

**EFEITO DA APLICAÇÃO DO SILÍCIO EM
PLANTAS DE MILHO NO
DESENVOLVIMENTO BIOLÓGICO DA
LAGARTA-DO-CARTUCHO**

***Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) E DO
PULGÃO-DA-FOLHA *Rhopalosiphum maidis*
(FITCH, 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

MARCIO MARCOS GOUSSAIN


2001

51716

HT. 36503

MARCIO MARCOS GOUSSAIN

**EFEITO DA APLICAÇÃO DO SILÍCIO EM PLANTAS DE MILHO NO
DESENVOLVIMENTO BIOLÓGICO DA LAGARTA-DO-CARTUCHO
Spodoptera frugiperda (J.E. SMITH, 1797) E DO PULGÃO-DA-FOLHA
Rhopalosiphum maidis (FITCH, 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**



Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Entomologia, para obtenção do título de "Mestre"

Orientador

Prof. Jair Campos Moraes

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

2001

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Goussain, Marcio Marcos

Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) / Marcio Marcos Goussain. -- Lavras : UFLA, 2001.

64p. : il.

Orientador: Jair Campos Moraes.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Resistência. 2. Insecta. 3. Silício. 4. *Rhopalosiphum maidis*. 5. *Spodoptera frugiperda*. 6. Milho. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-595.754

-633.159754

MARCIO MARCOS GOUSSAIN

**EFEITO DA APLICAÇÃO DO SILÍCIO EM PLANTAS DE MILHO NO
DESENVOLVIMENTO BIOLÓGICO DA LAGARTA-DO-CARTUCHO
Spodoptera frugiperda (J.E. SMITH, 1797) E DO PULGÃO-DA-FOLHA
Rhopalosiphum maidis (FITCH, 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do Curso
de Mestrado em Agronomia, área de
concentração em Entomologia, para obtenção do
título de “Mestre”

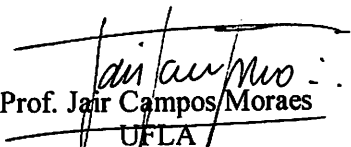
APROVADA em 13 de fevereiro de 2001

Prof. José Roberto Postali Parra

ESALQ/USP

Prof. Geraldo Andrade Carvalho

UFLA


Prof. Jair Campos Moraes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao meu pai, Marcio, e especialmente à minha mãe, Noêmia.

Exemplo de sabedoria, honestidade, bondade e amor

Pessoas que sempre me apoiaram e incentivaram,

presentes em todos os momentos da minha vida, me incentivando

a prosseguir em busca de novas vitórias...

Ofereço

“A natureza, em seus caprichos e mistérios, condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as grandes; nas sutis, a potência de dominar as mais grosseiras; nas coisas simples, a capacidade de reger as mais complexas.”

(Primavesi)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realização deste trabalho e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Jair Campos Moraes pela orientação, pelos valiosos ensinamentos, pela confiança depositada e sobretudo pela sinceridade.

Ao professor Geraldo Andrade Carvalho pela valiosa contribuição em todas as etapas desse trabalho.

Ao professor José Roberto Postali Parra por aceitar participar da Banca Examinadora.

Aos professores do Departamento de Entomologia pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Entomologia, em especial ao Julinho, pela ajuda na condução do experimento e amizade.

Aos colegas de curso Concinha, Elisângela, Gabriela e Lucimeire pela agradável convivência e amizade.

Aos amigos Ecole, Loriney e Luciano pela valiosa amizade e cumplicidade em todos os momentos.

À minha querida namorada Cássia pelo apoio em todos os momentos, compreensão e, sobretudo, pelo grande amor.

Ao Ecole pelos ensinamentos estatísticos.

À Dra. Neuza Lima Nogueira e à laboratorista Mônica Lanzoni Rossi pelas maravilhosas fotos de Microscopia de Varredura e Transmissão.

Aos meus irmãos Fabíola, Jamilly e Gustavo por toda ajuda concedida, pelo amor e carinho.

Às minhas cunhadas Izabel e Francisca pelo grande apoio nos momentos difíceis

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	01
1 Introdução Geral.....	01
2 Referencial Teórico.....	03
2.1 A cultura do milho.....	03
2.2 A lagarta-do-cartucho.....	04
2.3 Pulgão-da-folha.....	05
2.4 O silício no solo.....	06
2.5 O silício nas plantas.....	07
2.6 Efeitos do silício sobre pragas.....	12
3 Referências Bibliográficas.....	16
CAPÍTULO 2: Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)	23
Resumo.....	23
Abstract.....	24
1 Introdução.....	25
2 Material e Métodos.....	28
2.1 Criação de manutenção da lagarta-do-cartucho do milho.....	28
2.2 Metodologia geral.....	28
2.2.1 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste de livre escolha para lagartas de 5º instar de <i>S. frugiperda</i>	29
2.2.2 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste de livre escolha para lagartas de 3º instar de <i>S. frugiperda</i>	30
2.2.3 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste sem chance de escolha para lagartas de 3º instar de <i>S. frugiperda</i>	31
2.2.4 Efeito do silício na mortalidade de lagartas de <i>S. frugiperda</i> ao final do 2º instar.....	32
2.2.5 Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i>	33
2.2.6 Efeito do silício no desgaste da mandíbula de <i>S. frugiperda</i>	34
3 Resultados e Discussão.....	35
3.1 Consumo foliar e mortalidade de lagartas de <i>S. frugiperda</i> ao final do 2º instar, alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício.....	35
3.2 Aspectos biológicos de <i>S. frugiperda</i>	39
3.3 Teor de silício em folhas de plantas de milho.....	42

4 Conclusões.....	43
5 Referências Bibliográficas.....	44
CAPÍTULO 3: Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico do pulgão-da-folha <i>Rhopalosiphum maidis</i> (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae).....	47
Resumo.....	47
Abstract.....	48
1 Introdução.....	49
2 Material e Métodos.....	51
2.1 Metodologia geral.....	51
2.1.1 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas destacadas de plantas de milho.....	52
2.1.2 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas de plantas de milho.....	53
3 Resultados e Discussão.....	55
3.1 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas destacadas de plantas de milho.....	55
3.2 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas de plantas de milho.....	56
3.3 Teor de silício em folhas de plantas de milho.....	60
4 Conclusões.....	62
5 Referências Bibliográficas.....	63

RESUMO

GOUSSAIN, Marcio Marcos. **Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae).** Lavras: UFLA, 2001. 64p. (Dissertação - Mestrado em Entomologia)¹

No Brasil, a cultura de milho representa cerca de 40% dos grãos produzidos, porém com uma produtividade de 2.800 kg/ha, que é muito baixa quando comparada com a de outros países produtores. A baixa produtividade brasileira pode estar relacionada à baixa tecnologia empregada por diversos produtores e à falta ou uso incorreto de produtos fitossanitários, ocasionando problemas com insetos-praga e doenças. A utilização de métodos alternativos de controle de insetos-praga está sendo cada vez mais estudada e utilizada em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Dentre os vários métodos, destaca-se a utilização de práticas culturais que aumentam o grau de resistência das plantas aos insetos. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856). Foram avaliados aspectos biológicos da lagarta-do-cartucho alimentadas com folhas de plantas de milho adubadas ou não com silício, além de bioensaios para determinação do consumo foliar e mortalidade. Para os pulgões foram realizados testes de preferência em placas de Petri e diretamente em plantas de milho, que receberam ou não aplicação de silício via solo e/ou foliar. Nos dois experimentos, a fonte utilizada de silício foi uma solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (25-28% de SiO₂). A aplicação de silício via solo aumentou a mortalidade de lagartas de 2^o e 6^o instares, além de aumentar o canibalismo entre as lagartas de 2^o instar em teste de confinamento. Verificou-se um menor número de pulgões em folhas de plantas de milho que receberam aplicação de silício via solo mais uma aplicação foliar ou através de duas aplicações foliares: A adubação com silício proporcionou uma maior absorção desse elemento pelas plantas, aumentando a resistência mecânica das folhas e dificultando a alimentação dos insetos. De modo geral, a aplicação de silicato de sódio em plantas de milho afeta a biologia da lagarta-do-cartucho e do pulgão-da-folha.

¹ Comitê Orientador: Jair Campos Moraes – UFLA (Orientador); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-orientador).

ABSTRACT

GOUSSAIN, Marcio Marcos. **Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) and to the leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae).** Lavras: UFLA, 2001. 64p. (Dissertation- Master in Entomology)¹

In Brazil, corn crop accounts for about 40% of the grains produced but with a yield of 2800 kg/ha, which is very low as compared with that of other grain-growing countries. The poor Brazilian yield may be concerned with the low technological level employed by a number of farmers and either the lack or incorrect use of phytosanitary products, bringing about, thus, problems with pest insects and diseases. Use of alternative methods of pest insect control are being more and more investigated and utilized in programs of Integrated Management of Pests (IPM). Out of the several methods the temporally, the utilization of cultural practices stands out which increases resistance degree of plants to insects. So, the objective of that work was to evaluate the effect of silicon application resistance on corn plants on the development of the fall armyworm and leaf aphid. Biological aspects of the fall armyworm fed on corn plant leaves either fertilized or not with silicon besides bioassays for determination of the leaf consumption and mortality were evaluated. For aphids preference tests on Petri dishes and directly on corn plants were accomplished, to which were applied or not silicon via soil and/or leaf. In both experiments, the source utilized of silicon was a sodium silicate solution, trade mark Merck (25% to 28% of SiO₂). Silicon application via soil increased the mortality of 2nd and 6th instar fall armyworm in addition to enhancing cannibalism among the 2nd instar fall armyworm in confinement tests. A lower number of aphids on corn plant leaves which were given silicon via soil plus a foliar application or through two foliar applications was verified. The fertilization with silicon provided a greater uptake of that element by plants, increasing the mechanical resistance of leaves and making the insects feeding difficult. In general, the application of sodium silicate on corn plants affects the biology of the fall armyworm and leaf aphid.

¹ Guidance Committee: Jair Campos Moraes – UFLA (Adviser); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-adviser).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é importante para o país, não apenas como fonte de alimento, mas, sobretudo, pela importância sócio-econômica que representa. Atualmente, esta cultura é responsável por 40% de toda produção de grãos do Brasil. Isto representa uma produção anual em torno de 30 milhões de toneladas; entretanto, a média nacional não ultrapassa os 2.800 kg (CONAB, 2000).

Dentre as pragas que atacam essa cultura, pode-se destacar a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) como uma das mais importantes. Na fase larval, a lagarta pode se alimentar de todos os estádios de desenvolvimento da planta, podendo reduzir a produção em até 34% (Cruz, 1995). Outro inseto-praga que vem ocasionando danos à cultura é o afídeo *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae), conhecido como pulgão-da-folha. Ocorre principalmente em regiões onde se cultiva o milho safrinha, tendo sido utilizados, para seu controle, inseticidas de amplo espectro de ação. Com isso, observam-se populações numerosas de pulgões, que livres de seus inimigos naturais reproduzem-se rapidamente, causando danos econômicos.

A utilização inadequada de inseticidas não seletivos, em dosagens elevadas e em grande número de aplicações, para o controle de pragas, pode proporcionar a seleção de biótipos resistentes, eliminação de inimigos naturais e surtos de pragas secundárias. Mesmo diante de tantos problemas relacionados ao seu uso, o método químico ainda é o mais utilizado.

Diante disso, a utilização de métodos alternativos de controle está sendo cada vez mais estudada e utilizada como mais uma ferramenta que possa

ser aplicada em conjunto com o controle químico no Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Dentre os vários métodos alternativos que podem ser empregados para o controle de pragas, destaca-se a utilização de práticas culturais que aumentam o grau de resistência das plantas aos insetos; além disso, essa prática pode ser utilizada em genótipos suscetíveis que já possuam boas características agronômicas.

