

Resistencia inducida contra las enfermedades

Marco Aurelio Crisancho Ardila

La resistencia inducida tiene como base la activación de los mecanismos de defensa natural de las plantas antes de la llegada de un patógeno. Este tipo de resistencia en plantas es el equivalente a la “inmunización o vacunación” de los seres humanos contra enfermedades, pero difiere de ella en que el estado inducido no es específico contra un solo patógeno sino que puede ocasionar un incremento general en la resistencia de la planta a varios tipos de patógenos. Además, dicha resistencia rara vez evita la aparición de la enfermedad y más bien reduce su severidad (Ku é, 2001).

En comparación con el control químico tradicional, la resistencia inducida por agentes bióticos o abióticos no tiene efectos inmediatos drásticos sobre la reducción de la enfermedad pero si tiene un efecto mucho más duradero. La reacción de resistencia comienza muy pronto después de la aplicación del agente inductor y los beneficios duran, en general, entre tres semanas y dos meses, aunque existen reportes de duración de la resistencia hasta por seis meses.

El fenómeno de la resistencia inducida se describe frecuentemente como resistencia sistémica adquirida (SAR por sus siglas en inglés). El término “sistémico” se refiere a que la protección no se confina a las partes tratadas de la planta sino que se extiende a otras partes y, frecuentemente, a órganos de la planta en pleno desarrollo. Sin embargo, se ha visto que la resistencia inducida no es siempre del tipo sistémico sino que se puede presentar localizada aunque ésta ha sido poco estudiada (Ku é, 2001).

Inducción de resistencia con agentes bióticos y abióticos

La inducción de resistencia ha sido demostrada en muchas especies de plantas por medio del uso de hongos, bacterias, estimuladores (elicitores) microbianos y diferentes compuestos químicos. Típicamente se utilizan microorganismos no patógenos o patógenos inactivados para producir esta forma de resistencia.

Usualmente, la reacción de resistencia no es raza - específica y en algunos casos puede resultar en resistencia simultánea a hongos, bacterias y virus.

La resistencia inducida "clásica" requiere la inoculación previa de un patógeno inductor de necrosis, lo cual la hace impracticable en agricultura. Producto de la investigación sobre compuestos químicos como agentes abióticos para inducción de resistencia, existen en el mercado productos comerciales que actúan sobre la planta sin atacar directamente al microorganismo patógeno (Kuc, 2001).

Inducción de resistencia con microorganismos

Rizobacterias

La zona de influencia de la raíz en el suelo, rizosfera, es una zona de intensa actividad microbiana. Algunas bacterias de esta zona

exhiben una activa colonización de la raíz y son conocidas como rizobacterias; entre ellas, se distinguen aquellas que son promotoras del crecimiento en plantas (PGPR, por sus siglas en inglés).

Las PGPR se utilizan principalmente para la inducción de resistencia en vegetales contra enfermedades transmitidas por insectos. Experimentos realizados en pepino y tomate muestran que la aplicación de PGPR protege a la planta del ataque de virus y bacterias transmitidos por insectos.

La protección se caracteriza por una reducción en los síntomas de la enfermedad, reducción en la incidencia de la infección viral e incremento en la producción de la planta, en comparación con plantas sin tratar. En las plantas tratadas con rizobacterias PGRP se disminuye la alimentación de los insectos transmisores y se acelera la activación de los mecanismos de defensa ocasionada por la presencia del patógeno.

Los productos comerciales desarrollados a partir de rizobacterias contienen generalmente diferentes especies de *Bacillus*, especialmente *B. subtilis*. En Estados Unidos el producto más conocido es el Kodiak® utilizado en varios cultivos contra los patógenos presentes en el suelo *Rhizoctonia* y *Fusarium*. En China, se comercializan alrededor de 20 productos con base en rizobacterias.

Las restricciones al uso de productos químicos aplicados al suelo hacen que este tipo de biocontroladores adquiera cada vez mayor importancia (Zehnder *et al.*, 2001).

Agentes químicos sintéticos

Ácido isonicotínico (INA), Benzothidiazoles (BTH) y Acibenzolar-S-methyl (ASM)

Estos compuestos actúan como substitutos del ácido salicílico, uno de los inductores naturales de resistencia sistémica presente en varios grupos de plantas. Comercialmente, se encuentran estos compuestos en los productos BION®, ACTIGARD™ y BOOST®, los cuales no presentan actividad antimicrobiana *in vitro*, pero activan los mecanismos de resistencia de la planta al ataque de diversos patógenos. Su eficiencia se ha comprobado en la protección del trigo contra *Erysiphe*, y en tabaco, tomate, mango, banano y cítricos contra un amplio espectro de patógenos (Tally *et al.*, 1999).

