

Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas

Helga Blanco Metzler¹

RESUMEN. Las feromonas son compuestos orgánicos que sirven para la comunicación entre individuos de la misma especie, e inducen un cambio en el comportamiento o en el proceso de desarrollo. Los insectos presentan diferentes feromonas, propias de cada especie: sexual, trillo, defensa, agregación, antimicrobios, etc. La feromona más utilizada en el manejo de plagas es la sexual y en menor proporción la de agregación. En este documento se presentan las características de las trampas y los dispositivos que se utilizan en el control etológico de plagas, así como las ventajas y desventajas del uso de esta herramienta.

Palabras clave: Feromonas, control etológico, manejo integrado de plagas.

ABSTRACT. Pheromones and their uses in integrated pest management. Pheromones are organic compounds used for intraspecific communication, which induce a change in behaviour or in the development process. Insects present different types of pheromones, typical for each species: sexual, trail, defense, aggregation, antimicrobial, etc. The most widely used pheromone in insect control is sexual, followed by the aggregation pheromone. In this article, the characteristics of traps and dispensers used in etological control are presented, as well as the advantages and disadvantages of their use in insect control.

Key words: Pheromones, integrated pest management, ethological control.

Introducción

La filosofía del manejo integrado de plagas nació en los Estados Unidos durante los años cincuenta como respuesta al desarrollo de resistencia por numerosas especies de insectos y a la contaminación del ambiente. Esta filosofía promueve la integración de estrategias y tácticas de control con el fin de mejorar su eficacia, minimizar los efectos de las prácticas de fitoprotección sobre el ambiente y la salud humana, y retrasar el desarrollo de resistencia de las plagas a los plaguicidas. Las tácticas utilizadas incluyen el uso de enemigos naturales (control biológico); prácticas culturales como solarización, cultivos asociados, control mecánico y físico (control cultural); variedades resistentes (control fitogenético); liberaciones masivas de insectos estériles (control

autocida); uso de medidas legales; uso de insecticidas (control químico), y el uso de sustancias químicas que modifican el comportamiento de los insectos (control etológico).

Comunicación química

Los insectos son sensibles a las sustancias químicas presentes en el ambiente, principalmente aquellas que los ayudan a localizar a su pareja y seleccionar sus hospedantes, ya sea para ovipositar o como alimento. En un principio, se creyó que debido al poderoso efecto que ejercen los químicos en el comportamiento de los insectos, este era solamente una respuesta a un estímulo químico, por lo general externo. Sin embargo, hoy en día se conoce que el comportamiento está mediado por una

¹ Centro de Investigación en Protección de Cultivos, CIPROC. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. hblanco@cariari.ucr.ac.cr

serie de estímulos externos e internos. Por ejemplo, el comportamiento del vuelo de las polillas macho que responde a un olor determinado (feromona) depende de una serie de factores internos, los cuales incluyen los ritmos circadianos, la edad del individuo (por lo general para cada especie existe un pico de respuesta en el tiempo), la temperatura y si anteriormente estuvieron expuestos a la feromona sexual (saciedad).

Cualquiera que haya observado los insectos seleccionando su hospedero en su ambiente natural, habrá notado la variación de respuesta que estos muestran a la atracción, aterrizaje, aceptación, oviposición y o alimentación. Estas diferencias obedecen en gran parte a diferencias genéticas entre individuos, a diferencias propias entre las plantas —que no podemos detectar— y a experiencias del pasado. Cualquiera de estas diferencias está mediada total o parcialmente por químicos.

Los compuestos químicos involucrados en la transferencia de información entre organismos se han denominado *semioquímicos*, clasificados en *feromonas* (comunicación intraespecífica) y *aleloquímicos* (comunicación interespecífica); dentro de estos últimos se encuentran las kairomonas (benefician al receptor), las alomonas (benefician al emisor) y las sinimonas (benefician a ambos).