Mesmo não sendo considerado um elemento nutricional essencial para a maioria das plantas, o fornecimento de silício tem beneficiado muitas espécies vegetais, podendo estimular o crescimento e a produção, propiciar proteção contra estresses abióticos e diminuir a incidência de insetos-praga (Marschener, 1995; Savant, Snyder e Datnoff, 1997; Epstein, 1994; Epstein, 1999).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silício fornecido via solo e/ou foliar no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho e do pulgão-da-folha em plantas de milho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do milho

Na época do descobrimento das Américas, o milho constituía, dentre os vegetais, a base alimentícia dos indígenas que aqui viviam e era cultivado desde a Argentina até o Canadá. Das Américas o milho foi levado para a Espanha, Portugal, França e Itália, onde, a princípio, era cultivado em jardins, como planta exótica e ornamental. Uma vez conhecido o seu valor alimentício, passou a ser produzido em escala comercial e difundiu-se para o resto da Europa, Ásia e Norte da África. Hoje é produzido praticamente em todo o mundo (Moura e Oliveira, 1980).

O milho está entre os três cereais mais cultivados no mundo, sendo utilizado principalmente na alimentação humana e de animais. É também considerado importante fonte de matéria prima para a indústria de amido, óleo, farinha, produtos químicos, rações para animais e de inúmeras formulações de alimentos (Pinazza, 1993).

O Brasil é considerado o terceiro maior produtor mundial de milho. A sua produção está concentrada nas regiões Nordeste e, principalmente, no Centro-Sul. Praticamente 90% da produção originam-se de lavouras de até dez hectares. Sua importância social e econômica manifesta-se pela área ocupada e pelo contingente humano dedicado a sua exploração (mais de 3.000.000 pessoas) (Monteiro, 1990). De acordo com AGRIANUAL (2000), a área plantada ultrapassa os 13 milhões de hectares, produzindo mais de 30 milhões de toneladas, correspondendo a aproximadamente 42% dos grãos produzidos e com uma produtividade média de 2.800 kg/ha. Entretanto, quando comparamos com a média de outros países (cerca de 4.000 kg/ha), nossa produtividade ainda é baixa, podendo estar relacionada à baixa tecnologia empregada por diversos

produtores e à falta ou ao uso incorreto de tratamentos fitossanitários, ocasionando, assim, problemas com insetos-praga e doenças.

2.2 A lagarta-do-cartucho

A lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) ocorre anualmente em áreas tropicais e subtropicais. Desde 1797, este inseto é relatado como causador de injúrias às plantações de milho do sul dos Estados Unidos, México, América do Sul e Central (Wiseman, Painter e Wasson, 1966).

Os danos provocados por *S. frugiperda* são variáveis de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, observando-se, inicialmente, raspagem superficial das folhas, que evolui para perfurações à medida que a lagarta se desenvolve. Posteriormente, pode ocorrer a destruição do cartucho e a formação de galerias no interior do colmo da planta (Carvalho, 1982). O pendão e a espiga em formação também podem ser atacados (Carvalho, 1970; Gross, Young e Wiseman, 1982; Waquil, Viana e Lordello, 1982). Os danos são facilmente visualizados tanto pelos sintomas de lesões como pela presença de fezes das lagartas sobre as plantas (Cruz, Santos e Waquil, 1987; Bianco, 1991).

A lagarta-do-cartucho afeta o desenvolvimento da planta, provocando redução do número de espigas por unidade de área e causando decréscimo de 15 a 34% na produção quando o ataque ocorre no período crítico, quando a planta vai iniciar o florescimento (Carvalho, 1970). Valores semelhantes na redução da produção de 15 a 37% foram citados por Cruz (1995).

A época de maior suscetibilidade das plantas ao ataque da lagarta-do-cartucho, ocorre por volta dos 40 dias após o plantio, quando a planta apresenta de 8 a 10 folhas (Cruz e Turpin, 1982). Enquanto Silva (1987) observou perdas de até 54% na produção quando as plantas foram atacadas no período compreendido entre 45 a 60 dias. Foi observado por Marengo, Foster e Sanches

(1992) que um número inferior a uma lagarta por planta provocou perdas da ordem de 5 a 20%.

Em caso de veranico durante a fase vegetativa, o prejuízo observado em áreas com 100% de infestação de lagartas foi de até 60%, em função da redução do peso médio das espigas e do aumento do número de plantas improdutivas (Bianco, 1991).

2.3 Pulgão-da-folha

O pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) é encontrado praticamente em todas as regiões temperadas e tropicais do mundo. Tem como principais plantas hospedeiras o sorgo, a cevada e o milho. Colônias desses afídeos alimentam-se através da sucção de seiva, causando mudança da coloração das folhas. Altas infestações desses insetos tornam as folhas vermelhas ou amarelas, as quais ficam enrugadas, secam e morrem. A fase mais suscetível da planta de milho a essa praga ocorre durante e após o florescimento. Nesse período ocorrem picos populacionais desses insetos, que preferem o pendão para sua alimentação. Essa estrutura fica coberta com uma secreção açucarada conhecida como “honeydew”, que é liberada por essa praga e que propicia o aparecimento de fungos (*Capnodium* sp.) podendo resultar em uma baixa polinização das plantas e redução da fotossíntese, e em casos severos, diminuição do desenvolvimento de grãos. Entomologistas têm especulado que o “honeydew” atrai o adulto da lagarta-do-cartucho e induz a sua oviposição nas folhas (Corn..., 2000).

A transmissão de virose é outro problema que esse pulgão pode ocasionar principalmente em milho-doce. Ele é o principal vetor do vírus do mosaico-anão-do-milho, uma doença que pode ocasionar ananismo severo, produção de espigas pequenas e, dependendo da época de infecção das plantas, não ocorre a produção (De León, 1994).

2.4 O silício no solo

Entre os minerais, o silício é o segundo elemento mais abundante, ocupando cerca de 27% em massa da crosta terrestre, sendo considerado o mineral secundário mais importante na formação dos solos (Tisdale, Nelson e Beaton, 1985). //

A maior parte do silício ocorre como forma insolúvel, tais como o quartzo, feldspato, mica e augita (Malavolta, 1976; Tisdale, Nelson e Beaton, 1985; Raij, 1991). Dentre esses minerais, o feldspato é que sofre um processo de intemperização mais acelerado, sendo a principal fonte de silício disponível para as plantas na solução do solo, na forma de ácido silícico (H_4SiO_4) (Exley, 1998).

Em solução do solo, na faixa de pH variando de 4 a 9, o monômero H_4SiO_4 é a forma predominante; acima desta faixa ocorre a formação de íons silicatados ($H_3SiO_4^-$), e em concentrações de 120 a 140 mg/dm^3 de solo, o ácido silícico polimeriza-se, formando sílica amorfa ou opala ($SiO_2.nH_2O$) (Mckeague e Cline, 1963; Jones e Handreck, 1967).

O ácido silícico é a única forma disponível de silício para as plantas, porém diversos fatores podem influenciar o seu teor no solo. As principais fontes que aumentam a sua disponibilidade são: adição de fertilizantes silicatados, água de irrigação, dissociação de ácido silícico polimérico, liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, e decomposição de resíduos vegetais. Os principais drenos são: absorção pelas plantas, formação de polímeros de silício, lixiviação, formação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e formação de minerais cristalinos (Savant, Snyder e Datnoff, 1997).

Investigações sobre a importância do teor de silício no solo foi realizada pela IFA (1992). Concluiu-se que, para obtenção de uma produção de 5,0 t/ha de grãos de arroz, o nutriente mais absorvido foi o silício (250 kg), seguido dos macronutrientes potássio (130 kg), nitrogênio (110 kg) e fósforo (20 kg).

Solos tropicais e subtropicais apresentam-se, em geral, intemperizados e lixiviados, e com cultivos sucessivos tendem a apresentar baixos teores de silício. Rajj e Camargo (1973) encontraram valores entre 2,2 e 92,2 mg de Si/kg de solo em levantamentos realizados em 44 perfis de solo do tipo Latossólico B Textural no Estado de São Paulo. Brady (1992) encontrou, no Brasil, teores menores que 2,0 mg de Si/kg em solos altamente intemperizados.

A variação dos teores de silício solúvel nos solos é bastante ampla e isso poderá afetar diferentemente a sua absorção pelas plantas. Diante disso, há a necessidade da realização de levantamentos nutricionais dos solos e das plantas para desenvolver um manejo adequado e específico para cada região, incluindo a adubação silicatada (Silva, 1971; Savant, Snyder e Datnoff, 1997).

As fontes de silício mais utilizadas são o metasilicato de sódio, metasilicato de potássio e ácido silícico. O metasilicato de potássio é utilizado comercialmente, na Europa, principalmente por produtores de pepino e de roseira, para o controle de míldio (Bélangier et al., 1995). Comercialmente, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de cálcio e magnésio, além de serem utilizadas como fonte de silício, são ainda excelentes corretivos do solo (Korndorfer e Datnoff, 1995). Os termofosfatos magnesianos também se apresentam como uma boa fonte de silício.

2.5 O silício nas plantas

A única forma assimilável de silício pelas plantas é o ácido silícico, ocorrendo a maior parte na forma não dissociada ($pK=9,6$), que é prontamente absorvida pelas plantas (Raven, 1983; Werner e Roth, 1983). Porém, a capacidade de absorção é diferente até mesmo em genótipos da mesma espécie.

Jones e Handreck (1967) propuseram a divisão das plantas em grupos, de acordo com a concentração de silicato (SiO_2) encontrada na matéria seca, em: a) acumuladoras (10 a 15% de SiO_2), como o arroz; b) intermediárias (1 a 3%

de SiO_2), como cana-de-açúcar, milho, sorgo, cucurbitáceas e algumas dicotiledôneas e c) não acumuladoras ($<1,0\%$ de SiO_2), como o tomateiro e a maioria das dicotiledôneas.

Para a maioria das espécie dicotiledôneas, a absorção pode ser passiva ou metabolicamente controlada, dependendo da concentração do ácido silícico e da espécie estudada (van der Vorn, 1980).

O custo energético necessário para que haja a absorção do silício pelas plantas é 27 vezes menor do que a da lignina, que é uma substância análoga ao silício. Determinou-se que um grama de glicose produz 0,46 g de lignina, enquanto a mesma quantidade desse açúcar incorpora 12,67 g de SiO_2 (Raven, 1983).

Investigando a absorção de silício em três espécies de monocotiledôneas (arroz, cana-de-açúcar e trigo) e duas dicotiledôneas (soja e girassol) em solução nutritiva, nas concentrações de 0,75; 30,0 e 160,0 mg de SiO_2/L , verificou-se que na menor concentração, todas as espécies absorveram silício por um processo ativo. Diagnosticou-se, ainda, que as plantas de soja e girassol, nas concentrações de 30,0 e 160,0 mg de SiO_2/L , quase não absorveram silício, indicando um mecanismo de exclusão para altas concentrações (van der Vorn, 1980). Esse mesmo autor observou alta concentração de silício na parte aérea de arroz e trigo, o que corresponde a baixo coeficiente de transpiração, que pode ser citado como um efeito benéfico para essas culturas.

Miyake e Takahashi (1985) estudaram o efeito do silício em plantas de soja cultivadas em solução nutritiva. Verificaram que mesmo cultivando a soja em alta concentração (100 ppm de SiO_2), suas folhas apresentaram uma concentração de 1,24 a 1,48% de SiO_2 , e a raiz, de 0,13 a 0,20% SiO_2 , sugerindo que não há gasto de energia para que o silício seja translocado da raiz para a parte aérea.

A absorção do ácido silícico em plantas de trigo e avevém foi investigada por Jarvis (1987). Foi observado que a absorção por fluxo de massa representou menos que 40 e 70% quando o meio foi suprido com 10 e 20 mg de Si/litro, respectivamente. Ao estudar a absorção de silício em cevada, Barber e Shone (1966) concluíram que o transporte é ativo dentro da raiz, e sua absorção é afetada pela temperatura e inibidores metabólicos, sendo independente da taxa de transpiração.

