

Landwirtschaft einer neuen Generation

Автор(и): Нора Иванова, Редактор Растителна Защита /РЗ/

Дата: 19.10.2020 Брой: 10/2020



Internationales Jahr der Pflanzengesundheit 2020

Der Nobelpreis für Chemie 2020 wurde an Emmanuelle Charpentier und Jennifer A. Doudna für „die Entwicklung einer Methode zur Genom-Editierung“ verliehen. In den letzten 10 Jahren hat diese Methode erfolgreich Einzug in verschiedene Wissenschaftsbereiche gehalten und erobert schrittweise die Welt als Chance, unlösbar scheinende Probleme zu bewältigen.

Die genetische Revolution – die Genom-Editierungsmethode CRISPR/Cas9 ist ein präziser Eingriff auf DNA-Ebene, der in der Lage ist, den Code des Lebens in nur wenigen Wochen zu verändern. Die Genschere, wie diese Technologie genannt wird, wird in Zukunft enorme Auswirkungen auf die Lebenswissenschaften haben und die Behandlungsmethoden in der Medizin für gefährliche und erbliche Krankheiten vollständig verändern.

Aber nicht nur in der Medizin; auch in der Landwirtschaft eröffnet diese Methode neue Forschungshorizonte, die unsere Einstellung zu Tieren und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen völlig verändern werden.

Es ist keine Utopie mehr, eine Welt, in der Pflanzen, die zur Ernährung der Bevölkerung bestimmt sind, extremen Klimaveränderungen standhalten und resistent gegen immer aggressivere Schädlinge sein werden.

Wird es der Agrarwissenschaft gelingen, eine verantwortungsvollere und sicherere Ära für die Verbraucher zu schaffen, mit einer gesunden und erschwinglichen Lebensmittelkette, die mit weniger Ressourcen auskommt und die Umwelt schont?

Eine Landwirtschaft der nächsten Generation

Laut Daten der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) werden jährlich fast 40 % der Pflanzenkulturen, die als Grundnahrungsmittel für die Bevölkerung dienen, durch verschiedene Pflanzenkrankheiten und Schädlinge zerstört. Dies gilt insbesondere für arme Regionen, in denen die Landwirtschaft die Haupteinnahmequelle der Menschen ist; der Mangel an hochwertigen und erschwinglichen Lebensmitteln führt zu schwerwiegenden wirtschaftlichen und sozialen Folgen. Ein zusätzlicher Faktor, der zur Beeinträchtigung der globalen Nahrungsmittelreserven beiträgt, ist die Globalisierung des Handels, die zur unkontrollierten Ausbreitung invasiver Arten führt.

Die verschlechterte Pflanzengesundheitsumgebung, verursacht durch Klimawandel, menschliche Aktivitäten und den unsachgemäßen Einsatz von Pestiziden, ist ebenfalls ein Schlüsselfaktor nicht nur für die Zunahme gefährlicher Krankheiten und Schädlinge, die Kulturpflanzen befallen, sondern auch für den Rückgang der biologischen Vielfalt. Daher investieren in den letzten Jahren der öffentliche und der private Sektor immer mehr in Initiativen für integrierten Pflanzenschutz, wissenschaftliche Forschung und innovative Technologien, die sich vor allem nicht auf die Folgen, sondern auf die Ursachen und die Möglichkeiten zu ihrer Verhinderung konzentrieren.

Die Pflanzengenetik bietet eine immer reichhaltigere Palette an Präventionsmöglichkeiten im Bereich der Landwirtschaft. Ziel der genetischen Modifikation ist es, Linien von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen mit Vorteilen gegenüber klassischen zu erhalten: verbesserte Nährwerteigenschaften (z. B. Anreicherung von Reis mit Carotin – der Vorstufe von Vitamin A); Resistenz gegen Schädlinge und Krankheiten; Toleranz gegenüber Herbiziden; erhöhte Toleranz gegenüber Trockenheit oder salzhaltigen Böden.

