

CROP PROTECTION

Efeito da Aplicação de Silício em Plantas de Milho no Desenvolvimento Biológico da Lagarta-do-Cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

MARCIO M. GOUSSAIN¹, JAIR C. MORAES¹, JANICE G. CARVALHO², NEUSA L. NOGUEIRA³ E MÔNICA L. ROSSI³

¹Depto. Entomologia, Universidade Federal de Lavras, C. postal 37, 37200-000, Lavras, MG, e-mail: goussain@ufla.br;

²Depto. Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, C. postal 37, 37200-000, Lavras, MG ³Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo (CENA/USP), C. postal 96, 13400-970, Piracicaba, SP

Neotropical Entomology 31(2): 305-310 (2002)

Effect of Silicon Application on Corn Plants Upon the Biological Development of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

ABSTRACT - The effect of the application of silicon to corn plants on the development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) was evaluated. Silicon treatment consisted in applying 3.2 ml of a sodium silicate solution [25-28% (w/v) SiO₂] plus 96.8 ml of water into the soil at 5, 10, 15, 20 and 25 days after emergence of corn plants kept in pots. Another group of plants were grown free of silicon. Larvae were fed on leaves obtained from silicon treated plants and their mortality at the end of the 2nd larval instar, length of the larval and pupal period, and pupal weight were compared to those of larvae fed on normal leaves. No effect of silicon was observed on the length of larval and pupal phase, pupal weight and mortality of pupae. However, increased mortality and cannibalism were registered in groups of fall armyworm at the end of the 2nd instar and greater mortality of the larvae was seen at the 2nd and 6th instars fed on silicon-treated corn plant leaves in comparison with the control. The jaws mandibles of fall armyworm at the 6th instar showed marked wear on the incisor region when in contact with leaves with higher silicon content. Silicon application can make fall armyworm feeding difficult, causing higher mortality and cannibalism, thus increasing plant resistance to this species.

KEY WORDS: Insecta, *Zea mays*, resistance, Integrate Pest Management.

RESUMO – Este trabalho, objetivou avaliar o efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). O tratamento com silício consistiu na aplicação de 3,2 ml de solução de silicato de sódio [25-28% (p/v) de SiO₂], mais 96,8 ml de água, via solo aos cinco dias, 10, 15, 20 e 25 dias após a emergência de plantas de milho mantidas em vasos. Outro grupo de plantas foi cultivado sem aplicação de silício. Avaliou-se o desenvolvimento de lagartas alimentadas com folhas de milho retiradas de plantas tratadas com silício, em comparação com lagartas alimentadas com folhas de milho não tratadas, registrando-se a mortalidade ao final do 2^o ínstar larval, a duração do período larval e pupal, a mortalidade larval e pupal e o peso de pupa. Não se observou efeito do silício na duração da fase larval e pupal, peso de pupa e na mortalidade de pupas. Entretanto, verificou-se maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas ao final do 2^o ínstar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2^o e 6^o ínstars, quando foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício, em comparação com a testemunha. Observou-se que as mandíbulas das lagartas, nos seis ínstars, apresentaram desgaste acentuado na região incisora quando em contato com folhas com maior teor de silício. A aplicação de silício pode dificultar a alimentação de lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo e, portanto, tornando as plantas de milho mais resistentes à lagarta-do-cartucho.

PALAVRAS-CHAVE: Insecta, *Zea mays*, resistência, Manejo Integrado de Pragas.

A lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) é um dos principais insetos-praga da cultura de milho no Brasil, podendo reduzir a produção em 15 a 34% (Cruz 1995). No manejo da lagarta-do-cartucho, a utilização de produtos químicos ainda é a principal tática recomendada, porém com um aumento considerável no custo de produção. Em algumas regiões brasileiras, são necessárias até dez aplicações de inseticidas para o controle dessa praga, possivelmente devido à resistência desse inseto aos ingredientes ativos utilizados (Cruz *et al.* 1999).

