

SECCIÓN VIII. CONSERVACIÓN DE LOS AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO EN LOS CULTIVOS

CAPÍTULO 21: PROTEGER A LOS ENEMIGOS NATURALES DE LOS PLAGUICIDAS

PROBLEMAS CON LOS PLAGUICIDAS

Los plaguicidas son usados rutinariamente como la herramienta de primera opción para controlar plagas de cultivos en los Estados Unidos, Europa, Japón y gran parte del mundo desarrollado. Por tanto, los agentes de control biológico generalmente deben coexistir con los plaguicidas o perecer. Cómo pueden ser reforzados los enemigos naturales, sin importar el uso de plaguicidas, es el objetivo de este capítulo. La industria moderna de plaguicidas tiene sus raíces en la Segunda Guerra Mundial, cuando los químicos desarrollaron productos para matar insectos como los mosquitos y los piojos, para proteger a las tropas. El primero y el mejor fue el DDT, el cual salvó miles de vidas al suprimir las explosiones incipientes del tifo (una enfermedad transmitida por piojos) entre los soldados y en los grupos amontonados de civiles desplazados (Cushing, 1957). Inmediatamente después de la guerra, las corporaciones reconocieron que el control químico de plagas era posible y potencialmente era un negocio. La industria de plaguicidas emergente se enfocó en el descubrimiento, producción en masa y comercialización de compuestos químicos para matar insectos y malezas, y para la protección de los cultivos contra las enfermedades. Los nuevos productos fueron muy populares y el uso de los plaguicidas se incrementó rápidamente a finales de los 1940s y en los 1950s. Productos como el DDT, 2-4-D (un herbicida) y captan (un fungicida) revolucionaron la agricultura, al proporcionar a los productores herramientas altamente efectivas para proteger sus cultivos y generaron ganancias a nuevos negocios corporativos, organizados con el propósito explícito de crear plaguicidas para uso de los agricultores y en los hogares. Inicialmente, sólo fueron considerados los beneficios de los plaguicidas – supresión inmediata de las plagas a niveles sin precedente. Formas mejoradas de usar los plaguicidas – mejores formas de formularlos, mejores máquinas para aplicarlos – fueron desarrolladas rápidamente, conforme los nuevos productos llegaban al mercado. Una generación de agricultores creció y para ellos el uso de los plaguicidas sintéticos representó la norma en el control de plagas.

En pocos años, sin embargo, los problemas con estos plaguicidas sintéticos fueron reconocidos por algunos ecólogos previsores (Carson, 1962). Una de las primeras fallas de los plaguicidas fue el desarrollo de poblaciones que, a través de la selección y la evolución, pudieron tolerar dosis de veneno antes letales (*resistencia a los plaguicidas*). Este problema fue reconocido rápidamente pero fue minimizado por el desarrollo de plaguicidas efectivos de reemplazo.

Otro problema que pronto emergió fue el rápido retorno de las poblaciones de plagas asperjadas a niveles dañinos (*resurgencia de la plaga*). Además, nuevos grupos como los tetraníquidos que previamente no eran más que problemas menores, se convirtieron en plagas primarias que requerían tratamiento regularmente (*explosiones de población de plagas secundarias*). La base ecológica de estos dos problemas tomó largo tiempo para ser entendida. Sin embargo, en los 1960s y 1970s, se había demostrado con investigaciones que estos problemas existían debido a la destrucción de enemigos naturales en los campos de cultivo (DeBach, 1974). Por ejemplo, en Japón la aplicación de piretroides sintéticos en huertos de duraznos causó problemas peores con el eriófido *Aculus fockeui* (Napela & Trouessard) por la destrucción del ácaro depredador *Amblyseius eharai* Amitai & Swirski (Kondo y Hiramatsu, 1999).

Conforme el volumen de plaguicidas usados (especialmente insecticidas) se incrementó, también aumentó el contacto entre la vida silvestre, los plaguicidas y sus residuos. El daño a la vida silvestre y la contaminación por plaguicidas se desarrolló como una crisis ambiental importante en los 1960s. Los hidrocarburoclorinados como el DDT afectaron adversamente los sistemas reproductivos de aves rapaces y aves zancudas, causando que pusieran huevos con cascarones anormalmente delgados. Las poblaciones de águilas, halcones, halcones pescadores y de garzas declinaron y aún desaparecieron de grandes áreas, debido a los residuos de plaguicidas estables, solubles en grasas, que circulaban en el ambiente y que contaminaron sus cadenas alimenticias (Graham, 1970).

El problema de los residuos de plaguicidas en el ambiente fue resuelto prohibiendo la mayoría de los plaguicidas clorinados en los 1970s y remplazándolos con organofosforados y carbamatos. Estos nuevos compuestos, sin embargo, realmente eran más tóxicos para los vertebrados y frecuentemente causaron enfermedades en los trabajadores agrícolas. Hubo programas del gobierno en los Estados Unidos durante los 1970s y 1980s para hacer estos compuestos más seguros, entrenando a los agricultores y a sus trabajadores en su uso (programa de entrenamiento del aplicador de plaguicidas US-EPA). En los 1990s, muchos usos de plaguicidas organofosforados y carbamatos se cancelaron en los EU con el objetivo de mejorar la seguridad alimenticia. En respuesta, las compañías de plaguicidas desarrollaron un amplio conjunto de nuevos plaguicidas que eran más seguros para la gente y la vida silvestre. Muchos de estos compuestos también eran, al menos, parcialmente selectivos, permitiendo el aumento en la sobrevivencia de enemigos naturales en los cultivos. Estos eventos ocurrieron en los Estados Unidos pero muchos países siguieron más tarde los mismos pasos.

En este capítulo se discute primero cómo el uso de los plaguicidas puede ser contraproducente al promover explosiones de población de plagas, destrucción de enemigos naturales y desarrollo de resistencia a los plaguicidas. Se revisan las formas en que los plaguicidas pueden causar daño y cómo tales impactos podrían ser reducidos, encontrando y usando *plaguicidas fisiológicamente selectivos*. Se muestra cómo, en algunos casos, aún compuestos no selectivos pueden actuar como selectivos al modificar sus formulaciones o el tiempo, lugar o forma de aplicación (*selectividad ecológica*). Finalmente, se describe cómo el uso de cultivos modificados genéticamente que expresan toxinas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner, han hecho que algunos cultivos sean considerablemente más favorables para los enemigos naturales.

SUPERPLAGAS Y AUSENCIA DE ENEMIGOS NATURALES

RESISTENCIA A PLAGUICIDAS

La resistencia a plaguicidas se desarrolla porque los individuos en la población que son más tolerantes a la exposición al producto son los que sobreviven y se reproducen, dejando sus genes mejor representados en la siguiente generación. Los mecanismos de resistencia a plaguicidas incluyen entre otros la detoxificación reforzada y la penetración cuticular reducida en los insectos. Las poblaciones de plagas pueden desarrollarse por varias generaciones hasta que ya no pueden ser fácilmente eliminadas por uno o más plaguicidas. Muchos insectos, malezas y patógenos de plantas se volvieron resistentes a los plaguicidas después de 1945, algunos a muchos plaguicidas (Brent, 1987; Georghiou y Lagunes-Tejeda, 1991) (Brent, 1987; Georghiou y Lagunes-Tejeda, 1991) (**Figura 21-1**).

Las características clave que afectan el desarrollo de la resistencia a plaguicidas incluyen la proporción de la población que está expuesta al plaguicida y la intensidad de cualquier pérdida de habilidad (en ausencia de plaguicidas) que viene junto con la resistencia a los plaguicidas. La proporción de la población en desarrollo de una plaga que está expuesta a un plaguicida difiere por muchas razones, incluyendo su ocurrencia en hospederos fuera del cultivo y el nivel de tratamiento aplicado al cultivo. La mosca de la manzana *Rhagoletis pomonella* (Walsh), por ejemplo, no desarrolla resistencia a los productos comúnmente usados en los huertos como el azinfosmetil (después de 40 años de uso) porque la población en desarrollo de esta mosca ocurre en áreas no tratadas y sobre hospederos silvestres. En contraste, el escarabajo de la papa de Colorado *Leptinotarsa decemlineata* (Say), rápida y repetidamente desarrolló resistencia en el este de los Estados Unidos, en parte porque virtualmente no había ya hospederos silvestres y porque tiende a invernar cerca de los campos de papa (ver p. ej., French *et al.*, 1992). Muchos plaguicidas tienen una química similar, por lo que una plaga resistente a un miembro de una clase (como los carbamatos) es posible que sea resistente a otros (*resistencia cruzada*).

Cuando las plagas desarrollan resistencia, los agricultores pueden responder incrementando las dosis, cambiando o alternando plaguicidas o combinándolos. Ellos pueden abandonar el control químico completamente a favor de sistemas de manejo basados en

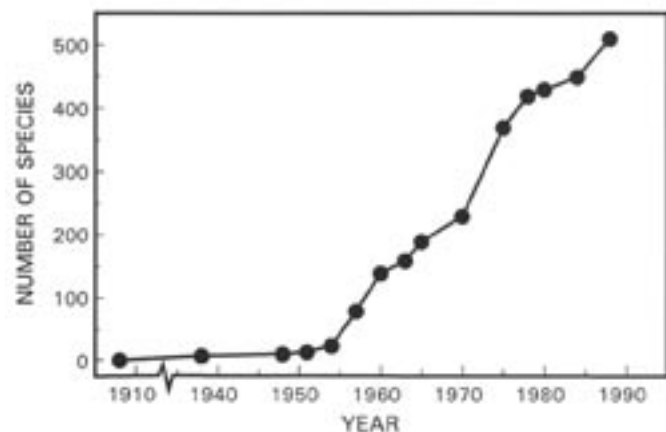


Figura 21-1. Número acumulado de casos de resistencia a plaguicidas en artrópodos (Según Georghiou y Lagunes-Tejeda, 1991; reimpresso de Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

control biológico, incluyendo la conservación de enemigos naturales, si la resistencia evita el control de la plaga. Alternativamente, si son los enemigos naturales los que desarrollan resistencia a los plaguicidas, puede ser posible que los conserven en el cultivo aún con el uso continuo de plaguicidas.

HORMOLIGOSIS

Otra influencia posible de los compuestos químicos sobre las poblaciones de plagas es la *hormoligosis*. Este término se aplica cuando dosis subletales de plaguicidas o altos niveles de fertilización del cultivo inducen tasas reproductivas más altas de la plaga, tiempos de desarrollo más cortos o un cambio a una reproducción temprana. La fecundidad del trips

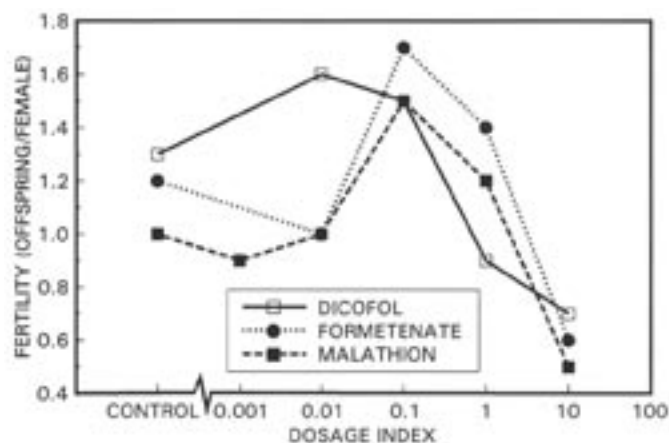


Figura 21-2. Fertilidad del trips de los cítricos *Scirtothrips citri* (Moulton), afectada por la dosis de tres plaguicidas. A dosis bajas, la fertilidad no fue diferente de la del testigo; a dosis altas, la fertilidad se redujo pero a dosis intermedias, la fertilidad fue significativamente mayor que en el testigo. (Según Morse y Zareh, 1991: *Journal of Economic Entomology* 84: 1169-1174; reimpresso Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

de los cítricos *Scirtothrips citri* (Moulton) aumentó significativamente cuando los trips fueron criados en hojas con residuos de dicofol de 21 días y con residuos de malathion de 32, 41 y 64 días (Morse y Zareh, 1991) (Figura 21-2). Lowery y Sears (1986) encontraron que el tratamiento de adultos del áfido verde del durazno *Myzus persicae* (Sulzer) con dosis subletales de azinfosmetil, aumentaron su fecundidad de 20-30%. Para algunos artrópodos chupadores como los tetraníquidos, los niveles altos de nitrógeno de la fertilización pueden causar tasas de sobrevivencia más altas, crecimiento más rápido y aumento en la fecundidad (van de Vrie y Boersma, 1970; Hamai y Huffaker, 1978; Wermelinger *et al.*, 1985).

RESURGENCIA DE LA PLAGA

Un rápido retorno de las plagas a niveles dañinos a veces resulta por el uso rutinario de plaguicidas de amplio espectro. Este fenómeno se llama *resurgencia de la plaga* y ocurre porque los enemigos naturales a menudo son más sensibles a los plaguicidas que las plagas a las que atacan (Croft, 1990). Esto puede ser debido a menores niveles de enzimas detoxificadoras o a una mayor tasa de superficie corporal en relación con la masa (que conduce a una mayor absorción relativa de residuos por unidad de peso corporal). Si los parasitoides y depredadores que normalmente atacan una plaga son destruidos, las plagas que sobrevivan a la aplicación de plaguicidas como consecuencia vivirán más tiempo y tendrán más descendencia. Esto conduce a que las cantidades de plaga lleguen rápidamente a niveles altos. La resurgencia de las plagas ha sido observada en diversos cultivos y en muchos tipos de plagas (Gerson y Cohen, 1989; Buschman y DePew, 1990; Talhouk,

1991; Holt *et al.*, 1992). Uno de los ejemplos más diseminados y dramáticos ha sido el de *Nilaparvata lugens* (Stål), un saltahoja que se encuentra en arroz cultivado en Asia (Figura 21-3) (Heinrichs *et al.*, 1982).

