



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1518-4277

Dezembro, 2002

Documentos 21

Manejo da Resistência de Insetos-Praga a Inseticidas, com Ênfase em *Spodoptera frugiperda* (Smith)

Ivan Cruz

Sete Lagoas, MG
2002



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 km 45
Caixa Postal 151
35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3779 1000
Fax: (31) 3779 1088
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Ivan Cruz
Secretário-Executivo: Frederico O.M. Durães
Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e Paulo Afonso Viana

Supervisor editorial: José Heitor Vasconcellos
Revisor de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

1ª edição

1ª impressão (2002): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Cruz, Ivan

Manejo da resistência de insetos-praga a inseticidas,
com ênfase em *Spodoptera frugiperda* (Smith) / Ivan Cruz.

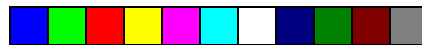
Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002.

15p.(Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 21)

1. *Spodoptera frugiperda*-Inseticida-Resistência. 2. Inseticida -
Manejo-Resistência. I. Título. II. Série.

© Embrapa 2002



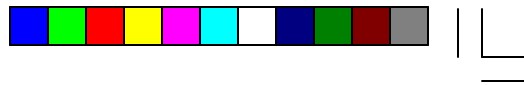


Autor

Ivan Cruz

PhD, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 km 65 - Cx. Postal 151
35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3779-1004 Fax: (31) 3779-1088
ivancruz@cnpmc.embrapa.br





Apresentação

Um dos graves problemas enfrentado pelo agricultor em relação ao controle de insetos-pragas diz respeito ao aparecimento de populações resistentes aos inseticidas utilizados. Por desconhecer as maneiras apropriadas para enfrentar o problema ou até mesmo por desconhecer que o problema existe na área, o produtor geralmente toma decisões que acabam por agravar ainda mais a situação (aumento de dose, mistura de produtos, etc.). Nessa publicação procurou-se abordar o tema com o objetivo de conscientizar a todos que trabalham na agricultura e, em especial, com a cultura do milho, sobre o avanço que se tem verificado no aparecimento de populações resistentes a produtos químicos como no caso de *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho do milho) e sobre as maneiras como se deve enfrentar o problema.

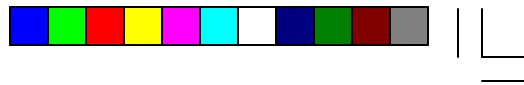
Ivan Cruz

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento



Sumário

Introdução	9
Detecção da Resistência	10
Mecanismos da Resistência de Insetos a Inseticidas	12
Base Genética da Resistência	14
Perspectiva genética no manejo da resistência	15
Aumento da dose do inseticida até que a resistência seja recessiva ou neutralizada	17
Uso de compostos que confirmam menores níveis de resistência	17
Tratamento visando os estágios de vida dos insetos mais vulneráveis	17
Uso de sinergismo para suprimir os mecanismos de resistência	18
Utilização de mistura de inseticidas	18



Decréscimo na dose de aplicação utilizando uma que mata a maioria dos insetos suscetíveis	19
Aplicação menos freqüente de inseticidas, de tal modo que os insetos suscetíveis tenham a oportunidade de reproduzir-se e, portanto, diluir a resistência pelo cruzamento com indivíduos resistentes	20
Uso de produtos químicos de curto período residual, evitando o uso de formulações de liberações controladas dos ingredientes ativos, de modo que somente a população-alvo seja eliminada; ou seja, evitar que os colonizadores subseqüentes sejam afetados	20
Propiciar refúgios para o escape dos indivíduos suscetíveis..	21
Fazer rotação dos pesticidas de modo que nem todas as gerações sejam expostas ao mesmo produto, evitando, porém, o tratamento espacial (em mosaico)	22
Manejo da Resistência de Spodoptera frugiperda a Inseticidas	23
Táticas de Manejo	24
Referências Bibliográficas	27





Manejo da Resistência de Insetos-Praga a Inseticidas, com Ênfase em *Spodoptera frugiperda* (Smith)

Ivan Cruz

Introdução



A resistência de Arthropoda a pesticidas é atualmente considerada um problema mundial, sendo documentada em mais de 440 espécies de insetos e ácaros (Tabashnik & Roush, 1990). É um processo evolucionário e seu desenvolvimento é simplesmente uma questão de pressão de seleção e tempo (Hoy, 1995). Portanto, uma das premissas básicas do desenvolvimento de qualquer tática de manejo deverá ser diminuir a velocidade de estabelecimento de populações com alta frequência de genes que conferem resistência a determinado agente de controle.



De maneira geral, o manejo da resistência a inseticidas deve basear-se na redução dos efeitos danosos dos pesticidas, através da diminuição do seu uso, e no prolongamento da eficácia de produtos que sejam ambientalmente seguros. O que normalmente ocorre em áreas onde o problema já existe e ainda não foi diagnosticado é o aumento da dose ou a frequência na aplicação dos produtos químicos. O manejo efetivo da resistência retardará seu surgimento e reduzirá seus





efeitos maléficos. Um sistema eficiente de monitoramento da resistência também diminuiria o número de aplicações de inseticidas já não eficientes como antes. O agravamento da situação leva à substituição de um inseticida por outro, que geralmente é de maior custo e menos compatível com outras medidas de controle. Por exemplo, quando a resistência ocorre para pesticidas considerados “seletivos” (tóxicos para determinadas pragas e pouco efeito sobre os seus agentes de controle biológico), eles geralmente são substituídos por outros mais tóxicos (e menos seletivos), que reduzirão a população dos inimigos naturais, rompendo o controle biológico até então efetivo, levando o controle da praga a depender quase que exclusivamente dos produtos químicos.

