

FISIOLOGÍA VEGETAL

LA FLORACIÓN : ALGO TAN HERMOSO Y TAN COMPLEJO

Una de las señales ambientales moduladoras de la floración es la luz y concretamente el fotoperiodo. La floración se produce (o es acelerada) en algunas plantas cuando la longitud del día disminuye por debajo de un cierto valor (plantas de día corto) y en otras cuando la longitud del día sobrepasa un determinado valor (plantas de día largo). Para percibir la duración de la luz o de la oscuridad se necesita un sistema para medir el tiempo (reloj) y un fotorreceptor. Aunque la floración es uno de los procesos más investigados en fisiología vegetal, aún se desconoce cómo funciona el reloj, el mecanismo de modulación de los ritmos endógenos y la cadena de amplificación de la señal lumínica desde la fotorrecepción hasta la aparición de las primeras estructuras reproductoras que constituirán la flor. Se ha sugerido la participación del sistema Calcio-Calmodulina [Havelange y Bernier, *Physiol. Plant.* **87**, 353, (1993)] y AMPcíclico [Vicente y Mateos, *Phytochem. Anal.* **3**, 14 (1992)] como segundos mensajeros, es decir como mensajeros químicos producidos tras la captación de la señal lumínica. Estos mensajeros secundarios promueven la fosforilación de ciertos enzimas que a su vez activarían la expresión de genes envueltos en la floración. Se ha propuesto también la acción de fitohormonas que se desplazarían desde hojas (fuente) hasta yemas terminales (sumidero). La naturaleza química de estas fitohormonas que funcionarían como señal química (florigeno) no ha sido aún determinada. Algunos autores han demostrado la participación de giberelinas [Bernier, *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **39**, 175 (1988)], auxinas [Ono et al., *Physiol. Plant* **87**, 1 (1993)] y citoquininas [Lejeune et al., *Physiol. Plant.* **90**, 522 (1994)]. Otras fitohormonas como el ácido abscísico o el etileno no tienen un papel relevante en el proceso floral y en general actúan como sustancias inhibitorias aunque hay excepciones [Bernier, *ibid.*]. La floración es un proceso de una gran complejidad espacio-temporal, ya que intervienen una gran cantidad de sustancias que proceden de otros lugares diferentes al de donde se produce la flor (complejidad espacial) y además, estas sustancias no parecen actuar durante todo el proceso de la floración sino en parte de éste (complejidad temporal). Esta tremenda complejidad ha tratado de ser ordenada y explicada por dos

teorías: (1) Teoría del control multifactorial de la floración postulada por Bernier (1988) y (2) la Teoría de señal eléctrica postulada por Greppin (1987).

La teoría del control multifactorial de la floración nace a partir de la observación de que la inducción fotoperiódica de la floración causa cambios importantes en el contenido y transporte de una gran variedad de sustancias entre las que se encuentran las citadas anteriormente como el calcio y fitohormonas además de otras como carbohidratos y poliaminas. La floración dependerá así de la interacción de diversas sustancias y no de la acción de un sólo florigeno y además, todas las partes de la planta participan en el intercambio de señales, lo cual sugiere la existencia de una estrecha interrelación entre raíz-hoja-yema [Kinet et al., *Environ. Exp. Bot.* **33**: 459 (1993)]. Las poliaminas son una de las sustancias que se investigan desde hace muy pocos años como responsables de parte del proceso de inducción floral. Estas sustancias son compuestos alifáticos de bajo peso molecular y con grupos amino que a pH fisiológico se encuentran protonados. Las poliaminas más comunes son las diaminas putrescina y cadaverina, la triamina espermidina y la tetraamina espermina. Por su naturaleza policatiónica participan en el control de multitud de procesos de crecimiento y del desarrollo vegetal, además, se les ha atribuido un posible papel como segundos mensajeros de muchas respuestas moduladas por luz y fitohormonas. Recientemente se ha demostrado su participación en el control de la floración de soja [Caffaro y Vicente, *Plant Physiol. Biochem.* **32**, 391 (1994)].

