

das Signal, um letzten Endes den Mechanismus für die Degradierung der Mikrotubuli zu aktivieren. Daher sind schon geringe Mengen an Carvon ausreichend, um eine Reaktion hervorzurufen – in diesem Fall eben die Wachstumshemmung von diversen Konkurrenten. Ein weiteres Argument für die Funktion als spezifisches Signal ist die Tatsache, dass chemisch ähnliche Moleküle nicht immer denselben Effekt auslösen, wie ein Gift es tun würde. Dies wurde bereits für Menthon und Menthol, die Hauptkomponenten des Pfefferminzöls, gezeigt. Menthol entsteht durch die Reduktion von Menthon und unterscheidet sich lediglich hinsichtlich einer einzigen Seitengruppe, die von einer Keto- zu einer Hydroxygruppe reduziert wird. Anders als für Menthon wurde für Menthol bisher weder eine Degradierung der Mikrotubuli noch eine Wachstumshemmung von Unkräutern festgestellt. Wären Monoterpene Gifte, so würden alle – auch Menthol – ab einer gewissen Konzentration dieselbe Wirkung aufweisen.

Sollte Carvon tatsächlich als spezifisches Signal wirken, bietet es sich hervorragend als potenzieller

Kandidat für die Anwendung als selektives Bioherbizid an, das spezifisch das Wachstum unerwünschter Unkräuter hemmt, nicht aber das unserer Nutzpflanzen. Durch die Anwendung selektiver Bioherbizide ließe sich deshalb die Biodiversität schützen und erhalten. Des Weiteren wäre denkbar, dass Carvon ebenfalls anthropogene Mikrotubuli degradieren kann und daher auch als Cytostatika in der Krebstherapie Verwendung finden könnte. Zielsetzung muss aber auch hier sein, dass spezifisch nur das Wachstum der Krebszellen und nicht das der gesunden Zellen gestoppt wird. Für eine solche spezifische Anwendung des Carvons bedarf es jedoch noch weiterer, intensiver Forschung.

### Literatur

- [1] G. W. Turner, R. Croteau (2004). Organization of Monoterpene Biosynthesis in *Mentha*. Immunocytochemical Localizations of Geranyl Diphosphate Synthase, Limonene-6-Hydroxylase, Isopiperitenol Dehydrogenase, and Pulegone Reductase. *Plant Physiology* 136, 4215–4227.
- [2] M. M. Sarheed et al. (2020). Cellular Base of Mint Allelopathy: Menthone Affects Plant Microtubules. *Front. Plant Sci.* 11, 546345.
- [3] E. H. Newcomb (1969). Plant Microtubules. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 20, 253–288.



**ABB. 3** Standard-Keimungstest mit Kresse (*Lepidium sativum*). 50 Samen wurden auf angefeuchtetem Filterpapier ausgelegt. In der Mitte wurde die zu testende Verbindung auf einem Deckglas aufgebracht, damit diese wie in der Natur nur über die Gasphase mit den Samen interagieren kann. Oben: Kontrolle mit Wasser. Unten: Behandlung mit dem Monoterpen Carvon. Fotos: Nina Spohrer.

Nathalie Hering,  
Botanisches Institut I, Karlsruher  
Institut für Technologie (KIT)

## BESTÄUBERBIOLOGIE

### Eine neue Partnerschaft mit Vögeln in der Neuen Welt

**Der Fingerhut, eine attraktive, auch bei uns heimische Schlagflurpflanze, ist nach seiner Einführung in Mittel- und Südamerika eine neue Partnerschaft mit Vögeln als Bestäuber eingegangen. Innerhalb weniger Jahrzehnte hat dies zu morphologischen Anpassungen geführt.**

Viele Blütenpflanzen sind von Bestäubern abhängig. Fehlen diese, etwa weil Bestäuber aussterben oder die Verbreitungsareale von Pflanzen und ihren Bestäubern infolge des Klimawandels nur noch eingeschränkt überlappen, so bekommen die Pflanzen ein Problem. Im günstigsten Fall können sie sich rasch durch Evolut-

ion anpassen (*evolutionary rescue*) oder sie finden andere Bestäuber. Besonders schwierig ist die Situation für Pflanzen, die auf einen einzigen, sehr speziellen Bestäuber angewiesen wird. Oft sind Blüten aber nur auf einen bestimmten Typus von Bestäubern spezialisiert (Bestäubungssyndrom). So unterscheidet

man z. B. zwischen robusten Käferblumen, langröhrigen Falterblumen, flachen Fliegenblumen und bilateral-symmetrischen (zygomorphen) Bienenblumen. Nehmen bestimmte Bestäubergruppen an Zahl ab oder fallen ganz weg, so kann durch Selbstbefruchtung, vegetative Vermehrung oder die rasche Anpassung an andere Bestäubergruppen das Problem umgangen werden. Wenig untersucht wurde aber bisher, was passiert, wenn keine Bestäuber wegfallen, sondern das Spektrum der Bestäuber größer wird.

