terpenprofilen der Blätter und Blüten auf**, man unterscheidet hier zwischen Chemotypen. Auf Rainfarn spezialisierte Arten wie z. B. einige Blattlausarten, aber auch Pollen-fressende Käfer zeigen unterschiedliche Präferenzen für bestimmte Chemotypen.
- Chemodiversität kann **auf diversen Skalen betrachtet** werden. Sie variiert räumlich und zeitlich innerhalb eines Individuums, zwischen Individuen einer Population, zwischen Populationen über die Saison und aufgrund unterschiedlicher Umwelteinflüsse.
- Pflanzen, die in neue Gebiete eingeführt wurden und sich dort erfolgreich ausbreiten, haben möglicherweise einen **großen Vorteil durch intraspezifische Chemodiversität**, da diese u. a. die Anpassungsfähigkeit von Fressfeinden erschweren könnte.
- Chemodiversität ist eine wichtige Dimension von ► Biodiversität. Sie sollte gezielt in der Landwirtschaft genutzt werden, um die **Widerstandsfähigkeit von Nutzpflanzen** gegenüber Umweltfaktoren zu steigern.

Rainfarn – Modell für hohe Chemodiversität

Der Rainfarn gehört zu den Korbblütlern (Asteraceae) und ist eine weit verbreitete, krautige Pflanze, die unter sehr verschiedenen Umweltbedingungen wachsen kann. Aufgrund der Zusammensetzung der Terpene in den Blättern und Blüten werden zahlreiche Chemotypen unterschieden. Im Feld wurden bereits auf kleinem Raum (< 3 km²) über 14 Chemotypen gefunden, die unterschiedlich häufig vorkommen und deren Terpenprofil jeweils von einem bis drei Terpenen dominiert wird (Abbildung 3) [4]. Trotz der Terpene und anderer Inhaltsstoffe, die für ihre effiziente Verteidigung gegen Fressfeinde bekannt sind, sind diverse Herbivorenarten auf den Pflanzen zu finden [5]. Gut untersucht sind insbesondere Beziehungen zwischen Rainfarn und verschiedenen spezialisierten Blattlausarten, aber auch Blütenbesuchern [5–8]. So scheinen verschiedene auf Rainfarn spezialisierte Blattlausarten, wie die rot gefärbte Art *Uroleucon tanaceti* und die eher grünliche Art

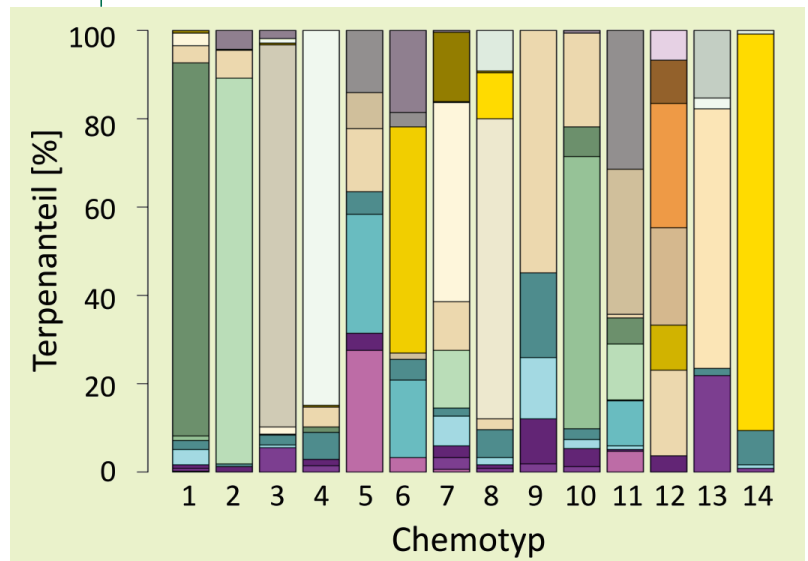
Macrosiphoniella tanacetaria (Abbildung 4), im Freiland bestimmte Chemotypen zu bevorzugen, auf denen die Blattläuse gehäuft vorkommen [4]. Auch innerhalb der Pflanzenindividuen zeigt sich eine unterschiedliche Verteilung. Während *U. tanacetii* eher ältere Blätter kolonisiert, sind Individuen der Art *M. tanacetaria* auf den jüngeren, weiter oben befindlichen Pflanzenteilen, an den jungen Blättern und den Stängeln unterhalb der Blüten zu finden. Dies weist auf eine gewisse Variation auch innerhalb von Pflanzenindividuen in der chemischen Zusammensetzung, aber auch in der mechanischen Zugänglichkeit und damit insgesamt der Pflanzenqualität für herbivore Insekten hin.

