



Figura 1. Difusor polimérico utilizado para liberación de compuestos volátiles elicitores de defensas.

**Meritxell Pérez-Hedo,
Miguel Alonso-
Valiente,
Chaymaa Riahi,
Sarra Bouagga*,
Alberto Urbaneja**

Centro de Protección
Vegetal y Biotecnología,
Instituto Valenciano
de Investigaciones
Agrarias (IVIA).
Moncada, Valencia.

Laura Depalo

DISTAL Department of
Agricultural and Food
Sciences, Alma Mater
Studiorum, Università
di Bologna, Bologna
Italia.

*Dirección actual:
R&D Department,
Koppert España S.L. La
Mojonera, Almería.

Inducción de defensas en pimiento: una nueva herramienta sostenible de gestión de plagas y enfermedades

Para minimizar el ataque de plagas y enfermedades, las plantas poseen distintos tipos de mecanismos de defensa. Estas defensas pueden estar siempre presentes en la planta (constitutivas) o pueden activarse únicamente cuando una planta es atacada por un fitófago o infectada por un patógeno (inducibles). Trabajos previos que se resumen en este trabajo han demostrado cómo varias especies de depredadores zoofitófagos, debido a su fitofagia, pueden activar defensas en el cultivo del pimiento. Estas defensas hacen que la planta de pimiento sea más resistente frente a varias especies plaga, más atractivas para enemigos naturales y menos susceptible a la multiplicación de enfermedades. Además, la inducción de defensas resulta en la emisión de sustancias volátiles de origen vegetal (HIPV) que la planta utiliza para comunicarse entre sí. Mediante estas señales, las plantas de pimiento son capaces de activar mecanismos de defensa contra plagas y enfermedades. El uso de estos HIPV podría resultar en un nuevo enfoque para el manejo sostenible de plagas al aprovechar el potencial de la comunicación entre las plantas y aprovechar así sus mecanismos de defensa (Figura 1).

Enfermedades y medios de control compatibles con enemigos naturales

Inducción de defensas por depredadores zoofitófagos

El rango de presas de *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) es amplio e incluye plagas agrícolas como pulgones, moscas blancas, huevos de lepidópteros, ácaros y trips, con una clara preferencia por este último grupo de plagas. Sin embargo, el género *Orius* también puede alimentarse de plantas; por ejemplo, de polen y savia. Bouagga y col. (2018a) comparó la importancia de la alimentación de *O. laevigatus* con otros comportamientos sobre pimiento. *Orius laevigatus* pasó la mayor parte de su tiempo (38%) alimentándose de meristemo apical y hojas frescas apicales, las cuales también fueron su ubicación preferida. A partir de estos resultados estos mismos autores pudieron demostrar que el comportamiento fitófago de *O. laevigatus* en pimiento desencadena respuestas defensivas en la planta, las cuales contribuyen a la repelencia de plagas. De este modo, las plantas de pimiento picadas con *O. laevigatus* inducen una repelencia a mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) y al trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: thripidae). Las respuestas de la planta al comportamiento fitófago de *O. laevigatus* incluye la liberación de una mezcla de compuestos volátiles y la activación de las vías de señalización del ácido jasmónico y ácido salicílico. Estos resultados ponen de manifiesto una faceta interesante de la biología de *O. laevigatus*, en la cual la capacidad del depredador para inducir respuestas defensivas en las plantas de pimiento puede servir para mejorar el control biológico (CB) del trips y la mosca blanca. De hecho, los resultados podrían explicar en parte el gran éxito logrado por los programas de GIP basados en la liberación, el establecimiento y la conservación de *O. laevigatus* en el cultivo de pimiento. Además de sus servicios como depredadores, los míridos zoofitófagos podrían inducir también respuestas defensivas en pimiento debido a su fitofagia. Estas preguntas se abordaron en el trabajo de Bouagga y col. (2018b) donde se estudió la fitofagia y la capacidad de inducir defensas en pimiento de las dos especies de míridos disponibles comercialmente en

