

Efeito do sinergista butóxido de piperonila na resistência de *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) a deltametrina e fenitrotiom¹

Helenara dos Santos Beckel², Irineu Lorini³ & Sonia M. N. Lazzari⁴

¹Contribuição N° 1557 do Departamento de Zoologia, da Universidade Federal do Paraná. Parte da tese de Doutorado em Entomologia do 1º autor, Convênio Embrapa Trigo-UFPR.

²R. Cel. Miranda, 651/603, 99025-050 Passo Fundo-RS. helenara@via-rs.net

³Embrapa Trigo-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo; Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo-RS. ilorini@cnpt.embrapa.br

⁴Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná. Caixa Postal 19020, 81531-980 Curitiba-PR. lazzari@ufpr.br

ABSTRACT. Synergistic effect of piperonyl butoxide on the resistance of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) to deltamethrin and fenitrothion. The use of synergists is an important tool to determine resistance mechanisms in insect species. In this research, the synergist piperonyl butoxide (PBO) was used, in different proportions, to evaluate the relative contribution of oxidase enzymes in the metabolism of the organophosphorous insecticide fenitrothion and the pyrethroid deltamethrin, on four *Oryzaephilus surinamensis* strains: OS1 (susceptible) and OS2, OS3 and OS4 (resistants). The synergist increased deltamethrin toxicity significantly in resistant strains, indicating that oxidases play an important role in deltamethrin resistance. On the other hand, PBO showed antagonistic effect to fenitrothion, reducing its toxicity significantly, indicating that this synergist is not adequate for mixtures with organophosphorous compounds.

KEYWORDS. Organophosphorous insecticide; pyrethroid insecticide; synergism.

RESUMO. Efeito do sinergista butóxido de piperonila na resistência de *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) a deltametrina e fenitrotiom. A utilização de sinergistas é uma importante ferramenta para determinar os mecanismos envolvidos na resistência de insetos. Nesta pesquisa, o sinergista butóxido de piperonila (PBO) foi usado, em diferentes proporções, para avaliar a contribuição relativa de enzimas oxidases no metabolismo do inseticida organofosforado fenitrotiom e do piretróide deltametrina, em quatro populações de *Oryzaephilus surinamensis*: OS1 (suscetível) e OS2, OS3 e OS4 (resistentes). O sinergista aumentou, significativamente, a toxicidade da deltametrina nas populações resistentes, indicando que as oxidases exercem uma importante função na resistência a este inseticida. Para o fenitrotiom, o PBO apresentou um efeito antagonista, diminuindo significativamente a toxicidade do inseticida em todas as populações, indicando que este sinergista não é o mais apropriado para a mistura com compostos organofosforados.

PALAVRAS-CHAVE. Inseticidas organofosforados; inseticidas piretróides; sinergismo.

No Brasil, a espécie *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera, Silvanidae) é encontrada praticamente em todas as unidades armazenadoras, onde por seus danos contribui para a deterioração de grãos (Lorini 2001).

Testes desenvolvidos com populações da praga, procedentes da região sul do Brasil (Beckel *et al.* 2002), detectaram níveis de resistência a inseticidas organofosforados e piretróides, amplamente utilizados para o controle das pragas de produtos armazenados. Entretanto, esses testes não determinam como se deve manejar as populações de pragas resistentes e, para desenvolver novas estratégias de controle da praga, é imprescindível entender melhor a origem e o desenvolvimento da resistência.

Em geral, os mecanismos de resistência de insetos a inseticidas são incluídos em três categorias: a) redução da penetração do inseticida pela cutícula do inseto; b) redução da sensibilidade no sítio de ação do inseticida pelo sistema nervoso; e c) detoxificação ou metabolização do inseticida por enzimas (Oppenoorth 1985; Hemingway 2000; Lorini & Beckel 2002). O comportamento dos insetos frente a inseticidas é um quarto mecanismo que recentemente vem sendo estudado, e tem sido verificado pela repelência de inseticidas exercida

sobre as pragas (Hodges & Meik 1986), e por alterações de comportamento provocadas pelos químicos (Lorini & Galley 1998; Beckel *et al.* 2004).

