https://gen-ethisches-netzwerk.de/node/4174

Gen-ethischer Informationsdienst

Klimatoleranz: komplex und unverstanden

Wie reagieren Pflanzen auf Stress und wie weit ist die Forschung?

AutorIn
Katharina Kawall



Geforscht wird unter anderem an Getreidesorten wie Gerste oder Weizen. Foto: Pixabay/4047001

Hitze, Trockenheit, Salze im Boden: Kulturpflanzen müssen sich an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen. Schnelle Lösungen mittels neuer Gentechnikverfahren erscheinen verlockend. Aber die Reaktion von Pflanzen auf Stressfaktoren ist komplex und bisher nicht vollständig erforscht.

Der Klimawandel ist in vollem Gange. Neben Reduktionsstrategien muss die Landwirtschaft auch Anpassungsstrategien entwickeln. Die Probleme, die der Klimawandel für die Landwirtschaft hervorbringt, sind zahlreich. So kommt es zum Beispiel zur Verfrühung der Vegetationsperiode: Obstbäume, Sträucher oder Wein blühen früher und können dann Frühjahresfrösten ausgesetzt werden. Mildere Winter mit weniger

Frosttagen führen dazu, dass pflanzenschädigende Viren, Pilze und Insekten nicht absterben und sich stärker ausbreiten können. Außerdem kommt es zunehmend zu extremen Wetterereignissen, wie lange Hitze- und Trockenperioden oder zu heftigen Niederschlägen, oft in solchen Mengen und in so kurzer Zeit, dass das Wasser nicht vom Boden aufgenommen werden kann.

Wie reagieren Pflanzen auf akute Stressbedingungen, wie sie der Klimawandel hervorbringt?

Die Antworten der Pflanzen auf Stressbedingungen sind komplex, denn es sind viele verschiedene Komponenten beteiligt. Die Reaktionen sind auch abhängig vom Einsetzen, der Dauer und der Intensität des Stresses. Bestimmte Stress-Gene müssen in den verschiedenen Teilen (Wurzel, Stängel, Blätter, Blüte) und in verschiedenen Entwicklungsstadien (Samen, Keimung, Längenwachstum, etc.) der Pflanzen koordiniert an- oder abgeschaltet werden, um auf die jeweilige Stresssituation zu reagieren. Oft treten verschiedene Stressbedingungen auch in Kombination auf, was die Regulierung der Stressantwort der Pflanzen noch komplexer werden lässt.
Grundsätzlich wird zwischen abiotischen und biotischen Stressfaktoren unterschieden: Abiotische Stressfaktoren bezeichnen den Einfluss der nicht-lebenden Umwelt auf die Pflanzen, also Trockenheit, Hitze, Frost, salzhaltige Böden und Nährstoffmangel. Mit biotischen Stressfaktoren sind alle Einflüsse, die von lebenden Organismen ausgehen, gemeint. Biotische Stressfaktoren sind also die Wechselwirkung zwischen Lebewesen, wie zum Beispiel ein Befall der Pflanzen durch Viren, Pilze und Insekten.