Mayland, Wright e Sojka (1991) estudaram a absorção de silício em plantas de trigo em condições de campo e sua relação com a evapotranspiração (ET) e transpiração (T). Verificaram que a absorção apresentou uma correlação linear crescente com a T ($r = 0,92$).

O transporte do silício para todas as partes aéreas das plantas é limitado ao xilema (Balasta et al., 1989). O silício está presente na parede desse vaso, na qual tem a função de aumentar a sua resistência à compressão durante a tensão respiratória (Raven, 1983). O ácido silícico é transportado passivamente para a parte aérea das plantas, através da corrente transpiratória, sendo depositado como polímeros de sílica amorfa ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (Jones e Handreck, 1967).

A concentração de silício varia entre as espécies de plantas, genótipos de uma mesma planta e em diferentes partes da planta. A diferença no teor de silício em diferentes partes da planta foi relatada por Jones e Handreck (1967), em estudo com plantas de trigo, cevada e centeio. Esses autores observaram que as inflorescências dessas plantas continham aproximadamente 42% a 45% do total de silício das mesmas, enquanto o restante foi distribuído entre as bainhas, lâminas e ápices das folhas, em proporções diferentes. Esses mesmos autores sugeriram que o transporte de silício para a parte aérea das plantas foi determinado pela taxa de transpiração, e que quanto mais velho estiver um tecido vegetal, maior o seu teor de silício.

Segundo Hutton e Norrish (1974), o elevado teor de silício transportado para a parte aérea em plantas de trigo possui uma alta correlação linear positiva ($r = 0,99$) com a transpiração e com a concentração do ácido silícico na solução do solo.

Posteriormente, em ensaios realizados com pepino e soja cultivados em solução nutritiva (100 mg de SiO_2/L), Miyake e Takahashi (1983) e Miyake e Takahashi (1985) verificaram, na parte aérea dessas plantas, um maior teor de silício em relação às raízes, 1,67% a 2,86% e 0,58% a 0,69%, respectivamente. Esses resultados demonstraram que, nessas culturas, o silício se transloca livremente da raiz para a parte aérea. Por outro lado, a sua translocação da raiz para a parte aérea, em plantas de tomateiro, diferiu das plantas de soja e pepino. O teor de silício na parte aérea foi de apenas 0,05% a 0,24%, enquanto, na raiz, os teores foram de 0,32% a 0,58%, apresentando uma baixa relação parte aérea/raiz. Concluiu-se que o tomateiro retém o silício nas raízes, não o translocando facilmente para a parte aérea (Miyake e Takahashi, 1978).

A translocação do silício em diferentes estádios de crescimento de plantas de trigo e azevém foi investigada por Jarvis (1987). Notou-se que ao adicionar silício logo na fase inicial de crescimento das plantas, este foi rapidamente transportado para a parte aérea.

A maior parte do silício que é transportado para a parte aérea das plantas permanece no apoplasto, sendo depositado após a evaporação da água, ao final da corrente transpiratória, principalmente na parede externa de células epidérmicas presentes em ambas superfícies das folhas (Hodson e Sangster, 1988). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui (Aston e Jones, 1976).

A redistribuição do silício foi pesquisada por Miyake e Takahashi (1983) em plantas de pepino em diferentes estádios fisiológicos, os quais observaram que aquelas cultivadas em solução contendo silício apresentaram crescimento

normal. Porém, ao atingirem o florescimento, as plantas foram transferidas para uma solução sem silício, e as novas folhas apresentaram sintomas anormais, como ondulações irregulares e formas imperfeitas. Ainda foi verificado que o teor de silício nas folhas mais novas foi relativamente mais baixo (1,16% de SiO_2) em relação ao das folhas mais velhas, as quais foram supridas com silício (4,32% de SiO_2). Esse mesmo comportamento foi verificado para a soja (Miyake e Takahashi, 1985) e para o tomateiro (Miyake e Takahashi, 1978). Assim, pode-se verificar que o silício não é facilmente redistribuído entre as diferentes partes da planta.

Essa baixa redistribuição do silício está relacionada com a sua precipitação em sílica amorfa ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). O depósito de SiO_2 é refletido nos maiores pontos de perda de água por transpiração (Jones e Handreck, 1967; Raven, 1983).

Em monocotiledôneas a deposição de silício ocorre principalmente em órgãos aéreos (Sangster, 1978; Bennett, 1982; Hodson e Sangster, 1988). A deposição de silício em folhas de gramíneas C_3 e C_4 foi observada através de cortes ultraestruturais, com auxílio de raio - X. Uma maior frequência de células sílicas e células buliformes silicificadas foi encontrada em plantas C_4 , quando comparadas com as C_3 . Essa maior frequência de depósitos de silício foi responsável por uma maior rigidez dos tecidos foliares dessas plantas, tornando-as mais resistentes a fatores abióticos e bióticos (Kaufman et al., 1985).

Em plantas de cevada, a deposição de silício na célula epidérmica ocorre primeiramente ao redor da parede externa, após os grânulos de silício serem formados em toda parte da célula e, posteriormente, estende-se para o seu interior (Bennett, 1982). Também foi observada a presença de silício nos espaços intracelulares e entre as paredes das células, indicando que o ácido silícico se move apoplasticamente dentro da folha. Nessa mesma planta,

Hayward e Parry (1973) verificaram que o silício está presente em toda a lâmina foliar, exceto na folha bandeira, na qual aparece confinado à epiderme inferior.

Trabalhando com plantas de trigo, Hodson e Sangster (1988) concluíram que nas folhas jovens a deposição de silício ocorre predominantemente na epiderme inferior, enquanto, nas folhas maduras, a deposição foi mais extensiva em ambas epidermes. Traços de silício também foram detectados em células buliformes, células epidérmicas, parede do tricoma, esclerênquima epidermal e sub-epidermal, mesófilo e nos diversos tipos de sistemas vasculares presentes nas folhas.

2.6 Efeitos do silício sobre pragas

A primeira publicação da utilização do silício na proteção de plantas ocorreu em 1940. Especulou-se a respeito do modo de ação do silício sobre a redução da severidade do míldio em plantas de pepino. Foi observada uma relação direta entre a deposição de ácido silícico nos sítios de infecção do míldio e o grau de resistência de plantas. Houve uma silicificação (deposição de silício) das células epidérmicas, dificultando a penetração do tubo infectivo dos fungos, agindo, assim, como uma barreira mecânica (Wagner, 1940 citado por Lima Filho, Grothge-Lima e Tsai, 1999).

O acúmulo e a polimerização de silício na célula epidérmica, logo abaixo da cutícula, forma 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 insetos-praga e fungos (Yoshida et al., 1962 citado por Savant, Snyder e Datnoff, 1997).

O papel do silício na resistência à broca-do-colmo-do-arroz *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) foi investigado por Djamin e Pathak (1967) em 20 variedades de arroz, os quais concluíram que nas variedades com alto teor de silício, um menor número de lagartas foi encontrado,

diminuindo, assim, a porcentagem de coração-morto nas plantas. Verificaram, ainda, alta correlação linear negativa ($r = -0,80$) entre a sobrevivência das lagartas e a porcentagem de silício encontrada nas plantas. A concentração de silício nas plantas afetou a sobrevivência das lagartas e reduziu os sintomas de coração morto, reduzindo a alimentação desses insetos, sendo a mortalidade correlacionada com o excessivo desgaste da região incisora da mandíbula (Djamin e Pathak, 1967)

Estudando o efeito de quatro doses de silício (0, 50, 100 e 150 ppm de SiO_2) em solução nutritiva, em plântulas de arroz contra ninfa da cigarrinha *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), Kin e Heinrichs (1982) observaram que poucas ninfas transformaram-se em adultos nas plantas tratadas com silício, e que o número de machos cresceu com o aumento da dose desse mineral.

Tayabi e Azizi (1984), avaliando o efeito de várias doses de silicato de potássio (0,100, 250, 500, 750 e 1000 kg/ha) sobre o rendimento e resistência de arroz à broca-do-colmo *Chilo supremain* (Lepidoptera: Pyralidae), constataram que a aplicação de 500 kg/ha teve efeito positivo sobre os números de panículas/planta, panículas/ m^2 e de grãos/ m^2 . O número de lagartas dessa praga foi de 23 e 47/ m^2 para as doses de 1000 e 500 kg/ha, respectivamente, contra 112 onde não foi aplicado o silício.

O efeito benéfico do silício também foi constatado em dicotiledôneas. Plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva (100 mg de SiO_2 /litro) apresentaram aumento no teor de clorofila, maior massa foliar (fresca e seca) específica, atraso na senescência e aumento da rigidez das folhas maduras, as quais mantinham-se mais horizontais. Além disso, a atividade da enzima Rubisco-Carboxilase aumentou cerca de 50% quando comparada àquelas de plantas desenvolvidas em solução com baixa concentração de silício (10 mg de SiO_2 /litro) (Adatia e Besford, 1986).

O efeito de diferentes fontes de silício sobre o trips *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), mosca-da-galha *Orseolia oryzae* (Wood-Mason) (Diptera: Cecidomyiidae) e lagarta-enroladeira *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee) (Lepidoptera: Pyralidae), insetos-praga da cultura do arroz, foi investigado por Subramanian e Gopaldaswamy (1988). Esses autores concluíram que nos tratamentos em que foi adicionado silício, o número de trips/folha foi significativamente menor em relação ao tratamento sem silício. Também foi constatado que a porcentagem populacional da mosca-da-galha e da lagarta-enroladeira diminuiu com a adição de silício.

Entretanto, a barreira mecânica proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de defesa ao ataque de insetos ou a penetração das hifas de fungos. Em trabalhos recentes com plantas de pepino, foi observado que o silício age no tecido do hospedeiro afetando sinais químicos entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida dos mecanismos de defesa da planta (Samuels et al., 1991; Chérif et al., 1992a; Chérif et al., 1992b). O mecanismo de resposta da planta ao ataque de insetos sugadores é similar ao do ataque de patógenos (Dreyer e Campbell, 1987).

A diminuição da população de duas espécies de afídeos *Metopolophium dirhodum* (Walker, 1848) (Homoptera: Aphididae) e *Sitobion avenae* (Fabr., 1794) (Homoptera: Aphididae), sobre folhas de trigo após a aplicação foliar de silício (1% Na₂SiO₂), não foi resultado somente da deposição de silício nas células epidérmicas, mas também devido ao aumento da solubilidade desse elemento dentro da folha (Hanisch, 1980).

Segundo Sogawa (1982), a concentração de 10 mg/litro de SiO₂ teve um efeito inibitório na sucção da seiva por uma espécie de cigarrinha em plantas arroz.

A resistência de 19 genótipos de capim ao ataque do gorgulho-das-pastagens, *Listronotus bonariensis* (Kruschel) (Coleoptera: Curculionidae), foi

estudada por Barker (1989). Verificou-se que o número de ovos ovipositados nas plantas foi correlacionado negativamente com a densidade de depósitos de silício na superfície abaxial das bainhas, o que também dificultou a alimentação das larvas.

A aplicação de 2 kg de casca de arroz carbonizada por m² de solo aumentou significativamente o teor de silício em plantas de arroz, e isso diminuiu sensivelmente a porcentagem de coração-morto causado pela lagarta-amarela-do-colmo *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) (Sawant, Patil e Savant, 1994).

Puzyrkov, Dorózhkina e Dolgushkin (1996) investigaram a possibilidade da utilização de um composto orgânico-silícico (tetraetoxisilane-TES) como método alternativo para reduzir a quantidade de inseticidas e fungicidas para o controle do besouro-do-Colorado *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) e do fungo causador da doença conhecida como requeima, *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, na cultura da batata. Houve uma redução na aplicação de pesticidas de 11 para 2 a 5 kg/ha e aumento na produção de 9 a 24%.

