





**VIII Encuentro
Latinoamericano Prunus
sin Fronteras**

Improvement of pest control in stone fruits within an areawide strategy

Editor

Maximiliano Dini 
*Instituto Nacional de Investigación
Agropecuaria (INIA), Canelones,
Uruguay*

Jorge Soria 
*Instituto Nacional de Investigación
Agropecuaria (INIA), Canelones,
Uruguay*

Mejoras al manejo de plagas en frutales de carozo dentro de una estrategia regional

Correspondence



Valentina Mujica
vmujica@inia.org.uy

Received 30 Jul 2020
Accepted 18 Aug 2020
Published 06 Apr 2021

Melhoras ao manejo de pragas em frutais de caroço dentro de uma estrategia regional

Citation

Mujica V, Zoppolo R. Mejoras al manejo de plagas en frutales de carozo dentro de una estrategia regional. *Agrocien- cia Uruguay* [Internet]. 2021 [cited dd mmm yyyy];25(NE1):405. Available from: [http://agrocien- ciauruguay.uy/ojs/in- dex.php/agrocien- cia/view/405](http://agrocien- ciauruguay.uy/ojs/index.php/agrocien- cia/view/405)

Mujica, V. ¹; Zoppolo, R. ¹

¹*Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Programa Nacional de Investigación en Producción Frutícola, Canelones, Uruguay*



Abstract

Stone fruit trees are affected by different pests that belong to different orders, being *Grapholita molesta* towards which most of the control interventions in these crops are directed. Management entirely based on insecticides has shown that it is not always effective. The need to use more specific active ingredients requires to be more aware of the biology of the pests that we want to control, especially when they have very narrow application windows to be effective and the products need to be as well less toxic for non-target and beneficial species. The possibility of controlling insects using their own biology opens doors to a new type of highly specific control with minimal environmental impact, as is the case of sexual pheromones. These compounds can be used under different modalities: monitoring, sexual confusion, mass trapping or "attract and kill". When pheromone population management is carried out over large areas, the technique expresses its full potential and its benefits are more stable and durable over time. In Uruguay, this type of management has been formally implemented since 2012 with successful results. The next step for an improvement in monitoring and control would be the incorporation of kairomones into this equation, which would substantially increase its efficiency.

Keywords: *Grapholita molesta*, sexual pheromones, kairomones, integrated management

Resumen

Los frutales de carozo son afectados por diferentes plagas que pertenecen a diversos órdenes, siendo *Grapholita molesta* hacia la cual van dirigidas la mayoría de las intervenciones de control en estos cultivos. El manejo basado íntegramente en insecticidas ha demostrado que no siempre es efectivo. La necesidad de usar principios activos más específicos y de menor toxicidad para especies no blanco y benéficas plantea ser más conscientes de la biología de las plagas que queremos controlar, dado que tienen ventanas de aplicación muy estrechas para que estos sean efectivos. La posibilidad de controlar insectos utilizando su propia biología mediante el uso de feromonas abre las puertas a un nuevo tipo de control altamente específico a través de feromonas sexuales y de mínimo impacto ambiental. Estos compuestos pueden usarse bajo diferentes modalidades: monitoreo, confusión sexual, trapeo masivo o *attract-and-kill*. Cuando el manejo de poblaciones con feromonas se realiza en grandes extensiones la técnica expresa todo su potencial y sus beneficios son más estables y duraderos en el tiempo. En Uruguay este tipo de manejo se ha implementado formalmente desde el año 2012, con resultados por demás exitosos. El paso siguiente para una mejora en el monitoreo y el control sería la incorporación de kairomonas a esta ecuación, lo que aumentaría sustancialmente su eficiencia.

Palabras clave: *Grapholita molesta*, feromonas sexuales, kairomonas, manejo integrado

Resumo

As frutíferas de caroço são afetadas por diferentes pragas que pertencem a diversos ordens, sendo *Grapholita molesta*, a quem se dirige a maioria das intervenções de controle nestas culturas. O manejo inteiramente baseado em inseticidas mostra que nem sempre é eficaz. A necessidade de usar princípios ativos mais específicos e menos toxicidade para as espécies não-alvo aumenta a necessidade de estarmos mais atentos à biologia das pragas que queremos controlar, visto que elas têm janelas de aplicação muito estreitas para que sejam eficazes. A possibilidade de controlar os insetos por meio de sua própria biologia abre as portas para um novo tipo de controle altamente específico por meio do uso de feromônios sexuais com mínimo impacto ambiental. Esses compostos podem ser usados em diferentes modalidades: monitoramento, confusão sexual, captura massiva ou "attract and kill". Quando o manejo de populações com feromônios é feito em grandes áreas, a técnica expressa todo o seu potencial e seus benefícios são mais estáveis e duráveis ao longo do tempo. No Uruguai, este tipo de gestão está implementado formalmente desde 2012 com resultados exitosos. O próximo



passo para uma melhoria no monitoramento e controle seria a incorporação do kairomonas a essa equação, o que aumentaria substancialmente sua eficiência.

