

Pest Management

8/15/2008

Key to Pest Control: Mode of Action

Raymond A. Cloyd

Insect and mite pests such as aphids, whiteflies, thrips, fungus gnats and spider mites, when present in abundant numbers, can make it difficult for you to produce a quality crop. As such, pest control materials—in this case, insecticides and miticides—are still primarily used to prevent or reduce the possibility of plant-feeding arthropods (insects and mites) from causing cosmetic injury.

However, over zealous use of currently available pest control materials may result in resistance developing in arthropod pest populations. This is why it's imperative to implement proper stewardship of currently available pest control materials so as to preserve their longevity and extended use. In order to do this, it's important that you understand the mode of action of pest control materials.

Mode of action or mode of activity refers to all of the anatomical, physiological and biochemical interactions or responses that result in the toxic action of a pest control material. In other words, mode of action is how a pest control material affects (negatively) the metabolic and/or physiological processes in an insect or mite pest. However, the mode of action may not always be known or understood, or there may be more than one mode of action involved.

The major modes of action of pest control materials may be classified into distinct groupings, including physical toxicants (desiccants or membrane disruptors); nerve toxins; metabolic inhibitors; cytolytic toxins (cause cells to rupture or disintegrate); and disruptors of molting, metamorphosis and cuticle formation. Most insecticides, in general, interfere with the central nervous system of the target pest.

It's important to know the mode of action if you want to design effective rotation programs that involve using insecticides with different modes of action—not different chemical classes. We used to discuss rotating chemical classes; however, several chemical classes have similar modes of activity.

For example, organophosphates and carbamates, despite being different chemical classes, have identical modes of activity. In insects, one of the major neurotransmitters is acetylcholine (ACh), which is responsible for activating sodium channels, thus allowing nerve signals to travel through the central nervous system. The enzyme acetylcholinesterase (AChE) will eventually (within micro-seconds) break down or deactivate acetylcholine from the nerves, which closes the sodium channels, halts nerve signals from “firing” and clears the way for another signal transmission. Insecticides in the organophosphate and carbamate chemical classes inhibit or block the action of acetylcholinesterase by attaching to the enzyme. This causes nerve signals to continue sending impulses or “firing,” resulting in an accumulation of acetylcholine, a depletion of energy and then death. So, using acephate (Orthene),

an organophosphate, for two successive spray applications during the generation of an insect pest and then switching to methiocarb (Mesurol), a carbamate, would not constitute a proper rotation scheme, since the insect pest population is being exposed to the same mode of action.

Similarly, although pyridaben (Sanmite), fenpyroximate (Akari) and acequinocyl (Shuttle) are in different chemical classes (pyridazinone, phenoxypyrazole and naphthoquinone, respectively) they are all active on the mitochondria electron transport system (these pest control materials are often referred to as mitochondria electron transport inhibitors or METI's), which is responsible for energy production, so these miticides should not be used in succession.

However, the target site differs among these three pest control materials. For example, pyridaben (Sanmite) and fenpyroximate (Akari) inhibit mitochondrial electron transport at the NADH-coenzyme Q reductase site of Complex I, whereas acequinocyl (Shuttle) inhibits respiration of the mitochondria at Complex III (cytochrome c reductase) by binding to the ubiquinol oxidation site (QO) in the electron transfer chain.

The chemical class neonicotinoid contains five systemic insecticides that are registered for use in greenhouses: imidacloprid, thiamethoxam, acetamiprid, clothianidin and dinotefuran. All the neonicotinoid-based insecticides act as agonists on the insect nicotinic acetylcholine receptors located in the central nervous system. Since all the neonicotinoids have similar modes of activity, it's important to avoid using them in succession, as this will increase the "selection pressure" on the target insect pest population and may potentially enhance the development of insecticide resistance. You should utilize an insecticide (or two) with a different mode of activity either before or after using a neonicotinoid-based insecticide.

Most of the pest control materials labeled for use in greenhouses have specific modes of action—that is, they're only active on one particular target site. However, some pest control materials have broad modes of activity or are active on multiple target sites. For example, microbial-based insecticides containing the active ingredient *Bacillus thuringiensis* (Dipel and Gnatrol) work by binding to specific receptor sites on the stomach epithelium, resulting in degradation of the stomach lining and eventual starvation of the target insect. Crystals release protein toxins (endotoxins) that bind to stomach membrane receptor sites, creating pores or channels. This paralyzes the digestive system and ruptures cell walls, allowing ions to flow through the pores, disrupting potassium and pH balances. As a result, the alkaline contents of the stomach spill into the blood (hemolymph), resulting in paralysis and eventually death.