O metabolismo ou detoxificação é, provavelmente, o mecanismo mais estudado de resistência de insetos a inseticidas. Este mecanismo permite ao inseto modificar ou detoxificar o inseticida a uma taxa suficiente o bastante para prevenir a ação no sítio alvo (Fukuto & Mallipudi 1983). A degradação do inseticida pode ocorrer por vários processos metabólicos nos quais o produto é convertido em uma forma não tóxica ou mesmo eliminado rapidamente do corpo do inseto. Várias enzimas e sistemas enzimáticos estão envolvidos, como as esterases, oxidases, transferases e outras enzimas que aumentam sua eficiência ou sua quantidade nas populações resistentes (Yu & Nguyen 1992; Hemingway 2000). As oxidases e transferases são enzimas ubíquas que estão comumente envolvidas na detoxificação de numerosos compostos. Já as esterases são de maior importância, especificamente na detoxificação de organofosforados (Conyers *et al.* 1998). A resistência associada com esses processos é controlada primariamente por genes localizados no cromossomo II, na mosca doméstica, e parece ser herdada de uma maneira

intermediária a parcialmente dominante (Plapp & Wang 1983).

A interação entre mecanismos de detoxificação metabólica e espécies de insetos resistentes a inseticidas pode ser constatada através do uso de sinergistas (Wilkinson 1983; Hinks & Spurr 1991), os quais representam uma importante ferramenta de laboratório (Raffa & Priester 1985).

A ação do sinergista minimiza a quantidade de inseticida químico necessária para o controle de insetos, pois age como um substrato alternativo, poupando o inseticida da detoxificação, ou reage com outro sítio no sistema enzimático, prevenindo a detoxificação do inseticida (Casida 1970), aumentando assim a letalidade dos mesmos nas populações resistentes (Brindley & Selim 1984). Além disso, os sinergistas, quando misturados com inseticidas, podem minimizar a contaminação ambiental dos resíduos de inseticidas persistentes e preservar insetos benéficos, como indicaram Raffa & Priester (1985).

Os sinergistas têm sido intensamente empregados na tentativa de superar o problema de resistência e ajudar a controlar pragas no campo e, particularmente, em ambientes de grãos armazenados. Em algumas espécies de coleópteros de produtos armazenados houve comprovação da resistência bioquímica, como indicado por Subramanyam *et al.* (1989) utilizando inseticidas combinados com sinergistas. Esses autores observaram que a enzima carboxilesterase estava envolvida na detoxificação de malatim em adultos resistentes de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera, Tenebrionidae); enquanto que oxidases e esterases são responsáveis pela detoxificação de clorpirifós-metil em adultos de *O. surinamensis*.

Lorini & Galley (2000) mostraram que o sinergista butóxido de piperonila (PBO) aumentou a toxicidade do inseticida deltametrina em uma maneira dose-dependente, em todas as proporções testadas em populações resistentes de *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Bostrichidae), indicando que enzimas oxidases multifuncionais (MFO) são importantes na detoxificação desse inseticida. Entretanto, para populações suscetíveis, a adição de PBO aumentou a toxicidade somente nas maiores proporções testadas. Esses autores também testaram o sinergista DEF (S,S,S-tributilfosforotritioato) com deltametrina, nas mesmas populações de *R. dominica*, e não encontraram um efeito sinergista significativo, constatando que enzimas esterases possivelmente não estejam envolvidas na resistência a deltametrina em *R. dominica*.

Guedes *et al.* (1997a) demonstraram que a atividade específica da acetilcolinesterase diferiu significativamente entre populações resistentes e suscetíveis de *R. dominica*, indicando que a atividade aumentada da acetilcolinesterase parece estar associada com a resistência a organofosforados. E, com relação à resistência bioquímica aos piretróides, estudos de Collins (1990), com a espécie *T. castaneum*, indicam que o aumento do metabolismo enzimático na molécula do inseticida envolve oxidação e/ou hidrólise por ésteres.

Assim, informações sobre a toxicologia de inseticidas químicos e a identificação de mecanismos de resistência, no

sentido de distinguir um sistema enzimático de outro, podem ser obtidas por investigações apropriadas com sinergistas. O butóxido de piperonila, o qual inibe as MFOs, tem sido usado como sinergista com inseticidas organofosforados e piretróides para controlar pragas de grãos armazenados com excelentes resultados (Samson *et al.* 1990; Daghli *et al.* 1995; Lorini & Galley 2000).