Un área importante de investigación es el estudio de cómo la composición precisa del estímulo químico afecta el comportamiento del insecto y, más precisamente, su orientación a la fuente del olor, o cómo estos afectan otros tipos de comportamientos que conllevan al apareamiento o a la agregación. En el caso de las feromonas, los insectos no sólo sintetizan los compuestos con alto grado de pureza por medio de pasos biosintéticos muy específicos, sino que tienen un control preciso de las características geométricas y

de isomería óptica de las moléculas, así como de las proporciones en que estas se presentan. Distintos isómeros pueden provocar patrones de respuesta muy diferentes en el insecto, por lo que la discriminación de estas moléculas se lleva a cabo en el nivel de antena y del sistema nervioso central. En los insectos, el sistema sensorial que predomina en la detección de las feromonas es el olfato.

La detección de los compuestos químicos en los insectos se realiza principalmente por medio de papilas sensoriales localizadas generalmente en las antenas. Por ejemplo, las antenas de los áfidos presentan receptores que les permiten detectar las feromonas sexuales, de alarma y de agregación, así como las sustancias volátiles de las plantas que utilizan para su alimentación (Pickett *et al.* 1992).

Feromonas

Las feromonas son moléculas orgánicas producidas por los animales y recibidas por un segundo individuo de la misma especie, en el cual se produce una reacción de respuesta —como por ejemplo un cambio en el comportamiento— o en el proceso de desarrollo. Son biológicamente activas en cantidades muy pequeñas (tan bajas como 10^{-14} mg); pueden estar formadas por un solo compuesto o, más comúnmente, por una mezcla de compuestos, los cuales presentan un peso molecular bajo (80 a 300 g mol^{-1}). Las feromonas están formadas por acetatos, aldehídos, alcoholes, ketonas, terpenoides y otros, dependiendo de la especie y el tipo de feromona.

Las feromonas son específicas entre especies; esta especificidad dependerá de la longitud de la cadena, de la naturaleza de los grupos funcionales, y del número, localización y naturaleza isomérica de los enlaces dobles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Componentes de la feromona sexual de hembras de diferentes especies del género *Spodoptera*^z.

Largo cadena	12	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16
Enlace doble	Z9	—	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	Z9	E9	Z11	E11	Z11
Grupo funcional ^y	ac	ac	ac	ald	ol	ac	ac	ac	ac	ac	ac	ac
<i>eridania</i>			80				20					
<i>exigua</i>			48		4		40	6				2
<i>frugiperda</i>	90		10									
<i>latisfacia</i>			78	8		1	7		1	<1		8
<i>litoralis</i>		+	+			95	+			+	+	

Fuente: Chapman (1998).

^z Porcentaje de cada componente. Representa la cantidad presente en la glándula en la mayoría de las especies.

^y ac, acetato; ald, aldehído; ol, alcohol.

+: Reportado en cantidades bajas, difiere entre especies.

Entre los diversos tipos de feromonas se encuentran (Chiri 1989, Jutsum y Gordon 1988):

Feromona sexual. Dependiendo de la especie, es producida por el macho, la hembra o ambos, y su función primordial es aumentar las probabilidades de apareamiento. Por lo general, las feromonas producidas por la hembra actúan como atrayentes sexuales, mientras que las producidas por el macho tienen una función afrodisíaca. La liberación de la feromona sexual es un proceso complejo, en el cual influyen la madurez sexual y la edad de la hembra virgen, el momento del día en que se realiza el apareamiento, el fotoperíodo, la temperatura, la velocidad del aire y la intensidad de la luz. En gran cantidad de hembras lepidópteras, la feromona sexual se produce en glándulas localizadas entre el octavo y noveno segmento abdominal. Cuando una hembra se coloca en posición de llamada (previo al apareamiento), levanta el abdomen exponiendo esta glándula y liberando la feromona al aire, la cual es transportada por el viento. Cuando un macho percibe el olor de la feromona, entra en actividad y vuela en zig zag en dirección contraria al viento hacia la fuente de la feromona (Fig. 1). A medida que el macho se acerca a la hembra, utiliza además otros sentidos, como la visión, el tacto o el auditivo. Uno de los insectos sobre los cuales se han realizado numerosos estudios por su facilidad de cría es *Drosophila melanogaster* L. (Diptera: Drosophilidae). Durante el cortejo, el macho se acerca a la hembra y cubre el abdomen con uno de sus tarsos delanteros. Posteriormente extiende las alas y vibra una de ellas. En el caso de que la hembra huya, el macho si-



Figura 1. Orientación del macho hacia la feromona liberada por la hembra.

gue vibrando las alas continuamente y tratando de cubrir su abdomen. Entonces, el macho saca su proboscis, hace contacto con la genitalia de la hembra y encorva su abdomen hacia el de esta. Por lo general, en este momento la hembra abre las válvulas genitales y se lleva a cabo la cópula.

