

Bioassay

Supressão de acasalamentos e redução de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) no algodoeiro

Fabiano G. Schirmer¹, Bruna M. Favetti¹, Thomas Clark², Tederson Galvan¹, Erick M. G. Cordeiro^{1✉}, Lucia Vivan³, Khai Tran², Kristin Broms², Ricardo Miranda¹

¹Provivi do Brasil Serviços Agrícolas Ltda, São Paulo, SP, Brasil. ²Provivi, Inc, Santa Monica, CA, USA. ³Fundação de Apoio a Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, Brasil.

✉ Corresponding author: ecordeiro@provivi.com

Edited by: Rafael M. Pitta 

Received: September 03, 2023. Accepted: September 07, 2023. Published: October 04, 2023.

Mating suppression and damage reduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) in cotton

Abstract. The control of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) has been limited by the rapid development of resistance to insecticides and Bt toxins. The fall armyworm has become increasingly present in cotton fields, becoming a major problem for growers. Therefore, the demand for new and more sustainable tools for managing this pest has increased in recent years. Ideally, the new tool should be compatible with other available control tactics, such as the use of Bt plants, and it should be implemented following IPM principles. In this study, we tested the efficacy of a liquid pheromone formulation for the Fall armyworm control in Bt and conventional cotton varieties in the Brazilian Midwest. Our results showed that the capture of insects in traps has been reduced by 85% in areas treated with pheromone compared to control suggesting high levels of mating suppression. Pheromone treatment also resulted in 70% less damage to cotton reproductive structures when compared to areas not treated with the pheromone in conventional cotton. Moreover, applying pheromone provided an additional benefit to Bt cotton, resulting in 85% damage reduction. Our results show the effectiveness and feasibility of mating disruption with pheromone as an important management tactic for Lepidopterans in cotton. However, no significant differences were found in yield in the conditions tested. These results represent a potential key step toward developing more sustainable tools for pest management in Brazil.

Keywords: sprayable pheromone, cotton, IPM.

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das mais importantes pragas de plantas cultivadas no mundo (Pogue 2002). A espécie é praga primária do milho (*Zea mays* L., 1753) e com frequência precisa ser controlada em outras gramíneas como arroz (*Oryza sativa* L., 1753), trigo (*Triticum aestivum* L., 1753) e aveia (*Avena sativa* L., 1753) (Montezano et al. 2018). Recentemente, *S. frugiperda* tem se tornado relevante em culturas dicotiledôneas como a soja (*Glycine max* L., 1917) e o algodão (*Gossypium hirsutum* L., 1763) (Barros et al. 2010). O problema é particularmente agravado em regiões onde o algodão é rotacionado ou cultivado próximo às áreas de milho, onde as populações de *S. frugiperda* são mantidas em níveis elevados ao longo do ano (Barros & Degrande 2012). A hipótese predominante é que esses insetos se dispersam das áreas de milho para algodão assim que as plantas de milho entram na fase de maturação e senescência (por exemplo, estágio de pendoamento), estabelecendo uma janela crítica de ataque durante o estágio de crescimento reprodutivo do algodoeiro (Barros et al. 2010). Dessa forma, as larvas de *S. frugiperda* podem causar danos ao algodão durante todos os estágios de crescimento, começando no estágio de plântula até o desenvolvimento tardio do capulho (Barros et al. 2010).

O controle comportamental usando feromônios sexuais pode ser uma estratégia viável para a supressão populacional de pragas, e já demonstrou ser eficaz em muitos sistemas de cultivo ao redor do mundo (Witzgall et al. 2010). A interrupção do acasalamento via feromônio sintético funciona através da interrupção da comunicação por feromônio sexuais entre machos e fêmeas. Essa estratégia tem sido um grande sucesso em pomares por muitas décadas para o controle de espécies de mariposa da família Tortricidae (Witzgall et al. 2010). Entre os efeitos positivos relatados estão a diminuição dos danos

observados na cultura, a diminuição do uso de inseticidas e o manejo da resistência a inseticidas pela redução de acasalamentos entre indivíduos resistentes (Suckling et al. 1990).

