

'Agriculture d'une Nouvelle Génération'

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

Дата: 19.10.2020 Брой: 10/2020



Année internationale de la santé des végétaux 2020

Le prix Nobel de chimie 2020 a été décerné à Emmanuelle Charpentier et Jennifer A. Doudna pour « le développement d'une méthode d'édition du génome ». Au cours des 10 dernières années, cette méthode a fait son entrée avec succès dans divers domaines scientifiques et conquiert progressivement le monde comme une opportunité de résoudre des problèmes insolubles.

La révolution génétique – la méthode d'édition du génome CRISPR/Cas9 est une intervention précise au niveau de l'ADN capable de modifier le code de la vie en quelques semaines seulement. Les ciseaux génétiques, comme on appelle cette technologie, auront à l'avenir un impact énorme sur les sciences de la vie, transformant complètement les méthodes de traitement en médecine pour les maladies dangereuses et héréditaires.

Mais pas seulement en médecine ; en agriculture également, cette méthode révèle de nouveaux horizons de recherche qui changeront complètement notre attitude envers les animaux et les cultures agricoles.

Ce n'est plus une utopie, un monde dans lequel les plantes destinées à nourrir la population pourront résister aux changements climatiques extrêmes et seront résistantes à des ravageurs de plus en plus agressifs.

La science agricole parviendra-t-elle à créer une ère plus responsable et plus sûre pour les consommateurs, avec une chaîne alimentaire saine et abordable qui fonctionnera avec moins de ressources et épargnera l'environnement ?

Une agriculture de nouvelle génération

Selon les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), près de 40 % des cultures végétales servant d'aliments de base à la population sont détruites chaque année par diverses maladies et ravageurs des plantes. C'est particulièrement vrai dans les régions pauvres où l'agriculture est le principal moyen de subsistance des populations ; le manque d'aliments de qualité et abordables entraîne de graves conséquences économiques et sociales. Un facteur supplémentaire qui contribue à compromettre les réserves alimentaires mondiales est la mondialisation des échanges, qui conduit à la propagation incontrôlée d'espèces envahissantes.

L'environnement dégradé de la santé des végétaux, causé par le changement climatique, les activités humaines et l'utilisation inappropriée des pesticides, est également un facteur clé non seulement pour l'augmentation des maladies dangereuses et des ravageurs affectant les plantes cultivées, mais aussi pour la réduction de la biodiversité. C'est pourquoi, ces dernières années, les secteurs public et privé investissent de plus en plus dans des initiatives de lutte intégrée contre les ravageurs, la recherche scientifique et les technologies innovantes qui se concentrent avant tout non pas sur les conséquences, mais sur les causes et les possibilités de leur prévention.

La génétique végétale offre une gamme d'options de prévention de plus en plus riche dans le domaine de l'agriculture. L'objectif de la modification génétique est d'obtenir des lignées de plantes agricoles présentant des avantages par rapport aux lignées classiques : qualités nutritionnelles améliorées (par exemple, enrichissement du riz en carotène – le précurseur de la vitamine A) ; résistance aux ravageurs et aux maladies ; tolérance aux herbicides ; tolérance accrue à la sécheresse ou aux sols salins.

La prévention par la manipulation du génome – CRISPR/Cas9

De manière inattendue, la réponse à tous ces problèmes en science agricole moderne réside dans les molécules d'ADN apparemment minuscules, dont le potentiel s'avère illimité. Dès 1953, les bases de la biotechnologie moderne ont été posées avec l'application en conditions de laboratoire d'*enzymes de restriction*, qui coupent le matériel génétique. Depuis lors, de nombreuses méthodes différentes de manipulation du génome ont été introduites. L'étape révolutionnaire en génétique est l'introduction d'un outil permettant une édition rapide et précise du génome. CRISPR/Cas (« CRISPR ») est emprunté à des processus qui se produisent dans les cellules bactériennes. C'est un mécanisme qui permet aux bactéries de se protéger des

attaques virales, composé de deux parties – une empreinte unique du virus (codée dans CRISPR) et une enzyme (Cas) qui a la capacité de couper les deux brins d'ADN. Lorsqu'elles sont attaquées par un virus connu, les bactéries utilisent cette empreinte pour diriger Cas vers son matériel génétique. Une fois coupé, il est inactivé et l'attaque virale est empêchée. Le changement qui en résulte peut supprimer ou remplacer des segments d'ADN spécifiques, améliorant ou désactivant ainsi certains traits.

