

Bioassay

Efeitos não-alvo de inseticidas utilizados para controle de *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) sobre a mortalidade e biologia de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]

Lucas S. Santana[✉], Camila B. Vilhasanti[✉], Paulo E. Degrande[✉], Ellen P. Souza[✉], Ana M. N. Scoton[✉], Matheus D. C. Pereira[✉]

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS, Brasil.

✉ Corresponding author: lucas-silvasantana@hotmail.com

Edited by: Leandro D. Geremias[✉]

Received: February 26, 2023. Accepted: November 14, 2023. Published: December 04, 2023.

Non target effect of insecticides used to control *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) on mortality and biology of *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]

Abstract. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is a polyphagous pest that has gained importance in soybean cultivation in recent years, due to the damage it causes to leaves and pods. The objective of this work was to evaluate the non-target effect of insecticides recommended and used to control *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) on *S. frugiperda*. The experimental design was entirely randomized with five treatments and fifty replications. The treatments were: 1. negative control (distilled water), 2. positive control (lufenuron), 3. buprofezin, 4. pyriproxyfen, and 5. diafenthiuron. In each replicate, one caterpillar was placed in a plastic cup, where sprayed soybean leaves with the maximum dosage of insecticides recommended for *B. tabaci* were placed. The treatments were evaluated daily during all stages: larval, pupal, and adult emergence and fecundity. The results obtained for larval mortality showed that diafenthiuron aimed 100% control, followed by pyriproxyfen with 28% and buprofezin with 12%. The duration of the larval period of the insects exposed to pyriproxyfen and buprofezin were longer compared to the control. While the biological parameters of pupae were found that pyriproxyfen caused lower pupal formation rate and higher pupal mortality, followed by buprofezin. In adult emergence, pyriproxyfen showed the lowest rate with 13.8% and the highest percentage of deformed adults with 60%. Thus, it was possible to conclude that the insecticides under study cause *S. frugiperda* mortality or effects on its biological patterns.

Keywords: fall armyworm, lufenuron, buprofezin, pyriproxyfen, diafenthiuron.

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga que causa danos econômicos em diversas culturas como milho, algodão, feijão, sorgo e arroz (Rosa et al. 2014). Sua importância vem aumentando na soja, podendo atacar na fase inicial da cultura onde causa a morte de plantas com redução de estande, causando prejuízos irreversíveis a cultura; podendo atacar também na fase vegetativa e reprodutiva das plantas, ocasionando principalmente desfolha (Hoffmann-Campo et al. 2012) e danos em vagens (Panizzi et al. 2012).

Cultivos sucessivos que proporcionam uma alimentação diversificada para *S. frugiperda* ao longo de todo ano, utilização de inseticidas com mesmo mecanismo de ação, ciclo de desenvolvimento relativamente curto e alta fecundidade têm contribuído para a evolução à resistência a alguns dos principais grupos de inseticidas, como piretroides, organofosforados, inibidores de biosíntese de quitina, diamidas, proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) e espinosinas (McCord & Yu 1987; Rosa & Martins 2011).

Desde a liberação do uso comercial de plantas transgênicas que expressam a proteína inseticida proveniente da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), se tornou uma ferramenta eficiente para o manejo de *S. frugiperda*. A rápida adoção da tecnologia contribuiu para a redução de aplicação de inseticidas (Resende et al. 2016).

Porém o intenso uso dessa ferramenta, sem a adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP), acarretou em uma elevada pressão de seleção ao inseto-alvo, favorecendo a evolução da resistência. No

Brasil, *S. frugiperda* apresenta resistência as proteínas Cry1F e Cry1Ab, expressas em plantas de milho geneticamente modificada, assim como a alta frequência de resistência a campo a piramidações que envolvem a proteína Cry1. Apenas a proteína Vip3Aa20, apresenta baixa frequência de resistência a nível de campo, porém a praga é considerada de alto risco para a perda de eficácia em cultivares que expressam a proteína (Huang et al. 2014; Bernadi et al. 2015; Farias et al. 2014; Amaral et al. 2020; Yang et al. 2022).