Se han encontrado diferencias en la iniciación del cortejo cuando un macho enfrenta una hembra virgen a una copulada. En la cutícula de las hembras vírgenes se encuentra el compuesto 7-11 heptacosadieno, el cual incita al macho al inicio del cortejo. Las hembras copuladas incitan en menor grado a los machos. Una posible razón es que durante la cópula el macho transfiere el compuesto 7-tricosono a la hembra, el cual inhibe el comportamiento de cortejo de otros machos.

Feromona de alarma. Estimulan la huida o la defensa. Son las que se producen en mayores cantidades. Debido a que estos compuestos son segregados durante una estimulación traumática, por lo general actúan como disuasivos; muestran muchas de las propiedades presentes en las alomonas de defensa.

En los insectos sociales —como por ejemplo las hormigas, abejas y termitas— se producen monoterpenos característicos (6-metil-5hepten2ona, citral, citronelal, α pinina, limosina) de la feromona de alarma y que a la vez actúan como ente disuasivo.

Entre estas feromonas de alarma, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) marca las flores con 2-heptanona y de este modo previene la visita de otras abejas. En el caso de *Atta* spp. (Hymenoptera: Myrmicinae), si las hormigas son atacadas durante su paso por el trillo y se activa la feromona de alarma, las obreras tiran la hoja y se van rápidamente al nido. No reanudan su trabajo hasta que el olor de alarma se haya disipado.

Otro ejemplo de feromonas de alarma son las llamadas “feromonas de alarma misteriosas”, donde algunas especies de insectos no hormigas, ante la presencia de hormigas depredadoras, liberan alomonas disuasivas similares al ácido fórmico de las hormigas. Con esto, se satura el ambiente al haber una sobreproducción de feromona de alarma y confunde a las hormigas; ejemplo de estos insectos son las cucarachas y los escarabajos.

Feromonas de alarma antimicrobios. Esta feromona es típica de insectos que viven en nidos subterráneos, caracterizados por presentar alta temperatura y humedad, condición que favorece el crecimiento de hongos y bac-

terias. La feromona de alarma antimicrobios libera ciertas sustancias que inhiben el crecimiento de los patógenos *Aspergillus* y *Escherichia coli*. Además de los insectos que producen este tipo de feromonas, los ácaros del género *Carpoglyphus* inhiben el crecimiento de los hongos donde se desarrollan por medio de la liberación del citral. Sin la presencia de ácaros, crecen especies de *Aspergillus*. El chinche hediondo, *Nezara viridula*, produce 2-hexanal y (E)-decenal, los cuales inhiben la germinación de *Metarrhizium anisopliae*, un entomopatógeno de uso frecuente en el control microbiano de muchas especies de insectos.

Feromonas y alomonas como atrayentes letales. Esta feromona es característica de los estafilínidos, asociados con estiércol y carroña, y sirve para atraer las moscas de las cuales se alimentan.

Feromona de agregación. Tiene varias funciones, entre las que se incluyen agrupar individuos de ambos sexos en un área determinada, la defensa contra depredadores y los ataques en masa contra un hospedante debilitado. Esta feromona es utilizada en el trampeo masivo de muchos Scolytidae.

Feromonas marcadoras de trillo. Sirven como guía a la fuente de alimentación, así como de indicador de la cantidad de alimento existente. Están presentes en hormigas.

Otras feromonas presentes en insectos: antiagregación, reconocimiento, espaciamento, reguladores de desarrollo, etc.

Las feromonas como herramientas en el manejo de plagas

Las feromonas sexuales constituyen los compuestos más estudiados y los que presentan mayor potencial de uso. Se han utilizado para manipular el comportamiento de los insectos por medio de la detección y el monitoreo de poblaciones endémicas donde se registra la distribución y la abundancia relativa de una plaga, así como la actividad estacional de la misma; para confundir durante el apareamiento; reducir las poblaciones de insectos por medio del trampeo masivo y apoyar la toma de decisiones para determinar el momento oportuno de aplicar otros métodos de muestreo o de control. El uso de las feromonas en el campo está asociado al uso de una trampa (estructu-

ra para retener a los insectos) y un dispositivo (liberación de la feromona).

