



ROBERTA ALVARENGA

**ACÚMULO DE SILÍCIO EM MILHO
INDUZIDO POR ÁCIDO GIBERÉLICO
SOBRE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) E NO CRESCIMENTO DA
PLANTA**

LAVRAS – MG

2014

ROBERTA ALVARENGA

**ACÚMULO DE SILÍCIO EM MILHO INDUZIDO POR ÁCIDO
GIBERÉLICO SOBRE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) E NO CRESCIMENTO DA PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre

Orientador

Dr. Jair Campos Moraes

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Oliveira, Roberta Alvarenga.

Acúmulo de silício em milho induzido por ácido giberélico sobre
Spodoptera frugiperda (Lepidóptera: Noctuidade) e no crescimento
da planta / Roberta Alvarenga Oliveira. – Lavras : UFLA, 2014.
48 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
Orientador: Jair Campos Moraes.
Bibliografia.

1. Lagarta-do-cartucho. 2. Resistência induzida. 3. Manejo
integrado de pragas. 4. *Zea mays*. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 595.78

ROBERTA ALVARENGA

**ACÚMULO DE SILÍCIO EM MILHO INDUZIDO POR ÁCIDO
GIBERÉLICO SOBRE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) E NO CRESCIMENTO DA PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre

APROVADA em 27 de fevereiro de 2014

Dra. Lenira V. C. Santa-Cecília
Dr. Rogério Antônio Silva

EPAMIG - Sul de Minas
EPAMIG - Sul de Minas

Orientador
Dr. Jair Campos Moraes

LAVRAS – MG

2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, por iluminar meu caminho e permitir a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Entomologia, pela realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Jair Campos Moraes, pela orientação, ensinamentos, paciência e amizade.

Aos pesquisadores Rogério Antônio Silva e Lenira Viana Costa Santa-Cecília, pela participação na banca examinadora.

A todos os professores do Departamento de Entomologia da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos.

Às amigas Mariane Coelho, Amanda Nascimento e Marilisa Galegos pela amizade, disponibilidade e grande ajuda na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Entomologia, Dona Irene, pela disposição em sempre ajudar e Léa, pela amizade e ajuda.

À minha família, em especial à minha mãe Carmem por todo cuidado, confiança e amor incondicional e ao meu avô Cincinato, por ser meu maior exemplo de vida.

Aos colegas da pós-graduação, pela convivência, amizade e ajuda durante o curso. Aos amigos, Rodrigo, William, Sandra, Ivana e João por todos os bons momentos vividos juntos nesses anos de mestrado.

Ao grande amigo, Sergio, pelo incentivo e ajuda em todos os momentos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera Noctuidae), é considerada praga chave da cultura do milho, causando perdas significativas à cultura. O controle químico indiscriminado desse inseto-praga resultou em seleção de populações resistentes a uma gama de produtos de elevada toxicidade, o que tornou o inseto de difícil controle. Uma estratégia alternativa para o controle desse inseto-praga é o aumento da resistência constitutiva ou a indução de resistência, por exemplo, pela aplicação de silício. Dessa forma, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar os efeitos da aplicação de silício e de ácido giberélico nas características vegetativas da planta de milho e na indução de resistência a *S. frugiperda* pela interferência em parâmetros biológicos das fases larval e adulta, e não-preferência de lagartas. Foram testados os seguintes tratamentos: T1- Testemunha (dose zero de ácido silícico e ácido giberélico); T2- aplicação de solução de ácido silícico (fonte puríssima de silício) a 1,0% via solo, em cada vaso ao redor do caule (*drench*) das plântulas recém-emergidas, na dosagem equivalente a 2t de SiO₂/ha; T3- aplicação de 0,3 mg de ácido giberélico sobre as folhas, 7 dias após a emergência das plântulas e T4- aplicação de ácido silícico e giberélico. Pelos resultados foi possível verificar que a aplicação de ácido giberélico promoveu um aumento da altura, da massa fresca foliar, do peso seco foliar das plantas de milho e da absorção de silício e, esse aumento na absorção de silício foi negativamente correlacionado com a fecundidade de *S. frugiperda*. Além disso, foi observado que a aplicação combinada de ácido giberélico e o silício afetam negativamente o consumo foliar de lagartas de 1^o instar.

Palavras-chave: Lagarta-do-cartucho. Resistência Induzida. MIP. *Zea mays*.

ABSTRACT

The Fall armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), is considered key pest of corn, causing significant losses to the culture. The indiscriminate chemical control of this insect pest resulted in selection of resistant to a range of products of high toxicity, which became difficult to control insect populations. An alternative strategy to control this insect pest is increased constitutive resistance or induction of resistance, for example, by applying silicon. Thus, the aim of this study was to evaluate the effects of silicon and gibberellic acid on vegetative characteristics of the corn plant and induction of resistance to *S. frugiperda* by interference in biological parameters in larval and adult stages, and non-preference of caterpillars. The treatments were: T1 - control (zero dose of silicic acid and gibberellic acid), T2 - application of silicic acid solution (ultrapure silicon source) to 1.0 % in the soil in each pot around the stem (*drench*) of newly emerged seedlings, the equivalent to 2t SiO₂/ha dosage, T3 - application of 0.3 mg of gibberellic acid on leaves 7 days after seedling emergence and T4 - application of silicic acid and gibberellic acid. From the results it was verified that the application of gibberellic acid induced an increase in height, the leaf fresh weight, leaf dry weight of corn plants and the absorption of silicon, and this increase in silicon absorption was negatively correlated with the fecundity of *S. frugiperda*. Moreover, it was observed that the combined gibberellic acid and silicon implementation adversely affect foliar consumption of first instar.

Key-words: Fall armyworm. Induced resistance. IPM. *Zea mays*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Cultura do milho.....	11
2.2	A lagarta-do-cartucho do milho.....	12
2.3	Efeitos do silício.....	15
2.3.1	Efeitos do silício em lagartas.....	17
2.4	As giberelinas.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	Metodologia Geral.....	20
3.1.1	Criação de <i>Spodoptera frugiperda</i>	21
3.1.2	Cultivo do milho.....	21
3.1.3	Tratamentos.....	21
3.2	Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> nas fases larval e adulta	22
3.3	Análises das características vegetativas das plantas.....	23
3.4	Preferência de <i>S. frugiperda</i> em teste de livre escolha.....	24
3.5	Análise estatística.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1	Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i> nas fases larval e adulta	25
4.2	Análises das características vegetativas das plantas.....	31
4.3	Preferência de <i>S. frugiperda</i> em teste de livre escolha.....	35
4.3.1	Teste de livre escolha com lagartas de 1º ínstar.....	35
4.3.2	Teste de livre escolha com lagartas de 4º ínstar.....	37
5	CONCLUSÕES.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como um dos principais cereais cultivados em todo o mundo devido à sua multiplicidade de aplicações na alimentação humana, alimentação animal e matérias-primas para a indústria, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Destaca-se também na produção de etanol, principalmente nos Estados Unidos, que o produz em escala comercial (GOLDEMBERG, 2009).

O Brasil é o terceiro maior produtor desse cereal, precedido pelos Estados Unidos e pela China (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2013). No Brasil, de acordo com o levantamento brasileiro da safra de grãos 2012/2013 a área plantada foi de mais 15 milhões de hectares. A produção da primeira safra de milho 2012/2013 foi de 34.827,7 mil toneladas, enquanto para a safrinha foram colhidas 46.179,5 mil toneladas, superando a produção da safra de verão, principalmente pelo aumento da área e investimento em tecnologia pelos produtores. A produção de milho concentra-se na região Centro-Sul, sendo os estados do Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais os maiores produtores (COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO - CONAB, 2013).

Entretanto, apesar de estar entre os três maiores produtores mundiais de milho, o Brasil não se destaca entre os países com maior produtividade média (IBGE, 2010). A produtividade média prevista para a safra 2012/2013 no Brasil é de 4.701 kg/ha, enquanto que nos Estados Unidos a produtividade média estimada é de 7.744 kg/ha, isto é, 40% a mais (AGRIANUAL, 2013). Doenças, excesso de chuvas, geadas, secas e ataque de insetos-praga, são fatores diretamente relacionados à perda de área foliar e conseqüentemente de qualidade de grãos e, principalmente, produtividade (MARCHI, 2008).

Dentre os insetos-praga do milho, Cruz (1995) relata que *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma das principais, uma vez que se alimenta em todas as fases de crescimento da cultura e pode causar perdas significativas à produção. A lagarta-do-cartucho do milho *S. frugiperda* está distribuída pela América Latina e Estados Unidos (BUSATO et al., 2005; FARIAS; BARBOSA; BUSOLI, 2001; VIRLA et al., 2008; WISEMAN; PAINTER; WASSOM, 1966). É uma praga polífaga, podendo estar associada a 23 famílias de plantas (BUSATO et al., 2005) e, no Brasil, ela é considerada praga chave da cultura do milho (CRUZ, 1995).