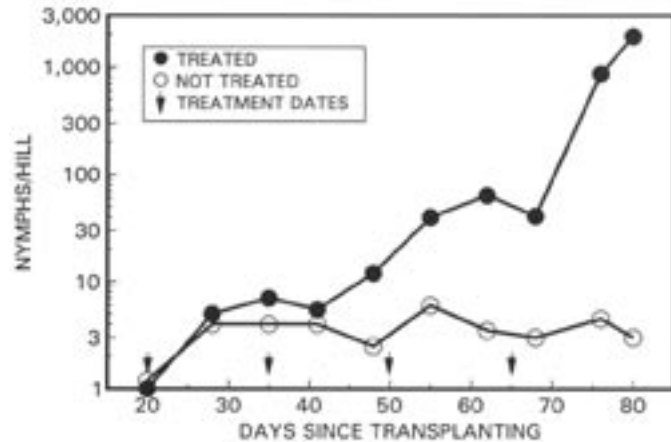


Figura 21-3. Resurgencia del saltahoja café del arroz, *Nilaparvata lugens* (Stål), en campos de arroz tratados con insecticidas, en comparación con campos sin tratamiento. (Según Heinrichs *et al.*, 1982: *Environmental Entomology* 11: 78-84; reimpresso de Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

EXPLOSIÓN DE POBLACIONES DE PLAGAS SECUNDARIAS

Otro fenómeno asociado con el uso de insecticidas y acaricidas de amplio espectro es el rápido aumento de poblaciones de insectos y ácaros que normalmente no son plagas. Estas situaciones ocurren porque los plaguicidas destruyen a los enemigos naturales que suprimen a estas especies a bajas densidades (Figura 21-4). Este fenómeno es llamado *explosión de la población de plagas secundarias*. Los tetraníquidos, escamas y minadores de hojas son ejemplos de dichas plagas secundarias o creadas por los plaguicidas (Luck y Dahlsten, 1975; Van Driesche y Taub, 1983; DeBach y Rosen, 1991). Las explosiones de población de las plagas secundarias difieren de la resurgencia, en que las aplicaciones de plaguicidas causantes no son dirigidas a la plaga secundaria sino a una plaga primaria del cultivo. Desde la perspectiva del agricultor, aparecen en el cultivo nuevas especies de plagas que antes no eran importantes. El sistema de cultivo denominado Manejo Integrado de Plagas (MIP), tiene que ser aumentado entonces para incluir controles para las nuevas plagas. El tratamiento de plantas ornamentales para reducir larvas de lepidópteros o áfidos, por ejemplo, a menudo es seguido por el aumento de tetraníquidos.

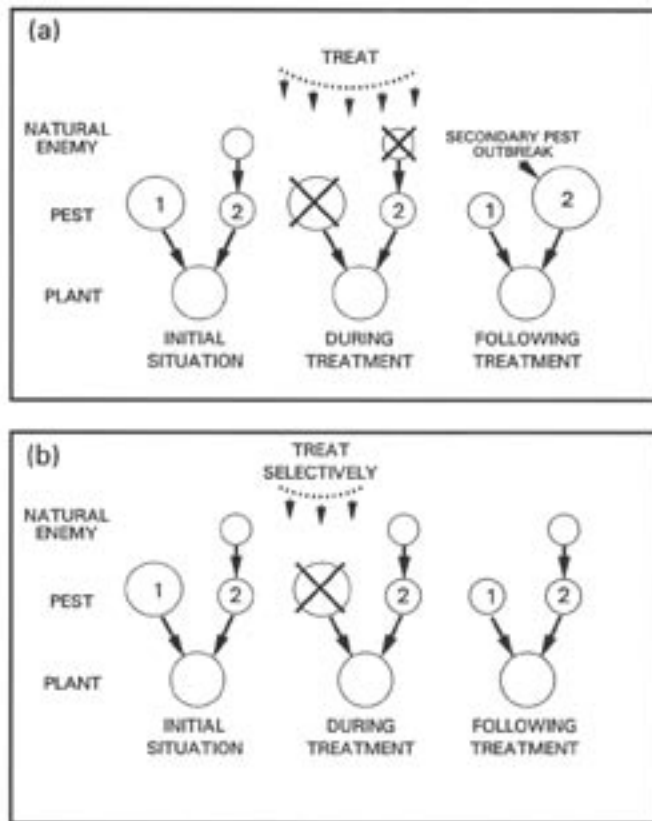


Figura 21-4. Diagrama conceptual de la explosión de población de una plaga secundaria. En (a) un plaguicida general afecta a la plaga (especie 1) y también al enemigo natural que limita a la especie 2. Después del tratamiento, el crecimiento de la población de la especie 2 llega a nivel de plaga, en ausencia de sus enemigos naturales. En (b) un plaguicida selectivo afecta solamente a la plaga a controlar, resultando una situación donde el control natural de la especie 2 no es perturbado y no hay explosión de población de la plaga secundaria. (Reimpreso de Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

VIDA SILVESTRE MUERTA Y RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN ALIMENTOS

Aunque los problemas causados por los plaguicidas no son el propósito de este libro, es importante recalcar su severidad porque históricamente han sido y todavía siguen siendo, una de las principales razones por las que la sociedad cambió a controles alternativos de plagas como el control biológico.

ENVENENAMIENTO DE LA VIDA SILVESTRE

Desde 1945 hasta cerca de 1980, el envenenamiento de la vida silvestre por plaguicidas en los Estados Unidos y muchos otros países fue comentan frecuente como para convertirse

en un problema ambiental que resultó en cambios en las leyes de los plaguicidas (ver p. ej., Hardy *et al.*, 1986). Algunos envenenamientos ocurrieron cerca del sitio de aplicación e incluyeron (1) muertes de aves por la ingestión de semillas tratadas con mercurio o con dieldrín (Hardy *et al.*, 1986), (2) muertes de peces por la deriva y la corriente de ríos o estanques adyacentes a las áreas tratadas (Trotter *et al.*, 1991) y (3) muerte secundaria debido al uso de materiales como el fluoroacetato de sodio, usado para matar vertebrados plaga. Otras muertes de vida silvestre ocurrieron en una forma más difusa, tal como la disminución de los niveles de la enzima acetilcolinesterasa (necesaria para las funciones normales de los nervios) en aves canoras, en bosques tratados con plaguicidas carbámicos u organofosforados (Mineau, 1991). Las aves con niveles enzimáticos disminuidos no murieron en masa, sino que perecieron, diseminadas en el paisaje, por causa de su inhabilidad para alimentarse apropiadamente debida a la pérdida de funciones nerviosas.

Otras poblaciones de vida silvestre declinaron por los residuos de plaguicidas ampliamente diseminados que interfirieron en la fisiología reproductiva o porque produjeron anomalías sexuales o en el desarrollo. El adelgazamiento de los cascarones de huevos en aves rapaces y en otros grupos de aves, por ejemplo, causaron que algunas especies desaparecieran de grandes áreas (Burger *et al.*, 1995). El Tributyltin usado en las pinturas para las embarcaciones causó la feminización en moluscos marinos (Horiguchi *et al.*, 2004). En los 1990s ocurrieron deformidades de extremidades y disminución de poblaciones de muchos anfibios en muchas áreas por razones inciertas aunque se cree que estas razones incluyen efectos de los residuos de plaguicidas (Ankley *et al.*, 1998).

RESIDUOS EN ALIMENTOS Y EN EL MEDIO AMBIENTE

Pequeñas cantidades de algunos plaguicidas rutinariamente se trasladaron desde las áreas tratadas hacia el suelo, agua, aves y animales silvestres. Estos residuos pueden acumularse si persisten. La presencia ampliamente diseminada del DDT en la grasa humana, peces silvestres y en otras fuentes (Reimold y Shealy, 1976; Jaga y Dharmani, 2003) y la ocurrencia de los herbicidas triazinas (como la atrazina) en los ríos y el agua del subsuelo en las áreas productoras de maíz (Pfeuffer y Rand, 2004), son buenos ejemplos. Las consecuencias de los residuos de plaguicidas en el medio ambiente varían desde ninguna hasta consecuencias serias.

Los residuos de plaguicidas en alimentos y agua para beber no están prohibidos por las leyes que gobiernan el uso de plaguicidas pero la contaminación no debe exceder los límites legales. El debate social sobre si cualquier nivel de plaguicidas es aceptable en los alimentos ha sido un factor que contribuye al aumento de popularidad de los alimentos orgánicos, los cuales son producidos sin usar la mayoría de los plaguicidas.

Un debate actual en relación a los residuos de plaguicidas es si los niveles de partes por billón (ahora posibles de detectar y rastrear, debido a las mejoras en la química analítica) de algunos compuestos son inocuos, como tradicionalmente se había creído. Algunos plaguicidas se asemejan a las hormonas de los vertebrados, por lo que el temor es que estos residuos puedan interferir con la función hormonal, conduciendo a anomalías sexuales y del desarrollo (Bustos-Obregon, 2001; Palanza y vom Saal, 2002).

ENFERMEDADES DE LOS APLICADORES

En los 1970s, para limpiar residuos ambientales de hidrocarburoclorinados, otros grupos de insecticidas (organofosforados y carbamatos) sustituyeron a materiales como el DDT. Sin embargo, muchas de estas nuevas toxinas nerviosas realmente eran mucho más tóxicas para la gente que los clorinados a los que remplazaron. El uso de estos materiales, especialmente por aplicadores poco entrenados, resultó en el envenenamiento de muchas personas (Graham, 1970; Metcalf, 1980; Dempster, 1987; Newton, 1988). El envenenamiento accidental y la contaminación fueron especialmente posibles cuando los agricultores no entendían la toxicidad de los materiales que estaban usando, cuando no podían leer las instrucciones del producto o porque no tenían o no usaban el equipo protector necesario. La legislación promulgada en los Estados Unidos durante los 1970s que requería el entrenamiento de seguridad de los aplicadores de plaguicidas, redujo significativamente la frecuencia de accidentes y del mal uso de los plaguicidas. Sin embargo, el entrenamiento del aplicador y el equipo protector no están disponibles consistentemente en todos los países. Un agricultor que no puede leer no puede beneficiarse de la información de seguridad que está en la etiqueta del producto. Un agricultor pobre no puede comprar dispositivos protectores como las mascarillas o ropa especial para la aplicación de plaguicidas. Aunque las historias personales son sólo eso, el autor principal recuerda a los agricultores de papa andinos descalzos, con los brazos descubiertos, aplicando Temik concentrado manualmente en los hoyos preparados para plantar papas, lo cual permanece como un vívido recuerdo personal de que los plaguicidas tienen riesgos reales para la gente en muchas partes del mundo. Los problemas de plaguicidas han disminuido claramente en Estados Unidos en los últimos 40 años pero no en el mismo a nivel mundial. Más bien, los plaguicidas ahora son de uso común en muchos países donde eran desconocidos hace 40 años.

CASOS EN LOS QUE LOS PLAGUICIDAS SON LA MEJOR HERRAMIENTA

A pesar de las deficiencias de los plaguicidas indicadas anteriormente, hay circunstancias en las que son claramente superiores a otras formas de control de plagas, como por ejemplo, para controlar vectores de enfermedades humanas o animales como la malaria, la enfermedad de Lyme, la peste bubónica y el tifo. El control biológico puede jugar un papel en el manejo de algunos de estos problemas (como en el control de larvas de mosquitos) pero a menudo el manejo de estos programas se basa en el uso de plaguicidas. Otros usos críticos de los plaguicidas incluyen la erradicación de plagas invasoras, cuando son detectadas pronto. Se han usado plaguicidas, por ejemplo, para erradicar la mosca de la fruta del Mediterráneo *Ceratitis capitata* (Wiedemann) y el alga marina *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh en California, EU, y juegan un papel en la contención/erradicación del barrenador asiático *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) en Nueva York y Chicago (EU), matando a los escarabajos antes de que escapen a los bosques naturales. El alto impacto y el rápido efecto de los plaguicidas, junto con la posibilidad de ser aplicados con precisión, los hace la herramienta adecuada en los esfuerzos de erradicación.

En los cultivos, algunas clases de plagas establecidas también son mejor manejadas con plaguicidas. Entre ellas están las plagas con niveles de daño permitido extremadamente bajo

(p. ej., plagas de las frutas), plagas que son vectoras de enfermedades de los cultivos y las plagas para las que las opciones del control biológico no son efectivas. Finalmente, los plaguicidas comúnmente proporcionan respaldo a los controles biológico y cultural, los que a veces pueden fallar o ser insuficientes.

¿CÓMO AFECTAN LOS PLAGUICIDAS A LOS ENEMIGOS NATURALES?

Los insecticidas pueden reducir la efectividad de los enemigos naturales de los artrópodos, causando mortalidad o influyendo en su movimiento, búsqueda o en la tasa reproductiva (Jepson, 1989; Waage, 1989; Croft, 1990).

MORTALIDAD DIRECTA

Muchos plaguicidas son tóxicos directamente para los enemigos naturales importantes de los artrópodos plaga (Bartlett 1963, 1964b, 1966; Bellows y Morse, 1993; Bellows *et al.*, 1985, 1992a; Morse y Bellows, 1986; Morse *et al.*, 1987). Algunos plaguicidas pueden ser tóxicos para especies no sugeridas por la categoría del producto. Un repelente de aves puede ser insecticida. Un fungicida puede matar artrópodos (p. ej., el azufre daña a los ácaros fitoseidos) o afectar su reproducción o su movimiento (los fungicidas ditiocarbámicos que reducen la tasa de reproducción de los fitoseidos). Los herbicidas pueden matar a los nemátodos benéficos aplicados para el control de insectos (ver Forschler *et al.*, 1990). Por tanto, es importante asumir que, hasta que estén disponibles los datos que demuestren lo contrario, cualquier plaguicida de cualquier tipo podría afectar a un enemigo natural (Hassan, 1989). Aún materiales que a menudo se piensa que no son tóxicos, como los jabones o los aceites, que pueden ser seguros para los humanos, pueden ser dañinos para los enemigos naturales o causar daño ambiental. Los aceites, por ejemplo, cuando son aplicados contra escamas, es posible que reduzcan la emergencia de los parasitoides de las escamas así como causar mortalidad a las escamas (Meyer y Nalepa, 1991).