A mosca-branca, *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) tem assumido cada vez mais importância nesta cultura, devido a ocorrência de ataques mais severos nas últimas safras e o seu difícil controle. Seus danos podem ser diretos como a sucção de seiva da planta, que pode causar perda de produtividade ou até levar a planta a morte e indiretos como a transmissão de vírus (Degrande & Vivan 2012).

Para este aleirodídeo foi relatado o aumento de aplicações de inseticidas, especialmente ninficidas, para o seu controle nos últimos anos, em cerca de 4 a 6 aplicações por safra em regiões específicas. Os inseticidas mais comumente usados para o controle da mosca-branca são os mímicos de hormônio juvenil, inibidores da biosíntese de quitina tipo 1 (reguladores de crescimento) e inibidores de adenosina trifosfato mitocondrial sintase (ATP sintetase), os quais apresentam seletividade a inimigos naturais e baixa toxicidade a mamíferos (Faria 2014). Pyriproxyfen, buprofezin e diafenthiuron são exemplos de ingredientes ativos que representam cada um dos modos de ação

mencionados anteriormente (IRAC 2018), e tais produtos não são recomendados para o controle de *S. frugiperda* e a literatura que embasa possível controle deste lepidóptero com eles é rara.

De acordo com a literatura há relatos da ação do pyriproxyfen, por exemplo, na biologia de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae); do buprofezin atuando em insetos da ordem Lepidoptera, em *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae) especificamente; já o diafenthiuron há relatos demonstrando seus efeitos em lepidópteros como *P. xylostella* (Nasr et al. 2010; Sarkar 2016; Khatun et al. 2020; Riley et al. 2020).

Desta forma este estudo teve como objetivo investigar o efeito não-alvo à *S. frugiperda* dos inseticidas pyriproxyfen, buprofezin e diafenthiuron amplamente utilizados especificamente para o controle de mosca-branca na cultura da soja no Brasil.

Os estudos foram realizados no Laboratório de Entomologia Aplicada (Latitude 22°13'16" S; Longitude 54°17'01" W; Altitude de 430 m) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, no período de 23/9 a 23/12/2020.

Os insetos utilizados no estudo foram provenientes da criação de *S. frugiperda* do laboratório, mantidos em condições controladas (sala climatizada) de temperatura 25 ± 2 °C, umidade relativa (UR) de 70 ± 10% e fotofase de 14h, sendo alimentadas com dieta artificial adaptada da metodologia de Greene et al. (1976).

Foram utilizadas as doses máximas registradas nas bulas dos inseticidas usados no controle de mosca-branca. Como testemunha negativa foi utilizada água destilada e como testemunha positiva foi utilizado o inseticida lufenuron (Tavares et al. 2010), que é um inseticida pertencente ao grupo 15 dos inibidores da biosíntese de quitina, do tipo O, específicos a lepidópteros, seguindo; inseticida [grupo químico/ingrediente ativo (máxima dosagem em bula para mosca-branca em L.ha⁻¹ ou Kg.ha⁻¹): Match EC® [Benzoiluréia/Lufenuron (0,15)]; Polo 500 SC® [Feniltioureia/ Diafenthiuron (1,0)]; Applaud 250 WP® [Tiadiazinona/ Buprofezin (1,5)]; Tiger 100 EC® [Éter piridiloxipropílico / Pyriproxyfen (0,5)].

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinquenta repetições, sendo cada lagarta individualizada em uma repetição (Freitas et al. 2014).

Foram utilizadas lagartas de 3° ínstar obtidas da criação de *S. frugiperda*, individualizadas em potes plásticos de 250 mL forrados com papel filtro, alimentadas durante toda fase larval com folíolos de soja completamente abertos, coletados no estágio fenológico R3-R4. Sendo que as folhas foram tratadas em uma única pulverização dos inseticidas, para também ser observada a degradação dos inseticidas ao longo do tempo, sendo a aplicação realizada no dia 23/11/2020. Para a aplicação dos inseticidas foi utilizado equipamento de pulverização manual costal (sendo feita tríplice lavagem do equipamento entre cada aplicação dos inseticidas), com volume de calda de 400 L.ha⁻¹, obtendo-se o ponto de escorrimento.