Reaktion von Pflanzen auf abiotischen Stress

Gerade für Pflanzen ist abiotischer Stress besonders problematisch. Denn sie sind in der Erde festgewachsen und können nicht „flüchten“, sondern müssen einen Weg finden sich auf neue, weniger optimale Umweltbedingungen einzustellen.
Bei Hitze überschreitet die Temperatur der Luft und des Bodens einen Grenzwert, der von Pflanze zu Pflanze unterschiedlich ist und mindestens 5°C über deren optimalen Wachstumsbedingung liegt. Ist dieser für eine gewisse Zeit überschritten, beeinflusst dies das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen: Es kann z.B. zu niedrigerem Ertrag aufgrund von weniger Massebildung kommen.
Bei Trockenheit ist die Feuchtigkeit des Bodens und der Luft gering und die Umgebungstemperatur hoch. So kommt es in Pflanzen zu einem Ungleichgewicht zwischen der Verdunstung von Wasser und der Wasseraufnahme aus dem Boden. In den meisten Fällen geht Hitzestress auch mit Trockenheitsstress einher. Pflanzen können als Reaktion auf eine langanhaltende Trockenheit zum Beispiel ihr Wurzelwachstum verstärken. Denn je trockener es ist, umso größer und tiefer sollte das Wurzelwerk wachsen, um möglichst viel Wasser aus den tieferen Schichten aufnehmen zu können. Tieferes Wurzelwachstum verbraucht allerdings Energie, die die Pflanzen eigentlich an anderer Stelle zum Wachsen brauchen. Daher kommt es bspw. zu Einbußen bei den Ernteerträgen oder Frühreife, das Wachstum wird frühzeitig gebremst, die Qualität leidet, die Körner fallen kleiner aus.
Außerdem können Pflanzen ihre Spaltöffnungen an der Unterseite der Blätter dazu nutzen, um den Gasaustausch mit der Umgebung zu regulieren. Sind die Spaltöffnungen offen kann Wasser verdunsten, weswegen eine der ersten Reaktionen der Pflanzen auf Hitze und Trockenheit das Schließen der Spaltöffnungen ist. Das wird unter anderem durch die Bildung eines pflanzlichen Hormons namens Absciscinsäure in den Blättern reguliert. Dieses Hormon ist vor allem an den Reaktionen von Pflanzen auf abiotischen Stress beteiligt. Häufig regulieren Phytohormone mehrere Vorgänge in Pflanzen, d.h. auch, dass andere Prozesse ggf. von einer veränderten Bildung betroffen sind.

Reaktion von Pflanzen auf biotischen Stress

Biotischer Stress wird bei Pflanzen durch den Befall von lebenden Organismen wie Pilzen, Bakterien, Insekten oder auch Viren verursacht. Pflanzen müssen schnell wahrnehmen, dass sie mit Krankheitserregern infiziert oder von Schädlingen oder Fressfeinden verletzt werden, um mit entsprechenden

Abwehrmechanismen darauf reagieren zu können. Dabei müssen individuelle Zellen der Pflanze den Schaden wahrnehmen und die gesamte Pflanze (und andere Pflanzen) mit der Produktion von Signalmolekülen alarmieren. Dadurch werden Mechanismen in Gang gesetzt, die eine Abwehr gegenüber Fressfeinden ankurbeln und so zum Beispiel Prädatoren (andere Insekten oder Parasiten) anlockt, welche ihrerseits die Schädlinge befallen. Außerdem wird durch die Aktivität verschiedener Gene der Heilungsprozess des verletzten Gewebes angeschaltet.

Welche Möglichkeiten bieten die neue Gentechnikverfahren, das Erbgut von Pflanzen zu verändern?

Ein oft genanntes Ziel der neuen Gentechnikverfahren soll die stark beschleunigte Entwicklung von „Klima-toleranten“ Pflanzen sein, um auf die sich verändernden Umweltbedingungen zu reagieren. Dazu sollen gezielt die Gene verändert werden, die an der Reaktion von Pflanzen auf bestimmte Stressfaktoren beteiligt sind. Die Hoffnung kommt daher, dass mit der sogenannte Genschere CRISPR-Cas ganz neue, komplexe Veränderungen am Erbgut möglich werden, wie sie bisher kaum umsetzbar sind.[1] Es können etwa gleichzeitig mehrere verschiedene Abschnitte/Gene auf dem Erbgut verändert werden. Dieser Einsatz der Genschere wird auch Multiplexing genannt. Auf diese Weise wurden zum Beispiel in Reispflanzen gleichzeitig acht verschiedene Gene verändert und auf Feldern des China National Rice Research Institut angebaut. So wurde unter anderem der Ertrag erhöht und die Wuchsform und der Duft von Reis verändert.[2] Außerdem können mit der Genschere alle DNA-Bereiche, die dieselbe Zielsequenz besitzen, verändert werden. Das ist vor allem bei Pflanzen interessant, denn viele landwirtschaftlich relevante Pflanzen besitzen mehrere Chromosomensätze (sie sind polyploid) und haben häufig viele Kopien eines Gens in ihrem Erbgut. Der Weizen hat zum Beispiel einen sechsfachen, Kartoffeln und Baumwolle haben einen vierfachen Chromosomensatz.
Außerdem können nun mit CRISPR-Cas Gene verändert werden, die genetisch miteinander gekoppelt sind und gemeinsam vererbt werden. All diese Möglichkeiten können theoretisch nun von WissenschaftlerInnen dazu verwendet werden, um das Erbgut von Zielorganismen so zu verändern, dass sie stresstoleranter werden.