Insect growth regulators (IGRs) are primarily used to kill the immature or young stages of plant-feeding insects including mealybugs, scales, whiteflies and caterpillars. Insect growth regulators may be placed into three general mode-of-action categories: juvenile hormone mimics or analogs; ecdysone antagonists; and chitin synthesis inhibitors.

Juvenile hormone mimics or analogs arrest development and cause insects to remain in a young or immature stage, thus preventing insects from completing their lifecycle. Examples of insect growth regulators with this mode of action include kinoprene, pyriproxyfen and fenoxycarb. Ecdysone antagonists disrupt the molting process of insects by inhibiting metabolism of the molting hormone—ecdysone. An IGR with this mode of action is azadirachtin. Chitin synthesis inhibitors interfere with enzymes—during the molting process—that stimulate the synthesis and formation of chitin, which is an essential component of an insect's exoskeleton. As a result, insects fail to reach adulthood because they die in the young stage or they mature into sterile adult females. Insect growth regulators having this mode of activity include cyromazine, diflubenzuron, buprofezin, novaluron and etoxazole.

Selective feeding inhibitors or blockers work by disrupting the behavior of insects that feed within the phloem tissues via interfering with or blocking neural regulation of fluid intake into the mouthparts. As a result, insects starve to death within a short period of time (three to seven days depending on the target insect) because they're unable to obtain nutrients. In addition, this reduces viral transmission. Insecticides with this mode of action include pymetrozine and flonicamid.

Below are examples of rotation schemes for aphids, thrips, twospotted spider mite (*Tetranychus urticae*), whiteflies, mealybugs, and fungus gnats using pest control materials (active ingredients are listed) that have dissimilar modes of action. Each pest control material is applied once per week:

Aphids: Pymetrozine, Petroleum Oil, Imidacloprid, Potassium Salts of Fatty Acids

Thrips: Spinosad, Abamectin, Chlorfenapyr, Methiocarb

Twospotted Spider Mite: Bifenazate, Spiromesifen, Etoxazole, Acequinocyl

Whiteflies: Dinotefuran, Pyriproxyfen, Flonicamid, Buprofezin

Mealybugs: Acetamiprid, Acephate, Potassium Salts of Fatty Acids, Kinoprene

Fungus Gnats: Pyriproxyfen, Cyromazine, Kinoprene, Chlorfenapyr

A list of the modes of action for pest control materials used in greenhouses (common name and trade name) that may be categorized under each specific mode of activity is presented in the insecticide charts, beginning on page 4 of the 2009 Insecticide & Fungicide Guide (a supplement in the September 2008 *GrowerTalks* print edition). In addition, the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) mode of action designations are included. These also appear on pest control material labels, which will make it easier for you to create effective rotation and resistance-management programs. For additional information regarding the mode of action of pest control materials refer to the IRAC website (www.irac-online.org).

Raymond A. Cloyd is associate professor and extension specialist in ornamental entomology/integrated pest management, Department of Entomology, Kansas State University, Manhattan, Kansas. Tel: (785) 532-4750; e-mail: rcloyd@ksu.edu.

Spanish translation of the above article:

La Clave del Control de Plagas: El Modo de Acción

Cómo rotar entre modos de acción para evitar resistencia

Las insectos y ácaros plaga como los áfidos, moscas blancas, trips, moscas de los hongos y arañas, llegan a interferir significativamente con la calidad de los cultivos bajo invernadero; de ahí que los materiales para el control de plagas—en este caso insecticidas y acaricidas—aún sean principalmente utilizados para prevenir o reducir la posibilidad de que los artrópodos (insectos y ácaros) se alimenten, causando daños cosméticos o estéticos.

Sin embargo, el uso intensivo de los materiales actualmente disponibles para el control de plagas puede conducir al desarrollo de resistencia en las poblaciones de los artrópodos plaga, por lo cual resulta imperativo implementar un programa en el que se roten los productos disponibles para preservar su longevidad y uso continuado. Para lograrlo, es importante que los productores comprendan el modo de acción de los productos utilizados para controlar las plagas.

El modo de acción o tipo de actividad se refiere a la suma de interacciones anatómicas, fisiológicas y bioquímicas, o a las respuestas resultantes de la acción tóxica de los productos utilizados para controlar las plagas. Dicho de otra manera, el modo de acción es la forma en que un producto afecta (de manera negativa) los procesos metabólicos y/ o fisiológicos de un ácaro o insecto plaga. Sin embargo, dicho modo de acción no siempre es conocido o comprendido, y puede haber más de un tipo de acción asociado a un mismo producto.