Die meisten Terpene sind flüchtig und daher für viele Organismen bereits aus der Distanz wahrnehmbar. So können sie zur Anlockung von Insekten beitragen. Für Pflanzen bedeutet dies ein Dilemma: Bestäuber müssen angelockt werden, Fressfeinde – insbesondere an den für die Reproduktion wichtigen Blüten – sollten dagegen fernbleiben. Auch bei Pollen-fressenden Käfern und Insekten, die sich von den Blütenköpfchen ernähren, gibt es unterschiedliche Präferenzen für verschiedene Chemotypen [6]. Dabei unterscheiden sich die Chemotypen nicht nur in ihrer Terpenzusammensetzung, sondern auch in der Größe und dem Durchmesser der Blütenköpfchen, der Dauer der Blühperiode und dem Nährwert des Pollens. Im Laufe der Blühperiode steigt zudem die Chemo-diversität der Oberflächenkomponenten auf dem Pollen (berechnet mit dem ► Shannon-Index), und in später blühenden Pflanzen findet sich ein höherer Proteingehalt im Pollen [6]. Diese sich ändernden Eigenschaften könnten helfen, um auch später im Jahr, wenn die Häufigkeit der Bestäuber generell zurückgeht, für diese noch attraktiv zu sein und verdeutlichen die zeitliche Dynamik von Chemo-diversität.

Skalen der Chemodiversität und deren Erforschung

Chemodiversität kann auf verschiedenen Skalen betrachtet werden, was hier am Beispiel des Rainfarns erklärt werden soll (Abbildung 5): Die Chemodiversität kann sowohl auf räumlicher als auch auf zeitlicher Skala variieren. Bereits innerhalb von Individuen zeigt sich räumliche und zeitliche Variation. So weisen die Blüten und Blätter eines Individuums ein vergleichsweise ähnliches Terpenspektrum auf, zumindest ist bei beiden Organen jeweils das gleiche Monoterpen dominant [6]. In den Wurzeln finden sich dagegen weniger und teils andere (häufiger Sesqui-)Terpene als in den oberirdischen Pflanzenteilen, und die für die Blätter definierten Chemotypen spiegeln sich hier nicht wider [9]. Darüber hinaus verändern sich im Lauf der Saison die Terpenanzahl und deren Konzentration und nehmen von jungen zu älteren Pflanzen deutlich zu, wobei das anfangs dominante, Chemotyp-charakterisierende Terpen im Allgemeinen weiterhin dominant bleibt [4].

ABB. 3 | CHEMOTYPEN DES RAINFARNS



Im Freiland wurden bereits auf kleinem Raum (< 3 km²) unter 140 beprobten Rainfarnpflanzen (*Tanacetum vulgare*) 14 verschiedene Chemotypen gefunden. Die verschiedenen Farben stehen für unterschiedliche Terpene, die in den Blättern der Pflanzen vorkommen. Die Häufigkeit der Chemotypen nimmt von links nach rechts ab; so wurde der Chemotyp 1 (dominiert von dem Terpen β -Thujon) 36-mal gefunden, der Chemotyp 14 nur einmal. Daten nach [3], Terpenanzahl reduziert auf 28 Komponenten, die mit >5% im Originaldatensatz vertreten waren.