No Brasil, até o advento e a liberação comercial do milho transgênico expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), o controle da lagarta-do-cartucho era feito exclusivamente com o uso de produtos químicos, resultando no desenvolvimento de populações resistentes a várias moléculas de inseticidas, o que tornou o inseto de difícil controle (YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003).

Uma estratégia alternativa para o controle de insetos-praga é o aumento da resistência constitutiva das plantas, obtidas por meio de melhoramento convencional ou engenharia genética (DOWD; JOHNSON, 2009). Entretanto, o aumento da resistência de plantas a insetos-praga também pode ser obtido por indução. Resistência induzida é um processo de defesa das plantas no qual um estresse ou uma injúria diminui a preferência ou o desempenho do herbívoro (KARBAN; MYERS, 1989). Essa indução pode ser feita, entre outras, por meio da adubação com fontes parcialmente solúveis de silício.

O silício absorvido pelas plantas se acumula e polimeriza nas paredes das células foliares, formando uma barreira mecânica o que dificulta o ataque de insetos (YOSHIDA, 1981) e atua também como um elicitador, induzindo defesas químicas (GOMES et al., 2005; KEEPING; KVEDARAS, 2008; RANGER et al., 2009).

Estudos demonstram que as plantas adubadas com silício têm apresentado resistência a insetos mastigadores (ASSIS et al. 2013;

GOUSSAIN et al., 2002; KVEDARAS et al., 2009) e sugadores (COSTA; MORAES; DACOSTA, 2009; FERREIRA; MORAES; ANTUNES, 2011; GOMES et al., 2008; KORNDORFER; GRISOTO; VENDRAMIN, 2011). Além disso, a eficiência do silício também pode ser observada em um terceiro nível trófico, com o aumento de inimigos naturais em plantas adubadas com esse elemento (KVEDARAS et al., 2010).

Portanto, a aplicação de silício é uma forma de indução de resistência a insetos que independe de engenharia genética. Em algumas Poaceas, o aumento no tipo e na quantidade de raízes pode aumentar o teor de silício absorvido (MA et al., 2001, 2007). O aumento de raízes laterais em milho pode estar ligado a um aumento da absorção de silício e o enraizamento lateral é dependente de fitohormônios denominados giberelinas (ZIMMERMANN; SAKAI; HOCHHOLDINGER, 2010).

As giberelinas fazem parte de um grupo denominado fitorreguladores (TAIZ; ZEIGLER, 2004). Os órgãos vegetais de uma planta são alterados morfológicamente pela aplicação de fitorreguladores, de modo que o crescimento e o desenvolvimento das plantas são promovidos, inibidos, influenciado ou modificado por processos fisiológicos (WEAVER, 1972). A função das giberelinas está associada principalmente à promoção do crescimento caulinar (TAIZ; ZEIGLER, 2004). Plantas de milho submetidas ao tratamento com giberelinas obtiveram mudanças na germinação, crescimento e desenvolvimento (ARAGÃO et al., 2001; DOURADO NETO et al., 2004; TAIZ; ZEIGLER, 2004)

Nesse contexto, o objetivo nesta pesquisa foi avaliar os efeitos da aplicação de silício e de ácido giberélico nas características vegetativas da planta de milho e na indução de resistência a *S. frugiperda* pela interferência em parâmetros biológicos das fases larval e adulta e na não-preferência alimentar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do milho

O milho é uma gramínea anual pertencente à família Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea*, espécie *Zea mays* L.. Taxonomicamente é identificado como *Zea mays* L. subsp. *mays* (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

Evidências científicas levam a crer que o gênero *Zea*, um grupo de gramíneas anuais e perenes, é nativo do México e América Central. Vestígios arqueológicos dos primeiros sabugos de milho, encontrados em Naquitz, no Vale de Oaxaca no México, datam de cerca de 6.250 anos (BUCKLER; STEVENS, 2005; PIPERNO; FLANNERY, 2001). Existem também grandes evidências fósseis sugerindo a dispersão para a América Central e do Sul à cerca de 6.000 anos (HAAS et al., 2013; PIPERNO; PEARSALL, 1998).

O milho é uma planta de ciclo vegetativo anual, com período de duração bastante variado, evidenciando desde cultivares extremamente precoces, cuja polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência, até mesmo aquelas cujo ciclo vital pode alcançar 300 dias. Contudo, em condições brasileiras, a cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, em função da caracterização dos materiais genéticos utilizados, super-precoce, precoce e tardio (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996).

Suas formas de utilização vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Devido a sua composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados, tratando-se de um alimento largamente consumido no mundo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). A maior parte do consumo desse cereal destina-se à alimentação animal (63,5%), seguido pelas aplicações industriais e consumo humano. Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho na alimentação humana, o grão de milho e seus derivados constituem um fator importante em regiões de baixa renda. Em algumas

regiões, o milho constitui a ração diária de alimentação, sendo o ingrediente básico da culinária (DUARTE, 2010).

No mercado do milho, os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos, China e Brasil, que produzem conjuntamente, cerca de 591 milhões de toneladas de milho, com uma participação de mais de 65% do total produzido no mundo. A produção de milho por região do Brasil está assim distribuída: Centro-Oeste - 26,16 milhões de toneladas; Sul - 25,71 milhões de toneladas, Sudeste - 11,64 milhões de toneladas; Nordeste - 5,83 milhões de toneladas; Norte - 1,66 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2013).

A cultura do milho é hospedeira de diferentes espécies de insetos fitófagos. Dentre os insetos sugadores, as espécies que ocorrem com maior frequência são a cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae); o pulgão, *Rhopalosiphum Maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae); e a cigarrinha-da-pastagem, *Deois flavopicta* (Stall, 1954) (Hemiptera: Cercopidae); causando danos diretos pela alimentação e indiretos pela transmissão de patógenos para a planta. Já dentre os insetos mastigadores os que ocorrem com maior frequência são a lagarta-elasma, *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae); lagarta-da-espiga, *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae); *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae) identificada recentemente no Brasil; e a lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda*, considerada a principal praga da cultura, ocasionando elevadas perdas em produtividade (CRUZ et al., 2013).

2.2 Spodoptera frugiperda

A lagarta-do-cartucho do milho, também conhecida pelo nome de lagarta dos milharais e lagarta militar, é nativa de regiões tropical e subtropical das Américas e apresenta ampla distribuição geográfica. Pertence

à ordem Lepidoptera e família Noctuidae (LUGINBILL, 1928). É uma espécie polífaga, aparentemente exibe uma ampla espécie de hospedeiros, com mais de 80 plantas registradas (CAPINEIRA, 2005). Ainda que apresente preferência alimentar por plantas da família das gramíneas, como o milho, o trigo, o sorgo, o arroz e a cana-de-açúcar, também atacam plantas de outras famílias botânicas como o feijão, o amendoim, a batata, o tomate e o algodoeiro. Dentre as espécies consumidas, o milho aparece como a principal e, no Brasil, ela é considerada praga chave da cultura por atacar a planta durante todo o seu ciclo (CRUZ; MONTEIRO, 2004).

As perdas na produção causada por essa lagarta podem variar de 17 a 34% dependendo da cultivar e do estágio fenológico da planta, sendo mais sensível entre os estádios de 8 a 10 folhas completamente formadas, ou seja, aproximadamente 40 dias após o plantio (CRUZ; TURPIN, 1982). Sua importância deve-se não somente aos danos provocados, mas também à dificuldade do seu controle (GASSEN, 1996).

A lagarta-do-cartucho é um inseto holometábolo, ou seja, durante seu ciclo passa por quatro fases distintas: ovo, lagarta, pupa e adulto. As fêmeas adultas depositam os ovos preferencialmente na face inferior das folhas (PITRE; HOGG, 1983), em massas irregulares que podem conter entre 30 e 300 ovos, podendo chegar até 1000 ovos/postura. Santos et al. (2004) estudando a fertilidade de *S. frugiperda* em genótipos de milho, obteve fêmeas com postura de até 901 ovos. A postura dos ovos pelas fêmeas pode ser feita tanto durante o dia como à noite. O período de incubação dos ovos varia de acordo com as condições de temperatura, sendo de 4,8 dias (18°C) e 2,0 dias (32°C) (BUSATO et al., 2005). Os ovos são cobertos com uma camada fina e longa de pelos e escamas, deixadas pela fêmea por ocasião da postura (CRUZ, 1995).