Características de las trampas

La eficacia de una trampa en la captura de adultos se ve afectada por una serie de factores, como el tipo de trampa, el color, el tamaño, la altura sobre el suelo a la cual fue colocada y el número y posición de las trampas en un sitio. La selección de una trampa está ligada al conocimiento del comportamiento del insecto con relación al olor de la feromona y a su hospedante.

Entre las trampas de mayor uso en el mercado están las impregnadas con goma, que presentan diversos diseños y tamaños según la especie de insecto para la cual fueron diseñadas. Entre estas están la alada, la Delta, la Lindgren (para el trampeo de escolítidos), la de cabos de tubo, la Nadel, la McPhail, la de balde y otras. Existe además una serie de modelos caseros fabricados a partir de botellas o galones plásticos, que además de proporcionar buenos



Figura 2. Trampas utilizadas en el manejo etológico de insectos: a) alada, b) Delta, c) McPhail, d) balde, e) refresco, f) galón plástico.

resultados en la captura de insectos, abaratan los costos (Fig. 2). Cabe resaltar que todas estas trampas requieren de un dispositivo con la feromona. A aquellas trampas que no son impregnadas de goma se les adiciona (en el recipiente inferior) agua con detergente, aceite o insecticida, para eliminar los insectos capturados.

Dispositivos

La liberación controlada del agente biológico activo es una de las etapas de mayor cuidado, que influye en el éxito del desarrollo de la feromona, ya que se requiere de un reservorio de la sustancia activa que sea liberada en ciertas cantidades y concentraciones. La liberación gradual o controlada se realiza con la ayuda de polímeros de diferente tipo llamados *dispositivos*. La base de estos dispositivos de liberación controlada está íntimamente relacionada con los principios farmacéuticos, donde se debe regular la cantidad y velocidad de liberación del compuesto “medicina” al organismo. En el mercado se realizan constantes investigaciones que permiten desarrollar dispositivos eficientes, de bajo costo y fácil aplicación (Trimble *et al.* 2004). Entre los diferentes dispositivos están:

- Las estructuras laminadas, que consisten de dos y generalmente tres películas de polímero adheridas.
- Tapones de corcho o plástico, filtros de algodón.
- Tableta o cápsula, que contiene el ingrediente activo y una sustancia osmótica (generalmente NaCl) en el interior y está rodeada de una membrana semipermeable con un orificio. Cuando la tableta está en un ambiente húmedo, la presión osmótica del NaCl dentro de ella absorbe agua a través de la membrana, creando una solución acuosa interna. Debido a que la membrana no es extensible, la solución saturada es sacada de la cápsula conforme más agua se absorbe.

— Hojuelas.

Ventajas y desventajas del uso de feromonas

El uso de las feromonas en un programa de control de plagas proporciona ciertas ventajas, como son su bajo costo, facilidad de uso, fácil transporte, alta sensibilidad (muy efectiva con densidades poblacionales bajas) y protección del ambiente (Cuadro 2). Sin embargo, su efectividad en el campo se ve afectada por el tipo de trampa utilizada, el diseño del dispensador (velocidad de liberación de la feromona), la ubicación de la trampa, el número de trampas por área y las condiciones climáticas. En el caso de las trampas con goma, el polvo, basuras del ambiente y frecuencia de cambio de la trampa pueden afectar las capturas (Fig. 3).