Práticas culturais que aumentam o grau de resistência das plantas estão sendo cada vez mais utilizadas no Manejo Integrado de Pragas (MIP), podendo auxiliar no controle de insetos-praga. A aplicação do silício pode constituir uma alternativa viável, principalmente em plantas da família Poaceae (gramíneas), devido a sua grande capacidade em acumular esse mineral (Epstein 1994, Marschener 1995, Epstein 1999).

Em cultura de arroz, a resistência das plantas à broca-do-colmo *Chilo suppressalis* (Walker) foi positivamente correlacionada ($r = 0,6$) com o teor de silício, determinado em 20 variedades (Djamin & Pathak 1967). Para a espécie *Chilo suppressalis* (= *suppressalis*), que também danifica essa cultura, Tayabi & Azizi (1984) verificaram que a aplicação de 500 kg/ha de silicato de potássio proporcionaram o aumento do número de panículas/planta, panículas/m² e de grãos/m², e a redução de mais da metade do número de lagartas/m². Respostas semelhantes foram observadas por Sawant *et al.* (1994) para a lagarta-amarela-do-colmo *Scirpophaga incertulas* (Walker), com a adição de 2 kg de casca de arroz carbonizada (rica em silício)/m² de canteiro. Para delfacídeos, tripes e mosca-da-galha, a aplicação de silício contribuiu para a redução da população desses insetos-praga nessa cultura (Subramanian & Gopalaswamy 1988, Salim & Saxena 1992).

A preferência de oviposição do gorgulho-das-pastagens *Listronotus bonariensis* (Kruschel) foi afetada negativamente pela maior deposição do silício na superfície inferior de folhas oriundas de plantas de centeio tratadas com silicato de sódio (Barker 1989). Em plantas de sorgo, Carvalho *et al.* (1999) verificaram que a aplicação de silício, via solo, causou redução na preferência e na reprodução do pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani).

Dessa forma, objetivou-se nesta pesquisa avaliar o efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho *S. frugiperda*.

Material e Métodos

O cultivo das plantas foi realizado em casa-de-vegetação, no Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras - UFLA, no período de dezembro/99 a março/2000.

Inicialmente, foram colocadas quatro sementes de milho híbrido Cargil C-444 por vaso com capacidade para 8 L de substrato, que era composto de terra de barranco (latossolo vermelho escuro). Após a emergência, foram selecionadas duas plântulas/vaso, sendo que uma foi utilizada para os ensaios com lagartas e a outra para análise foliar, visando

determinar o teor de silício na 9ª folha totalmente estendida. A umidade dos vasos foi mantida por meio de irrigação diária e as plantas receberam adubações de cobertura com uréia, na dose de 100 mg/kg de solo aos 10, 20 e 30 dias após a emergência.

Em vinte vasos, foram feitas cinco aplicações de solução de silicato de sódio [25-28% (p/v) de SiO₂], sendo a primeira cinco dias após a emergência e depois aos 10, 15, 20 e 25 dias. Em cada aplicação foram utilizados 3,2 ml de solução em 96,8 ml de água/vaso, totalizando ao final das aplicações, 16 ml de solução de silicato de sódio/vaso, conforme utilizado anteriormente por Carvalho *et al.* (1999), em experimento com sorgo. Outros 20 vasos foram mantidos nas mesmas condições, sem aplicação de silício. Os vasos foram dispostos inteiramente ao acaso nas bancadas da casa-de-vegetação.

Aos 40 dias após a emergência das plantas, que correspondeu ao estágio 2 de desenvolvimento fisiológico das plantas, retiraram-se as folhas de milho (com e sem silício) para serem utilizadas nos bioensaios, pois é nesse período que a cultura se encontra mais suscetível ao ataque da lagarta-do-cartucho (Cruz & Turpin 1982).