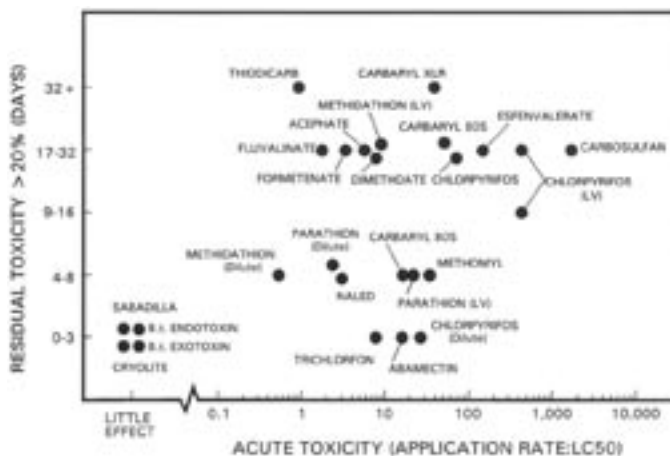


Figura 21-5. Toxicidad para *Aphytis melinus* (DeBach) de los plaguicidas usados en la citricultura. El eje horizontal es la toxicidad inmediata (aguda) en las hojas de los residuos recientemente depositados y el eje vertical es la longitud de la toxicidad residual. Notar el amplio rango de la toxicidad aguda y de la longitud de la acción residual. (Según Bellows y Morse, 1993: *The Canadian Entomologist* 125: 987-994; reimpresso de Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

Los jabones o los aceites, que pueden ser seguros para los humanos, pueden ser dañinos para los enemigos naturales o causar daño ambiental. Los aceites, por ejemplo, cuando son aplicados contra escamas, es posible que reduzcan la emergencia de los parasitoides de las escamas así como causar mortalidad a las escamas (Meyer y Nalepa, 1991).

El grado de mortalidad causada por un plaguicida a la población de un enemigo natural dependerá de factores fisiológicos y ecológicos. La selectividad fisiológica implica una toxicidad intrínseca diferencial del compuesto en la plaga y en el enemigo natural. Los compuestos químicos varían significativamente en su toxicidad inherente a una especie dada (Figura 21-5) (Jones *et al.*, 1983; Smith y Papacek, 1991). Algunos materiales que son efectivos

contra plagas pero relativamente inocuos para los enemigos naturales artrópodos han sido descubiertos (ver www.koppert.com y consultar la “Side Effects List” para los ejemplos).

La selectividad ecológica resulta de cómo es formulado y aplicado un plaguicida. Cualquier factor que reduzca el contacto del enemigo natural con el plaguicida puede conferir selectividad ecológica. Los materiales que, por ejemplo, tienen residualidad corta después de la aplicación o que actúan solamente como venenos estomacales, pueden ser ecológicamente selectivos. Los materiales no selectivos pueden ser usados selectivamente si son aplicados en patrones espaciales o en épocas que limitan el contacto con los enemigos naturales.

DAÑO NO LETAL

Además de sufrir el aumento en la mortalidad, los enemigos naturales pueden llegar a ser menos efectivos, después del uso de plaguicidas, si las dosis subletales acortan su longevidad, disminuyen sus tasas de desarrollo, reducen la eficiencia de su búsqueda, son repelentes o disminuyen la reproducción. Algunos tipos de efectos indirectos pueden ser detectados en los ensayos de laboratorio (Croft 1990; Van Driesche *et al.*, 2006).

FECUNDIDAD REDUCIDA

Algunos plaguicidas no matan plagas pero disminuyen su reproducción (ver p. ej., Van Driesche *et al.*, 2006). Hislop y Prokopy (1981) encontraron que el fungicida benomyl causó esterilidad completa a las hembras del ácaro depredador *Neoseiulus fallacis* (Garman) y predijeron que el uso del benomyl en huertos de manzanas causaría explosiones de población de los ácaros, lo cual sucedió. Los fungicidas metiltiofanato y carbendazim inhibieron la oviposición de *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Dong y Niu, 1988). Varios reguladores del crecimiento de insectos redujeron la fecundidad de coccinélidos o esterilizaron sus huevos (Hattingh y Tate, 1995, 1996).

REPELENCIA

Algunos materiales que no son tóxicos directamente para ciertos enemigos naturales pueden hacer repelentes las superficies tratadas o los hospederos, causando que los enemigos naturales se alejen. Los herbicidas diquat y paraquat, por ejemplo, hicieron que los suelos tratados en viñedos fueran repelentes al ácaro depredador *Typhlodromus pyri* (Scheuten) (Boller *et al.*, 1984). Hoddle *et al.* (2001b) encontraron que, entre varios reguladores del crecimiento de insectos, sus residuos secos formulados con destilados de petróleo fueron repelentes al parasitoide de moscas blancas *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich, mientras que los materiales formulados como polvos mojables no lo fueron.

ACUMULACIÓN DE DOSIS SUBLETALES

Además de lo anterior, los enemigos naturales también pueden sufrir daño por la acumulación de pequeñas cantidades de plaguicidas, hasta que se alcanza el umbral letal. Para encontrar a los sobrevivientes de una aplicación de plaguicidas, los enemigos

naturales pueden tener que buscar en más follaje, incrementando su exposición a los residuos de plaguicidas. La acumulación también puede ocurrir si los depredadores se alimentan de presas que han ingerido cantidades subletales de plaguicidas. Por ejemplo, *Rodolia cardinalis* (Mulsant) en cítricos, puede ser afectada si se alimenta de muchos individuos de la escama *Icerya purchasi* Maskell, cada uno de las cuales puede contener una pequeña cantidad de plaguicida (Grafton-Cardwell y Gu, 2003).

BÚSQUEDA DE SOLUCIONES: SELECTIVIDAD FISIOLÓGICA

Un enfoque para limitar el daño de los plaguicidas a los enemigos naturales, es usar solamente materiales que maten a la plaga y que sean relativamente inocuos para los enemigos naturales en cuestión. Si es factible, la sustitución de un plaguicida químico (ver Capítulo 24) por uno microbial, puede favorecer a los cultivos u otras sitios que sirven de habitat para depredadores o parasitoides. Por ejemplo, cuando las aplicaciones del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Saccardo) Petch reemplazaron los tratamientos con piretrinas para el control de moscas en gallineros, el número de moscas caseras adultas (*Musca domestica* L.) disminuyó y el de larvas se redujo a la mitad. Esta reducción al parecer resultó de mayores poblaciones de los escarabajos histéricos depredadores, que se incrementaron en 43-66% (dependiendo de su estado de vida) después que *B. bassiana* reemplazó a las piretrinas (Kaufman *et al.*, 2005).

Alternativamente, debe hacerse una búsqueda de los plaguicidas químicos convencionales más compatibles, empezando con un enfoque en materiales como los venenos estomacales (en lugar que los de contacto) o de reguladores del crecimiento de insectos. Más allá de dichos grupos, los plaguicidas más convencionales varían en su toxicidad para los enemigos naturales. Sin embargo, probar el efecto de los plaguicidas disponibles para un cultivo en particular en los enemigos naturales locales, aunque es valioso, comúnmente no se hace porque (1) el pequeño número de plaguicidas registrados para un cultivo específico puede evitar el éxito, (2) los datos generados carecen de amplia aplicación ya que el grupo de plaguicidas registrados varía por cultivo y país, y (3) los enemigos naturales de interés variarán por cultivo y país, y porque la toxicidad de un plaguicida hacia un enemigo natural no predice su toxicidad hacia otro (Bellows y Morse, 1993). Aún poblaciones del mismo enemigo natural, colectado en diferentes localidades, puede diferir en su susceptibilidad a un plaguicida (Rosenheim y Hoy, 1986; Rathman *et al.*, 1990; Havron *et al.*, 1991). Sólo la evaluación local de las principales combinaciones de enemigo natural-plaguicida en un cultivo, definirán los materiales que podrían ser usados con seguridad. Dicha evaluación fue efectuada, por ejemplo, para encontrar materiales que eliminaran al saltahojas café pero que no afectara a las arañas, en arroz de las Filipinas (Thang *et al.*, 1987). Los datos sobre los efectos de los plaguicidas en los enemigos naturales no son requeridos como parte del registro de plaguicidas, excepto en la Unión Europea.

La medida más común utilizada para expresar la susceptibilidad a un plaguicida es la *CL*₅₀, que es la concentración de la solución aplicada a una superficie tratada que mata la mitad de los organismos probados durante un período de tiempo (usualmente 24 o 48 h). La proporción de los valores de la *CL*₅₀ del enemigo natural y de la plaga, o la del enemigo natural y la tasa de aplicación recomendada para un plaguicida, es una medida comparativa útil

de la selectividad de un plaguicida (Morse y Bellows, 1986; Bellows y Morse, 1993). Algunos plaguicidas son altamente tóxicos a los enemigos naturales solamente poco después de la aplicación mientras que otros de toxicidad variable pueden ser extremadamente persistentes. Las pruebas con residuos a diferentes tiempos después de la aplicación, son necesarias para definir por cuanto tiempo un enemigo natural determinado estará en peligro por la aplicación de un plaguicida (Bellows *et al.* 1985; Morse *et al.*, 1987). La evaluación del desempeño del enemigo natural (su habilidad para encontrar y vencer a su presa con éxito o para localizar y ovipositar en sus hospederos) es un mejor indicador del efecto total de los residuos de plaguicidas que la mortalidad porque también incorpora los efectos subletales de los plaguicidas en los enemigos naturales.

Los métodos para evaluar la compatibilidad de los plaguicidas con los enemigos naturales van desde pruebas de laboratorio y de semi-campo hasta estudios de campo (ver Vogt, 1994). Los métodos de laboratorio incluyen el tratamiento de los enemigos naturales a través de la ingestión de plaguicidas o de materiales tratados con plaguicidas, la aplicación tópica y la colocación de enemigos naturales en superficies con residuos de plaguicidas. Los resultados de la prueba son útiles en las condiciones precisas seleccionadas para el ensayo (edad del insecto, sexo, tipo de cría, temperatura, humedad relativa y ventilación del ambiente donde se hizo la prueba, además de la formulación, pureza y dosis del material probado) (Croft, 1990). Las metodologías estándar han sido desarrolladas (Hassan, 1977, 1980, 1985, 1989; Hassan *et al.*, 1987; Morse y Bellows, 1986; Vogt, 1994). Algo esencial para todas las pruebas, es la comparación de la plaga y el enemigo natural bajo las mismas condiciones, para determinar si existen diferencias en la susceptibilidad.

Los métodos incluyen la técnica del portaobjetos mojado, en la cual pequeños organismos como los ácaros son fijados en una cinta adhesiva sobre un portaobjetos de vidrio y después se mojan en una solución de plaguicida. Para otras especies, los residuos de plaguicidas pueden ser presentados en frasquitos, o en cajas de Petri de vidrio, arena u hojas. Si son presentados en follaje, los materiales vegetales pueden ser rociados en el laboratorio o en campo, y después expuestos a insectos en jaulas de tamaño variable, ya sea una vez que la solución rociada se seque o después de un tiempo bajo condiciones de campo o condiciones de laboratorio estandarizadas. Las pruebas de campo involucran la evaluación del impacto en las poblaciones de enemigos naturales, cuando cultivos o parcelas completas son tratados con plaguicida. A menudo son necesarias parcelas grandes (con repeticiones al paso del tiempo) en las pruebas de campo porque los enemigos naturales se pueden movilizar entre las parcelas pequeñas, resultando en una pobre separación de los efectos del tratamiento (Brown, 1989; Smart *et al.*, 1989).

En general, los enemigos naturales son sensibles a los plaguicidas pero algunos grupos como las crisopas del género *Chrysoperla* (Neuroptera: Chrysopidae) son muy tolerantes a los plaguicidas (ver p. ej., Grafton-Cardwell y Hoy, 1985). Además, los ácaros y otros enemigos naturales pueden desarrollar resistencia a los plaguicidas a través de la selección en cultivos de campo que tengan una larga historia de aplicación de plaguicidas.

ENEMIGOS NATURALES RESISTENTES A PLAGUICIDAS

Las poblaciones de enemigos naturales resistentes a plaguicidas a veces han desarrollado dicha resistencia a través de selección natural, en cultivos regularmente asperjados como los manzanos. Poblaciones resistentes también pueden ser creadas artificialmente en laboratorio. Se han encontrado (o seleccionado) poblaciones resistentes a plaguicidas en varios ácaros depredadores: *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Croft, 1976; Hoy *et al.*, 1983), *P. persimilis* (Fournier *et al.*, 1988), *T. pyri* y *Amblyseius andersoni* (Chant) (Penman *et al.*, 1979, Genini y Baillod, 1987) y *Neoseiulus fallacis* (Garman) (Whalon *et al.*, 1982). Los parasitoides resistentes a plaguicidas incluyen al parasitoide de áfidos *Trioxys pallidus* Haliday (Hoy y Cave, 1989), al parasitoide de minadores de hojas *Diglyphus begini* (Ashmead) [Rathman *et al.*, 1990] y a algunos que atacan escamas, como *Aphytis holoxanthus* DeBach (Havron *et al.*, 1991) y *Aphytis melinus* DeBach (Rosenheim y Hoy, 1986).

Algunos enemigos naturales resistentes a plaguicidas han sido llevados a nuevas localidades para establecerlos donde se requieren aplicaciones regulares de plaguicidas. El establecimiento inicial de razas resistentes puede ser fomentado por la previa destrucción con plaguicidas de las poblaciones susceptibles de la misma especie (Hoy *et al.*, 1990). Generalmente, la persistencia por varios años de la raza resistente es necesaria para el uso efectivo en cultivos de exteriores. Esto ha sido logrado en algunos campos o en huertos comerciales donde se han hecho aplicaciones de plaguicidas (Hoy, 1982; Hoy *et al.*, 1983; Caccia *et al.*, 1985). La aplicación regular de plaguicidas es necesaria para evitar el entrecruzamiento de la raza resistente con los tipos silvestres susceptibles y para prevenir el desplazamiento de la población resistente (Downing y Moilliet, 1972). Las pruebas en el Reino Unido con una raza de *T. pyri* resistente a organofosforados, demostraron la sobrevivencia del depredador en las huertas tratadas con insecticidas organofosforados, a niveles suficientes para controlar a *Panonychus ulmi* (Koch) y a *Aculus schlechtendali* (Nalepa). En una huerta tratada con piretroides (un plaguicida al que esta raza no era resistente), la raza de *T. pyri* resistente fue escasa y no controló a los ácaros plaga (Solomon *et al.*, 1993).

Hay menos presión evolutiva contra las razas resistentes usadas en programas de control aumentativo en invernaderos porque típicamente no hay poblaciones susceptibles presentes con las que los agentes liberados pudiesen cruzarse, y los agentes resistentes pueden ser liberados de nuevo conforme se necesiten. Se ha encontrado que las razas resistentes de *P. persimilis* en cultivos de invernadero persisten durante la vida del cultivo (Fournier *et al.*, 1988). El nemátodo *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar ha sido seleccionado para resistir a los nematocidas comunes como la avermectina, permitiendo que sean usados cuando los cultivos deben ser tratados para el control de nemátodos fitoparásitos (Glazer *et al.*, 1997).

