

PLANTAS TRANSGÉNICAS, EL DEBATE DEL FUTURO

Y. CASTRO MAQUIEIRA, L. MARTÍNEZ DOPAZO,
D. REY GONZÁLEZ & P. NÚÑEZ SEIJÓ

xirpeke@hotmail.com; selene_love04@hotmail.com;

vigourensano@hotmail.com; paulychul@hotmail.com

Alumnos 1º Bioloxía (2004-05). Universidade de Vigo.

Resumo: A creación das denominadas plantas transxénicas, xorde da necesidade de millorar a calidade e produtividade dos cultivos, para que estes podan ser máis competitivos e, polo tanto, máis rentables. A pesares de que a inxeñería xenética conseguiu importantes avances, as plantas transxénicas presentan unha serie de inconvincentes que fan que continúe aberto o debate sobre os riscos que conlevan para a saúde.

Resumen: La creación de las denominadas plantas transgénicas, surge de la necesidad de mejorar la calidad y productividad de los cultivos, para que estos puedan ser más competitivos y, por lo tanto, más rentables. A pesar de que la ingeniería genética ha conseguido importantes avances, las plantas tansgénicas presentan una serie de inconvenientes que hacen que continúe abierto el debate sobre los riesgos que conllevan para la salud.

INTRODUCCIÓN

Las plantas transgénicas son plantas que contienen uno o más genes que han sido insertados de forma artificial. La secuencia genética insertada (el transgen o ADN-T) puede provenir de

diferentes organismos como bacterias, hongos, animales o plantas. El motivo por el cual se crearon las plantas transgénicas fue el de obtener plantas cultivadas de calidad, útiles y tan productivas como sea posible. Mediante la inserción del ADN-T específico

podrían crearse plantas con un mayor rendimiento, mayor calidad, resistencia a plagas o enfermedades, o tolerancia al frío y la sequía. En la actualidad, también se está investigando la producción de anticuerpos monoclonales, vacunas y otras proteínas en plantas transgénicas de maíz y soja (finalidad terapéutica).

Combinar los mejores genes en una sola planta es un proceso largo y difícil (Fig. 1), en especial empleando el método tradicional, basado en la hibridación, en el que sólo se podían

mejorar los cultivos de un tipo de planta usando la misma especie mejorada u otra especie parecida. Pero, con la tecnología de formar plantas transgénicas usando métodos modernos, se puede, por ejemplo, aprovechar genes específicos de la soja que producen gran cantidad de una determinada proteína y transferírseles a una planta de maíz para que también pueda producir esa proteína en grandes cantidades. Esto era imposible con técnicas de polinización cruzada y selección tradicional.



Fig. 1.- Esquema del proceso de creación de plantas transgénicas

MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN

El uso de una técnica u otra viene condicionado por el tipo de planta, ya que no siempre se han conseguido éxitos con los tres principales sistemas de transformación. La única manera de saber cuál es el mejor método de

transformación es comprobar empíricamente que método es el más eficaz.

Transformación con *Agrobacterium tumefaciens*

Las bacterias del género *Agrobacterium* son patógenas de plantas capaces de inducir una malformación en forma de

agalla de la corona («tumor de agalla») en muchas plantas ornamentales y frutales. La formación del tumor (Fig. 2) tiene lugar por la transferencia a los núcleos de las células infectadas de un segmento de ADN (que no pertenece al cromosoma bacteriano) presente en un plásmido de *Agrobacterium*, llamado plásmido Ti (inductor de tumores). En él, existe un segmento de ADN llamado ADN-T (~200 kb de longitud) que es transferido a la célula de la planta en el proceso de la infección y una serie de genes *vir* (de la virulencia) que dirigen el proceso de infección.

