

Gestión de plagas y enfermedades basada en el aumento de la respuesta de defensa de la planta

Inducida por depredadores zoofitófagos utilizados en el control biológico de plagas

Garantizar la seguridad alimentaria es uno de los desafíos más acuciantes con los que se encuentra la población mundial en la actualidad. La producción agrícola mundial se enfrenta con el reto de cubrir la demanda creciente de alimentos para una población que de acuerdo con la FAO alcanzará los 9.000 millones de habitantes en 2050 (Mylona *et al.*, 2016). Esta necesidad deberá poder abordarse a pesar de las adversidades que pueden suponer los cambios en los patrones de consumo, los impactos del cambio climático y la creciente escasez de agua y tierra cultivable.

Además, a estas adversidades hay que añadir las ya importantes pérdidas de rendimiento en los cultivos debido al estrés provocado por factores bióticos y abióticos. En el caso particular de plagas, patógenos y malas hierbas, las pérdidas varían en cada cultivo (Oerke *et al.* 1994), pero en general, se admite que plagas y enfermedades participan de forma parecida, con un 15% cada grupo, mientras que las malas hierbas lo hacen con otro 13%. A estas cantidades habría que sumar entre un 9 y un 20% de pérdidas adicionales en postcosecha.

Desgraciadamente estas cifras se acentuarán en los próximos años como consecuencia de las nuevas condiciones derivadas del cambio climático (Heimpel *et*

Meritxell Pérez-Hedo, Miquel Alonso-Valiente y Alberto Urbaneja.

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

En trabajos previos hemos demostrado que varias especies de depredadores zoofitófagos utilizadas en estrategias de control biológico de plagas también son capaces de inducir defensas tanto en tomate como en pimiento. Estas defensas inducibles son, sin duda, un valor añadido que poseen estos agentes de control biológico y que, gestionadas adecuadamente, podrían ofrecer una excelente oportunidad para aumentar la resiliencia de los cultivos. En este trabajo se presentan algunas de las investigaciones orientadas en este tema que estamos abordando en la actualidad en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).



Brote apical de tomate donde se puede observar una ninfa del depredador *Nesidiocoris tenuis*.

al. 2013), tales como la introducción de nuevas plagas o enfermedades exóticas en nuestros agrosistemas.

A modo de ejemplo, en España el número de plagas agrícolas exóticas introducidas durante los últimos veinte años llega a casi una por año. En algunas ocasiones son introducciones que pueden pasar desapercibidas, pero desafortunadamente algunas de ellas irrumpen con fuerza en nuestros cultivos al no venir acompañadas de sus enemigos naturales, convirtiéndose rápidamente en plagas clave. Un ejemplo reciente es *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), plaga que desde su introducción desde América del Sur viene provocando graves pérdidas económicas en diferentes países alrededor de la cuenca mediterránea (Desneux *et al.*, 2010).

En este punto sería necesario fortalecer la resiliencia de los actuales programas de gestión de plagas (Pérez-Hedo *et al.*, 2017) de manera que los agroecosistemas donde se apliquen dichos programas sean capaces de adaptarse a la introducción de plagas exóticas sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación haya remitido.

Siguiendo esta línea, la mejora de la sostenibilidad agraria de los cultivos hortícolas, poniendo a disposición del sector tecnologías de manejo y gestión de plagas y enfermedades que faciliten la reducción del uso de fitosanitarios, es uno de nuestros principales objetivos.

Control biológico de plagas: depredadores zoofitófagos

Sin lugar a dudas el control biológico de plagas es la estrategia de control de plagas que se ajusta a la perfección y cumple los requisitos descritos anteriormente. Además, su utilización garantiza una mejor sostenibilidad de los programas de protec-



Detalle del invernadero experimental de tomate donde se está ensayando la difusión de volátiles (HIPVs) como elicitores para la activación defensiva de las plantas.

ción de cultivos de modo que se aseguren las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones. De manera sencilla, el control biológico es el uso de una población de un organismo para mantener una población de otro organismo bajo su umbral económico de daño.

