

sondere waren die RNAs auch in den Schoten und Blüten zu finden. Wenn die gRNAs auf das Gen für die Nitratreduktase zugeschnitten waren, traten in den Nachkommen von den gepfropften Wildtyp-Sprossen mit einer geringen Frequenz homozygote Nitratreduktase-Mutanten auf. Das bedeutet, dass in den Blüten die Gensche hergestellt wird und aktiv ist, so dass die Editierungsereignisse in den Samen gefunden werden.

Damit konnten durch eine Kombination aus klassischem Pfropfen und der neuen CRISPR/Cas9-Technologie genomeditierte Pflanzen hergestellt werden, ohne dass Gewebekultur oder aufwändiges Rückkreuzen zur Eliminierung der Transgene notwendig waren. Andererseits muss für jede geplante Mutation eine neue

transgene Pflanze hergestellt werden, deren Wurzelstock eingesetzt werden kann.

Pfropfen dient in der Landwirtschaft routinemäßig zur Veredelung von Obstbäumen oder Reben und funktioniert auch zwischen weiter entfernten verwandten Arten. Tatsächlich konnten durch Pfropfen von Wildtyp-Sprossen von *Brassica rapa* (Rübsen) auf einen transgenen *Arabidopsis*-Wurzelstock genomeditierte Rübsen-Pflanzen erhalten werden.

Eine Entdeckung der pflanzenmolekularbiologischen Grundlagenforschung – die Sequenzmotive, die die Mobilität von RNAs in der Pflanze vermitteln – erweitert den Werkzeugkasten der CRISPR/Cas9-vermittelten Genomeditierung von Pflanzen beträchtlich.

Literatur

- [1] P. Schindele et al. (2018). Das CRISPR/Cas-System. *Biologie in unserer Zeit* 48(2), 100–105.
- [2] Z. Liang et al. (2017). Efficient DNA-free genome editing of bread wheat using CRISPR/Cas9 ribonucleoprotein complexes. *Nat Commun* 8, 14261.
- [3] L. Yang et al. (2023). Heritable transgene-free genome editing in plants by grafting of wild-type shoots to transgenic donor rootstocks. *Nature Biotechnology* <https://doi.org/10.1038/s41587-022-01585-8>
- [4] J. Kehr et al. (2022). Long-Distance Transported RNAs: From Identity to Function. *Annu Rev Plant Biol* 73, 457–474.

Dorothee Staiger,
Lehrstuhl für RNA Biologie und
Molekulare Physiologie,
Fakultät für Biologie,
Universität Bielefeld,
Dorothee.staiger@uni-bielefeld.de

CHEMISCHE ÖKOLOGIE

Ozonexposition stört Partnerwahl bei Taufliiegen

Mit der Oxidation des männlichen Sexualpheromons der Taufliergie *Drosophila melanogaster* zerstört Ozon ein wichtiges Erkennungsmerkmal, das Männchen als Paarungspartner bzw. Konkurrenten ausweist. Im Laborexperiment sorgt das bei der Paarung für Verwirrung. Im Freiland könnte der Fortpflanzungserfolg von Insektenarten gefährdet sein, deren Geschlechter über weite Entfernungen mit Pheromonen kommunizieren.

Der Ozonhaushalt in der Erdatmosphäre zeigt folgeschwere vom Menschen verursachte Veränderungen: Die Ozonschicht der Stratosphäre, lebenswichtiger Schutzschild gegen UV-Strahlen, nimmt bekanntlich unter dem Einfluss halogener Kohlenwasserstoffe ab. Die Folge ist ein im Sommer über das natürliche Maß hinaus vergrößertes Ozonloch. In den bodennahen Luftschichten der Troposphäre dagegen erhöhen anthropogene Emissionen bei austauscharmen Wetterlagen im Sommer die Ozonkonzentration. Dies geschieht weniger durch direkte Ozonemissionen als durch Stickoxide und andere

oxidierend wirkende Schadstoffe aus Verbrennungsprozessen, unter deren Einfluss sich die von der Sonnenstrahlung getriebene Ozonbildung verstärkt [1].

Obwohl die bodennahen Ozonkonzentrationen erst seit kurzem systematisch erfasst werden und global gesehen bis heute nicht flächendeckend, lassen Modellrechnungen vermuten, dass sich im Vergleich zur vorindustriellen Zeit die durchschnittliche Ozonbelastung global mindestens verdoppelt hat. Als geringe Belastung gelten Volumenanteile in der Größenordnung von 2×10^{-8} , bei Smog sind temporär zehnfach höhere Werte möglich.

Besonders der südliche Teil der Nordhalbkugel ist davon betroffen – mit in Ostasien einschließlich Japan überwiegend steigender Tendenz, während in manchen Regionen Nordamerikas und Europas die Maßnahmen zur Luftreinhaltung inzwischen Erfolge zeigen [2].

Während die Folgen für die Gesundheit des Menschen – vor allem Reizungen der Atemwege – hinlänglich bekannt sind, kommen die ökologischen Auswirkungen erhöhter Ozonwerte in Bodennähe erst nach und nach ans Licht: Ozon-exponierte Pflanzen wachsen langsamer. Weiterhin verlieren ihre Blüten an Attraktivität für Bestäuber, weil Duftstoffe durch Ozon oxidativ abgebaut werden. Bestäuber wie Hummeln oder Wespen wiederum zeigen unter Ozoneinwirkung in elektrophysiologischen Untersuchungen abnehmende Empfindlichkeit der olfaktorischen Wahrnehmung [3]. All diese Effekte betreffen auch die Landwirtschaft, deren Erträge sinken.

Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für chemische Ökologie in Jena berichten jetzt am Beispiel der

ABB. 1 Kette balzender Taufliegen-Männchen, die sich unter Einwirkung von Ozon gegenseitig umwerben. Foto: Benjamin Fabian (Max-Planck-Institut für chemische Ökologie).



Taufliege *Drosophila melanogaster* (Abbildung 1), dass erhöhte Ozonkonzentrationen auch die Erkennung von Artgenossen mittels Sexualpheromonen stören [4]. Sie berichten, dass Ozon in bei Smog gängigen Konzentrationen ($5 - 20 \times 10^{-8}$) ausreicht, um mehrere Sexualpheromone der Taufliegen oxidativ zu zerstören, darunter das von männlichen Individuen gebildete cis-Vaccenylacetat. Als Angriffspunkt dienen die bei Sexualpheromonen typischen Doppelbindungen im Molekül. Werden männliche Taufliegen im Labor experiment erhöhten Ozonkonzentrationen ausgesetzt, so wirken sie weniger attraktiv auf die Weibchen. Diese lassen sich erst nach längerem Zögern auf die Paarung ein, obwohl das Werbeverhalten der mit Ozon behandelten Männchen von dem unbehandelten Artgenossen nicht unterscheidbar ist. Nach einer zwei-stündigen Ozonexposition können die Männchen ihr normales Geruchsspektrum nur langsam regenerieren. Die vollständige Wiederherstellung des Normalzustands nimmt fünf Tage in Anspruch.

Bemerkenswert ist, dass sich Ozon-exponierte männliche Artgenossen gegenseitig umwerben und

zwar ebenso intensiv wie die Weibchen. Für die Forscher ist dieses fehlgeleitete Verhalten nicht überraschend, denn die Taufliegen-Männchen erkennen ihre Konkurrenten normalerweise am Duft des männlichen Pheromons.

Zerstörung des Pheromons

Neurophysiologische Untersuchungen lieferten keine Hinweise auf eingeschränkte Geruchsdetektion, demnach scheint für das veränderte Verhalten der Taufliegen die Zerstörung des Duftsignals entscheidend zu sein.

Acht weitere Arten der Gattung *Drosophila*, deren Partnerwahl ebenfalls durch oxidationsempfindliche olfaktorische Signale bestimmt wird, zeigten entsprechende Verhaltensstörungen. Bei *D. buskii* war der Einfluss von Ozon weniger ausgeprägt – vermutlich ist deren männliches Pheromon stabiler, da es keine Doppelbindung aufweist. Einzig bei der Kirschessigfliege *D. suzukii*, deren Partnerwahl als visuell orientiert gilt, war keinerlei Effekt von Ozon nachweisbar.

Die Wissenschaftler zeigen sich alarmiert. Sie vermuten, dass die Fortpflanzung bei vielen weiteren

Insektenarten betroffen sein könnte, denn oxidationsempfindliche Doppelbindungen sind ein typisches Merkmal von Pheromonen. Das kann sich besonders bei Nachfaltern nachteilig auswirken – allen voran bei Schwärmern, die ihre Partner über weite Entfernung anhand nur weniger Pheromonmoleküle auffinden. Infolgedessen sind ihre Duftsignale einige Zeit lang dem Ozon ausgesetzt, bevor sie beim Empfänger ankommen. Da sich die Kommunikation mittels Duftsignalen in einem Jahrtausenden dauernden Prozess entwickelt hat, stellt sich die Frage, ob eine Anpassung an die veränderten Verhältnisse im Anthropozän schnell genug erfolgen kann, um den Fortbestand der Arten zu sichern. Immerhin scheint im Zusammenhang mit verändertem Blütenduft eine Anpassung bestäubender Insekten greifbar (siehe BiuZ 50/6, 2020, 388–389). Da bei der Bestäubung auch visuelle Signale relevant sind und der Anflug von Blüten mit den passenden Saftmalen unmittelbar durch Nektar oder Pollen belohnt wird, hilft in diesem Fall die Lernfähigkeit der Insekten. Vergleichbare Lernvorgänge im Zusammenhang mit der Fortpflanzung sind bislang nicht bekannt.

Die Befunde lassen den Schluss zu, dass erhöhte Ozonwerte in Bodennähe zusammen mit anderen Faktoren den aktuell eklatanten Zusammenbruch von Insektenpopulationen beschleunigen könnten. Neben der Einschränkung des Pestizidgebrauchs in der Landwirtschaft und Maßnahmen zur Biotoppflege sollte demnach die Luftreinhaltung mit Priorität vorangetrieben werden.

Literatur

- [1] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/ozon>
- [2] G. Mills, et al. (2018). *Elem. Sci. Anth.* 6, 47.
- [3] M. Vanderplanck, et al. (2021) *Antioxidants* 10, 636.
- [4] N.-J. Jiang, et al. (2023). *Nat. Comm.* 14, 1186.

Annette Hille-Rehfeld, Stuttgart