O período larval dura de 12 a 24 dias a 22°C e de 30 a 35 dias a 15°C (ETCHEVERRY, 1957). Estudando a biologia de *S. frugiperda* em diferentes genótipos de milho, Silveira, Vendramim e Rosseto (1997) verificaram que a duração da fase larval variou entre 14,0 e 17,5 dias (27 °C)

em diferentes genótipos de milho. Diferenças na duração da fase larval podem ser atribuídas a temperatura (BUSATO et al., 2005) e a quantidade e qualidade nutricional do alimento consumido nessa fase (PARRA, 1991).

As lagartas apresentam hábito alimentar mastigador e logo quando eclodem começam a raspar as folhas, à medida que vão se desenvolvendo passam a perfurá-las (CRUZ; MONTEIRO, 2004). A partir do segundo ínstar, a lagarta começa a furar as folhas, indo em direção ao cartucho da planta, local onde permanece até próximo ao estágio de pupa. A lagarta pode também penetrar no colmo, através do cartucho, fazendo galerias descendentes, até danificar o ponto de crescimento, ocasionando o sintoma denominado “coração morto”. São também comuns os danos diretamente no grão em formação dentro da espiga, ocasionando danos diretos pela alimentação, ou indiretos, por facilitar a penetração de microrganismos, tais como fungos e bactérias, agentes causadores de várias doenças, conseqüentemente, diminuindo o potencial de produção e a qualidade dos grãos (CRUZ, 2008).

A lagarta completamente desenvolvida mede cerca de 40 mm, com coloração variável de pardo-escuro, verde até quase preta e com o Y invertido na parte frontal da cabeça. Findo este período, a lagarta migra da planta para o solo ou restos culturais, penetrando de 2 a 2,5 centímetros de profundidade, onde se transforma em pupa. O período pupal varia de 10 a 12 dias nas épocas mais quentes do ano (CRUZ et al., 1986). Segundo Busato et al (2005), há efeito da temperatura sobre a fase pupal, podendo variar de 30,4 dias (18°C) a 6,6 dias (32°C), sendo que a 25°C é de 8,8 a 12,6 dias.

O adulto mede de 35 a 40 mm de envergadura e o comprimento do corpo é de aproximadamente 15 mm. A diferenciação pode-se dar pela presença de manchas mais claras nas asas anteriores dos machos (GALLO et al., 2002) e nos caracteres morfológicos que se situam nos urômeros genitais (VIII e IX) na fase de pupa (BUTT; CANTU, 1962). Apresentam longevidade de 12 a 21 dias (ROSA et al., 2012). Segundo Luginbill (1928), a longevidade do adulto pode estar relacionada às características próprias do

indivíduo ou à capacidade de conversão do alimento assimilado na fase larval.

O controle da lagarta-do-cartucho deve ser feito com o emprego de várias práticas integradas de manejo. É necessário fazer a identificação do inseto-praga, amostragem da área e o correto monitoramento da cultura do milho. Práticas culturais devem ser adotadas, tais como a manutenção e preservação de inimigos naturais no campo (PRAÇA; SILVANETO; MONNERAT, 2006). Porém, para o controle desse inseto, inseticidas químicos tem sido empregados com frequência (CRUZ, 2002). Muitas vezes, o inseticida não produz o efeito esperado o que acarreta o aumento de riscos de contaminação ambiental e para a saúde humana (COUTINHO et al., 2005). Além de contribuir para o aparecimento de populações de insetos resistentes (YU; NGUYEN; ABO-ELGHAR, 2003).

Sendo assim, a adoção de plantas resistentes, como é o caso do cultivo do milho *Bt*, se torna uma alternativa viável por se integrar aos programas de manejo de pragas.

2.3 Efeitos do silício

O silício é o segundo elemento químico com maior ocorrência na crosta terrestre. Não é considerado um elemento essencial para a maioria das plantas, porém existe ampla discussão no sentido de comprovar a essencialidade desse elemento. Alguns autores o classifica como “quase essencial”, ou seja, o mesmo deve estar presente nas plantas e sua ausência resulta em efeitos negativos e/ou anormalidades no crescimento e desenvolvimento das culturas (EPSTEIN, 1999). Porém, em 2004, no Brasil, foi classificado como micronutriente, segundo a Legislação Brasileira de Fertilizantes (BRASIL, 2004).

É encontrado na crosta terrestre na forma de minerais silicatados, como quartzos e feldspatos alcalinos. O feldspato ao sofrer o processo de

intemperização, libera o ácido silícico (H_4SiO_4) em grande parte na forma não dissociada, que é a principal forma de absorção do silício pelas plantas (EXLEY, 1998). Várias fontes de silício são utilizadas para fornecer silício ao solo. Os fertilizantes contendo silício podem ser aplicados via solo ou foliar, sendo os silicatos as principais fontes de silício atualmente em uso no Brasil (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002).

A absorção do silício confere benefícios às culturas, tais como: aumento da resistência ao acamamento e da eficiência fotossintética (DEREN, 2001). Também ameniza toxidez de Fe, Mn, Al e Na e estimula a produção de fitoalexinas (fenóis) (EPSTEIN, 1999; KORNDORFER et al., 2010). Segundo Lima et al. (2011) o silício atenua os efeitos negativos no crescimento, promovidos pelo NaCl, em plântulas de milho. A aplicação foliar de silício afeta a nutrição, aumentando a concentração de K, Ca, Mg e Si, e influencia positivamente a produtividade e o rendimento de grãos em milho (CRUSCIOL et al., 2013; SOUSA et al., 2010).

O acúmulo e a polimerização de silício na célula epidérmica, logo abaixo da cutícula, formam uma barreira mecânica denominada “dupla camada silício-cutícula”, ajudando a manter as folhas mais eretas, diminuindo a transpiração e protegendo as plantas contra o ataque de patógenos e também de insetos-praga (SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997).

Em relação a insetos sugadores, alguns autores sugerem que o movimento e a penetração do estilete podem ser interrompidos pela localização intercelular do silício (MA; TAKAHASHI, 2002). Moraes et al. (2005) avaliaram o efeito do silício na preferência do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de milho e verificaram que a aplicação do silício aumentou a resistência das folhas dificultando a alimentação desses insetos.

Outros autores afirmam que a aplicação de silício não afeta a penetração do estilete e nem o tempo de alimentação no floema, porém a excreção do honeydew é reduzida, sugerindo uma menor taxa de ingestão de

seiva. Assim, uma redução na qualidade de seiva também poderia explicar a diminuição do desenvolvimento do afídeo (GOUSSAIN; PRADO; MORAES, 2005).

Entretanto, a barreira mecânica e a diminuição da qualidade da seiva proporcionada pelo silício não é o único mecanismo de defesa ao ataque de insetos. O silício também atua como elicitador, induzindo uma defesa química.

Em trabalhos com plantas de batata, o silício aumentou as atividades enzimáticas da planta, indicando uma síntese de compostos de defesa das plantas contra agentes externos (GOMES et al., 2008). Verificando a influência na indução de resistência em *Zinnia elegans* no desenvolvimento de *Myzus persicae* (Sulzer, 1778) (Hemiptera: Aphididae), Ranger et al. (2009) verificaram um aumento de ácidos fenólicos e flavonóides, juntamente com um aumento de atividades enzimáticas nas plantas tratadas com silício. Também verificaram que afídeos criados nas plantas tratadas com silício tiveram uma redução da fecundidade comparado com afídeos criados em plantas não-tratadas.

Além disso, a eficácia do silício também pode ser observada em um terceiro nível trófico. Segundo Kvedaras et al. (2010), plantas de pepino tratadas previamente com silicato de potássio e posteriormente infestadas com larvas de *H. armigera* foram mais atrativas para o predador *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Méneville, 1830) (Coleoptera: Melyridae) do que plantas saudáveis somente submetidas à herbivoria. Os resultados indicam que o silício aplicado em plantas com uma infestação subsequente da praga, aumenta a produção de voláteis envolvidos na atratividade dos inimigos naturais.

2.3.1 Efeitos do silício em lagartas

Djainin e Pathak (1967) avaliaram a preferência para oviposição, tolerância à infestação de *Chilo suppressalis* (Walker, 1863) (Lepidoptera:

Crambidae) e o teor de silício de variedades de arroz e verificaram que houve uma correlação entre o teor de sílica da planta e o percentual de insetos mortos. Um dos fatos também levantados nesse trabalho foi o desgaste de mandíbulas nas lagartas que se alimentaram de variedades com alto teor de sílica.

