

InterNutrition POINT

Aktuelles zur grünen Biotechnologie

Nr. 201
Januar 2019

Inhalt

- Pflanzenforschung: Super-Photosynthese für die Ernährungssicherheit*S. 1
- Biofortifikation: Eisen- und Zink-angereicherter Maniok bewährt sich im Freiland*S. 2
- «Base Editing»: Neue Techniken der Genom-Chirurgie ermöglichen noch präzisere Veränderungen des Pflanzen-Erbguts*S. 3
- Forschung Schweiz: Gerste und Mais mit Pilzresistenzgen Lr34 aus Weizen sollen im Freiland geprüft werden*.....S. 5

Pflanzen- Forschung



Ertragssteigerungen bei Pflanzen können einen wichtigen Beitrag zur Welternährung leisten

Super-Photosynthese für die Ernährungssicherheit

Die Photosynthese, die von Energie aus Sonnenlicht angetriebene Umwandlung von Wasser und Kohlendioxyd aus der Luft zu Zucker als Baustoff und Energieträger, ist der zentrale Prozess, durch den auf der Erde Biomasse aus anorganischer Materie entsteht. Sie ermöglicht das Wachstum von Pflanzen. Wenn es möglich wäre, die Effizienz der Photosynthese zu steigern, könnte so möglicherweise die Produktivität von Nutzpflanzen gesteigert werden. Das könnte die Erträge ohne zusätzlichen Flächen- oder Ressourcenverbrauch steigern und einen wichtigen globalen Beitrag zur Ernährung der weiter wachsenden Bevölkerung leisten. Weltweit arbeiten Wissenschaftler daher daran, mit verschiedenen Strategien die Photosynthese in Pflanzen zu verbessern.

Ein wichtiger Ansatz dabei ist es, die Photorespiration (Lichtatmung) zu umgehen. Das ist ein Nebenweg der Photosynthese, der zum Abbau eines eigentlich unerwünschten Zwischenprodukts erforderlich ist. Das Schlüsselsystem der Photosynthese (RUBISCO) kann gelegentlich statt Kohlendioxyd auch Sauerstoff binden und in den Stoffwechsel-Zyklus einführen. Dadurch entsteht das toxische 2-Phosphoglycolat, das in den Pflanzenzellen in einem energieaufwändigen Prozess abgebaut werden muss. Dabei geht bis zu 40% der aus dem Sonnenlicht eingefangenen Energie wieder verloren. Die Photorespiration wird daher auch als «einer der verschwenderischsten Prozesse auf der Erde» bezeichnet.

Ein Forscherteam um Donald R. Ort von der University of Illinois, Urbana (USA) untersuchte verschiedene Anpassungen des Photosynthese-Stoffwechsels in Tabakpflanzen, durch den Einbau von 17 unterschiedlichen Genkonstrukten. Dabei stellte sich der einfachste Ansatz als der wirksamste heraus. Ein Stoffwechselgen aus dem Kürbis und ein anderes aus einer Alge ermöglichen zusammen einen wirksamen Abbau von 2-Phosphoglycolat über Glycolat in den Chloroplasten, ohne grosse Energiekosten. Besonders effizient war diese Stoffwechsel-Abkürzung, wenn zusätzlich die Aktivität eines Glycolat-Transportsystems in Tabak blockiert wurde, um den Verlust von Glycolat aus den Zellorganellen zu reduzieren.

Transgene Tabakpflanzen mit der Glycolat-Stoffwechsel-Abkürzung und dem blockierten Transporter wiesen durch die eingesparte Energie der

Photorespiration eine deutlich verbesserte Effizienz der Photosynthese auf. In Feldversuchen produzierten diese Pflanzen bis zu 41% mehr Biomasse – eine enorme Steigerung, von der die Forscher hoffen dass sie sich auch auf andere Pflanzen übertragen lässt und hier zu Ertragssteigerungen führt.