A resistência de 11 cultivares de arroz a *Chilo agamemnon* Bles. (Lepidoptera: Pyralidae) e *Hydrellia prosternalis* Deeming (Diptera: Ephydriidae) foi investigada por Soliman et al. (1997). Nesse trabalho foram determinados proteína total, silício natural e aminoácidos livres. Esses autores concluíram que uma maior quantidade de proteína aumentou a infestação de *C. agamemnon* e diminuiu a infestação de *H. prosternalis* na maioria das cultivares, sendo que o maior teor de silício diminuiu a infestação de ambos os insetos-praga. Carvalho, Moraes e Carvalho (1999), estudando o efeito do silício na resistência do sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae), verificaram que o silício causou redução na preferência e na reprodução dessa praga.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADATIA, M.H.; BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, London, v.58, n.3, p.343-351, Sept. 1986.
- AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2000. 521p.
- ASTON, M.J.; JONES, M.M. Study of the transpirational surfaces of *Avena sterilis* L. var. Algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement. **Planta**, Berlin, v.130, n.2, p.121-129, 1976.
- BALASTA, M.L.F.C.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, n.8, p.2356-2363, Aug. 1989.
- BARBER, D.A.; SHONE, M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.17, n.52, 569-578, 1966.
- BARKER, G.M. Grass host preferences of *Listronotus bonariensis* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.82, n.6, p.1807-1816, Dec. 1989.
- BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v.79, n.4, p.329-336, Apr. 1995.
- BENNETT, D.M. An ultrastructural study on the development of silicified tissue in the leaf tip of barley (*Hordeum sativum* Jess). **Annals of Botany**, London, v.50, n.2, p.229-237, Aug. 1982.
- BIANCO, R. **Pragas e seu controle**. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina, 1991. p.184-221. (IAPAR. Circular Técnica, 68).
- BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 10.ed. New York: Macmillan, 1992. 750p.

- CARVALHO, A.O.R. **Pragas de milho e seu controle**. Londrina: IAPAR, 1982. 291p. (IAPAR. Circular Técnica, 29)
- CARVALHO, R.P.L. **Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho em condições de campo**. Piracicaba: ESALQ, 1970. 70p. (Tese - Doutorado em Entomologia).
- 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**, Piracicaba, v.28, n.4, p.505-510, dez. 1999.
- CHÉRIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.41, p.411-425, 1992a.
- CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v.41, p.371-385, 1992b.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Indicadores da agropecuária**, Brasília, v.9, n. 6/7, p.1-50, jun./jul. 2000.
- CORN LEAF APHID: *Rhopalosiphum maidis* (Fitch), Aphididae, Hemiptera. Disponível em: <ipmwww.ncsu.edu:8150/AG295/html/corn_leaf_aphid.htm>. Acesso em 08 jan. 2000.
- CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995. 45p. (EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica, 21).
- CRUZ, I.; SANTOS, J. P.; WAQUIL, J.M. **Principais pragas da cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1987. 10p. (EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica, 4)

- CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estágios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n. 3, p.355-359, mar. 1982.
- DE LEÓN, C. **Moléstias do milho: guia para sua identificação no campo**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1994. p.119.
- DJAMIN, A.; PATHAK, M.D. Role of silica in resistance to asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.60, n.2, p.347-351, Apr. 1967.
- DREYER, D.L.; CAMPBELL, B.C. Chemical basis of host-plant resistance to aphids. **Plant Cell Environment**, Oxford, v.10, p.353-361, 1987.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, Washington, v.91, p.11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.
- EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v.69, p.139-144, 1998.
- GROSS, H.R.; YOUNG, J.R.; WISEMAN, B.R. Relative susceptibility of a summer planted dent and tropical flint corn variety to whorl stage damage by the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.75, n.4, p.1153-1156, Aug. 1982.
- HANISCH, H.C. Zum einfluss der stickstoffdungung und vorbeugender spritzung von natronwasser glas zu weizenpflanzem auf deren widerstandsfähigkeit gegen getreideblattlaus. **Kali-Driefe**, Berlin. v.15, p.287-296, 1980.
- HAYWARD, D.M.; PARRY, D.W. Electron-probe microanalysis studies of silica distribution in barley (*Hordeum sativum* L.). **Annals of Botany**, London, v.37, p.579-591, 1973.
- HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.), with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, London, v.62, n.5, p.463-471, Nov. 1988.

- HUTTON, J.T.; NORRISH, K. Silicon content of wheat husks in relation to water transpired. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.25, n.2, p.203-212, Mar. 1974.
- INSTITUTE FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **IFA world fertilizer use manual**. Paris, France, 1992. Rice, p.38.
- JARVIS, S.C. The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. **Plant Soil**, Dordrecht, v.97, n.3, p.429-437, 1987.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, London, v.19, p.107-149, 1967.
- KAUFMAN, P.B; DAYANANDAN, P.; FRANKLIN, C.I.; TAKEOKA, Y. Structure and function of silica bodies in the epidermal system of grass shoots. **Annals of Botany**, London, v.55, n.4, p.487-507, Apr. 1985.
- KIN, H.S.; HEINRICHS, E.A. Effects of silica level on whitebacked planthopper. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v.7, n.4, p.17, 1982.
- KORNDORFER, G.A.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **POTAFOS, Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p.1-3, jun. 1995.
- LIMA FILHO, O.F.; GROTHGE-LIMA, M.T.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. **POTAFOS, Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.87, p.1-7, 1999.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo : Agronômica Ceres, 1976. 251p.
- MARENCO, R.J.; FOSTER, R.E.; SANCHES, C.A. Sweet corn response to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on resistant and susceptible corn. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.85, n.5, p.2039-2042, set. 1992.
- MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. p.920.

MAYLAND, H.F.; WRIGHT, J.L.; SOJKA, R.E. Silicon accumulation and water uptake by wheat. **Plant Soil**, Dordrecht, v.137, n.2, p.191-199, Nov. 1991.

McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**, London, v. 15, p.339-396, 1963.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.29, p.71-83, 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.31, p.625-636, 1985.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.24, p.175-189, 1978.

MONTEIRO, J. de A. O milho no Brasil: considerações econômicas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n.165, p.4-6, dez. 1990.

MOURA, P.A.; OLIVEIRA, A.C.S. Aspectos econômicos da cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.72, p.2-8, dez. 1980.

PINAZZA. Cultura do milho. **POTAFOS, Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.63, p.1-10, mar. 1993.

PUZYRKOV, P. E.; DOROZHKINA, L. A.; DOLGUSHKIN, V. A. Application of tetraetoxisilane for increasing potato yield and for ecological safety of pesticides. **Izvestiya-Timiryazevskoi-Sel'skokhozyaistvennoi-Akademii. Moscow**, n.2, p.135-144, 1996.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van.; CAMARGO, O. A. Silica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-236, jul. 1973.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, Cambridge, v.58, n.3, p.179-207, Apr./June 1983.

- SAMUELS, A.L.; GLASS, A.D.M.; EHRET, D.L; MENZIES, J.G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.14, p.485-492, 1991.
- SANGSTER, A.G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v.65, n.9, p.929-935, Sept. 1978.
- SAVANT, N.K.; SNYDER, G.D.; DATNOFF, L.E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v.58, p.151-199, 1997.
- SAWANT, A.S.; PATIL, V.H.; SAVANT, N.K. Rice hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transplanted rice. **International Rice Research Notes**, Manial, v.19, n.4, p.20-21, Aug. 1994.
- SILVA, J. A. Possible mechanisms for crop response to applications. **Proceedings International of Symposium Soil Fertilyte Eval**. New Delhi, v. 1, p.805-814, 1971.
- SILVA, J. de A. **Avaliação dos danos e perdas causados pela *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho, em condições de campo**. Recife: UFRP, 1987. 101p. (Dissertação - Mestrado em Fitossanidade).
- SOGAWA, K. The rice Brown plant hopper feeding physiology and host plant interactions. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v.27, p.49-73, 1982.
- SOLIMAN, AM.; EL-ATTAR, W.M.; ELELA, R.G.A.; ABDEL-WAHAB-AE. Effect of certain chemical components and source of rice plant on its resistance to rice stem borer, *Chilo agamemnon* Bles. and rice leaf miner, *Hydrellia prosternalis*, Deem. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, Cairo, v.75, n.3, p.667-680, 1997.
- SUBRAMANIAN, S.; GOPALASWAMY, A. Effect of silicate materials on rice crop pests. **International Rice Research Newsletter**, Manial, v.13, n.3, p.32, June 1988.
- TAYABI, K.; AZIZI, P. Influence of silica on rice yield and stem-borer (*Chilo supremain*) in Rasht/Iran 1979-1980. **Pesticides**, Sacramento, v.18, n.5, p.20-22, 1984.


TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil Fertility and Fertilizers**.
New York: Mcmillan Publishing Company, 1985. 754p.

VORN, D.J. van der. Uptake of Si by plant species, as influenced by variations in Si-suply. **Plant Soil**, Dordrecht, v.56, n.1, p.151-156, 1980.

WAQUIL, J.E.; VIANA, P.A.; LORDELLO, A.I. Controle da lagarta-do-cartucho em milho com inseticida químico e biológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.163-166, fev. 1982.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (eds). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Spring-Verlag, 1983. v.15B, p.682-694.

WISEMAN, B.R; PAINTER, R.H.; WASSON, C.E. Detecting corn seedlings differences by visual classification of damage by the fall armyworm. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.59, n.5, p.1211-1214, Oct. 1966.

CAPÍTULO 2

GOUSSAIN, Marcio Marcos. **Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)**. Lavras: UFLA, 2001. 24p. (Dissertação - Mestrado em Entomologia)¹

RESUMO

A cultura do milho, no Brasil, representa aproximadamente 42% do total de grãos produzidos e tem uma produtividade média em torno de 2.800 kg/ha. Entretanto, ao ser comparada com média internacional (4.000 kg/ha), a produtividade brasileira pode ser considerada baixa, devido às perdas decorrentes a fatores bióticos e abióticos. Dentre os insetos-praga, destaca-se a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797), que ao se alimentar da planta de milho, pode reduzir em até 34% sua produção. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento da lagarta-do-cartucho. Foram testados dois tratamentos e 20 repetições, sendo que os tratamentos consistiram em: 1) testemunha (dose zero de silício) e 2) aplicação de silício (3,2 ml da solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂), mais 96,8 ml de água, aplicados via solo aos cinco, 10, 15, 20 e 25 dias após a emergência das plantas). As avaliações feitas visaram a obtenção de informações sobre o consumo foliar, mortalidade ao final do 2º instar larval, duração do período larval e pupal, mortalidade larval e pupal, peso de pupa e razão sexual. Observou-se que não houve efeito do silício no consumo foliar por lagartas de 3º e 5º ínstaes, na duração da fase larval e pupal, peso de pupa e na mortalidade de pupas. Entretanto, verificou-se uma maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas ao final do 2º instar, e maior mortalidade de lagartas individualizadas no 2º e 6º ínstaes, alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício, em relação à testemunha. Observou-se que as mandíbulas das lagartas, nos seis ínstaes, apresentaram um desgaste acentuado na região incisora quando em contato com folhas com maior teor de silício. A aplicação de silício, de modo geral, dificulta a alimentação de lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo.

¹ Comitê Orientador: Jair Campos Moraes – UFLA (Orientador); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-orientador).