Após a secagem dos inseticidas aplicados sobre as plantas, foram coletadas folhas completamente expandidas e desenvolvidas, preferencialmente do terço superior, e ofertadas às lagartas - a troca de folhas foi realizada a cada dois dias, até o final do período larval.

O acompanhamento das lagartas foi realizado diariamente até a fase de pré-pupa, quando os insetos pararam de se alimentar. Neste período, as fases imaturas foram avaliadas em suas seguintes características: (1) mortalidade diária, e através desse parâmetro foi calculado a mortalidade acumulada e total, (2) número de pupas formadas, (3) número de pupas deformadas. Foi considerada morta a lagarta que não apresentou resposta ao ser tocada (estímulo) por um pincel com cerdas macias.

As pupas obtidas foram separadas por sexo, seguindo a metodologia de Butt & Cantu (1962), através da distinção do último segmento com o auxílio de uma lupa utilizando a lente 40x com iluminação transmitida e refletida. Posteriormente, foram acondicionadas em potes plásticos de 250 mL forrados com papel filtro e avaliado o número de adultos emergidos e a deformação destes indivíduos (Fernandes et al. 2017).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk (P<0,05), como os dados não atingiram a normalidade, os mesmos

foram submetidos a transformação de $\sqrt{x+1}$, após a adequação da normalidade, foi realizado a análise de variância (ANOVA), e para comparação de médias foi utilizado o teste de Tukey (5%). Para determinação da mortalidade corrigida, foi utilizada a fórmula de Abbott (Abbott 1925).

Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos em estudo. As maiores mortalidades larvais foram observadas nos tratamentos com os ingredientes ativos diafenthiuron e lufenuron, que causaram 100% de mortalidade larval total, o que era esperado apenas para o lufenuron (testemunha positiva), uma vez que este produto é efetivo no controle de lepidópteros, mas não para o diafenthiuron. Ainda, o pyriproxyfen diferiu significativamente da testemunha apresentando uma mortalidade larval total de 28%, enquanto o buprofezin causou 12% de mortalidade total, não diferindo da testemunha (Tab. 1).

No presente estudo, foi possível observar a ocorrência do aumento do período larval para lagartas submetidas ao tratamento com pyriproxyfen, que diferiu quando comparado aos demais tratamentos, ocorrendo o prolongamento do estágio larval da *S. frugiperda* em 16,46 ± 4,41 dias, seguido pelo buprofezin que apresentou uma duração média de 13,46 ± 2,52 dias. O pyriproxyfen por pertencer ao grupo dos juvenídeos, que atuam imitando a ação do hormônio juvenil, interferiu no processo de metamorfose dos insetos. Os mímicos do hormônio juvenil apresentam uma ação mais acentuada no último ínstar do inseto (Gallo et al. 2002). Os insetos permaneceram por um período mais prolongado na fase jovem (6° ínstar) não passando para a fase pupal, como ocorreu na testemunha negativa.

Tabela 1. Porcentagem de Mortalidade total de lagartas, de mortalidade corrigida e média (±EP) da duração da fase larval.

Inseticidas	Mortalidade larval total (%)	Mortalidade Corrigida (%)	Período larval (Dias)
Testemunha(água)	4,0 c	-	10,44±1,05 c
Lufenuron	100,0 a	100,0	3,46±0,95 d
Diafenthiuron	100,0 a	100,0	1,04±0,20 e
Buprofezin	12,0 c	8,3	13,46±2,52 b
Pyriproxyfen	28,0 b	25,0	16,46±4,41 a
CV (%)	9,15	-	12,72

*Porcentagens e médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos (Fig. 1), indicam diferenças significativas, entre os inseticidas comparados à testemunha negativa. Ficou evidente o rápido efeito do diafenthiuron, que levou apenas dois dias para atingir a máxima mortalidade, diferenciando-se do lufenuron que pelo seu mecanismo de ação, atua na síntese de quitina durante o processo de ecdise, tem um efeito mais lento, levando quatro dias para alcançar a máxima mortalidade (Adel 2012; Khorshidi et al. 2019).