A proposta deste estudo foi investigar os mecanismos de resistência em populações de *O. surinamensis* ao inseticida organofosforado fenitrotiom e ao piretróide deltametrina, com base em bioensaios utilizando o sinergista butóxido de piperonila.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro populações de *O. surinamensis* foram utilizadas nos experimentos: OS1, OS2 OS3 e OS4, coletadas em 1998, nos municípios de Passo Fundo-RS, Ubiratã-PR, Santo Ângelo-RS e Saldanha Marinho-RS, respectivamente.

A população OS1 foi considerada suscetível, e as populações OS2, OS3 e OS4, resistentes aos inseticidas fenitrotiom e deltametrina (Beckel *et al.* 2002).

Foram utilizados indivíduos da décima geração (F_{n+10}) das populações OS1, OS2 e OS3, mantidos em grãos de trigo. Para a população OS4, indivíduos da nona geração (F_{n+9}) foram utilizados para os testes com fenitrotiom, e da oitava geração (F_{n+8}) para os testes com deltametrina.

Dois experimentos foram realizados, um com o inseticida fenitrotiom e outro com o inseticida deltametrina. Cada população foi testada sobre papel filtro impregnado com cinco concentrações de fenitrotiom (Sumigran 500 CE) e cinco de deltametrina (Decis 25 CE). As concentrações, de cada inseticida separadamente, foram combinadas com cinco proporções de PBO (1:0, 1:5, 1:10, 1:15 e 1:20), as quais foram calculadas sobre a quantidade de ingrediente ativo dos inseticidas utilizados em cada concentração. Ou seja, no primeiro experimento foi usada uma parte de fenitrotiom + zero de PBO; uma parte de fenitrotiom + 5 partes de PBO; uma parte de fenitrotiom + 10 partes de PBO; uma parte de fenitrotiom + 15 partes de PBO e uma parte de fenitrotiom + 20 partes de PBO. Para o segundo experimento foram usadas as mesmas proporções de deltametrina e PBO do primeiro experimento.

Os bioensaios foram executados seguindo o método recomendado pela FAO (1974), com algumas modificações para a espécie em estudo, em sala climatizada mantida a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de UR. Cada população foi submetida a cinco tratamentos com o inseticida e um controle sem inseticida. Os inseticidas fenitrotiom 500 g i.a./L (Sumigran 500 CE) e deltametrina 25 g i.a./L (Decis 25 CE) foram diluídos em éter de petróleo, adicionado o sinergista PBO, para as concentrações estabelecidas (1%, 0,5%, 0,25%, 0,125% e 0,0625%) e 1,0 ml da concentração foi distribuído sobre o papel filtro de 9 cm de diâmetro, colocado em placas de Petri, em quatro repetições. Após a evaporação do solvente, 10 insetos adultos, não sexados, de 1-20 dias de idade, foram liberados no interior de cada placa.

Tabela I. Parâmetros de mortalidade para adultos de *Oryzaephilus surinamensis* das populações OS1, OS2, OS3 (F_{n+10}) e OS4 (F_{n+9}), testadas com fenitrotiom (Fe) (1%, 0,5%, 0,25%, 0,125% e 0,0625%) + diferentes proporções de butóxido de piperonila (PBO), a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $65 \pm 5\%$. Valores da CL_{50} em mg/cm^2 de fenitrotiom. Passo Fundo, RS, 2003.

