

Figura 1. Equipamiento para ensayos biológicos: (A) túnel de viento, (B) olfatómetro en Y, y (C) equipo de electroantenografía (EAG).

Cómo se aplican y se distribuyen las feromonas en el campo. Una visión práctica para entender su uso

La utilización de las feromonas en el control de plagas ha requerido el desarrollo de técnicas analíticas muy sensibles para su detección e identificación, debido a que se trata de sustancias que se encuentran en la naturaleza en muy pequeñas cantidades. El primer paso para el aislamiento de una feromona es comprobar que existe respuesta a determinada señal química, mediante un ensayo biológico en el que se evalúe un comportamiento, que puede ser de seguimiento de pista, agregación, alarma o estímulo sexual. Una vez identificado, se procede al aislamiento de la sustancia, por medio de una extracción con disolvente del insecto completo, de glándulas extirpadas del ovipositor; o una toma de muestras de los volátiles emitidos por el insecto en un momento determinado. La técnica de electroantenografía (EAG) (Figura 1) permite detectar si los compuestos aislados provocan una respuesta en la antena del insecto, pero ha de ir seguida por ensayos biológicos de comportamiento (en túnel de viento, olfatómetro...) (Figura 1) para estudiar la respuesta específica de aquellos compuestos que hayan resultado biológicamente activos.

**Jaime Primo Millo,
Vicente Navarro
Llopis y Sandra Vacas
González**

Centro de Ecología
Química Agrícola.
Instituto Agroforestal
del Mediterráneo.
Universidad Politécnica
de Valencia. Valencia.

Localizadas las sustancias activas, el esfuerzo en este momento se dirige hacia la elucidación estructural del compuesto. Para ello se dispone de diferentes técnicas de análisis estructural: la espectrometría de masas, acoplada a cromatografía de gases (EM-CG) o líquida (EM-HPLC), espectroscopia de infrarrojo, espectroscopia de ultravioleta-visible y la resonancia magnética nuclear (RMN). En algunos casos las técnicas físicas de determinación de estructuras pueden ser complementadas con algunas técnicas químicas, especialmente reacciones de derivatización o degradación.

Aplicación de las feromonas en campo

La aplicación de feromonas en el control de plagas se dirige a la detección y seguimiento de poblaciones y a métodos directos de control. Estos últimos se basan, principalmente, en dos modos de acción: la atracción hacia trampas y la confusión sexual.

Detección y seguimiento de poblaciones

Se trata del uso de feromonas en trampas para la detección de plagas, establecimiento de periodos de emergencia de adultos, trazado de mapas de distribución y evaluación de abundancia de plaga. Además, estos datos de capturas proporcionan información para el establecimiento de calendarios para la aplicación de tratamientos insecticidas y las sueltas de enemigos naturales. Son muy útiles para detectar pequeñas poblaciones que escaparían a inspecciones visuales del cultivo.

Métodos de control basados en atracción

El éxito de los métodos de control basados en la atracción depende del poder de atracción del semioquímico y de la velocidad a la que sea emitido. El poder de atracción es intrínseco a la molécula de la sustancia en cuestión, pero su velocidad debe ser controlada y optimizada para asegurar el máximo de atracción. Está ampliamente demostrado que las capturas pueden disminuir drásticamente por encima y por debajo del nivel óptimo de emisión (Zhang y Amalin 2005; Vacas y col. 2009, 2013, 2017; Navarro-Llopis y col.

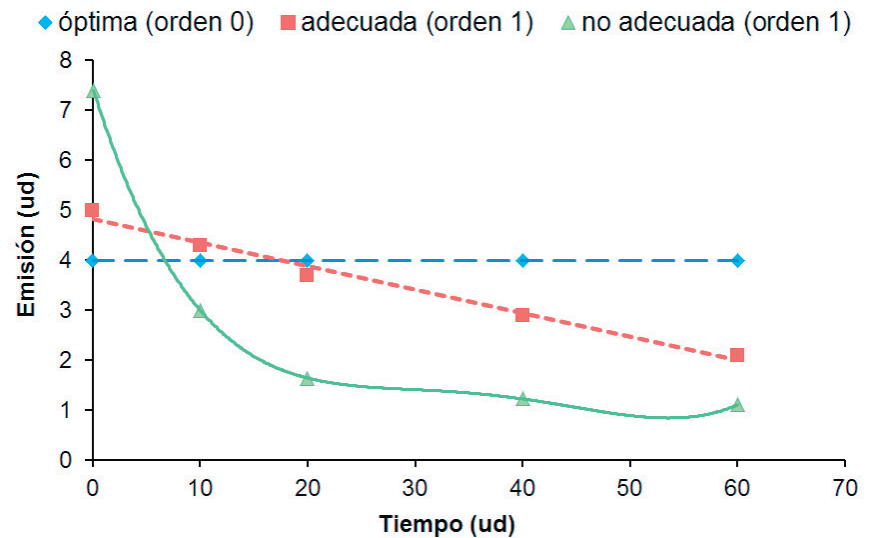


Figura 2. Tipos de cinéticas de emisión.

