

BOLETÍN 999

MECANISMOS DE MANIPULACIÓN GENÉTICA DEL ARROZ TOLERANTE A HERBICIDAS

Reseña hecha por RALLT

El arroz es uno de los alimentos básicos en Asia y varios países de América Latina.

Lamentablemente, es el cultivo más utilizado en la edición génica es el arroz. Gran parte de los trabajos se centran en el desarrollo de variedades resistentes a herbicidas.

El interés que existe en la industria agro-biotecnológica por desarrollar variedades resistentes a herbicidas se basa en el hecho de que uno de los costos más altos en las tareas agrícolas es la eliminación de las llamadas "malezas", porque demandan de mucha mano de obra, y en algunos casos constituye la mayor inversión del ciclo agrícola. Es decir, la introducción de variedades resistentes a herbicidas, reduce de manera drástica el trabajo rural.

Pero además, la manipulación genética para producir plantas resistentes a herbicidas ha sido casi el único éxito de la industria biotecnológica agrícola, tanto si se trata de cultivos transgénicos convencionales como editados genéticamente.

Los herbicidas son moléculas orgánicas que pueden penetrar en las células vegetales, interactuar con un objetivo celular específico, e interferir con procesos bioquímicos esenciales, produciendo efectos tóxicos que provocan la muerte de la planta.

La identificación del objetivo específico de cada herbicida es crucial para su modo de acción.

Se ha encontrado que existe en 26 moléculas que pueden ser atacados por herbicidas, pero 5 moléculas son las más utilizadas en el desarrollo de nuevos herbicidas. A partir de ellas se han desarrollado por lo menos 260 ingredientes

activos comerciales para combatir malezas relacionadas con los cultivos de arroz.

Existen dos grandes grupos de tecnologías en la manipulación genética del arroz resistentes para obtener variedades transgénicas o editadas, resistentes a herbicidas:

1. Mecanismos que trabajan a nivel genético, alterando genes claves o secuencias reguladoras en el genoma, que hacen que el arroz pueda tolerar fumigaciones con herbicidas sin que le afecte. Estas tecnologías se conocen como TSR (por sus siglas en inglés, target site resistance o resistencia en el sitio específico), y son mecanismos de resistencia especialista y específicos con el sitio de acción en el genoma del arroz.

Los mecanismos TSR incluye mutaciones de genes involucrados en la producción de proteínas, que son afectadas por algunos herbicidas. Por ejemplo, actúan en sitio específicos en los que el herbicida se une a una enzima, bloqueando su actividad. En otros casos, se modifica genéticamente al arroz, para aumentar la cantidad de proteína que es atacada por herbicida. En otros casos, se altera la secuencia de aminoácidos, para reducir la actividad del herbicida en la planta. Las mutaciones producidas pueden producir una gama de resistencias al herbicida, que van desde muy fuertes a muy débiles en la planta.

Una mutación en un sitio específico que le da a la planta resistencia a un determinado herbicida, puede también conferir resistencia a otras familias químicas de herbicidas, pero que actúen en el mismo grupo de sitio de acción del herbicida, dependiendo de cuán específico sea la interacción del herbicida con la proteína a la que se quiere modificar.

El mecanismo TSR puede también aumentar la expresión del gen que se quiere modificar, produciendo más enzima de la que puede ser inhibida por el herbicida en una fumigación estándar. Para lograr esto, se manipula genéticamente a la planta para que ocurran cambios en las secuencias regulatorias del genoma del arroz.

2. El otro grupo de mecanismos se conocen como NTSR (por sus siglas en inglés, non target site resistance ósea, que no actúa en un sitio específico del genoma). Son herbicidas generalistas y más complejos. La resistencia NTSR implica diversos mecanismos, entre ellos:

- reducción de la penetración del herbicida en la célula
- reducción de la cantidad de ingrediente activo que llega al sitio en el que actúan el herbicida
- secuestro del herbicida en la vacuola de las hojas
- cambios en la absorción por las raíces del herbicida, y disminución del transporte del agrotóxico en el resto de la planta
- desintoxicación metabólica del herbicida por parte de la planta
- el aumento de los efectos protectores de la planta frente al herbicida

TECNOLOGÍAS PARA DESARROLLAR VARIEDADES DE ARROZ RESISTENTES A HERBICIDAS

Mutagénesis

El mejoramiento por mutagénesis es el más usado en los programas de "mejoramiento" del arroz industrial. Implica mutaciones naturales o inducidas por irradiación (como luz UV, rayos X, rayos gamma o a través de haces de iones) o por el uso de mutágenos químicos, como el etilmetanosulfonato [EMS].