ABSTRACT

Goussain, Marcio Marcos. **Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera:Noctuidae).** Lavras: UFLA, 2001. 24p. (Dissertation- Master in Entomology)¹

Corn crops in Brazil accounts for about 42% of the total of grains produced and with a mean yield around 2.800 kg/ha. However, when comparing with the international mean (4.000 kg/ha), the Brazilian yield may be considered low due to the losses from biotic and abiotic factors. Out of the pest insects, the fall armyworm stands out which in feeding on the corn plant, may reduce by up to 34% its production. In face of that, it was aimed to evaluate the effect of the application of silicon on corn plants on the development of the fall armyworm. Two treatments and 20 replicates were tested, the treatments consisted of: 1) check (dose zero of silicon) and 2) application of silicon (3,2 ml of the sodium silicate solution Trade mark Merck (concentration of 25-28% of SiO₂) plus 96,8 ml of water applied at 5, 10, 15, 20 and 25 days after emergence of the plants. The evaluations done aimed at the acquisition of information about leaf consumption, mortality at the end of the 2nd larval instar, length of the larval and pupal period, pupa weight and sex ratio. It was observed that there was no effect of silicon on the leaf consumption by 3rd and 5th instar fall armyworm on the length of the larval and pupal phase, pupa weight and mortality of pupas. However, an increased mortality and cannibalism in groups of fall armyworm at the end of the 2nd instar and greater mortality of individualized fall armyworm at the 2nd and 6th instars fed on silicon-treated corn plant leaves relative to the check. It was found that the fall armyworm jaws at the six instars presented a marked wear on the incisor region when in contact with leaves with greater silicon content. Silicon application, inn general, makes the fall armyworm feeding difficult causing increase of mortality and cannibalism.

¹ Guidance Committee: Jair Campos Moraes – UFLA (Adviser); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

Dentre os cereais cultivados no mundo, o milho se destaca desde épocas muito antigas, constituindo a base alimentar da população de muitos países. No Brasil, a área cultivada com o milho ultrapassa os 13 milhões de hectares, com uma produção de 34 milhões de toneladas anuais. Estima-se que o prejuízo causado por insetos-praga a essa cultura atinge aproximadamente 23% da produção de grãos, ou seja, essas perdas podem ser estimadas em torno de 8 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2000).

A lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é um dos principais insetos-praga do milho no país, 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 grupos químicos utilizados (Cruz, Viana e Waquil, 1999).

A utilização de resistência genética e/ou induzida em plantas pode auxiliar no manejo desse inseto-praga. A aplicação do silício como indutor de resistência temporária a insetos-praga e a doenças 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).

O papel do silício na resistência à broca-do-colmo do arroz *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) foi estudado por Djamin e Pathak (1967) em 20 variedades de arroz. Concluíram que a porcentagem de coração-morto e o número de lagartas foram positivamente correlacionados ($r = 60$) e que variedades com alto teor de silício apresentaram baixa população da broca.

Tayabi e Azizi (1984), avaliando o efeito de várias doses de silicato de potássio (0, 100, 250, 500, 750 e 1000 kg/ha) sobre o rendimento e resistência do arroz à broca-do-colmo *Chilo supremain* (Lepidoptera: Pyralidae), constataram que a aplicação de 500 kg/ha teve efeito positivo sobre os números de panículas/planta, panículas/m² e de grãos/m². Observaram-se 23, 27 e 47 lagartas da broca-do-colmo/m² para as doses de 1000, 700 e 500 kg/ha de silicato de potássio, respectivamente, contra 112 em que não foi aplicado o silício.

O efeito de diferentes fontes de silício sobre o trips *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), mosca-da-galha *Orseolia oryzae* (Wood-Mason) (Diptera: Cecidomyiidae) e lagarta-enroladeira *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee) (Lepidoptera: Pyralidae), insetos-praga da cultura do arroz, foi avaliado por Subramanian e Gopaldaswamy (1988). Estes observaram que nos tratamentos em que foi adicionado silício, o número de trips/folha foi significativamente menor em relação ao tratamento sem silício. Também foi constatado que a porcentagem da mosca-da-galha e da lagarta-enroladeira diminuiu com a adição do silício.

A preferência de oviposição do gorgulho-das-pastagens *Listronotus bonariensis* (Kruschel) (Coleoptera: Curculionidae) 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).

Segundo Salim e Saxena (1992), a adição de 400 mg de Si/litro, em solução nutritiva, reduziu a alimentação, crescimento, longevidade e fecundidade de *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) em plantas de arroz. Para a mesma cultura, a aplicação de 2 kg de casca de arroz carbonizada por metro quadrado de solo aumentou significativamente o teor de silício nas plantas, e isso diminuiu sensivelmente a porcentagem de

coração-morto causado pela lagarta-amarela-do-colmo *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) (Sawant, Patil e Savant, 1994).

Carvalho, Moraes e Carvalho (1999) estudaram o efeito do silício na resistência do sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond, 1852) (Homoptera: Aphididae). Os resultados indicaram que o silício causou redução na preferência e na reprodução dessa praga.

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

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Criação de manutenção da lagarta-do-cartucho do milho

A criação foi iniciada com 60 pupas da lagarta-do-cartucho do milho oriundas da EMBRAPA/CNPMS, em Sete Lagoas-MG. As pupas foram colocadas em gaiola de pvc com 20 cm de diâmetro e 25 cm de altura, cuja parede interna foi revestida com papel sulfite, tampadas na parte superior com tecido tipo organza, sendo sua parte inferior apoiada em prato plástico de 25 cm de diâmetro forrado com papel filtro. Após a emergência dos adultos, em cada gaiola foi colocado alimento num frasco de 10 ml, contendo um chumaço de algodão saturado com solução de açúcar a 5% mais 0,50 g de ácido sórbico/litro de água destilada, sendo trocada a cada dois dias.

As posturas foram coletadas diariamente, recortando-se a massa de ovos juntamente com o papel sulfite, e colocadas em copos plásticos com capacidade de 50 ml, contendo em seu interior um pedaço de aproximadamente cinco gramas de dieta artificial à base de feijão e levedura (Kasten et al., 1978), sendo o conjunto fechado com tampa acrílica.

Após três dias da eclosão, com auxílio de um pincel esterilizado em luz germicida durante 30 minutos e em capela de fluxo laminar, as lagartas foram individualizadas em copos plásticos, sendo mantidas em câmara climatizada regulada a 25 ± 2 °C, UR de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

2.2 Metodologia geral

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação do Departamento de Entomologia/UFLA, no período de dezembro/99 a março/2000.

Inicialmente, foram semeadas quatro sementes de milho híbrido Cargil C-444 por vaso com capacidade para 8 litros de substrato, que foi composto de terra de barranco. Após a emergência, foram selecionadas as mais vigorosas,

deixando-se apenas 2 plântulas/vaso, sendo que uma foi utilizada para os ensaios com lagartas e a outra para análise foliar, visando determinar o teor de silício nas folhas. Para determinação do teor de silício utilizou-se a nona folha totalmente estendida.

A umidade dos vasos foi mantida por meio de irrigação diária e as plantas receberam adubações de cobertura com uréia, na dosagem de 100 mg/kg de solo aos 10, 20 e 30 dias após a emergência.

Os vasos foram dispostos ao acaso nas bancadas, sendo agrupados em dois tratamentos e 20 repetições. Os tratamentos consistiram em 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) aplicação de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO_2). Nos vasos que receberam silício via solo, a solução foi aplicada cinco vezes, 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, totalizando ao final das aplicações, 16 ml de solução de silicato de sódio/vaso.

Aos 40 dias após a emergência, que corresponderam ao estágio 2 de desenvolvimento fisiológico das plantas, realizaram-se os testes de resistência com as lagartas, pois é nesse período que a cultura se encontra mais suscetível ao ataque desta praga (Cruz e Turpin, 1982).

2.2.1 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste de livre escolha para lagartas de 5º instar de *S. frugiperda*

Para realização desse experimento, uma criação de *S. frugiperda* foi iniciada com 150 lagartas recém-eclodidas, as quais foram individualizadas em copos plásticos. Posteriormente, foram selecionadas 80 lagartas de 2º instar, que apresentavam tamanhos semelhantes. Essas lagartas foram observadas diariamente para determinar as mudanças de instares, e ao atingirem imediatamente o 5º instar, foram selecionadas 20 lagartas, que foram

transferidas para tubos de vidro de 8,5 cm de comprimento x 2,5 cm de diâmetro, e passaram por um período de três horas em estado de inanição, antes de receberem as seções de folhas de plantas de milho.

Utilizou-se delineamento experimental de blocos ao caso, com dois tratamentos: 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) com aplicação de silício [16 ml de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂)] e 40 repetições (20 blocos e duas repetições de cada tratamento dentro de cada bloco). Cada bloco foi constituído de uma placa de Petri com 15 cm de diâmetro, tendo o fundo coberto com papel filtro umedecido, com uma seção foliar de 12 cm², sendo duas de cada tratamento, dispostas de formas alternadas, aleatórias e equidistantes entre si, e fixadas com auxílio de um alfinete, formando uma arena. Em seguida, foi liberada uma lagarta no centro da arena, fechando esse conjunto com tecido tipo organza, o qual permaneceu 24 horas em câmara climatizada regulada a 25 ± 2 °C, fotofase de 12 horas e UR de 70 ± 10%.

Após esse período, as lagartas foram retiradas e mediu-se o consumo através da área remanescente das seções foliares, pelo método da quadrícula, utilizando-se papel quadriculado. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

2.2.2 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste de livre escolha para lagarta de 3^o instar de *S. frugiperda*

Para a execução desse bioensaio, uma criação foi iniciada com 100 lagartas recém-eclodidas de *S. frugiperda*, as quais foram individualizadas em copos plásticos. Posteriormente, foram selecionadas 80 lagartas de 2^o instar, que apresentavam tamanhos semelhantes. Essas lagartas foram observadas diariamente para determinar a mudança de instares e ao atingirem o 3^o instar, foram selecionadas 24 lagartas, que foram transferidas para tubos de vidro de 8,5

cm de comprimento x 2,5 cm de diâmetro e passaram por um período de três horas sem alimentação, antes de receberem as seções de folhas de plantas de milho.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com dois tratamentos: 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) com aplicação de silício [16 ml de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂)] e 24 repetições. Cada bloco foi distribuído em uma mesa, na qual foram colocadas folhas de papel filtro umedecidas, sobre as quais colocaram-se seções foliares de 18 cm², uma de cada tratamento, colocadas equidistantes entre si e fixadas com auxílio de um alfinete, e no centro foi liberada uma lagarta. Sobre cada conjunto foi emborcada uma placa de Petri de 15 cm de diâmetro, de modo que se formou uma arena. As lagartas permaneceram nessa arena durante 24 horas em sala climatizada regulada a 25 ± 2 °C, fotofase de 12 horas e UR de 70 ± 5%.

Após esse período, as lagartas foram retiradas e mediu-se a área foliar consumida das seções foliares remanescentes, pelo método da quadricula, utilizando-se papel quadriculado. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

2.2.3 Consumo foliar de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício, em teste sem chance de escolha para lagartas de 3^o ínstar de *S. frugiperda*

Para avaliar esse efeito, uma criação foi iniciada com 100 lagartas recém-eclodidas, as quais foram individualizadas em copos plásticos. Posteriormente, foram selecionadas 80 lagartas de 2^o ínstar, que apresentavam tamanhos semelhantes. Essas lagartas foram observadas diariamente para determinar a mudança de ínstar, e ao atingirem imediatamente o 3^o ínstar, foram selecionadas 40 lagartas, que foram transferidas para tubos de vidro com 8,5 cm

de comprimento x 2,5 cm de diâmetro e passaram por um período de inanição de 3 horas, antes de receberem as seções de folhas de plantas de milho.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos: 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) com aplicação de silício [16 ml de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO_2)] e 20 repetições. As parcelas foram montadas sobre uma mesa forrada com folhas de papel filtro umedecidas, na qual foi colocada uma seção foliar de 18 cm^2 . Uma lagarta foi confinada sobre cada seção foliar, colocando-se uma placa de Petri de 15 centímetros de diâmetro sobre a mesma. As lagartas permaneceram nessa arena durante 24 horas em sala climatizada regulada a 25 ± 5 °C, fotofase de 12 horas e UR de $80 \pm 5\%$. Após esse período, as lagartas foram retiradas, e mediu-se a área foliar consumida das seções foliares remanescentes, pelo método da quadricula, utilizando-se papel quadriculado. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

2.2.4 Efeito do silício na mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* ao final do 2º instar

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos: 1) testemunha (sem aplicação de silício) e 2) com aplicação de silício [16 ml de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO_2)] e 20 repetições. As parcelas foram montadas em placas de Petri de 19 centímetros de diâmetro, forradas com papel filtro umedecidas, e sobre este 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, e 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 24 horas. O experimento foi mantido

em câmara climatizada regulada a 25 ± 2 °C, fotofase de 12 horas e UR de $80 \pm 10\%$. Avaliou-se a mortalidade total e o canibalismo ao final do 2º ínstar.