Palavras-chave: *Grapholita molesta*, feromônios sexuais, kairomonas, manejo integrado

1. Introducción

Los frutales de carozo son atacados por numerosas plagas en todo el mundo, al igual que ocurre en Uruguay⁽¹⁾. La principal plaga, y hacia la que van dirigidas la mayoría de las aplicaciones de insecticidas, es *Grapholita molesta* (Busk). Esta es una plaga relativamente nueva a nivel mundial, comparada con otras de su misma familia, como *Cydia pomonella*, y por esta razón su expansión aún continúa. Estudios de la estructura y la diversidad genética de sus poblaciones permiten ubicar su origen en China⁽²⁾.

Históricamente, el control de esta plaga primaria se basó íntegramente en el uso de insecticidas, pero con el tiempo se comprobó que esta estrategia por sí sola no permite su correcto control. Debido a esto, el manejo debió enfocarse de acuerdo con su ciclo de vida, incorporando todas las estrategias disponibles hoy en día, las que incluyen control químico, cultural y biológico con la adición del uso de feromonas y volátiles a la ecuación. Adicionalmente, el manejo por regiones permite que el uso de feromonas y volátiles exprese su máximo potencial en el control de plagas.

En el presente artículo se revisan los métodos disponibles para el control de la polilla de duraznero con un énfasis en el uso de semioquímicos, la minimización de uso de insecticidas y sus perspectivas futuras dentro de un esquema de manejo en áreas amplias

2. Enfoque del manejo de poblaciones

La población mundial ha tenido un rápido crecimiento en las últimas décadas, mientras que las tierras destinadas a ser cultivadas no pueden crecer a igual tasa. Esto ha llevado a la necesidad de que la productividad por metro cuadrado tenga que aumentar y es ahí donde el uso de los insecticidas ha asistido a este incremento⁽³⁾.

Hasta la fecha las plagas como las de lepidópteros se han manejado principalmente aplicando grandes cantidades de insecticidas de amplio espectro⁽⁴⁾. Sin el uso de insecticidas los insectos llegan a ocasionar daños que pueden alcanzar al 78 % de la producción⁽⁵⁾.

Las poblaciones de *G. molesta* han mostrado una alta susceptibilidad hacia diferentes principios activos, como lo son spinetoram, metaflumizone, novaluron, tebufenozide, phosmet, pyriproxyfen, cyantraniliprole y chlorantraniliprole⁽⁶⁾⁽⁷⁾. Por lo tanto, los pesticidas cumplieron un rol en las producciones agrícolas consistente con su origen, ya que fueron concebidos como una herramienta para asegurar el bienestar humano⁽⁸⁾. Sin embargo, la constatación de daños colaterales por su uso, tales como problemas de residuos de agroquímicos en el ambiente, el hecho de que su uso abusivo puede provocar alteraciones en plagas secundarias y el rápido desarrollo de resistencia llevan a cuestionar cada vez más su utilización⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

A nivel internacional existe un amplio consenso de que el manejo más apropiado de plagas clave se basa idealmente en el concepto de manejo integrado de plagas en áreas amplias⁽¹¹⁾. En esta concepción deben integrarse todas las prácticas de control disponibles en función de su capacidad para el control del tipo de plaga, considerando las características ecológicas locales y dirigiéndose a toda la población de insectos plaga⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾. En Uruguay la aplicación de esta técnica comenzó en el año 2010 con un proyecto piloto, para luego institucionalizarse formalmente en 2012⁽¹⁵⁾.

Adicionalmente, la conciencia global ha llevado a tomar en consideración todas las medidas disponibles para mitigar las consecuencias del mal uso de insecticidas en función de asegurar una disponibilidad de alimentos inocuos y producidos en condiciones amigables con el entorno, optimizando así la



producción de alimentos a los menores costos posibles y con las mayores garantías⁽¹⁶⁾.