Proporção Fe + PBO	CL_{50} (95% lim. conf.) ¹	a	EP_a	b	EP_b	Razão ²
OS1:						
1+00	0,4653 (0,036-1,017) A	0,5063	0,2664	1,524	0,4464	-
1+05	0,2724 (0,000-0,842) A	0,6654	0,2696	1,178	0,4295	1,7
1+10	9,8650 (1,673-18,49) B	-1,2990	0,5951	1,307	0,3794	-21,2
1+15	15,650 (0,000-38,66) C	-0,8613	0,5585	0,721	0,3423	-33,6
1+20	19,640 (11,86-27,74) C	-2,7170	0,6276	2,101	0,4043	-42,2
OS2:						
1+00	1,556 (1,128-1,979) B	-0,6873	0,2761	3,578	0,5680	-
1+05	1,168 (0,218-2,147) A	-0,0845	0,2481	1,255	0,3703	1,3
1+10	20,29 (7,365-34,24) C	-1,6780	0,5776	1,284	0,3588	-13,0
1+15	37,55 (16,29-81,68) C	-1,6680	0,5706	1,059	0,3466	-24,1
1+20	87,87 (47,71-422,8) D	-2,1330	0,5949	1,097	0,3536	-56,4
OS3:						
1+00	2,721 (2,028-3,522) A	-1,276	0,2855	2,936	0,4501	-
1+05	8,197 (4,856-23,73) B	-1,182	0,2742	1,294	0,3606	-3,0
1+10	66,93 (44,53-123,8) C	-2,102	0,4164	1,151	0,2489	-245,9
1+15	226,4 (118,3- 1148,0) C	-2,524	0,4544	1,072	0,2648	-832,0
1+20	192,9 (101,0-1044,0) C	-2,248	0,4377	0,983	0,2572	-708,9
OS4:						
1+00	2,265 (1,545-3,050) A	-0,875	0,2667	2,464	0,4230	-
1+05	6,395 (4,813-9,076) B	-2,091	0,3362	2,595	0,4295	-2,8
1+10	84,72 (61,91-133,2) C	-3,161	0,4583	1,640	0,2677	-37,4
1+15	129,9 (88,97-245,9) C	-3,343	0,4819	1,581	0,2770	-57,3
1+20	74,65 (58,65-101,3) C	-4,032	0,4957	2,153	0,2867	-32,9

¹ CL_{50} seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) dentro da mesma população. As séries logit log-dose foram comparadas pelo teste F.

²Razão = CL_{50} sem PBO dividida pela CL_{50} com PBO, dentro de cada população. a = interseção b = inclinação EP = Erro Padrão

A avaliação da mortalidade, visando estabelecer as concentrações letais (CL_{50}) para cada população, foi feita pela contagem do número de insetos vivos e mortos 24 h após o tratamento, considerando-se mortos os insetos que não puderam caminhar normalmente durante um período de observação de 2 minutos. Para determinação da CL_{50} para cada população, os resultados de mortalidade dos bioensaios foram analisados pelo programa estatístico GLIM, Royal Statistical Society, versão 3.77 (Crawley 1993). A razão entre as CL_{50} das diferentes proporções do sinergista e o inseticida, foram calculadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fenitrotiom + Butóxido de Piperonila

O PBO adicionado ao inseticida fenitrotiom aumentou a dose letal média nas populações suscetível e resistentes, diminuindo muito a toxicidade do inseticida e demonstrando a ausência do efeito sinergista (Tabela I). As razões entre a CL_{50} sem PBO e a CL_{50} com o PBO indicaram um efeito antagonista, resultando na eliminação dos efeitos nocivos do inseticida.

Os compostos organofosforados são conhecidamente metabolizados por enzimas esterases (Guedes *et al.* 1997b). Estudos de Conyers *et al.* (1998) demonstraram uma superprodução de esterase em uma população de *O. surinamensis* resistente aos organofosforados malatiom e

fenitrotiom. Pode-se inferir que a ausência do efeito sinergista do PBO indica que o mesmo não é um inibidor efetivo de esterases nesta espécie. Entretanto, em estudos de Attia & Frecker (1984), com populações de *O. surinamensis* resistentes a inseticidas organofosforados, o sinergista PBO sinergizou os inseticidas malatiom, fenitrotiom, clorpirifós-metil e pirimifós-metil testados.

Estudos de Guedes & Zhu (1998) demonstraram que o PBO apresentou um efeito antagonista ao inseticida organofosforado malatiom em populações resistentes e suscetíveis de *R. dominica*. Segundo os autores, o malatiom precisa ser ativado pelo citocromo P450 para produzir malaonox e então inibir a acetilcolinesterase. No exemplo mencionado, o efeito antagonista do PBO ao malatiom inibiu a ativação do sistema.

É importante salientar que para controlar pragas de grãos armazenados, misturas de inseticidas piretróides, que contêm o sinergista PBO, com inseticidas organofosforados são utilizadas freqüentemente. Considerando-se os resultados encontrados neste trabalho, que indicam que PBO exerce um efeito antagonista quando associado ao organofosforado fenitrotiom, pode-se esperar que estas misturas apresentem eficiência reduzida no controle de *O. surinamensis*.