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 significância.

2.2.5 Aspectos biológicos de *S. frugiperda*

Para estudar a biologia da lagarta-do-cartucho, foram utilizados dois tratamentos: 1) testemunha (sem aplicação de silício e 2) com aplicação de silício [16 ml de solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂)] e 20 repetições. 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 24 horas 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 12 horas e UR de $80 \pm 10\%$.

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 após 24 horas da transformação, as médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

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

2.2.6 Efeito do silício no desgaste da mandíbula de *S. frugiperda*

Nesse experimento, 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, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º), aproximadamente dez lagartas foram decapitadas. Com auxílio de um microscópio estereoscópico e estilete, retiraram-se as mandíbulas, colocando-as em uma solução de álcool a 70%. Posteriormente, essas 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-espécimen 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 espécimens foram levados até o aparelho de microscopia eletrônica de varredura (MEV DSM 940-A), no qual mediu-se o desgaste da região incisora das mandíbulas através de fotografias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Consumo foliar e mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* ao final do 2º ínstar, alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem aplicação de silício

Não houve efeito do silício no consumo de folhas de plantas de milho em teste de livre escolha por lagartas de 3º e 5º ínstars, as quais consumiram, em média, 0,29 cm² e 8,33 cm² de folha em 24 horas, respectivamente (Figura 1).

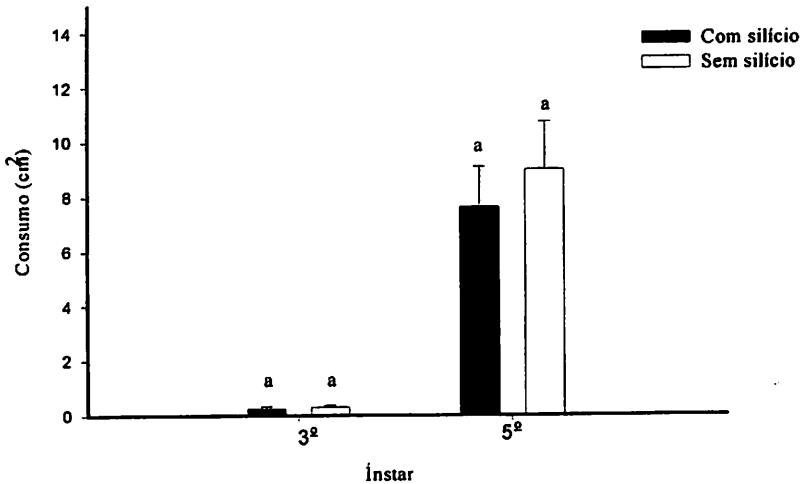


FIGURA 1. Consumo (cm²) de folhas de plantas de milho (média ± erro padrão), com ou sem aplicação de silício, por lagartas de 3º e 5º ínstars de *Spodoptera frugiperda* em teste de livre escolha, após 24 horas da liberação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F (P>0,05).

Em teste sem chance de escolha para lagartas de 3º ínstar, também não foram detectadas diferenças significativas, sendo o consumo médio de 2,85 cm²

de área foliar (Figura 2). Contudo, Silveira, Vendramim e Rossetto (1998) obtiveram resultados satisfatórios quando realizaram testes semelhantes para determinar o grau de resistência de genótipos de milho em ensaios de não-preferência, com lagartas de 1^o e 5^o ínstars, 24 horas após a liberação.

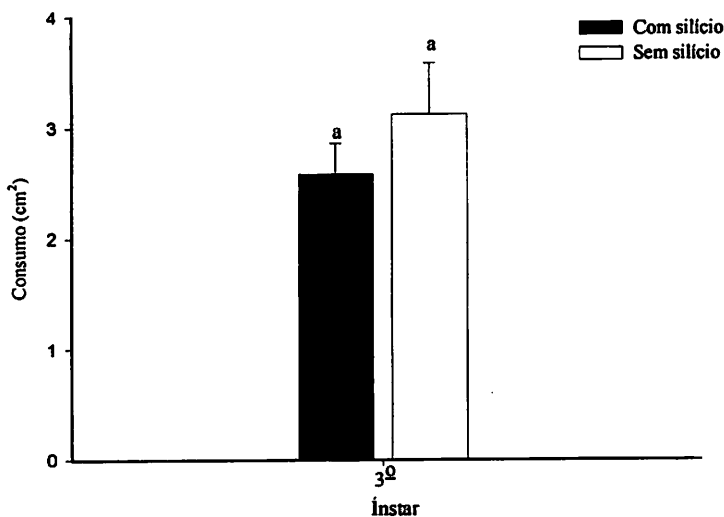


FIGURA 2. Consumo (cm²) de folhas de plantas de milho (média \pm erro padrão), com ou sem aplicação de silício, por lagartas de 3^o instar de *Spodoptera frugiperda* em teste sem chance de escolha, após 24 horas da liberação. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Entretanto, verificou-se que houve efeito significativo do silício na mortalidade de lagartas ao final do 2^o instar, alimentadas com folhas provenientes de plantas que receberam esse mineral. Dessa maneira, lagartas alimentadas com folhas procedentes de milho adubado com silício apresentaram uma mortalidade de 6,85%, correspondente ao dobro da mortalidade ocorrida no tratamento sem adição de silício (3,28%) (Figura 3). Provavelmente, o silício conferiu uma resistência mecânica às folhas, o que dificultou a alimentação

desses insetos. De acordo com Jones e Handreck (1967) e Raven (1983), a aplicação de silício proporciona um maior transporte desse elemento para a parte aérea, sendo depositado nas células epidérmicas como sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), tornando os tecidos foliares mais rígidos.

Resultados semelhantes aos do presente trabalho também foram encontrados por outros autores. Em plantas de arroz, a concentração de silício aumentou a resistência dos tecidos vegetais, afetando negativamente a sobrevivência da lagarta-da-broca-do-colmo *Chilo suppressalis*, reduzindo a alimentação desses insetos, sendo a mortalidade correlacionada com o excessivo desgaste da região incisora da mandíbula (Djamin e Pathak, 1967). Nessa mesma cultura, o silício afetou a longevidade e a fecundidade da cigarrinha do arroz *Sogatella furcifera* (Salim e Saxena, 1992).

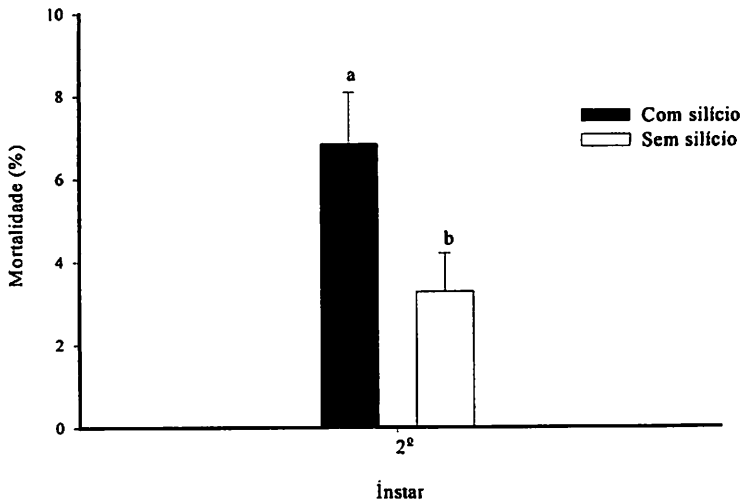


FIGURA 3. Porcentagem de mortalidade (média \pm erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício, ao final do 2º instar. Médias com diferenças significativas pelo teste F ($P \leq 0,05$).

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 adubadas 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 5,25%, respectivamente (Figura 4).

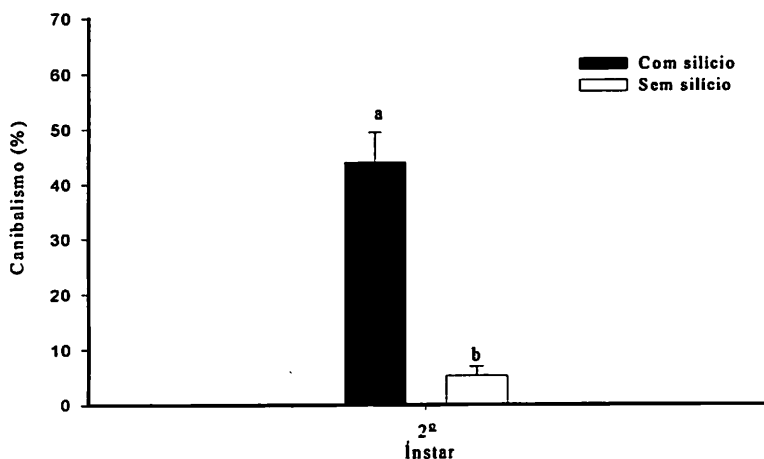


FIGURA 4. Porcentagem de canibalismo (média \pm erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício, ao final do 2º instar. Médias com diferenças significativas pelo teste F ($P \leq 0,05$)

Possivelmente, a camada de silício depositada na folha impediu 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 *S. frugiperda* de 3º instar 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) para essa espécie.

Os resultados obtidos demonstraram que em lagartas mal alimentadas, seja por escassez ou inadequabilidade do alimento, o canibalismo pode ser mais acentuado, proporcionando redução na população. Assim, plantas de milho adubadas com silício podem depositar esse mineral nas folhas, tornando-as mais resistentes a *S. frugiperda*.

3.2 Aspectos biológicos de *S. frugiperda*

Não foram detectadas diferenças significativas para as características biológicas relacionadas à duração média da fase larval (16,98 dias), da fase pupal (10,11 dias), mortalidade média de pupas (37,11%) e peso médio de pupas após 24 horas da transformação (0,27 g) (Tabela 1). Entretanto, observou-se uma alta mortalidade de lagartas de 1º instar nas primeiras 24 horas no tratamento sem aplicação de silício (Tabela 2). A ocorrência desse resultado pode estar associada à intensa perda de água por transpiração das seções de folhas provenientes do tratamento sem silício. Observações visuais mostraram que as folhas do tratamento que receberam silício mantinham-se mais túrgidas em relação ao tratamento sem silício. De acordo com Okuda e Takahashi (1964), Jones e Handreck (1967), van der Vorn (1980), Savant, Synder e Datnoff (1997), plantas que receberam adubação com silício apresentaram menor coeficiente de transpiração, mantendo-se mais túrgidas em relação às plantas que não receberam esse elemento.

No 2º e 6º instares, verificaram-se efeitos significativos do silício, sendo as taxas de mortalidade, respectivamente, de cerca de 36,25% e 20,84%; no tratamento que não recebeu esse mineral, a mortalidade foi de 14,50% e 7,90%. A ocorrência de alta mortalidade no 2º e 6º instares 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 (Figura 5).

TABELA 1. Duração média da fase larval e pupal (dias), mortalidade (%) e peso de pupas após 24 horas (g) (média \pm erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício.

Tratamento	Duração (dias)		Mortalidade (%)	Peso (g)
	Fase larval	Fase pupal	Pupa	Pupa
Com silício	17,35 \pm 0,31 a	10,31 \pm 0,20 a	39,20 \pm 8,57 a	0,28 \pm 0,01 a
Sem silício	16,61 \pm 0,28 a	9,91 \pm 0,22 a	35,02 \pm 7,45 a	0,26 \pm 0,01 a

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 \pm erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho com ou sem adição de silício.