Los genes mutantes de arroz resistentes a herbicidas derivados del proceso hecho por mutagénesis, suelen transferirse a otras variedades de arroz mediante polinización cruzada.

Transgénesis

Es la introducción de transgenes de otras especies usando las herramientas clásicas de ingeniería genética, para reducir la sensibilidad del arroz a herbicidas específicos, mediante mecanismos TSR o NTSR, descritos arriba.

Los genes de resistencia a herbicidas útiles para la creación de cultivos transgénicos pueden aislarse de bacterias, mutantes producidos por mejoramiento por mutagénesis o biotipos de malezas resistentes a herbicidas.

A través de la transgénesis se puede introducir múltiples transgenes, para que el arroz sea resistente a dos o más herbicida. A este mecanismo se llama "apilamiento de genes".

El apilamiento de genes se ha hecho necesarios porque uno de los problemas que enfrenta la agricultura transgénica basada en variedades resistentes a herbicidas, es que surgen las llamadas "súper malezas", tolerantes a uno o más herbicidas.

Edición génica

La edición genómica es la tecnología que más se utiliza al momento en la investigación de "mejoramiento" con arroz, siendo las herramientas CRISPR (Cas9) las más aplicadas, a pesar de que son tecnologías que están en una etapa experimental.

Se usa la edición genética para inactivar genes relacionados con los sitios de acción de herbicidas, para desarrollar arroces resistentes a estos agrotóxicos. Se ha trabajado con resistencias a múltiples herbicidas usando las tecnologías CRISPR (Cas9), aunque se utilizan también otras tecnologías como la RTDS (por sus siglas en inglés Rapid Trait Development System o sistema de desarrollo rápido de característica genéticas).

Los estudios actuales sobre la edición de genes de resistencia a herbicidas en el arroz se encuentran aún en sus etapas iniciales, y muchos estudios se centran en la mejora de las herramientas de edición genómica.

Se han realizado estudios exhaustivos para identificar genes de resistencia a herbicidas y analizar sus funciones en las plantas. Es probable que la investigación futura se centre en los mecanismos moleculares que regulan las enzimas de resistencia a herbicidas.

Nota: en Ecuador se ha aprobado un arroz genéticamente editado que usa las tecnologías RTDS, que son aún más experimentales, y que confieren al arroz resistencia a la familia de herbicidas que atacan a la enzima ALS, que actúan

en la síntesis de aminoácidos esenciales. Esta es una tecnología patentada por una empresa de San Diego – California.

La ALS o Aceto Lactato Sintasa es una enzima clave en la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada en las plantas, como la valina, la leucina y la isoleucina. Los herbicidas de este grupo inhiben la actividad de la enzima ALS e impiden la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada en la planta, lo que a su vez interfiere en la síntesis de proteínas, la división celular y el crecimiento vegetal, y finalmente provoca la muerte de la planta.

Actualmente, los herbicidas inhibidores de la ALS más utilizados son: imidazolinonas (IMI), sulfonilureas (SU), triazolopirimidinas (TP), tiobenzoatos de pirimidina (PTB) y sulfonil amino carbonil triazolinonas (SCT). Estudios sobre malezas resistentes han demostrado que, si bien algunas malezas desarrollan resistencia al mejorar su capacidad de desintoxicación de herbicidas, en la mayoría de los casos, las mutaciones en los genes relacionados con la ALS, son la principal causa de la resistencia a estos herbicidas. Actualmente, un total de 66 especies diferentes de malezas han desarrollado resistencia a los herbicidas inhibidores de ALS.

Lo que está atrás de todas estas tecnologías es asegurar que las empresas biotecnológicas / agroquímicas incrementen la venta su paquete tecnológico: herbicidas y semillas (en este caso de arroz) tolerantes a dichos herbicidas.

Fuentes:

Jin M. et al (2022). Development of herbicide resistance genes and their application in rice. The Crop Journal 10: 26–35.
<https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.05.007>

Qiyu Luo, Yao-Guang Liu (2025). Breeding herbicide-resistant rice using CRISPR-Cas gene editing and other technologies. Plant Communications. Volume 6, Issue 2

<https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.101172>