Efeito do Silício na Mortalidade de Lagartas de *S. frugiperda* ao Final do 2º Instar. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 20 repetições, comparando-se o desenvolvimento de lagartas alimentadas com folhas retiradas de plantas tratadas com silício com outras alimentadas com folhas sem tratamento. As parcelas foram constituídas por placas de Petri de 19 centímetros de diâmetro, forradas com papel filtro umedecido, onde foi colocada uma seção foliar de 15 cm de comprimento, com a largura natural da folha. Sobre essa seção foram colocadas 20 lagartas recém-eclodidas. Para o fechamento da placa utilizou-se tecido tipo organza. As lagartas permaneceram nesse conjunto até passarem para o 3º instar, sendo que a seção foliar foi trocada a cada 24h. O experimento foi mantido em câmara climatizada regulada a 25±2°C, fotofase de 12h e umidade relativa de 80±10%.

Avaliaram-se, diariamente, a mortalidade e o canibalismo ao final do segundo instar, sendo consideradas lagartas mortas pelo efeito direto dos tratamentos, aquelas que apresentavam o corpo sem mutilação. O canibalismo foi considerado quando as lagartas mortas estavam mutiladas ou encontravam-se, somente as cápsulas cefálicas.

Os dados de mortalidade e canibalismo foram transformados em arco-seno $\sqrt{x/100}$ antes de proceder a análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Efeito do Silício nas Fases Imaturas de *S. frugiperda*. Para estudar a biologia da lagarta-do-cartucho, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos e 20 repetições: 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) com aplicação de silício. Cada parcela foi constituída por cinco copos plásticos com capacidade de 50 mL, nos quais foram colocados um pedaço de folha de aproximadamente 4 cm² e uma lagarta recém-eclodida para cada copo, nas primeiras 24h do bioensaio. Para o

fechamento de cada copo utilizou-se tampa acrílica. As seções foliares dos tratamentos (com e sem aplicação de silício) foram trocadas diariamente, colocando-se, a partir do segundo dia, um pedaço de folha de aproximadamente 20 cm² e, após a passagem das lagartas para o 3º ínstar, o alimento foi distribuído à vontade, sendo mantidas em câmara climatizada regulada a 25±2°C, fotofase de 12h e umidade relativa de 80±10%.

Foram avaliados os seguintes parâmetros biológicos: duração da fase larval e pupal; mortalidade em cada ínstar; mortalidade e peso de pupas 24 horas após a transformação.

Para os parâmetros duração da fase larval e pupal, mortalidade e peso de pupas, as médias foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os dados da mortalidade em cada ínstar foram transformados em arco-seno $\sqrt{x/100}$ antes de se proceder à análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste de Scott & Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Efeito do Silício no Desgaste da Mandíbula de *S. frugiperda*. Neste bioensaio, folhas de plantas de milho com ou sem aplicação de silício foram utilizadas para alimentação de 150 lagartas de *S. frugiperda*, individualizadas em copos plásticos. Ao final de cada ínstar (1º ao 6º), aproximadamente dez lagartas foram decapitadas. Com auxílio de um microscópio estereoscópio e estilete, retiraram-se as mandíbulas, colocando-as em solução de álcool a 70%. Posteriormente, as mandíbulas foram levadas para o Núcleo de Apoio à Pesquisa/Microscopia Eletrônica Aplicada à Pesquisa Agropecuária, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e fixadas com auxílio de uma fita adesiva dupla em porta-espécime conhecido como "stub", que é um disco metálico de latão de 12-13 mm (1/2 polegada) de diâmetro.

As amostras montadas em "stubs" foram levadas para o evaporador MED 010 da Balzers, no qual sofreram processo de metalização (cobertura da amostra com ouro). Após esse

procedimento, os espécimes foram levados até o aparelho de microscopia eletrônica de varredura (MEV DSM 940-A), no qual se registrou o desgaste da região incisora das mandíbulas através de fotografias, sendo selecionadas as fotos onde as mandíbulas apresentavam o maior contraste entre os tratamentos.