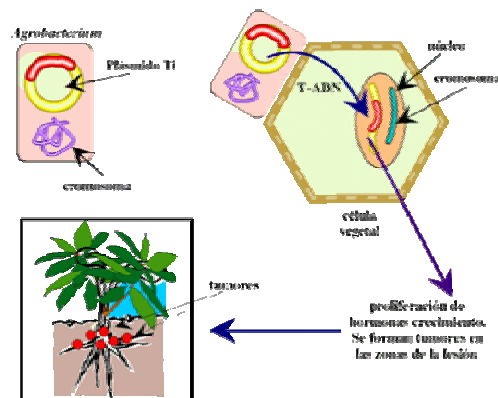


Fig. 2.- Esquema del proceso de transformación de plantas con *A. tumefaciens*

A. tumefaciens penetra en los espacios intercelulares a través de pequeñas heridas presentes en la planta, atraída por sustancias (fenoles) que ésta misma excreta cuando es dañada. Entonces los genes *vir* son activados de manera que primero, realizan una copia del ADN-T, después unen un producto a la hebra del ADN-T

copiado para que actúe como molde, a continuación, agregan proteínas a lo largo del ADN-T (posiblemente como mecanismo de protección). Finalmente, abren un canal en la membrana celular bacteriana a través del cual pasa el ADN-T y entra en una célula vegetal infectándola. Una vez que los genes del ADN-T están dentro de la planta, codifican sustancias que se acumulan en el tumor. Estas sustancias son las que utiliza *Agrobacterium* para nutrirse cuando infecta plantas. Mediante manipulación genética se consiguió obtener cepas de *Agrobacterium* en las cuales se ha eliminado la sección de ADN-T inductora de tumores y se han conservado las regiones fronterizas del ADN-T y los genes *vir*. Los transgenes son insertados entre las regiones fronterizas del ADN-T, desde donde es transferido a la célula de la planta para integrarse en los cromosomas de ésta.

De esta forma, cualquier gen integrado dentro de las regiones fronterizas será transferido a las células de la planta.

Para introducir los transgenes en *Agrobacterium*, es necesario proceder a co-cultivar las células de la planta con la bacteria. Para ello se emplean tejidos vegetales que deben ser heridos con el fin de activar los genes de virulencia bacteriana y así inducir la introducción de los transgenes. Los tejidos vegetales empleados pueden ser de hoja, de

cotiledones, fragmentos de tallo o incluso semillas en germinación.

Este sistema es más fiable que otros ya que la transformación es más estable y porque tiene una gran probabilidad de que sólo se introduzca una copia del transgén en el genoma vegetal.

PROTOPLASTOS Y TRANSFERENCIA

DIRECTA DE GENES

Los protoplastos son células de cualquier tejido vegetal a las que se ha liberado de pared celular que, entre otras funciones, actúa a modo de barrera que impide el paso de grandes moléculas como el ADN.

Las técnicas más utilizadas para obtener un protoplasto de una célula vegetal y su posterior transformación son las siguientes:

- Digiriéndola con una enzima
- Sometiéndola a descargas eléctricas de manera que la membrana se despolariza y crea diminutos poros por los cuales penetra ADN (electroporación).
- Introduciendo sustancias como polietilenglicol (PEG) que desestabiliza la membrana celular.
- Empleando liposomas que contengan ADN a transferir.

El propio proceso de aislamiento de protoplastos probablemente induce la formación de células competentes en el estado adecuado. Si se dispone de

poblaciones de protoplastos que contengan células competentes, el ADN exógeno es integrado fácilmente por recombinación.

Cuando se transforman y generan protoplastos, pueden obtenerse plantas transgénicas que contienen, expresan y heredan de forma estable los genes transferidos.

En cereales solo se han aislado protoplastos competentes a partir de suspensiones embriogénicas establecidas a partir de tejidos inmaduros (escutelo, base de la hoja, antera). Los procedimientos estándar de transferencia directa de genes con protoplastos han conducido a la regeneración de varios cereales transgénicos (arroz, maíz).

La dificultad principal que plantea este método es el escaso desarrollo de las plántulas generadas a partir de protoplastos. En 1988 se obtuvo por primera vez cereales transgénicos a partir de la regeneración de protoplastos con genes exógenos.