3. Semioquímicos como herramientas de control

El término *semioquímicos* describe en sentido amplio a los productos químicos empleados para la comunicación dentro y entre especies⁽¹⁷⁾. Los producidos por las plantas pueden inducir una amplia gama de respuestas de comportamiento en los insectos. Algunos insectos son capaces de secuestrar compuestos de la planta huésped y utilizarlos como feromonas sexuales o precursores de feromonas sexuales. Otros producen o liberan feromonas sexuales en respuesta a señales específicas de la planta huésped, y los químicos presentes en esas plantas huésped a menudo mejoran sinérgicamente la respuesta del insecto a las feromonas sexuales. Los volátiles de las plantas también pueden tener efectos inhibitorios o repelentes que pueden llegar a interrumpir las respuestas de los insectos a las feromonas, así como atraer depredadores y parasitoides hacia las especies atacantes, después del daño por herbivoría⁽¹⁸⁾.

Se denominan *feromonas* si median la comunicación intraespecífica y *aleloquímicos* cuando hacen referencia a la comunicación entre especies⁽¹⁹⁾. Estos últimos pueden ser clasificados en señales que benefician al receptor (*kairomonas*), al emisor (*alomonas*) o ambos (*sinomonas*). De todos los semioquímicos, las feromonas se han utilizado ampliamente para el manejo de plagas, ya sea para monitoreo de poblaciones, para la implementación de la técnica de confusión sexual o el trapeo masivo, entre otras, lo que permite reducir los niveles poblacionales de las plagas y por lo tanto sus daños⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾.

3.1 Monitoreo

En las polillas, la localización de las parejas está mediada por su sentido del olfato. Las hembras liberan cantidades relativamente pequeñas de moléculas de feromonas altamente volátiles que son detectadas por los machos a través de receptores ubicados en sus antenas⁽²²⁾. Por su alta sensibilidad y especificidad, y sus potentes efectos en los machos, las feromonas sexuales de las polillas se han

convertido en una herramienta fundamental en su control y monitoreo, ya que permiten la detección oportuna de los picos poblacionales, tanto como la predicción de ocurrencia de estadios susceptibles para una oportuna aplicación de insecticidas⁽²³⁾.

Las trampas de feromonas atraen solo a los machos, por lo que no hay información disponible sobre la proporción de hembras en la población ni sobre su estado de apareamiento⁽²⁴⁾. Un método que facilitaría el monitoreo de machos y hembras en cultivos con interrupción del apareamiento es utilizar señuelos con volátiles de la planta huésped⁽²¹⁾. La adición de volátiles de plantas a las feromonas sexuales de *G. molesta* puede tener efectos sinérgicos para la atracción de machos dependiendo de los volátiles utilizados. Los volátiles podrían llegar a disminuir el tiempo que los machos pasan buscando las hembras⁽²⁵⁾. La combinación de la feromona sexual con ácido acético y terpenil acetato ha demostrado incrementar consistentemente las capturas de *G. molesta* en montes bajo disrupción del apareamiento⁽²⁶⁾.

A pesar de la importancia potencial de los volátiles de las plantas en el manejo de plagas, hay relativamente pocos atrayentes volátiles de plantas comerciales para el control de las polillas⁽²⁷⁾. Uno de ellos es el éster de pera, etil(E, Z)-2,4-decadienoato, que se comercializa como un cebo combinado con la feromona para monitorear y aumentar la eficiencia de la disrupción del apareamiento⁽²⁴⁾⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾. Varios estudios en los últimos años se han centrado en identificar volátiles de plantas de durazno, pera y manzana para su uso solos o en mezclas como potenciales atrayentes. Se evaluaron en ensayos de laboratorio para adultos de *G. molesta*, y ya se dispone de mezclas identificadas como atractivas⁽²⁵⁾⁽³⁰⁾⁽³¹⁾⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾.

3.2 Confusión sexual

La interrupción del apareamiento ha sido el enfoque más exitoso para el control de plagas en las últimas décadas. La liberación de grandes cantidades de feromona en un cultivo para prevenir o retrasar el apareamiento ha sido notablemente eficiente en una variedad de casos, por lo que es una opción de control validada y aceptada para un gran número de especies plaga de diferentes especies vegetales⁽³⁵⁾.



Al inundar los montes con grandes cantidades de feromona, la confusión sexual evita la fecundación de hembras, lo que se traduce en una reducción de la carga de huevos y de la población de larvas. La interrupción se logra a través de la confusión de los machos, ya que se enmascaran las señales emitidas por las hembras y se generan falsas pistas, lo que disminuye las posibilidades de encuentro entre ellos⁽³⁶⁾. Su éxito se verifica mediante una caída en las capturas de machos en las trampas a lo largo del tiempo y por una reducción del apareamiento, que se constata porque se evidencian menores daños a los cultivos. También se puede identificar por la ausencia de espermátforos en las hembras capturadas⁽³⁷⁾.

