



Adulto de *Nesidiocoris tenuis*.

Meritxell Pérez-Hedo*, Miquel Alonso-Valiente, Carolina Gallego, Alberto Urbaneja

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Centro de Protección Vegetal y Biotecnología (IVIA), Moncada, Valencia.
Email: *mperezh@ivia.es

Cómo aprovechar el lenguaje de las plantas para mejorar el control de plagas en tomate

En los últimos años, el uso de míridos depredadores (Hemiptera: Miridae) en cultivos de invernadero ha aumentado considerablemente. Además de su elevada eficacia como agentes de control biológico sobre un amplio rango de presas, en los últimos años se ha comprobado que su fitofagia puede inducir respuestas de defensa en las plantas sobre las que se alimenta. Se ha demostrado cómo una planta activada defensivamente por la alimentación de míridos emite volátiles que son repelentes frente a varias especies plaga y atractiva sobre enemigos naturales. También se ha demostrado que estas defensas inducidas son capaces de reducir la reproducción y desarrollo de fitófagos y la multiplicación de virus. Además, una planta de tomate activada defensivamente por míridos puede alertar a plantas intactas que se encuentren en su proximidad mediante la comunicación por volátiles, y éstas entrar en un estado de alerta (*priming*) y activar mecanismos de defensa mediados por la ruta del ácido jasmónico. Recientemente hemos identificado qué volátiles son los responsables de esta inducción por comunicación. En este trabajo se presentan varias aproximaciones de cómo utilizar estos volátiles en programas de manejo de plagas como elicitores de defensa en el cultivo de tomate.

Palabras clave: Miridae, control biológico, HIPV, defensas vegetales, elicitores.

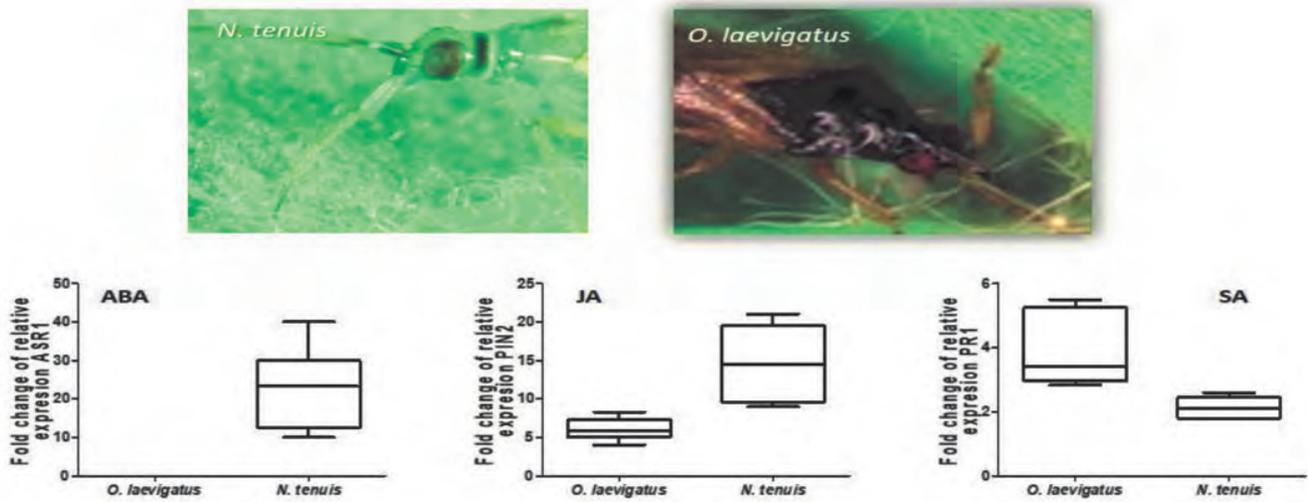


Figura 1. Porcentaje de aumento (*fold change*) de la respuesta transcripcional de los genes defensivos ASR1, PIN2 y PR1 responsables del cambio en el nivel de las fitohormonas ABA, JA y SA, respectivamente, de plantas de pimiento y tomate picadas por *O. laevigatus* y *N. tenuis*, respectivamente, en relación con las plantas intactas (Fuente: Bouagga y col., 2018ab y Pérez-Hedo y col., 2018)