Los principales modos de acción se pueden clasificar en grupos claramente diferentes, que incluyen los tóxicos físicos (desecantes u obstrutores de membranas), las toxinas nerviosas, los inhibidores metabólicos, las toxinas citolíticas (que inducen ruptura o desintegración de las células) y los obstrutores de mudas, metamorfosis y formación de la cutícula. Por lo general, la mayoría de insecticidas interfiere con el sistema nervioso central de la plaga a controlar. Resulta importante conocer el modo de acción para poder diseñar de manera efectiva los programas de rotación de manera que incluyan insecticidas con distinto modo de acción – no clases químicas diferentes. Inicialmente se hablaba de rotar clases químicas, sin embargo, algunas de ellas tienen modos de acción bastante similares.

Los organofosforados y los carbamatos por ejemplo, presentan modos de acción idénticos a pesar de pertenecer a clases químicas diferentes. Uno de los principales neurotransmisores que poseen los insectos es la acetilcolina (ACh), cuya función es activar los canales del sodio, permitiendo así que las señales nerviosas viajen a través del sistema nervioso central. La acetilcolinesterasa (AChE) es una enzima que eventualmente descompone o desactiva la acetilcolina de los nervios (en cuestión de micro-segundos), lo cual cierra los canales de sodio, detiene las señales nerviosas evitando que se “disparen” y abre el paso a la transmisión de otras señales. Los organofosforados y carbamatos inhiben o bloquean la acción de la acetilcolinesterasa al adherirse a la enzima, lo que hace que las señales nerviosas continúen enviando impulsos o sigan “disparando” sin parar. Esto conduce a una acumulación de acetilcolina, seguida de un agotamiento de energía y finalmente de la muerte. Así las cosas, aplicar acefato (Orthene) - un organofosforado - dos veces consecutivas durante la generación de un insecto plaga, para cambiar luego a metiocarb (Mesurol) - un carbamato - no es una rotación apropiada ya que la población del insecto plaga está siendo expuesta al mismo modo de acción.

De la misma manera, aunque el piridaben (Sanmite), el fenpiroximato (Akari) y el acequinocil (Shuttle) pertenecen a clases químicas diferentes—piridazinona, fenoxipirazol y naftoquinona respectivamente—son todos activos sobre el sistema de transporte de electrones de las mitocondrias (estos productos son con frecuencia catalogados como inhibidores del transporte mitocondrial de electrones o METI por sus siglas en inglés), sistema que está a cargo de la producción de energía, razón por la que estos acaricidas no deben usarse de manera secuencial. Sin embargo, el lugar de ataque varía entre estos tres materiales. El piridaben (Sanmite) y el fenpiroximato (Akari) por ejemplo, inhiben el transporte de electrones en las mitocondrias a nivel del complejo de la coenzima NADH Q reductasa del Complejo I; mientras que el acequinocil (Shuttle) inhibe la respiración de las mitocondrias a nivel del Complejo III (citocromo c reductasa) formando un enlace en el sitio de oxidación del ubiquinol (Q0) en la cadena de transferencia de

electrones.

La clase química en cuestión – neonicotinoide - comprende cinco insecticidas sistémicos registrados para uso bajo invernadero: imidacloprid, tiametoxam, acetamiprid, clothianidin y dinotefuran. Todos los insecticidas con base neonicotinoide actúan como antagonistas de los receptores de la nicotina-acetilcolina de los insectos, que se encuentran localizados en el sistema nervioso central. Puesto que todos los neonicotinoides tienen modos de acción similares, es importante evitar usarlos en sucesión ya que esto incrementará la “presión de selección” sobre la población del insecto que se quiere controlar y potencialmente estimula el desarrollo de resistencia al insecticida. Se recomienda utilizar un insecticida (o dos) con modo de acción o actividad diferente, antes o después de haber usado un producto con base neonicotinoide.