Os princípios ativos pyriproxyfen e buprofezin não apresentaram mortalidade acentuada e seus efeitos sobre as lagartas no início, as mortalidades se manifestaram mais tardiamente, sendo observado um aumento gradativo de mortes a partir do décimo sétimo dia para o pyriproxyfen.

O rápido efeito do diafenthiuron, pode estar associado ao seu mecanismo de ação, que atua na ATP sintetase, enzima responsável pela síntese de ATP na respiração celular, com o inseto exposto ao inseticida ocorre ao decréscimo energético em seu corpo levando-o à paralisia, e posterior morte (Ruder & Kayser 1993).

Apesar do mecanismo de ação do buprofezin atuar na inibição da biossíntese de quitina, assim como as benzoiluréias, é sabido que o composto tem maior afinidade e efeito sobre insetos da ordem Hemiptera, como mosca-branca e cigarrinhas. Em lepidópteros sua ação ocorre devido à dificuldade da metabolização do composto pelo inseto, sendo necessário maior tempo de exposição ao inseticida para apresentar efeitos sobre o indivíduo (Khan 2016; Ono et al. 2017).

Os resultados obtidos pelo pyriproxyfen mostraram um efeito gradativo do inseticida nos instares finais das lagartas, isso se deve porque o ingrediente ativo é um análogo ao hormônio juvenil, atuando

principalmente no último instar do inseto, quando a produção do hormônio pelo sistema endócrino diminui para entrar no processo de metamorfose, a adição do inseticida faz com que os níveis do composto permaneçam altos, dessa forma o indivíduo apresenta dificuldades para realizar a pupação, mantendo suas características de fase imatura (Tunaz & Uygun 2004).

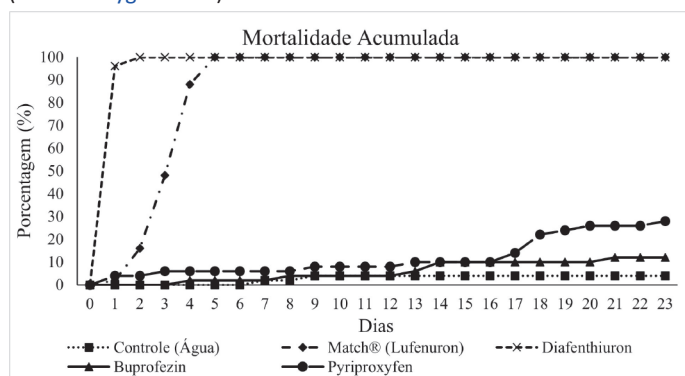


Figura 1. Percentagem de mortalidade acumulada larval ao longo dos dias para os tratamentos com lufenuron, diafenthiuron, buprofezin, pyriproxyfen e testemunha.

Conforme os resultados obtidos (Tab. 2) foi possível observar uma maior atividade dos inseticidas reguladores de crescimento na fase de pupa.

A presença do pyriproxyfen no último instar de *S. frugiperda*, levou a formação de indivíduos incompletos (larva-pupa), além de indivíduos

Tabela 2. Percentagem de pupação, deformidade e mortalidade de pupas, duração média (\pm EP) da fase pupal, razão sexual e emergência de adultos malformados de *S. frugiperda* após exposição aos inseticidas.

Inseticidas	Pupação (%)	Pupas deformadas (%)	Mortalidade de pupas (%)	Período pupal (dias)	Razão Sexual (macho/fêmea)	Emergência (%)	Adultos deformados (%)
Testemunha (Água)	88,0 a	8,3 b	29,1 c	10,65 \pm 2,01 a	0,38 \pm 0,50 a	70,8 a	2,9 b
Lufenuron	-	-	-	-	-	-	-
Diafenthiuron	-	-	-	-	-	-	-
Buprofezin	80,0 ab	32,5 a	56,8 b	8,89 \pm 2,68 a	0,40 \pm 0,49 a	39,5 b	5,8 b
Pyriproxyfen	66,0 b	44,4 a	86,1 a	9,0 \pm 1,0 a	0,47 \pm 0,49 a	13,8 c	60,0 a
CV (%)	12,78	15,7	15,11	10,3	17,57	15,57	9,68

*Porcentagens e Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

secundário. Estas descobertas podem contribuir significativamente para o entendimento do controle desta lagarta na cultura da soja, auxiliando no manejo da mesma.