Zudem wird das Profil der Inhaltsstoffe durch verschiedene Umwelteinflüsse modifiziert. Sowohl abiotische Faktoren wie Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit [9, 10] als auch biotische Faktoren wie Befall durch herbivore Insekten [7] können die Zusammensetzung verändern. So nimmt beispielsweise die Terpenkonzentration in Blättern zweier Chemotypen in Antwort auf Trockenstress leicht ab, wohingegen die der Wurzeln sowohl durch Trockenstress als auch durch Herbivorie an den Blättern deutlich zunimmt [10]. Erhöhte Düngezugabe führt bei diesen Chemotypen dagegen nur in Blättern zu einer Abnahme der Terpenkonzentration, während Wurzelterpene in ihrer Gesamtkonzentration durch Düngezugabe unverändert bleiben [9]. Diese unterschiedlichen Antworten in verschiedenen Pflanzenteilen machen deutlich, dass oberirdische und unterirdische Pflanzenteile vermutlich unterschiedlichen Selektionsdrücken ausgesetzt sind. Mit seinen unterschiedlichen Antworten auf verschiedene Stressfaktoren weist der Rainfarn insgesamt eine hohe phänotypische Plastizität auf.

Rainfarn ist eine stark auskrenzende Pflanze, das heißt in den Blütenköpfchen einer Pflanze finden sich zahlreiche Samen, die nach Bestäubung durch Pollen von verschiedenen anderen Pflanzen entstanden sind. Zieht man Samen einer Mutterpflanze an, können diese also verschiedene Chemotypen aufweisen. Möchte man genetisch identische Organismen für Versuche erzeugen, kann man mit Stecklingen arbeiten. Rainfarn lässt sich sehr gut vegetativ vermehren und die Stecklinge weisen eine relativ



stabile Terpenzusammensetzung auf [6]. An diesen lässt sich phänotypische Plastizität im engeren Sinne untersuchen. Durch die Auskreuzung und hohe Diversität in Chemotypen finden sich auch innerhalb von Populationen – wie bereits erwähnt – deutliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Individuen (Abbildung 3, [4, 8]). Das Vorkommen und die Häufigkeit verschiedener Chemotypen unterscheiden sich aber erst recht zwischen Populationen [11].

Interessant ist die Fragestellung, inwieweit es gegebenenfalls zu unterschiedlicher Wahrnehmung von Pflanzenindividuen durch z. B. Insekten kommt, je nachdem, ob sie in Nachbarschaft mit Pflanzen desselben Chemotyps („Monoplot“) oder in Nachbarschaft mit Pflanzen verschiedener Chemotypen („Mischplot“) wachsen. In einem Semi-Freilandexperiment, in dem sowohl Mono- als auch Mischplots von Rainfarn-Chemotypen angeboten wurden, waren Pollen-fressende Käfer beispielsweise signifikant weniger auf Pflanzen in Mischplots vertreten [6]. Somit haben Chemotypen, die attraktiv für Fressfeinde sind, einen Vorteil, wenn sie in der Umgebung von anderen Chemotypen wachsen, und können von hoher Chemodiversität profitieren. In einem großangelegten Freilandexperiment mit Mono- und Mischplots aus fünf verschiedenen Chemotypen (Abbildung 1) wurden über die letzten beiden Jahre hinweg nun systematisch die Häufigkeiten verschiedener Blattlausarten sowie Blütenbesucher aufgenommen, um zu überprüfen, ob dies ein generelles Muster ist. Hier scheinen jedoch artspezifische Unterschiede in den Präferenzen bzw. Häufigkeiten der Insekten zu bestehen.

Für Experimente kann schließlich auch mit Pflanzen verschiedener Populationen gearbeitet werden, die im Freiland vor Ort beprobt werden [4] oder deren Samen in verschiedenen Regionen Deutschlands, Europas und der Welt gesammelt und dann unter standardisierten Bedingungen angezogen werden [11].