Nur wenige Tage später veröffentlichten chinesische Forscher ihre Resultate eines sehr ähnlichen Ansatzes in Reis. Sie hatten drei Reis-Gene angepasst und zurück in Reis eingeschleust, ebenfalls um eine Stoffwechselweg-Abkürzung für Glycolat in den Chloroplasten zu ermöglichen. Auch sie waren erfolgreich, und konnten die verschwenderische Photorespiration auf diesem Weg reduzieren. Die dadurch ermöglichte Energieeinsparung führte ebenfalls zu einem verbesserten Wachstum: die Photosynthese-optimierten Reispflanzen gedeihen auf dem Feld grüner, grösser und kräftiger, und hatten eine um 14% - 35% erhöhte Biomasse. Der Reis-Ertrag pro Pflanze hing allerdings vom Zeitpunkt der Aussaat ab: im Frühjahr gesäte Pflanzen wiesen eine Ertragssteigerung von 7% – 27% auf, bei den im Herbst gesäten Pflanzen zeigte sich ein Ertragsrückgang von 13% – 16%. Dieser Rückgang hing mit einer reduzierten Körnerreife zusammen, die Ursache dafür und der Zusammenhang mit der verbesserten Photosynthese ist noch nicht bekannt.

Es besteht noch umfassender Forschungsbedarf, um herauszufinden welche Auswirkungen die Steigerung der Photosynthese-Effizienz auf die Physiologie und die agronomischen Eigenschaften der Pflanzen haben. Die beiden hier beschriebenen, unabhängig mit ähnlichen, aber verschiedenen Ansätzen in Tabak und Reis erzielten Resultate lassen hoffen, dass durch eine Umgehung der verschwenderischen Photorespiration deutliche Steigerungen bei der Pflanzenproduktivität erzielt werden können – und so vielleicht sogar der erforderliche grosse Ertragsprung erreicht werden kann, der für eine sichere Ernährung der Weltbevölkerung erforderlich ist.

Quellen: Paul F. South et al. 2019, [Synthetic glycolate metabolism pathways stimulate crop growth and productivity in the field](#), Science 363:eaat9077 (DOI:10.1126/science.aat9077); Marion Eisenhut & Andreas P. M. Weber, [Improving crop yield](#), Science 363:32-33; Bo-Ran Shen et al. 2019, [Engineering a New Chloroplastic Photorespiratory Bypass to Increase Photosynthetic Efficiency and Productivity in Rice](#), Molecular Plant (online 10.01.2019, DOI:10.1016/j.molp.2018.11.013); [Rice plants engineered to be better at photosynthesis make more rice](#), Science Daily, 10.01.2019

Bio- Fortifikation

Eisen- und Zink-angereicherter Maniok bewährt sich im Freiland

Der «versteckte Hunger», der Mangel an wichtigen Mikronährstoffen wie Mineralien, Spurenelementen und Vitaminen, betrifft breite Bevölkerungskreise in Entwicklungsländern – besonders dort, wo die Ernährung einseitig auf wenige Grundnahrungsmittel mit beschränktem Gehalt an Mikronährstoffen ausgerichtet ist. So leiden in Nigeria 75% der Vorschulkinder und zwei Drittel der Schwangeren an durch Eisenmangel ausgelöster Anämie, 20% der Kinder unter fünf Jahren mangelt es an Zink. In beiden Fällen können Gesundheit und Entwicklung deutlich beeinträchtigt werden. Maniok, eines der Grundnahrungsmittel in Westafrika, hat nur einen geringen Gehalt an Eisen und Zink, und trägt so weniger als 10% zu der Versorgung der Bevölkerung mit diesen Mikronährstoffen bei.

Schon länger arbeiten Forscher daran, den Eisen- und Zinkgehalt von Maniokwurzeln durch eine Verbesserung der genetischen Eigenschaften zu steigern (Biofortifikation). Im Jahr 2005 startete ein ehrgeiziges Forschungsprogramm als Zusammenarbeit zwischen den USA, Nigeria und

Kenia mit Finanzierung durch die Bill & Melinda Gates Stiftung. Das Ziel dabei war die Entwicklung von krankheitsresistenten Maniok-Pflanzen, deren Wurzeln mehr Eiweiss, Vitamine und Spurenelemente enthalten. Für die Anreicherung mit Zink und Eisen wurden gentechnische Ansätze beschrieben, die zunächst im Labor erfolgreich schienen, aber entweder im Freiland nicht die erhoffte Verbesserung der Wurzel-Zusammensetzung zeigten, oder bei denen das Pflanzenwachstum beeinträchtigt war. Allerdings scheint sich der lange Atem des internationalen Forschungsteams gelohnt zu haben: in der renommierten Fachzeitschrift *Nature Biotechnology* beschreiben sie nun Maniok-Pflanzen, deren Wurzeln deutlich gesteigerte Mengen von Eisen und Zink enthalten, und die in Feldversuchen günstige agronomische Eigenschaften aufweisen.