Portanto, é fundamental o entendimento sobre os fatores envolvidos com a resistência dos insetos aos inseticidas, pois somente assim será possível delinear técnicas adequadas para seu manejo.

Deteccção da Resistência

Segundo French-Constant & Roush (1990), a ênfase tradicional para se detectar resistência tem sido o desenvolvimento de técnicas que medem mudanças na resistência fisiológica de determinado organismo em condições de laboratório. Tais técnicas (inclusive adotadas como padrões pela FAO e pela Organização Mundial da Saúde), geralmente utilizam aplicações tópicas de ingredientes ativos dissolvidos em solventes apropriados, para se calcular a dose letal média (LD_{50} ou LC_{50}) em função do peso corporal. No entanto, French-Constant & Roush (1990) discutiram a necessidade do avanço em novas técnicas, para se detectar a resistência entre as diferentes espécies de pragas. Segundo esses autores, as técnicas de monitoramento irão diferir consideravelmente,



dependendo dos objetivos a serem atingidos, ou seja: a) meramente documentar a eficácia de um produto químico; b) determinar, com precisão, a frequência genotípica dos indivíduos resistentes; c) ter alta probabilidade de se detectar uma dada frequência de genótipos resistentes. Em geral, o monitoramento tem sido utilizado visando o primeiro objetivo, isto é, somente para confirmar se a falha no controle de uma praga foi causada pela resistência do inseto ao inseticida utilizado.

Brent (1986) enumerou sete possíveis objetivos no monitoramento da resistência:

1. Confirmar se a falha na eficiência de um pesticida é devido à resistência.
2. Medir e identificar de maneira precisa os genótipos resistentes.
3. Fornecer alerta precoce sobre a probabilidade de insucesso no controle da praga.
4. Determinar mudanças na distribuição ou severidade da resistência.
5. Fazer recomendações dos pesticidas menos afetados pela resistência.
6. Medir as características biológicas dos genótipos em condições de campo.
7. Avaliar a eficiência das táticas de manejo da resistência.

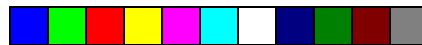
Um dos aspectos mais promissores do manejo da resistência na perspectiva de reduzir o uso de pesticidas é o desenvolvimento de métodos rápidos que permitam aos usuários escolher os inseticidas mais eficientes, seguros ou mais baratos, entre aqueles afetados pela resistência (French-Constant & Roush, 1990).

As técnicas disponíveis para monitorar resistência de insetos aos produtos químicos geralmente caem em duas categorias: testes “*in vivo*” utilizando indivíduos intactos, os quais são expostos aos produtos, e testes “*in vitro*”, em que são utilizadas técnicas bioquímicas que determinam a atividade enzimática ou a natureza ou quantidade de DNA que codifica genes específicos de resistência, utilizando preparações de insetos. Na verdade, as duas técnicas mencionadas são complementares. As técnicas *in vivo* geralmente servem para a detecção inicial da resistência, enquanto que as técnicas bioquímicas são utilizadas para identificar e monitorar, de maneira precisa, genótipos resistentes em baixas frequências, o que é um atributo essencial para estabelecer as estratégias de manejo da resistência e melhorar as recomendações sobre o uso de produtos químicos (Scott, 1990, 1995).

Mecanismos da Resistência de Insetos a Inseticidas

Segundo Scott (1990), existem várias razões para se estudar os mecanismos pelos quais as pragas tornam-se resistentes aos inseticidas. Tais estudos são importantes, pois, além de elucidarem os aspectos básicos envolvidos com a resistência aos inseticidas, fornecem informações importantes para o manejo de espécies-alvos. Por exemplo, conhecendo-se a base bioquímica da resistência, é possível delinear técnicas de monitoramento altamente sensíveis, que serão fundamentais para o desenvolvimento, com sucesso, de programas de manejo da resistência.

Outro fator a considerar é a importância do conhecimento sobre a resistência cruzada (proteção contra mais de um inseticida pela ação de apenas um mecanismo de ação). Geralmente, quando uma praga não é mais controlada por um determinado inseticida antes utilizado de maneira rotineira, a



tendência imediata do agricultor é tentar outro ou vários outros inseticidas diferentes. O sucesso no controle da praga com essa medida não será alcançado se houver o envolvimento de resistência cruzada que inclua o novo produto. Por outro lado, conhecendo-se o mecanismo de resistência, a escolha do produto alternativo seria facilitada (produto não afetado pela resistência). De maneira similar, a alternância ou mistura de produtos, como estratégia de manejo da resistência para o controle de uma praga diagnosticada como resistente a determinado produto, somente pode alcançar o sucesso desejado se não houver resistência cruzada entre os inseticidas utilizados (Georghiou, 1983). Em outras palavras, a identificação real ou potencial dos mecanismos de resistência é necessária para maximizar a probabilidade de sucesso de qualquer programa de manejo da resistência.

Existem três mecanismos básicos envolvidos na resistência a inseticidas (Scott, 1990, 1995):

- A) diminuição da penetração cuticular
- B) aumento da taxa de desintoxicação do produto químico via metabolismo.
- C) aumento da insensibilidade nos locais de maior ação dos produtos.