Os principais objetivos deste estudo foram (i) avaliar se o uso de feromônio sintético Pherogen Spray FAW®, em formulação líquida pode suprimir o acasalamento de populações de *S. frugiperda* na cultura do algodoeiro, (ii) mensurar se houve diminuição de danos ocasionados por larvas de *S. frugiperda* nas estruturas reprodutivas da planta de algodão, e (iii) identificar se houve efeito benéfico adicional do feromônio em combinação com o algodão Bt. Os desdobramentos dos resultados deste trabalho têm consequências práticas tanto para o manejo integrado de pragas (MIP) quanto para o manejo da resistência de inseticidas e plantas Bt (MRI).

O ensaio para avaliar o desempenho do feromônio em cultivares de algodão Bt e convencional foi realizado em Sapezal, Mato Grosso (13°28'8,79" S e 58°54'43,85" O), Brasil, durante a safra 2020 em áreas de cultivo comercial. A área total utilizada no ensaio foi de 240 ha, dividida em 4 parcelas experimentais separadas a uma distância mínima de 200 metros entre si. O tamanho de cada parcela onde foram avaliados os diferentes tratamentos foi de 60 ha cada, totalizando 120 ha de área tratada com feromônio (60 ha Bt + 60 ha convencional) e 120 ha de área não tratada. As cultivares de algodão utilizadas foram IMA 5801 B2RF expressando as proteínas inseticidas Bt, *Cry1Ac* e *Cry2Ab* (Belot et al. 2020) e FM 944 GL (convencional). As cultivares foram semeadas em 25/01/2020, com a emergência das plantas em 30/01/2020. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,90 m utilizando nove sementes por metro. O manejo das áreas seguiu as melhores práticas recomendadas para o manejo da cultura.

Foram testados quatro tratamentos: área de algodão Bt com (T1) e sem aplicação de feromônio (T2); área com algodão não-Bt com (T3) e

sem aplicação de feromônio (T4). O feromônio utilizado foi a formulação de suspensão em cápsula comercial (Pherogen Spray FAW®, Provivi Santa Monica, CA) na dose de 89 mL/ha contendo 25g do ingrediente ativo por hectare. O produto foi pulverizado com o pulverizador do produtor com barra de 30 m. Foram realizadas 13 aplicações nas áreas tratadas com a formulação iniciando em B1 e obedecendo o intervalo de sete dias perfazendo 91 dias de cobertura, num total de 183 dias de ciclo da cultura. O intervalo entre pulverizações foi determinado preliminarmente a partir de dados de estudo de resíduo em laboratório e o número de aplicações pela janela crítica de ataque no algodoeiro.

Em cada parcela foram distribuídas 12 armadilhas por tratamento (ou seja, 48 armadilhas no total) compostas por um balde plástico (500 mL) com água e detergente líquido (3/4 de água no recipiente com 2% v/v de detergente neutro), a uma altura de 30 cm do solo, as quais foram trocadas sempre que necessário. Cada armadilha foi considerada uma repetição no espaço e no tempo e continha uma isca de feromônio sexual usada para atrair machos de *S. frugiperda* (Bio Spodoptera, Biocontrole®). As iscas foram substituídas a cada 21 dias (cerca de três semanas). As armadilhas foram espaçadas 200 m entre si ao longo da fileira de plantas, 250 m lateralmente mantendo distância de 75 m das bordas das parcelas.

Todas as 48 armadilhas foram monitoradas em 0 (antes da primeira aplicação), 4 e 7 dias após cada aplicação (DAA). Após a última aplicação, a contagem de machos adultos foi avaliada aos 4, 7, 11, 18, 25 e 32 DAA. Após cada avaliação, as armadilhas eram limpas e o nível da água verificado e completado quando necessário.

A cada 14 dias, as estruturas reprodutivas (botões florais, flores e capulhos) de seis pontos amostrais foram avaliadas em cada parcela. Cada ponto foi composto por cinco plantas, perfazendo um total de 30 plantas/tratamento/data de amostragem. Em cada planta, foram inspecionadas as seguintes variáveis: (1) número de estruturas (botões florais, flores e capulhos) com dano causada pela alimentação de *S. frugiperda*, (2) número de estruturas sem danos, (3) presença de injúrias nas estruturas reprodutivas (raspagem de brácteas, perfuração de botão floral e destruição de anteras e estigma floral, perfuração de maçã até a completa destruição da estrutura). O acompanhamento do estágio de crescimento do algodoeiro foi mensurado a cada aplicação e avaliação de acordo com a escala monológica de Marur e Ruano (2001).