Prävention durch Genom-Manipulation – CRISPR/Cas9

Unerwarteterweise liegt die Antwort auf all diese Probleme der modernen Agrarwissenschaft in den scheinbar winzigen DNA-Molekülen, deren Potenzial als unbegrenzt gilt. Bereits 1953 wurden mit der Anwendung von *Restriktionsenzymen* unter Laborbedingungen, die genetisches Material schneiden, die Grundlagen der modernen Biotechnologie gelegt. Seitdem wurden zahlreiche verschiedene Methoden zur Genom-Manipulation eingeführt. Der revolutionäre Schritt in der Genetik ist die Einführung eines Werkzeugs, das eine schnelle und präzise Editierung des Genoms ermöglicht. CRISPR/Cas („CRISPR“) ist Prozessen entlehnt, die in Bakterienzellen ablaufen. Es ist ein Mechanismus, der es Bakterien ermöglicht, sich vor Virusangriffen zu

schützen und besteht aus zwei Teilen – einem einzigartigen Abdruck des Virus (kodiert in CRISPR) und einem Enzym (Cas), das die Fähigkeit besitzt, beide Stränge der DNA zu schneiden. Bei einem Angriff durch ein bekanntes Virus nutzen Bakterien diesen Abdruck, um Cas zu seinem genetischen Material zu leiten. Einmal geschnitten, wird es inaktiviert und der Virusangriff wird verhindert. Die resultierende Veränderung kann bestimmte DNA-Segmente löschen oder ersetzen und dadurch bestimmte Eigenschaften verstärken oder deaktivieren.

Neben den Vorteilen dieser Methode in Bereichen wie Pharmazie, Gentherapie und der Behandlung von Krankheiten wie HIV, Malaria, Krebs, Diabetes usw. hält die CRISPR-Technologie auch zunehmend erfolgreich Einzug in die Landwirtschaft.

Die präzise Genom-Editierung ist von enormem Interesse für den Agrarsektor, denn jeder weiß, wie viel Zeit und Aufwand es kostet, neue resistente Sorten zu schaffen. Es gibt bereits zahlreiche Nutzpflanzen mit verbesserten agronomischen Eigenschaften – Reis, Weizen, Orangen, Tomaten und andere, die gegen Krankheitserreger resistent sind; Mais, der Trockenheit standhält; Tomaten mit erhöhtem Ertrag. Neben Vorteilen für die Landwirte gibt es Vorteile für die Umwelt, da weniger Ressourcen für die Produktion verwendet werden und der Pestizideinsatz reduziert wird. Auch der Endverbraucher profitiert, da aktiv an der Verbesserung des Nährwerts und der Qualität der Produkte gearbeitet wird. Beispielsweise ist es durchaus möglich, den Glutengehalt in Weizen zu kontrollieren und Ergebnisse von – 85 % geringerem Glutengehalt zu erzielen. Und in Asien wird zunehmend Forschung betrieben, um Reis mit erhöhtem Amylasegehalt zu schaffen, der komplexe Kohlenhydrate abbaut und sie in Monosaccharide wie Glukose umwandelt. Amylase ist ein Enzym, das im menschlichen Speichel vorhanden ist und eine aktive Rolle im richtigen Glukosestoffwechsel des Körpers spielt.

Feuerbrand-resistente Äpfel

Eine der neuesten Studien zur CRISPR/Cas-Methode unter Verwendung von *Agrobacterium tumefaciens* wurde 2019 im Journal of Plant Biotechnology veröffentlicht. Das Bakterium *Erwinia amylovora*, das die Krankheit Feuerbrand beim Apfel verursacht, induziert eine Infektion in der Frucht durch den Effektor DspA/E, der mit dem Apfel-Anfälligkeitsprotein MdDIPM4 interagiert. Wissenschaftler nutzen CRISPR/Cas9, um ein defektes MdDIPM4-Protein zu erzeugen, das über *Agrobacterium tumefaciens* in Apfel (Sorte Gala und Golden Delicious) eingeführt wird. In diesem Fall ist die Interaktion zwischen klassischer Züchtung unter Verwendung des Bakteriums *A. tumefaciens* und revolutionären Methoden bei der Schaffung neuer Sorten von besonderem Interesse. Das Bakterium *Agrobacterium tumefaciens* hat die Fähigkeit, DNA in Pflanzenzellen zu transferieren. Seine Funktion im Gesamtprozess besteht darin, eine große Anzahl von Pflanzenarten zu infizieren und die Bildung von Pflanzen