Os métodos mais comuns e facilmente utilizáveis para se determinar os mecanismos fisiológicos da resistência a inseticidas neurotóxicos foram discutidos por Scott (1990, 1995):

1. Monitoramento da taxa de penetração do inseticida ao final de determinado tempo (geralmente menos de oito horas).
2. Estudos metabólicos

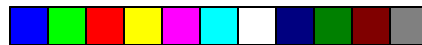
3. Estudos eletrofisiológicos
4. Testes enzimáticos
5. Uso de produtos sinérgicos

Segundo Scott (1995), o método ideal para a detecção dos mecanismos de resistência é aquele que seja rápido, de baixo custo, fácil de ser utilizado, capaz de diagnosticar todos os tipos de resistência e detectar os genes de resistência em frequência de até 1%. Infelizmente, esse método ideal ainda não existe. Scott (1995) considerou pouco provável que tal método seja desenvolvido. Considera, no entanto, que deve-se confiar nos métodos tradicionais, principalmente aqueles que utilizam bioensaios e técnicas bioquímicas.

Base Genética da Resistência

Há anos que se sabe do fenômeno evolucionário da resistência (Dobzhansky, 1951). Portanto, a resistência a pesticidas não pode ser totalmente entendida sem dados genéticos. Para isso, é necessária uma descrição completa da herança da resistência, que inclui a determinação do número de genes envolvidos, a relação de dominância entre genótipos e a base genética da herança cruzada (Roush & Daly, 1990). Segundo esses autores, os estudos da herança da resistência geralmente envolvem o cruzamento entre raças suscetíveis e raças resistentes, em laboratório. Mais recentemente, tem-se utilizado a biologia molecular para mostrar mudanças específicas no DNA que causam a resistência. Em geral, todos esses estudos mostram que a resistência pode ocorrer por uma mudança genética em apenas um loco genético, seja por amplificação do gene ou por substituição alélica.

O primeiro passo na análise genética da resistência é caracterizar a raça resistente e a suscetível. Na maioria dos casos, a raça suscetível é aquela que tenha estado protegida



contra a exposição ao produto-alvo. São geralmente populações mantidas em laboratório, por vários anos. A raça resistente é coletada no campo ainda em homozigose para o gene ou genes de resistência. Visando garantir a homozigose para resistência, as populações amostradas são sistematicamente selecionadas por uma ou várias gerações, em laboratório. O passo seguinte é realizar cruzamentos recíprocos (fêmeas resistentes com machos suscetíveis e vice-versa), principalmente para avaliar o F1 resultante, para evidenciar os efeitos maternos ou ligados ao sexo e, também, para avaliar a homozigose dos pais (Roush & Daly, 1990).

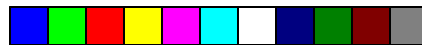
Os resultados dos estudos genéticos sugerem que genes maiores são encontrados em uma alta percentagem de casos envolvendo a resistência a inseticidas e acaricidas. Em outras palavras, um só gene é suficiente para que a resistência seja detectada. Isso não significa, porém, que a resistência seja sempre estritamente monogênica (Roush & Daly, 1990)

Perspectiva genética no manejo da resistência

As táticas de manejo da resistência foram enquadradas por Georghiou (1983) em três categorias: manejo por moderação (diminuição da mortalidade por qualquer produto), manejo por saturação (saturação do mecanismo de resistência por doses mais elevadas ou por sinergismo) e manejo por ataque múltiplo: utilização de pesticidas alternados ou em mistura. Segundo o autor, geralmente são utilizadas duas ou mais táticas simultaneamente.

Roush & Daly (1990), baseados na perspectiva genética, enumeraram as táticas que de alguma maneira já tinham sido utilizadas no manejo da resistência:

- a. Aumento da dose do inseticida até que a resistência seja recessiva ou neutralizada.
- b. Uso de compostos que confirmam menores níveis de resistência.
- c. Tratamento visando os estágios de vida dos insetos mais vulneráveis.
- d. Uso de sinergismo para suprimir os mecanismos de resistência.
- e. Utilização de mistura de inseticidas.
- f. Decréscimo na dose de aplicação, utilizando uma que mata a maioria dos insetos suscetíveis (ou seja, é importante não eliminar todos os insetos suscetíveis).
- g. Aplicação menos freqüente de inseticidas, de tal modo que os insetos suscetíveis tenham a oportunidade de reproduzir e, portanto, diluir a resistência pelo cruzamento com indivíduos resistentes.
- h. Uso de inseticidas de curto período residual, evitando o uso de formulações de liberações controladas dos ingredientes ativos, de modo que somente a população-alvo seja eliminada; ou seja, evitar que os colonizadores subseqüentes sejam afetados.
- i. Propiciar refúgios para o escape dos indivíduos suscetíveis.
- j. Fazer rotação dos inseticidas, de modo que nem todas as gerações sejam expostas ao mesmo produto, evitando, porém, o tratamento espacial (em mosaico – aplicação de diferentes inseticidas em subdivisões de determinada área, numa mesma época).



As táticas listadas apresentam pontos positivos e negativos, dependendo da situação, como discutido por Roush & Daly (1990) e sumariados abaixo.

Aumento da dose do inseticida até que a resistência seja recessiva ou neutralizada

Na teoria, se a concentração do inseticida for alta o suficiente para matar os insetos heterozigotos (considerando que a resistência seja recessiva), se a frequência da resistência for suficientemente baixa de modo que poucos indivíduos homozigotos resistentes possam ser encontrados na população, e se relativamente altas frequências de indivíduos suscetíveis escapam da exposição ao produto químico e cruzam com indivíduos resistentes sobreviventes, de modo a assegurar que deles não haverá produção de progênie, o aumento na frequência de indivíduos resistentes será muito baixo.