Foram realizados seis pontos de amostragem aleatórias por parcela para as avaliações descritas acima, sendo que cada ponto estava ao redor das armadilhas de coleta de mariposa (descrito acima). As avaliações sucessivas não amostravam sistematicamente os mesmos pontos, mas pontos aleatorizados em um raio de até 20 m do ponto da armadilha. Em cada ponto, a coleta dos capulhos foi feita manualmente em quatro linhas por cinco metros de comprimento, registrando em cada ponto o número de plantas presentes nesta área útil. Em seguida, as amostras colhidas foram levadas ao laboratório, para o registro da umidade e pesagem de cada amostra. Foi determinado a produtividade (kg/ha e @/ha) a partir da massa de fibra + caroço.

Dois variáveis estatísticas foram analisadas: (%) de redução de captura ao longo do tempo e (%) de redução de danos comparando os tratamentos. As contagens de mariposas foram assumidas como provenientes de uma distribuição de *Poisson* super-dispersa. O efeito do tratamento com feromônio foi um parâmetro de efeito máximo multiplicado por uma proporção que representou a concentração de log IA (ingrediente ativo), que foi modelada como o FDA (Função de distribuição acumulada) da distribuição t. A distribuição de FDA foi deslocada de acordo com um parâmetro de "potência", e a concentração foi assumida como proporcional à quantidade de AI liberada por unidade de tempo, com liberação modelada como uma distribuição Lomax. A variação correlacionada (em relação à distância no espaço e no tempo) no multiplicador do efeito do tratamento foi incluída por meio de uma variável adicional de sobredispersão do Processo Gaussiano (PG) adicionada à concentração logarítmica, usando um núcleo exponencial quadrado. Uma abordagem bayesiana foi usada para determinar as distribuições posteriores dos parâmetros (incluindo hiperparâmetros e valores latentes). A análise foi realizada usando um amostrador personalizado Markov Chain Monte Carlo (MCMC), envolvendo fatia dentro de amostragem de Gibbs, executado

em Matlab. Todas as anteriores e hiperpriorizadas eram distribuições padrão de Cauchy. Um total de 40.000 amostras foram retiradas (40 cadeias de 1.000 iterações, afinadas tomando 1 de cada 25 após a queima de 2.750); alguma correlação serial permaneceu, tornando o tamanho efetivo da amostra menor do que as 40.000 amostras.

Verificamos que o feromônio pulverizado em um intervalo de 7 dias em 13 aplicações foi capaz de manter a redução da captura os insetos em armadilha próximo de 90% dentro de um intervalo de credibilidade de 95% (IC: 80-90%) ao longo do tempo (Fig. 1). Os tratamentos onde o feromônio foi pulverizado mostraram uma redução significativa com base no intervalo de confiança (95%) da captura da *S. frugiperda* comparando com área onde o feromônio não foi pulverizado, independentemente dos sistemas de produção (ou seja, Bt e não-Bt) (Fig. 2). Ao longo do período de avaliação, o tratamento Bt + feromônio (\bar{x} = 1,53, SE = 0,21) e feromônio sozinho (\bar{x} = 1,97, SE = 0,31) tiveram as menores médias de captura nas armadilhas seguido por Bt (\bar{x} = 7,68, SE = 0,61) e não-Bt sem aplicação de feromônio (\bar{x} = 28,65, SE = 2,29). Ao longo do tempo de avaliação, houve uma tendência de captura de mais mariposas no algodão não Bt, principalmente na área onde o feromônio não foi pulverizado (Fig. 2).