Den Maniok-Pflanzen wurden durch Agrobakterium-vermittelte Transformation im Labor zwei Gene aus der Modellpflanze *Arabidopsis* übertragen: eins für ein Eisen-Transportsystem (IRT1), das die Aufnahme aus dem Boden über die Wurzeln fördert, ein anderes (FER1) für die Produktion der Eisen-Speichersubstanz Ferritin, welches Eisen effizient bindet und so in den Wurzeln anreichert. In mehrjährigen Feldversuchen in Puerto Rico konnte gezeigt werden, dass die transgenen Maniok-Pflanzen in ihren Wurzeln 7–18 Mal mehr Eisen und 3–10 Mal mehr Zink enthielten als nicht genetisch veränderte Kontrollpflanzen. Wachstum und Ertrag der verbesserten Pflanzen waren vergleichbar mit den unveränderten Kontrollen.

Rohe Maniok-Wurzeln enthalten schädliche Mengen an toxischen Substanzen (Cyanide), die vor einem Verzehr durch eine aufwändige Zubereitung entfernt werden müssen. Würden die Wurzeln dabei ihren erhöhten Mineralstoffgehalt wieder verlieren? Um das zu prüfen, bereiteten die Forscher durch Hacken, Einweichen, Fermentieren, Auspressen und Rösten der Wurzeln die traditionellen westafrikanischen Speisen Gari und Fufu zu. Aufgrund ihrer Messungen konnten sie zeigen, dass die gentechnisch verbesserte Manioksorte als Bestandteil der täglichen Ernährung 30–50% des Tagesbedarfs an Eisen, und 40–70% des Tagesbedarfs an Zink bei Frauen und Kindern decken könnten.

«Biofortifizierte Maniok-Wurzeln haben das Potential, die Ernährung und die Gesundheit von Millionen in Westafrika zu verbessern», unterstreicht Forschungsleiter Nigel J. Taylor. «Jede geerntete Wurzel der verbesserten Pflanzen enthält mehr Eisen und Zink, und daher auch jeder Bissen Nahrung, der daraus hergestellt wird». Aktuell werden im Rahmen des Projekts die verbesserten Eigenschaften in Maniok-Sorten eingeführt, die bei Landwirten in Nigeria beliebt sind. Dort sind für 2019 weitere Freilandversuche vorgesehen. Vor einer Einführung der neuen Sorten auf dem Markt sind jedoch noch weitere Entwicklungsarbeiten und der Abschluss der nationalen Zulassungsverfahren erforderlich.

Quellen: Narayanan Narayanan et al. 2019, [Biofortification of field-grown cassava by engineering expression of an iron transporter and ferritin](#), *Nature Biotechnology* (online 28.01.2019; DOI:10.1038/s41587-018-0002-1); [Cassava High In Iron and Zinc Could Improve Diets and Health In West Africa](#), Donald Danforth Plant Science Center news release, 28.01.2019; [VIRCA Plus: Virus-resistant and Nutritionally-enhanced Cassava for Africa](#).

«Base Editing»

Neue Techniken der Genom-Chirurgie ermöglichen noch präzisere Veränderungen des Pflanzen-Erbguts

Seit wenigen Jahren stehen molekularbiologische Techniken zur Verfügung, um das Erbgut von Lebewesen in lebenden Zellen an vorbestimmten Stellen

zu schneiden. CRISPR/Cas9 ist die bekannteste Methode, es gibt aber noch einige weitere. Brüche im Erbgut kommen auch natürlicherweise vor, und können z. B. durch kosmische Strahlen oder Sonnenlicht ausgelöst werden. In den Zellen existieren Reparaturmechanismen, um solche Brüche so schnell wie möglich wieder zu versiegeln. Dabei gehen an der Schnittstelle oft einzelne Buchstaben des genetischen Codes verloren oder werden zusätzlich eingefügt.