Segundo Wilkinson (1983), a avaliação do papel de oxidação no metabolismo de compostos organofosforados é difícil pelo fato de que em muitos casos, os produtos gerados pela ação

Tabela II. Parâmetros de mortalidade para adultos de *Oryzaephilus surinamensis* das populações OS1, OS2, OS3 (F_{n+10}) e OS4 (F_{n+8}), testadas com deltametrina (Del) (1%, 0,5%, 0,25%, 0,125% e 0,0625%) + diferentes proporções de butóxido de piperonila (PBO), a $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $65 \pm 5\%$. Valores da CL_{50} em mg/cm² de deltametrina. Passo Fundo, RS, 2003.

Proporção Del + PBO	CL_{50} (95% lim. conf.) ¹	a	EP_a	b	EP_b	Razão ²
OS1:						
1+00	3,344 (2,258-4,771) BC	-1,0590	0,2692	2,019	0,3851	-
1+05	1,723 (1,003-2,447) AB	-0,5048	0,2567	2,136	0,4136	1,9
1+10	4,722 (2,795-8,921) C	-0,9164	0,2615	1,359	0,3563	0,7
1+15	0,611 (0,024-1,389) A	0,2503	0,2531	1,172	0,3872	5,4
1+20	2,232 (1,536-2,987) ABC	-0,8844	0,2676	2,536	0,4290	1,5
OS2:						
1+00	19,55 (13,950-25,41) E	-3,854	0,7078	2,985	0,4757	-
1+05	11,54 (6,7610-15,95) D	-2,995	0,7352	2,820	0,5218	1,7
1+10	2,316 (1,1840-3,585) C	-0,567	0,2526	1,556	0,3683	8,4
1+15	0,906 (0,1037-1,794) B	0,052	0,2494	1,221	0,3762	21,5
1+20	0,456 (0,0067-1,160) A	0,392	0,2573	1,150	0,3977	42,8
OS3:						
1+00	61,19 (45,96-86,58) D	-4,580	0,7306	2,564	0,4253	-
1+05	24,36 (18,88-30,49) C	-4,978	0,7746	3,590	0,5147	2,5
1+10	8,026 (6,345-10,53) AB	-3,039	0,4390	3,360	0,4937	7,6
1+15	10,33 (7,835-14,93) B	-2,858	0,4261	2,819	0,4644	5,9
1+20	6,458 (4,048-11,78) A	-1,201	0,2973	1,482	0,3615	9,4
OS4:						
1+00	47,58 (36,89-62,41) C	-5,062	0,7569	3,018	0,4507	-
1+05	15,71 (9,828-21,49) B	-3,035	0,6737	2,537	0,4538	3,0
1+10	3,829 (3,065-4,729) A	-2,297	0,3765	3,939	0,5353	12,4
1+15	3,360 (2,367-4,509) A	-1,301	0,3061	2,471	0,4165	14,1
1+20	3,438 (2,427-4,619) A	-1,320	0,3066	2,460	0,4150	13,8

¹ CL_{50} seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) dentro da mesma população. As séries logit log-dose foram comparadas pelo teste F.

²Razão = CL_{50} sem PBO dividida pela CL_{50} com PBO, dentro de cada população. a = interseção b = inclinação EP = Erro Padrão

de oxidases são os mesmos resultantes da ação de outros tipos de enzimas, como as esterases e transferases.

Jao & Casida (1974) indicam que o sinergista DEF é o melhor de uma série de sinergistas para compostos organofosforados devido ao seu forte efeito inibitório sobre esterases. Assim, para aprofundar os estudos aqui apresentados, sugere-se investigar o potencial das enzimas esterases na detoxificação de inseticidas organofosforados em *O. surinamensis*.

Deltametrina + Butóxido de Piperonila

O PBO aumentou a toxicidade da deltametrina em todas as proporções nas populações resistentes. Entretanto, para a população suscetível OS1, a adição do sinergista não conferiu relação de toxicidade, pois na combinação 1:15 a razão entre a CL_{50} sem PBO e a CL_{50} com PBO foi de 5,4 vezes enquanto que na proporção 1:20 foi somente de 1,5 vezes (Tabela II). Este resultado era esperado, pois, presume-se que os indivíduos desta população tenham expressado sua tolerância normal ao inseticida. O PBO conferiu maiores relações de toxicidade nas populações resistentes, e a maior razão entre a CL_{50} sem PBO e a CL_{50} com PBO foi encontrada na população OS2, onde a relação de sinergismo na proporção 1:20 foi de 42,8 vezes (Tabela II).