Los enemigos naturales usados en programas de control aumentativo también pueden ser modificados para otros atributos en los que se desee mejorar su desempeño (ver Capítulo 25). Por ejemplo, algunas razas de nemátodos han sido seleccionadas para aumentar su tolerancia al calor o a la desecación (Shapiro-Ilan *et al.*, 2005).

SELECTIVIDAD ECOLÓGICA: USO DE PLAGUICIDAS NO SELECTIVOS CON ASTUCIA

Si ningún plaguicida que sea compatible con enemigos naturales clave está disponible en un cierto cultivo, puede aun ser posible encontrar formas de hacer que los plaguicidas disponibles sean algo selectivos, cambiando la forma en que son formulados o aplicados. La selectividad ecológica se logra reduciendo el contacto entre el plaguicida y los enemigos naturales clave (Hull y Beers, 1985).

DOSIS REDUCIDAS

Disminuir las dosis puede hacer que un plaguicida sea menos dañino para los enemigos naturales (Poehling, 1989). Sin embargo, esto podría lograr menor control de la plaga ya que los enemigos naturales a menudo son más susceptibles a los plaguicidas que los herbívoros.

MATERIALES Y FORMULACIONES SELECTIVOS

La formulación afecta la exposición. Por ejemplo, las formulaciones granuladas aplicadas al suelo generalmente no están en contacto con los enemigos naturales que buscan alimento en el follaje (a menos que los materiales aplicados tengan actividad fumigante, ver más adelante) y por tanto, muchos enemigos naturales no son afectados por dichas formulaciones (Heimbach y Abel, 1991). Sin embargo, los materiales granulados están diseñados con el propósito de producir residuos del plaguicida en la parte superior del suelo y entonces el contacto del plaguicida puede ser extenso con los enemigos naturales que viven en el suelo, como los carábidos. Algunos materiales como el chlorpirifos, cuando son aplicados en gránulos en las huertas de cítricos para control de hormigas, tienen actividad fumigante y matan enemigos naturales en el follaje del árbol por su volatilización.

Los plaguicidas sistémicos se mueven internamente en las plantas tratadas y no dejan residuos externos. Tales materiales no dañan a los enemigos naturales porque éstos no consumen savia de las plantas (Bellows *et al.*, 1988). Los venenos estomacales matan solamente si son ingeridos y es menos posible que afecten enemigos naturales que los plaguicidas que matan por contacto (Bartlett, 1966). Los venenos estomacales incluyen a las toxinas de *B. thuringiensis*, algunos alcaloides vegetales (Bellows *et al.*, 1985; Bellows y Morse, 1993) y compuestos minerales como la criolita (Bellows y Morse, 1993).

LIMITACIÓN DE LAS ÁREAS TRATADAS

La cobertura reducida o la colocación selectiva de plaguicidas puede proteger a los enemigos naturales. El tratamiento en surcos alternos en huertos de manzanas, en lugar de bloques enteros, controla a las plagas que se mueven en la huerta, y aun así permite mayor sobrevivencia de coccinélidos, como el depredador de ácaros *Stethorus punctum* (LeConte) (Hull *et al.*, 1983). DeBach (1958) controló con éxito a la escama púrpura *Lepidosaphes beckii* (Newman) en cítricos, aplicando aceite cada tercer surco en un ciclo de

seis meses. Este enfoque logró un control satisfactorio de esta especie sin destruir a los enemigos naturales de otras plagas de cítricos. Velu y Kumaraswami (1990) encontraron que el tratamiento de surcos alternos en algodón logró el control efectivo de plagas y que con algunos de los productos probados aumentaron los niveles de parasitismo de plagas clave. En contraste, Carter (1987) encontró que la aspersión en franjas en cultivos de cereales del Reino Unido no logró un control satisfactorio de áfidos, cuando las franjas fueron de 12 m de ancho ya que los enemigos naturales no colonizaron las franjas asperjadas lo suficientemente rápido como para suprimir la resurgencia de los áfidos.

LIMITACIÓN DE APLICACIONES EN EL TIEMPO

En principio, las aplicaciones cuidadosas de duración limitada de plaguicidas no persistentes podrían no afectar a los enemigos naturales. Aunque algunos adultos pudiesen morir, estos serían reemplazados por la emergencia de otros de las pupas, momias u otros estados protegidos, una vez se hayan disipado los residuos tóxicos. La persistencia de los plaguicidas varía mucho. Materiales como diazinón o azinphosmethyl dejan residuos tóxicos en el follaje por varias semanas. Otros materiales como los piretroides se degradan en horas o en días. El momento de aplicación puede manipularse (1) reduciendo la frecuencia de aplicación para que el follaje del cultivo no siempre sea tóxico para los enemigos naturales o (2) programando las aplicaciones específicamente para evitar períodos cuando los enemigos naturales estén en estados vulnerables. Gage y Haynes (1975), por ejemplo, usaron modelos basados en la temperatura de desarrollo de los insectos para programar las aplicaciones de plaguicidas, contra el escarabajo de la hoja de los cereales *Oulema melanopus* (L.), asperjando después de la emergencia de los escarabajos y antes de la del parasitoide *Tetrastichus julis* (Walker). El sistema conservó a este importante parasitoide; el enfoque previo de dirigir las aplicaciones de plaguicidas a la primera generación de larvas (el estado atacado por el parasitoide) de la plaga, no conservaba al parasitoide.

REDISEÑO DEL SISTEMA

La forma más completa de reducir el daño por plaguicidas, es eliminar el uso de materiales de amplio espectro, sustituyéndolos por métodos alternativos de control de plagas como las trampas, la disrupción del apareamiento con feromonas o los controles culturales. El reemplazo de las aspersiones de amplio espectro para el control de la polilla de la manzana *Cydia pomonella* en huertos de peras (*Pyrus communis* L.) en Oregon (EU), con la disrupción del apareamiento a través del uso de feromonas, elevó la densidad de los hemípteros depredadores *Deraeocoris brevis piceatus* Knight y de las crisopas *Chrysoperla carnea* (Stephens), y disminuyó la densidad de plagas secundarias clave como el psílido de la pera *Psylla pyricola* Förster en 84%. La proporción de fruta contaminada con mielecilla del psílido cayó del 9.7% al 1.5% (Westigard y Moffitt, 1984).

CULTIVOS TRANSGÉNICOS Bt: LO MÁXIMO EN PLAGUICIDAS ECOLÓGICAMENTE SELECTIVOS

Los cultivos transgénicos que expresan toxinas Bt, son lo máximo en plaguicidas selectivos. Su uso ha incrementado dramáticamente la conservación de los enemigos naturales en cultivos clave (algodón, maíz, soya). El uso práctico de cultivos Bt fue posible al basarse en la transferencia de ADN y en su expresión tecnológica desarrollada en los 1990s. El descubrimiento de genes promotores adecuados que estimulan altos niveles de expresión de los genes transferidos fue un desarrollo clave. Esto permitió la creación de cultivos que produjeron niveles suficientemente altos de toxinas Bt en tejidos seleccionados para controlar plagas clave (Shelton *et al.*, 2002).

Existen muchas toxinas Bt, las cuales varían en relación a la especie exacta de plaga para la que son letales. Por ejemplo, el algodón que contiene la proteína Cry1Ac (Bollgard®), el cual ha sido cultivado en los Estados Unidos desde 1996, logra el control de los lepidópteros plaga *Heliothis virescens* (F.), *Pectinophora gossypiella* (Saunders) y *Helicoverpa zea* (Boddie) (Moar *et al.*, 2003). La erradicación previa (por tratamientos con plaguicidas en áreas amplias y por trampas que atraen y matan) del picudo del algodón *Anthonomus grandis grandis* Boheman, significó que el algodón Bt no tenía plagas de la bellota sin controlar. El algodón Bt puede producirse con significativamente menos aplicaciones de plaguicidas que el convencional. En los Estados Unidos, Williams (1999) estimó que (en seis estados, comparando 1995 como el año pre-Bt con 1998) el número de aplicaciones de plaguicidas se redujo de un promedio de 4.8 a 1.9, una disminución del 60%. Similarmente, en China se estimó que el algodón Bt ha reducido el uso de plaguicidas en el cultivo en 60-80% (Xia *et al.*, 1999). En maíz dulce Bt, las reducciones de plaguicidas del 75-100% son posibles (Dively y Rose, 2003). Esta reducción en insecticidas mejoró dramáticamente el habitat del cultivo para los enemigos naturales.

La adopción de los cultivos Bt por los agricultores varía con la región, con mayor adopción en los Estados Unidos, Canadá, China y Argentina. En el algodón de los EU, las variedades Bt abarcan hasta el 80% de la producción de la región. El área global de cultivos Bt aumentó más de 25 veces entre 1996 y 2000, alcanzando 44.2 millones de hectáreas, lo que representó una tasa muy rápida de crecimiento en superficie (James, 2002).

Los cultivos Bt están reduciendo el uso de plaguicidas a una escala que sobrepasa todos los otros esfuerzos del MIP para alejar la producción de cultivos de los plaguicidas. Aunque los estudios que rastrean residuos de Bt en los insectos han demostrado que las toxinas Bt pueden ser adquiridas por enemigos naturales, como en los depredadores que a veces se alimentan en plantas, tales residuos son pequeños y poco frecuentes (Torres *et al.*, 2006). Los estudios de campo que comparan el mismo cultivo manejado con plaguicidas convencionales muestran que los enemigos naturales de todos los grupos aumentan o permanecen igual en cultivos Bt (Dively y Rose, 2003; Moar *et al.*, 2003; Naranjo y Ellsworth, 2003; Naranjo, 2005; Naranjo *et al.*, 2005; Head *et al.*, 2005). Los únicos grupos de enemigos naturales que disminuyeron son los especializados en atacar a la plaga clave (Venditti y Steffey, 2003), lo cual es solamente un efecto colateral del control de la plaga. Además, los estudios han demostrado que las toxinas Bt no persisten ni se acumulan en el suelo donde son plantados los cultivos Bt, durante los años siguientes (Dubelman *et al.*, 2005).

Los cultivos Bt son un desarrollo extremadamente positivo que promueve la conservación de los enemigos naturales en los cultivos. Si se desarrolla resistencia, genes Bt alternativos o combinaciones de genes parecen ofrecer métodos para reimponer el control. La prevención del desarrollo de la resistencia se está intentando mediante el mantenimiento de bloques de cultivo sin Bt cerca al cultivo Bt, de tal manera que estos sirvan como fuentes de plagas susceptibles que inundan y se aparean con individuos que comienzan a mostrar resistencia en los bloques Bt. Un subproducto de la reducción del uso de plaguicidas convencionales en cultivos Bt ha sido que algunas plagas secundarias, como el escarabajo pulga del algodón *Pseudatomoscelis seriatus* (Reuter), ha incrementado su importancia. Sin embargo, estas especies son de menor importancia comparadas con las plagas clave del cultivo.

CAPÍTULO 22: REFORZAR CULTIVOS COMO AMBIENTES PARA LOS ENEMIGOS NATURALES

Los agricultores manejan sus cultivos de campo para una producción eficiente, usualmente con poca consideración de las necesidades de las especies que atacan a las plagas. Los cultivos de campo pueden, por tanto, ser ambientes desfavorables para algunos enemigos naturales. *El control biológico por conservación* es el esfuerzo para mejorar dicha situación, haciendo más hospitalarios a los cultivos para los parasitoides y depredadores (Barbosa, 1998; Pickett y Bugg, 1998; Gurr *et al.*, 2004), dondequiera que esto pueda hacerse sin pérdida en la productividad. Los practicantes del control biológico por conservación buscan formas de alterar los sistemas de cultivo que restablezcan las condiciones necesarias para los enemigos naturales. Para el uso exitoso de este enfoque, varios aspectos deben ser ciertos: (1) la carencia de algunos atributos clave en el ambiente del cultivo debe contribuir sustancialmente al problema de plagas, (2) la restauración de los atributos faltantes debe ser posible sin comprometer la producción, y (3) el costo de la restauración de los atributos no debe ser mayor que otras formas de control de plagas disponibles para los productores.

En este capítulo se enfoca la discusión del control biológico por conservación alrededor de cinco características inadecuadas que los cultivos podrían tener para los enemigos naturales: (1) la especie o variedad del cultivo puede ser un sustrato pobre para los enemigos naturales porque física o químicamente les impide la búsqueda o inhibe su desarrollo normal, (2) el ambiente físico en el cultivo de campo puede ser demasiado difícil, (3) las fuentes clave para la nutrición de los enemigos naturales pueden estar ausentes, (4) las oportunidades para la reproducción de los enemigos naturales pueden ser entorpecidas por la ausencia de hospederos o presas, y (5) la diversidad, la conexión o los refugios necesarios que necesitan los enemigos naturales para colonizar cultivos recién plantados, pueden ser inadecuados. Se discuten las soluciones potenciales de cada uno de estos problemas. También se discuten algunas prácticas agrícolas adicionales como la destrucción de residuos de cosechas que afectan las poblaciones de los enemigos naturales.

PROBLEMA #1: VARIEDADES DESFAVORABLES DEL CULTIVO

Es en las plantas cultivadas donde muchos enemigos naturales pasan una parte significativa de su tiempo y donde deben encontrar a sus hospederos o presas. Las especies o variedades del cultivo difieren en muchas formas que pueden afectar a los enemigos naturales, incluyendo la naturaleza exacta de la superficie física de la planta (como el espacio para búsqueda o refu-

gio), la química de los tejidos de la planta en términos de toxinas que pueden alcanzar a los enemigos naturales a través del herbívoro plaga y la presencia o ausencia de nectarios u otras fuentes de nutrientes útiles para los enemigos naturales (ver Ode, 2006 para una revisión). Adicionalmente, la química de la planta, como interactúa con la herbivoría de la plaga, puede ser significativa en determinar si las plantas infestadas emiten olores que puedan atraer enemigos naturales que están buscando desde cierta distancia.

Los fitomejoradores podrían evitar producir plantas desfavorables si entendiesen como las características del cultivo influyen en los enemigos naturales, especialmente cuando la pérdida de características positivas es simplemente un accidente y no lo planeado en el programa de mejoramiento. Más activamente, a veces podría ser posible hacer plantas más favorables para los enemigos naturales clave, reforzando la producción de sustancias volátiles atractivas o la producción de néctar o de otros recursos necesarios para los enemigos naturales (Vinson, 1999; Bottrell y Barbosa, 1998; Cortesero *et al.*, 2000). La creación de variedades favorables para los enemigos naturales y su uso subsecuente por los agricultores, mejoraría el cultivo como habitat para los enemigos naturales. Más adelante se discute esta meta, explicando el razonamiento de cuáles características del cultivo son perjudiciales para los enemigos naturales – en contraste con las características que un cultivo favorable debiese tener.