Outre les avantages de cette méthode dans des domaines tels que la pharmacie, la thérapie génique et le traitement de maladies comme le VIH, le paludisme, le cancer, le diabète, etc., la technologie CRISPR entre également de plus en plus avec succès dans l'agriculture.

L'édition précise du génome présente un intérêt énorme pour le secteur agricole, car chacun sait combien de temps et d'efforts il faut pour créer de nouvelles variétés résistantes. Il existe déjà de nombreuses cultures aux performances agronomiques améliorées – riz, blé, oranges, tomates et autres résistants aux agents pathogènes ; maïs résistant à la sécheresse ; tomates au rendement accru. Outre les avantages pour les agriculteurs, il y a des avantages pour l'environnement, car moins de ressources sont utilisées pour obtenir la production, et l'utilisation de pesticides est réduite. Le consommateur final en bénéficie également, puisque des travaux actifs sont en cours pour améliorer la valeur nutritionnelle et la qualité des produits. Par exemple, il est tout à fait possible de contrôler le pourcentage de gluten dans le blé et d'atteindre des résultats de – 85 % de teneur en gluten en moins. Et en Asie, des recherches sont de plus en plus menées pour créer du riz avec une teneur accrue en amylase, qui décompose les glucides complexes et les convertit en monosaccharides comme le glucose. L'amylase est une enzyme présente dans la salive humaine et joue un rôle actif dans le métabolisme correct du glucose de l'organisme.

Des pommes résistantes au feu bactérien

Une des dernières études sur la méthode CRISPR/Cas utilisant *Agrobacterium tumefaciens* a été publiée dans le Journal of Plant Biotechnology en 2019. La bactérie *Erwinia amylovora*, qui provoque la maladie du feu bactérien chez le pommier, induit l'infection dans le fruit par l'effecteur DspA/E, qui interagit avec la protéine de sensibilité du pommier MdDIPM4. Les scientifiques utilisent CRISPR/Cas9 pour créer une protéine MdDIPM4 défectueuse, qui est introduite dans le pommier (cv. Gala et Golden Delicious) via *Agrobacterium tumefaciens*. Dans ce cas, l'interaction entre la sélection classique utilisant la bactérie *A. tumefaciens* et les méthodes révolutionnaires dans la création de nouvelles variétés est particulièrement intéressante. La bactérie *Agrobacterium tumefaciens* a la capacité de transférer de l'ADN dans les cellules végétales. Sa fonction dans le processus global est d'infecter un grand nombre d'espèces végétales et d'induire la formation de tumeurs

végétales dans lesquelles elle se développe. Les tumeurs sont en fait causées par un plasmide de la bactérie appelé Ti (de *tumor-inducing* en anglais). Une fois la plante infectée, le plasmide Ti est transféré de la cellule bactérienne dans une cellule végétale, s'intègre dans son génome et provoque sa transformation maligne. Le plasmide Ti n'est pas cancérogène

pour les animaux et les humains, et sur sa base, des vecteurs sont créés pour le clonage et l'expression de gènes étrangers dans les cellules végétales. Grâce à une combinaison des deux méthodes de sélection chez le

pommier, un total de

57 lignées transgéniques avec une efficacité d'édition de 75 % ont été obtenues. Sept lignées éditées avec perte de fonction de la protéine MdDIPM4 ont été exposées au feu bactérien, et les résultats ont montré une réduction significative de la sensibilité à la maladie par rapport au témoin. Les résultats de l'étude démontrent le développement et l'application de CRISPR-Cas9 pour la création de pommes éditées génétiquement avec une empreinte minimale d'ADN exogène.

Le blé – la reine de la modification génétique

À l'autre bout du monde, la sécheresse n'est pas un problème pour les cultures agricoles, et depuis des années, des variétés résistantes à de longues périodes sans une goutte de pluie sont développées. Cependant, les pluies prolongées au Japon détruisent souvent complètement les récoltes des agriculteurs.