Resultado similar foi encontrado por Lorini & Galley (2000), que testaram o sinergista PBO com deltametrina em populações suscetíveis e resistentes de *R. dominica*, não encontrando

alteração de toxicidade para as populações suscetíveis, e demonstrando efeito sinergista do PBO nas populações resistentes.

A adição do PBO à deltametrina reduziu efetivamente a dose letal média das populações resistentes de *O. surinamensis* testadas. A proporção 1:20 de deltametrina e sinergista reduziu a razão entre as CL_{50} da população suscetível (OS1) e da resistente (OS3) de 18 para 2 vezes. Como a resistência não foi completamente suprimida, é possível inferir que outro mecanismo de resistência, além do metabolismo por oxidases, possa também estar envolvido com essas populações. Além disso, os indivíduos testados já poderiam ter desenvolvido resistência às combinações de PBO e deltametrina, já que o PBO vem sendo adicionado ao inseticida deltametrina na proporção 1:10 em formulações comerciais (K-OBIOL 25 CE). Esse tratamento é feito em grãos armazenados para reduzir a taxa de aplicação sobre populações suscetíveis e também como uma medida mais econômica, com a vantagem de reduzir os níveis de resíduos nos grãos.

Como o PBO sinergizou o inseticida deltametrina neste experimento e, já que o mesmo, conhecidamente, bloqueia oxidases multifuncionais (Casida 1970), conclui-se que essas enzimas exercem uma importante função na resistência à deltametrina nas populações de *O. surinamensis* avaliadas neste estudo.

O uso de PBO mostrou ser uma ferramenta importante no

estudo da resistência das pragas aos inseticidas, pois permite inferir sobre o mecanismo da resistência envolvido com a espécie e inseticida em estudo. Outros estudos podem ser necessários para identificar os demais mecanismos da resistência envolvidos, que não somente o metabolismo por enzimas. No entanto, a despeito das limitações discutidas anteriormente, os sinergistas como PBO, podem ser valiosos nos programas de manejo integrado de pragas, tendo em vista que já existem formulações comerciais de inseticidas contendo uma proporção do sinergista, visando aumentar a eficácia do inseticida.