La mayoría de productos para el control de plagas registrados para uso en invernadero tienen modos de acción específicos es decir, son activos solamente sobre un sitio particular. Sin embargo, algunos productos tienen modos de acción amplios o son activos sobre sitios o blancos múltiples. Por ejemplo, los insecticidas con base microbiana que contienen el ingrediente activo *Bacillus thuringiensis* (Dipel y Gnatrol) trabajan adhiriéndose a receptores específicos en el epitelio estomacal, lo que conduce a la degradación del recubrimiento del estómago y eventualmente a la muerte del insecto plaga por inanición. Los cristales liberan toxinas protéicas (endotoxins) que se fijan sobre receptores localizados en la membrana estomacal creando poros o canales. Esto paraliza el sistema digestivo y perfora las paredes celulares, permitiendo que los iones fluyan a través de los poros, afectando los balances de potasio y pH. Como resultado, el contenido alcalino del estómago se derrama en la sangre (hemolinfa), resultando en parálisis y eventualmente muerte.

Los reguladores de crecimiento de los insectos (IGRs por sus siglas en inglés) son principalmente utilizados para matar los estadios inmaduros o jóvenes de los insectos fitófagos incluyendo las cochinillas harinosas, las escamas, moscas blancas y orugas. Dichos reguladores pueden clasificarse en tres categorías según su modo de acción: análogos o simuladores de hormonas juveniles; antagonistas de la ecdisona; e inhibidores de la síntesis de quitina.

Los análogos o simuladores de las hormonas juveniles detienen el desarrollo y hacen que los insectos permanezcan jóvenes o inmaduros, lo que les impide completar su ciclo de vida. Los reguladores de este tipo incluyen por ejemplo el kinopreno, el piriproxifen y el fenoxicarb. Los antagonistas de la ecdisona inhiben las mudas alterando el metabolismo de la hormona correspondiente a este proceso — la ecdisona. Un IGR con este modo de acción es la azadiractina. Los inhibidores de la síntesis de quitina afectan las enzimas que estimulan la síntesis y formación de quitina durante el proceso de muda—la cual es un componente esencial del exoesqueleto del insecto. Como resultado, los insectos no alcanzan el estado adulto y mueren jóvenes, o maduran como hembras adultas estériles. Los reguladores de crecimiento con este modo de acción incluyen la ciromazina, el diflubenzuron, la buprofezina, el novaluron y el etoxazole.

Los inhibidores selectivos o bloqueadores de la alimentación trabajan afectando el comportamiento de los insectos que se alimentan de los tejidos del floema, obstruyendo o bloqueando la regulación neural de la absorción de agua en las partes bucales. Como resultado, los insectos mueren de hambre al poco tiempo (tres a siete días dependiendo del insecto) pues son incapaces de obtener nutrientes. Adicionalmente, se reduce la transmisión de virus. Los insecticidas con este modo de acción incluyen la pimetrozina y la flonicamida.

A continuación aparecen algunos ejemplos de programas de rotación para áfidos, trips, arañas de dos puntos (*Tetranychus urticae*), moscas blancas, cochinillas harinosas y moscas de los hongos en los que se utilizan productos para el control de plagas con modos de acción diferentes (la lista es de ingredientes activos). Cada producto se aplica una vez por semana:

Afidos:

Pimetrozina, Aceite de Petróleo, Imidacloprid, Sales de Potasio de Ácidos Grasos

Trips:

Spinosad, Abamectina, Clorfenapir, Metiocarb

Arañas de dos puntos:

Bifenazato, Spiromesifen, Etoxazole, Acequinocil

Moscas blancas:

Dinotefuran, Piriproxifen, Flonicamid, Buprofezina

Cochinillas harinosas:

Acetamiprid, Acefato, Sales de Potasio de Ácidos Grasos, Kinopreno

Moscas de los hongos:

Piriproxifen, Círomazina, Kinopreno, Clorfenapir

Los cuadros de insecticidas que comienzan en la página 4 de la Guía de Insecticidas & Fungicidas 2009 (que se entrega como suplemento de esta edición) incluyen una lista de modos de acción de los productos para el control de plagas usados en el invernadero (nombre común y nombre comercial) que pueden clasificarse bajo cada tipo específico de actividad. Adicionalmente se incluyen denominaciones para el modo de acción del Comité de Acción de Resistencia a los Insecticidas (IRAC por sus siglas en inglés), que también aparecen en las etiquetas de los pesticidas, para agilizar el desarrollo de programas de rotación y manejo de resistencia y permitirle lidiar más eficientemente con los artrópodos plaga. Para más información sobre el modo de acción de estos productos refiérase a la página web del IRAC (www.irac-online.org).

Raymond A. Cloyd es profesor asociado y especialista en extensión en entomología ornamental/ manejo integrado de plagas, Departamento de Entomología, Universidad estatal de Kansas, Manhattan, Kansas, Estados Unidos. Tel: (785) 532-4750; e-mail: rcloyd@ksu.edu.