SUPERFICIES DEL CULTIVO DESFAVORABLES

La superficie de la planta es el lugar donde los enemigos naturales deben buscar. Varias características de la superficie podrían afectar a los enemigos naturales, incluyendo los tipos y densidad de los tricomas (y los exudados químicos asociados) (Simmons y Gurr, 2005), y la presencia de cera. Por ejemplo, la alta densidad de tricomas en los pepinos disminuyó el parasitismo de moscas blancas por *Encarsia formosa* Gahan, al reducir la velocidad de las hembras que buscaban sobre las hojas (Hua *et al.*, 1987). Similarmente, altas densidades de dos tipos de tricomas en tomates aumentó la tasa de enredo de las larvas de las crisopas (Simmons y Gurr, 2004) y de los parasitoides (**Figura 22-1**).

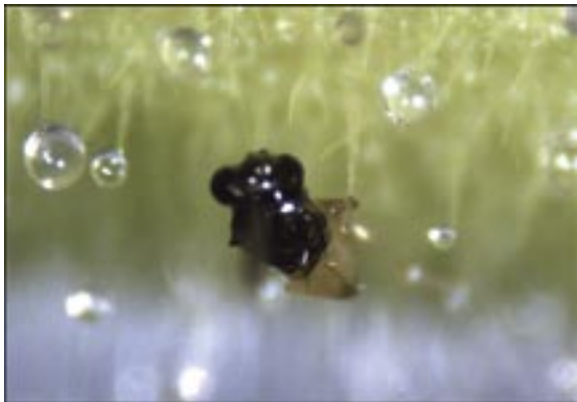


Figura 22-1. La arquitectura de la superficie de las hojas afecta fuertemente a los parasitoides pequeños. Aquí, el parasitoide *Encarsia luteola* Howard quedó atrapado y murió por los exudados pegajosos de los tricomas (ver las gotitas). (Fotografía cortesía de David Headrick.)

La interacción entre enemigos naturales y características de las hojas como los tricomas varía con el tipo de enemigos naturales y sus necesidades. Los ácaros fitoseidos *Typhlodromus pyri* Scheuten y *Amblyseius aberrans* (Oudemans), liberados en viñedos italianos con distintas variedades de uvas, llegaron a ser más abundantes en variedades con el envés de la hoja peludo que en las de superficies sin pelos, presumiblemente porque los pelos de las hojas crearon una capa de aire con mayor humedad (Duso, 1992).

Aún para las combinaciones plaga-enemigo natural en las que los tricomas (particularmente los que tienen exudados pegajosos) sean dañinos, este efecto puede ser menos severo en el campo que en pruebas de laboratorio (Obrycki y Tauber, 1984), por varias razones. En primer

lugar, algunas especies de enemigos naturales serán especies con cuerpos más grandes que serán menos afectadas por los tricomas pegajosos. En segundo lugar, los exudados en los tricomas pueden ser removidos o ser menos efectivos en el campo, debido a la lluvia o al polvo. Por tanto, debe procederse con precaución al extrapolar los estudios de laboratorio al campo, basándose mejor en estudios de campo para verificar su importancia en la práctica.

Se ha demostrado que otra característica superficial, la capa de cera que se encuentra típicamente en las plantas de repollo, reduce la habilidad de algunos depredadores, como las larvas de la crisopa *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) para moverse eficientemente, al compararse con mutantes que carecen de la capa cerosa típica. Esta disminución en la movilidad del depredador redujo la tasa de depredación sobre neonatos de la polilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en el repollo normal, comparada con el repollo mutante lustroso (Eigenbrode *et al.*, 1999). Este tipo de efectos también operan a través de la especie vegetal. A menudo la búsqueda es menos efectiva en plantas cuyas hojas tienen pelos densos dirigidos hacia arriba o en forma de gancho (Shah, 1982) o en superficies glabras y resbalosas que causan que algunas mariquitas se caigan más frecuentemente (Grevstad y Klepetka, 1992).

Además de las características de la superficie del cultivo que dañan a los enemigos naturales, otras características proporcionan refugios que pueden aumentar la abundancia local de enemigos naturales. Los domacios para ácaros son mechones de tricomas no glandulares o estructuras como hoyos, localizadas en las uniones de las nervaduras principales de las hojas de las vides y de otras plantas (**Figura 22-2**). Los ácaros fitoseidos entran a esas áreas y permanecen en ellas, poniendo más huevos en las hojas con domacios naturales que

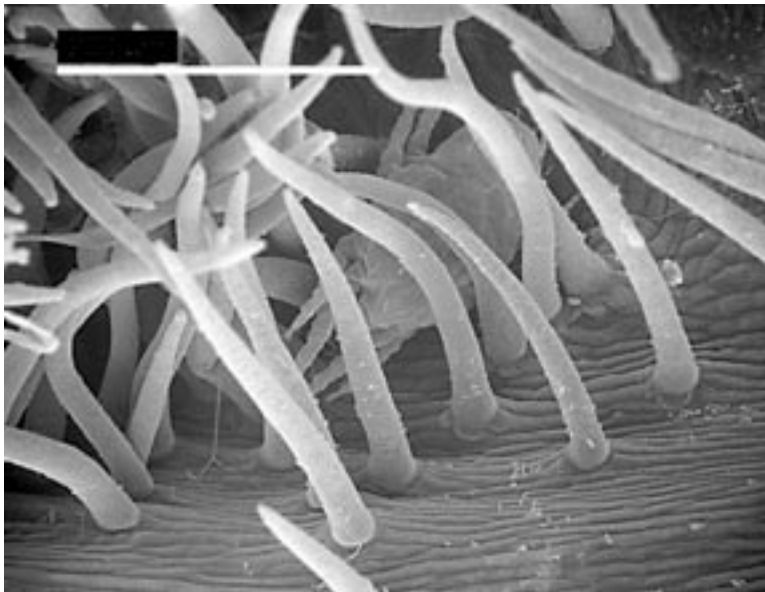


Figura 22-2. Las densidades de ácaros fitoseidos son más altas en plantas cuya estructura foliar incluye **domacios**. Éstos son hoyos o bolsitas, a menudo encerrados por tricomas, que les dan protección y mayor humedad relativa. Aquí se ve un fitoseido en un domacio. (Fotografía cortesía de Andrew Norton.)

en hojas con domacios sellados artificialmente. Las plantas con más domacios o con domacios más grandes, presentaron un mayor número de ácaros fitoseidos por unidad de área (Walter y O'Dowd, 1992; English-Loeb *et al.*, 2002). Más depredadores en las hojas con domacios pueden traducirse en densidades menores de herbívoros (Agrawal *et al.*, 2000) pero esto no siempre es el caso (Agrawal, 1997).

TEJIDOS TÓXICOS

La química de los tejidos de una planta puede afectar ampliamente la disponibilidad de herbívoros como hospederos para los parasitoides. Un ejemplo extremo es la escama roja de California *Aonidiella aurantii* (Maskell) en el chamal *Cycas revoluta* Thunb., en comparación con los cítricos. Ambas plantas son adecuadas para la escama pero, en el chamal, la escama es completamente inadecuada para el parasitoide *Habrolepis rouxi* Compere, con experiencias del 100% de mortalidad de sus estados inmaduros, comparado con 3-17% cuando se crían en cítricos en la misma escama (Smith, 1957). En tomates, el compuesto secundario alfa-tomatina que tiene la planta, inhibe al hongo entomopatógeno *Nomuraea rileyi* (Farlow) Sampson (Gallardo *et al.*, 1990). El mismo compuesto también reduce la tasa de emergencia del adulto del icneumonido parasitoide *Hyposoter exiguae* (Viereck) que ataca larvas de *Heliothis zea* (Boddie). La intensidad de este efecto está determinada por la proporción de la alfa-tomatina con los esteroides totales, los cuales tienen un efecto protector. Esta proporción varía 5 veces entre las variedades de tomate (Campbell y Duffey, 1981), sugiriendo que tales variedades diferirán significativamente en la compatibilidad con este parasitoide.

CARENCIA DE ATRAYENTES VOLÁTILES

Los parasitoides comúnmente localizan hospederos desde cierta distancia por detección y se mueven hacia la mezcla de compuestos volátiles que emanan de plantas afectadas por la alimentación de herbívoros específicos (ver Capítulo 3). Por ejemplo, *Cotesia marginiventris* (Cresson), un braconido parasitoide de varios lepidópteros plaga, encuentra a sus hospederos volando hacia los olores del complejo planta-hospedero asociado con la alimentación larval reciente (Turlings *et al.*, 1991). Las plagas en el cultivo no podrían ser descubiertas por sus parasitoides en nuevas variedades si ya no emitieran sus compuestos atrayentes característicos. Aunque las oportunidades de mejorar la atracción química de los cultivos pueden ser pocas, estas relaciones tienen que ser consideradas en el mejoramiento de plantas para que las nuevas variedades no pierdan su habilidad de atraer parasitoides.

CULTIVOS SIN NÉCTAR

Los parasitoides se alimentan del néctar de las plantas, en sus glándulas florales o extraflorales. Las variedades de cultivos con nectarios retienen a los parasitoides más eficientemente que las que carecen de ellos (Stapel *et al.*, 1997). Por tanto, el crear variedades sin nectarios, tal como a veces se ha sugerido como un método para suprimir plagas (que también se alimentan de néctar), hace a los cultivos menos adecuados como habitats para los parasitoides.

SOLUCIÓN #1: CREAR CULTIVOS AMIGABLES PARA LOS ENEMIGOS NATURALES

Todos los problemas mencionados anteriormente son determinados por los atributos de la variedad del cultivo que usen los agricultores. El productor puede modificar los resultados simplemente al cambiar las variedades. Sin embargo, las variedades pueden diferir en otras formas que importan a los consumidores y a los productores, como el rendimiento, sabor, tiempo de madurez, resistencia a las enfermedades o tolerancia a condiciones adversas del suelo. Los productos disponibles para los agricultores son las variedades regionales tradicionales, además del material nuevo importado o desarrollado en programas de fitomejoramiento.

El desarrollo de nuevas variedades por los mejoradores debería esforzarse por incluir la “compatibilidad con el enemigo natural” en la mezcla de características examinadas, cuando están formando una nueva variedad. Una fuente de tal información es el uso de datos de los programas de discriminación en los que se permite que los enemigos naturales busquen hospederos colocados a igual densidad en varios cultivares. Los efectos de los distintos tipos de tricomas en especies de tomate *Lycopersicon* sobre la crisopa *Mallada signata* (Schneider), una especie producida comercialmente en Australia, fueron examinados por Simmons y Gurr (2004). Similarmente, tal información fue usada para guiar esfuerzos para incrementar el parasitismo sobre las moscas blancas en pepinos de invernadero, para desarrollar una variedad con densidad moderada de tricomas que pudiese lograr que el parasitoide tenga una velocidad óptima al caminar para parasitar (Hua *et al.*, 1987).

Los esfuerzos para crear variedades de cultivos “superpeludas” o sin néctar, pararon el propósito de hacerlas desfavorables a las plagas, pueden ser contraproducentes si suprimen fuertemente el nivel de control natural. Los programas de mejoramiento necesitan balancear las características favorables para los enemigos naturales y los atributos útiles para la resistencia a las plagas, considerando el complejo de plagas más probable en la zona de producción. En algodón, por ejemplo, se encontró que las variedades glabras eran más adecuadas para las avispitas *Trichogramma* y para las larvas de crisopas que variedades con densidad media o alta de tricomas. También el algodón glabro fue más resistente a *H. zea*. Sin embargo, las variedades con alta densidad de tricomas fueron más resistentes a hemípteros plaga como *Lygus* sp. y *Pseudatomoscelis seriatus* (Reuter). Por tanto, en áreas donde los hemípteros no sean importantes, el algodón glabro sería la mejor variedad pero en áreas con chinches plaga, el uso de variedades con niveles intermedios de tricomas sería una mejor opción (Treacy *et al.*, 1986, 1987).

Alternativamente, podría ser posible tratar artificialmente los cultivos con compuestos (como el metil salicilato, metil jasmonato o (Z)-3-hexenil acetato) atrayentes para los enemigos naturales (James y Grasswitz, 2005) o con compuestos como el ácido jasmónico que induce a las plantas a producir tales compuestos volátiles (Lou *et al.*, 2005).

PROBLEMA #2: CAMPOS DE CULTIVO QUE AFECTAN FÍSICAMENTE A LOS ENEMIGOS NATURALES

SUELOS CALIENTES Y SECOS

En muchas regiones, los suelos se vuelven calientes y secos después de la cosecha y de la exposición al sol, lo que hace desfavorable la superficie del suelo para los grupos de animales que viven en el suelo, como los escarabajos carábidos y los estafilínidos. Esto ocurre comúnmente cuando los cultivos que no producen un follaje cerrado que daría sombra al suelo (como algunas hortalizas) son sembrados en climas cálidos. Además, se pueden desarrollar condiciones calientes temporalmente después que campos completos son segados, como cuando la alfalfa u otros cultivos forrajeros son cosechados.

DISTURBIOS MECÁNICOS POR LA LABRANZA

La labranza para el control de malezas también es físicamente disruptiva para las especies de enemigos naturales que entran a los espacios dentro del suelo para buscar refugio o para pasar a otro estado de desarrollo. Por ejemplo, los carábidos a menudo entran a los túneles de las lombrices de tierra para buscar un suelo más fresco, pero los túneles son destruidos al cultivar la tierra. El arado del suelo en colza sueca redujo la emergencia de parasitoides de los escarabajos del polen de la colza, *Meligethes* sp., en 50 y 100% en cultivos de primavera e invierno (Nilsson, 1985). La perforación directa para los cultivos de trigo de invierno que siguen a la colza (*Brassica napus* L.), en lugar del arado, pueden conservar a los parasitoides del escarabajo del polen. En Ontario, Canadá, ocurrió una explosión de la población del escarabajo de las hojas del cereal *Onlema melanopus* (L.), cuando la tierra fue arada inmediatamente después de la cosecha, en lugar de la práctica más común de usar los cereales como cultivo acompañante de la alfalfa, sin labranza (Ellis *et al.*, 1988). La labranza mató el 95% del parasitoide clave del escarabajo, *Tetrastichus julis* (Walker), el cual estaba ausente en el sitio con el problema de plaga mientras que parasitó del 74-90% de las larvas de la plaga en otras partes de Ontario.