REFERÊNCIAS

- Attia, F. I. & T. Frecker 1984. Cross-resistance spectrum and synergism studies in organophosphorus-resistant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Cucujidae) in Australia. **Journal of Economic Entomology** 77: 1367–1370.
- Beckel, H.; I. Lorini & S. M. N. Lazzari. 2002. Detecção da resistência de *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae), praga de grãos de cevada armazenada, a inseticidas químicos, p. 620–630. In: E. Minella (ed.) **Anais da XXII Reunião Anual de Pesquisa de Cevada**. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS e <http://www.cnpt.embrapa.br>
- Beckel, H.; I. Lorini & S. M. N. Lazzari. 2004. Comportamento de adultos de diferentes raças de *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera, Bostrichidae) em superfície tratada com deltamethrin. **Revista Brasileira de Entomologia** 48: 115–118.
- Brindley, W. A. & A. A. Selim. 1984. Synergism and antagonism in the analysis of insecticide resistance. **Environmental Entomology** 13: 348–353.
- Casida, J. E. 1970. Mixed-function oxidase involvement in the biochemistry of insecticide synergists. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 18: 753–772.
- Collins, P. J. 1990. A new resistance to pyrethroids in *Tribolium castaneum* (Herbst). **Pesticide Science** 28: 101–115.
- Conyers, C. M.; A. D. Macnicoll & N. R. Price. 1998. Purification and characterisation of an esterase involved in resistance to organophosphorus insecticides in the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). **Insect Biochemistry and Molecular Biology** 28: 435–448.
- Crawley, M. J. 1993. **Glim for ecologists**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 379 p.
- Daglish, G. J.; M. Elkema & L. M. Harrison. 1995. Chlorpyrifos-methyl plus either methoprene or synergized phenothrin for control of Coleoptera in maize in Queensland, Australia. **Journal of Stored Products Research** 31: 235–241.
- FAO 1974. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pest to pesticides: Tentative method for adults of some major beetle pest of stored cereals with malathion or lindane FAO Method N° 15. **FAO Plant Protection Bulletin** 22: 127–137.
- Fukuto, T. R. & N. M. Mallipudi. 1983. Suppression of metabolic resistance through chemical structure modification, p. 557–578. In: G. P. Georghiou & T. Saito (ed.). **Pest resistance to pesticides: challenges and prospects**. Plenum Press, New York, United States of America.
- Guedes, R. N. C.; S. Kambhampati; B. A. Dover & K. Y. Zhu. 1997a. Biochemical mechanisms of organophosphate resistance in *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) populations from the United State and Brazil. **Bulletin of Entomological Research** 87: 581–586.
- Guedes, R. N. C. & K. Y. Zhu. 1998. Characterization of malathion resistance in a mexican population of *Rhyzopertha dominica*. **Pesticide Science** 53: 15–20.
- Guedes, R. N. C.; K. Y. Zhu; B. A. Dover & S. Kambhampati. 1997b. Partial characterization of phosphotriesterases from organophosphate-susceptible and resistant populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 57: 156–164.
- Hemingway, J. 2000. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. **Insect Biochemistry and Molecular Biology** 30: 1009–1015.
- Hinks, C. F. & D. T. Spurr. 1991. The efficacy and cost benefits of binary mixtures of deltamethrin combined with other insecticides or synergists against grasshoppers at two temperatures. **Journal of Agricultural Entomology** 8: 29–39.
- Hodges, R. J. & J. Meik. 1986. Lethal and sublethal effects of permethrin on Tanzanian strains of *Tribolium castaneum* (Herbst), *Gnatoecerus maxillosus* (F.) *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Insect Science and Its Application** 7: 533–537.
- Jao, L. T. & J. E. Casida. 1974. Esterase inhibitors as synergists for (+)-trans-chrysanthemate insecticide chemicals. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 4: 456–464.
- Lorini, I. 2001. **Manual Técnico para o Manejo Integrado de Pragas de Grãos de Cereais Armazenados**. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS. 80 p.
- Lorini, I. & H. S. Beckel. 2002. Mecanismos de resistência das pragas de grãos armazenados, p. 555–568. In: Lorini, L. H. Miike & V. M. Scussel, Bio Genéziz, (ed.) **Armazenagem de Grãos**, Campinas, SP. 983 p.
- Lorini, I. & D. J. Galley. 1998. Relative effectiveness of topical, filter paper and grain applications of deltamethrin, and associated behaviour of *Rhyzopertha dominica* (F.) strains. **Journal of Stored Products Research** 34: 377–383.
- Lorini, I. & D. J. Galley. 2000. Effect of the synergists piperonyl butoxide and DEF in deltamethrin resistance on strains of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29: 749–755.
- Oppenoorth, F. J. 1985. Biochemistry and genetics of insecticide resistance. **Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology**, p. 731–773. In: G. A. Kerkut & L. I. Gilbert (ed.). Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.
- Plapp, F. W. & T. C. Wang. 1983. Genetic origins of insecticide resistance, p. 47–70. In: G. P. Georghiou & T. Saito (ed.). **Pest resistance to pesticides: challenges and prospects**. Plenum Press, New York, United States of America.
- Raffa, K. F. & T. M. Priestler. 1985. Synergists as research tools and control agents in agriculture. **Journal of Agricultural Entomology** 2: 27–45.
- Samson, P. R.; R. J. Parker & E. A. Hall 1990. Synergized deltamethrin as a protectant against *Sitophilus zeamais* Motsch. and *S. oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored maize. **Journal of Stored Products Research** 26: 155–161.
- Subramanyam, B.; P. K. Harein & L. K. Cutkomp. 1989. Organophosphate resistance in adults of red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) and sawtoothed grain beetle (Coleoptera: Cucujidae) infesting barley stored on farms in Minnesota. **Journal of Economic Entomology** 82: 989–995.
- Wilkinson, C. F. 1983. Role of mixed-function oxidases in insecticide resistance, p. 175–205. In: G. P. Georghiou & T. Saito (ed.). **Pest Resistance to Pesticides: Challenges and Prospects**. Plenum Press, New York, United States of America.
- Yu, S. J. & S. N. Nguyen. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in the diamondback moth. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 44: 74–81.