Uso de compostos que confirmam menores níveis de resistência

Dentro de qualquer grupo de pesticidas envolvido em resistência cruzada, geralmente o nível de resistência varia. O inseticida ideal será aquele que melhor discriminar os genótipos resistentes dos suscetíveis.

Tratamento visando os estágios de vida dos insetos mais vulneráveis

A utilização de tratamento químico visando os estágios da praga que apresentam os menores níveis de resistência pode contribuir para retardar o avanço da resistência dentro da população. A premissa básica do conceito é que a adaptação relativa de uma população varia com os seus estágios de desenvolvimento. Em outras palavras, alguns mecanismos de

resistência podem não ser expressos em alguns estágios. Em outros casos, alguns estágios podem ser tão suscetíveis que são eliminados (mortos) antes que a resistência seja expressa em outros estágios de vida da espécie. Por exemplo, larvas de *Heliothis armigera* resistentes podem ser facilmente mortas por inseticidas quando esses são aplicados sobre larvas neonatas, ao passo que larvas mais desenvolvidas não morreriam. Tanto larvas suscetíveis quanto resistentes a piretróides são mortas por esses produtos quando aplicados sobre larvas de até três dias de idade, sugerindo que não ocorre seleção para resistência em larvas recém-nascidas, como apontado por Dali et al. (1988). O problema é que, muitas vezes, as gerações da praga não são sincronizadas, ocorrendo, na mesma época e local, insetos de diferentes estágios de desenvolvimento.

Uso de sinergismo para suprimir os mecanismos de resistência

Um produto sinergista, quando aplicado com um inseticida, aumenta a potência desse, por bloquear a ação dos mecanismos de resistência e, portanto, reduzir a discriminação entre genótipos resistentes e suscetíveis. Os sinergistas podem somente ser utilizados efetivamente em situações em que: houver apenas um mecanismo de resistência; se a resistência não evoluir subsequente para a combinação sinergista + inseticida; se o sinergista for estável em condições de campo; possua baixa toxicidade para mamífero e se for competitivo em preço. Entre os produtos sinergistas, o butóxido de piperonila tem sido um dos mais utilizados na agricultura.

Utilização de mistura de inseticidas

De todas as estratégias propostas para manejar a resistência, as misturas de inseticidas são as mais controvertidas. Se alelos resistentes ocorrem em locos separados, em uma população



com frequência muito baixa, é improvável que um indivíduo qualquer seja portador de ambos alelos. Se indivíduos suscetíveis, não expostos aos inseticidas, são relativamente abundantes e acasalam ao acaso com os sobreviventes resistentes, as misturas podem atrasar o desenvolvimento da resistência (Curtis, 1985). Ou seja, o uso de um segundo inseticida elimina muitas das vantagens dos sobreviventes de se ter a resistência ao primeiro produto e, conseqüentemente, reduz a discriminação entre genótipos.

Decréscimo na dose de aplicação utilizando uma que mata a maioria dos insetos suscetíveis

Essa tática pode ser muito útil quando medidas alternativas de controle são disponíveis. A estratégia é especialmente aplicada onde se usam inseticidas seletivos (ou onde os inimigos naturais são resistentes). Os agentes de controle biológico, por não serem afetados significativamente pelas doses utilizadas, acabam desempenhando um controle efetivo tanto dos insetos suscetíveis quanto dos resistentes (Roush, 1989).

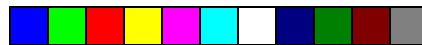
Curtis (1985), porém, considera que essa não é uma tática muito viável de ser utilizada no manejo da resistência. Segundo o autor, a utilização de dose que permita a sobrevivência de indivíduos suscetíveis com certeza permitirá até mesmo uma maior sobrevivência de indivíduos heterozigotos (a não ser que a resistência seja completamente recessiva), podendo ser esperado um aumento na frequência de indivíduos resistentes. Além do mais, antes que tal estratégia possa ser utilizada, visando o atraso da manifestação da resistência, é preciso permitir que uma fração significativa dos indivíduos suscetíveis sobreviva, o que pode não ser economicamente viável para muitos cultivos, em função dos danos causados.

Aplicação menos freqüente de inseticidas, de tal modo que os insetos suscetíveis tenham a oportunidade de reproduzir-se e, portanto, diluir a resistência pelo cruzamento com indivíduos resistentes

Essa estratégia pode ser conseguida pela utilização de um inseticida quando a população da praga esteja em um nível mais elevado do que o normal. Nesse caso, o conflito que aparece relaciona-se com a necessidade de controlar a praga e a necessidade de manejar a resistência. Obviamente, essa tática seria melhor viabilizada com a participação complementar de outras medidas de controle, tais como a presença dos inimigos naturais.