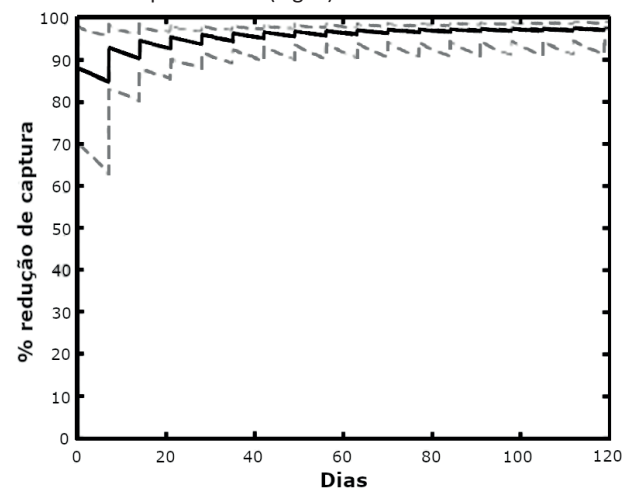


Figura 1. Modelo espaço-temporal ajustado estimando a redução de captura para áreas tratadas com feromônio em comparação com áreas não tratadas. A figura mostra a mediana e o intervalo de credibilidade de 95% (IC) da % de redução de captura de *S. frugiperda* em armadilha ao longo do tempo quando uma nova aplicação de feromônio é aplicada a cada 7 dias. Os resultados mostram a tendência de estabilização dos valores por volta de 90% de redução à medida que as aplicações se acumulam no tempo.

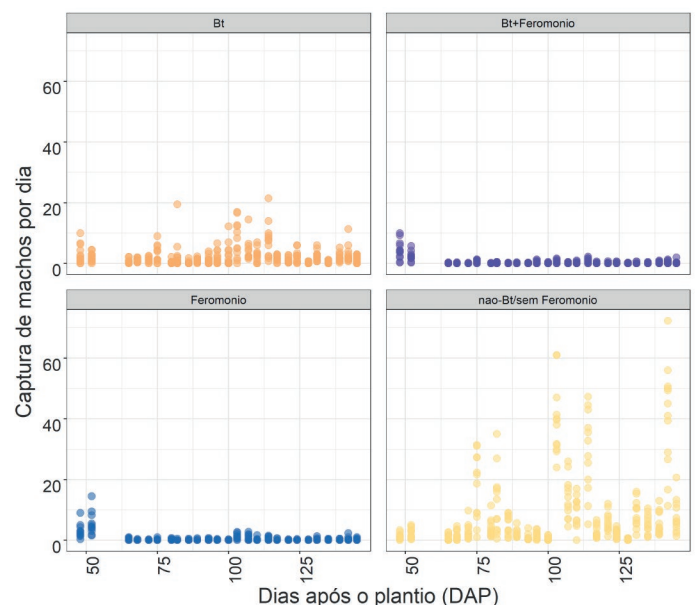


Figura 2. Captura média (\pm SE) de mariposas machos em armadilhas balde ao longo do tempo considerando os diferentes tratamentos. As análises descritivas demonstram que os tratamentos envolvendo a aplicação de feromônio levam a uma redução da captura ao longo do ciclo do algodoeiro.