En los últimos años el uso de enemigos naturales omnívoros en cultivos hortícolas, y en particular los depredadores zoofitófagos que pueden alimentarse tanto de la planta como de presas, ha dado lugar a alguno de los éxitos más rotundos del control biológico en nuestro país (Jacas y Urbaneja, 2008).

Así, por ejemplo, en pimiento la liberación y conservación del ácaro depredador *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) junto con el antocórido *Orius laevigatus* (Fieber) (Hemiptera: Anthocoridae) permite manejar con éxito las poblaciones de las plagas clave de este cultivo: la mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius y el trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae)

(van der Blom *et al.*, 1997; Sanchez *et al.*, 2000; van der Blom *et al.*, 2009). De manera similar en tomate, el mirido cosmopolita *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) permite el control eficaz de *B. tabaci* y la polilla del tomate *T. absoluta* (Calvo *et al.*, 2009; Urbaneja *et al.*, 2012; Pérez-Hedo y Urbaneja 2015, 2016; Pérez-Hedo *et al.*, 2017), una importante plaga de tomate detectada por primera vez en España en 2007 (Desneux *et al.*, 2010).

Respuestas de las plantas

Recientemente, trabajos previos de nuestro grupo han demostrado cómo algunos de estos depredadores zoofitófagos, debido a su fitofagia, activan los mismos mecanismos de defensa que provocan los artrópodos herbívoros obligados (Kessler and Baldwin, 2001).

Es ampliamente conocido, que las plantas responden a ataques de fitófagos (defensas inducidas) a través de varias vías de respuesta. Estas defensas pueden

entre otros fenómenos, provocar la producción de metabolitos secundarios y proteínas que tienen efectos tóxicos, repelentes y/o antialimenticios sobre los herbívoros (defensas directas) (Kant *et al.*, 2015). También pueden desencadenar la producción y liberación de volátiles (HIPVs, del inglés *Herbivore Induced Plant Volatiles*) por parte de la planta que pueden modificar el comportamiento tanto de las plagas fitófagas como de sus enemigos naturales (defensas indirectas) (Pare y Tumlinson, 1997).

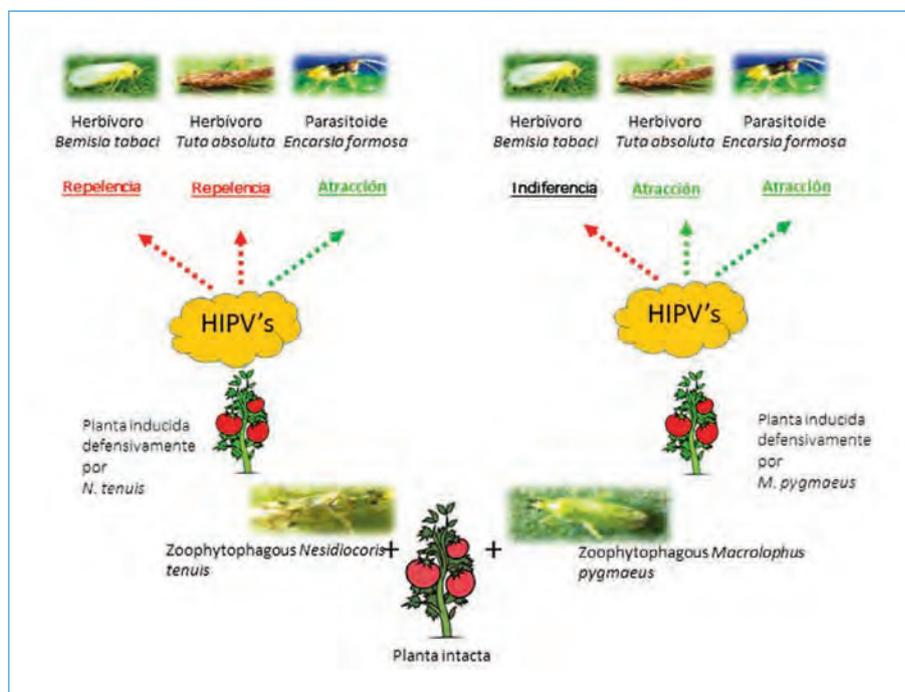
Estas defensas inducibles son sin duda un valor añadido que poseen estos agentes de control biológico y gestionadas adecuadamente, podrían ofrecer una excelente herramienta para aumentar la resiliencia de los cultivos.