Además, el suelo es una reserva importante para virus y hongos patógenos, los que pueden ser afectados por la labranza. Las plagas hepialidas del pasto (*Wiseana* spp.) en Nueva Zelanda, causaron mayor daño en pastos recientemente arados porque el cultivo enterró a los virus de la nucleopoliedrosis de dichas plagas, disminuyendo las tasas de enfermedad. Conforme los pastos resembrados crecieron, los niveles de virus aumentaron, incrementando la mortalidad de la plaga (Longworth y Kalmakoff, 1977).

SOLUCIÓN #2: CULTIVOS DE COBERTURA, CUBRIMIENTO CON PAJA, CERO LABRANZA, COSECHA EN FRANJAS

Los métodos para la conservación de enemigos naturales deben desarrollarse en respuesta a las prácticas de cultivo en un área dada, las opciones existentes para la conservación de enemigos naturales y aquellas que sean aceptables para los agricultores. El descubrimiento de tales

soluciones requiere investigación local. Sin embargo, los problemas de los campos de cultivo físicamente desfavorables generalmente pueden ser reducidos minimizando la exposición del suelo a la irradiación solar, empleando cultivos de cobertura y la cero labranza (en las que la siembra a través de los restos del cultivo anterior, junto con las aplicaciones de herbicidas, reemplazan la labranza).

CULTIVOS DE COBERTURA Y MALEZAS EN LOS CULTIVOS

El suelo debajo de los cultivos de cobertura o de las malezas a menudo es más fresco, más húmedo y con más agua libre, en comparación con áreas de suelo arado y desnudo. Es más probable que las cubiertas del suelo favorezcan a los depredadores generalistas que a los parasitoides especialistas. Donde los cultivos de cobertura reducen con éxito los niveles de la plaga, el reforzar las poblaciones de enemigos naturales y el reducir la colonización o retención de la plaga, pueden contribuir a su supresión. Los escarabajos carábidos, estafilínidos y coccinélidos, los sírfidos y otros depredadores también pueden alimentarse de artrópodos no plaga que viven en la vegetación que cubre el suelo o en el suelo más húmedo que está debajo. Ver el Capítulo 4 para conocer más sobre los efectos de esas presas alternantes.

En el Reino Unido, los repollos sembrados con trébol (*Trifolium* sp.) mantuvieron poblaciones más grandes y efectivas de carábidos y estafilínidos (O'Donnell y Croaker, 1975; Ryan *et al.*, 1980), resultando en menores poblaciones del gusano de la raíz del repollo *Delia brassicae* Weidemann. En huertos citrícolas en las áreas secas de China, cubrir el suelo con ageratum tropical *Ageratum conyzoides* L., disminuyó la temperatura y elevó la humedad relativa, haciendo más favorable el habitat para el ácaro depredador *Amblyseius eharai* Amstai & Swirski (Zhang y Olkowski, 1989).

En la parte negativa, los cultivos de cobertura del suelo pueden competir con los cultivos por humedad o nutrientes, aumentando los costos del riego o reduciendo el rendimiento del cultivo. Las plagas también pueden beneficiarse de la inclusión de especies adicionales de plantas en el campo de cultivo, como los cultivos de cobertura o los cultivos intercalados. La densidad de las especies de cultivos de cobertura y la densidad de siembra del cultivo principal deben ser probadas localmente para determinar su valor en el mejoramiento del habitat para los enemigos naturales, en relación con las plagas.

Las malezas, a niveles subeconómicos, pueden ser manipuladas para producir “cultivos de cobertura voluntarios” (Altieri y Whitcomb, 1979). En caña de azúcar de Louisiana (EU), grupos subcompetitivos de malezas de hoja ancha favorecieron a los depredadores, especialmente a la hormiga importada de fuego *Solenopsis invicta* (Buren), un depredador importante del barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Ali y Reagan, 1985). Las malezas murieron por competencia con el cultivo conforme su follaje se cerró, y los rendimientos aumentaron 19%, en comparación con parcelas sin malezas. En contraste, aunque las malezas en maíz en Nueva Zelanda aumentaron el parasitismo por *Apanteles ruficrus* (Haliday) sobre el gusano soldado *Mythimna separata* (Walker), las malezas también causaron un incremento de diez veces en la densidad de la plaga, reduciendo el rendimiento en 30% (Hill y Allan, 1986). Como con los cultivos de cobertura, los efectos de las malezas pueden ser variables en distintas localidades. La flora de malezas es

posible que varíe en diferentes años (en contraste con los cultivos de cobertura sembrados), por lo que los resultados de un año a otro también pueden variar. El desarrollo de cultivos modificados genéticamente que sean tolerantes a algunos herbicidas (p. ej., los cultivos Roundup Ready tolerantes al glifosato) puede hacer que los agricultores permitan el crecimiento de algunas malezas tempranas porque más tarde será posible su supresión.

CUBRIMIENTO CON PAJA

Los suelos cubiertos con paja debajo de los cultivos (como en las huertas) pueden mejorar el suelo como ambiente físico (más fresco, más húmedo) y estimular una mayor diversidad y densidad de organismos presa alternantes, lo que podría traducirse en mayor densidad de depredadores generalistas (ver p. ej., Mathews *et al.*, 2004).

SIEMBRA DIRECTA Y CERO LABRANZA

La eliminación o reducción de la labranza se ha convertido en una práctica agrícola ampliamente común, especialmente en áreas secas. La fuerza que favoreció su adopción, sin embargo, no fue el control de plagas sino la conservación de la humedad del suelo, la reducción de la erosión por el viento, y los costos del combustible. El método ha sido adoptado ampliamente en regiones agrícolas secas, como el suroeste de los Estados Unidos. Los cultivos son sembrados directamente en el suelo no arado, con maquinaria especial. La competencia con la maleza en el semillero es reducida por la aplicación tópica de herbicidas. El uso de cultivos “Round Up Ready” que toleran el glifosato facilita la cero labranza, permitiendo el uso de este herbicida de amplio espectro después de la emergencia del cultivo y de la maleza. Aunque no fue planeada como una herramienta para conservar enemigos naturales, la cero labranza crea un ambiente más favorable al aumentar la humedad del suelo, al reducir su temperatura superficial y al preservar su estructura. Los impactos reales de las plantas Round Up Ready y de las aplicaciones subsecuentes de Round Up (glifosato) sobre los enemigos naturales deben ser evaluados en casos específicos (ver p. ej., Jackson y Pitre, 2004).

COSECHA EN FRANJAS

La cosecha en franjas, en lugar de quitar cultivos completos al mismo tiempo, puede ayudar a preservar enemigos naturales en cultivos forrajeros, preservando el ambiente físico y la fuente de hospederos o presas para los enemigos naturales. La cosecha en franjas en alfalfa, por ejemplo, ayuda a retener poblaciones de parasitoides de áfidos, del picudo de la alfalfa *Hypera postica* (Gyllenhal), y de las chinches *Lygus* spp. (van den Bosch *et al.*, 1967). Nentwig (1988) encontró que, cuando en las praderas alemanas de heno se cosechaban en franjas, los artrópodos depredadores y parasíticos, especialmente las arañas, eran más abundantes y los herbívoros disminuían.

PROBLEMA #3: FUENTES NUTRICIONALES INADECUADAS

Muchos enemigos naturales que afectan a las plagas de los cultivos requieren de carbohidratos y proteínas para el crecimiento, el metabolismo básico y la reproducción. Si el cultivo no proporciona estos materiales, los enemigos naturales buscarán fuera del cultivo el néctar, polen u hospederos en los cuales se alimentan. Esos emigrantes pueden no encontrar su camino de regreso al cultivo, reduciendo el control de las plagas. Similarmente, los enemigos naturales pequeños como las avispidas *Trichogramma*, pueden morir más rápidamente si el cultivo no ofrece recursos como el néctar. Los cultivos que proveen néctar, polen o insectos para alimentarse, retendrán mayores poblaciones de enemigos naturales mejor nutridos y más fecundos. La diversidad de especies vegetales en las comunidades naturales aumenta estos requisitos y prolonga su disponibilidad. Los monocultivos sincronizados en su desarrollo pueden concentrar la floración en breves períodos únicos de superabundancia o eliminar completamente la floración en algunos cultivos. Si los cultivos son adecuados como habitats para los parasitoides, dependerá de las necesidades de especies particulares, del tamaño del campo de cultivo en relación con las áreas vecinas no cultivadas y de la composición de la vegetación en áreas adyacentes. Los monocultivos grandes sin nectarios, sin flores, sin proporcionar polen y con pocas presas u hospederos alternantes, ofrecen pocos recursos para los enemigos naturales. Aunque las necesidades de los cultivos mecanizados requieren de simplificación, la retención de alguna diversidad vegetal crítica puede ser posible en sistemas bien estudiados, y es común en sistemas agrícolas menos intensivos (Gurr *et al.*, 2004).

SOLUCIÓN #3: AGREGAR NUTRICIÓN AL AMBIENTE DEL CULTIVO

Cuando los recursos nutricionales están ausentes en un cultivo, pueden colocarse plantas dentro (como cultivos de cobertura) o adyacentes a él (en franjas) como fuentes de néctar o polen. Alternativamente, en algunos cultivos pueden aplicarse alimentos (azúcar, proteínas hidrolizadas) directamente al cultivo. El néctar proporciona azúcares como combustible mientras que el polen y las proteínas hidrolizadas proveen aminoácidos para la reproducción.

FLORES PARA EL NÉCTAR

En la naturaleza, los parasitoides y algunos depredadores obtienen carbohidratos de las flores y de los nectarios extraflorales (Rogers, 1985). Las flores también proporcionan polen y pueden encontrarse en plantas silvestres fuera del cultivo, en las malezas dentro del cultivo o en el cultivo mismo. Una activa área de investigación es el uso de franjas de flores sembradas como fuentes de néctar para los enemigos naturales (**Figuras 22-3, 22-4**) (Pfiffner y Wyss, 2004). Está siendo claro que, a menudo, a los parasitoides les falta azúcar en la naturaleza y que se alimentan de flores cerca de los campos de cultivo. La provisión de recursos florales puede incrementar los números de enemigos naturales (ver p. ej., Nicholls *et al.*, 2000; Ellis *et al.*, 2005; Rebek *et al.*, 2005). Sin embargo, las flores de diferentes especies de plantas varían en su valor para los enemigos naturales y en su tendencia a producir dichos efectos.



Figura 22-3. La plantación de especies que producen néctar útil para los parasitoides y depredadores, cerca o dentro de los cultivos, es una estrategia básica del control biológico por conservación. Aquí, se intenta que las plantas de alyssum *Lobularia maritima* (L.) Desv. incrementen la densidad de los sírfidos (Syrphidae) para aumentar el control de áfidos en un cultivo de lechuga. (Fotografía cortesía de Charles Pickett, CDFA.)



Figura 22-4. Los cultivos de cobertura entre los surcos disminuyen la temperatura del suelo, elevan la humedad relativa y proporcionan néctar y/o polen, lo que puede aumentar la densidad de los enemigos naturales generalistas. Aquí, la facelia, *Phacelia tanacetifolia*, Bentham es plantada entre surcos de un viñedo en Nueva Zelanda (Fotografía cortesía de Jean-Luc Dufour.)

Menos información esta disponible para saber si la provisión de recursos florales puede ayudar a controlar plagas (Wratten *et al.*, 2002). La plantación de franjas de cilantro (*Coriandrum sativum* L.: Umbelliferae) y de habas (*Vicia faba* L.: Fabaceae) alrededor de campos de papa, incrementó el parasitismo de la polilla de la papa *Phthorimaea operculella* (Zeller) del 38% (a 16 m desde las flores) al 52% (adyacente a las flores). Sin embargo, las flores fueron contraproducentes porque también proporcionaron recursos a la plaga y el resultado neto fue un incremento en el daño de la plaga, adyacente a las franjas de flores (Baggen y Gurr, 1998). Para resolver este problema, deben encontrarse especies de flores que beneficien a los enemigos naturales pero no a la plaga. El trabajo posterior en este sistema reveló que el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Benth.) era un recurso no selectivo, beneficiando tanto a la plaga como al parasitoide, la borraja (*Borago officinalis* L.) fue selectivamente benéfica sólo para el parasitoide (Baggen *et al.*, 2000). La siembra de plantas de flor bajo los árboles de manzano incrementó las tasas de parasitismo de la polilla café clara de la manzana *Epiphyas postvittana* (Walker) y redujo su daño (Irvin *et al.*, 2006).

PLANTAS QUE EMITEN POLEN

Además del néctar, las plantas dentro o alrededor de los cultivos pueden ser fuentes de polen, el cual proporciona la proteína necesaria a menudo para la maduración de los huevos de los enemigos naturales. Los cultivos de cobertura o las plantas adyacentes que producen abundante polen, pueden incrementar la densidad de fitoseidos en viñedos o en cultivos de árboles (ver p. ej., Girolami *et al.*, 2000; Villanueva y Childers, 2004). El control de la arañita roja de los cítricos *Panonychus citri* (McGregor) en huertos de cítricos en China, aumenta al sembrar *Ageratum tropical* *A. conyzoides* (Zhang y Olkowski, 1989). El polen de *Ageratum* y los psócidos sobre las plantas proporcionan alimento a los ácaros depredadores. En Queensland, Australia, la siembra del pasto Rhodes *Chloris guyana* Kunth en cítricos favoreció a *Amblyseius victoriensis* (Wormersley), un depredador del ácaro rosado de los cítricos *Tegolophus australis* Keifer) (Smith y Papacek, 1991). Además, los rompevientos de *Eucalyptus torelliana* F. Mueller, alrededor de los bloques de cítricos, sirvieron como reservas de este ácaro depredador (Smith y Papacek, 1991). Estos árboles tenían menos ácaros depredadores pero proporcionaban abundante polen, del cual se alimentaban.

En cultivos que no sean huertos, pueden sembrarse plantas con polen en franjas adyacentes al cultivo aunque obviamente, esto ocupa algo de terreno. La siembra de *Phacelia tanacetifolia* Betham (Hydrophyllaceae) adyacente a campos de trigo para aumentar a las moscas sírfidas y disminuir a los áfidos, dió resultados mixtos (Hickman y Wratten, 1996). En hortalizas de invernadero, el control biológico de trips plaga con ácaros depredadores fue logrado más pronto y con mayor facilidad en los pimentones (*Capsicum sativum* L.), los cuales son productores de polen, que en los pepinos (*Cucumis sativus* L.) los cuales no lo producen (De Klerk y Ramakers, 1986).