O aumento da resistência de plantas a insetos-praga também pode ser obtido por indução. Essa indução pode ser feita por meio de fontes parcialmente solúveis de silício. Segundo Goussain et al. (2002), o aumento no teor de silício nas folhas, obtidos com aplicação de solução de silicato de sódio, pode dificultar a alimentação das lagartas pelo desgaste acentuado das mandíbulas, causando aumento de mortalidade e canibalismo. Kvedaras et al. (2009) também observaram um desgaste da mandíbula, trabalhando com a broca-do-colmo *Eldana saccharina* (Walker, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), em cana-de-açúcar tratada com silicato de cálcio.

Trabalhos realizados na África do Sul estudando o efeito da adubação silicatada em *E. saccharina* (Walker, 1865) (Lepidoptera: Pyralidae), revelaram que as melhores respostas foram obtidas com silicato de cálcio, com uma redução de ataque de 34% nas variedades suscetíveis e 26% nas variedades resistentes (KEEPING; MEYER, 2006). O silício pode acumular na gema, nos primórdios radiculares próximos a gema e entrenós da planta, tanto em variedades resistentes como em suscetíveis ao ataque de *E. saccharina*, aumentando as taxas de mortalidade das lagartas (KVEDARAS et al., 2007).

Estudos na China também demonstraram que a aplicação de silicato de cálcio em arroz diminuiu a alimentação e o desempenho da broca *C. suppressalis*, aumentou o tempo de penetração no colmo e o desenvolvimento larval, aumentando o tempo de exposição das lagartas aos inimigos naturais e medidas de controle (HOU; HAN, 2010).

A aplicação do silício combinada com injúrias mecânicas artificiais também demonstra resultados positivos. Segundo Assis et al. (2013), a aplicação de silício combinada com injúrias afeta a palatabilidade da folha

do girassol e o desenvolvimento de *Chlosyne lacinia saundersii* (Doubleday & Hewitson, 1849) (Lepidoptera: Nymphalidae).

2.4 As giberelinas

As giberelinas fazem parte de um grupo denominado fitorreguladores (TAIZ; ZEIGLER, 2004). Como benefícios ocasionados pela utilização dos fitorreguladores podem-se citar o incremento do crescimento e o desenvolvimento vegetal, estimulando a divisão celular, a diferenciação e o alongamento das células. Também aumenta a absorção e a utilização dos nutrientes (CASTRO; PACHECO; MEDINA, 1998).

As giberelinas foram descobertas e intensivamente estudadas a partir da década de 50. A função das giberelinas está associada à promoção do crescimento caulinar. Plantas submetidas às aplicações de giberelinas podem ser induzidas a obter um maior crescimento na sua estatura (TAIZ; ZEIGLER, 2004).

Segundo Tuna et al. (2008), a giberelina também pode neutralizar a salinidade, melhorando a permeabilidade da membrana e aumentando a absorção de nutrientes, consequentemente, aumentando o tamanho das plântulas. Aplicação de giberelina melhora a tolerância ao déficit hídrico em mudas de milho, mantendo a permeabilidade da membrana, aumentando a clorofila e teores de macronutrientes nas folhas (KAYA; TUNA; ALVES, 2006).

Ao estudar o papel dos pelos radiculares e das raízes laterais em arroz na absorção de silício, foi comparado à absorção de silício em curtos períodos (12h) e longos períodos (26 dias) em dois mutantes, um que não produzia pelos radiculares, o outro que não produzia raízes laterais, e foi utilizando como testemunha um tipo silvestre de arroz. Ficou demonstrado que a absorção de silício ficou prejudicada no mutante e que o silício absorvido está altamente correlacionado com a produção de raízes laterais

(MA et al., 2001). Na cultura do milho o desenvolvimento das raízes laterais é inicialmente controlado por um grupo de genes denominados ZmGSL genes (*Zea mays* Gibberelic acid Stimulated Transcript Like) regulados pela giberelina GA₁ e são as maiores responsáveis pela absorção de água e nutrientes (ZIMMERMANN; SAKAI; HOCHHOLDINGER, 2010). Silverstone et al. (1997) afirmam que a giberelina é altamente expressada nos meristemas das raízes laterais e que sua formação é dependente do gene ZmGSL.

Em relação à influência da aplicação de giberelinas no crescimento das raízes, Whaley e Kephart (1956) verificaram um aumento do crescimento das raízes de milho em diferentes concentrações de ácido giberélico. Outro estudo mostra que a aplicação de giberelina em concentrações baixas pode regular o crescimento das raízes de alface. (TANIMOTO, 1987).

Para as culturas de soja, de feijão e de arroz, Vieira (2001) verificou que a aplicação de bioestimulante (giberelina, citocinina e auxina) influenciou positivamente o crescimento radicular vertical, velocidade de crescimento radicular vertical das raízes, comprimento radicular total e rendimento da cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Metodologia Geral

O experimento foi conduzido no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, UR de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12 horas, e em casa de vegetação do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3.1.1 Criação de *Spodoptera frugiperda*

Os insetos foram provenientes de criação em laboratório, sendo as lagartas alimentadas com dieta artificial (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976) e os adultos com solução aquosa de mel a 10%. Para a montagem dos bioensaios, foram utilizadas lagartas provenientes de segunda e terceira posturas.

3.1.2 Cultivo do milho

Em casa de vegetação, foram semeadas sete sementes de milho híbrido GNZ 2004 (Geneze Sementes) por vaso de polietileno com capacidade para 3L de substrato, composto de solo do horizonte C (Latossolo Vermelho Escuro - LVe), adubado com o equivalente a 250 kg/ha da fórmula 4-14-8 (NPK). As plantas foram irrigadas diariamente de modo a suprir suas necessidades hídricas. Sete dias após a emergência, foram desbastadas deixando-se apenas as quatro plântulas mais vigorosas por vaso.

3.1.3 Tratamentos

Foram testados, em todos os bioensaios, os seguintes tratamentos: 1) Testemunha (dose zero de ácido silícico e ácido giberélico); 2) Silício; 3) Ácido giberélico; 4) Silício + Ácido giberélico.

O silício foi fornecido na forma de solução de ácido silícico (fonte puríssima de silício) a 1,0% (Vetec Química Fina, Duque de Caxias, Brasil), na dosagem equivalente a $2t \text{ SiO}_2 \text{ ha}^{-1}$. A solução de silício foi obtida diluindo-se 5g de ácido silícico em 500mL de água. Essa quantidade foi aplicada em cada vaso ao redor no caule (*drench*) das plântulas recém-emergidas. O tratamento hormonal foi realizado após o raleio das plantas,

sete dias após emergência, sendo aplicados 0,3 mg de ácido giberélico (Sigma – Aldrich, St. Louis, USA) (ROOD et al., 1992) por planta, sobre as folhas, com o auxílio de uma pipeta de 100 µL. Isso foi obtido pipetando-se 100 µL de 100 mL de uma solução, na concentração de 3 g/L de ácido giberélico.

3.2 Aspectos biológicos de *S. frugiperda* nas fases larval e adulta

O bioensaio foi conduzido em laboratório, adotando-se o delineamento inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 10 repetições.

Lagartas recém-eclodidas, obtidas da criação em laboratório, foram mantidas por dois dias em dieta artificial (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976), a fim de se evitar mortes causadas pelo manuseio das lagartas ainda frágeis. Depois foram individualizadas em placas de Petri (5 cm de diâmetro) e alimentadas com seções foliares de plantas com 40 dias de emergência, período em que a cultura se encontra mais suscetível ao ataque da lagarta-do-cartucho (CRUZ; TURPIN, 1982). Inicialmente foram alimentadas com folhas de aproximadamente 10 cm² e, a partir do 3º instar, de 20 cm² (GRÜTZMACHER, 1999). As seções foliares foram substituídas diariamente por seções novas durante todo o período larval.

Diariamente, as seções foliares foram medidas utilizando-se o medidor de área foliar portátil AM300 (ADC BioScientific Ltd, England), antes do fornecimento e após o consumo, para se determinar por diferença o consumo foliar diário.

Os parâmetros biológicos de *S. frugiperda* avaliados foram: período de desenvolvimento, viabilidade e peso larval, área foliar total consumida, duração da fase de pupa, peso pupal em até 24 horas após a sua formação, viabilidade pupal, razão sexual, longevidade de adultos, percentual de adultos defeituosos (asas contorcidas ou não expandidas) e total de ovos.

O peso larval foi feito em balança de precisão (0,1 mg), porém foram considerados no cálculo apenas os valores daquelas lagartas que atingiram a fase de pupa e a duração da fase de pupa foi determinada apenas para aquelas nas quais ocorreram emergência de adultos.