Uso de produtos químicos de curto período residual, evitando o uso de formulações de liberações controladas dos ingredientes ativos, de modo que somente a população-alvo seja eliminada; ou seja, evitar que os colonizadores subseqüentes sejam afetados

A resistência, segundo Taylor et al. (1983), parece ser menos freqüente quando são usados produtos ou formulações não persistentes. Ao contrário, a utilização de inseticidas (ou formulações) persistentes, que são funcionalmente equivalentes a aplicações freqüentes de produtos menos persistentes, acabam por impedir a entrada de indivíduos suscetíveis na área tratada. Além disso, pelas características dos produtos, especialmente em relação ao declínio dos resíduos, pode haver uma maior sobrevivência de indivíduos resistentes que seriam mortos pela concentração inicial. Dessa maneira, produtos ou formulações persistentes podem, em algum ponto, favorecer o aparecimento de maior freqüência de um alelo resistente, que é normalmente recessivo, aumentando, desse modo, a discriminação entre genótipos suscetíveis e resistentes.



Propiciar refúgios para o escape dos indivíduos suscetíveis

Como já observado, o recrutamento de genes suscetíveis dentro de uma população é importante para evitar o aparecimento rápido da resistência. Portanto, a preservação de refúgios, para os indivíduos suscetíveis se multiplicarem, é uma estratégia importante no manejo da resistência. Essa tática geralmente é aplicada com freqüência, embora inadvertidamente, na maioria dos cultivos, pois a mortalidade total dos insetos suscetíveis com as doses registradas dos produtos não é normalmente observada (Roush & Croft, 1986). No entanto, não existe evidência clara de que os indivíduos sobreviventes escaparam completamente da exposição ao químico ou se de fato foram atingidos pelo inseticida, porém, com uma dose não letal. Essa constatação é importante, devido ao seu impacto no desenvolvimento da resistência. No primeiro caso, ou seja, sem exposição dos insetos ao produto, não haveria seleção para resistência entre os indivíduos. No segundo caso, alguma seleção pode ter ocorrido. O único modo de assegurar que um refúgio verdadeiro possa ser utilizado é deixar algum habitat completamente sem tratamento químico. Uma maneira prática de conseguir isso é através do tratamento somente naqueles locais do campo onde são observadas populações que estejam causando danos mais elevados (controle em sítios específicos), ou mesmo criar refúgios permanentes, deixando sempre certas áreas sem aplicação de inseticidas.

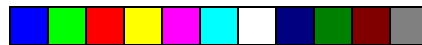
Outro modo de propiciar refúgios para genes suscetíveis tem sido tentado através do direcionamento do controle para insetos adultos, após o acasalamento. Quando a resistência está em baixa freqüência, e na ausência significativa de imigração, a seleção de fêmeas não copuladas leva a um aumento rápido na freqüência da resistência, quando

comparado com a seleção sobre fêmeas que já copularam totalmente. Fêmeas resistentes que copulam antes de serem atingidas pelos inseticidas podem carregar refúgios para os genes suscetíveis na forma de espermatozóides, ao passo que fêmeas que acasalaram após a aplicação dos inseticidas irão copular provavelmente com machos resistentes que tenham sobrevivido. Essa estratégia atinge maior sucesso para aquelas espécies que geralmente copulam apenas uma vez, como é o caso de certas espécies de Diptera. No entanto, acasalamentos múltiplos são comuns em insetos e, em muitas espécies, a fertilização é geralmente atribuída ao último macho que copula (Gwynne, 1984).

Para algumas espécies, pode ser necessário preservar os refúgios de maneira seletiva para as populações suscetíveis, enquanto se faz a erradicação dos refúgios de populações resistentes. Por exemplo, a queima de restos culturais para destruição de pupas em diapausa pode ser útil na redução de populações resistentes de espécies de Lepidoptera (Fitt & Forrester, 1988).

Fazer rotação dos pesticidas de modo que nem todas as gerações sejam expostas ao mesmo produto, evitando, porém, o tratamento espacial (em mosaico)

Considerando dois ou mais inseticidas com modo de ação e metabolismo diferentes, pode-se alternar seu uso a curto prazo (rotação), a longo prazo (introdução seqüencial) ou em aplicações espaciais (mosaico). Todos os três tratamentos limitam a pressão de seleção a qualquer dado loco. No entanto, simulações genéticas simples através de modelagem e experimentos sugerem que a rotação é mais eficiente do que o sistema mosaico (Curtis, 1985, Roush, 1989).



As diferentes táticas listadas anteriormente servem para esclarecer os componentes das estratégias de manejo da resistência de insetos a inseticidas. Entretanto, na prática, não são facilmente separáveis. Assim sendo, uma estratégia, mesmo bem desenhada, provavelmente incorrerá em alguns problemas, como os já mencionados. No entanto, alguns programas têm alcançado níveis razoáveis de sucesso, muito embora eles sejam conduzidos sem informações básicas sobre a expressão da resistência e da própria biologia da população da praga (Roush & Daly, 1990).

Embora o nível de sofisticação e sucesso nos programas de manejo da resistência possam ser melhorados, pela incorporação mais detalhada de informações genéticas e ecológicas, é possível escolher, entre as várias opções, pelo menos algumas que possam funcionar, mesmo que não se tenham informações suficientes sobre a dispersão da praga ou a existência de resistência cruzada (Roush, 1989).

Manejo da Resistência de Spodoptera frugiperda a Inseticidas

Spodoptera frugiperda é a principal praga da cultura de milho, no Brasil, causando severos prejuízos para a economia do país. Em virtude dessa situação, diferentes aspectos de sua bioecologia e controle têm sido enfatizados nas pesquisas (Cruz, 1997 ab; Cruz & Santos, 1984; Cruz & Bianco, 2001; Cruz et al., 1983, 1996, 1999 bc, Reis et al., 1988).