Agradecimentos

A toda equipe do Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA-UFMG) e ao Programa de Educação Tutorial CAPES/PET-Agronomia e ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) pelo fornecimento da bolsa de estudos.

Informações de Financiamento

Nenhum financiamento recebido.

Contribuições dos Autores

LSS planejou, executou o experimento, conduziu na análise estatística e escreveu o manuscrito. CBV planejou, executou o experimento, auxiliou na análise estatística e escreveu o manuscrito. PED planejou e escreveu o manuscrito. EPS auxiliou na análise estatística. AMNS conduziu a criação de *Spodoptera frugiperda*. MDPC auxiliou na escrita e análise estatística.

mal-formados. Esses efeitos podem estar associados com a inibição do hormônio ecdisona, que é responsável pela sinalização para a produção da cutícula para a formação da pupa, a alta presença do análogo ao hormônio juvenil, causando bloqueio de sua produção pelas glândulas proteróticas (El-Sheikh et al. 2016).

O buprofezin na fase de pupa de *S. frugiperda* demonstrou afetar a formação de pupas, e conseqüentemente houve um aumento significativo na mortalidade. Segundo Nasr et al. (2010) em ensaios com *S. littoralis*, o inseticida inibiu as enzimas quitinase e polifenol oxidase, que são importantes na catalização da quitina, e a ausência dessas enzimas pode afetar a deposição do polissacarídeo na cutícula, levando a má formação.

Foi possível observar que a emergência de adultos foi afetada pelo tratamento com pyriproxyfen que apresentou uma taxa de emergência de 13,8% e o buprofezin 39,5% (Tab. 2). Dos adultos emergidos dos tratamentos com pyriproxyfen, cerca de 60% apresentaram malformações, enquanto apenas 5,8% dos adultos do tratamento com buprofezin apresentaram malformações. As mariposas com deformações ficaram parcialmente aderidas ao tegumento da pupa, apresentando asas retorcidas, conseqüentemente possuíram uma movimentação limitada.

No estudo, o diafenthiuron promoveu controle na fase larval de *S. frugiperda*, enquanto os inseticidas pyriproxyfen e buprofezin tiveram efeitos deletérios nas fases de pupa e adultos. Tratamentos usuais com diafenthiuron, pyriproxyfen e buprofezin para o controle da mosca-branca na cultura da soja a campo podem estar realizando reduções populacionais de lagartas de *S. frugiperda* como um efeito

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores informam não haver potencial conflito de interesses na publicação deste artigo.

Referências

- Abbott, W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267. doi: [10.1093/jee/18.2.265a](https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a)
- Adel, M. M. (2012) Lufenuron impair the chitin synthesis and development of *Spodoptera littoralis* Bosid. (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Sciences Research*, 8(5): 27-66.
- Amaral, F. S.; Guidolin, A. S.; Salmeron, E.; Kanno, R. H.; Padovez, F. E.; Faretto, J. C.; Omoto, C. (2020) Geographical distribution of Vip3Aa20 resistance allele frequencies in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. *Pest Management Science*, 76(1): 169-178. doi: [10.1002/ps.5490](https://doi.org/10.1002/ps.5490)
- Bernardi, D.; Salmeron, E.; Horikoshi, R. J.; Bernardi, O.; Dourado, P. M.; Carvalho, R. A.; Martinelli, S.; Head, G. P.; Omoto, C. (2015) Cross-resistance between Cry1 proteins in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) may affect the durability of current pyramided Bt maize hybrids in Brazil. *PLoS one*, 10: e0140130. doi: [10.1371/journal.pone.0140130](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140130)
- Butt, B.; Cantu, E. (1962) Sex determination of lepidopterous pupae. *USDA, Agricultural Research Service*, 33(75), 1-7.
- Degrande, P. E.; Vivan, L. (2012) Pragas da soja. *Tecnologia e produção:*