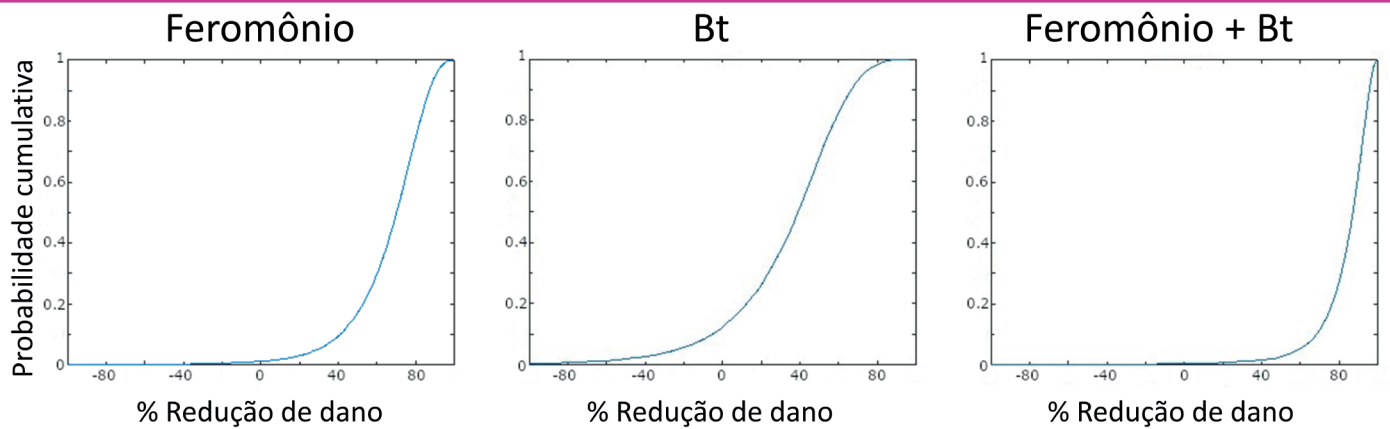


Figura 3. Função de densidade cumulativa (FDC) mostrando a redução da taxa de dano (%) para os três tratamentos de feromônio em comparação com o controle (plantio convencional sem feromônio). O valor de redução de danos mais provável a ser encontrado no campo (eixo x) está associado ao valor da probabilidade de 0.5 (mediana da distribuição) (eixo y).

Os tratamentos correspondentes às áreas tratadas com feromônio e áreas com feromônio + Bt resultaram em danos reduzidos em relação às áreas sem aplicação de feromônio e áreas com cultivos convencionais (Fig. 3). Também é possível inferir que a associação do tratamento de feromônio ao Bt resultou em uma maior redução de danos do que o Bt sozinho. O tratamento composto apenas pelo feromônio foi mais eficiente na proteção de estruturas do que o tratamento com algodão Bt sozinho (Fig. 3).

A análise dos dados de produtividade mostrou maior média para os tratamentos com feromônio (Feromônio: \bar{x} = 5662,9 kg, Erro Padrão=50,89; Feromônio + Bt: \bar{x} = 5709,2 kg, Erro Padrão=53,39) em comparação com áreas sem aplicação de feromônio (Bt: \bar{x} = 5532,7 kg, Erro Padrão=202,69; sem feromônio + não-Bt: \bar{x} = 5453,1 kg, Erro Padrão=185,35). Contudo, as diferenças nos rendimentos entre o tratamento não foram estatisticamente significativas.

No presente estudo, reportamos pela primeira vez o uso de controle comportamental por interrupção de acasalamento para *S. frugiperda* em algodão convencional e Bt. Os resultados apresentados demonstram o grande potencial do feromônio sintético em grandes cultivos e representam um marco importante para o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis de controle de pragas. A captura de machos foi efetivamente reduzida com a supressão mediana estimada em 85% (IC 80-90%) (Fig. 1) e consistente com os valores relatados em outro estudo com *S. frugiperda* (Mitchell & McLaughlin 1982) e outros lepidópteros (Jallow et al. 2020).

O efeito residual da aplicação de feromônio tendeu a se acumular ao longo do tempo após sucessivas aplicações, e os valores para a redução dos valores de captura das mariposas nas armadilhas foram mantidos no limite superior do intervalo de confiança alvo de interrupção de 90% (IC 80-90%) ao longo do tempo. Esses resultados foram alcançados em uma área tratada de 120 ha utilizando formulação comercial viável e equipamento padrão de pulverização em operações compatíveis com a rotina da fazenda. Não só o acasalamento foi interrompido com sucesso, mas o dano às estruturas reprodutivas das plantas foi mitigado, resultando em uma redução de 70% dos danos estimados pelo efeito do feromônio sozinho (Fig. 3). Além disso, o feromônio foi compatível tanto com a cultura Bt expressando *Cry2Ab* + *Cry1Ac* quanto com a cultivar convencional, mostrando um adicional complementar das duas táticas de controle, o que levou à redução de 85% de danos nas estruturas reprodutivas (feromônio + planta Bt) (Fig. 2).

A combinação de duas táticas de controle (planta Bt + feromônio) mostraram-se complementares ao visar duas fases distintas do ciclo da praga (ou seja, larvas e adultos), garantindo uma redução de danos maior, de até 85%, em comparação com qualquer uma das táticas implementadas isoladamente. Até o momento, a maioria das toxinas expressas nas variedades de algodão têm eficiência limitada contra *S. frugiperda* (Know et al. 2006; Sivasupramaniam et al. 2008). A associação com o feromônio resultou em um complementar na supressão populacional do que as toxinas sozinhas. Os benefícios para o manejo de pragas com feromônio podem ir além do número reduzido de aplicações (Witzgall et al. 2010) e do adicional do feromônio a