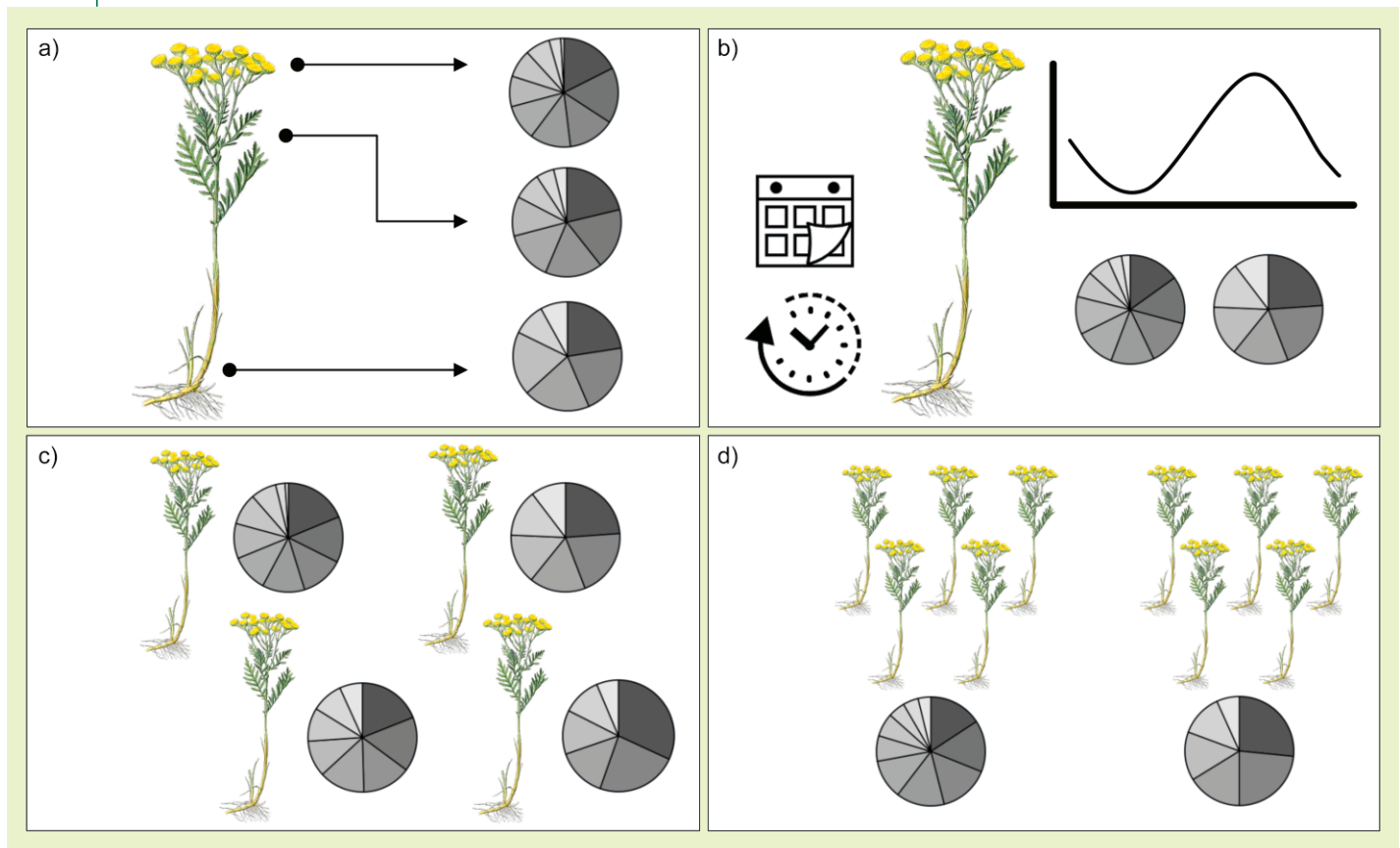
Die Rolle von Chemodiversität im Invasionskontext