Diese kleinen Veränderungen der Buchstaben-Abfolge können die Funktion des Pflanzengens an dieser Stelle und damit möglicherweise die Eigenschaften der Pflanze verändern («Genome Editing»). Mit diesen Verfahren, die Schnitte im Erbgut einführen, lässt sich der Ort der Veränderung präzise vorherbestimmen, nicht aber die genaue Art der Veränderung. Diese wird durch die pflanzlichen Reparaturmechanismen bestimmt und ist daher zufällig. Manchmal können dabei auch grössere Erbgut-Stücke verloren gehen (Deletion) oder zusätzlich eingebaut werden (Insertion). Als Weiterentwicklung der bestehenden Techniken ist es inzwischen auch möglich, ohne Schnitte im Erbgut einzelne Buchstaben der Genomsequenz an Ort und Stelle gezielt auszutauschen, ohne dabei auf zufällige Reparatur-Prozesse angewiesen zu sein («Base Editing»). So lässt sich das Resultat der Veränderung noch genauer planen. Statt einer sinnbildlichen Schere wird bei diesen Verfahren ein Korrekturstift (oder Tipp-Ex, für diejenigen die das noch kennen...) eingesetzt, um das Genom zu modifizieren.

Bei dem CRISPR/Cas9 System wird der Erbgut-Schnitt durch das Cas9-Protein durchgeführt. Die Schnittstelle wird durch ein kurzes synthetisches Polynucleotid (sgRNA) programmiert, das so ausgewählt wird dass es sich an die Zielposition anlagern kann und so die Spezifität ermöglicht. Zum «Base Editing» werden entschärfte Varianten des Cas9 Proteins verwendet, die sich zwar zusammen mit einer spezifischen sgRNA an der vorgesehenen Position im Erbgut anlagern können, aber keine Schneide-Aktivität haben. An das Cas9-Protein wird ein weiteres Eiweiss mit Enzym-Aktivität angehängt (Cytidin-Deaminase oder Adenosin-Deaminase). Dieses kann einzelne Buchstaben der Erbgut-Sequenz seiner Reichweite chemisch gezielt verändern. Dabei bewirken Cytidin-Deaminasen eine Veränderung C→T oder G→A, Adenosin-Deaminasen eine solche von A→G oder T→C. Diese «Base Editing» wurden zunächst in tierischen Zellen und Mikroorganismen erfolgreich eingesetzt, bald jedoch auch für Pflanzen angepasst.

Anfang 2019 beschrieben Kai Hua, Xiaoping Tao und Jian-Kang Zhu von der chinesischen Akademie der Wissenschaften und der US-amerikanischen Purdue University eine weitere Verbesserung des Systems. Sie setzten dafür Varianten des Cas9-Proteins ein, die weniger strenge Anforderungen an ihre Bindestelle stellen und so mehr Spielraum bei der Auswahl der Ziel-Position im Erbgut ermöglichen. Auch das Abstands-Fenster, innerhalb dessen Veränderungen entstehen können wurde erweitert. Zusammengefasst erweitern die hier präsentierten Ansätze das Spektrum der möglichen punktgenauen Basen-Änderungen im Pflanzen-Erbgut deutlich.

Um die Fähigkeiten ihrer neu entwickelten Systeme zu demonstrieren, veränderten die Forscher eine Reihe von natürlichen Reis-Genen an einzelnen, vorbestimmten Stellen. In den meisten Fällen gelang dies tatsächlich wie geplant, nur wenige Positionen im Erbgut erwiesen sich als resistent gegen Veränderungen. Auch konnte gezeigt werden, dass «Base Editing» mit Cytidin-Deaminase und mit Adenosin-Deaminase gleichzeitig durchge-

führt werden kann, was in vielen Fällen die Entwicklungsarbeit beschleunigt.

Die Forscher hoffen, mit den von ihnen entwickelten neuen Werkzeugen die Präzisionszüchtung von verbesserten Nutzpflanzen zu erleichtern. Die hier beschriebenen neuen Techniken sind ein Beispiel für die rapide Zunahme der technischen Möglichkeiten zur gezielten, präzisen Erbgut-Veränderung bei Pflanzen, die durch die neuen Verfahren des Genome Editings ermöglicht werden.

Quellen: Kai Hua et al. 2019, [Expanding the base editing scope in rice by using Cas9 variants](#), Plant Biotechnology Journal 17:499-504; Qiwei Shan & Daniel F. Voytas 2018, [Editing plant genes one base at a time](#), Nature Plants 4:412–413

Forschung Schweiz

Gerste und Mais mit Pilzresistenzgen *Lr34* aus Weizen sollen im Freiland geprüft werden

Seit über hundert Jahren wird die durch das Weizengen *Lr34* vermittelte Resistenz gegen Pilzkrankheiten in der klassischen Züchtung für die Entwicklung weniger anfälliger Weizensorten genutzt. Im Gegensatz zu vielen anderen Resistenzen wirkt *Lr34* dauerhaft und kann nicht rasch von Krankheitserregern durchbrochen werden, zudem weist es ein breites Schutzspektrum auf.