El cultivo de tomate protegido en la cuenca Mediterránea ha ido evolucionando progresivamente desde una gestión de plagas basada en el uso de plaguicidas de origen químico a estrategias basadas casi exclusivamente en control biológico de plagas, donde el uso de plaguicidas es cada vez menor. Mucho de estos éxitos se ha atribuido al uso de enemigos naturales omnívoros, y en particular los depredadores zoofitófagos que pueden alimentarse tanto de la planta como de presa. Entre ellos, los míridos *Nesidiocoris tenuis* Reuter y *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae) son piezas claves en las actuales estrategias de Gestión Integrada de Plagas (GIP) en tomate, donde su uso se ha demostrado que aumenta la resiliencia del cultivo de tomate (Pérez-Hedo y col., 2015a). Los míridos son depredadores generalistas que pueden alimentarse de un amplio rango de presas; dentro de este conjunto encontramos las plagas clave del tomate, la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) y el microlepidóptero, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) (Calvo y col., 2009; Urbaneja y col., 2009). Además de su elevada eficacia como agentes de control biológico, su capacidad fitófaga facilita su establecimiento en el cultivo antes de la llegada de la plaga y aumenta su supervivencia en periodos en que la presa es escasa. Sin embargo, en el caso particular de *N. tenuis*, éste puede dañar las plantas

como resultado de su comportamiento fitófago cuando el nivel de presa es bajo, teniendo incluso que llegar a tratar con plaguicidas en algunos casos el cultivo para reducir y limitar sus daños (Arnó y col., 2010; Cassis y col., 2012).

Recientemente, trabajos 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 (Halitschke y col., 2011; Kessler y Baldwin, 2001).

Activación de defensas por míridos

Como se ha comentado anteriormente, *N. tenuis* y *M. pygmaeus*, al alimentarse de la planta, pueden activar en esta los mismos mecanismos de producción de metabolitos de defensa que provocan los herbívoros estrictos tanto en tomate como en pimiento (Figura 1) (Pérez-Hedo y col., 2015b; Bouagga y col., 2018a). Este hecho hace que estos míridos depredadores sean aún más valiosos en los programas de control biológico de plagas (Pérez-Hedo y Urbaneja 2016; Pérez-Hedo y col., 2017).

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). Del mismo modo, el comportamiento fitófago de los míridos activa varias vías metabólicas relacionadas con las respuestas de defensa de las plantas, como las vías del ácido abscísico, jasmónico y salicílico que desencadenan la producción y liberación de volátiles (HIPV, del inglés Herbivore Induce Plant Volatiles) (Pérez-Hedo y col., 2018a; Bouagga y col., 2018a). Las plantas tienen la capacidad de comunicarse entre ellas para advertirse entre sí de las agresiones externas que sufren y, en el caso de ataques de herbívoros, esta comunicación se lleva a cabo con los HIPV (Kessler y Baldwin, 2001). Algunos de estos volátiles son responsables de la repelencia de herbívoros y la atracción de enemigos naturales; por ejemplo, las plantas activadas por *N. tenuis* son menos atractivas a *B. tabaci* o *T. absoluta* y más atractivas para el parasitoide de la mosca blanca *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) (defensas indirectas) (Figura 2) (Pérez-Hedo y col., 2015b). Además, en estos últimos años hemos podido confirmar que todos los estados de desarrollo de *N. tenuis* (desde ninfa hasta adulto) son capaces de desencadenar respuestas defensivas en la planta de tomate (Naselli y col., 2016), pero, sin embargo, no todos los depredadores zoofitófagos tienen la misma