Tomate

En trabajos previos hemos demostrado que varias especies de depredadores zoofitófagos utilizadas en estrategias de control biológico de plagas son capaces de inducir defensas tanto en tomate como en pimiento. En una primera etapa comprobamos cómo la fitofagia del depredador *N. tenuis* activó la ruta metabólica del ácido abscísico y ácido jasmónico (JA) en plantas de tomate, lo que las hizo menos atractivas para la mosca blanca *B. tabaci*, y más atractivas para el parasitoide de mosca blanca *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) (Pérez-Hedo *et al.*, 2015a).

Además, observamos cómo los volátiles emitidos por plantas picadas por *N. tenuis* podían inducir defensas en plantas vecinas intactas al activarles la ruta del JA, lo que también resultaba en la atracción de parasitoides por estas plantas intactas que no habían sido expuestas a *N. tenuis* (Pérez-Hedo *et al.*, 2015a). Posteriormente hemos podido confirmar que todos los estados de desarrollo de *N. tenuis* (desde ninfas jóvenes hasta adultos) son capaces de desencadenar estas respuestas defen-

FIG. 1 Modelo conceptual de cómo los volátiles (HIPV) desencadenados por los depredadores zoofitófagos *Nesidiocoris tenuis* (izquierda) y *Macrolophus pygmaeus* (derecha) difieren en su capacidad para inducir respuestas defensivas en plantas de tomate, lo que resulta en diversos grados de atracción/repulsión para plagas y enemigos naturales (Adaptado de Pérez-Hedo *et al.*, 2015 a,b).



sivas (Naselli *et al.*, 2016). Sin embargo, no todos los depredadores zoofitófagos tienen la misma capacidad de inducir dichas respuestas en plantas de tomate (**figura 1**).

Las plantas de tomate pueden tener distintos grados de atracción para plagas y enemigos naturales dependiendo de si la fitofagia es producida, por ejemplo, por *N. tenuis*, *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) o *Dicyphus maroccanus* Wagner (Hemiptera: Miridae) (Pérez-Hedo *et al.*, 2015b). Así, mientras que las plantas dañadas por *N. tenuis* rechazan *B. tabaci* y *T. absoluta*, la fitofagia de *M. pygmaeus* y *D. maroccanus* no tiene efecto sobre la repelencia en *B. tabaci* y también atrae a *T. absoluta*. Contrariamente la actividad de los tres miridos resulta en la atracción de *E. formosa*.

Recientemente hemos identificado los volátiles (HIPVs) implicados en las respuestas defensivas de las plantas de tomate inducidas por *M. pygmaeus* y *N. tenuis*: seis volátiles de hojas verdes (GLVs) y el metil salicilato (Pérez-Hedo *et al.*, 2018a). En general, las plantas expuestas a *N. tenuis* emitieron más volátiles que las plantas expuestas a *M. pygmaeus*, y estas últimas emitieron más volátiles que las plantas intactas.

Los seis GLVs y el metil salicilato resultaron ser repelentes para *B. tabaci* y atractivos para *E. formosa*, mientras que no mostraron efecto sobre *T. absoluta*. Estos resultados muestran claramente cómo la herbivoría de los miridos puede modular la preferencia de una plaga o en un enemigo natural en función de la exposición a un determinado volátil y abre las puertas a

posibles aplicaciones prácticas de dichos compuestos.

Pimiento

En pimiento hemos comprobado cómo también la fitofagia del antocórido *O. laevigatus* desencadena respuestas defensivas en la planta (Bouagga *et al.*, 2018a). En concreto plantas de pimiento expuestas a *O. laevigatus* inducen repelencia frente a la mosca blanca *B. tabaci* y al trips *F. occidentalis*. Contrariamente, el parasitoides de la mosca blanca *E. formosa* se siente atraído a las plantas expuestas a *O. laevigatus*.