Der Rainfarn stammt vermutlich ursprünglich aus der Kaukasusregion und Osteuropa, von wo aus er sich vor über 500 Jahren nach Westeuropa ausbreitete [12]. Nach Nordamerika wurde Rainfarn schließlich als Medizinalpflanze eingeführt und breitete sich teilweise so stark aus, dass viele Populationen dort heute als invasiv gelten. Invasive Arten sind Arten, die durch den Menschen bedingt in neuen Gebieten vorkommen, sich dort etablieren und ökologischen, wirtschaftlichen oder gesundheitlichen Schaden anrichten. Eine der großen Fragen in der Ökologie lautet, warum es manchen Arten gelingt, in der neuen Umgebung eine sehr hohe Bedeutung bzw. Dominanz zu erlangen. Zahlreiche Hypothesen wurden diesbezüglich formuliert [13]. Hierbei sollten Pflanzenindividuen nicht isoliert betrachtet werden, sondern in ihrer jeweiligen Umwelt. Pflanzen, die anderswo eingeschleppt werden, haben zunächst meist weniger Fressfeinde, möglicherweise aber auch weniger Mutualisten, d. h. Partner mit positiven Wechselwirkungen. Ihre chemische Zusammensetzung mag im invasiven Gebiet ansässigen Fressfeinden zunächst unbekannt sein und abschreckend oder zumindest nicht attraktiv wirken. Ist eine Pflanzenart chemisch sehr divers, riechen und schmecken Individuen derselben



ABB. 4 Auf Rainfarn spezialisierte Blattlausarten. *Uroleucon tanacetii* (links) und *Macrosiphoniella tanacetaria* (rechts) sind zwei der vielen Blattlausarten, die auf Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) spezialisiert sind. Beide Arten zeigen unterschiedliche Präferenzen für bestimmte Chemotypen und bevorzugen auch innerhalb eines Pflanzenindividuums verschiedene Bereiche: Die älteren Blätter werden bevorzugt von *U. tanacetii* besiedelt, die jüngeren Blätter und Triebe von *M. tanacetaria*. Fotos: Dominik Ziaja und Jana Stallmann.

ABB. 5 | SKALEN VON CHEMODIVERSITÄT



Innerhalb einer Art kann sich die chemische Zusammensetzung stark unterscheiden zwischen a) Geweben eines Individuums, b) über die Saison, c) zwischen Individuen einer Population und d) in Populationen. Abb.: Silvia Eckert.

Art unterschiedlich, je nachdem, auf welchen Chemotypen ein Pflanzen-besuchendes Insekt gerade trifft. Somit könnte es deutlich schwieriger sein, sich an diese Chemie anzupassen, da sie eben nicht vorhersagbar ist.

Ein solcher Vorteil hoher chemischer Diversität, wie ihn die oben beschriebene chemische Diversitätshypothese erwarten lässt, wurde zum Beispiel als eines der Erfolgsrezepte beim Rainfarn postuliert: In Pflanzen aus 13 europäischen Populationen und neun nordamerikanischen Populationen, deren Blatt-Terpene nach Wuchs unter standardisierten Bedingungen verglichen wurden, fanden sich insgesamt 21 Chemotypen [11]. Immerhin elf der Chemotypen wurden in Pflanzen aus dem nordamerikanischen Gebiet detektiert, von denen zwei nicht in europäischen Pflanzen vorkamen. Diese hohe chemische Diversität im invasiven Gebiet ist vermutlich auf mehrfache Einführung der Pflanzen nach Nordamerika und/oder Hybridisierung der eingeführten Individuen zurückzuführen. Insgesamt war die chemische Diversität (berechnet mit dem Shannon-Index) der Pflanzen europäischer Herkunft zwar höher, Pflanzen nordamerikanischer Herkunft wiesen dagegen insgesamt eine signifikant höhere Terpenkonzentration auf [11]. Möglicherweise verändern Pflanzen in ihrer neuen Umgebung aufgrund ande-

rer Umwelteinflüsse ihre Investition von Ressourcen in Wachstum *versus* Abwehr, die nach wie vor gegen generalistische pflanzenfressende Insekten und andere weitverbreitete Pathogene sehr effizient sein sollte. Eine Gefahr der Anlockung von auf die Pflanzenart angepasste Spezialisten ist im invasiven Gebiet weniger gegeben. Ein Mosaik an unterschiedlichen Umweltfaktoren kombiniert mit unterschiedlicher genetischer und phänotypischer Plastizität bestimmt letztlich die Diversität an Merkmalskombinationen der Individuen und ihre individuelle Nische.