Überblick über den wissenschaftlichen Stand der Entwicklung von stresstoleranten Pflanzen

Doch wie sieht es denn zurzeit in der Wissenschaft mit der Entwicklung von stresstoleranten Pflanzen aus? Ein Blick in die wissenschaftliche Literatur der letzten Jahre zeigt eindeutig: Die Genscheren werden überwiegend in der Grundlagenforschung eingesetzt, um zunächst die Regulation von Genen aufzuklären, die unter bestimmten Stressbedingungen an der Reaktion von Pflanzen beteiligt sind. Dabei werden häufig einzelne Gene (oder mehrere Gene gleichzeitig) ausgeschaltet und dann der Effekt davon auf die Entwicklung und den Ertrag der Pflanzen unter bestimmten Stressbedingungen geprüft. Oft sind das Gene, die unter bestimmten Stressbedingungen verstärkt gebildet oder gehemmt werden.
Es lassen sich auch Studien finden, die CRISPR-Cas verwenden, um marktorientierte also für die Kommerzialisierung interessante Eigenschaften in Nutzpflanzen zu verändern, und die unter anderem an stress-toleranteren Pflanzen arbeiten.[3] Die meisten dieser genomeditierten Pflanzen werden unter Laborbedingungen angebaut und untersucht. Eine Analyse der derzeitigen marktorientierten Anwendungen von CRISPR-Cas zeigt: Derzeit gibt es noch keine genomeditierte Pflanze, die besonders gut mit abiotischen Stressfaktoren umgehen kann. In der Kategorie der marktorientierten Anwendungen wurden auch die wenigsten Studien veröffentlicht (insgesamt nur 5 relevante Studien) – ein Hinweis darauf, dass es in eben dieser Kategorie enorm schwierig ist, die komplexen Stressantworten der Pflanzen erfolgreich zu verändern. CRISPR-Cas wird beispielsweise dazu verwendet, zwei agronomisch-relevante Eigenschaften in der Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*, die v.a. als Modellpflanze verwendet wird) miteinander zu kombinieren. Dafür wurden mehrere Gene gleichzeitig verändert, um so eine erhöhte Samengröße mit einer verstärkten Toleranz gegenüber Trockenheit zu verknüpfen.[4] Doch welche Auswirkungen diese Veränderungen auf die Entwicklung der Pflanzen haben, muss in Langzeitstudien und unter verschiedenen Stressbedingungen überprüft werden. Die Laborbedingungen spiegeln häufig nur wenige Szenarien wider,

denen die Pflanzen unter realen Freilandbedingungen ausgesetzt sein werden. Hierbei sollte auch untersucht werden, inwieweit die genomeditierte Veränderung dieser Pflanzen sich auf andere Organismen im Ökosystem auswirken.
Das Konzept „Urban Agriculture“ hingegen baut auf die Anpassung von Pflanzen an Anbaubedingungen in städtischen Gebieten. Bspw. wurden Tomaten mit CRISPR-Cas so verändert, dass sie schneller blühen sollen als andere Tomaten und einen büschelartigen Wuchs haben.5 Bei der Kiwi wurden zwei Gene verändert und so ein kompakteres Wachstum und eine frühe Blüte erreicht.6 Solche Pflanzen, die einen kleineren Wuchs haben und schnell Früchte tragen, sollen den begrenzten Platz in städtischen Regionen ausnutzen und für mehr Ernte sorgen.
Ein weiterer Ansatz zielt darauf ab, wilde Verwandte heutiger Nutzpflanzen mit Hilfe der neuen Gentechnikverfahren an heutige Züchtungserfolge anzupassen, ein Vorgang, der auch *de novo* Domestikation genannt wird. 7 Hintergrund ist, dass wilde Verwandte viele erwünschte Eigenschaften in sich tragen, wie eine erhöhte Toleranz gegenüber Krankheitserregern und weitere Stress-Toleranzen, die über viele Jahre der Pflanzenzüchtung verloren gegangen sind.