Ínstares	Mortalidade (%)	
	Com silício	Sem silício
1º	7,75 \pm 2,45 c B	32,92 \pm 6,51 a A
2º	36,25 \pm 4,77 a A	14,50 \pm 5,27 b B
3º	4,17 \pm 2,30 c A	5,42 \pm 3,10 b A
4º	2,92 \pm 2,03 c A	0,00 \pm 0,00 b A
5º	10,75 \pm 4,58 c A	4,15 \pm 2,92 b A
6º	20,84 \pm 5,11 b A	7,90 \pm 3,16 b B

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

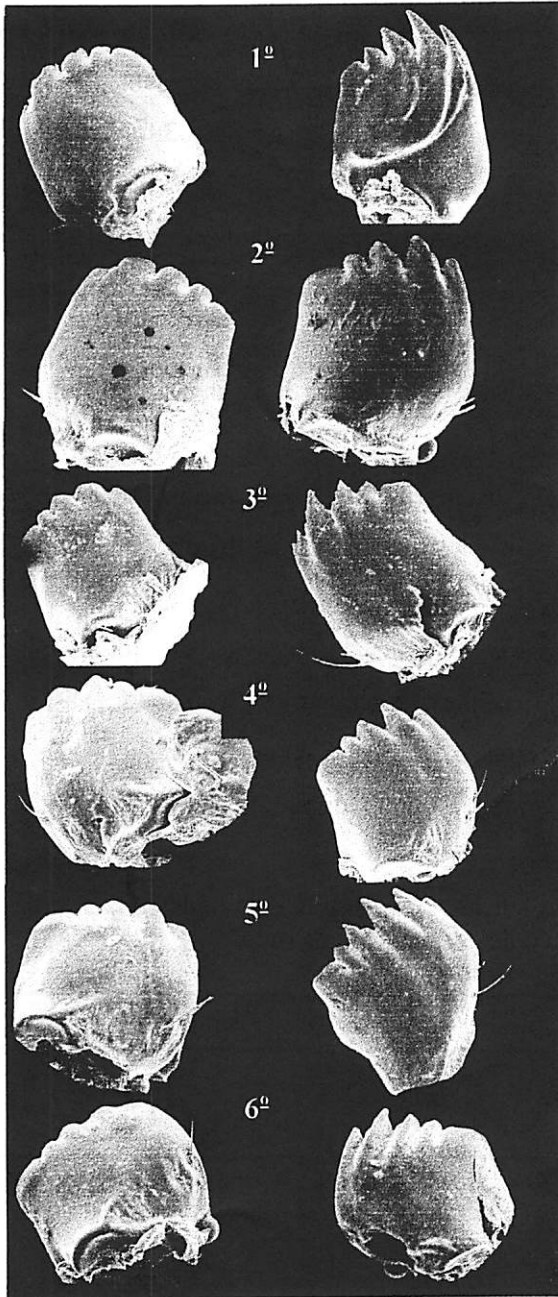


FIGURA 5. Mandíbulas de lagartas de 1º, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º ínstaes de *S. frugiperda*, alimentadas com folhas de milho com aplicação de silício (esquerda) e sem aplicação de silício (direita).

3.3 Teor de silício em folhas de plantas de milho

Observou-se que a adubação com silicato de sódio aumentou significativamente o teor de silício nas folhas de plantas de milho. O teor nas folhas das plantas adubadas com silício foi de 1,38% de SiO₂, enquanto, no tratamento em que não houve a adição desse elemento, foi de 1,02% de SiO₂ (Tabela 3). A adubação com silício promoveu um maior transporte desse elemento para a parte aérea, aumentando o seu teor, conforme também verificado por diversos autores em diferentes culturas (Okuda e Takahashi, 1964; Sangster, 1978; Bennett, 1982; Hodson e Sangster, 1988; Carvalho, Moraes e Carvalho, 1999).

De modo geral, os resultados demonstraram que o aumento no teor de silício induziu uma resistência temporária em plantas de milho à alimentação da lagarta-do-cartucho. O maior transporte do silício para a parte aérea provavelmente aumentou a resistência mecânica das folhas devido à deposição desse elemento nas células epidérmicas, formando, assim, uma barreira mecânica que aumentou o desgaste da região incisora das mandíbulas das lagartas de *S. frugiperda* e, portanto, dificultou a sua alimentação.

TABELA 3. Teor de silício (%) (média ± erro padrão) nas folhas de milho, com ou sem adição de silicato de sódio.

Tratamento	Teor de SiO ₂ (%)
Com silício	1,38 ± 0,03 a
Sem silício	1,02 ± 0,02 b

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

4 CONCLUSÕES

- A aplicação de 16 ml de solução de silicato de sódio da marca comercial Merck no solo proporciona um aumento do teor de silício nas folhas das plantas de milho;
- O maior teor de silício em plantas de milho dificulta o consumo do alimento por *S. frugiperda* pelo desgaste das suas mandíbulas, causando maior mortalidade e potencializando o canibalismo em lagartas de 2º ínstar.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2000. 521p.
- BARKER, G.M. Grass host preferences of *Listronotus bonariensis* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.82, n.6, p.1807-1816, Dec. 1989.
- BENNETT, D.M. An ultrastructural study on the development of silicified tissue in the leaf tip of barley (*Hordeum sativum* Jess). **Annals of Botany**, London, v.50, n.2, p.229-237, Aug. 1982.
- 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**, Piracicaba, v.28, n.4, p.505-510, dez. 1999.
- CRUZ, I. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995. 45p. (EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica, 21).
- CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estágios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n. 3, p.355-359, mar. 1982.
- CRUZ, I.; VIANA, P.A.; WAQUIL, J.M. Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1999. 39p. (EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica, 31).
- DJAMIN, A.; PATHAK, M.D. Role of silica in resistance to asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v.60, n.2, p.347-351, Apr. 1967.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National Academy Science**, Washington, v.91, p.11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.641-664, 1999.

- HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.), with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, London, v.62, n.5, p.463-471, Nov. 1988.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, London, v.19, p.107-149, 1967.
- KASTEN, P.; PRECETTI, A.A.; PRECETTI, C.M.; PARRA, J.R.P. Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.53, n.1/2, p.68-78, jun. 1978.
- MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. p.920.
- NALIM, D.M. **Biologia, nutrição quantitativa e controle de qualidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 150p. (Dissertação – Mestrado em Entomologia).
- OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The role of silicon, In: HOPKINSIB, J. **The mineral nutrition of the rice plant: Proceedins of a Symposium at the International Rice Research Institute**. São Paulo: Kosmos, 1964. p.123-146.
- RAFFA, K.F. Effect of host plant on cannibalism rates by fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. **Environmental Entomology**, Lanhan, v.16, n.3, p.672-675, June 1987.
- RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, Cambridge, v.58, n.2, p.179-207, Apr./June 1983.
- SALIM, M.; SAXENA, R.C. Iron, silica and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v.32, n.1, p.212-219, Jan./Feb. 1992.
- SANGSTER, A.G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v.65, n.9, p.929-935, Sept. 1978.
- SAVANT, N.K.; SNYDER, G.D.; DATNOFF, L.E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v.58, p.151-199, 1997.

- SAWANT, A.S.; PATIL, V.H.; SAVANT, N.K. Rice hull ash applied to seedbed reduces deadhearts in transplanted rice. **International Rice Research Notes**, Manial, v.19, n.4, p.20-21, Aug. 1994.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Acluster analysis method for gruping means in the analysis of varianicis. **Biometrics**, Raleigh: v.30, n.3, p.507-512, 1974.
- SILVEIRA, L.C.P; VENDRAMIM, J.D.; ROSSETTO, C.J. Não-preferência para alimentação da lagarta-do-cartucho em milho. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.1, p.105-111, 1998.
- SUBRAMANIAN, S.; GOPALASWAMY, A. Effect of silicate materials on rice crop pests. **International Rice Research Newsletter**, Manial, v.13, n.3, p.32, June 1988.
- TAYABI, K.; AZIZI, P. Influence of silica on rice yield and stem-borer (*Chilo supremain*) in Rasht/Iran 1979-1980. **Pesticides**, New Dewlhi, v.18, n.5, p.20-22, 1984.
- VORN, D.J. van der. Uptake of Si by plant species, as influenced by variations in Si-suply. **Plant Soil**, Dordrecht, v.56, n.1, p.151-156, 1980.

CAPITULO 3

GOUSSAIN, Marcio Marcos. **Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. Lavras: UFLA, 2001. 17p. (Dissertação- Mestrado em Entomologia)¹

RESUMO

O plantio da cultura do milho fora da época normal, “milho safrinha”, tem ocasionado o aparecimento de altas populações do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856). Têm-se utilizado, para seu controle, inseticidas de amplo espectro de ação, ocasionando ressurgência dessa praga. Uma tática para seu controle seria a utilização de materiais resistentes, porém, por não ser tratar de uma praga chave da cultura, não há, ainda, disponibilidade de genótipos de milho com essas características. Assim sendo, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito do silício no desenvolvimento do pulgão-da-folha em plantas de milho. Os tratamentos consistiram em: T₁= dose zero de silício; T₂= 16 ml de solução de silicato de sódio via solo, aplicados duas vezes, sendo cada aplicação de 8 ml de solução mais 92 ml de água, aos cinco e 20 dias após a emergência das plantas); T₃= 16 ml de solução de silicato de sódio via solo, aplicados em duas vezes, sendo cada aplicação de 8 ml de solução mais 92 ml de água, aos cinco e 20 dias após a emergência das plantas, mais uma adubação foliar, na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando-se um volume médio de 28 ml da solução/planta, aplicada aos 30 dias após a emergência das plantas; T₄= duas adubações foliares, na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando um volume médio de 23 ml da solução/planta, aos 15 dias e aos 30 dias após a emergência das plantas; T₅= uma adubação foliar, na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando-se em média 28 ml da solução/planta, aos 30 dias após a emergência das plantas. Em todos os tratamentos foi empregada como fonte de silício uma solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂). Foram realizados teste de preferência com folhas destacadas das plantas e em plantas de milho. Verificou-se que os tratamentos nos quais o silício foi aplicado via solo mais uma adubação foliar, ou através de duas aplicações foliares, foram os que continham um menor número de pulgões, devido a uma melhor distribuição desse elemento, aumentando a resistência mecânica das folhas e dificultando a alimentação desses insetos. De modo geral, os resultados demonstram que o silício afeta o desenvolvimento biológico do pulgão-da-folha.

¹ Comitê Orientador: Jair Campos Moraes – UFLA (Orientador); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-orientador).

ABSTRACT

GOUSSAIN, Marcio Marcos. **Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae).** Lavras: UFLA, 2001. 17p. (Dissertation- Master in Entomology)¹

The planting of corn crop out of its normal time "safrinha corn", has brought about the appearance of high populations of the leaf aphid *Rhopalosiphum maidis*. For its control, broad spectrum insecticides have been utilized, bringing about the resurgence of this pest. A tactic for its control would be the use of resistant materials, but, for not being a key pest of the crop, there is not yet availability of corn genotypes with those characteristics. So, it was aimed in this work to evaluate the effect of silicon on the leaf aphid's development on corn plants. The treatments consisted of T₁= dose zero of silicon. T₂= 16 ml of sodium silicate solution via soil, applied two times, each application being of 8 ml of solution plus 92 ml of water at 5 and 20 days after the plants emergence; T₃= 16 ml of sodium silicate solution via soil, applied two times, each application being of 8 ml of solution plus 92 ml of water at 5 and 20 days after the plants' emergence, plus a foliar fertilization at the concentration of 0.5% of SiO₂, spending an average volume of 28 ml of the solution/plant, at 30 days after the plants' emergence; T₄= two foliar fertilization at the concentration of 0.5% of SiO₂, spending an average volume of 23 ml of the solution/plant, at 15 and 30 days after the plants' emergence; T₅= a foliar fertilization at the concentration of 0.5% of SiO₂, spending an average volume of 28 ml of the solution/plant, at 30 days after the plants' emergence. In all the treatments was employed as a source of silicon, a sodium silicate solution, trade mark Merck, (concentration of 25-28% of SiO₂). Preference tests with leaves detached from the plants and on corn plants were accomplished. Its was found that the treatments where silicon was applied via soil plus a foliar fertilization or through two foliar applications were the ones which contained a lower number of aphids, due to a better distribution of that element, increasing the mechanical resistance of leaves and making the feeding of those insects difficult. In general, the results showed that silicon affect the leaf aphid's biological development.