Allerdings wurden bisher nur relativ wenige Arten auf chemische Diversität zwischen heimischen und invasiven Populationen hin untersucht. Ein weiteres Beispiel ist das orientalische Zackenschötchen, *Bunias orientalis* (Brassicaceae), bei dem in mehreren Populationen die Senfölglykosidzusammensetzung, aber auch die Gesamtzusammensetzung diverser polarer Metaboliten in den Blättern analysiert wurde [14]. Nur 17 Prozent der knapp 4.000 gemessenen Metaboliten wurden tatsächlich in allen 161 untersuchten Individuen gefunden; die Diversität unterschied sich jedoch vor allem zwischen Individuen, aber nicht zwischen Populationen unterschiedlicher Herkunft. Auch konnten unterschiedliche Senfölglykosid-Chemo-



typen gefunden werden. Je höher die Chemodiversität der Senfölglykoside in den Pflanzen war, desto geringer war die Überlebenswahrscheinlichkeit der Raupen der generalistischen Herbivorenart *Mamestra brassicae* [14]. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass hohe Chemodiversität für Pflanzen von Vorteil sein kann. Die Chemodiversität der Art spiegelte sich außerdem in der genetischen Diversität wieder [14]. Insgesamt sind mehr Studien notwendig, die die Diversität in der Zusammensetzung pflanzlicher Metaboliten sowie den tatsächlichen Druck durch Herbivoren bzw. Interaktionen mit Mutualisten messen, um besser zu verstehen, welche Faktoren möglicherweise zum Ausbreitungs- und Invasionserfolg von Arten beitragen.

Chemodiversität – eine wichtige Dimension von Biodiversität

Die Bedeutung von Biodiversität gelangt – leider sehr spät – zunehmend in das Blickfeld der Bevölkerung und der Politik. Das Bewusstsein steigt, dass eine hohe Biodiversität wünschenswert und förderungswürdig ist. So wie die Chemodiversität kann auch Biodiversität auf vielen verschiedenen Ebenen gemessen werden, von Genen bis hin zu Ökosystemen. Ein häufig verwendetes Maß für die Biodiversität der Arten ist der Shannon-Index, der sowohl die Artenzahl als auch deren Häufigkeit berücksichtigt. Während derzeit zahlreiche Arten noch nicht einmal bekannt sind, geschweige denn ihre Biologie beschrieben ist, sterben andere Arten mit einer besorgniserregend hohen Rate aus. Eine hohe Biodiversität kann vielfach mit einer erhöhten Ökosystemstabilität in Verbindung gebracht werden. So konnte gezeigt werden, dass Habitate mit hoher Biodiversität beispielsweise eine höhere Resilienz haben, sich also nach Stressereignissen, wie sie in der sich derzeit stark ändernden Umwelt vermehrt auftreten, schneller erholen können.

Ähnliches gilt höchstwahrscheinlich auch für eine hohe Chemodiversität: Populationen mit hoher chemischer Diversität sollten stabiler gegen Störung sein. Wenn Fressfeinde oder auch Pathogene unterschiedliche Chemotypen bevorzugen, dann ist bei hoher Chemodiversität die Gefahr gering, dass eine ganze Population den Schädlingen zum Opfer fällt. Einzelne Chemotypen, die unter Umständen wegfallen, könnten in ihrer ökologischen Funktion durch andere ersetzt werden. Somit kann Chemodiversität als eine wichtige Dimension von Biodiversität betrachtet werden. Zukünftige Forschung sollte diese Dimension der Biodiversität, die eine essenzielle Rolle für diverse Interaktionen zwischen Organismen spielt, berücksichtigen und die Funktion von Chemodiversität bei der Erhaltung von Biodiversität beleuchten.

Potenzielle Bedeutung von Chemodiversität für die Landwirtschaft

Eine hohe intraspezifische Chemodiversität von Pflanzen erhöht vermutlich die Widerstandskraft der gesamten Po-

GLOSSAR

Biodiversität: Biologische Diversität, die meist auf der Ebene von Arten betrachtet wird, aber auch auf der Ebene von Genen, höheren Taxa oder Habitaten gemessen werden kann.