- soja e milho, 8: 155-206.
- El-Sheikh, E. S. A.; Kamita, S. G.; Hammock, B. D. (2016) Effects of juvenile hormone (JH) analog insecticides on larval development and JH esterase activity in two *Spodoptera* species. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 128: 30-36. doi: [10.1016/j.pestbp.2015.10.008](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.10.008)
- Faria, G. (2014) Produtores devem fazer o controle da mosca-branca para evitar prejuízos na safrinha. Embrapa. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1718061/produtores-devem-fazer-o-controle-da-mosca-branca-para-evitar-prejuizos-na-safrinha>. Acesso em: 12.iv.2020.
- Farias, J. R.; Andow, D. A.; Horikoshi, R. J.; Sorgatto, R. J.; Fresia, P.; dos Santos, A. C.; Omoto, C. (2014) Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64: 150-158. doi: [10.1016/j.cropro.2014.06.019](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019)
- Fernandes, F. O.; Abreu, J. A.; Christi, L. M.; Rodrigues-Filho, J. A.; Martins, A.; Rosa, A. P. S. A. (2017) Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em cultivares de milho em laboratório. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 264. Pelotas: Embrapa Clima Temperado
- Freitas, A. F.; Formagio, A. S.; Pereira, F. F.; Lucchetta, J. T.; Vieira, M. D. C. (2014) Effect of extracts of *Trichilia sylvatica* C. DC., on development and reproduction parameters of *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *African Journal of Biotechnology*, 13(20): 2041-2049. doi: [10.5897/ajb2014.13768](https://doi.org/10.5897/ajb2014.13768)
- Gallo, D.; Nakano, O.; Neto, S. S.; Carvalho, R. P. L.; Baptista, G. C.; Berti Filho, E.; Parra, J. R. P.; Zucchi, R. A.; Alves, S. B.; Vendramim, J. D., et al. (2002) *Entomologia Agrícola*. Piracicaba: Editora Fealq.
- Greene, G. L.; Leppla, N. C.; Dickerson, W. A. (1976) Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *Journal of Economic Entomology*, 69(4): 487-488. doi: [10.1093/jee/69.4.487](https://doi.org/10.1093/jee/69.4.487)
- Hoffman-Campo, C. B.; Oliveira, L. J.; Moscardi, F.; Corrêa-Ferreira, B. S.; Corso, I. C. (2012) Pragas que atacam plântulas, hastes e pecíolos da soja. In: Hoffmann-Campo, C. B.; Corrêa-Ferreira, B. S.; Moscardi, F. (Eds.), *Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga*, pp. 145-199. Brasília, DF, Embrapa.
- Huang, F.; Qureshi, J. A.; Meagher Jr, R. L.; Reisig, D. D.; Head, G. P.; Andow, D. A.; Xinzi, N.; Kerns, D.; Buntin, G. D.; Niu, Y., et al. (2014) Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. *PLoS One*, 9(11): e112958. doi: [10.1371/journal.pone.0112958](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112958)
- IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) (2018) Manejo da resistência a inseticidas e plantas Bt (*Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa armigera*, *Chrysodeixis includens*). Folheto.
- Khan, M. A. M. (2016) Efficacy of insect growth regulator Buprofezin against Papaya mealybug. *JEZS*, 4(4), 730-733.
- Khatun, M. R.; Das, G.; Ahmed, K. S.; Kato-Noguchi, H. (2020) Inhibitory effect of buprofezin on the larval growth and development of *Spodoptera litura* (F.). *Indian Journal of Entomology*, 82(1): 20-23. doi: [10.5958/0974-8172.2020.00004.8](https://doi.org/10.5958/0974-8172.2020.00004.8)
- Khorshidi, M.; Abad, R. F. P.; Saber, M.; Zibae, A. (2019) Effects of hexaflumuron, lufenuron and chlorfluazuron on certain biological and physiological parameters of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 101270. doi: [10.1016/j.bcab.2019.101270](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101270)