inseticidas (Higbee & Burks 2011) e culturas Bt (Caprio & Suckling 1995). O controle comportamental tem sido sugerido como ferramenta promissora também para o manejo da resistência de insetos (MRI), servindo como proteção adicional para a biotecnologia implantada em plantas como Bt prevenindo que os indivíduos sobreviventes de áreas Bt não acasalem nas áreas tratadas (Suckling et al. 1990). O uso do feromônio para o manejo da resistência pode ser particularmente vantajoso no caso da *S. frugiperda*, uma vez que esta espécie já desenvolveu resistência a vários inseticidas foliares sintéticos e proteínas Bt inseticidas transgênicas (Mota-Sanchez & Wise 2023). Atualmente, existem poucos produtos que permanecem eficazes no controle de *S. frugiperda*, e a única toxina Bt eficaz e duradoura é a *Vip3Aa* (Paredes-Sánchez et al. 2021).

Aspectos como a baixa adoção de refúgios no Brasil, a dependência do controle baseado em inseticidas e uma única toxina Bt ainda eficaz, provavelmente criará um cenário insustentável de alta pressão seletiva por resistência (Mota-Sanchez & Wise 2023). O aumento da adoção do algodão Bt expressando a toxina Vip3 tornará o manejo da resistência desafiador uma vez que proteínas do mesmo grupo já estão presentes no milho, aumentando o risco de rápido desenvolvimento de resistência no Brasil (Bernardi et al. 2016; Amaral et al. 2020). Juntamente com as táticas de IRM, o uso de feromônios pode trazer grande valor tanto para os sistemas transgênicos quanto para os convencionais.

Aqui nós testamos a eficácia do feromônio aplicado em condições de campo aberto para uma cultura de algodão de 120 ha e concluímos que a interrupção do acasalamento foi alcançada e mantida perto de 90% quando o produto foi utilizado em intervalo de 7 dias entre as pulverizações. Além disso, uma redução significativa, a 5% de probabilidade, nos danos a estruturas reprodutivas do algodão foi observada em áreas tratadas com feromônios. O efeito benéfico adicional às culturas Bt pode aumentar a proteção das plantas, visando dois estágios de vida diferentes dos insetos (adultos e larvas). A área tratada com feromônio também teve maior produtividade, mas as diferenças não foram estatisticamente significativas. Devido ao fato de o ensaio ter sido realizado em apenas uma área, diferenças em produtividades não mostraram significância estatística. Os resultados relatados aqui devem ser validados em estudos que examinam um número maior de locais ao longo de várias estações. A utilização da interrupção do acasalamento como tática complementar, conforme relatado aqui, fornece uma nova perspectiva para o manejo de *S. frugiperda* no cultivo de algodão no Brasil.

Informações de Financiamento

O estudo teve o suporte financeiro da Provivi®.

Contribuição dos Autores

TC, TG, RM planejaram e determinaram o design experimental o ensaio, asseguraram os recursos e revisaram a versão final do

manuscrito. FGS, BMF, LV conduziram o ensaio a campo. KT, KB conduziram as análises estatísticas. FGS, BMF, EC, escreveram e revisaram o manuscrito.