Conforme as emergências, os adultos foram separados em casais correspondentes a cada tratamento. Estes foram colocados em gaiolas de tubos de PVC (10cm de altura x 10cm de diâmetro), revestidas com papel filtro e tampadas com tecido do tipo organza. Os casais foram alimentados com solução aquosa de mel (10%). Diariamente, em cada gaiola, foram retiradas as massas de ovos, colocadas em placas de Petri de 5 cm e feita a contagem em microscópio estereoscópico.

3.3 Análises das características vegetativas das plantas

Em plantas com 40 dias de semeadura foram analisadas as seguintes características vegetativas: altura, diâmetro da haste, teor de clorofila (medidor portátil de clorofila SPAD-502, da empresa Konica Minolta Sensing, Inc.), massa fresca e seca da parte aérea e da raiz da planta e o teor de Si em toda a parte aérea. As plantas foram cortadas rente ao solo e as raízes lavadas, sendo em seguida o material individualizado em saco de papel, identificado e colocado para secar em estufa a temperatura de 60⁰C até peso constante.

Posteriormente, as plantas foram moídas em micro moinho tipo Willye (TECNAL – equipamentos para laboratório, Piracicaba, Brasil), colocadas em saco plástico, identificadas e enviadas para a determinação dos teores de silício no Laboratório Fullin – Laboratório de Análise Agrônômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas, na cidade de Linhares, Espírito Santo.

3.4 Preferência de *S. frugiperda* em teste de livre escolha

O bioensaio foi conduzido em laboratório, adotando-se o delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 10 repetições.

A preferência do primeiro e quarto ínstar da lagarta-do-cartucho foram avaliadas pelo teste de livre escolha para alimentação. Folhas de plantas de milho, com 40 dias de emergência, submetidas aos tratamentos foram destacadas e, no laboratório, lavadas em água corrente e imersas em solução de hipoclorito a 1% por cinco minutos. Depois de retirado o excesso de umidade, as folhas foram cortadas em seções (5 cm x 2 cm) e dispostas equidistantes em placa de Petri (20 cm de diâmetro), no sistema de arena, sobre uma camada de ágar-água a 1%.

Para avaliar a preferência da lagarta de primeiro instar, as placas contendo as seções de milho, foram infestadas com 20 lagartas no centro da placa, a qual foi vedada com filme de PVC. As placas foram escurecidas com papel jornal, para evitar o efeito do fototropismo, e mantidas em salas climatizadas a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, UR de $70 \pm 10\%$. O número de lagartas sobre as folhas de cada tratamento foi registrado após 24h e 48h da liberação, as lagartas que estavam no substrato não foram contabilizadas, de acordo com a metodologia modificada de Mendes et al. (2011). Antes do fornecimento e no final das 48h, a área foliar consumida pelas lagartas foi avaliada utilizando-se o medidor de área foliar AM300 (ADC BioScientific Ltda, England). Já para avaliar a preferência no quarto instar, as placas foram infestadas com somente uma lagarta, liberada no centro da placa e após 24h a área foliar consumida foi avaliada.

Além disso, para a comparação dos tratamentos em relação à testemunha, foi utilizado o índice de repelência (IR) (adaptado de LIN; KOGAN; FISCHER, 1990), calculado no final das 48h, para as variáveis significativas, pela fórmula:

$$IR = \frac{2G}{(G + P)}$$

na qual $G = \%$ de insetos na planta teste e $P = \%$ de insetos na testemunha, sendo $IR = 1$, planta neutra; $IR > 1$, planta atraente e $IR < 1$, planta repelente.

Posteriormente, foi determinado o índice de preferência em relação ao consumo foliar (KOGAN; GOEDEN, 1970), calculado no final das 48h para as variáveis significativas, pela fórmula:

$$IP = \frac{2A}{(M + A)}$$

em que $A =$ área consumida nas plantas tratadas, e $M =$ área consumida nas plantas não-tratadas, sendo $IP < 1$ (fagodeterrente), $IP = 1$ (neutra) e $IP > 1$ (fagoestimulante).

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo os de contagem e de viabilidade transformados em, respectivamente, $\sqrt{X+0,5}$ e arco-seno $\sqrt{X/100}$, antes da análise. Para as variáveis significativas foi realizado um teste de correlação linear paramétrica de Pearson.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspectos biológicos de *S. frugiperda* nas fases larval e adulta

Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos para os parâmetros avaliados durante a fase larval (duração, peso, viabilidade e área foliar consumida) e a fase de pupa (duração, peso e viabilidade) (Tabela 1). Estes resultados estão de acordo com os observados

por Goussain et al. (2002), que não detectaram diferenças significativas para as características biológicas de *S. frugiperda* relacionadas à duração da fase larval, da fase pupal, viabilidade de pupas e peso de pupas em plantas de milho tratadas com silício.

Entretanto, as razões para a falta de resposta da fase larval de *S. frugiperda* em relação à aplicação de silício não é conhecida. Segundo Korndorder, Cherry e Nagata (2004), a resposta da interação inseto-planta-silício é complexa e nem sempre previsível. Para uma outra espécie de lagarta, *C. suppressalis*, Hou e Han (2010) demonstraram que a aplicação de silicato de cálcio em plantas de arroz diminuiu o ganho de peso larval. Em girassol, a aplicação de ácido silícico afetou o desenvolvimento de *C. lacinia saundersii*. Lagartas desta espécie exibiram um menor ganho de peso comparadas com lagartas alimentadas com plantas sem silício (ASSIS et al., 2013).

Tabela 1 Duração da fase larval (dias), peso larval (g), viabilidade larval (%), área foliar consumida (mm²), duração da fase de pupa (dias), peso de pupa (mg) e viabilidade de pupa (%) (média±erro padrão) de *S. frugiperda* em função dos tratamentos com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Duração da fase larval ^{ns}	Peso larval ^{ns}	Viabilidade larval ^{ns}	Área foliar consumida ^{ns}	Duração da fase de pupa ^{ns}	Peso de pupa ^{ns}	Viabilidade de pupa ^{ns}
Testemunha	18,88±0,57	0,201±0,01	76,00±4,99	18053,22±1043,32	10,73±0,17	0,20±0,01	83,50±5,61
Si	19,78±0,78	0,198±0,01	76,00±4,99	18666,68±1108,51	10,37±0,22	0,19±0,01	77,33±5,61
AG	17,74±0,84	0,217±0,02	66,00±7,33	15568,99±1253,83	10,38±0,19	0,18±0,01	83,83±7,91
Si + AG	19,00±0,40	0,204±0,01	72,00±5,33	18236,08±1152,44	10,14±0,20	0,19±0,01	86,00±6,14

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p>0,05$)

Na fase adulta, os parâmetros razão sexual, longevidade e porcentagem de adultos defeituosos também não diferiram estatisticamente ($p>0,05$). Por outro lado, pode-se verificar diferença significativa para a produção de ovos (Tabela 2). As posturas realizadas apresentaram heterogeneidade quanto ao número de ovos, variando entre os tratamentos.

Em relação ao número de ovos por fêmea, os maiores valores foram observados quando as lagartas não se alimentaram de plantas com silício e/ou ácido giberélico (testemunha) (1.843,6 ovos). Fêmeas cujas lagartas se alimentaram de plantas tratadas somente com silício tiveram uma menor oviposição em relação à testemunha (1.306,2 ovos). As fêmeas que se alimentaram de plantas tratadas somente com ácido giberélico ovipositaram 1.102,8 ovos. Já as fêmeas cujas lagartas se alimentaram de plantas tratadas com silício juntamente com ácido giberélico produziram um total de 921,2 ovos, isto é, 50% a menos ovos que as fêmeas do tratamento testemunha.

Tabela 2 Razão sexual, longevidade de adultos (dias), número de ovos e adultos defeituosos (%)(média±erro padrão) de *S. frugiperda* em função dos tratamentos com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Razão sexual ^{ns}	Longevidade de adultos ^{ns}	Número de ovos	Adultos defeituosos ^{ns}
Testemunha	0,36±0,07	9,06±0,52	1843,6±96,66 a	21,66±8,16
Si	0,40±0,12	9,54±0,72	1306,2±189,98 ab	25,83±7,90
AG	0,46±0,12	9,08±1,09	1102,8±153,73 b	28,33±6,94
Si + AG	0,48±0,09	9,32±0,99	921,2±121,66 b	38,33±12,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

Este fato aponta para uma influência negativa do silício e do ácido giberélico na oviposição de *S. frugiperda*, o que pode resultar a campo em um menor densidade populacional e, como conseqüência, menor potencial de dano.