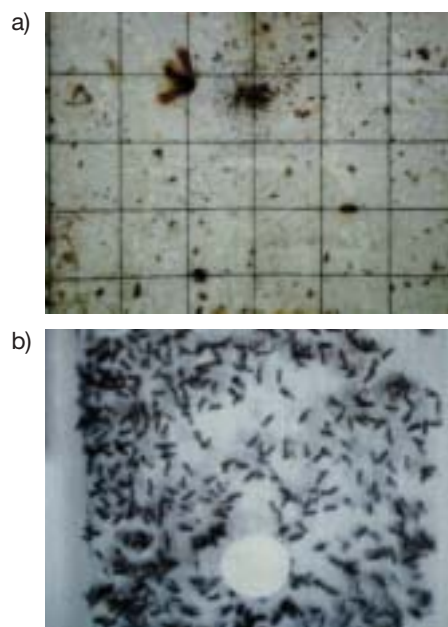


Figura 3. Trampa alada afectada en la superficie con goma por a) basuras, b) exceso de captura de insectos.

Cuadro 2. Comparación entre feromonas e insecticidas.

	Feromona	Insecticida
Toxicidad	No es tóxico para mamíferos y peces	Tóxico
Efecto sobre enemigos naturales	Ninguna	Sí. Plagas secundarias
Contaminación	Ninguna	Sí
Resistencia o tolerancia	Ninguna	Sí
Aplicaciones	1-2 veces/año	Muchas veces
Densidad de población	Menos efectiva en densidades altas	Efectivas en altas densidades
Tamaño del área tratada	Mayor efectividad en campos grandes	Efectividad en campos chicos
Época de aplicación	Período de vuelo	Todo el tiempo
Clima	Afectada	Afectada
Selectividad	Insectos específicos	Ninguna

A continuación se presentan algunos ejemplos exitosos del uso de feromonas en el manejo etológico de insectos:

- El manejo del defoliador (*Orgyia pseudotsugata*) (Lepidoptera: Lymantriidae) del pino Oregon, (*Pseudotsuga menziesii*), en Norteamérica, consiste en la detección temprana y el monitoreo anual de la abundancia del insecto con el fin de indicar su presencia y advertir sobre el crecimiento de la población, y la posibilidad de que se desarrolle una explosión de la población de la plaga. Cada año, al finalizar el verano y cuando ocurre la emergencia de los adultos, se colocan trampas con feromona en sitios específicos. Cada trampa contiene un dispositivo plástico que permite la liberación paulatina de una baja concentración de la feromona sexual. El número de machos capturados representa un índice relativo de la abundancia poblacional en un sitio determinado. En el caso de que se alcancen niveles poblacionales altos, se recurre a prácticas silviculturales o a la aplicación aérea de insecticidas químicos o microbiológicos (virus y *Bacillus thuringiensis*) (Mason y Wickman 1991).

- El cultivo de la papa en Costa Rica se ve afectado por el daño causado a los tubérculos por las polillas *Phthorimaea operculella* y *Tecia solanivora*. Antes de 1989, el 20% de los costos de producción de papa correspondían al costo por insecticidas contra las polillas, con un promedio de 14 aplicaciones de insecticida durante el invierno y 20 en el verano. A partir de 1989, a raíz de una explosión de la población de la mosca minadora *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyziidae), el costo de insecticidas aumentó a un 50% debido al uso de ciromazina (Trigard®), cartap (Padán®) y otros contra la mosca minadora. El patrón de distribución del daño de ambas especies no es uniforme, sino que tiende a concentrarse en los bordes. Rodríguez *et al.* (1991) encontraron que las mayores capturas de las polillas se presentaron con trampas distanciadas entre 5 y 10 m y que el número de adultos capturados disminuyó a medida que la distancia entre ellas era menor.

- El uso de feromonas para confundir o disuadir el apareamiento de *Pectinophora gossypiella* en algodón ha sido muy efectivo en Estados Unidos, Pakistán, Egipto y Perú. Debido a que las larvas se ali-

mentan en el interior de los botones florales y las cápsulas, estas escapan a la acción de los insecticidas convencionales, por lo que la aplicación intensiva de insecticidas provocó la aparición de resistencia, el surgimiento de plagas secundarias y la destrucción de enemigos naturales. La saturación del ambiente con feromona sintética en 40000 ha de algodón en California y Arizona disminuyó el apareamiento de *P. gossypiella*, lo que provocó un aumento en la producción de algodón y solamente un 5% de daño en el cultivo, mientras que las plantaciones tratadas convencionalmente presentaron un 30% de daño (Cardé y Minks 1995).