Em função de o seu controle depender quase que exclusivamente de inseticidas químicos, o inseto tem desenvolvido, ao longo do tempo, resistência às principais classes de inseticidas (Yu & Nguyen, 1994; Young & McMillian, 1979; Wood et al., 1981, Yu, 1991, 1992).

Segundo Yu (1991, 1992), o grau de resistência encontrado para piretróides pode variar de duas a 200 vezes, quando se compara uma raça suscetível com uma resistente. Para os organofosforados, essa variação foi de 11 a 517 vezes, sendo o maior grau de resistência observado para o metil paration. Para os carbamatos, entre dez e 507 vezes, sendo o maior valor encontrado para o carbaril. Leibee & Capinera (1995) encontraram, na Flórida, EUA, populações de *S. frugiperda* resistentes ao malathion, carbaril, metil paration, diazinon, triclorfon, fluvalinate, fipentrin e tralometrin.

Yu & Nguyen (1994), baseados em estudos bioquímicos, concluíram que o amplo espectro da resistência observado em raças de campo foi causado por mecanismos múltiplos, incluindo aumento da taxa de desintoxicação desses inseticidas por enzimas diversas e por insensibilidade da acetilcolinesterase. No Brasil, o problema da resistência da *S. frugiperda* a inseticidas, embora com poucos dados oficialmente documentados, pode ser visto em várias regiões produtoras de milho, onde o número de aplicações de inseticidas pode chegar a dez durante uma única safra (Cruz et al. 1999c). Estudos de laboratório mostraram que a herança da resistência dessa espécie à lambda-cialotrina é autossomal e incompletamente recessiva, sendo determinada por um gene principal, sob a influência de alguns genes secundários (Diez-Rodriguez, 2000).

Táticas de Manejo

Segundo Hoy (1995), táticas de manejo têm sido amplamente discutidas, mas tais táticas não têm dado resultados práticos no manejo da resistência, embora muito se tenha aprendido, nos últimos 40 anos, em relação aos mecanismos, herança e base molecular da resistência (Georgiou & Saito, 1983,



Corbett et al., 1984; Scott, 1990, 1995, Soderlund & Bloomquist, 1990). Ainda é muito difícil manejar a resistência, uma vez que já ocorra, na população da praga, entre 5 e 10% de indivíduos resistentes (Hoy, 1995). Segundo o autor, pode-se assumir que o desenvolvimento de resistência é quase um problema inevitável e não se deve pensar “se a resistência” irá aparecer. Na verdade, o pensamento correto é “quando” ela aparecerá. Considerando essa situação, geralmente o melhor que se pode fazer é retardar, em alguns anos, o desenvolvimento de altos níveis de resistência, através do uso menos freqüente de produtos químicos (Hoy, 1992). De qualquer maneira, uma estratégia mais eficiente para o manejo da resistência deverá combinar uma variedade de táticas de manejo de pragas com a redução no número e doses dos inseticidas aplicados. Em função dessa premissa, as táticas de manejo de resistência propostas por Hoy (1995) parecem apropriadas para diferentes pragas, incluindo *S. frugiperda*, tanto na cultura de milho quanto em outros hospedeiros, quais sejam:

1. Utilização de controle cultural.
2. Utilização de controle biológico.
3. Utilização de genótipos resistentes.
4. Utilização de controle bio-racional.
5. Utilização de inseticidas químicos compatíveis com agentes de controle biológico.
6. Utilização de monitoramento da praga para reduzir aplicações e doses desnecessárias de produtos químicos.
7. Ação conjunta entre empresas de insumos, produtores, extensionistas e pesquisadores.
8. Informações adicionais nos rótulos dos produtos, especialmente em relação à seletividade a inimigos naturais.

Hoy (1995) salientou que o melhor paradigma para o manejo da resistência em Arthropoda deve envolver uma mudança no padrão de utilização de inseticidas, com o que concordam vários pesquisadores (Croft, 1990 a, Tabashnik, 1990, Leeper et al., 1986). Os produtores rurais, os agentes de extensão rural e até mesmo os técnicos de revendas de produtos químicos devem conscientizar-se de que não se pode depender apenas dos inseticidas químicos como prática principal de manejo. Deve-se também considerar o aumento das pressões sociais, econômicas e ecológicas visando a redução do uso de inseticidas químicos. Com isso, fatalmente deve-se pensar no aumento do uso de táticas de controle que não envolvam os inseticidas químicos e, em especial, para a *S. frugiperda*, como salientado por Cruz (1994, 1995 ab, 1997 a, 2000 abc). A utilização de agentes de controle biológico já vem sendo avaliada há alguns anos, no Brasil, para o controle da praga (Cruz et al., 1997 ab, 1999 a, Figueiredo et al., 1999). A compatibilidade de inseticidas com esses agentes de controle biológico e mesmo com outras táticas de controle é um ponto crítico não só para a melhoria dos programas de manejo integrado e da qualidade ambiental, mas também para o manejo da resistência (Tabashnik & Croft, 1985, Croft, 1990 b). Embora a determinação da seletividade dos inseticidas em relação aos inimigos naturais das pragas seja um assunto complexo (Croft 1990 b, Hoy 1985 a, 1990), alguns resultados obtidos para a *S. frugiperda* podem ajudar na escolha dos produtos (Cruz, 1995a, 1997 a, Simões et al. 1998). Segundo Hoy (1985 b, 1992). Muitas vezes, um inseticida químico não é tóxico para alguns inimigos naturais importantes de pragas agrícolas, quando utilizados em doses que seriam suficientes para controlar uma determinada praga. No entanto, a dose recomendada no rótulo é muito mais alta. Tal dose rompe o



equilíbrio biológico, que poderia estar sendo efetivo no controle da praga, gerando, como consequência, aplicações adicionais do produto, que leva, sem necessidade, a uma seleção para resistência. Recomendações de doses de acordo com a situação deveriam constar no rótulo do produto.