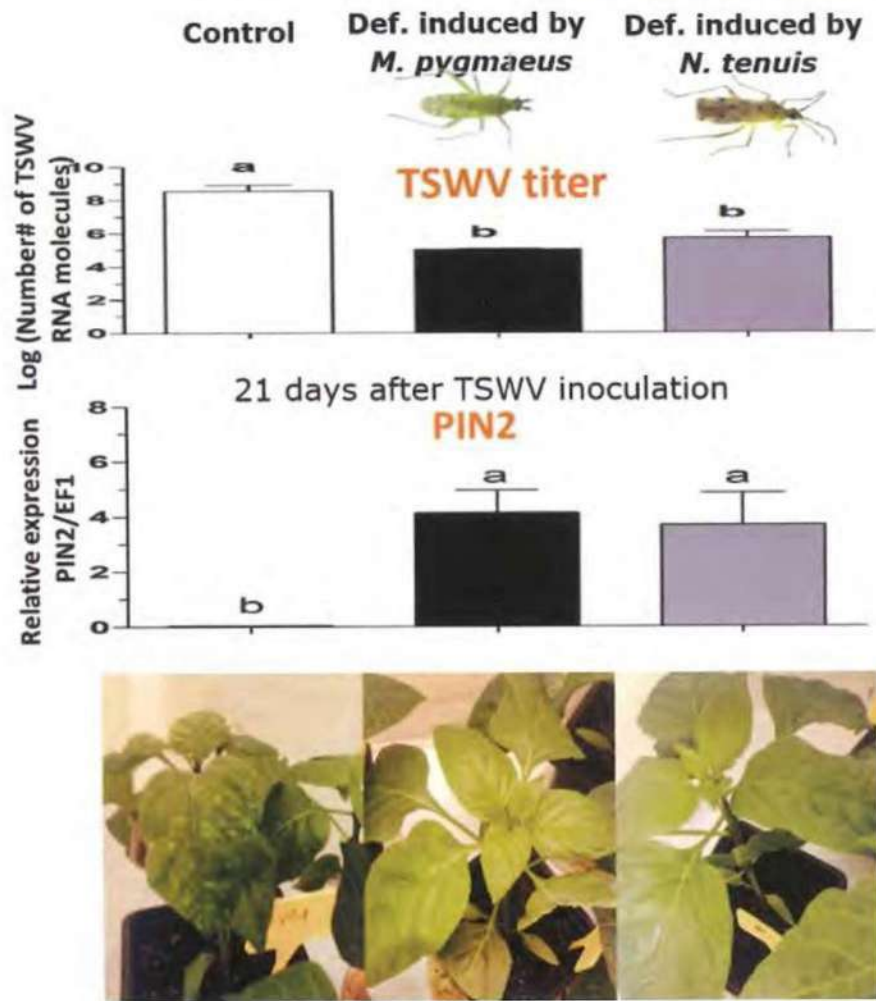


Figura 2. Cuantificación del virus del bronceado del tomate (TSWV) mediante RT-qPCR, expresión relativa del gen defensivo PIN2 (vía del ácido jasmónico) y síntomas de TSWV en hojas de pimiento dulce 21 días después de la infección por TSWV en plantas de pimiento con tres tratamientos: (i) plantas intactas, (ii) plantas inducidas por *N. tenuis* y (iii) plantas pinchadas por *M. pygmaeus*. (Bouagga y col. 2019).

España *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) y *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) (Hemiptera: Miridae). El comportamiento de fitofagia sobre la planta de pimiento se observó tanto en *N. tenuis* como en *M. pygmaeus* y ocuparon el 33% y el 14% del tiempo total que estuvieron sobre ésta, respectivamente. Las picaduras alimenticias de los míridos indujeron la liberación de una mezcla de volátiles (HIPV) que repelieron los herbívoros *F. occidentalis* y *B. tabaci* y atrajeron al parasitoide de mosca blanca *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae). El efecto repelente sobre *B. tabaci* se observó durante al menos 7 días después de la exposición inicial de la planta a *N. tenuis* y la atracción de *E. formosa* permaneció funcional durante 14 días. Una parte importante de la inducción defensiva de las plantas es la capacidad de adquirir resistencia o tolerancia a las enferme-

dades de las plantas. Recientemente, hemos sido capaces de demostrar cómo la alimentación de los míridos induce defensas de las plantas mediadas por JA que restringen la multiplicación del virus del bronceado del tomate (TSWV) en plantas de pimiento (Figura 2) (Bouagga y col., 2020).

Inducción de defensas por volátiles

Como se ha comentado anteriormente, el comportamiento fitófago de los depredadores zoofitófagos (Hemiptera: Miridae y Anthocoridae) puede desencadenar la liberación de volátiles en pimiento. Algunos de estos volátiles ya se ha demostrado que son responsables de inducir defensas en plantas intactas adyacentes sin exposición previa a depredadores zoofitófagos, tanto en tomate como en pimiento. Por lo tanto, nos preguntamos si po-

dríamos aprovechar estos volátiles como una herramienta para aumentar la resiliencia de las plantas contra las plagas. Para determinar qué volátiles eran responsables, se expusieron plantas intactas individuales a cada uno de estos volátiles inducidos por depredadores zoofitófagos [1-hexanol, (Z)-3-hexenol, (Z)-3-hexenyl acetate, (Z)-3-hexenyl propanoate, butanoato de (Z)-3-hexenilo, butanoato de hexilo, metil jasmonato y metil salicilato de metilo] durante 24 horas. Muchos de estos volátiles sobreexpusieron genes defensivos en plantas de tomate y pimiento expuestas en comparación con plantas no expuestas (Pérez-Hedo y col., 2021a).