Les chercheurs y travaillent sur une nouvelle variété de blé adaptée aux régions à précipitations plus élevées. À l'aide du système CRISPR-Cas9, ils développent du blé qui à un stade ultérieur conduit à la production de farine de meilleure qualité. Pour leur expérience, les chercheurs japonais utilisent une variété de zones arides sensible à l'humidité. En cas de pluies abondantes et prolongées avant la récolte, les graines germent souvent dans les épis, ce qui entraîne par la suite une farine de faible qualité pour l'industrie alimentaire. En appliquant CRISPR-Cas9 via *Agrobacterium*, l'équipe crée des lignées de blé avec un gène Qsd1 non fonctionnel, qui régule la dormance ou la germination des graines. Après huit transformations, l'une des tentatives s'est avérée réussie. La nouvelle variété a été croisée avec un blé de type sauvage pour obtenir un mutant sans transgènes. Les plantes résultantes ont été irriguées pendant une semaine et seulement 20 à 30 pour cent ont germé, alors que presque toutes les graines de blé ordinaires exposées aux mêmes conditions ont germé. Dans ce cas, l'édition du génome et la création d'une nouvelle variété de blé résistante à la pluie n'ont pris aux scientifiques qu'environ un an. En comparaison, avec les techniques de sélection conventionnelles, un développement similaire prendrait environ 10 ans. En génétique classique, les scientifiques utilisent la méthode de bombardement de particules (pistolet à gènes), dans laquelle des particules microscopiques, par exemple de l'or, sont recouvertes d'ADN. Ensuite, sous haute pression, les particules recouvertes d'ADN doivent être introduites dans la plante receveuse. Les résultats souhaités sont attendus pendant des années et ne sont pas toujours aussi précis et prévisibles qu'avec la combinaison de CRISPR-Cas9 et d'*Agrobacterium*. Bien sûr, toutes les variétés de blé ne répondent pas à l'infection par les bactéries *Agrobacterium*.

Ce problème a été corrigé par une équipe de spécialistes de l'Académie des sciences agricoles du Shandong, en Chine, qui a ciblé avec succès des gènes du blé, optant pour CRISPR-Cas9 délivré via *Agrobacterium* – transformation génétique. Ainsi, ils ont réussi à améliorer les caractéristiques qualitatives du blé en utilisant des bactéries pour des insertions plus précises du complexe d'édition du génome CRISPR-Cas9.

Les tomates – un véritable miracle génétique

Une équipe internationale de scientifiques du Brésil, des États-Unis et d'Allemagne a créé il y a environ un an une tomate en utilisant l'édition du génome CRISPR-Cas9. La nouvelle variété de tomate, qui a une teneur

accrue en lycopène, a été développée à partir d'une plante sauvage et en une seule génération seulement.

Les chercheurs ont utilisé comme espèce parentale *Solanum pimpinellifolium* – une tomate sauvage d'Amérique du Sud et ancêtre de la tomate cultivée moderne, dont les fruits ont la taille de petits pois et le rendement est minimal, mais qui sont très aromatiques et dont la teneur en lycopène est impressionnante.

L'équipe internationale d'experts a modifié la tomate sauvage de base en appliquant l'édition du génome CRISPR-Cas9, les plantes résultantes portant de petites modifications génétiques dans six gènes clés pour la domestication de la tomate.

La tomate modifiée a des fruits trois fois plus gros que le type sauvage. Cela correspond à la taille des tomates cerises. Elle a 10 fois plus de fruits, et leur forme est ovale, contrairement aux fruits sauvages ronds (un trait important, car en cas de pluie, les fruits ronds se fissurent plus vite que les ovales). Les plantes ont également un port de croissance plus compact. La nouvelle variété de tomate a une très haute teneur en lycopène, pigment caroténoïde qui est un puissant antioxydant et protège l'organisme du stress oxydatif. Ainsi, la plante sélectionnée a deux fois plus de teneur en ce pigment bénéfique que son parent sauvage et cinq fois plus que ses homologues modernes – les tomates cerises.

Selon un article publié en janvier 2019 dans *Trends in Plant Science*, avec les nouvelles techniques d'édition du génome, il est possible de créer une tomate qui rivalise avec certains des piments les plus forts. Les résultats du séquençage du génome entier chez les tomates montrent que cette culture légumière possède les gènes du piquant, mais ne possède pas le mécanisme qui permettrait à ces gènes de devenir actifs. Ainsi, via CRISPR-Cas9, des tomates synthétisant des capsaïcinoïdes peuvent être créées, affirment les chercheurs qui travaillent actuellement sur ce projet. L'objectif n'est pas de satisfaire la niche culinaire croissante, mais d'augmenter la production de capsaïcinoïdes à des fins commerciales. La substance active des piments forts (capsaïcine) est connue pour ses propriétés antibiotiques et analgésiques et pour la protection contre les ravageurs.