Em resumo, para que se alcance sucesso no manejo da resistência de insetos a inseticidas, deve-se pensar na introdução efetiva das táticas de manejo integrado das pragas. Não se pode considerar o manejo da resistência como um programa separado do manejo integrado. Apesar da consciência de que o problema da resistência das pragas aos inseticidas é mundial e que precisamos diminuir o uso de tais químicos, não se deve esquecer que tais produtos ainda serão muito úteis em programas de manejo integrado, pois são altamente eficientes, de ação rápida, adaptáveis em muitas situações e relativamente econômicos. No entanto, deve-se reconhecer que, para um manejo efetivo da resistência, deve-se mudar a filosofia de uso dos produtos, dando lugar crescente ao uso de outras táticas de manejo, especialmente envolvendo o uso de controle biológico e de genótipos resistentes às pragas. Sempre deve-se manter o pensamento de que produtos químicos só poderão ser utilizados de maneira precisa (dose, época, etc.) e seletiva (sem romper o equilíbrio com os inimigos naturais).

Referências Bibliográficas

- BRENT, K. J. Detection and monitoring of resistant forms: an overview. In: NATIONAL ACADEMIC OF SCIENCE (Ed.). **Pesticides resistance: strategies and tactics for management**. Washington: Academic Press, 1986. p.298-312.
- CORBET, J. R.; WRIGHT, K.; BAILLIE, A. C. **The biochemical mode of action of pesticides**. 2.ed. New York: Academic Press, 1984. 382p.
- CROFT, B. A. **Arthropod biological control agents and pesticides**. New York: Wiley Interscience, 1990a. 732p.

CROFT, B. A. 1990b. Developing a philosophy and program of pesticide resistance management. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.).

Pesticides resistance in arthropod. New York: Chapman & Hall, 1990b. p.227-296.

CRUZ, I. Manejo integrado de pragas de milho com ênfase ao controle biológico. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE PRAGAS DA REGIÃO DO PARANAPANEMA, 1, 1994, Assis. **Anais...** Assis: Instituto biológico / CATI, 1994. p.26-40

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995a. 45p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 21).

CRUZ, I. Manejo Integrado de pragas de milho com ênfase para o controle biológico. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE PRAGAS, 4., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Biológico de São Paulo,/Sociedade Entomológica do Brasil, 1995b. p.48-92. Coordenado por Antônio Batista Filho.

CRUZ, I. Manejo de pragas na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L. ; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção de milho.** Piracicaba: Publique, 1997a. p.18-39.

CRUZ, I. Manejo integrado da lagarta-do-cartucho do milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO: "SAFRINHA", 4., 1997, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997b. p.189-195.

CRUZ, I. Manejo de pragas da parte aérea da cultura do milho. In: SANDINI, I. E.; FANCELLI, A L. **Milho: estratégias de manejo para a região sul.** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000a. p.165-178.

CRUZ, I. Métodos de criação de agentes entomófagos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). In: BUENO, V. H. P. **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade.** Lavras: UFLA, 2000b. cap.7, p.111-135.

CRUZ, I. Utilização do Baculovirus no controle da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda*. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico.** Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000c. v.3, cap.8, p.201-230.

CRUZ, I.; BIANCO, R. Manejo de pragas na cultura de milho safrinha. In: SEMINARIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA,6.; SEMINARIO NACIONAL DE POS COLHEITA SAG-MERCOSUL,2.; SIMPOSIO EM



- ARMAZENAGEM QUALITATIVA DE GRAOS DO MERCOSUL,2., 2001, Londrina, PR. **Valorização da produção e conservação de grãos no Mercosul: resumos e palestras.** Londrina: FAPEAGRO, 2001. p.79-112.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; VALICENTE, F. H.; OLIVEIRA, A. C. Application rate trials with a nuclear polyhedrosis virus to control *Spodoptera frugiperda* (Smith) on maize. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.26, n.1, p.145-152, 1997a.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, D. A. N.; DINIZ, E. E. Efeito da idade de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no desempenho do parasitóide *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae) e consumo foliar por lagartas parasitadas e não-parasitadas. **Anais Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 13-18, 1997b.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; MATOSO, M. J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma*.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999a. 40p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica,30).
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; OLIVEIRA, A C.; VASCONCELOS, C. A. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotype cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, London, v.45, n.4, p.293-296, Oct./Dec 1999b.
- CRUZ, I.; OLIVEIRA, L.J.; VASCONCELOS, C.A. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 25, p. 293-297, 1996.
- CRUZ, I.; SANTOS, J. P.; WAQUIL, J. M.; BAHIA, F. G. T. F. C. Controle da lagarta-do-cartucho com inseticidas aplicados mecanicamente nas culturas de milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.6, p.575-581, 1983.
- CRUZ, I.; SANTOS, J.P. Diferentes bicos do tipo leque no controle da lagarta-do-cartucho em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 1-7, 1984.
- CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. **Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999c. 39p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 31).

CURTIS, C. F. Theoretical models of the use of insecticide mixtures for the management of resistance. **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 75, p. 259-265, 1985.