Chemodiversität: Phytochemische Diversität in pflanzlichen Metaboliten, die für das Überleben einer Pflanze in ihrer Umwelt essenziell sind.

Chemotyp: Gruppierung von Pflanzen entsprechend einer prominenten Substanzklasse, z. B. Terpenen oder Senfölglykosiden. Die Chemotypen werden meist nach der dominanten Verbindung benannt.

Individuelle Nische: Ökologische Nische eines Individuums, die aus vielen Dimensionen von Umweltbedingungen und Ressourcen besteht, die das Individuum benötigt, um seinen Lebensstil zu realisieren.

Polymorphismus: Merkmalsvariation im Erscheinungsbild eines Organismus. Unterschiedliche Phänotypen beruhen auf unterschiedlicher genetischer Ausstattung.

Shannon-Index (H'): In der Biodiversitätsforschung etablierter Index, der sich berechnet nach $H' = -\sum (p_i \cdot \ln p_i)$, wobei i die Anzahl der Arten ist und p die relative Häufigkeit jeder Art. Der Index lässt sich auch zur Berechnung der Chemodiversität eines Individuums anwenden, wobei dann i die Anzahl der Metaboliten und p die relative Häufigkeit des Metaboliten ist.

pulation. Wenn einzelne Individuen jeweils gegen unterschiedliche Antagonisten unterschiedlich gut verteidigt sind, ergibt sich in der Summe ein besseres Überleben, als wenn alle Individuen chemisch gleich sind und von einem Schädling, der an diesen „Chemotypen“ angepasst ist, komplett vernichtet werden. Eine Verwendung chemisch diverser Individuen oder anderweitig unterschiedlicher Sorten könnte somit den Einsatz von Pestiziden deutlich verringern oder ganz unnötig machen und damit zu einer Erhaltung der Biodiversität beitragen. Derzeit wird im Rahmen einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsgruppe zum Thema „Ökologie und Evolution der intraspezifischen Chemodiversität von Pflanzen“ (FOR 3000) untersucht, welche ökologischen Konsequenzen Chemodiversität hat und wie diese genetisch aufrechterhalten wird. Erkenntnisse aus den Untersuchungen an drei Modellarten, die bisher nicht in der Landwirtschaft verwendet werden (u. a. am Rainfarn), könnten möglicherweise auf Nutzpflanzen übertragen werden. Statt dem Ziel zu folgen, die perfekte Pflanze zu züchten, die allen Widrigkeiten trotzt, wäre es dringend an der Zeit umzudenken und hoher Diversität auch auf dem Acker einen höheren Stellenwert zuzuweisen, um damit die Abwehrkraft von Nutzpflanzen in ihrer ökologischen Gemeinschaft zu steigern.

Zusammenfassung

Pflanzen können eine hohe Diversität in der Zusammensetzung von spezialisierten Metaboliten aufweisen, die auch als Chemodiversität bezeichnet wird. Der Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) zeichnet sich durch eine besonders hohe Vielfalt von Chemotypen aus, deren Zusammensetzung an Terpenen sowohl innerhalb von Individuen als auch zwischen Individuen und nicht nur räumlich sondern auch zeitlich variiert. Diese Chemodiversität hat große Auswirkungen auf andere Organismen wie Insekten, die von einzelnen Terpenen angezogen, von anderen aber auch abgeschreckt werden können. Chemodiversität kann als eine wichtige Dimension von Biodiversität betrachtet werden. Eine hohe Diversität macht Pflanzen vermutlich erfolgreich, unter anderem bei Invasionen in neue Gebiete, und könnte ihre Resilienz steigern. Eine hohe Chemodiversität sollte daher auch in der Landwirtschaft angestrebt werden.

Summary

Chemical diversity in plants – what for?