La segunda teoría de control de la floración (teoría de la señal eléctrica) se basa en que la detección del estímulo fotoperiódico inductivo de la floración produce alteraciones en la membrana plasmática y que estos cambios se extienden en forma de estímulo electrofisiológico rápidamente a lo largo de la red membranosa que constituye el simplasto en toda la planta. Estas alteraciones de la membrana producen cambios en el flujo iónico celular desencadenándose la transformación observada en las yemas vegetativas que preceden a la transición floral.

Actualmente ninguna de las dos teorías explican en su totalidad el complejo proceso de floración aunque hay evidencias experimentales que avalan a ambas. Probablemente como ha ocurrido a menudo en la ciencia es muy posible que ambas se complementen y que se construya una teoría unificadora donde se explique el control de la floración a través del procesado tanto de señales muy rápidas como cambios en permeabilidad de membrana y de señales más lentas como la síntesis y transporte de las sustancias inductoras o moduladoras de la floración (florigeno). Estas señales químicas rápidas y lentas se producirían tras la percepción de señales ambientales informativas como el fotoperiodo por lo que la transducción de la señal a través de procesos rápidos o lentos no es más que manifestaciones distintas de un mismo sistema de control. Quizás en un tiempo no muy lejano los poetas no sólo se inspirarán en el producto terminado, la flor, relatando sus colores y fragancias sino que extenderán su imaginación al proceso oculto multifactorial y eléctrico de la floración.

F. López Figueroa (Profesor Titular de Ecología).

MICROBIOLOGÍA

NUEVAS ALTERNATIVAS EN EL DISEÑO DE HERBICIDAS

Las naciones del mundo desarrolladas son capaces de producir más alimentos de los necesarios para alimentar a su población. Esta alta productividad es el resultado del uso de fertilizantes y de otros compuestos agroquímicos para el control de malas hierbas, insectos y enfermedades de las cosechas. De las

aproximadamente 300.000 especies de plantas superiores que se conocen, alrededor del 10% son consideradas malas hierbas, pero únicamente 200 de ellas son responsables del 95% de las pérdidas causadas por este problema. El coste es elevado, ya que además de las pérdidas en productividad hay que añá-

dir los costes de los pesticidas y de su aplicación, ya que en la actualidad, el uso de herbicidas supera, con mucho, a la suma de insecticidas y fungicidas. Los pesticidas son un elemento crucial para el mantenimiento de nuestra moderna industria alimentaria; sin embargo, el abuso indiscriminado de los mismos suele provocar con frecuencia graves problemas medioambientales, llegando incluso a amenazar a la salud pública [Hoagland R.E., Ed. *Microbes and Microbial Products as Herbicides*, American Chemical Society, Washington, (1990)].

La mayoría de los herbicidas comerciales han sido descubiertos a través de extensos programas de búsqueda, calculándose que en los últimos 50 años, entre 3 y 5 millones de compuestos han sido analizados. Aunque el lugar concreto de actuación de la mayoría de los herbicidas se desconoce, los principales procesos inhibidos por los herbicidas son la biosíntesis de compuestos esenciales, la fotosíntesis o la división celular [Kishore y Shah, Ann. Rev. Biochem. 57, 627 (1988)]. Aunque se están realizando avances en el control de las malas hierbas, éstas siguen causando importantes pérdidas a la agricultura, así que son necesarias nuevas estrategias de control que reemplacen a las actuales. Este creciente interés en métodos de control alternativos ha traído consigo la necesidad de disponer de herbicidas menos persistentes, más selectivos y de menor impacto ambiental.

En el diseño de nuevos herbicidas la selección del lugar diana del herbicida es el paso más importante, debiéndose de tener en cuenta dos consideraciones principales: *seguridad*, para que la diana no esté presente en animales, especialmente en mamíferos; y *letalidad*. Si analizamos los herbicidas existentes podemos extraer 5 criterios principales para la selección de los lugares diana [Singh, B.K., Flores, H.E. y Shanon, J.C., Eds., *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, Rockville, (1992)]:

- La diana ha de estar presente en bajas concentraciones. La abundancia de una diana determinada puede influir en las dosis de los tratamientos y encarecer los costes.

- El compuesto inhibidor ha de ser fácilmente disponible para hacer económicamente factible su utilización.

- Ha de disponerse de un ensayo *in vitro* fácil de realizar.