La fitofagia de *O. laevigatus* desencadena la liberación de una mezcla de volátiles (cinco terpenos, dos GLVs, metil salicilato y uno por identificar) y la activación de las rutas metabólicas del ácido jasmónico y del ácido salicílico. De manera similar, la fitofagia de los míridos *N. tenuis* y *M. pygmaeus* en pimiento también provocó repelencia para *B. tabaci* y *F. occidentalis* y atracción para *E. formosa* y desencadenó volátiles de naturaleza similar a los desencadenados por *O. laevigatus* (Bouagga *et al.*, 2018b).

Líneas de investigación en marcha

- 1 Quizás uno de los resultados más interesantes hasta la fecha haya sido el comprobar cómo en ensayos de inver-



Mientras las plantas de tomate dañadas por el mírido Nesidiocoris tenuis rechazan la mosca blanca Bemisia tabaci y el lepidóptero Tuta absoluta, la fitofagia de los míridos Macrolophus pygmaeus y Dicyphus maroccanus no tiene efecto sobre la repelencia en mosca blanca y atrae a T. absoluta

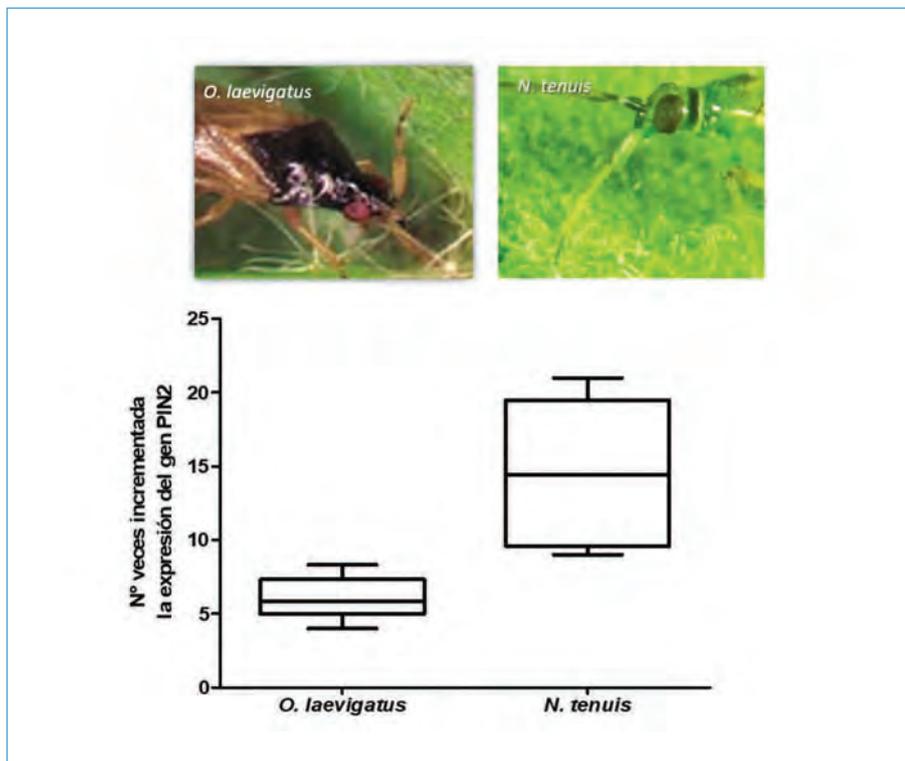
nadero en plantas tanto de tomate como de pimiento que previamente habían sido activadas (expuestas) durante 24 horas por *N. tenuis*, la infestación de la araña roja, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) y de *B. tabaci* era significativamente menor en comparación a plantas de pimiento no expuestas al depredador (Pérez-Hedo *et al.*, 2018b; Bouagga *et al.*, 2018b). Por ello, en la actualidad estamos investigando el efecto de las defensas inducidas por depredadores zoofitófago-

gos en el desarrollo y reproducción de diversas plagas y especies de enemigos naturales clave tanto en tomate como en pimiento.