Durch herkömmliche Kreuzungs-Züchtung lässt sich *Lr34* nicht in andere wichtige Getreidesorten übertragen, obwohl dort ein grosser Bedarf an dauerhaften Resistenzen besteht. Die Genübertragung mit molekularbiologischen Methoden eröffnet hier grosse Chancen für die Pflanzenzüchtung. Prof. Beat Keller und seine Arbeitsgruppe an der Universität Zürich beschäftigen sich schon lange mit dem pflanzlichen Immunsystem. Sie konnten zeigen, dass *Lr34* aus Weizen mit Hilfe der Gentechnik auch in Mais, Gerste oder Reis eingebaut werden kann und auch dort im Labor einen Schutz gegen Pilz-Erkrankungen bietet. *Lr34* hat so das Potential, als vielseitig einsetzbares «Schweizer Taschenmesser» unter den Resistenzgenen Ernteverluste in Getreide zu reduzieren, die Qualität der Ernte durch gesündere Pflanzen zu steigern, und durch weniger Fungizid-Einsatz die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft zu verbessern.

Aber: wie gut kann das Weizengen *Lr34* andere Getreidesorten unter praktischen Anbaubedingungen auf dem Feld schützen, mit schwankenden Temperaturen, variablem Niederschlag, und unterschiedlichen Krankheitserregern? Welche Auswirkungen hat es auf die weiteren agronomischen Eigenschaften der Pflanzen, wie Wachstum oder Ertrag? Im Labor oder in Gewächshäusern lassen sich diese Umweltbedingungen nicht realitätsnah simulieren. Forschende der Universität Zürich haben daher Feldversuche mit gentechnisch veränderten Mais- und Gerstensorten mit dem *Lr34*-Resistenzgen beantragt, um diese Pflanzen im Freiland auf Herz und Nieren zu testen.

Am 18. Dezember 2018 wurden beim Bundesamt für Umwelt BAFU die beiden Anträge eingereicht. Die Feldversuche sind für den Zeitraum vom Frühling 2019 bis zum Herbst 2023 vorgesehen und sollen auf den Versuchsfeldern der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz bei Zürich stattfinden. Die Akten mit den detaillierten Informationen zu den Versuchen liegen derzeit zur Information der Öffentlichkeit bis Ende Februar 2019 zur öffentlichen Einsichtnahme auf, danach werden die Behörden über die Durchführung der Versuche entscheiden.

Agroscope hat umfangreiche Erfahrungen mit der Durchführung von Feldversuchen mit gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz. Seit 2014 wurden auf der «Protected Site» bereits pilzresistente Weizensorten und solche mit einem höheren Ertragspotential, krautfäuleresistente Kartoffeln und feuerbrandresistente Apfelbäume untersucht. Dabei geht es sowohl um Grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschung, um für die Schweiz Nutzen und Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen für die Schweizer Landwirtschaft wissenschaftlich zu analysieren und Optionen für die landwirtschaftliche Produktion aufzuzeigen.

Quellen: [Weizen-Resistenzgen schützt auch Mais und Gerste gegen Pilze](#), Medienmitteilung Universität Zürich, 29.01.2019; [Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Organismen \(GVO\)](#), Informations-Website Bundesamt für Umwelt BAFU; www.protectedsite.ch, Standort für Feldversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen (Agroscope Reckenholz).

Kontakt und Impressum



POINT erscheint monatlich in elektronischer Form ([Archiv](#) der vorherigen Ausgaben). Der Newsletter fasst aktuelle Meldungen aus Forschung und Anwendung rund um die grüne Biotechnologie zusammen. Für ein kostenloses Abonnement können Sie sich per e-mail [anmelden](#) und natürlich auch [abmelden](#). Wir freuen uns auf Ihre Fragen und Anregungen!

Text und Redaktion: [Jan Lucht](#)

scienceindustries, Postfach, CH-8021 Zürich

Telefon: 044 368 17 63

e-mail: jan.lucht@scienceindustries.ch

Eine Initiative von

scienceINDUSTRIES
S W I T Z E R L A N D