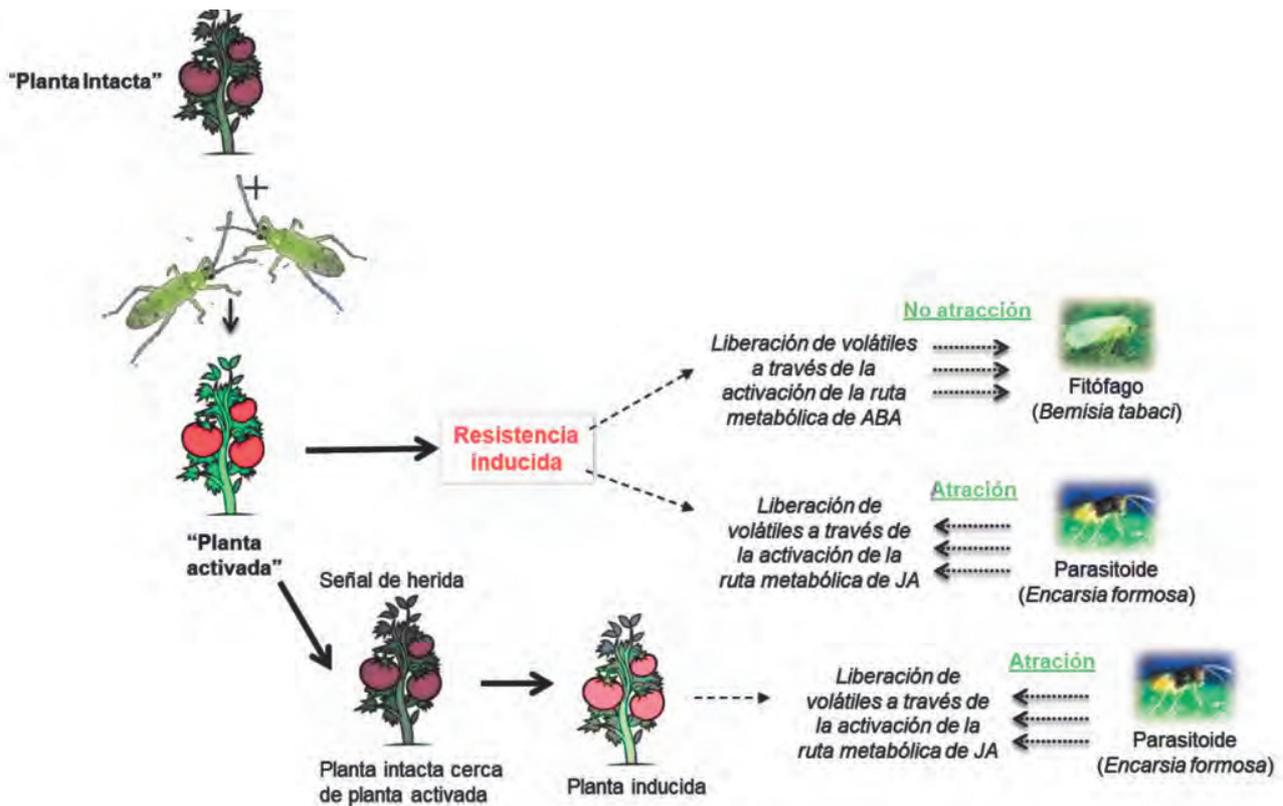


Figura 2. Modelo conceptual de los beneficios que aumentan indirectamente en las plantas por la fitofagia del depredador zoofógeno *N. tenuis*. En la parte superior izquierda del diagrama de flujo, una planta de tomate intacta es inducida por la alimentación de *N. tenuis*. La fitofagia activa las vías de señalización del ácido abscísico (ABA) y el ácido jasmónico (JA) en las plantas de tomate que dan como resultado un efecto de repelencia en la mosca blanca *B. tabaci* y de atracción del parasitoide de mosca blanca *E. formosa*, respectivamente. Algunos de los volátiles emitidos por la activación defensiva en la planta picada por *N. tenuis* pueden activar la señalización de daño en plantas de tomate adyacentes no dañadas (*priming*). La vía del JA se activa en plantas de tomate inducidas por *priming*, lo que resulta en atracción por el parasitoide *E. formosa*.