Resultados e Discussão

Mortalidade de Lagartas de *S. frugiperda* ao Final do 2º Ínstar. Verificou-se efeito significativo do silício na mortalidade de lagartas ao final do 2º ínstar, alimentadas com folhas provenientes de plantas que receberam esse mineral. Essas lagartas apresentaram mortalidade de 6,8%, correspondente ao dobro da mortalidade ocorrida na testemunha, sem adição de silício (3,3%) (Fig. 1A). De acordo com Jones & Handreck (1967) e Raven (1983), a aplicação de silício proporciona o maior transporte desse elemento para a parte aérea da planta, sendo depositado nas células epidérmicas como sílica amorfa (SiO₂.nH₂O), tornando os tecidos foliares mais rígidos, o que pode ter dificultado a alimentação destes insetos.

Djamin & Pathak (1967) verificaram que a resistência dos tecidos vegetais foi positivamente correlacionado com o teor de silício das plantas, em 20 variedades de arroz. Esses autores observaram redução na taxa de alimentação e na sobrevivência da broca-do-colmo *Chilo suppressalis* (Walker) em plantas com maiores teores de silício, sendo a mortalidade, provavelmente, resultado do excessivo desgaste da região incisora da mandíbula das lagartas.

A mortalidade de lagartas, apesar de ser significativa, foi muito baixa. Contudo, observou-se uma porcentagem oito vezes maior de canibalismo entre lagartas confinadas em folhas de plantas de milho tratadas com silício em relação àquelas lagartas que se alimentaram de folhas de plantas que não receberam esse elemento, sendo as taxas de canibalismo de 44% e 5,2%, respectivamente (Fig. 1B). Possivelmente,

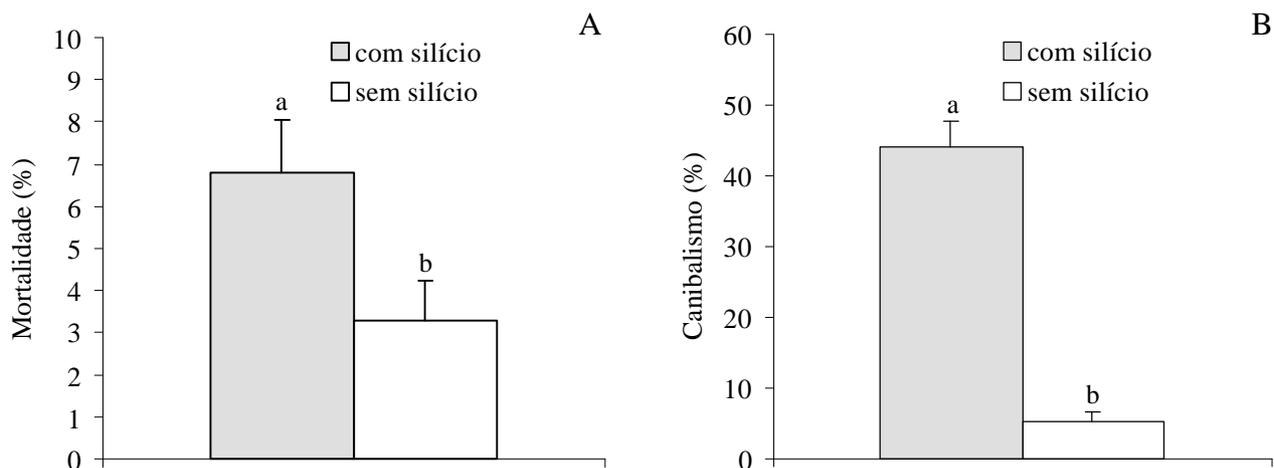


Figura 1. Porcentagem de mortalidade (A) e canibalismo (B) (média ± EP) de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício, ao final do 2º ínstar a 25±2°C, fotofase de 12h e UR de 80±10%. Médias com diferenças significativas pelo teste F (P≤0,05).