ASPERSIÓN DE ALIMENTOS

La aplicación artificial de alimentos asperjados es otro método para proporcionar azúcar, la cual retiene a los enemigos naturales que buscan presas u hospederos (ver p. ej., Evans y Swallow, 1993; Mensah y Madden, 1994) y proteína (como hidrolizado, levadura o polen) que también los atrae (Hagen *et al.*, 1970). La reproducción de las crisopas (*Chrysopa* spp.) en algodón fue reforzada con la aplicación de proteínas hidrolizadas, mezcladas con agua y azúcar (Hagen *et al.*, 1970). En contraste, las aplicaciones de mezcla de sucrosa y levadura fallaron en incrementar las cantidades de predadores en manzanos (Hagley y Simpson, 1981). En parcelas forestales de Tasmania, la provisión de azúcar en estaciones protegidas del clima reforzó a los cantháridos depredadores, lo que después incrementó la mortalidad de huevos del crisomélido plaga de hojas *Chrysophtharta bimaculata* (Olivier) (Mensah y Madden, 1994). Las aplicaciones de polen aumentaron las tasas de desarrollo de algunos fitoseidos (McMurtry y Scriven, 1964) y aumentó la proporción de los que alcanzaron el estado adulto (Osakabe, 1988). Los mayores números del depredador *Amblyseius hibisci* (Chant) en cítricos, estuvieron correlacionados con la concentración del polen de la espadaña natural (*Typha latifolia* L.) (Kennett *et al.*, 1979), sugiriendo que su aplicación artificial podría ser benéfica.

PROBLEMA #4: OPORTUNIDADES INADECUADAS PARA LA REPRODUCCIÓN

Los enemigos naturales en los cultivos pueden carecer, a veces, de hospederos o presas, ocasionando que dejen los campos de cultivo. La retención de los enemigos naturales puede ser aumentada si está disponible una fuente más consistente de hospederos o presas, ya sea dentro del cultivo o en la vegetación adyacente. Algunas especies de parasitoides pueden requerir de hospederos alternantes durante los períodos en que la plaga clave no está presente o para invernar (Pfannenstiel y Unruh, 2003).

SOLUCIÓN #4: CREAR OPORTUNIDADES PARA CONTACTAR HOSPEDEROS O PRESAS ALTERNANTES

En los viñedos de California, la chicharrita de la vid *Erythroneura elegantula* Osborn es atacada por el parasitoide de huevos *Anagrus epos* Girault. Este parasitoide ocurre en números adecuados solamente en los viñedos cercanos a la vegetación riparia de moras silvestres (*Rubus* spp.). Estas plantas mantienen a otra chicharrita, *Dikrella californica* (Lawson), que es un hospedero invernante para el parasitoide (Doutt y Nakata, 1973). Se logró el aumento del parasitoide de la chicharrita de la vid al plantar ciruelas francesas (*Prunus* sp.) adyacentes a los viñedos. Estos árboles alojan a una tercera chicharrita, *Edwardsiana prunicola* (Edwards), que también sirve de hospedero invernante (Wilson *et al.*, 1989). El sistema de la chicharrita del ciruelo responde mejor a la manipulación agrícola que el de la chicharrita de la mora porque sus poblaciones no se desarrollan bien en moras lejos de habitats riparios (Pickett *et*

al., 1990). En huertos de manzanas en el Estado de Washington (EU), las tasas de parasitismo de los enrolladores de hojas por el eulófido *Colpoclypeus florus* Walker son influenciadas por la proximidad de los huertos a parches de rosas silvestres, las que alojan a otras especies de enrolladores que sirven como hospederos en verano y otoño (Pfannenstiel y Unruh, 2003). En Bélgica, la plantación de árboles rowan (*Sorbus aucuparia* L.), adyacentes a huertas de manzanas, permitió el desarrollo del áfido no plaga *Dysaphis sorbi* Kaltenbach, el cual es atacado por el parasitoide *Ephedrus persicae* Froggatt, un parasitoide capaz de atacar al áfido rosado del manzano *Dysaphis plantaginea* Passerini (Bribosia *et al.*, 2005).

A menudo, los depredadores requieren de más tipos de presas, además de la plaga. Las presas alternantes a veces pueden encontrarse en la vegetación adyacente al cultivo o en la hojarasca y en la materia orgánica bajo el cultivo. Por ejemplo, las malezas y las hierbas silvestres en floración entre los campos de cereales en el Reino Unido, incrementaron las presas para el carábido más abundante (*Poecilus cupreus* L.), aumentando su reproducción (Zangger *et al.*, 1994). Para los depredadores que viven en el suelo, las presas alternantes pueden ser aumentadas balanceando el uso del fertilizante químico con estiércoles animales o vegetales, para incrementar los detritívoros asociados con la materia orgánica. Se necesitan niveles adecuados de materia orgánica en el suelo para mantener a las presas para los carábidos (Purvis y Curry, 1984; Hance y Gregoire-Wibo, 1987) y para los ácaros laelápidos depredadores (*Androlaelaps* y *Stratiolaelaps*) que se alimentan de los huevos de *Diabrotica* spp., las cuales son plagas del maíz (Chiang, 1970).

PROBLEMA #5: FUENTES INADECUADAS DE ENEMIGOS NATURALES

COLONIZADORES

Los campos nuevos de cultivos anuales necesitan ser colonizados por enemigos naturales mientras que los cultivos perennes típicamente no lo necesitan. Como los campos anuales son más grandes y la diversidad de vegetación natural disminuye, pueden desaparecer las fuentes desde las que los enemigos naturales pueden inmigrar o estar localizadas demasiado lejos de los cultivos. La permanencia del cultivo, la diversidad de la vegetación y los refugios, plantaciones de relevo del cultivo, cultivos intercalados y mosaicos de cultivos, todos afectan las dinámicas que exhiben los enemigos naturales y la plaga, cuando colonizan nuevos campos de cultivo.

TEMPORALIDAD DEL CULTIVO

Los cultivos perennes como los cocoteros, manzanos y cítricos persisten en el mismo lugar por muchos años. Esa estabilidad conduce al desarrollo local de poblaciones perennes de enemigos naturales que pueden persistir sin una fase de colonización. La estabilidad del habitat puede promover el control biológico porque elimina el período de tiempo, que a menudo se ve en cultivos anuales, en los que los enemigos naturales arriban demasiado tarde después de las poblaciones de la plaga, para poder mantener o suprimir las plagas a niveles aceptables durante ciclos de cultivo cortos.

En contraste, los cultivos anuales deben ser colonizados después de la siembra. Si los campos están demasiado aislados de las fuentes de enemigos naturales, entonces es posible que arriben después de la colonización de las plagas, que permanezcan en números inferiores a los de la plaga y que ejerzan menos control. El ácaro fitoseido *Amblyseius scyphus* Shuster & Pritchard es el enemigo natural clave del ácaro del pasto de Banks *Oligonychus pratensis* (Banks) en sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench, en el oeste de Texas (EU). Pero como este depredador inverna en la paja, es eliminado después de cada ciclo de cultivo, cuando los residuos son quemados o enterrados. Los campos nuevos de sorgo deben ser colonizados por fitoseidos que se dispersan de las pequeñas áreas con pastos no cultivados donde invernan. El control típicamente es inadecuado porque el período de dispersión del ácaro plaga está en mejor sincronización con la disponibilidad de plantas jóvenes de sorgo. Como consecuencia, la dinámica en el sorgo y en los pastos no cultivados es muy diferente (Gilstrap *et al.*, 1979; Gilstrap, 1988)

FALTA DE REFUGIOS FUERA DE ESTACIÓN

Pueden haber períodos en que los campos de cultivo sean inadecuados para los enemigos naturales, como el invierno en latitudes altas, las estaciones secas en algunas áreas tropicales o los períodos sin cultivo. La conservación efectiva requiere que las necesidades de los enemigos naturales sean consideradas para todo el año, incluyendo dichos períodos. Algunos enemigos naturales pasan estas estaciones en los campos en los residuos de cosecha, por lo que el manejo de los residuos puede ser importante para fomentar su sobrevivencia local. En otros casos, importantes enemigos naturales pasan las estaciones desfavorables fuera de las áreas de cultivo. Es importante saber dónde y bajo qué condiciones ocurre esto para asegurar que existan sitios favorables para tales especies, cerca de los campos de cultivo. La investigación sobre los requerimientos de habitat de hibernación de carábidos y estafilínidos depredadores de los áfidos de los cereales en el Reino Unido (Thomas *et al.*, 1992; Dennis *et al.*, 1994) y de los coccinélidos en Bélgica (Hemptinne, 1988) ilustran el tipo de estudios necesarios para definir las necesidades ecológicas de especies en particular.

SOLUCIÓN #5: CONEXIONES ENTRE CAMPOS DE CULTIVO, DIVERSIDAD DE LA VEGETACIÓN Y REFUGIOS

SIEMBRAS DE RELEVO DEL CULTIVO

Si una gran parte del paisaje local es utilizado para un cultivo en particular, como ocurre con el arroz, maíz o caña de azúcar, es posible que la distancia entre los campos de cultivo sea pequeña y, en los trópicos, que haya una presencia continua del cultivo todo el año (Mogi y Miyagi, 1990). Si los campos son sembrados en diferentes fechas, todos los estados del cultivo pueden traslaparse a escala local. Este patrón crea un paisaje donde el cultivo es un habitat bastante estable, con una alta conexión entre los campos. Tales cultivos estarán disponibles continuamente para los enemigos naturales adaptados a ellos y los campos recién sembrados serán colonizados rápidamente desde campos cercanos con cultivos de más edad.

También existen oportunidades para promover más pronto la colonización de nuevos plantíos en cultivos anuales. Vorley y Wratten (1987) demostraron que el control biológico de áfidos podría ser mejorado si algunos campos de cereales se sembraran más temprano en el otoño precedente, de manera que así adquirieran y retuvieran a los áfidos invernantes parasitados. Los parasitoides de dichos áfidos emergían más pronto y colonizaban campos adyacentes de cereales de la última siembra, conforme las poblaciones asociadas de áfidos empezaban a desarrollarse en la primavera siguiente. En extensión, solamente el 4% de los cereales necesitó ser sembrada antes para servir como fuente temprana de colonización de los parasitoides para otros campos. Los pastizales permanentes no pastoreados también fueron fuentes tempranas efectivas de parasitoides de los áfidos de los cereales.

Existen posibilidades similares para otros cultivos. Men *et al.* (2004) encontraron que los parasitoides de áfidos desarrollados en cultivos de trigo, se movían al algodón y controlaban a los áfidos. En cultivos de colza, las decisiones de manejo de los agricultores pueden afectar fuertemente el número de parasitoides que localizan y colonizan con éxito nuevos plantíos. Hokkanen *et al.* (1988) notaron que la colonización de parasitoides en primavera, en campos nuevos en Finlandia, fue reforzada al localizarlos tan cercanamente como fuera posible a los campos sembrados con colza el año anterior.

MOSAICOS DE CULTIVOS

Algunos enemigos naturales se encuentran en varios cultivos, alimentándose de diversos hospederos o presas. En tales casos, los enemigos naturales pueden aumentar en un cultivo sembrándolo cerca o enseguida a otro cultivo que actúe como fuente del enemigo natural. Por ejemplo, Gilstrap (1988) notó que en Texas (EU), el ácaro del pasto de Banks, *O. pratensis*, se encuentra en sorgo, trigo y pastos, y que un ácaro fitoseido eficiente se mueve entre dichos cultivos, alimentándose de la plaga. Xu y Wu (1987) reportaron que el movimiento de un coccinélido desde cultivos de colza al bambú podría mejorarse sembrando colza cerca del bambú. Cuando la colza era cosechada, los coccinélidos residentes se moverían al bambú en búsqueda de otras presas. Corbett *et al.* (1991) reportaron que la alfalfa sembrada a un lado del algodón sirvió como reserva para el ácaro depredador *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) y que si éste era inoculado en la alfalfa temprano en la estación, aumentaba su número y migraba a los campos de algodón. Estudios de marcaje-recaptura demostraron que depredadores como *Orius* spp. (Hemiptera: Anthocoridae) y la mariquita *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville frecuentemente se mueven entre el sorgo y el algodón en Texas, especialmente conforme madura el grano de sorgo. Este enlace proporciona oportunidades para usar la situación estratégica de los campos de sorgo para aumentar el número de depredadores en el algodón (Prasifka *et al.*, 1999).

MEJORAR LA DIVERSIDAD DENTRO DEL CULTIVO CON CULTIVOS

INTERCALADOS

Mientras que la meta de la estrategia de secuencia del cultivo único es promover el descubrimiento y colonización tempranas de los nuevos campos de cultivo para las plagas y los enemigos naturales (para lograr una mejor proporción entre ellos), las estrategias de

diversificación de cultivos buscan, entre otros efectos, retardar o disminuir el número de plagas que colonizan los cultivos o reducir su retención en ellos. Los cultivos intercalados diversifican los campos agrícolas, sembrando dos o más cultivos en el mismo campo y al mismo tiempo. Los cultivos pueden estar completamente mezclados o estar segregados en surcos separados, los que van alternados siguiendo algún patrón (Marcovitch, 1935; Andow, 1991a).

Dos efectos benéficos resultan teóricamente de los cultivos intercalados: la reducción del descubrimiento del cultivo por la plaga y de su retención en él (*hipótesis de la concentración de recursos*) y el aumento del número de los enemigos naturales y de su acción (*hipótesis de los enemigos naturales*) (Root, 1973). Andow (1986, 1988), revisando estudios de cultivos intercalados, encontró que la densidad de herbívoros disminuyó en 56% de los casos, aumentó en el 16% y permaneció igual en el 28% de los casos. La determinación de las razones para los efectos observados (la importancia relativa de la reducción en la colonización por la plaga y su retención, contra el aumento de mortalidad causado por los enemigos naturales) es difícil ya que ambos mecanismos pueden operar juntos. Russell (1989) revisó los efectos de los cultivos intercalados en la acción de los enemigos naturales y encontró altos niveles de mortalidad por los enemigos naturales en 9 de 13 casos, niveles menores en 2 y ningún efecto en 2 casos. Sheehan (1986) sugirió que los cultivos intercalados pueden ser más benéficos para las especies generalistas de enemigos naturales que para las especialistas, las que pueden trabajar mejor en cultivos únicos atacados por su hospedero o presa. No existen características generales que puedan ser usadas para utilizar mezclas de cultivos supresores de plagas. Más bien, debe evaluarse cada combinación potencial de cultivos en el ambiente local para determinar si son valiosas en relación con cultivos específicos, sus plagas y sus enemigos naturales.