capacidad de inducir tales respuestas sobre planta de tomate (Pérez-Hedo y col., 2015a). Se ha constatado que las hembras de *N. tenuis*, *M. pygmaeus* y *Dicyphus maroccanus* Wagner difieren en su habilidad para inducir respuestas defensivas en plantas de tomate, resultando en diferentes grados de atracción y/o repelencia para plagas y enemigos naturales. Como se ha mencionado anteriormente, las plantas de tomate activadas por *N. tenuis* son menos atractivas para *B. tabaci* y *T. absoluta*. Sin embargo, las plantas activadas por los otros dos míridos, *M. pygmaeus* y *D. maroccanus*, no generan efecto de repulsión hacia *B. tabaci* y, sorprendentemente, se produce una atracción de *T. absoluta*. Quizás uno de los resultados más interesantes hasta la fecha haya sido el comprobar cómo en ensayos de invernadero en plantas de tomate que previamente habían sido activadas (expuestas) durante 24 horas por

N. tenuis, la infestación de la araña roja, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) fue significativamente menor en comparación a plantas no expuestas al depredador (Pérez-Hedo y col., 2018b). Pappas y col. (2015) observaron cómo la acumulación de transcritos y la actividad de inhibidores de proteasas (que se sabe que están implicados en las respuestas defensivas de la planta) en plantas de tomate, como resultado de su exposición a *M. pygmaeus*, resultaba en una menor infestación de *T. urticae*. Desde que se vienen utilizando depredadores zoofitófagos en cultivos hortícolas se ha observado una menor incidencia de determinadas virosis. Esto nos llevó a hipotetizar que las defensas inducidas por estos depredadores podrían estar alterando la adquisición y multiplicación de virus fitopatógenos. Recientemente, Escobar-Bravo y col. (2017) han demostrado cómo plantas de tomate con alta expresión de metil

jasmonato se infectan menos con el virus de la cuchara del tomate. Por ello, hipotetizamos que *N. tenuis* y *M. pygmaeus* podían limitar la multiplicación del virus del bronceado del tomate (TSWV) en las plantas de pimiento. Los resultados de nuestros experimentos revelaron que la presencia de este virus fue significativamente menor en las plantas que previamente habían sido expuestas a estos míridos, en comparación con las plantas control no expuestas. Un análisis detallado de los mecanismos bioquímicos de respuesta llevó a concluir que este resultado probablemente está asociado con la regulación positiva de la vía metabólica del ácido jasmónico, que se activa por la fitofagia de estos insectos (Bouagga y col., 2019). El trabajo, por tanto, apoya las evidencias de que las plantas cultivadas pueden ser más resistentes a enfermedades virales cuando se activa su sistema de defensa mediante depredadores

zoofitófagos utilizados en estrategias de control biológico.

Tal como se ha comentado con anterioridad, se han identificado compuestos volátiles que son responsables de la repelencia y atracción a plagas y a enemigos naturales (Bouagga y col 2018a,b; Pérez-Hedo y col 2018a). Una planta de tomate activada defensivamente por miridos puede alertar a plantas intactas que se encuentren en su proximidad mediante la comunicación por volátiles, y éstas entrar en un estado de alerta (*priming*) y activar mecanismos de defensa mediados por la ruta del

ácido jasmónico. Recientemente, hemos identificado qué volátiles son los responsables de esta inducción defensiva por comunicación y estamos investigando si alguno de estos volátiles puede ser utilizado como elicitador de defensas en el cultivo del tomate.

Epílogo

En los últimos años, el número de proyectos de investigación que intentan utilizar estos volátiles para inducir defensas vegetales ha aumentado considerablemente (Turlings y Erb, 2018). Por desgracia, hasta la fecha ningún proyecto ha demostrado en

condiciones de campo cómo el uso de estos volátiles puede ser una adición viable a las estrategias de GIP actuales. Sin embargo, desde la investigación que estamos llevando a cabo en el IMA empezamos a tener resultados sólidos para poder implementar alguno de estos HIPV como una nueva herramienta sostenible y biorracional de control de plagas basada en la comunicación entre plantas para la protección de un cultivo tan importante como el tomate.