El uso de programas integrados insecticida-feromona, basados en la interrupción del apareamiento, ha mostrado ser efectivo al mantener las poblaciones de la polilla oriental de las frutas, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) bajo los niveles de tolerancia industrial del 1% (Trimble *et al.* 2001).

- El trapeo o captura masivos se realizan principalmente en aquellos insectos que utilizan la feromona de agregación como medio para encontrar a su pareja o para explotar un hospedero. Este es el caso de los escarabajos descortezadores, *Dendroctonus* spp., *Ips* spp., *Scolytus* spp. y otros. Su uso para combatir las plagas agrícolas en Costa Rica está restringido a *Metamasius* en caña, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) en banano y *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) en palma aceitera (Chinchilla y Oehlschlager 1993) y en *Phoenix robelini* (Blanco Metzler, *en prensa*).

En conclusión, la clave del éxito en el manejo de plagas radica en el conocimiento de la ecología de la especie plaga y su relación con factores económicos. El trapeo con feromonas es una táctica de control relativamente nueva, que permite el monitoreo de las poblaciones de insectos sin causar deterioro en el ambiente ni afectar otras especies de animales; sin embargo, requiere de la generación de gran cantidad de información que permita entender la relación entre la captura de los adultos y los requerimientos ecológicos y biológicos de cada especie.

Si bien el mayor uso de las feromonas se ha dado en el control de plagas de especies forestales, existen numerosas experiencias en cultivos anuales y perennes, donde su inclusión en programas de manejo integrado de plagas ha sido eficiente.

Literatura citada

- Blanco-Metzler, H. Manejo de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) en *Phoenix robelini*. Agronomía Mesoamericana. 4 p. *En prensa*.
- Cardé, RT; Doane, CC; Granett, J; Roelofs, WL. 1975. Disruption of pheromone communication in the gypsy moth: Some behavioural effects of disparlure and an attractant modifier. *Environmental Entomology* 4: 793-6.
- _____; Minks, AK. Control of moths pests by mating disruption: Successes and constraints. *Annual Review of Entomology* 40: 559-85.
- Chapman, RF. 1998. The Insects: structure and function. Reino Unido, Cambridge University Press. p. 704-724.
- Chinchilla, CM; Oehlschlager, C. 1993. Trampas para capturar adultos de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) utilizando la feromona de agregación producida por el macho. *Manejo Integrado de Plagas* 29: 28-35.
- Chiri, A. 1989. Utilización del control etológico. In Andrews, K; Quesada, JR. eds. Manejo integrado de plagas en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. p. 267-282.
- Horn, DJ. 1988. Ecological approach to pest management. New York, US, Guiford Press. 285 p.
- Judson, AR; Gordon, RF. 1989. Insect pheromones in plant protection. New York, US, John Wiley & Sons. 369 p.
- Lewis, WJ; Jones, RL; Sparks, AN. 1972. A host-seeking stimulant for the egg parasite *Trichogramma evanescens*: its source and its demonstration of its laboratory and field activity. *Annual Entomological Society America* 65: 1987-89.
- Mason, RR; Wickman, BE. 1991. Integrated pest management of the Douglas-fir tussock moth. *Forest Ecology and Management* 39: 119-130.
- Mora C, N; Rodríguez, C.; Lépiz, CS. 1991. Efecto de la altura de las trampas con feromona en la captura de *Plutella xylostella* (Lep: Plutellidae). *Manejo Integrado de Plagas* 20-21: 45-46.
- Pickett, JA; Wadhams, LJ; Woodcock, CM. 1992. The chemical ecology of aphids. *Annual Review of Entomology* 37: 67-90.
- Rodríguez, CL; Lépiz, CS; Pérez, D. 1991. Efecto de la distancia entre trampas, sobre la captura de las palomillas de la papa (Lep: Gelechiidae). *Manejo Integrado de Plagas* 20-21: 47-48.
- Trimble, RM; Pree, DJ; Barszcz, ES; Carter, NJ. 2004. Comparison of sprayable pheromone formulation and two hand-applied pheromone dispensers for use in the integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology* 97(2): 482-489.
- _____; Pree, DJ; Carter, NJ. 2001. Integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in peach orchards using insecticide and mating disruption. *Journal of Economic Entomology* 94: 276-285.