a camada de silício depositada na folha dificultou a alimentação, induzindo altas taxas de canibalismo entre as lagartas. A lagarta-do-cartucho apresenta esse comportamento alimentar de forma mais acentuada quando sujeita a estresse alimentar. Diversos trabalhos demonstraram que a falta de alimento aumenta o canibalismo entre essas lagartas. Raffa (1987) verificou que lagartas de 3^o ínstar apresentaram taxa de canibalismo ao redor de 18% quando confinadas em plântulas de milho e, nas repetições em que houve escassez de alimento, essa taxa foi de 34%. Valores extremos, ou seja, 100% de canibalismo, foram observados por Nalim (1991) quando confinou quatro lagartas dessa espécie em placas de Petri.

Efeito do Silício nas Fases Imaturas de *S. frugiperda*.

Não foram detectadas diferenças significativas para as características biológicas relacionadas à duração média da fase larval (17,0 dias), da fase pupal (10,1 dias), mortalidade média de pupas (37,1%) e peso médio de pupas após 24h da transformação (0,3 g) (Tabela 1). Entretanto, observou-se alta mortalidade de lagartas de 1^o ínstar nas primeiras 24h na testemunha (Tabela 2). A ocorrência desse resultado pode estar associada à maior

Tabela 1. Duração média da fase larval e pupal (dias), mortalidade (%) e peso de pupas após 24h (g) (média ± EP) de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício a 25±2°C, fotofase de 12h e UR de 80±10%.

	Duração (dias)		Mortalidade (%)	Peso (g)
	Fase larval	Fase pupal	Pupa	Pupa
Com silício	17,4 ± 0,31a	10,3 ± 0,20a	39,2 ± 8,60a	0,3 ± 0,01a
Sem silício	16,6 ± 0,30a	9,9 ± 0,22a	35,0 ± 7,45a	0,3 ± 0,01a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F (P>0,05).

Tabela 2. Porcentagem de mortalidade (média ± erro padrão) de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho com ou sem adição de silício a 25±2°C, fotofase de 12h e UR de 80±10%.

Ínstares	Mortalidade (%)	
	Com silício	Sem silício
1 ^o	7,8 ± 2,45 c B	32,9 ± 6,51 a A
2 ^o	36,3 ± 4,80 a A	14,5 ± 5,30 b B
3 ^o	4,1 ± 2,30 c A	5,4 ± 3,10 b A
4 ^o	2,3 ± 2,03 c A	0,0 ± 0,00 b A
5 ^o	10,8 ± 4,60 c A	4,2 ± 2,92 b A
6 ^o	20,9 ± 5,11 b A	7,9 ± 3,20 b B

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott (P≤0,05).

perda de água por transpiração das seções de folhas não tratadas, em comparação com aquelas mais ricas em silício. São necessários, portanto, outros experimentos, com controle da turgidez, principalmente para confirmar o efeito do silício na redução da transpiração das folhas. Observações visuais mostraram que as folhas de plantas que receberam silício mantinham-se mais túrgidas, o que corrobora os relatos de Okuda & Takahashi (1964), Jones & Handreck (1967), van der Vorn (1980) e Savant *et al.* (1997), de que plantas que recebem adubação com silício apresentam menor coeficiente de transpiração, mantendo-se mais túrgidas em relação às plantas não tratadas.

No 2^o e 6^o ínstars, verificaram-se efeitos significativos do silício, sendo as taxas de mortalidade, respectivamente, de cerca de 36,3% e 20,9%. Na testemunha, a mortalidade foi de 14,5% e 7,9% (Tabela 2). Entretanto, não houve diferença na mortalidade nos 3^o, 4^o e 5^o ínstars, com e sem silício. A ocorrência da alta mortalidade no 2^o ínstar larval pode estar relacionada à dificuldade de alimentação das lagartas ainda pequenas, que não conseguiram raspar os alimentos provenientes de folhas de plantas que receberam adubação com silício, devido, possivelmente, à maior rigidez desses tecidos. Já no 6^o ínstar, que é o mais longo, a alta mortalidade no tratamento com silício pode estar relacionada à ação da barreira mecânica proporcionada pela deposição desse elemento na parede celular das folhas (Tabela 2), aumentando a dureza do alimento e provocando desgaste acentuado das mandíbulas das lagartas (Fig. 2).