Además, el valor económico de la reducción de la plaga a partir de la diversificación de la vegetación puede, en algún caso específico, ser compensado potencialmente por la competencia entre la especie cultivada y por la reducción en la mecanización del sistema agrícola. En los cultivos intercalados revisados por Andow (1991 a,b), donde los herbívoros fueron reducidos, los rendimientos no mejoraron en los cultivos de repollo, mejoraron en la mayoría de los frijoles y presentaron resultados mixtos en la alfalfa.

REFUGIOS DENTRO O CERCA DE LOS CULTIVOS

Si los campos de cultivo no pueden proporcionar las necesidades de los enemigos naturales, aún con los esfuerzos de diversificación indicados, pueden crearse refugios dentro o cerca de los campos. Los diques de tierra elevados, sembrados con pastos (*bancos de escarabajos*) (Figura 22-5) en campos ingleses de cereales, proporcionaron sitios de hibernación para los depredadores de los áfidos de los cereales, aumentando su número en áreas adyacentes al cultivo, el siguiente año (Thomas, 1990; Thomas *et al.*, 1991; MacLeod *et al.*, 2004). Los rompevientos de *E. torelliana* alrededor de huertos de duraznos *Prunus persica* (L.) Batsch en el sur de New South Wales, Australia, proporcionaron refugios invernantes para ácaros depredadores en la primavera (James, 1989). En general, deberían conducirse estudios rutinariamente para conocer las necesidades de los enemigos naturales clave en la estación invernante, seca y fuera de estación.



Figura 22-5. En campos ingleses de cereales, las explosiones de las poblaciones de áfidos son un problema importante. Para conservar los escarabajos carábidos, los cuales son importantes depredadores de los áfidos, se hacen bancos de tierra elevados dentro de los campos y se plantan con pastos perennes. Estas áreas, llamadas “bancos de escarabajos”, no son aradas y proporcionan un habitat permanente para los carábidos. (Fotografía cortesía de John Holland, The Game Conservancy Trust.)

OTRAS PRÁCTICAS QUE PUEDEN AFECTAR A LOS ENEMIGOS NATURALES

En las secciones precedentes, se consideró al cultivo como un ambiente para los enemigos naturales, desde el punto de vista de sus necesidades básicas que pueden ser afectadas. Sin embargo, la discusión está incompleta en el sentido que otras prácticas agrícolas pueden afectar a los enemigos naturales, a menudo en varias formas simultáneamente. En las siguientes secciones se discuten algunas de estas prácticas y cómo podrían influenciar en las poblaciones de enemigos naturales.

IRRIGACIÓN

El riego eleva la humedad del cultivo y esto puede ser importante en hacer más favorable el ambiente para algunos tipos de enemigos naturales. Por ejemplo, puede ser posible que promueva epidemias de hongos entomopatógenos por la manipulación del riego o de los patrones de riego en invernadero. La eficacia de las aplicaciones de *Verticillium lecanii* (Zimmerman) Viegas (reclasificado ahora como *Lecanicillium muscarium* [Petch] Zare & W. Gams) en invernaderos para el control de áfidos o de moscas blancas, puede ser reforzada por la manipulación de la densidad del follaje del cultivo, del riego y de las temperaturas nocturnas para mantener la alta humedad necesaria para la germinación de las esporas del patógeno (Hall, 1985). Epizootias del hongo entomopatógeno *Erynia*

neoaphidis Remaudière & Hennebert y de *Erynina radicans* (Brefeld) ocurrieron en los áfidos de la arveja *Acyrtosiphon pisum* (Harris) en cultivos de cobertura en Georgia (EU) en huertas de nogal pecanero *Carya illinoensis* Koch que empleaban riego elevado y no por goteo (Pickering *et al.*, 1989). Existe un potencial significativo para manipular la humedad relativa del cultivo y los períodos húmedos (con el riego y el espaciado del cultivo) para aumentar los niveles de enfermedad de los artrópodos (Harper, 1987). La inundación también se usa en algunos cultivos para controlar plagas. La inundación fue evaluada por Whistlecraft y Lepard (1989) como un método para controlar a la plaga de la cebolla *Delia antiqua* (Meigen) pero se encontró que dañaba a su parasitoide clave *Aleochara bilineata* (Gyllenhal).

MÉTODOS DE COSECHA O DE PODA Y SU OPORTUNIDAD

COSECHA EN BLOQUES O EN FRANJAS

En alfalfa, la cosecha en franjas puede usarse para conservar a los enemigos naturales en el cultivo y para reforzar el control biológico. Hossain *et al.* (2001) encontraron una mayor depredación en huevos centinela de *Helicoverpa* spp. en alfalfa no cosechada, comparada con la cosechada en franjas. La depredación en huevos centinela colocados en franjas cosechadas declina con la distancia desde las franjas sin cosechar, sugiriendo que los depredadores se fueron moviendo desde las áreas sin cosechar hacia las áreas cortadas (Hossain *et al.*, 2002). En Suecia, el sauce es sembrado en un sistema de madera cortada que produzca biomasa, para la producción de energía. El cultivo es afectado por varios crisomélidos defoliadores, los que luego son suprimidos por depredadores, especialmente por el mírido *Orthotylus marginalis* (Reuter). El cultivo es cosechado cortando las puntas de las plantas en invierno cada 3 a 5 años. El follaje de rebrotes es altamente atractivo para los escarabajos herbívoros, conduciendo a explosiones de su población. Se ha sugerido que los bloques adyacentes del sauce sean cosechados en asincronía para conservar depredadores y reducir las explosiones de población de la plaga (Björkman *et al.*, 2004).

SINCRONIZACIÓN DE LA PLAGA CON EL FLUJO DE LA PLANTA

Un flujo sincronizado de nuevo crecimiento puede resultar después de que algunas plantas maderables son podadas. A menudo, el follaje joven es de mayor calidad para los insectos, especialmente para los chupadores. Un aumento súbito en la tasa de crecimiento de la población puede seguir, el cual puede exceder la capacidad de los parasitoides para responder rápido numéricamente. Densidades más altas de la plaga pueden resultar de este desbalance. Para evitar estos eventos, los productores pueden usar la poda en franjas alternadas (cuyo crecimiento de nuevo follaje succulento es atractivo como sitio de oviposición para plagas como las moscas blancas). Este enfoque prolonga la inducción de poblaciones aumentadas de la plaga, permitiendo más tiempo para que los parasitoides respondan. El control biológico de moscas blancas en huertas de limones en la costa de California mejoró con el uso de la poda en franjas alternas (Rose y DeBach, 1992).

DESTRUCCIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA

En muchos cultivos, los residuos que se dejan después de la cosecha son quemados o arados. En algunas instancias, estas prácticas pueden ser efectuadas para tener un beneficio explícito pero en otras, la destrucción de residuos de cosecha no tiene una función definida que la del método tradicional de aclarar la superficie del suelo para la siguiente siembra o para facilitar la cosecha. En algunos casos, el manejo de los residuos de cosecha puede afectar a enemigos naturales clave. En caña de azúcar en la India, los parasitoides *Epiricania melanoleuca* Fletcher, *Ooencyrtus papilionis* Ashmead y *Parachrysocharis javensis* (Girault) de la chicharrita de la caña de azúcar *Pyrilla perpusilla* Walker, son eliminados cuando se queman los residuos de cosecha. Los estudios demuestran que si no se queman los residuos y se diseminan en el campo después de la quema, los parasitoides pueden ser conservados a niveles aptos para controlar la plaga (Joshi y Sharma, 1989, Mohyuddin, 1991) (Figura 22-6).

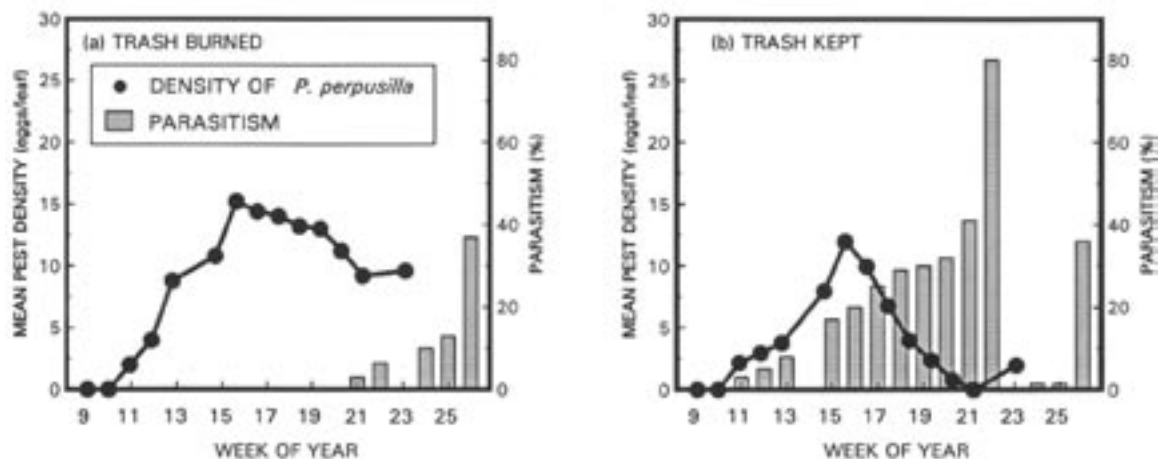


Figura 22-6. El manejo de los residuos del cultivo después de la cosecha puede afectar la conservación de los enemigos naturales. Densidad de población de *Pyrilla perpusilla* (Walker) y el parasitismo de sus huevos por *Parachrysocharis javensis* (Girault) en campos de caña de azúcar donde los restos fueron quemados (a) o dejados en el campo (b), enseguida de la cosecha. (Según Mohyuddin, 1991: *Insect Science and Its Application* 12: 19-26; reimpresso de Van Driesche, R. G. y T. S. Bellows, *Biological Control*, 1996. Kluwer, con permiso.)

CONTROL DE ESPECIES QUE DAÑAN A LOS ENEMIGOS NATURALES

Las hormigas u otros depredadores reducen la eficacia de los enemigos naturales en algunos cultivos. Si las hormigas son controladas, los enemigos naturales pueden aumentar (ver p. ej., James *et al.*, 1999) y, en algunos casos, ser aptos para suprimir a la plaga. Por ejemplo, la hormiga argentina *Linepithema humile* (Mayr), la hormiga cabezona *Pheidole megacephala* (Fabricius) y la hormiga *Lasius niger* L. interfieren con la acción de los enemigos naturales, atacando físicamente y removiendo estados inmaduros de algunos depredadores (como las larvas de mariquitas) e interfieren con la búsqueda de hospederos y las actividades de oviposición de algunos parasitoides. En algunos casos, las hormigas están presentes porque colectan mielecilla de las colonias de insectos como las escamas suaves (Coccidae), piojos harinosos, moscas blancas y áfidos. Aún plagas que no producen mielecilla, como las escamas armadas (Diaspididae) y algunos ácaros, pueden ser afectadas

por las hormigas. Las hormigas pueden alejar a los parasitoides de escamas o atacar a los depredadores, como a las larvas de la mariquita que se alimenta de ácaros *Stethorus picipes* Casey, la cual se alimenta de la araña roja de los cítricos *P. citri* (Haney *et al.*, 1987).

La influencia supresora de las hormigas sobre la efectividad de los enemigos naturales ha sido demostrada para varias escamas (DeBach *et al.*, 1951, 1976; Steyn, 1958; Samways *et al.*, 1982; Bach, 1991) así como para áfidos y piojos harinosos (Banks y Macaulay, 1967; DeBach y Huffaker, 1971; Cudjoe *et al.*, 1993). La restauración del control biológico eficiente, en tales casos, depende del control de la especie de hormiga involucrada, a menudo a través de la aplicación de plaguicidas en los nidos de las hormigas o en los troncos de los árboles, o la aplicación de barreras pegajosas en los troncos de los árboles. Musgrove y Carman (1965), Markin (1970a,b), y Kobbe *et al.* (1991) proporcionan información sobre la biología y el control de la hormiga argentina, una de las especies que más frecuentemente interfieren con los enemigos naturales. Samways (1990) describe un método de bandas pegajosas en árboles para controlar hormigas plaga que no es fitotóxico para la corteza del árbol.

PROVISIÓN DE REFUGIOS ARTIFICIALES PARA LOS ENEMIGOS NATURALES

Los nidos artificiales hechos de bolsas de polietileno han sido usados para manipular poblaciones de hormigas (*Dolichoderus thoracicus* Smith) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Malasia (Heirbaut y van Damme, 1992). La plantación de árboles hospederos favorables cerca de las huertas, ayuda a la formación de nidos de las hormigas tejedoras *Oecophylla smaragdina* (F.) en Asia (Figura 22-7).

Latas vacías colocadas en árboles frutales han sido usadas para aumentar las cantidades de tijeretas (Dermaptera) en frutales (Schonbeck, 1988) y bultos de paja han sido utilizados para aumentar las arañas en las plantaciones nuevas de arroz (Shepard *et al.*, 1989). Se han usado cajas para proporcionar sitios de hibernación para los adultos de *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Sengonca y Frings, 1989). La hibernación de *M. occidentalis* en huertos de manzanas en China (introducido de California), ocurrió solamente después de que se crearon sitios de hibernación alrededor de los troncos de los árboles. Estos sitios consistieron de algodón de desperdicio sostenido en los troncos con hojas plásticas o de montones de hojas y hojarasca de pasto en la base de los árboles (Deng *et al.*, 1988). Las poblaciones de aves insectívoras de bosque han sido reforzadas con la provisión de cajas de anidamiento (Bruns, 1960). La densidad de lechuzas (*Tyto alba* L.) en plantaciones de aceite de palma en Malasia han sido incrementadas al proporcionarles cajas de anidamiento, reforzando el control de las ratas (Mohd 1990).



Figura 22-7. Nido de la hormiga tejedora *Oecophylla smaragdina* (F.). (Fotografía cortesía de Grace Kim.)

CONCLUSIÓN

Muchas predicciones teóricas sugieren que sería posible mejorar el ambiente de los cultivos para los enemigos naturales y aumentar su potencial para el control de plagas. Sin embargo, si será útil o no un cambio particular del cultivo o de su manera de producir, debe ser determinado con la experimentación local. La economía de estos programas de conservación de enemigos naturales también depende de circunstancias locales, y tales problemas económicos a menudo determinan si una práctica en particular será o no adoptada por los agricultores. En el presente, este enfoque del uso de enemigos naturales está siendo estudiado para determinar la magnitud de su potencial de aplicación práctica.