TRANSFORMACIÓN POR BOMBARDEO CON PARTÍCULAS

En paralelo al trabajo de transformación de protoplastos se han realizado esfuerzos para encontrar nuevas vías de introducción de ADN en células intactas o tejidos. La regeneración de cereales a partir de embriones inmaduros

resulta hoy por hoy un hecho habitual. Uno de los avances mas significativos en este área ha sido la introducción de la tecnología de los microproyectiles de alta velocidad. En este sistema, el ADN se carga sobre una superficie de pequeñas partículas de metal (0.5 a 5 micras) que son aceleradas a velocidades de uno o varios centenares de metros por segundo. Las partículas son capaces de penetrar a través de varias capas de células y realizan la transformación celular en tejidos de explantes. Se han obtenido plantas transformadas estables de tabaco y soja mediante disparo de partículas y, más recientemente, plantas transgénicas fértiles de maíz, arroz, trigo y avena mediante bombardeo de cultivos embrionarios.

Gracias a la eliminación del paso por el estado de protoplastos, el método del disparo tiene el potencial de permitir la transformación directa de genotipos comerciales de cereales.

El bombardeo de partículas para introducción de ADN en las células fue introducido en 1987 por Sanford y sus colaboradores con el nombre de «biolística». El sistema consiste, en términos generales, en disparar micropartículas de 1µ de diámetro cubiertas con ADN hacia tejidos o células vegetales. En los primeros experimentos se usaron partículas de tungsteno aceleradas con

un dispositivo a base de pólvora (Klein y col., 1988).

El daño celular es uno de los principales factores que dificultan la recuperación de plantas con transformación estable, y se observó posteriormente que tanto el trauma físico causado por el impacto del gas, y el *shock* acústico, como la toxicidad del tungsteno contribuían a este daño celular y reducían la eficiencia de la transformación.

La técnica fue mejorada usando partículas de oro y un acelerador de partículas con flujo de helio (Russell y col., 1992; Kim y Minawikame, 1996).

Habitualmente en toda transformación se agregan genes que codifican para un carácter fácilmente detectable, denominados gen marcadores, con el fin de determinar qué células han sido transformadas.

Los genes marcadores más utilizados son los de la resistencia a los antibióticos o a los herbicidas. La verificación resulta sencilla: se seleccionan las células vegetales transformadas por su capacidad de multiplicarse en un medio que contiene el antibiótico o el herbicida considerado. Por tanto, las células o explantes que sobreviven portan el gen de interés.

Cada vez que un gen se inserta en un cromosoma, el ADN se separa y permite la incorporación del gen nuevo sin

substituir ninguno de los genes existentes, creándose un evento diferente. Los eventos son determinados por el gen que se inserta en sitios distintos pudiendo mostrar diferencias en la expresión.

A lo largo del tiempo se han cambiado muchos factores para mejorar el rendimiento: el tamaño de las micropartículas, su velocidad, la inmovilización de las células vegetales y la cantidad de ADN transportado.

Un problema que genera esta técnica es que se producen dos tipos de células dentro de un mismo órgano: las transformadas y las no transformadas. Aparecen entonces competiciones entre los dos tipos de células disminuyendo la eficacia del método. Esto se debe a la falta de control sobre la integración del gen en el genoma de la planta.

Otra desventaja es que puede suceder que el transgen se rompa durante el proceso y se integren fragmentos del ADN de partida, o que se integren demasiados transgenes y, por tanto, la planta reaccione silenciándolo, es decir, impidiendo que el gen se exprese. También puede ocurrir que se recojan otros materiales genéticos en el trayecto hacia el núcleo de la célula, incorporándolos al genoma. En este caso es habitual que ocurran reordenaciones del vector de transformación y del propio gen

exógeno insertado, y que se inserten copias múltiples y fragmentos de estas copias al azar en todo el genoma. Si un fragmento genético se inserta en medio de una secuencia genética funcional, puede alterar la producción de proteínas y perturbar el desarrollo y comportamiento normal de la planta. No es de extrañar, por tanto, que el proceso de manipulación de los cultivos pueda dar lugar a efectos indeseados e imprevistos, a veces imperceptibles o que se manifiestan únicamente en situaciones de estrés.