tumoren zu induzieren, in denen es sich entwickelt. Die Tumoren werden tatsächlich durch ein Plasmid des Bakteriums namens Ti (von *tumor-inducing* im Englischen) verursacht. Sobald die Pflanze infiziert ist, wird das Ti-Plasmid aus der Bakterienzelle in eine Pflanzenzelle übertragen, integriert sich in ihr Genom und verursacht ihre maligne Transformation. Das Ti-Plasmid ist nicht karzinogen

für Tiere und Menschen, und auf seiner Basis werden Vektoren zum Klonieren und zur Expression fremder Gene in Pflanzenzellen geschaffen. Durch eine Kombination der beiden Züchtungsmethoden im Apfel wurden insgesamt

57 transgene Linien mit einer Editierungseffizienz von 75 % erhalten. Sieben editierte Linien mit Funktionsverlust des MdDIPM4-Proteins wurden Feuerbrand ausgesetzt, und die Ergebnisse zeigten eine signifikant verringerte Anfälligkeit für die Krankheit im Vergleich zur Kontrolle. Die Ergebnisse der Studie demonstrieren die Entwicklung und Anwendung von CRISPR-Cas9 zur Schaffung gen-editierter Äpfel mit einem minimalen Fußabdruck exogener DNA.

Weizen – die Königin der genetischen Modifikation

Am anderen Ende der Welt ist Trockenheit kein Problem für landwirtschaftliche Kulturen, und seit Jahren werden Sorten entwickelt, die resistent gegen lange Perioden ohne einen Tropfen Regen sind. Langanhaltende Regenfälle in Japan zerstören jedoch oft die Ernten der Landwirte vollständig.

Forscher dort arbeiten an einer neuen Weizensorte, die für Regionen mit höheren Niederschlägen geeignet ist. Mit Hilfe des CRISPR-Cas9-Systems entwickeln sie Weizen, der in einem späteren Stadium zur Herstellung von hochwertigerem Mehl führt. Für ihr Experiment verwenden die japanischen Forscher eine Sorte aus Trockenzonen, die feuchtigkeitsempfindlich ist. Im Falle von starken und anhaltenden Regenfällen vor der Ernte keimen die Samen oft in den Ähren, was anschließend zu minderwertigem Mehl für die Lebensmittelindustrie führt. Durch Anwendung von CRISPR-Cas9 über *Agrobacterium* erzeugt das Team Weizenlinien mit einem nicht-funktionalen Qsd1-Gen, das die Samenruhe oder -keimung reguliert. Nach acht Transformationen erwies sich einer der Versuche als erfolgreich. Die neue Sorte wurde mit einem Wildtyp-Weizen gekreuzt, um eine Mutante ohne Transgene zu erhalten. Die resultierenden Pflanzen wurden eine Woche lang bewässert und nur 20-30 Prozent keimten, während fast alle gewöhnlichen Weizensamen, die den gleichen Bedingungen ausgesetzt waren, keimten. In diesem Fall dauerte die Genom-Editierung und die Schaffung einer neuen, regenresistenten Weizensorte die Wissenschaftler nur etwa ein Jahr. Im Vergleich dazu würde eine ähnliche Entwicklung mit konventionellen Züchtungstechniken etwa 10 Jahre dauern. In der klassischen Genetik verwenden Wissenschaftler die Partikelbeschuss-Methode (Genkanone), bei der mikroskopische Partikel, z. B. Gold, mit DNA beschichtet werden. Dann müssen unter hohem Druck die DNA-beschichteten Partikel in die Empfängerpflanze eingeführt werden. Die gewünschten Ergebnisse werden jahrelang erwartet und sind nicht immer so präzise und vorhersehbar wie bei der Kombination von CRISPR-Cas9 und *Agrobacterium*. Natürlich spricht nicht jede Weizensorte auf eine Infektion mit *Agrobacterium*-Bakterien an.