Esse efeito deletério na oviposição de *S. frugiperda* pode ter ocorrido em razão do acúmulo de silício nas plantas, que pode ativar e aumentar a quantidade de compostos secundários de defesa (GOMES et al., 2008; RANGER et al., 2009) e, assim, interferir no desenvolvimento do inseto.

A fecundidade dos insetos é um dos parâmetros biológicos em que mais se observa o efeito do silício. Silva et al. (2014) verificaram uma menor quantidade de ovos por fêmea em casais provenientes de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de algodoeiro tratadas com silício.

Observações similares ao desta pesquisa já foram registradas também em pulgões, cuja reprodução é de forma diferenciada da *S. frugiperda*, em plantas tratadas com silício, como em sorgo (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999), em batata (GOMES et al., 2008) e em trigo (BASAGLI et al., 2003).

Possivelmente, a aplicação de ácido giberélico também interferiu no desenvolvimento do inseto, visto que a aplicação deste também aumenta a peroxidase (DE SOUZA; MacADAM, 2001; McCUNE; GALSTON, 1958). O aumento da atividade da peroxidase está relacionado com a síntese de lignina e suberina que aumentam a rigidez dos tecidos, e produção de quinonas e oxigênio ativo, que possuem propriedades antibióticas (STOUT; WORKMAN, DUFFEY, 1994).

4.2 Análises das características vegetativas das plantas

Verificam-se diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para altura, massa fresca e seca da parte aérea (Tabela 3). Plantas que receberam o tratamento hormonal (ácido giberélico) apresentaram maiores alturas (117,0 e 118,0 cm)

comparadas com plantas tratadas somente com silício (76,2 cm) e testemunha (62,4 cm).

Também a massa fresca da parte aérea foi maior em plantas que receberam o tratamento hormonal, com valores de 31,78 g (silício + ácido giberélico) e 26,95 g (somente ácido giberélico). E, em consequência, os maiores valores para massa seca da parte aérea foram em plantas que receberam o tratamento hormonal (3,46 g e 3,96 g). Plantas que foram tratadas somente com o silício não apresentaram diferença significativa em relação à testemunha.

O aumento das características vegetativas das plantas com a aplicação do ácido giberélico observado em nossos resultados, pode ser explicado pelo aumento da alongação e taxa de divisão celular (BOSTRACK; STRUCKMEYER, 1967; GREULACH; HAESLOOP, 1958; NAYLOR, 1984).

Tabela 3 Altura (cm), Diâmetro (cm), massa fresca e seca da parte aérea (g), massa fresca e seca da raiz (g) (média±erro padrão) de plantas de milho (*Zea mays*) tratadas com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Altura	Diâmetro ^{ns}	Massa fresca da parte aérea	Massa seca da parte aérea	Massa fresca da raiz ^{ns}	Massa seca da raiz ^{ns}
Testemunha	62,4±6,87 b	0,87±0,08	15,15±2,41 c	1,62±0,25 b	20,70±1,73	2,02±0,11
Si	76,2±4,03 b	0,97±0,04	22,38±1,19 bc	2,15±0,11 b	22,92±1,65	2,13±0,17
AG	118,8±6,08 a	0,79±0,07	26,95±3,01 ab	3,46±0,38 a	20,59±1,50	2,26±0,16
Si + AG	117,0±6,78 a	0,78±0,05	31,78±1,13 a	3,96±0,23 a	22,44±1,35	2,46±0,13

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p>0,05$)

Os resultados obtidos neste estudo, para a aplicação de ácido giberélico, são semelhantes aos verificados por Bostrack e Struckmeyer (1967) em plantas ornamentais, Ghorbanli, Kaveh e Sepehr (1999) em soja e Martins et al. (2012) em arroz.

Entretanto, o diâmetro do caule não apresentou diferença entre os tratamentos ($p>0,05$) (Tabela 3), diferindo dos resultados obtidos por Neri et al. (2009), nos quais a aplicação de silício aumentou significativamente o diâmetro de plantas de milho adubadas com silício.

No que se refere ao peso de massa fresca e seca de raiz, os tratamentos com aplicação de silício e ácido giberélico não diferiram estatisticamente da testemunha ($p>0,05$) (Tabela 3).

Em relação ao teor de clorofila, não houve diferença estatística entre os tratamentos ($p>0,05$) (Tabela 4). Esses resultados corroboram com os encontrados por Freitas et al. (2011) que não constataram efeito da aplicação de silício no índice de clorofila foliar em plantas de milho e diferem dos encontrados por Kaya, Tuna e Alves (2006), que constatou um aumento no teor de clorofila em plantas de milho tratadas com ácido giberélico.

Pode-se observar ainda (Tabela 4) que nas plantas tratadas só com o ácido silícico, o teor de silício não diferiu estatisticamente da testemunha (Tabela 4). Porém, quando foi aplicado o ácido silícico juntamente com o ácido giberélico, foi observado um aumento de 50% no teor de silício. Isto mostra que a absorção de silício foi mais eficiente quando se aplicou o ácido giberélico, o que sugere que houve um aumento das raízes laterais do milho.

Segundo Zimmermann, Sakai e Hochholdinger (2010), as giberelinas estão relacionadas com o enraizamento lateral do milho, que são raízes bem pequenas que se originam a partir da raiz principal e seu peso é mínimo. Provavelmente, o método que foi utilizado no presente trabalho não foi apropriado para quantificar o aumento de raízes laterais, uma vez que se determinou apenas a massa total de raízes e também podem ter ocorrido perdas nas lavagens de raízes. Porém, o aumento na absorção de silício observado nesta pesquisa é condizente com os referidos pesquisadores.

Tabela 4 Teor de clorofila e o teor de silício foliar (%) (média±erro padrão) de plantas de milho (*Z. mays*) tratadas com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Teor de clorofila ^{ns}	Teor de Silício
Testemunha	25,94±2,07	0,64±0,05 c
Si	25,81±0,94	0,77±0,03 c
AG	24,42±1,44	1,01±0,04 b
Si + AG	24,29±1,11	1,23±0,07 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p>0,05$)

O efeito do ácido giberélico no crescimento de raízes já foi observado em milho (WHALEY; KEPHART, 1956), em alface (TANIMOTO, 1987) e em outras culturas, o que fortalecem os resultados deste estudo.

Finalmente, foi observada uma correlação linear paramétrica de Pearson entre as características teor de silício e número de ovos de *S. frugiperda* no valor de -0,42, isto é, quanto maior o teor de silício nas folhas de milho, menor o número de ovos produzidos por fêmeas cujas lagartas se alimentaram de plantas tratadas com silício. Dessa forma, os resultados desta pesquisa podem ser comparados aos de Horng e Chu (1990), que estudando o desenvolvimento e reprodução da *Ostrinia furnacalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae) alimentadas com dieta artificial, verificaram uma correlação negativa entre a fecundidade de adultos e o teor de silício na dieta.

4.3 Preferência de *S. frugiperda* em teste de livre escolha

4.3.1 Teste de livre escolha com lagartas de 1º instar

Nas duas avaliações, as 24h e 48h após a liberação das lagartas de 1º instar, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). Contudo, para insetos sugadores como os pulgões, os resultados de preferência de plantas de trigo tratadas com silício são contrários aos deste estudo (BASAGLI et al., 2003; GOMES et al., 2005), possivelmente devido à presença de compostos secundários de defesa induzidos em pequena quantidade pelo silício que pode ser detectado durante a sucção de seiva pelos pulgões e não na mastigação das lagartas.

Tabela 5 Número de lagartas e Índice de Repelência (IR), às 48h, (média±erro padrão) de *S. frugiperda* de 1º instar em seções foliares de milho (*Z. mays*) tratadas com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Número de lagartas	
	24h ^{ns}	48h ^{ns}
Testemunha	3,2±0,61	1,4±0,48
Si	5,0±0,74	1,1±0,28
AG	3,6±0,56	0,4±0,16
Si + AG	4,7±0,56	0,5±0,17

^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p>0,05$)

IR=2G/(G+P), em que G = % de insetos na planta teste e P = % de insetos na testemunha. Classificação: IR = 1, planta neutra; IR > 1, planta atraente e IR < 1, planta repelente.

No entanto, as áreas foliares consumidas foram menores nos tratamentos que receberam ácido giberélico. Plantas que receberam somente o tratamento hormonal apresentaram uma média de área consumida de 136,2 mm² e plantas que receberam o tratamento hormonal juntamente com o silício, uma média de área consumida de 103,4 mm². Plantas que foram tratadas somente com o silício (239,0 mm²) não apresentaram diferença significativa em relação à testemunha quanto ao consumo foliar (259,7 mm²) (Tabela 6).