De hecho, más del 99% de las plantas transformadas mediante ingeniería genética han de ser eliminadas, ya que al desarrollarse aparecen rasgos aberrantes, no intencionados ni deseados, según reconocen las propias compañías biotecnológicas. La última fase del desarrollo de las plantas transgénicas, incluye necesariamente un proceso de selección de las plantas regeneradas a partir de las células transformadas, para eliminar las que exhiben caracteres anómalos o alteraciones no buscadas.

De todas formas, tiene múltiples ventajas, como son:

- fácil de manejar
- un disparo puede producir múltiples integraciones
- las células pueden sobrevivir a la introducción de una partícula e incluso de varias

-los genes que recubren la partícula recuperan su actividad biológica

-las células diana pueden ser de diversos tipos, tales como polen, cultivos celulares, órganos y meristemos

-las partículas alcanzan capas celulares más profundas

Con exceso de optimismo se propuso el bombardeo de partículas como una manera de eliminar el uso de *Agrobacterium*.

BENEFICIOS DE LAS PLANTAS

TRANSGÉNICAS

La ingeniería genética ha producido mejoras nutricionales y resistencia frente a agentes externos así como una mejora económica y medioambiental.

En la alimentación los logros son cuantiosos, desde la creación de alimentos más apetitosos jugosos y sabrosos (Fig. 3) y de maduración retardada, hasta el incremento de los aportes nutricionales, lo que se logra aumentando la concentración de una sustancia en el vegetal o introduciendo nuevas sustancias como beta caroteno o la enzima que facilita la fijación del hierro.

Por otra parte, se consiguieron variedades de plantas resistentes a estrés abiótico, como por ejemplo: bajas temperaturas, elevada salinidad (introduciendo genes de mangle negro o el gen *gutD* de *E. coli*),

alcalinidad o incluso acidez (al secretar en sus raíces ácido cítrico). Gracias a esto se puede dar uso a tierras marginales. También se desarrollan individuos resistentes a plagas de artrópodos como la langosta africana, diversos gorgojos y escarabajos, bacterias, microorganismos, virus como el de la «mancha amarilla del arroz» o el de la «mancha anular viral» y también hongos como *Alternaria solani* (tizón temprano) y *Phytophthora infestans* (tizón tardío) que devastan las plantaciones.



Fig. 3.- Calabaza transgénica mejorada. Usando unos genes determinados se consiguieron ejemplares de este tamaño

Con todo se ha reducido el número de contaminantes necesarios para el cultivo tradicional como los abonos, herbicidas, plaguicidas, fertilizantes químicos y fungicidas, todos ellos tóxicos para vegetales, animales y hombre.

Por último y muy importante, cabe destacar la introducción de genes que permiten la síntesis de anticuerpos con los que luego crear vacunas y también medicamentos. Esto abarataría los

costes de la industria farmacéutica y los medicamentos serían accesibles a más personas. Se han conseguido ya vacunas contra enfermedades del tubo digestivo en patatas y banano, así como anticuerpos contra células cancerígenas de pulmón, mama y colon en cereales. La tercera parte de los medicamentos actuales provienen de vegetales: ácido salicílico, vinblastina y vincristina, que derivan de *Vinca minor* (vincapervinca o hierba doncella de Madagascar) útiles contra el cáncer y linfoma de Hodkin.

Otras mejoras son la creación de especies utilizadas como fuente de energía renovable, pues acumulan más carbono y crecen más rápido, o capaces de limpiar contaminantes atmosféricos o hidrosféricos al metabolizarlos.

INCONVENIENTES DE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS

La biotecnología ha creado nuevas plantas que pueden contaminar con sus genes a las especies naturales de los lugares en que se implantan, ya que como consecuencia de las hibridaciones se pueden perder las especies salvajes (Fig. 4). Esta tecnología representa una innovación que permite a los agricultores simplificar sus requisitos de manejo de las malas hierbas, reduciendo el uso de herbicidas a uno sólo de amplio espectro que se descomponga relativamente rápido en el suelo. Sin embargo, la realidad es que cuando un solo herbicida es usado repetidamente sobre un cultivo, las probabilidades de que en la población de malas hierbas se desarrolle resistencia se incrementan.