O efeito do silício na redução de populações de insetos-praga como delfacídeos, gorgulhos, lagartas, pulgões e tripses foram verificados em várias culturas (Djamin & Pathak 1967, Tayabi & Azizi 1984, Salim & Saxena 1992, Sawant *et al.* 1994, Carvalho *et al.* 1999).

Teor de Silício em Folhas de Plantas de Milho.

Observou-se que a aplicação de silicato de sódio aumentou significativamente o teor de silício nas folhas de plantas de milho, que atingiu 1,4% de SiO₂, enquanto na testemunha (sem silício) foi de 1,0% (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por diversos autores em diferentes culturas (Okuda & Takahashi 1964, Bennett 1982, Hodson & Sangster 1988, Carvalho *et al.* 1999).

O aumento no teor de silício nas folhas pode, portanto, dificultar a alimentação das lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo e, portanto, tornando as plantas de milho mais resistentes à lagarta-do-cartucho.

Tabela 3. Teor de SiO₂ (%) (média ± erro padrão) nas folhas de milho, aos 50 dias de desenvolvimento, com ou sem aplicação de silicato de sódio.

Tratamento	Teor de SiO ₂ (%)
Com silício	1,4 ± 0,03 a
Sem silício	1,0 ± 0,02 b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste F (P≤0,05).

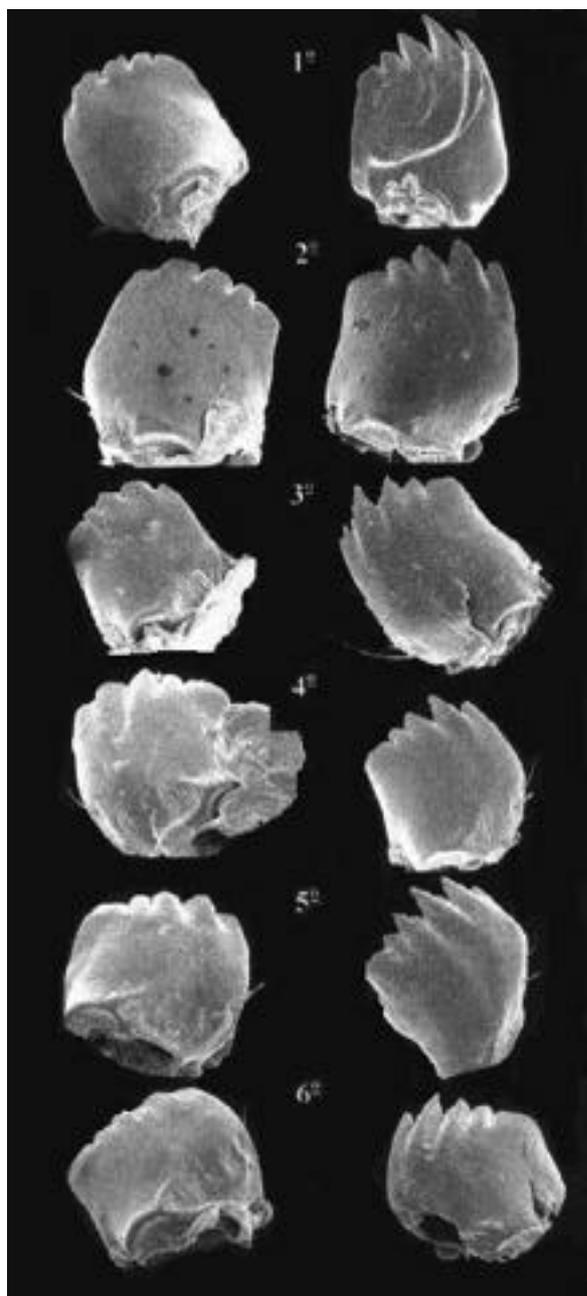


Figura 2. Mandíbulas de lagartas de 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª instares de *S. frugiperda*, alimentadas com folhas de milho com aplicação de silício (esquerda) e sem aplicação de silício (direita).

Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo, ao Centro Nacional Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA/Milho e Sorgo) em Sete Lagoas-MG, pela doação de pupas da lagarta-do-cartucho, ao professor Elliot Watanabe Kitajima NAP/MEPA – ESALQ/USP, pela utilização do microscópio de varredura e a Carvalho Carlos Ecole pela ajuda na condução deste trabalho.

Literatura Citada

- Barker, G.M. 1989.** Grass host preferences of *Listronotus bonariensis* (Coleoptera: Curculionidae). J. Econ. Entomol. 82: 1807-1816.
- Bennett, D.M. 1982.** An ultrastructural study on the development of silicified tissue in the leaf tip of barley (*Hordeum sativum* Jess). Ann. Bot. 50: 229-237.
- Carvalho, S.P., J.C. Moraes & J.G. Carvalho. 1999.** Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). An. Soc. Entomol. Brasil 28: 505-510.
- Cruz, I. 1995.** A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 45p.
- Cruz, I. & F.T. Turpin. 1982.** Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estágios de crescimento da cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras. 17: 355-359.
- Cruz, I., P.A.Viana. & J.M. Waquil. 1999.** Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 39p.
- Djainin, A. & M.D. Pathak. 1967.** Role of silica in resistance to asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. J. Econ. Entomol. 60: 347-351.
- Epstein, E. 1994.** The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Nat. Acad. Sci. 91: 11-17.
- Epstein, E. 1999.** Silicon. An. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 641-664.
- Hodson, M.J. & A.G. Sangster. 1988.** Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.), with particular reference to silicon. Ann. Bot. 62: 463-471.
- Jones, L.H.P. & K.A. Handreck. 1967.** Silica in soils, plants, and animals. Adv. Agron. 19: 107-149.
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 920p.
- Nalim, D.M. 1991.** Biologia, nutrição quantitativa e controle de qualidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais. Dissertação de mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 150p.
- Okuda, A. & E. Takahashi. 1964.** The role of silicon, In Hopkins, J. The mineral nutrition of the rice plant. Proc. Symp. Inter. Rice Res. 123-146.

- Raffa, K.F. 1987.** Effect of host plant on cannibalism rates by fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Environ. Entomol.* 16: 672-675.
- Raven, J.A. 1983.** The transport and function of silicon in plants. *Biol. Rev.* 58: 179-207.
- Salim, M. & R.C. Saxena. 1992.** Iron, silica and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. *Crop Sci.* 32: 212-219.
- Sangster, A.G. 1978.** Silicon in the roots of higher plants. *Amer. J. Bot.* 65: 929-935.
- Savant, N.K., G.D. Snyder. & L.E. Datnoff. 1997.** Silicon in management and sustainable rice production. *Adv. Agron.* 58: 151-199.
- Sawant, A.S., V.H. Patil. & N.K. Savant. 1994.** Rice hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transplanted rice. *Inter. Rice Res. Notes* 19: 20-21.
- Scott, A.J. & M.A. Knott. 1974.** A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30: 507-512.
- Subramanian, S. & A. Gopaldaswamy. 1988.** Effect of silicate materials on rice crop pests. *Inter. Rice Res. Newsl.* 13: 32.
- Tayabi, K. & P. Azizi. 1984.** Influence of silica on rice yield and stem-borer (*Chilo supremain*) in Rasht/Iran 1979-1980. *Pesticides* 18: 20-22.
- Vorn, D.J. van der. 1980.** Uptake of Si by plant species, as influenced by variations in Si-supply. *Plant Soil* 56: 151-156.

Received 06/07/01. Accepted 18/05/02.