Inducción de resistencia en lesiones locales

La aplicación localizada de varias sales entre ellas, fosfatos, silicatos y oxalatos, ocasiona la inducción de resistencia sistémica a un rango de patógenos. A diferencia de compuestos como INA, BTH, y ASM, estas sales inducen la producción de ácido salicílico en los tejidos donde se aplican en vez de reemplazarlo. No se han desarrollado productos comerciales a partir de estos químicos (Kombrink y Shmelzer, 2001).

Probenazole

Se utiliza principalmente en arroz contra *Pyricularia* y *Xanthomonas* y en otras plantas contra patógenos bacterianos. En el caso de *Pyricularia* se reporta efecto directo del producto sobre el hongo (Kombrink y Shmelzer, 2001).

Ácido β-amino butírico (BABA)

BABA es un aminoácido que no está presente en las proteínas y que raramente se encuentra en la naturaleza. Se conoce como inductor de resistencia desde hace 40 años, cuando se utilizó para proteger la arveja del ataque del hongo *Aphanomyces euteiches*.

Este compuesto y algunos de sus derivados activan los mecanismos de resistencia y algunas veces actúan directamente sobre patógenos bacterianos, fúngicos y virales, especialmente contra mildew veloso (*Peronospora* spp.). Sin embargo, cuando se aplica en aspersión a las hojas de tabaco y tomate presenta algún efecto tóxico, lo cual no ocurre cuando se aplica a las raíces o a otros órganos de la planta.

Existen evidencias de que la resistencia inducida por BABA y otros compuestos similares se debe principalmente a la inducción directa de proteínas relacionadas con la patogénesis (PRs). No es claro aún si la inducción de resistencia por BABA es dependiente del ácido salicílico (Jakab *et al.*, 2001).

Derivados del ácido ciclopropan carboxílico

Dentro de estos derivados están la Carpropamida y WL28325. Las plantas tratadas presentan respuesta rápida a la infección y se ha determinado alguna acción directa sobre *Pyricularia* (Oostendorp *et al.*, 2001).

Otros compuestos

El producto Oxycom™ (oxígeno activo) se utiliza con éxito en campo para el

manejo de *Pythium*, mildew veloso y mildew polvoso. Se presume que actúa específicamente como inductor de resistencia ya que su aplicación induce genes involucrados en reacciones de resistencia y presenta baja actividad antifúngica. El producto Oryzmate es un inductor comercial con mecanismo de acción desconocido, usado en arroz contra “blast y bacterial leaf blight” (Kim *et al.*, 2001).

Compuestos involucrados en la resistencia inducida

Muchos de los compuestos presentes en las reacciones de resistencia normales se detectan en las reacciones de resistencia inducida. En estas reacciones, además del ácido salicílico, participan mecanismos como lignificación y síntesis de otras barreras estructurales y expresión de proteínas relacionadas con patogénesis (PRs). Igualmente, se relacionan incrementos en la actividad de peroxidasa, phenilalanina amonio liasa (PAL), fitoalexinas y polisacáridos inhibidores de proteinasas (Ellingboe, 2001).

Inducción de resistencia en café contra la roya

En café se han desarrollado varios trabajos utilizando diversos microorganismos no patógenos o patógenos atenuados para tratar de inducir resistencia contra la roya *Hemileia vastatrix*. Estos trabajos se han desarrollado principalmente en varios centros de investigación en Brasil y en Cenicafé en Colombia. Dentro de los tratamientos que se han ensayado con este propósito están formulaciones comerciales de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Cristancho y Leguizamón, 1995), aislamientos de la

bacteria *Pseudomonas* spp. (Porras, 1996), urediniosporas de *H. vastatrix* inactivadas térmicamente (Guzzo *et al.*, 1987; Rodríguez *et al.*, 1982) y extractos crudos de células de la bacteria *Xanthomonas campestris* (Guzzo *et al.*, 1993).

La aplicación de estos inductores ocasiona disminución de la incidencia de la enfermedad y a escala celular la síntesis de compuestos fenólicos involucrados en mecanismos de defensa de la planta (Moraes *et al.*, 1976). Como respuesta a la aplicación de urediniosporas de roya inactivadas se presentaron “flecks” y tumefacciones, reacciones típicas de resistencia del café a este patógeno, lo cual confirma la inducción de compuestos de resistencia o defensa en las plantas tratadas (Becker *et al.*, 1991).