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores FGS, BMF, TC, TG, KT, KB, e EC estavam associados a Provivi® durante a condução do project. Para além disso, os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Amaral, F. S. A.; Guidolin, A. S.; Salmeron, E.; Kanno, R. H.; Padovez, F. E. O.; 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)
- Barros, R.; Degrande, P. E. (2012) Evaluation of *Bt*-cotton as a strategic tool for the control of cotton plant-pests under field conditions. *Científica*, 40: 117-137.
- Barros, E. M.; Torres, J. B.; Ruberson, J. R.; Oliveria, M. D. (2010) Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 137(3): 237-245. doi: [10.1111/j.1570-7458.2010.01058.x](https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01058.x)
- Bernardi, O.; Bernardi, D.; Horikoshi, R. J.; Okuma, D. M.; Miraldo, L. L.; Faretto, J.; Medeiros, F. C.; Burd, T.; Omoto, C. (2016) Selection and characterization of resistance to the Vip2Aa20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, 72(9): 1794-1802. doi: [10.1002/ps.4223](https://doi.org/10.1002/ps.4223)
- Belot, J. L.; Vilela, P.; Galbieri, R.; Scoz, L.; Boldt, A. S.; Chimenez-Franzon, R.; Leoni, I.; Rizzi, U.; Souza, M. (2020) IMA 5801B2RF, insect-resistant and glyphosate tolerant cotton cultivar, with resistance to root-knot nematode. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20(4): e322920412. doi: [10.1590/1984-70332020v20n4c65](https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n4c65)
- Caprio, M. A.; Suckling, D. M. (1995) Mating disruption reduces the risk of resistance development to transgenic apple orchards: simulation of the lightbrown apple moth. *New Zealand Plant Protection*, 48: 52-58. doi: [10.30843/nzpp.1995.48.11544](https://doi.org/10.30843/nzpp.1995.48.11544)
- Higbee, B. S.; Burks, C. S. (2021) Individual and Additive Effects of Insecticide and Mating Disruption in Integrated Management of Navel Orangeworm in Almonds. *Insects*, 12(2): 188. doi: [10.3390/insects12020188](https://doi.org/10.3390/insects12020188)
- Jallow, M. F. A.; Dahab, A. A.; Albaho, M. S.; Devi, V. Y.; Jacob, J.; Al-Saeed, O. (2020) Efficacy of mating disruption compared with chemical insecticides for controlling *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Kuwait. *Applied Entomology and Zoology*, 55(2): 213-221. doi: [10.1007/s13355-020-00673-y](https://doi.org/10.1007/s13355-020-00673-y)
- Know, O. G. G.; Constable, G. A.; Pyke, B.; Gupta, V. V. S. R. (2006) Environmental impact of conventional and *Bt* insecticidal cotton expressing one and two Cry genes in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(5): 501-509. doi: [10.1071/ar05366](https://doi.org/10.1071/ar05366)
- Marur, C.J.; Ruano, O. (2001) A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, 5:313-317.
- Mitchell, E. R.; McLaughlin, J. R. (1982) Suppression of Mating and Oviposition by Fall Armyworm and Mating by Corn Earworm in Corn, Using the Air Permeation Technique, *Journal of Economic Entomology*, 75(2): 270-274. doi: [10.1093/jee/75.2.270](https://doi.org/10.1093/jee/75.2.270)
- Montezano, D. G.; Sosa-Gómez, D. R.; Specht, A.; Roque-Specht, V. F.; Sousa-Silva, J. C.; Paula-Moraes, S. V.; Peterson, J. A.; Hunt, T. E. (2018) Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286-300. doi: [10.4001/003.026.0286](https://doi.org/10.4001/003.026.0286)
- Mota-Sanchez, D.; Wise, J. C. (2023) The Arthropod Pesticide Resistance Database. <https://www.pesticideresistance.org/search.php>. Access on: 02.ii. 2023.
- Paredes-Sánchez, F. A.; Rivera, G.; Bocanegra-García, V.; Martínez-Padrón, H. Y.; Berrones-Morales, M.; Niño-García, N.; Herrera-Mayorga, V. (2021) Advances in Control Strategies against *Spodoptera frugiperda*. A Review. *Molecules*, 26(18): 5587. doi: [10.3390/molecules26185587](https://doi.org/10.3390/molecules26185587)
- Pogue, M. G. (2002) A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée: (Lepidoptera: Noctuidae). *Memoirs of the American Entomological Society*, 43: 1-201.
- Sivasupramaniam, S.; Moar, W. J.; Ruschkel, L. G.; Osborn, J. A.; Jiang, C.; Sebaugh, J. L.; Brown, G. R.; Sharppey, Z. W.; Oppenhuizen, M. E.; Mullins, J. W., et al. (2008) Toxicity and characterization of cotton expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests. *Journal of Economic Entomology*, 101(2): 546-554. doi: [10.1093/jee/101.2.546](https://doi.org/10.1093/jee/101.2.546)
- Suckling, D. M.; Shaw, P. W.; Khoo, J. G. I.; Cruickshank, V. (1990) Resistance management of lightbrown apple moth, *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) by mating disruption. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 18(2-3): 1175-8783. doi: [10.1080/01140671.1990.10428077](https://doi.org/10.1080/01140671.1990.10428077)
- Witzgall, P.; Kirsch P.; Cork, A. (2010) Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*, 36(1): 80-100. doi: [10.1007/s10886-009-9737-y](https://doi.org/10.1007/s10886-009-9737-y)