- El lugar de inhibición ha de ser letal para la planta. Es lo que va a decidir si un compuesto determinado es un herbicida o simplemente un inhibidor; y por último,

- La diana ha de presentar un mínimo potencial para la resistencia.

La naturaleza ha hecho el trabajo de distinguir entre cuáles son y cuáles no son los procesos más vulnerables para una planta. Un claro ejemplo es la producción de fitotoxinas por parte de bacterias que tienen su lugar de acción en las rutas de biosíntesis de diferentes aminoácidos [Singh, B.K., Flores, H.E. y Shanon, J.C., Eds., *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, Rockville, (1992)], como es el caso de *Pseudomonas syringae* patovar *phaseolicola* que produce la faseolotoxina, toxina que inhibe a la ornitina carbamil transferasa, bloqueando la síntesis de arginina; o la rizobitoxina, toxina inhibidora de la cistationina β -liasa en la ruta de biosíntesis de metionina producida por *Bradyrhizobium japonicum* y *Pseudomonas andropogonis*. Otro aminoácido cuya síntesis también es bloqueada es la glutamina, mediante la inhibición de la glutamina sintetasa por tabtoxina, toxina producida por diferentes patovares de *Pseudomonas syringae*, y por bialafos y otros derivados más potentes producidos por especies del género *Streptomyces*.

En este sentido, bialafos y sus derivados fosfotricina, su principio activo, y su sal amónica, glufosinato, ya han sido comercializados, siendo estos los herbicidas que más intensamente han sido estudiados desde su descubrimiento [Hoagland R.E., Ed. *Microbes and Microbial Products as Herbicides*, American Chemical Society, Washington, (1990)]. Estos estudios abarcan desde el establecimiento de su ruta de biosíntesis, síntesis química, clonación y sobreexpresión en otras bacterias de los genes que codifican para su síntesis (lo que ha facilitado su producción biotecnológica en fermentadores), determinación de los mecanismos moleculares de actuación, hasta la transformación genética de plantas con el gen de resistencia de *Streptomyces* que codifica para una acetil transferasa que transforma el principio activo en una forma acetilada no herbicida.

Por lo tanto, el control biológico de las malas hierbas mediante herbicidas de origen microbiano, puede jugar un papel muy importante en este campo. Muchos nuevos compuestos microbianos con una potencial actividad bioherbicida están siendo aislados, caracterizados químicamente, y parte de sus actividades biológicas determinadas utilizando diferentes técnicas. Algunos de estos compuestos son factores de virulencia de microorganismos patógenos de plan-

tas, de tal forma que toda la información disponible sobre estas fitotoxinas podrá beneficiar al desarrollo de nuevos herbicidas.

A. Pérez-García (Becario de Investigación).

NOTICIAS

El más pequeño eucariota

Recibe el nombre de picoplancton el conjunto de organismos acuáticos de un tamaño inferior a los dos micrómetros de diámetro. Esta fracción del plancton está dominada por los procariontes. Recientemente, un grupo de investigadores franceses que examinaban una muestra de picoplancton mediante citometría de flujo descubrieron un alga verde minúscula que probablemente sea el más pequeño organismo eucariótico conocido [Courties et al., *Nature*, 370, 255 (1994)]. El alga ha recibido el nombre de *Ostreococcus tauri*, y se ha localizado en una marisma de la costa mediterránea francesa. Su forma es ovalada y su diámetro mayor es, en promedio, ligeramente inferior al micrómetro. Como término de comparación, un glóbulo rojo humano, que carece de núcleo, tiene un diámetro siete veces mayor. La célula de *Ostreococcus* tiene una estructura muy simple. El núcleo contiene tan sólo 33.3 femtogramos de DNA, es decir, 33.3 milbillonésimas de gramo. En el citoplasma hay una mitocondria, un aparato de Golgi y un plastidio (donde se produce la fotosíntesis) con un grano de almidón. A pesar de esta simplicidad, *Ostreococcus* es la fracción dominante del picoplancton en la marisma en la que se ha descubierto, y su abundancia oscila entre diez y doscientos millones de organismos por litro de agua. Los autores confían en encontrar *Ostreococcus* en otras zonas costeras del Mediterráneo.