Fazit: Klimatoleranz ist komplex und noch unverstanden

Wenn Pflanzen durch Genome Editing verändert werden, kann in mehrere Stoffwechselwege eingegriffen werden. Das kann unbeabsichtigte Folgen für die Pflanzen und die Umwelt nach sich ziehen. Dabei gilt, je mehr Zielgene gleichzeitig verändert werden, umso komplexer wird der gentechnische Eingriff in den Stoffwechselkreislauf der pflanzlichen Zellen. Es sollte daher geprüft werden, welche Auswirkungen die beabsichtigten Eigenschaften auf den Organismus selbst und auf deren interagierende Umwelt haben. Ungewollte Veränderungen können mittels Sequenzierungen ganzer Genome (Whole Genome Sequencing) und umfassender Analysen der Veränderungen festgestellt werden. Damit diese Prüfungen sichergestellt werden, braucht es eine Regulierung der neuen Gentechnikverfahren nach bestehendem EU-Gentechnikrecht.
Die Ausführungen zeigen, dass die Regulation der Genexpression von Stress-Genen sehr komplex ist. Stressantworten der Pflanze werden durch viele verschiedene Faktoren reguliert, die unterschiedliche Mechanismen der Zellen beeinflussen. Es sind eine Vielzahl von Signalwegen daran beteiligt. Dieses Netzwerk muss zunächst einmal im Einzelnen aber auch gerade in seiner Komplexität verstanden werden. Im Moment werden vor allem einzelne Komponenten der Stressnetzwerke und ihre Zusammenhänge erforscht und aus- oder angeschaltet. Dies führt zu Einzelerkenntnissen, nicht aber zum Verständnis der Komplexität als Ganzes.

- 1Kawall, K. (2019): Die neuen Gentechnikverfahren. Eine Bewertung aus naturwissenschaftlicher Sicht. Kritischer Agrarbericht, Schwerpunkt „Landwirtschaft für Europa“, Kapitel 9. Online: www.kurzelinks.de/gid255-pa oder www.kritischer-agrarbericht.de [letzter Zugriff: 20.10.20]; Kawall, K. (2019b): New possibilities on the horizon: genome editing makes the whole genome accessible for changes. Front. Plant Sci. 10, 525, doi: 10.3389/fpls.2019.00525.
- 2Shen, L./Hua, Y./Fu, Y. et al. (2017): Rapid generation of genetic diversity by multiplex CRISPR/Cas9 genome editing in rice. Sci China Life Sci 60(5), 506-515, doi: 10.1007/s11427-017-9008-8.
- 3Modrzejewski, D./Hartung, F./Sprink, T. et al. (2020): Aktualisierung der Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mittels neuer molekularbiologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden – marktorientierte Anwendungen. Online: www.kurzelinks.de/gid255-pb oder www.bmel.de [letzter Zugriff: 20.10.20].
- 4Chen, S./Zhang, N./Zhang, Q. et al. (2019): Genome Editing to Integrate Seed Size and Abiotic Stress Tolerance Traits in Arabidopsis Reveals a Role for DPA4 and SOD7 in the Regulation of Inflorescence Architecture. Int J Mol Sci 20(11), doi: 10.3390/ijms20112695.
- 5Kwon, C.T./Heo, J./Lemmon, Z.H. et al. (2020): Rapid customization of Solanaceae fruit crops for urban agriculture. Nat Biotechnol 38(2), 182-188, doi: 10.1038/s41587-019-0361-2.
- 6Varkonyi-Gasic, E./Wang, T./Voogd, C./Jeon, S./Drummond, R.S.M./Gleave, A.P. et al. (2019): Mutagenesis of kiwifruit CENTRORADIALISlike genes transforms a climbing woody perennial with long juvenility and axillary flowering into a compact plant with rapid terminal flowering. Plant

Biotechnol J 17(5), 869-880, doi: 10.1111/pbi.13021.
- 7Fernie, A.R./Yan, J. (2019): De Novo Domestication: An Alternative Route toward New Crops for the Future. Mol Plant 12 (5), 615-631, doi:10.1016/j.molp.2019.03.016.

Informationen zur Veröffentlichung

Erschienen in:
GID Ausgabe 255 vom November 2020
Seite 8 - 10