- McCord Jr, E.; Yu, S. J. (1987) The mechanisms of carbaryl resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 27(1): 114-122. doi: [10.1016/0048-3575\(87\)90103-9](https://doi.org/10.1016/0048-3575(87)90103-9)
- Nasr, H. M.; Badawy, M. E.; Rabea, E. I. (2010) Toxicity and biochemical study of two insect growth regulators, buprofezin and pyriproxyfen, on cotton leafworm *Spodoptera littoralis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98(2): 198-205. doi: [10.1016/j.pestbp.2010.06.007](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.06.007)
- Ono, É. K.; Zanardi, O. Z.; Santos, K. F. A.; Yamamoto, P. T. (2017) Susceptibility of *Ceraeochrysa cubana* larvae and adults to six insect growth-regulator insecticides. *Chemosphere*, 168: 49-57. doi: [10.1016/j.chemosphere.2016.10.061](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.061)
- Omoto, C.; Bernardi, O.; Salmeron, E.; Sorgatto, R. J.; Dourado, P. M.; Crivellari, A.; Carvalho, A.; Willse, A.; Martinelli, S.; Head, G. P. (2016) Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(9): 1727-1736. doi: [10.1002/ps.4201](https://doi.org/10.1002/ps.4201)
- Panizzi, A. R.; Bueno, A. D. F.; Silva, F. D. (2012) *Insetos que atacam vagens e grãos. Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Brasília: Embrapa.
- Resende, D. C.; Mendes, S. M.; Marucci, R. C.; Silva, A. D. C.; Campanha, M. M.; Waquil, J. M. (2016) Does Bt maize cultivation affect the non-target insect community in the agro ecosystem?. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(1): 82-93. doi: [10.1016/j.rbe.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.12.001)
- Riley, D.; Smith, H.; Bennett, J.; Torrance, P.; Huffman, E.; Sparks, A.; Gruver, C.; Dunn, T.; Champagne, D. (2020) Regional survey of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) response to maximum dosages of insecticides in Georgia and Florida. *Journal of Economic Entomology*, 113(5): 2458-2464. doi: [10.1093/jee/toaa125](https://doi.org/10.1093/jee/toaa125)
- Rosa, A. P. S. A.; Teixeira, H. B.; Medina, L. B.; Hellwig, L.; Fipke, M. V. (2014) Ponte Verde para *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Terras Baixas. Embrapa Clima Temperado-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Rosa, A. P. S. A.; Martins, J. D. S. (2011) Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas na cultura do milho: situação atual. Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E).
- Ruder, F. J.; Kayser, H. A. R. T. M. U. T. (1993) The carbodiimide product of diafenthiuron inhibits mitochondria in vivo. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 46(2): 96-106. doi: [10.1006/pest.1993.1041](https://doi.org/10.1006/pest.1993.1041)
- Sarkar, P. K. (2016) Bio-Effectiveness of a Pro-Insecticide, Diafenthiuron 50% WP Against Diamond Back Moth, *Plutella xylostella* (Lin.) in Cabbage in Gangetic Alluvial Plains of West Bengal. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 9(6): 1089-1095. doi: [10.5958/2230-732x.2016.00137.6](https://doi.org/10.5958/2230-732x.2016.00137.6)
- Tavares, W. S.; Costa, M. A.; Cruz, I.; Silveira, R. D.; Serrão, J. E.; Zanuncio, J. C. (2010) Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 45(6): 557-561. doi: [10.1080/03601234.2010.493493](https://doi.org/10.1080/03601234.2010.493493)
- Tunaz, H.; Uygun, N. (2004) Insect growth regulators for insect pest control. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(6): 377-387.
- Yang, F.; Wang, Z.; Kerns, D. L. (2022) Resistance of *Spodoptera frugiperda* to Cry1, Cry2, and Vip3Aa proteins in Bt corn and cotton in the Americas: Implications for the rest of the world. *Journal of Economic Entomology*, 115(6): 1752-1760. doi: [10.1093/jee/toac099](https://doi.org/10.1093/jee/toac099)