Una de las claves para el éxito de esta estrategia es la gestión efectiva de los bordes de huertos y bloques bajo este tratamiento. Para ello uno de los factores más relevantes es impedir la migración de hembras fecundadas de huertos no tratados con feromonas. La migración de las hembras apareadas puede conducir a un mayor daño en la fruta en los bordes de los bloques bajo confusión sexual en ausencia de barreras. Por esta razón, y dependiendo de la movilidad que tengan los insectos a controlar, es que se plantea la necesidad de fijar superficies de aplicación mínima que garanticen la reducción total de entrada de hembras fecundadas desde fuera del área tratada. Entonces, a mayor superficie bajo control, mejores resultados de la técnica serán obtenidos⁽³⁸⁾.

Factores ecológicos como los patrones de aparición de pupas, la diapausa, ritmos diurnos y los factores climáticos también juegan un papel importante en la efectividad de la técnica⁽³⁹⁾. Dentro de la fruticultura de hoja caduca, sin lugar a duda, entre los éxitos más importantes de la técnica se incluyen el control de *Cydia pomonella* y *Grapholita molesta*, entre otros⁽⁴⁰⁾.

La interrupción del apareamiento podría estar ocasionada por la generación de falsas pistas y/o por una sobrecarga sensorial a la que se verían expuestos los insectos que están bajo este tipo de control.

Tanto para una plaga específica en diferentes condiciones, como para especies heterogéneas, se obtienen respuestas desiguales a la exposición

prolongada a feromonas⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾. La efectividad de la interrupción del apareamiento está fuertemente relacionada con la densidad de población. En muchos casos, las poblaciones de insectos que alcanzan alta densidad son más difíciles de controlar que las infestaciones menos densas.

Una cuestión importante en los experimentos de interrupción del apareamiento es poder medir la eficacia de las formulaciones. La captura cero (apagado completo) o de muy pocas polillas en trampas cebadas con feromona dentro del cultivo es el parámetro más comúnmente utilizado para indicar la interrupción exitosa de una plaga. Sin embargo, no es raro registrar bajas capturas en trampas y aun detectar un número sustancial de hembras apareadas⁽⁴³⁾. Un aspecto importante a considerar cuando se utiliza esta tecnología es que el hecho de no atrapar machos con trampas de feromonas no implica necesariamente que los machos no estén presentes y sean capaces de encontrar y fecundar a las hembras (sobre todo cuando la densidad poblacional es muy alta) o que hembras fecundadas ingresen a las zonas tratadas. En este último punto se sustenta la importancia de la aplicación de esta técnica en áreas amplias y compactas para poder minimizar el ingreso de hembras copuladas⁽²⁹⁾. Estos hechos marcan, entre otros, la importancia del monitoreo del estado del cultivo y la condición de la plaga.

La interrupción del apareamiento con base en feromonas sexuales disponible hoy en día para *G. molesta*, al igual que sucede para otras especies de lepidópteros, está enfocada específicamente en machos. Para mejorar el desempeño de esta tecnología se están desarrollando otros métodos basados en semioquímicos, como los volátiles de plantas⁽⁴⁴⁾, que son capaces de alcanzar con su accionar también a las hembras, permitiendo así una interrupción del apareamiento enfocada en la totalidad de la población. Para mejorar el desempeño de esta tecnología es importante que su uso sea potenciado mediante diferentes métodos de control biológico, como el uso de pesticidas de origen microbiano⁽⁴⁵⁾ que refuercen los efectos de los químicos que modifican el comportamiento⁽⁴⁶⁾.



3.3 Trampeo masivo

El trampeo masivo es otro método ecológico de control de plagas y consiste en un monitoreo cebado con semioquímicos específicos dentro de trampas, con el objetivo de suprimir o erradicar las poblaciones de plagas objetivo capturando tantos individuos como sea posible. Las trampas deben capturar una gran proporción de la población de insectos plaga del área, antes de que ellos se apareen y ovipongan, y retener o matar a los individuos capturados. Los señuelos que se utilizan deben ser más eficientes que las fuentes naturales de atracción, como la comida o posibles parejas/sitios de oviposición, y mantener su efectividad durante todo el período de vida del insecto adulto o el tiempo que dure su actividad reproductiva para reducir el daño al mínimo⁽⁴⁷⁾. Las trampas y los dispensadores siguen siendo los mismos que los de monitoreo, pero la cantidad por unidad de área aumenta para atrapar efectivamente más insectos. El monitoreo se usa para estimar la población de plagas y a partir del dato, junto con otras valoraciones, tomar las decisiones de manejo resultantes, mientras que en el trampeo masivo el objetivo es la erradicación directa y total de las poblaciones de insectos plaga. Se debe considerar que, dependiendo de la especie a controlar, el número de trampas a usar varía y su correcta colocación es vital para una captura eficiente⁽²⁰⁾.