Tabela 6 Área foliar consumida (mm²) (média±erro padrão) e Índice de Preferência (IP), às 48h, de *S. frugiperda* de 1º instar

Tratamentos	Área foliar consumida (mm ²) 48h	IP	Classificação do IP
Testemunha	259,7±40,70 a	-	-
Si	239,0±46,07 a	0,93	Fagodeterrente
AG	136,2±24,98 ab	0,69	Fagodeterrente
Si + AG	103,4±11,87 b	0,62	Fagodeterrente

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$)

IP=2A/(M+A), em que A=área consumida nas plantas tratadas, e M= área consumida nas plantas não-tratadas. Classificação: IP < 1 (fagodeterrente), IP=1 (neutra) e IP > 1 (fagoestimulante).

Apesar de não apresentar diferenças em relação à preferência, os tratamentos que receberam somente ácido giberélico e ácido giberélico juntamente com o silício foram menos consumidos, podendo indicar a presença de substâncias supressoras ou deterrentes. Esse resultado também pode ser atribuído à dificuldade de alimentação das lagartas pequenas, em razão da proteção conferida pelo silício, que quando acumula e polimeriza nas células epidérmicas, forma uma barreira mecânica conhecida como dupla camada silício-cutícula (GOUSSAIN et al., 2002; SAVANT; DATNOFF; SNYDER, 1997).

Plantas que foram tratadas somente com o silício não apresentaram diferença significativa em relação à testemunha no consumo foliar. Essa diferença de resultados entre plantas tratadas somente com silício e plantas tratadas com silício juntamente com ácido giberélico é atribuída à maior absorção desse elemento na presença do tratamento hormonal. Como visto anteriormente, plantas que receberam o tratamento hormonal acumularam 50% a mais de silício.

O tratamento com ácido giberélico juntamente com o silício também apresentou o menor índice de preferência. Estes resultados confirmam que os tratamentos proporcionaram ação fagodeterrente aos insetos, ou seja, inibiu ou reduziu a alimentação.

4.3.2 Teste de livre escolha com lagartas de 4º instar

No teste de livre escolha com lagartas de 4º instar, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação à área foliar consumida (Tabela 7). Esses resultados diferem dos encontrados com lagartas de 1º instar, que tiveram um consumo menor quando foram alimentadas com plantas tratadas com silício. Como visto anteriormente, esse menor consumo pode estar relacionado à dificuldade de alimentação das lagartas pequenas, que não conseguiram raspar os alimentos provenientes de folhas de plantas que receberam adubação com silício, devido, possivelmente, à maior rigidez desses tecidos (GOUSSAIN et al., 2002).

Tabela 7 Área foliar consumida (mm²) (média±erro padrão), e Índice de Preferência (IP), às 24h, de *S. frugiperda* de 4º instar em seções foliares de milho (*Z. mays*) tratadas com silício (Si) e ácido giberélico (AG)

Tratamentos	Área foliar consumida (mm ²) 24h ^{ns}
Testemunha	264,2±99,62
Si	109,8±53,31
AG	51,6±35,84
Si + AG	108,5±48,64
CV (%)	132,59

^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p>0,05$)

IP=2A/(M+A), em que A=área consumida nas plantas tratadas, e M= área consumida nas plantas não-tratadas. Classificação: IP < 1 (fagodeterrente), IP=1 (neutra) e IP > 1 (fagoestimulante).

Porém, quando se utilizou o Índice de Preferência (IP), as plantas tratadas com silício e ácido giberélico apresentaram um índice abaixo de 1,00, o que indica que as elas são fagodeterrente. Um baixo IP reduz a atividade alimentar das lagartas, o que pode resultar em diminuição dos danos causados às plantas e conseqüentes prejuízos ocasionados por essa praga.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que o ácido giberélico aumenta as características vegetativas e a absorção de silício pelas plantas, refletindo negativamente na alimentação de lagartas com até 48h e na oviposição de *S. frugiperda*.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2013.
- ARAGÃO, C. A. et al. Fitorreguladores na germinação de sementes e no vigor de plântulas de milho super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 23, n. 1, p. 62-67, 2001.
- ASSIS, F. A. et al. The effects of foliar spray application of silicon on plant damage levels and components of larval biology of the pest butterfly *Chlosyne lacinia saundersii* (Nymphalidae). **International Journal of Pest Management**, London, v. 59, n. 2, p. 128-134, 2013.
- BASAGLI, M. A. B. et al. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 659-663, out./dez. 2003.
- BOSTRACK, J. M.; STRUCKMEYER, B. E. Effect of gibberellic acid on the growth and anatomy of *Coleus blumei*, *Antirrhinum majus* and *Salvia splendens*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 66, n. 4, p. 539-544, 1967.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Trata da atribuição do Ministério da Agricultura para fiscalizar a produção e o comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao>>. Acesso em: 3 jan. 2014.
- BUCKLER, E. S.; STEVENS, N. M. Maize origins, domestication, and selection. In: MOTLEY, T. J.; ZEREGA, N.; CROSS, H. (Ed.). **Darwin's Harvest**. New York: Columbia University Press, 2005. p. 67-90.
- BUSATO, G. R. et al. Biologia comparada de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em folhas de milho e arroz. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 743-750, 2005.
- BUTT, B. A.; CANTU, E. **Sex determination of lepidopterous pupae**. Washington: USDA, 1962.
- CAPINEIRA, J. L. **Fall armyworm**. Florida: University of Florida, 2005. Disponível em: <http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall_armyworm.htm>. Acesso em: 6 jul. 2013.

CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 505-510, set. 1999.

CASTRO, P. R. C.; PACHECO, A. C.; MEDINA, C. L. Efeitos de stimulate e de micro-citros no desenvolvimento vegetativo e na produtividade da laranjeira “Pêra” (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 338-341, maio/ago. 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF, 2013.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; DACOSTA, R. R. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 135, n. 1-2, p. 115-120, Feb. 2009.

COUTINHO, C. F. B. et al. Pesticidas: mecanismo de ação, degradação e toxidez. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 15, p. 65-72, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Leaf application of silicic acid to upland rice and corn. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2803-2808, nov./dez. 2013.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995. (Circular técnica, 21).

CRUZ, I. **Manejo da resistência de insetos-praga a inseticidas, com ênfase em *Spodoptera frugiperda* (Smith)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Documentos, 21).

CRUZ, I. Manejo de pragas da cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; MONTEIRO, D. K. M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 303-362.

CRUZ, I.; MONTEIRO, M. A. R. **Controle biológico da lagarta do cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda*, utilizando o parasitóide *Trichogramma pretiosum***. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2004. (Circular técnica, 98).

CRUZ, I.; TURPIN, F. T. Efeitos da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 3, p. 355-359, mar. 1982.

CRUZ, I. et al. **Pragas da cultura do milho em condições de campo:** métodos de controle e manuseio de defensivos. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1986. (Circular técnica, 10).

CRUZ, I. et al. **Risco potencial das pragas de milho e de sorgo no Brasil.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. (Documentos, 150).

DE SOUZA, I. R. P.; MacADAM, J. W. Gibberellic acid and dwarfism effects on the growth dynamics of B73 maize (*Zea mays* L.) leaf blades: a transient increase in apoplastic peroxidase activity precedes cessation of cell elongation. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 361, p. 1673-1682, Aug. 2001.

DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÓRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 149-158.

DJAMIN, A.; PATHAK, M. D. Role of silica in resistance to Asiatic Rice Borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 60, n. 2, p. 347-351, Apr. 1967.

DOURADO NETO, D. et al. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2004.

DOWD, F. P.; JOHNSON, E. T. Differential resistance of switchgrass *Panicum virgatum* L. lines to fall armyworms *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith). **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 56, n. 8, p. 1077-1089, Dec. 2009.

DUARTE, J. O. **Importância econômica do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2010. Disponível em: <www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 8 mar. 2013.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-644, June 1999.

ETCHEVERRY, M. *Laphygma frugiperda* (Abbot & Smith) in Chile (Lepidoptera-Noctuidae). **Revista Chilena de Entomologia**, Santiago, v. 5, p. 183-192, 1957.

EXLEY, C. Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 69, n. 3, p. 139-144, Feb. 1998.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In: SEMINÁRIO SOBRE FISIOLOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE, 1996, Piracicaba. [Anais...] Piracicaba: ESALQ/USP-POTAFÓS, 1996. p. 1-29.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FARIAS, R. S.; BARBOSA, J. C.; BUSOLI, A. C. Distribuição espacial da Lagarta-do-Cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), na cultura do milho. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 681-689, dez. 2001.

FERREIRA, R. S.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 495-500, July/Aug. 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 17 jul. 2013.