Plants can show a high diversity in the composition of their specialized metabolites, a phenomenon called chemodiversity. Common tansy (*Tanacetum vulgare*) is characterized by a particularly high diversity of chemotypes, which do not only vary in terpene composition with regard to space, but also with regard to time – both within and between individuals. This chemodiversity has large effects on other organisms such as insects, which are attracted by some terpenes but are repelled by others. Chemodiversity can be considered as one important dimension of biodiversity. Presumably, a high diversity makes plants successful, among other things when invading new areas, and may enhance their resilience. Therefore, a high chemodiversity should also be aimed at in sustainable agriculture.

Schlagworte:

Biodiversität, chemische Diversität, individuelle Unterschiede, invasive Pflanzen, Landwirtschaft, *Tanacetum vulgare*.

Literatur

- [1] M. I. Kaiser, C. Müller (2021). What is an animal personality? *Biology and Philosophy* 36,1–25.
- [2] C. Müller, R. R. Junker (2022). Chemical phenotype as important and dynamic niche dimension of plants. *New Phytologist*, <https://doi.org/10.1111/nph.18075>
- [3] Y. B. Linhart, J. D. Thompson (1999). Thyme is of the essence: Biochemical polymorphism and multi-species deterrence. *Evolutionary Ecology Research* 1, 151–171.
- [4] S. Kleine, C. Müller (2011). Intraspecific plant chemical diversity and its relation to herbivory. *Oecologia* 16, 175–186.
- [5] G. Schmitz (1998). The phytophagous insect fauna of *Tanacetum vulgare* L. (Asteraceae) in Central Europe. *Beiträge zur Entomologie* 48, 219–235.
- [6] E. J. Eilers et al. (2021). Flower production, headspace volatiles, pollen nutrients and florivory in *Tanacetum vulgare* chemotypes. *Frontiers in Plant Science* 11, 611877.
- [7] R. Jakobs, R. Schweiger, C. Müller (2019). Aphid infestation leads to plant part-specific changes in phloem sap chemistry, which may indicate niche construction. *New Phytologist* 221, 503–514.
- [8] M. V. Clancy et al. (2018). Metabotype variation in a field population of tansy plants influences aphid host selection. *Plant Cell and Environment* 41, 2791–2805.
- [9] S. Kleine, C. Müller (2013). Differences in shoot and root terpenoid profiles and plant responses to fertilisation in *Tanacetum vulgare*. *Phytochemistry* 96, 123–131.
- [10] S. Kleine, C. Müller (2014). Drought stress and leaf herbivory affect root terpenoid concentrations and growth of *Tanacetum vulgare*. *Journal of Chemical Ecology* 40, 1115–1125.
- [11] V. C. Wolf et al. (2011). High chemical diversity of a plant species is accompanied by increased chemical defence in invasive populations. *Biological Invasions* 13, 2091–2102.
- [12] S. Kleine, L. Weißinger, C. Müller (2017). Impact of drought on plant populations of native and invasive origins. *Oecologia* 183, 9–20.
- [13] J. M. Jeschke, T. Heger (2018). *Invasion Biology. Hypotheses and Evidence*. Wallingford, UK: CAB International.
- [14] L. J. Tewes et al. (2018). Intracontinental plant invader shows matching genetic and chemical profiles and might benefit from high defence variation within populations. *Journal of Ecology* 106, 714–726.

Verfasst von:



Caroline Müller hat an der Freien Universität Berlin Biologie studiert und auf dem Gebiet der chemischen Ökologie promoviert. Nach verschiedenen Postdoc-Positionen im Ausland, so am Boyce Thompson Institute in Ithaca, USA, und der Universität Leiden, Niederlande, war sie an der Universität Würzburg tätig, an der sie sich im Fach Ökologie habilitierte. Seit 2007 ist sie Professorin für Chemische Ökologie an der Universität Bielefeld. Sie ist in mehreren Gremien tätig und derzeit Sprecherin der Forschungsgruppe FOR 3000 zum Thema Chemodiversität bei Pflanzen.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Caroline Müller
Universität Bielefeld
Chemische Ökologie/Biologie
Universitätsstr. 25
33615 Bielefeld
E-Mail: caroline.mueller@uni-bielefeld.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