2011), por lo que es esencial diseñar los dispositivos emisores para que proporcionen la velocidad de emisión óptima, de forma constante para obtener una buena eficacia con este sistema de lucha.

Captura masiva. La técnica de captura masiva o trampeo masivo, consiste en el uso de un elevado número de trampas por hectárea para controlar la plaga por captura de una proporción de individuos de la población suficientemente elevada. Sin embargo, existen inconvenientes a su utilización: elevado coste por necesitar un elevado número de trampas, la necesidad de un diseño de trampa eficaz, la posibilidad de saturación de trampas en casos de poblaciones muy elevadas o la captura únicamente de machos (en el caso de feromonas sexuales). A pesar de esto, la utilización de la captura masiva puede proporcionar un buen nivel de control de algunas plagas cuando se utilizan trampas eficaces y potentes atrayentes, no solo para la captura de machos sino también de hembras.

Atracción y muerte/esterilización/infección. Esta técnica difiere de la captura masiva en que una vez el insecto es atraído por el semioquímico, no queda capturado en una trampa si no que es expuesto a un cebo tóxico, infeccioso o esterilizante que lo convierte en un vehículo de infección o esterilización intra-específico o que directamente le provoca la muerte.

Confusión sexual

La técnica se basa en bloquear la comunicación entre los insectos macho y hembra, mediante la emisión de una cantidad suficiente de feromona sexual al ambiente, de forma que se evitan, reducen o retrasan las cópulas y, por lo tanto, se afecta la reproducción de la especie. Existen tres diferentes mecanismos por los que se puede conseguir la desorientación de los machos (Weatherston, 1990): adaptación/habitación, pistas falsas y camuflaje. El primer mecanismo tendría efectos neurofisiológicos directos sobre el insecto por la exposición constante a elevadas dosis de feromona, provocándose una adaptación de los receptores antenales y/o la habitación del sistema nervioso central del insecto, impidiendo al macho responder a los niveles normales del estímulo de la feromona natural. El seguimiento de pistas falsas ocurre cuando el macho recibe estímulo desde muchos puntos emisores de feromona que compiten con las señales de las hembras en pauta de llamada. Por último, el mecanismo de camuflaje tiene lugar si la concentración de feromona en el ambiente es tal que la estela natural de feromona queda enmascarada o camuflada por la sintética.

Dependiendo del mecanismo de confusión que esté actuando, se deberán determinar los parámetros de aplicación de la técnica, tales como carga de feromona por emisor, velo-

ciudad de emisión, número de puntos de emisión por unidad de superficie y momento de colocación según la biología de la plaga. Los tratamientos de confusión sexual que actualmente se aplican y los mecanismos que los rigen, se han evaluado de una forma muy empírica, simplemente correlacionando niveles de daño aceptables con las correspondientes formas de aplicación, especialmente en lo que se refiere al número, carga y distribución de emisores de feromona, o a observaciones del comportamiento en túnel de viento (Schmitz y col. 1997, Cardé y col. 1998, Evenden 2000). La concentración de feromona emitida en el aire para la confusión sexual de insectos se ha medido en escasas ocasiones mediante el muestreo de volátiles (Caro y col. 1978, Suckling y col. 1999), posiblemente debido a las dificultades analíticas para cuantificar concentraciones tan bajas en aire ambiente. La cuantificación, con métodos de análisis químico precisos y reproducibles, de la concentración umbral necesaria para conseguir confusión sexual permitiría racionalizar el uso de feromonas haciendo

tratamientos más eficientes y posibilitando la extensión de este método a plagas que en principio no admitirían este tipo de lucha.

Dispositivos emisores de feromona

Para cualquiera de las aplicaciones mencionadas anteriormente es necesario disponer de un dispositivo que emita el atrayente, de forma constante y duradera en el tiempo. Dependiendo de la técnica que se vaya a emplear, existirán unas necesidades de emisión que el dispositivo tendrá que satisfacer, por lo que resulta esencial el diseño adecuado del mismo.

A la hora de diseñar un emisor de feromona, se han de tener en cuenta los siguientes aspectos:

Naturaleza del dispositivo. Actualmente, gran parte de los emisores son fabricados con materiales poliméricos, como PVC, PE, etc., que no son biodegradables. La tendencia actual en el diseño de emisores se basa en el uso de materiales biodegradables, que no produzcan contaminación ambiental.