Uso práctico de la resistencia inducida

Debido al desconocimiento de su mecanismo de acción, la resistencia inducida no ha tenido una aplicación amplia en la agricultura. Sin embargo, sus características de acción la convierten en un mecanismo potencial que puede ser muy eficiente para el manejo de enfermedades en plantas. La salida al mercado de los primeros productos químicos para estimular la inducción de resistencia en plantas, como los ya mencionados Actigard®, BION® y Oxycom™, permiten vislumbrar un futuro promisorio, especialmente para el manejo de aquellas enfermedades para las que no se cuenta con otro mecanismo de protección, específicamente en aquellos casos donde no se cuenta con fuentes de resistencia genética. Es de esperarse que nuevos productos con acción inductora sean introducidos al

mercado en un futuro próximo. La utilización de nuevas herramientas de la biotecnología ha permitido comenzar a conocer los mecanismos moleculares involucrados en la resistencia inducida. Sin embargo, muchas etapas del proceso de resistencia inducida aún se desconocen, debido a la complejidad de los procesos químicos involucrados en la expresión de resistencia. No se conoce mucho sobre el proceso de biosíntesis y de transporte del ácido salicílico; tampoco se sabe cuáles compuestos están involucrados en las señales

sistémicas entre células, aunque se tienen algunas evidencias de que un lípido de transferencia de proteínas podría moverse a través del floema y estimular la producción de proteínas implicadas en la resistencia.

Finalmente, hay que tener claro que un compuesto activador de la resistencia inducida debe cumplir los mismos criterios de seguridad toxicológica y ambiental, y su uso debe ser confiable bajo condiciones prácticas para ser comercialmente viable para las casas de agroquímicos y el agricultor.

Referencias

- BECKER R., S.M.; MORAES W.; QUIJANO R., M. La Roya del café: conocimiento y control. Eschborn, GTZ, 1991. 281 p.
- CRISTANCHO A., M.A.; LEGUIZAMÓN C., J.E. Efecto protector de la bacteria *Bacillus thuringiensis* en plantas de café contra el desarrollo de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. Cenicafé 46:140-151. 1995.
- ELLINGBOE, A.H. Plant-pathogen interactions: genetic and comparative analyses. *European Journal of Plant Pathology* 107:79-84. 2001.
- GUZZO, S.D.; MARTINS, E.M.F.; MORAES, W.B.C. Induced protection of coffee plants to *Hemileia vastatrix*. I. Partial purification of the extracellular inducer from heat-killed urediniospores of the pathogen. *Fitopatologia Brasileira* 12:377-385. 1987.
- GUZZO, S.D.; BACH, E.E.; MARTINS, E.M.F.; MORAES, W.B.C. Crude exopolysaccharides (EPS) from *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and commercial xanthan gum as inducers of protection in coffee plants against *Hemileia vastatrix*. *Journal of Phytopathology* 139:119-128. 1993.
- JAKAB, G.; COTTIER, V.; TOQUIN, V.; RIGOLI, G.; ZIMMERLI, I.; MÉTRAUX, J.-P.; MAUCHMANI, B. β -Aminobutyric acid-induced resistance in plants. *European Journal of Plant Pathology* 107:29-37. 2001.
- KIM, Y.C.; BLEE, K.A.; ROBINS, J.; ANDERSON, A.J. Oxyxom™ under field and laboratory conditions increases resistance responses in plants. *European Journal of Plant Pathology* 107:129-136. 2001.
- KOMBRINK, E.; SCHMELZER, E. The hypersensitive response and its role in local and systemic disease resistance. *European Journal of Plant Pathology* 107:69-78. 2001.

- KUC. Concepts and direction of induced systemic resistance in plants and its application. *European Journal of Plant Pathology* 107(1):7-12. 2001
- MORAES, W.B.C.; MARTINS, E.M.F; MUSUMECCI, M.R.; BERETTA, M.J.G. Induced protection to *Hemileia vastatrix* in coffee plants. *Summa Phytopathologica* 2:39-43. 1976.
- OOSTENDORP, M.; KUNZ, W.; DIETRICH, B.; STAUB, T. Induced disease resistance in plants by chemicals. *European Journal of Plant Pathology* 107:19-28. 2001.
- PORRAS V., N.C. Inducción de resistencia por cuatro cepas de *Pseudomonas* spp., en plántulas de café contra la roya del caféto *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias, 1996. 147 p. (Tesis: Bacteriología)
- RODRIGUES, C.J.; RIJO, L.; MEDEIROS, E.F. Induction of flecks and tumefactions on coffee leaves by incompatible and compatible, viable and non-viable uredospores of *Hemileia vastatrix* and of other rusts, and by their leachates. *García de Orta; Serie de Estudios Agronomicos* 9:105-110. 1982.
- TALLY A, OOSTENDORP M, LAWTON K, STAUB T, BASSI B. Commercial development of elicitors of induced resistance to pathogens. *In*, (A. A. Agrawal, S. Tuzun, E. Bent Eds.) *Induced plant defense against pathogens and herbivores: Biochemistry, ecology and agriculture*. American Phytopathological Society Press 1999. 357-69.
- ZEHNDER, G.W.; MURPHY, J.F.; SIKORA, E.J.; KLOEPPER, J.W. Application of rhizobacteria for induced resistance. *European Journal of Plant Pathology* 107:39-50. 2001.