Bibliografía

- ! Arnó, J. Castañé, C. Riudavets, J. Gabarra, R. 2010. Risk of damage to tomato crops by the generalist zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae). Bull. Entomol. Res. 100, 105-115.
- Bouagga, S. Urbaneja, A. Rambla, JL. Flors, V. Granell, A. Jaques, JA. Pérez-Hedo, M. 2018a. 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. Rambla, JL. Granell, A. Pérez-Hedo, M. 2018b. *Orius laevigatus* strengthens its role as a biological control agent by inducing plant defenses. J. Pest Sci. 91, 55-64.
- Bouagga, S. Urbaneja, A. Depalo L., Rubio, L. Pérez-Hedo, M. 2019. Zoophytophagous predator-induced defences restrict accumulation of the tomato spotted wilt virus. Pest Manag. Sci. ps.5547.
- Calvo, J, Bolckmans, K, Stansly, PA, Urbaneja, A. 2009. Predation by *Nesidiocoris tenuis* on *Bemisia tabaci* and injury to tomato. BioControl 54, 237-246.
- Cassis, G. Schuh, RT. 2012. Systematics, biodiversity, biogeography, and host associations of the miridae (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Cimicomorpha). Annu. Rev. Entomol. 57, 377-404.
- Escobar-Bravo, R. Alba, JM. Pons, C. Granell, A. Kant, MR. Moriones, E. Fernández-Muñoz, R. 2016. A jasmonate-inducible defense trait transferred from wild into cultivated tomato establishes increased whitefly resistance and reduced viral disease incidence. Front. Plant Sci. 7, 1732.
- Halitschke, R. Hamilton, JG. Kessler, A. 2011. Herbivore-specific elicitation of photosynthesis by mirid bug salivary excretions in the wild tobacco *Nicotiana attenuata*. New Phytol. 191, 528-535.
- Kessler, A. Baldwin, IT. 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. Science 291, 2141-2144.
- Naselli, M. Urbaneja, A. Siscaro, G. Jaques, JA. Zappalà, L. Flors, V. Pérez-Hedo, M. 2016. Stage-related defense response induction in tomato plants by *Nesidiocoris tenuis*. Int. J. Mol. Sci. 17, 1210-1223.
- Pérez-Hedo, M. Bouagga, S. Jaques, JA. Flors, V. Urbaneja, A. 2015a. Tomato plant responses to feeding behavior of three zoophytophagous predators (Hemiptera: Miridae). Biol. Control 86, 46-51.
- Pérez-Hedo, M. Urbaneja-Bernat, P. Jaques, JA. Flors, V. Urbaneja, A. 2015b. Defensive plant responses induced by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) on tomato plants. J. Pest Sci. 88, 543-554.
- Pérez-Hedo, M. Urbaneja, A. 2016. The zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis*: a successful but controversial biocontrol agent in tomato crops. En: Horowitz AR, Ishaaya I (eds) Advances in Insect Control and Resistance Management. Springer International Publishing, AG Switzerland.
- Pérez-Hedo, M. Suay, R. Alonso, M. Ruocco, M. Giorgin, M. Poncet, C. Urbaneja, A. 2017. Resilience and robustness of IPM in protected horticulture in the face of potential invasive pests. Crop Prot. 97, 119-127.
- Pérez-Hedo, M. Rambla, JL. Granell, A. Urbaneja, A. 2018a. Biological activity and specificity of Miridae-induced plant volatiles. BioControl 63, 203-213.
- Pérez-Hedo, M. Arias-Sanguino, AM. Urbaneja, A. 2018b. Induced tomato plant resistance against *Tetranychus urticae* triggered by the phytophagy of *Nesidiocoris tenuis*. Front. Plant Sci. 9, 1419.
- Turlings, TCJ. Erb, M. 2018. Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential. Annu. Rev. Entomol. 63, 433-452.
- Urbaneja, A. Montón, H. Mollá, O. 2009. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. J. Appl. Entomol. 133, 292-296.