A nivel mundial existen registros de éxitos de esta técnica sobre variados cultivos y para distintas especies de insectos plaga⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾. Algunas de las condiciones a tener en cuenta para la adopción del método son que la ganancia por el aumento de rendimiento y la disminución del daño compensen el costo de las trampas y los señuelos y el de la mano de obra involucrada para instalarlos, para que sea económicamente factible⁽⁵²⁾. Sin embargo, en numerosas situaciones, la falta de disponibilidad de feromona sintetizada en grandes cantidades y los costos siguen siendo una limitante para su implementación a gran escala⁽²⁰⁾.

Por el tipo de comportamiento reproductivo y la facilidad con que sus feromonas pueden ser sintetizadas en laboratorio, los lepidópteros son grandes candidatos para ser controlados mediante el trampeo masivo, esto se evidencia en exitosos

esquemas de control a nivel mundial mediante esta tecnología⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁵⁶⁾.

Otro de los puntos a considerar cuando se aplica el trampeo masivo es que hay una correlación directa entre el tamaño de la parcela y el éxito de la tecnología de captura masiva, tal como sucede con la técnica de confusión sexual. Por ejemplo, la captura masiva es altamente exitosa cuando los tratamientos se imponen en grandes áreas, parcelas de más de 5 ha asegurarían el éxito de esta tecnología, aunque esto depende también de la plaga a controlar. La determinación de la superficie mínima donde aplicar la técnica va a depender de la plaga que se quiera controlar y de sus características y hábitos comportamentales, como capacidad de dispersión, tipo de reproducción, prolificidad, entre otras⁽⁵⁷⁾.

Las feromonas son específicas de cada especie, lo que facilita la aplicación de estrategias selectivas; sin embargo, en ciertas oportunidades se pueden capturar insectos no objetivo en las trampas para trampeo masivo, incluidas las abejas, crisopas y otros dípteros. Esto puede deberse a diseños defectuosos de trampas o que la mezcla de atrayentes usados no es la correcta. Por esta razón se necesita investigación constante para el diseño de trampas efectivas, así como para el desarrollo de mezclas de feromonas y volátiles que sean altamente específicas⁽⁵⁸⁾.

Hay evidencia de que el uso de esta técnica a largo plazo reduce las poblaciones de las principales plagas, como *Cydia pomonella*⁽⁵²⁾. Sin embargo, el establecimiento a gran escala de esta tecnología sigue requiriendo de más investigación, por ejemplo, respecto a la posibilidad de combinarla con otras estrategias de control, como lo es la técnica del insecto estéril.

3.4 Attract-and-Kill

Este método está basado en el concepto de atracticida, un mecanismo que permite atraer para matar. Consiste en el uso de feromonas u otros semioquímicos como atrayentes de insectos hacia una fuente puntual específica o área que contenga un insecticida convencional. Este método es similar a la captura masiva, con la diferencia de que afecta un mayor número de insectos objetivo. En este caso el atrayente se extiende sobre un área más grande



y el efecto mortal no se limita a las trampas individuales⁽⁵⁹⁾. A pesar de la considerable investigación, hay pocos atraccidas comercializados con éxito⁽⁶⁰⁾. Una alternativa al uso de insecticidas convencionales en las trampas o punto de atracción podría ser el uso de patógenos de insectos. A partir de estos se pueden formular bioplaguicidas, que resultarían útiles en sistemas productivos que restrinjan el uso de agroquímicos. El objetivo de esta táctica no es matar a los insectos de inmediato, sino utilizarlos como vectores de la enfermedad en la población⁽⁶¹⁾. La efectividad de esta estrategia depende de si se logra matar a los insectos atraídos antes de que ocurra el apareamiento o de que la hembra realice una postura viable.

4. Conclusiones

El manejo de plagas es algo dinámico, y más aún cuando se consideran los efectos del cambio climático. El análisis de las herramientas a utilizar y las estrategias de manejo que se elijan deberán considerar un enfoque holístico. El uso de semioquímicos dentro de un esquema de manejo regional no solo contribuye a lograr un mejor resultado en el control de *Grapholita molesta* y otros lepidópteros, sino que favorece la necesidad de un menor uso de insecticidas, logrando así sistemas más sustentables.