FREITAS, L. B. et al. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 262-267, mar./abr. 2011.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. São Paulo: Ceres, 2002.

GASSEN, D. N. **Manejo de pragas associadas à cultura milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996.

GHORBANLI, M.; KAVEH, S. D.; SEPEHR, M. F. Effects of cadmium and gibberellin on growth and photosynthesis of *Glycine max*. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 37, n. 4, p. 627-631, 1999.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, nov./dez. 2005.

GOMES, F. B. et al. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, mar./abr. 2008.

GOUSSAIN, M. M.; PRADO, M.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-813, set./out. 2005.

GOUSSAIN, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, abr./jun. 2002.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 69, n. 4, p. 487-488, Aug. 1976.

GREULACH, V. A.; HAESLOOP, J. G. The influence of gibberellic acid on cell division and cell elongation in *Phaseolus vulgaris*. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 45, p. 566-570, 1958.

GRÜTZMACHER, A. D. Consumo foliar de cultivares de arroz irrigado por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Annais da Sociedade Entomologica do Brasil**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 519-525, 1999.

HAAS, J. et al. Evidence for maize (*Zea mays*) in the late archaic (3000–1800 B.C.) in the Norte Chico region of Peru. **PNAS**, Washigton, v. 110, n. 13, p. 4945-4949, Feb. 2013.

HORNG, S. B.; CHU, Y. I. Development and reproduction of Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenée) fed on artificial diet containing silica. **Chinese Journal of Entomology**, Taiwan, v. 10, n. 3, p. 325-335, 1990.

HOU, M.; HAN, Y. Silicon-mediated rice plant resistance to the Asiatic Rice Borer (Lepidoptera: Crambidae): effects of silicon amendment and rice varietal resistance. **Journal of Economic Entomology**, Riverside, v. 103, n. 4, p. 1412-1419, Aug. 2010.

IBGE. **Dados 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 4 mar. 2013.

KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced plant responses to herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 20, p. 331-348, 1989.

KAYA, C.; TUNA, A. L.; ALVES, A. A. C. Gibberellic acid improves water deficit tolerance in maize plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakow, v. 28, n. 4, p. 331-337, 2006.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 130, n. 8, p. 410-420, Sept. 2006.

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L. Silicon as a plant defence against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 631-633, May 2008.

KOGAN, M.; GOEDEN, R. D. The host-plant range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Annals of Entomological Society of America**, Lexington, v. 63, n. 4, p. 1175-1180, July 1970.

KORNDORFER, A. P.; CHERRY, R.; NAGATA, R. Effect of calcium silicate on feeding and development of tropical sod webworms (Lepidoptera: Pyralidae). **Florida Entomologist**, Lutz, v. 87, n. 3, p. 393-395, Sept. 2004.

KORNDORFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIN, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 387-392, May/June 2011.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 2. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2002.

KORNDORFER, P. H. et al. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119-125, abr./jun. 2010.

KVEDARAS, O. L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, n. 3, p. 301-306, Aug. 2009.

KVEDARAS, O. L. et al. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: Influence of plant silicon, cultivar and feeding. **International Journal of Pest Management**, London, v. 53, n. 3, p. 183-194, 2007.

KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological**, v. 100, n. 3, p. 367-371, June 2010.

LIMA, M. A. et al. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

LIN, H.; KOGAN, M.; FISCHER, D. Induced resistance in soybean to the Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae): comparisons of inducing factors. **Environmental Entomology**, College Park, v. 19, n. 6, p. 1852-1857, Dec. 1990.

LUGINBILL, P. **The fall armyworm**. [S.l.: s.n.], 1928. (USDA Technical Bulletin United States Department of Agriculture, v. 34).

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.

MA, J. F. et al. Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. **Plant Physiology**, Mineapolis, v. 145, n. 3, p. 919-924, Nov. 2007.

MA, J. F. et al. Role of roots hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 127, n. 4, p. 1773-1780, Dec. 2001.

MARCHI, S. L. **Interação entre desfolha e população de plantas na cultura do milho na região oeste do Paraná**. 2008. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

MARTINS, R. G. et al. Fontes e doses de giberelina no desempenho de arroz anão em biotestes. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, n. 4, p. 306-309, 2012.

McCUNE, D. C.; GALSTON, A. W. Inverse effects of gibberellin on peroxidase activity and growth in dwarf strains of peas and corn. **Plant Physiology**, Mineapolis, v. 34, n. 4, p. 416-418, July 1959.

MENDES, S. M. et al. Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 3, p. 239-244, 2011.

MORAES, J. C. et al. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 761-766, jul./ago. 2005.

- NAYLOR, A. Functions of hormones at the organ level of organization. In: SCOTT, T. K. (Ed.). **Hormonal regulation of development II**. The function of hormones from the level of the cell to whole plant. Berlin: New Series, 1984. p. 180-185. (Encyclopedia of Plant Physiology, v. 10).
- NERI, D. K. P. et al. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1633-1638, set. 2009.
- PARRA, J. R. P. Consumo e utilização de alimento por insetos. In: PANIZZU, A. R.; PARRA, J. R. P. (Ed.). **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991. p. 9-65.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1999. p. 429-485.
- PIPERNO, D. R.; FLANNERY, K. V. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from high-land Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. **PNAS**, Washington, v. 98, n. 4, p. 2101-2103, Feb. 2001.
- PIPERNO, D. R.; PEARSALL, D. M. **The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics**. San Diego: Academic Press, 1998.
- PITRE, H. N.; HOGG, D. B. Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn. **Journal of the Georgia Entomological Society**, Athens, v. 18, n. 2, p. 182-187, Apr. 1983.
- PRAÇA, L. B.; SILVA NETO, S. P.; MONNERAT, R. G. ***Spodoptera frugiperda* J. Smith 1797 (Lepidoptera: Noctuidae), Biologia, amostragem e métodos de controle**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. (Documentos, 199).
- RANGER, C. M. et al. Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, Columbia, v. 38, n. 1, p. 129-136, Feb. 2009.
- ROOD, S. B. et al. Gibberellins and heterosis in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 3, p. 713-717, May 1992.
- ROSA, A. P. A. et al. Biologia e tabela de vida de fertilidade de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) em linhagens de milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 1, p. 39-45, jan./mar. 2012.

- SANTOS, L. M. et al. Fertilidade e longevidade de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 345-350, mar./abr. 2004.
- SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant-available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, n. 13-14, p. 1245-1252, 1997.
- SILVA, A. A. et al. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em algodoeiro de fibra colorida tratado com silício. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v. 7, n. 1, jan./abr. 2014. No prelo.
- SILVEIRA, L. C. P.; VENDRAMIM, J. D.; ROSSETO, C. J. Efeito de Genótipos de Milho no Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 291-298, ago. 1997.
- SILVERSTONE, A. L. et al. Developmental regulation of gibberellin biosynthetic gene GA1 in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 9-19, July 1997.
- SOUSA, J. V. et al. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.
- STOUT, M. J.; WORKMAN, K. V.; DUFFEY, S. S. Identity, spatial distribution, and variability of induced chemical responses in tomato plants. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Oxford, v. 79, n. 3, p. 255-271, 1996.
- TAIZ, L.; ZEIGLER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TANIMOTO, E. Gibberellin-dependent root elongation in *Lactuca sativa*: recovery from growth retardant-suppressed elongation with thickening by low concentration of GA₃. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 28, n. 6, p. 963-973, May 1987.
- TUNA, L. et al. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 62, n. 1, p. 1-9, Jan. 2008.
- VIEIRA, E. L. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine***

max (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.). 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VIRLA, E. G. et al. Fall armyworm strains (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina, their associate host plants and response to different mortality factors in laboratory. **Florida Entomologist**, Lutz, v. 91, n. 1, p. 63-69, Mar. 2008.

WEAVER, R. J. **Plant growth substances in agriculture**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972.

WHALEY, W. G.; KEPHART, J. Effect of gibberellic acid on growth of maize roots. **Science**, New York, v. 125, n. 3241, p. 234, Feb. 1956.

WISEMAN, B. R.; PAINTER, R. H.; WASSOM, C. E. Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 59, n. 5, p. 1211-1214, Oct. 1966.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Philippines: International Rice Research Institute, 1981.

YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ABO-ELGHAR, G. E. Biochemical characterization of insecticide resistance in the fall armyworm. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Amherst, v. 77, n. 1, p. 1-11, Sept. 2003.

ZIMMERMANN, R.; SAKAI, H.; HOCHHOLDINGER, F. The gibberellic acid stimulated-like gene family in maize and its role in lateral root development. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 152, n. 1, p. 356-365, Jan. 2010.