- 2 Desde que se vienen utilizando depredadores zoofitófagos en cultivos hortícolas se ha observado una menor incidencia de determinadas virosis. Esto nos llevó a hipotetizar en un proyecto anterior que las defensas inducidas por estos depredadores podrían estar alterando la adquisición y multiplicación de virus fitopatógenos. Recientemente, Escobar-Bravo *et al.* (2017) han demostrado cómo plantas de tomate con alta expresión de metiljasmonato se infectan menos con el virus de la cuchara del tomate. Y este compuesto es precisamente lo que activan los depredadores zoofitófagos (figura 2) con lo que ahora mismo nos estamos centrando en profundizar en el efecto de la inducción defensiva en la multiplicación virosis del tomate y pimiento.
- 3 Hasta la fecha también hemos podido comprobar cómo tanto plantas de tomate como de pimiento pueden permanecer activadas (con su sistema defensivo inducido) hasta 14 días después de su exposición puntual de 24 horas tanto por míridos como por *O. laevigatus* (Bouagga *et al.*, 2018a,b). Otro de los interrogantes que pretendemos dar respuesta es conocer las dinámicas de activación defensiva en los



FIG. 2 Niveles relativos significativos (número de veces incrementado) de la respuesta transcripcional del gen defensivo PIN2 (marcador de la activación de la ruta del ácido jasmónico) en plantas de pimiento dulce y tomate expuestas a la fitofagia de *O. laevigatus* y *N. tenuis*, respectivamente, en relación con las plantas intactas (Adaptado de Bouagga *et al.*, 2018a y Pérez -Hedo *et al.*, 2015 a).



cultivos de tomate y de pimiento donde tanto los miridos como *O. laevigatus* permanezcan durante la totalidad del cultivo. Además, también estamos estudiando la interacción cuando entre en juego un herbívoro que podría afectar a la activación defensiva previamente inducida por un depredador zoofitófago. La consecución de estos resultados serán claves para determinar el papel de estas defensas inducidas en ambos cultivos y confirmar que la menor incidencia de plagas observada en los últimos años en aquellos sistemas donde se están empleando estos depredadores zoofitófagos es debida en parte a esta activación.

4 Tal como se ha comentado con ante-

rioridad se han identificado compuestos volátiles que son responsables de la repelencia y atracción a plagas y a enemigos naturales. Además, alguno de ellos puede ser elicitador de la inducción de defensas directas e indirecta en ambos cultivos y de hecho hemos obtenido algún resultado previo muy positivo que nos anima a continuar en esta línea. En concreto hemos podido activar defensivamente plantas de tomate simplemente exponiéndolas a un volátil de origen sintético. Por ello continuamos con la selección de nuevos compuestos alternativos a los plaguicidas basados en volátiles. Hasta la fecha, ya tenemos seleccionados nuevos compuestos alternativos a los pla-



Plantas de pimiento expuestas a Orius laevigatus inducen repelencia frente a la mosca blanca B. tabaci y al trips F. occidentalis. Contrariamente el parasitoide de la mosca blanca E. formosa se siente atraído por plantas expuestas a O. laevigatus

guicidas basados en volátiles con los cuales estamos realizando ensayos de campo con dispositivos de liberación.

5 Finalmente, estamos dando un paso más allá en el conocimiento de cómo los depredadores zoofitófagos activan las defensas tanto en pimiento como en tomate, y para ello mediante RNAseq pretendemos conocer y estudiar qué genes están implicados en dicha inducción defensiva. Este conocimiento puede ser de gran utilidad no solo en futuros programas de mejora genética donde se busque plantas con alta expresión de un determinado gen, sino que también nos ayudará a diseñar primero con los que cuantificar de manera más precisa la activación defensiva en ambos cultivos.

El objetivo final de todos estos estudios es proporcionar una base científica con que desarrollar prácticas de protección de cultivos, tanto en intensivo como en extensivo, novedosas y más sostenibles con que responder al desafío global de la seguridad alimentaria. ■

BIBLIOGRAFÍA

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores que pueden solicitar a través del e-mail: redaccion@eumedia.es