La investigación constante y sostenida en esta área es imprescindible para poder seguir proveyendo de nuevas y mejores herramientas de manejo y control.

Agradecimientos

Los autores agradecen al comité organizador del VIII Encuentro Latinoamericano *Prunus* sin Fronteras por la invitación a escribir este artículo de revisión.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual en el contenido.

Referencias

1. Núñez S, Scatoni I. Tecnología disponible para el manejo de plagas en frutales de hoja caduca. Montevideo: INIA; 2013. 150p. (Serie Técnica; 210).
2. Kirk H, Dorn S, Mazzi D. Worldwide population genetic structure of the oriental fruit moth (*Grapholita molesta*), a globally invasive pest. BMC Ecol. 2013;13:1-11.
3. Zhang WJ, Jiang FB, Ou JF. Global pesticide consumption and pollution: With China as a focus. Proc Int Acad Ecol Environ Sci. 2011;1(2):125-44.
4. Vreysen M, Klassen W, Carpenter J. Overview of Technological Advances Toward Greater Efficiency and Efficacy in Sterile Insect-Inherited Sterility Programs Against Moth Pests. Fla Entomol. 2016;99(sp1):1-12
5. Cai DW. Understand the role of chemical pesticides and prevent misuses of pesticides. Bulletin of Agricultural Science and Technology. 2008;1:36-8.
6. Batista Neto O, Botton M, Bernardi D, Arioli C, Omoto C. Susceptibility of *Grapholita molesta* to insecticides in Brazil. Cienc Rural. 2018;48(1):1-7.
7. Žunić A, Vuković S, Lazić S, Šunjka D, Bošković D. The efficacy of novel diamide insecticides in *Grapholita molesta* suppression and their residues in peach fruits. Plant Prot Sci. 2020;56(1):46-51.
8. Khan MA, Ahmad W. Synthetic Chemical Insecticides: Environmental and Agro Contaminants. In: Khan M, Ahmad W, editors. Microbes for Sustainable Insect Pest Management. Sustainability in Plant and Crop Protection. Cham (CH): Springer; 2019. p. 1-22.
9. Suckling DM, Khoo JGL. Cline in frequency of azinphos-methyl resistance in lightbrown apple moth (Lepidoptera: Tortricidae). J Econ Entomol. 1993;86:1308-16.
10. Witzgall P, Kirsch P, Cork A. Sex pheromones and their impact on pest management. J Chem Ecol. 2010;36:80-100.
11. Koul O, Cuperus GW, Elliott N. Areawide Pest Management-Theory and Implementation.



Wallingford (UK): CABI; 2008. 608p.

12. Knipling EF. Entomology and the management of man's environment. *J Aust Entomol Soc.* 1972;11(3):153-67.

13. Knipling EF. *The Basic Principles of Insect Suppression and Management.* Washington (DC): USDA; 1979. 659p. (Agricultural Handbook; 512).

14. Vreysen MJB, Robinson AS, Hendrichs J. *Area-wide Control of Insect Pests: From Research to Field Implementation.* Dordrecht: Springer; 2007. 789p.

15. Zoppolo R, Scatoni I, Duarte F, Mujica V, Gabard Z. Area-wide pest management in deciduous fruits of southern Uruguay. *Acta Hort.* 2016;(1137):153-60.

16. Zhang YB. Analyze the importance of pesticides based on world's needs on grain and agricultural development. *World Pesticides.* 2009;31:1-3.

17. Law JH, Regnier FE. Pheromones. *Annu Rev Biochem.* 1971;40:533-48.

18. Reddy G, Guerrero A. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant Sci.* 2004;9(5):253-61.

19. Whitaker RH. The biochemical ecology of higher plants. In: Sondheimer E, Simeone JB, editors. *Chemical Ecology.* New York: Academic Press; 1970. p. 43-70.

20. Bakthavatsalam N. Semiochemicals. In: Omkar, editor. *Ecofriendly Pest Management for Food Security.* Amsterdam: Elsevier; 2016. p. 563-611.

21. Miller J, Gut L. Mating disruption for the 21st century: matching technology with mechanism. *Environ Entomol.* 2015;44:427-53.

22. Allison JD, Cardé RT. Pheromones: reproductive isolation and evolution in moths. In: Allison JD, Cardé RT, editors. *Pheromone communication in moths: evolution, behavior and application.* Oakland: University of California Press; 2016. p. 11-24.