DALI, J.; FISK, J. H.; FORRESTER, N. W. Selective mortality in field trials between strains of *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) resistant and susceptible to pyrethroids: functional dominance of resistance and age class. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 81, p.1000-1007, 1988.

DIEZ-RODRIGUES, G. I. **Herança e custo do valor adaptativo da resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) ao piretróide lambda-cialotrina**. 2000. 59 f. Tese (Mestrado) – Universidade São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DOBZHANSKY, T. **Genetics and the origin of species**. New York: Columbia University Press, 1951.

FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; DELLA LUCIA, T. M. Controle integrado de *Spodoptera frugiperda* utilizando-se o parasitóide *Telenomus remus* Nixon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 34, p. 1975-1982, 1999.

FITT, G. P.; FORRESTER, N. W. Overwintering of *Heliothis* – the importance of stubble cultivation. **Australian Cotton Grower** v. 8, p. 7-8, 1988.

FFRENCH-CONSTANT, R.; ROUSH, R. T. Resistance detection and documentation: the relative roles of pesticidal and biochemical assays. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990. p.4-38.

GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. **Pest resistance to pesticides**. New York : Plenum Press, 1983. 809p.

GEORGHIOU, G. P. Management of resistance in Arthropods. In: GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. (Ed.). **Pest resistance to pesticides**. New York: Plenum Press, 1983. p.769-792.

GWYNNE, D. T. Male mating effort, confidence of paternity and insect sperm competition. In: SMITH, R. L. (Ed.). **Sperm competition and the evolution of animal mating systems**. New York: Academic Press, 1984. p.117-149.

HOY, M. A. Almonds: integrated mite management for California almond orchards. In: HELLE, W.; SABELIS, M. W. (Ed.). **Spider mites, their biology, natural enemies, and control**. Amsterdam: Elsevier, 1985a. v.1B, p.299-310.



HOY, M. A. Recent advances in genetics and genetic improvement of the Phytoseiidae. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v.30, p.345-370, 1985b.

HOY, M. A. Pesticide resistance in arthropod natural enemies: variability and selection responses. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.).

Pesticides resistance in arthropod. New York : Chapman & Hall, 1990. p.203-236.

HOY, M. A. Proactive management of pesticide resistance in agricultural pest. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 20, p. 93-97, 1992.

HOY, M. A. Multitactic resistance management: an approach that is long overdue. **Florida Entomologist**, Gainesville, v.78, p. 443-451, 1995.

LEEPER, J. R.; ROUSH, R. T.; REYNOLDS, H. T. Preventing or managing resistance in arthropods. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Pesticide resistance: strategies and tactics for management**. Washington: National Academy Press, 1986. p.335-346.

LEIBEE, G. L.; CAPINERA, J. L. Pesticide resistance in Florida insects limits management options. **Florida Entomologist**, Gainesville, v.78, p.386-399, 1995.

REIS, L.L.; OLIVIERA, L.J.; CRUZ, I. Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.333-342, 1988.

ROUSH, R. T. Designing resistance management programs: how can you choose? **Pesticide Science**, Oxford, v.26, p.423-441, 1989.

ROUSH, R. T.; DALY, J. C. The role of population genetics in resistance research and management. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990. p.97-152.

ROUSH, R. T.; CROFT, B. A. Experimental population genetics and ecological studies of pesticide resistance in insects and mites. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL **Pesticide resistance: strategies and tactics for management**. Washington: National Academy Press, 1986. p.257-270.

SCOTT, J. C. Investigating mechanisms of insecticide resistance: methods, strategies, and pitfalls. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York : Chapman and Hall, 1990. p.39-57.

SCOTT, J. A. The molecular genetics of resistance: resistance as a response to stress. **Florida Entomologist**, Gainesville, v.78, p.399-414, 1995.

- SIMÕES, J. C.; CRUZ, I.; SALGADO, L. O. Seletividade de inseticidas às diferentes fases de desenvolvimento do predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). **Anais Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.27, n.2, p.247-252, 1998.
- SODERLUND, D. M.; BLOOMQUIST, J. R. Molecular mechanisms of insecticide resistance. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990. p.58-96.
- TABASHNIK, B. E. Modeling and evaluation management tactics. p. 153-182. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticides resistance in arthropod**. New York: Chapman & Hall, 1990. p.153-182.
- TABASHNIK, B. E.; CROFT, B. A. Evolution of pesticide resistance in apple pests and their natural enemies. **Entomophaga**, Paris, v.30, p.37-49, 1985.
- TABASHNIK, B. E.; ROUSH, R. T. Introduction. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990. p.1-3.
- TAYLOR, C. E.; QUAGLIA, F.; GEORGHIOU, G. P. Evolution of resistance to insecticides: a cage study on the influence of migration and insecticide decay rates. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.76, p.704-707, 1983.
- WOOD, K. A.; WILSON, B. H.; GRAVES, J. B. 1981. Influence of host plant on the susceptibility of the fall armyworm to insecticides. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.74, p.96-98, 1981.
- YOUNG, J. R.; McMILLIAN, W. W. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.72, p.202-203, 1979.
- YU, S. J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, New York, v.39, p.84-91, 1991.
- YU, S. J. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.86, p. 680-683, 1992.
- YU, S. J.; NGUYEN, S. N. Inheritance of carbaryl resistance and microsomal oxidases in the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, College Park, v.87, p.301-304, 1994.