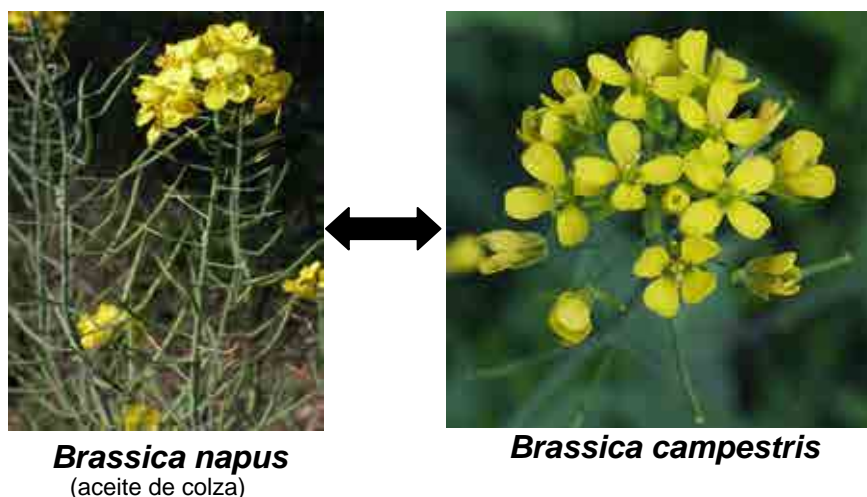


Fig. 4.- Comparación entre *Brassica campestris* (derecha) una especie silvestre que está desapareciendo para ser substituída por *Brassica napus* (izquierda)

Algunos científicos han intentado diseñar plantas resistentes a infecciones patógenas incorporando genes antivíricos dentro del genoma de las plantas. Aunque el uso de genes para este fin puede tener beneficios, hay algunos riesgos, como la recombinación entre el ARN de un virus y el ARN viral (del antivir) dentro del cultivo transgénico, que puede crear un nuevo patógeno que produzca nuevas enfermedades.

Uno de los mayores riesgos de los transgénicos es la polinización cruzada y los efectos recombinantes no previstos con otros genes. Por ello, en las liberaciones a gran escala de plantas transgénicas, los cuidados deben extremarse, por ejemplo, hay que tener en cuenta la distancia de polinización,

las cercas de aislamiento, los estudios de impacto sobre las demás comunidades, la introgresión (hibridación entre especies diferentes de plantas) ...

Con respecto a la salud humana, en el caso de personas alérgicas al pescado, han presentado síntomas al ingerir frutas rojas o nueces, a las que se les había introducido un gen de un pez ártico para hacerlas resistentes a las heladas.

Actualmente, hay muchas dudas y preguntas sobre los alimentos transgénicos, pero realmente no existen explicaciones contundentes y fiables sobre si los alimentos que hoy estamos comiendo no nos causarán serios problemas de salud en un futuro no muy lejano.



¿Realmente estamos comiendo algo sano? Como en la mayoría de situaciones nos dejamos llevar por lo que nos resulta más agradable a la vista ¿Cuál te comerías?

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN NACIONAL DE MUJERES RURALES E INDÍGENAS (ANAMURI).

2005. www.anamuri.cl/documentos/medio_ambiente/transgenicos.doc

- COLORADO STATE UNIVERSITY. 2005. www.colostate.edu
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. 2005. www.ecologistasenaccion.org
- EMBAJADAS DE ESTADOS UNIDOS . LA PAZ. BOLIVIA. 2005. <http://lapaz.usembassy.gov/Biotechnology/plantas%20transgenicas.pdf>
- FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. PORTAL TECNOCENCIA. 2005. www.tecnociencia.es
- KIM J.W. & MINAMIKAWA T. 1996. Transformation and regeneration of French bean plant by the particle bombardment process. *Plant Science*, 117: 131-138.
- KLEIN D.A., FREDERICK B.A., BIONDINI M. & TRLICA M. 1988. Rhizosphere microorganism effects on soluble amino acids, sugar and organic acids in the root zone of Agropiron cristatum, A. smithii, and Boutelova gram. *Plant Soil*, 99: 303-319.