23. Barros-Parada W, Ammagarahalli B, Basoalto E, Fuentes-Contreras E, Gemeno C. Captures of

oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), in traps baited with host-plant volatiles in Chile. *Appl Entomol Zool.* 2018;53:193-204.

24. Light DM, Grant JA, Haff RP, Knight AL. Addition of pear ester with sex pheromone enhances disruption of mating by female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in walnut orchards treated with meso dispensers. *Environ Entomol.* 2017;46:319-27.

25. Varela N, Avilla J, Anton S, Gemeno C. Synergism of pheromone and host-plant volatile blends in the attraction of *Grapholita molesta* males. *Entomol Exp Appl.* 2011;141:114-22.

26. Mujica V, Preti M, Basoalto E, Cichón L, Fuentes-Contreras E, Barros-Parada W, Krawczyk G, Nunes M, Walgenbach J, Hansen R, Knight A. Improved monitoring of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) with terpinyl acetate plus acetic acid membrane lures. *J Appl Entomol.* 2018;142:731-44.

27. Szendrei Z, Rodriguez-Saona C. A meta-analysis of insect pest behavioral manipulation with plant volatiles. *Entomol Exp Appl.* 2010;134:201-10.

28. Knight AL, Cichón L, Lago J, Fuentes-Contreras E, Barros-Parada W, Hull L, Krawczyk G, Zoller B, Hansen R, Hilton R, Basoalto E. Monitoring oriental fruit moth and codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with combinations of pheromones and kairomones. *J Appl Entomol.* 2014;138:783-94.

29. Knight AL, Light DM. Combined approaches using sex pheromone and pear ester for behavioural disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J Appl Entomol.* 2014;138:96-108.

30. Molinari F, Anfora G, Schmidt S, Villa M, Ioriatti C, Pasqualini E, De Cristofaro A. Olfactory activity of ethyl (E, Z)-2,4-Decadienoate on adult oriental fruit moths. *Can Entomol.* 2010;142:481-8.

31. Najar-Rodriguez A, Orschel B, Dorn S. Season-long Volatile emissions from peach and pear trees in situ, overlapping profiles, and olfactory attraction of an oligophagous fruit moth in



- the laboratory. *J Chem Ecol.* 2013;39:418-29.
32. Natale D, Mattiacci L, Hern A, Pasqualini E, Dorn S. Response of female *Cydia molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) to plant derived volatiles. *Bull Entomol Res.* 2003;93:335-42.
33. Natale D, Mattiacci L, Hern A, Pasqualini E, Dorn S. Bioassay approaches to observing behavioural responses of adult female *Cydia molesta* to host plant odour. *J Appl Entomol.* 2004;128:182-7.
34. Piñero JC, Dorn S. Synergism between aromatic compounds and green leaf volatiles derived from the host plant underlies female attraction in the oriental fruit moth. *Entomol Exp Appl.* 2007;125:185-94.
35. Gut LJ, Stelinski LL, Thomson DR, Miller JR. Behaviour-modifying chemicals: prospects and constraints in IPM. In: Koul O, Dhaliwal GS, Cuperus GW, editors. *Integrated Pest Management: Potential Constraints and Challenges.* New York: CABI; 2004. p. 73-121.
36. Champion DG, Hunter-Jones P, McVeigh LJ, Hall DR, Lester R, Nesbitt BF. Modifications of the attractiveness of the primary pheromone component of the Egyptian cotton leafworm. *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), by secondary pheromone components and related chemicals. *Bull Entomol Res.* 1980;70:417-34.
37. Jones VP, Sasaki AM. Demographic analysis of delayed mating in mating disruption: a case study with *Cryptophelbia illepidia* (Lepidoptera: Tortricidae). *J Econ Entomol.* 2001;94(4):785-92.
38. Il'ichev A, Williams D, Milner A. Mating disruption barriers in pome fruit for improved control of oriental fruit moth *Grapholita molesta* Busck (Lep., Tortricidae) in stone fruit under mating disruption. *J Appl Entomol.* 2004;128:126-32.
39. Suckling DM, Charles JG, Allen D, Stevens PS. Possibility of control of painted apple moth (*Teia anartoides*) using single component mating disruption. *N Z Plant Prot.* 2002;55:1-6.
40. Il'ichev A. Area-wide application of pheromone mediated mating disruption in sustainable IPM. *IOBC WPRS Bull.* 2006;29:95-104.
41. Howse P, Stevens I, Jones O. *Insect Pheromones and their use in Pest Management.* London (UK): Chapman & Hill; 1998. 639p.
42. Reddy G, Guerrero A. New Pheromones and Insect Control Strategies. In: Litwack G, editors. *Pheromones.* London: Academic Press; 2010. p. 493-519. (Vitamins and Hormones; 83).
43. Atanasov A, Shearer PW, Hamilton G, Polk D. Development and implementation of a reduced risk peach arthropod management program in New Jersey. *J Econ Entomol.* 2002;95:803-12.
44. Lu PF, Qiao HL, Xu ZC, Cheng J, Zong SX, Luo YQ. Comparative analysis of peach and pear fruit volatiles attractive to the oriental fruit moth, *Cydia molesta*. *J Plant Interact.* 2013;9(1):388-95.
45. Riga E, Lacey LA, Guerra N, Headrick HL. Control of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, using entomopathogenic nematodes in laboratory and fruit bin assays. *J Nematol.* 2006;38(1):168-71.
46. Kong W, Li J, Fan R, Li S, Ma R. Sex-Pheromone-Mediated Mating Disruption Technology for the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae): Overview and Prospects. *Psyche* [Internet]. 2014 [cited 2021 Jan 05];2014:253924. Available from: <http://bit.ly/3otdX9y>.
47. Saha T, Chandran N. Chemical ecology and pest management: a review. *Int J Chem Stud.* 2017;5(6):618-21.
48. Mohammadpur K, Faghih A. Investigation on the possibility of co mass trapping of the populations of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* and date palm fruit stalk borer, *Oryctes elegans* using pheromone traps. *Appl Entomol Phytopathol.* 2008;75(2):39-55.
49. Tabrizian M, Mohammadpoor K, Tabak SN. Synthesis and field evaluation of aggregation pheromone of date palm fruit stalk borer, *Oryctes elegans*. *Appl Entomol Phytopathol.* 2009;87:51-60.
50. Rhino B, Dorel M, Tixier P, Risede JM. Effect of fallows on population dynamics of *Cosmopolites*