Christopher Mackin et al. haben diesen Fall jetzt an dem auch bei uns heimischen Fingerhut (*Digitalis purpurea*) untersucht [1]. Ursprünglich nur in West- und Nordeuropa



**ABB. 1** Blüte eines Fingerhuts mit Basiskelch und Glocke. Abb.: J. Sander.

verbreitet, hat sich diese auf Schlagfluren häufige, zweijährige Art auch auf dem amerikanischen Kontinent in Regionen mit gemäßigtem Klima sowie in höheren Berglagen etabliert. Während in Europa die Bestäubung vor allem durch langrüsselige Hummelarten wie *Bombus hortorum* und *B. pascuorum* erfolgt, erhalten die Pflanzen in Mittel- und Südamerika auch Besuch durch Vögel, die dort eine wichtige Bestäubergruppe darstellen. Durchgeführt wurden die Untersuchungen an zwei räumlich klar getrennten Populationen in Kolumbien und Costa Rica, die wahrscheinlich auf unterschiedliche Einführungsereignisse zurückgehen, sowie an Populationen aus Südenland. Wahrscheinlich gibt es den Fingerhut an den beiden amerikanischen Standorten jeweils etwa seit dem Jahr 1850, was bei einer zweijährigen Pflanze rund 85 Generationen ausmacht.

### **Kolibris als häufige Blütenbesucher**

Selbstbefruchtung ist für den Fingerhut kein Problem, wenn die Bestäubung per Hand durchgeführt wird. Unter natürlichen Bedingungen führt das Fehlen von Bestäubern aber sowohl in Europa, als auch in Amerika zu einer verminderten Samenzahl. Die Anwesenheit von Bestäubern ist

also in beiden Fällen erforderlich. Den amerikanischen Populationen stehen dabei mehr Bestäuberarten zur Verfügung als den europäischen Populationen. Außerdem werden sie häufiger von Bestäubern besucht. Meist handelt es sich bei den Bestäubern der amerikanischen Population ebenso wie bei der europäischen Population um Hummeln. In etwa 22 Prozent der Fälle übernehmen allerdings Kolibris (z. B. *Eriocnemis* spp., *Aglaeactis* spp.) diese Funktion. Die Kolibris übertragen dabei auch mehr Pollen als die Hummeln. Andere Insekten außer Hummeln besuchen die Blüten nur selten und sind dann meist keine erfolgreichen Bestäuber, sei es, weil sie zu klein sind, um die Narbe zu berühren, sei es, weil sie an den langen Haaren an der Basis der Krone scheitern. Nektarraub durch Löcher, die in die Blütenbasis geschnitten werden, konnte bei den amerikanischen Populationen häufig beobachtet werden. In Europa fehlt dieses Phänomen. Oft beteiligten sich selbst legitime Blütenbesucher an diesem Diebstahl.

### **Ein längerer Basiskelch**

Der Blütenkelch des Fingerhuts besteht aus einer kurzen, schmalen Basis mit den Nektarien, die sich zu einem glockenförmigen Oberkelch erweitert (Abbildung 1). Interessan-

terweise besitzen die amerikanischen Populationen einen größeren, d. h. vor allem längeren, aber auch weiteren Basiskelch. Offensichtlich wirkt in der neuen Welt ein starker gerichteter Selektionsdruck auf dieses Merkmal, denn bereits 85 Generationen haben ausgereicht, um die Veränderung herbeizuführen. Die Hummeln können hierfür nicht verantwortlich sein, denn ihre Rüssellänge weist in Amerika und Europa keine Unterschiede auf. Verursacher dürften vielmehr die Vögel sein, die durch die größeren Basiskelche einen besseren Zugang zu den Blüten erhalten. Qualität und Menge des Nektars, zwei weitere Blüteneigenschaften, die häufig einem positiven Selektionsdruck durch Vögel unterliegen, sind hingegen gleich geblieben. Möglicherweise liegt dies daran, dass Fingerhüte ohnehin bereits viel Nektar bilden.

Dass ein Gründereffekt, also die zufällige Einführung einer kleinen Starterpopulation mit im Durchschnitt größeren Basiskelchen, für die Unterschiede verantwortlich ist, erscheint unwahrscheinlich, denn dann müsste sich dieser Effekt zweimal unabhängig in zwei ansonsten genetisch nicht enger verwandten Populationen ereignet haben. Außerdem würde man dann noch weitere zufällige morphologische Unterschiede erwarten.

Doch wie üben die Vögel ihren Selektionsdruck aus? Die Ergebnisse legen nahe, dass hierfür nicht Pollenmangel und infolgedessen Samenmangel verantwortlich ist, der von den Vögeln als zusätzliche Bestäuber abgemildert wird. Es könnte aber sein, dass die Vögel die Pollen über größere Distanzen transportieren. Dadurch würde statt der Quantität die Qualität der Samen steigen, weil Inzucht bei einer Bestäubung durch benachbarte Pflanzen wahrscheinlicher ist.

### **Literatur**

- [1] C. R. Mackin et al. (2021). *J. Ecol.*, <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13636>

Johannes Sander, Halver