Cinética de emisión. Para que el uso de las feromonas en el control de

plagas sea eficaz, se ha de conseguir que el emisor tenga una cinética de emisión adecuada. La cinética ideal es la de orden cero (Figura 2), aquella en la que la velocidad de emisión es constante con el tiempo, evitando una emisión inicial elevada y una carga residual alta al final de tratamiento (Muñoz-Pallarés y col., 2001).

Sensibilidad a las condiciones climáticas. La mayoría de los emisores comerciales son muy sensibles a las condiciones climáticas, y sobre todo a la temperatura. En algunos casos, el aumento de la temperatura en unos pocos grados puede incluso triplicar la velocidad de emisión (Leonhardt y col., 1989; Bradley y col., 1995; McDonough, 1997; Domínguez-Ruiz, 2007). Es importante que la velocidad de emisión sea poco sensible a las variaciones climáticas como la temperatura, la humedad relativa o incluso la velocidad del viento.

Emisión de mezclas feromonales. Como algunas feromonas son mezclas de diversos componentes, estos deben emitirse en la proporción activa natural, lo cual puede no ser fácil de conseguir.

Bibliografía

- Bradley S.J., Suckling D.M., Mcnaughton K.G., Wearing C.H., Karg G. (1995). A temperature-dependent model for predicting release rates of pheromone from a polyethylene tubing dispenser. *J. Chem. Ecol.* 21: 745-760.
- Cardé R. T., Staten R. T., Mafra-Neto A. (1998). Behaviour of pink bollworm males near high-dose, point sources of pheromone in field wind tunnels: insights into mechanisms of mating disruption. *Entomol. Exp. Appl.* 89: 35-46.
- Caro J. H., Bierl B. A., Freeman H. P., Sonnet P. E. (1978). A method for trapping disparlure from air and its determination by electron-capture gas chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 26: 461-463.
- Evenden M. L., Judd G. J. R., Borden J. H. (2000). Investigations of mechanisms of pheromone communication disruption of *Choristoneura rosaceana* (Harris) in a wind tunnel. *J. Insect Behav.* 13: 499-510.
- Leonhardt B.A., Cunningham R.T., Rice R.E., Harte E.M., Hendrichs J. (1989). Design, effectiveness, and performance criteria of dispenser formulations of trimedlure, an attractant of the Mediterranean fruit-fly (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* 82: 860-867.
- McDonough L.M. (1997). Release dynamics of pheromone from a pheromone dispenser. *J. Chem. Ecol.* 23: 1211-1216.
- Muñoz-Pallarés J., Corma A., Primo J., Primo-Yufero E. (2001). Zeolites as pheromone dispensers. *J. Agric. Food Chem.* 49: 4801-4807.
- Navarro-Llopis V., Alfaro C., Primo J., Vacas S. (2011). Response of two tephritid species, *Bactrocera oleae* and *Ceratitidis capitata*, to different emission levels of pheromone and parapheromone. *Crop Prot.* 30: 913-918.
- Schmitz V., Renou M., Roehrich R., Stockel J. (1997). Disruption mechanisms of pheromone communication in the European grape moth *Lobesia botrana* Den & Schiff. III. Sensory adaptation and habituation. *J. Chem. Ecol.* 23: 83-95.
- Suckling D. M., Green S. R., Gibb A. R., Karg G. (1999). Predicting atmospheric concentration of pheromone in treated apple orchards. *J. Chem. Ecol.* 25: 117-139.
- Vacas S., Alfaro C., Navarro-Llopis V., Zarzo M., Primo J. (2009). Study on the optimum pheromone release rate for attraction of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* 102: 1094-1100.
- Vacas S., Miñarro M., Bosch M. D., Primo J., Navarro-Llopis V. (2013). Studies on the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) response to different codlemone release rates. *Environ. Entomol.* 42: 1383-1389.
- Vacas S., Primo J., Navarro-Llopis V. (2017). Influence of pheromone emission on the attraction of California red scale males in citrus orchards. *Int. J. Pest Manag.* 63: 10-17.
- Weatherston I. (1990). Principles of design of controlled-release formulations. p. 93-112. En R.L. Ridgway, R.M. Silverstein and M.N. Inscoe (eds.) *Behavior-modifying chemicals for insect management*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- Zhang A. J., Amalin D. (2005). Sex pheromone of the female pink hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Homoptera: Pseudococcidae): biological activity evaluation. *Environ. Entomol.* 34: 264-270.