sordidus: toward integrated management of banana fields with pheromone mass trapping. *Agric For Entomol.* 2010;12(2):195-202.

51. Guarino S, Peri E, Lo Bue P, Germana MP, Colazza S, Anshelevich L, Ravid U, Soroker V. Assessment of synthetic chemicals for disruption of *Rhynchophorus ferrugineus* response to attractant-baited traps in an urban environment. *Phytoparasitica.* 2013;41(1):79-88.

52. El Sayed AM, Suckling DM, Wearing CH, Byers JA. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J Econ Entomol.* 2006;99(5):1550-64.

53. Sheng CF, Yangf FA, Wei YB, Zhu CQ, Xiong YW. Field trials for mass trapping of rice stem borer *Chilo suppressalis* by sex pheromone. *Plant Prot.* 2000;26(5):4-5.

54. Su JW, Xuan WJ, Sheng CF, Ge F. The sex pheromone of rice stem borer, *Chilo suppressalis* in paddy fields: suppressing effect of mass trapping with synthetic sex pheromone. *Zhongguo Shuidao Kexue.* 2003;17(2):171-4.

55. Wang XP, Le VT, Fang YL, Zhang ZN. Trap effect on the capture of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) with sex pheromone lures in cabbage fields in Vietnam. *Appl Entomol*

Zool. 2004;39(2):303-9.

56. Trematerra P, Gentile P. Five years of mass trapping of *Ephestia kuehniella* Zeller: a component of IPM in a flour mill. *J Appl Entomol.* 2010;134(2):149-56.

57. Varma NRG, Krishnaiah K, Pasalu IC, Rao PRM. Influence of field size in management of yellow stem borer (YSB), *Scirpophaga incertulas* Walker through pheromone mediated mass trapping in rice. *Indian Journal of Plant Protection.* 2004;32(1):39-41.

58. Weber DC, Robbins PS, Averill AL. *Hoplia equina* (Coleoptera: Scarabaeidae) and nontarget capture using 2 tetra decanone baited traps. *Environ Entomol.* 2005;34(1):158-63.

59. Trematerra P. Pheromones and integrated pest management in stored products. *IOBC WPRS Bull.* 2002;25:9-14.

60. Charmillot PJ, Hofer D. Control of codling moth, *Cydia pomonella* L., by an attract and kill formulation. *IOBC WPRS Bull.* 1997;20:139-40.

61. Suckling DM, Karg G. Pheromones and other semiochemicals. In: Rechcigl JE, Rechcigl AA, editors. *Biological and biotechnological control of insect pests.* Boca Raton (FL): CRC Press; 1998. p. 63-99.