En una primera etapa se ha seleccionado el volátil (Z)-3-hexenil propanoato [(Z)-3-HP], ya que fue capaz de mostrar una capacidad de inducción mayor. A través de análisis transcrip-tómicos y metabolómicos, hemos podido confirmar que los genes involucrados en la defensa especializada en tomate están regulados positivamente por la exposición a (Z)-3-HP. Esta activación resulta en una mayor producción de compuestos derivados de ácidos grasos, en una activación de la vía de la lipoxigenasa y en la acumulación de compuestos de defensa específicos, lo cual consigue

reducir el desarrollo de varios herbívoros plaga en tomate (Pérez-Hedo y col., 2021b).

A la luz de estos resultados, diseñamos y formulamos este volátil en difusores de liberación controlada que emiten (Z)-3-HP a tasas constantes durante periodos prolongados (Pérez-Hedo y col., 2020; 2021b). Se seleccionaron difusores de viales de polímero [polietileno de baja densidad (LDPE) de 4 ml]. El uso de estos difusores permeables ya ha sido probado en condiciones de campo en tomate

Enfermedades y medios de control compatibles con enemigos naturales

con resultados positivos y próximamente se ensayará en pimiento.

Epílogo

El interés en las aplicaciones potenciales de los HIPV para inducir defensas de las plantas ha aumentado significativamente en los últimos años. Sin embargo, la inducción de defensas de las plantas exponiéndolas a los HIPV aún no ha sido utilizada a nivel de cultivos comerciales. Los resultados recientemente obtenidos son los primeros en demostrar cómo los HIPV liberados a través de difusores poliméricos en invernaderos comerciales provocan defensas de las plantas y podrían implementarse con éxito como una nueva herramienta bio-racional y sostenible para el control de plagas. Nuestro trabajo anterior proporciona un nuevo enfoque para el manejo sostenible de plagas al aprovechar el potencial de las redes de comunicación de las plantas y aprovechar sus mecanismos de defensa. Sin embargo, aún se necesita más investigación para realizar todo el potencial de los volátiles como inductores de defensa en el caso particular del cultivo de pimiento.

Bibliografía

- ! Bouagga, S., Urbaneja, A., Rambla, J.L., Granell, A., Pérez-Hedo, M., 2018a. *Orius laevigatus* strengthens its role as a biological control agent by inducing plant defenses. *J. Pest Sci.* 91, 55-64.
- Bouagga, S., Urbaneja, A., Rambla, J.L., Flors, V., Granell, A., Jaques, J.A., Pérez-Hedo, M., 2018b. Zoophytophagous mirids provide pest control by inducing direct defences, antixenosis and attraction to parasitoids in sweet pepper plants. *Pest Manag. Sci.* 74, 1286-1296.
- Bouagga, S., Urbaneja, A., Depalo, L., Rubio, L., Pérez-Hedo, M. 2020. Zoophytophagous predator-induced defences restrict accumulation of the tomato spotted wilt virus. *Pest Manag. Sci.* 76, 561-567.
- Pérez-Hedo, M., Urbaneja, A., Alonso-Valiente, M., Navarro-Llopis, V., Vacas, S., Rambla, J.L., Granell, A., 2020. Uso de ésteres de (Z)-3-hexenilo y método para proteger plantas frente a plagas. Patente nº 2763224.
- Pérez-Hedo, M., Alonso-Valiente, M., Vacas, S., Gallego, C., Rambla, J.L., Navarro-Llopis, V., Granell, A., Urbaneja, A. 2021a. Eliciting tomato plant defenses by exposure to HIPVs. *Entomol. Gen., En prensa.*
- Pérez-Hedo, M., Alonso-Valiente, M., Vacas, S., Gallego, C., Pons, C., Arbona, V., Rambla, J.L., Navarro-Llopis, V., Granell, A., Urbaneja, A. 2021b. Plant exposure to herbivore induced plant volatiles: a sustainable approach through eliciting plant defenses. *J. Pest Sci., En prensa.* DOI: 10.1007/s10340-021-01334-x