Dieses Problem wurde von einem Team von Spezialisten der Shandong Academy of Agricultural Sciences, China, korrigiert, die erfolgreich Weizengene ansteuerten und sich für CRISPR-Cas9 entschieden, das durch *Agrobacterium* geliefert wird – genetische Transformation. So gelang es ihnen, die Qualitätseigenschaften von Weizen zu verbessern, indem sie Bakterien für präzisere Insertionen des CRISPR-Cas9-Genom-Editierungskomplexes verwendeten.

Tomaten – ein wahres genetisches Wunder

Ein internationales Team von Wissenschaftlern aus Brasilien, den USA und Deutschland schuf vor etwa einem Jahr eine Tomate mittels CRISPR-Cas9-Genom-Editierung. Die neue Tomatensorte, die einen erhöhten Lycopingehalt aufweist, wurde aus einer Wildpflanze entwickelt und das innerhalb nur einer einzigen Generation.

Die Forscher verwendeten als Elternart *Solanum pimpinellifolium* – eine Wildtomate aus Südamerika und Vorfahrin der modernen Kulturtomate, deren Früchte erbsengroß sind und der Ertrag minimal, die aber sehr aromatisch sind und deren Lycopingehalt beeindruckend ist.

Das internationale Expertenteam modifizierte die grundlegende Wildtomate durch Anwendung der CRISPR-Cas9-Genom-Editierung, wobei die resultierenden Pflanzen kleine genetische Modifikationen in sechs Genen trugen, die für die Domestizierung der Tomate entscheidend sind.

Die modifizierte Tomate hat Früchte, die dreimal größer sind als der Wildtyp. Dies entspricht der Größe von Cherrytomaten. Sie hat 10-mal mehr Früchte, und ihre Form ist oval, anders als die runden Wildfrüchte (ein wichtiges Merkmal, denn bei Regenfällen platzen runde Früchte schneller als ovale). Die Pflanzen haben auch einen kompakteren Wuchs. Die neue Tomatensorte hat einen sehr hohen Gehalt des Carotinoid-Pigments Lycopin, das ein starkes Antioxidans ist und den Körper vor oxidativem Stress schützt. Somit hat die selektierte Pflanze den doppelten Gehalt dieses nützlichen Pigments im Vergleich zu ihrem wilden Elternteil und fünfmal mehr als ihre modernen Gegenstücke – Cherrytomaten.

Laut einem Artikel, der im Januar 2019 in *Trends in Plant Science* veröffentlicht wurde, ist es mit den neuen Genom-Editierungstechniken möglich, eine Tomate zu schaffen, die mit einigen der schärfsten Chilischoten konkurriert. Die Ergebnisse der Gesamtgenomsequenzierung bei Tomaten zeigen, dass diese Gemüsepflanze die Gene für Schärfe besitzt, aber nicht den Mechanismus, der es diesen Genen ermöglichen würde, aktiv zu werden. So können durch CRISPR-Cas9 Tomaten geschaffen werden, die Capsaicinoide synthetisieren, behaupten die Forscher, die derzeit an diesem Projekt arbeiten. Das Ziel ist nicht, die wachsende kulinarische Nische zu befriedigen, sondern die Produktion von Capsaicinoiden für kommerzielle Zwecke zu steigern. Der Wirkstoff in scharfen Chilischoten (Capsaicin) ist bekannt für seine antibiotischen und schmerzlindernden Eigenschaften und für den Schutz vor Schädlingen.