¹ Guidance Committee: Jair Campos Moraes – UFLA (Adviser); Geraldo Andrade Carvalho – UFLA (co-adviser).

1 INTRODUÇÃO

O pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) não causava perdas econômicas à cultura do milho; porém, com o plantio desse cereal fora da época normal, “milho safrinha”, este inseto tem ocorrido em altas populações. Para o seu controle, têm-se utilizado inseticidas de amplo espectro de ação, ocasionando ressurgência do pulgão.

Uma tática para a redução da população de pulgões seria o uso de cultivares resistentes. Entretanto, por não se tratar de praga chave da cultura, a indução de resistência temporária em plantas de milho, pela aplicação de silício, poderia ser viável no manejo desse inseto.

O silício é o segundo elemento mais abundante, ocupando cerca de 27% em massa da crosta terrestre, e é considerado o mineral secundário mais importante na formação dos solos (Tisdale, Nelson e Beaton, 1985). A forma assimilável pelas plantas é o ácido silícico (H_4SiO_4), que uma vez absorvido, é transportado via xilema para todas as partes da planta, sendo depositado como sílica amorfa ou opala ($SiO_2.nH_2O$) (Jones e Handreck, 1967). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui (Aston e Jones, 1976). O acúmulo e a polimerização de silício na célula epidérmica como sílica amorfa, logo abaixo da cutícula, forma uma barreira mecânica denominada “dupla camada silício-cutícula”, que ajuda a manter as folhas mais eretas, diminuindo a transpiração e protegendo as plantas contra o ataque de insetos-praga e fungos (Yoshida et al., 1962 citado por Savant, Snyder e Datnoff, 1997). Entretanto, a barreira proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de defesa ao ataque de insetos ou à penetração das hifas de fungos.

A diminuição da população de duas espécies de pulgões *Metopolophium dirhodum* (Walk, 1848) (Homoptera: Aphididae) e *Sitobion avenae* (Fabricius,

1794) (Homoptera: Aphididae) sobre folhas de trigo, após aplicação foliar de silício (1% Na_2SiO_2), não foi resultado somente da mudança da superfície das folhas, mas também do aumento da solubilidade desse elemento dentro da folha (Hanisch, 1980). Segundo Sogawa (1982), a concentração de 10 mg de SiO_2 /litro de solução nutritiva teve um efeito inibitório na sucção da seiva por uma espécie de cigarrinha em plantas arroz.

Estudando o efeito de três doses de silício (0, 50, 100 e 150 ppm de SiO_2 em solução nutritiva) em plântulas de arroz, sobre ninfas de *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae), Kin e Heinrichs (1982) verificaram que poucas ninfas transformaram-se em adultos nas plântulas adubadas com silício e que o número de machos aumentou com o aumento da dose desse mineral.

A preferência de oviposição do gorgulho-das-pastagens *Listronotus bonariensis* (Kruschel) (Coleoptera: Curculionidae) foi afetada negativamente pela maior deposição de silício na superfície inferior (abaxial) de folhas oriundas de plantas de centeio tratadas com silicato de sódio (Barker, 1989).

Segundo Salim e Saxena (1992), 400 mg de Si/L de água adicionados em solução nutritiva reduziu a alimentação, o crescimento, a longevidade e a fecundidade de *S. furcifera* em plantas de arroz.

Carvalho, Moraes e Carvalho (1999) estudaram o efeito do silício na resistência do sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae). Os resultados demonstraram que o silício causou redução na preferência e na reprodução dessa praga.

Dessa forma, objetivou-se, neste trabalho, avaliar o efeito da aplicação de silício, em plantas de milho, no desenvolvimento do pulgão-da-folha *R. maidis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Metodologia geral

O trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Entomologia/UFLA, no período de fevereiro a abril de 2000. Inicialmente, foram semeadas três sementes de milho da cultivar Cargill C-444 por vaso, cada um com capacidade para 4 kg de substrato, que foi composto por uma mistura de areia, terra e esterco de curral, na mesma proporção. Após a emergência, foi deixada apenas uma plântula/vaso.

A umidade dos vasos foi mantida por meio de irrigação diária. As plantas receberam adubações em cobertura com uréia na dosagem de 100 mg/kg de solo aos 10, 20 e 30 dias após a emergência.

Os vasos foram dispostos ao acaso em bancadas e receberam cinco tratamentos com sete repetições: T₁= dose zero de silício; T₂= 16 ml de solução de silicato de sódio via solo, aplicados duas vezes, sendo cada aplicação de 8 ml de solução mais 92 ml de água, aos cinco e 20 dias após a emergência das plantas); T₃= 16 ml de solução de silicato de sódio via solo, aplicados em duas vezes, sendo cada aplicação de 8 ml de solução mais 92 ml de água, aos cinco e 20 dias após a emergência das plantas, mais uma adubação foliar na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando-se um volume médio de 28 ml da solução/planta, aplicada aos 30 dias após a emergência das plantas; T₄= duas adubações foliares, na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando um volume médio de 23 ml da solução/planta, aos 15 dias e aos 30 dias após a emergência das plantas; T₅= uma adubação foliar, na concentração de 0,5% de SiO₂, gastando-se em média 28 ml da solução/planta, aos 30 dias após a emergência das plantas. Em todos os tratamentos, foi empregada como fonte de silício uma solução de silicato de sódio, marca comercial Merck (concentração de 25-28% de SiO₂).

O teor de silício das plantas foi determinado na nona folha totalmente estendida.

Quando as plantas estavam no estágio 2 de desenvolvimento fisiológico (40 dias após a emergência), época mais suscetível ao ataque do pulgão-da-folha, foram realizados os tratamentos.

2.1.1 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas destacadas de plantas de milho

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos (subitem 2.1) e 12 repetições, sendo cada parcela representada por uma placa de Petri de 19 cm de diâmetro, contendo cinco seções foliares de 8,0 cm², sendo uma de cada tratamento, dispostas aleatoriamente e equidistantes entre si, formando uma arena. Cada seção foliar foi retirada com a nervura central, que foi envolvida com um chumaço de algodão e colocada em um recipiente cilíndrico com capacidade de 5 ml, que continha uma solução de N-benzilalanina na concentração 10⁻⁶ M, para manter a folha o maior tempo possível túrgida. No centro da arena foram liberados 20 pulgões adultos, ápteros, sendo a placa fechada com pvc laminado. Este conjunto permaneceu em sala climatizada regulada a 23 ± 2 °C, UR de 70 ± 10% e fotofase de 12 horas, durante 96 horas após a liberação.

As avaliações foram realizadas através da contagem dos pulgões adultos que colonizaram as seções foliares dos respectivos tratamentos, 24, 48, 72 e 96 horas após a liberação dos insetos. As ninfas foram removidas após cada avaliação com auxílio de um pincel.

Os dados do número de pulgões adultos foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$ antes de se proceder a análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott (1974) a 5% de significância.

2.1.2 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas de plantas de milho

O teste foi realizado em casa-de-vegetação, com cinco tratamentos (subitem 2.1) e 6 repetições. A parcela consistiu de uma gaiola plástica redonda, de 5,4 cm de diâmetro e 1,2 cm de altura, sendo a parede lateral revestida com fita isolante de cor preta (Figura 1). O fundo possuía dois orifícios com 2,4 cm de diâmetro cada. A parede externa do fundo da gaiola foi revestida com espuma sintética de 0,2 cm de espessura, e sobre a espuma foi colocado um anel de acrílico de 2,5 cm de diâmetro. Esse anel foi soldado à haste de um prendedor de cabelo, tipo “clips”, sendo a outra haste do prendedor presa à gaiola. Para a colocação das gaiolas, os vasos foram pareados dois a dois, sendo sempre testados os tratamentos com aplicação de silício em relação à testemunha (sem aplicação de silício). Assim, num dos orifícios da gaiola era colocada a porção de folhas correspondente ao tratamento com silício e, em outro, a da testemunha. A gaiola, quando colocada na planta, retinha a folha entre o anel de acrílico e os dois orifícios do fundo da gaiola. Após a colocação das gaiolas, foi feita a infestação com dez pulgões adultos, fechando o conjunto com tecido tipo organza. Nesse teste utilizou-se a página inferior da 8ª folha totalmente estendida, sendo as gaiolas colocadas no seu terço apical.

As avaliações foram realizadas 24, 48 e 72 horas após a liberação dos pulgões, pela contagem do número de pulgões adultos presentes nos respectivos tratamentos.

Adotou-se o delineamento inteiramente ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, em que os tratamentos com silício e testemunha foram colocadas nas parcelas e os tempos de avaliação constituíram as subparcelas. Os dados referentes ao número de pulgões adultos foram transformados para $\sqrt{x + 0,5}$ antes de proceder a análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste F a 5% de significância.

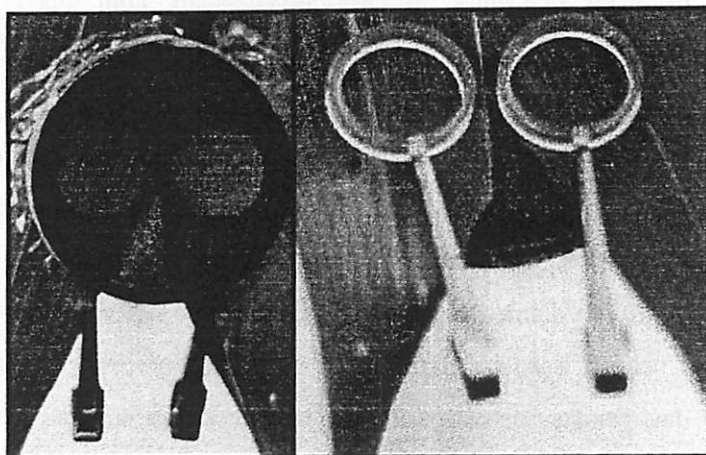


FIGURA 1. Vista superior (esquerda) e inferior (direita) da gaiola utilizada nos testes de livre escolha em plantas de milho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas destacadas de plantas de milho

Verificou-se que o número médio de pulgões adultos que colonizaram as seções foliares das plantas que receberam silício, através da adubação no solo mais uma adubação foliar ou por meio de duas aplicações foliares, foram semelhantes (1,83 e 2,44 pulgões, respectivamente), sendo estatisticamente menores quando comparados aos demais tratamentos (Figura 2). Esses resultados indicam que não só o teor de silício é importante, mas, sobretudo, a sua distribuição, uma vez que o maior grau de resistência ao pulgão foi observado nas plantas que receberam uma adubação via solo complementada com uma aplicação foliar ou através de duas aplicações foliares.

Observações semelhantes foram verificadas por outros autores, porém utilizando outras espécies de insetos e hospedeiro. Em teste de preferência realizado com o pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) em plantas de sorgo tratadas ou não com silício, Carvalho, Moraes e Carvalho (1999) observaram quase o dobro de pulgões nas seções foliares que não receberam adubação com silício, após 63 horas da liberação dos insetos. Concluíram que a menor preferência dos pulgões pelas folhas tratadas com silício ocorreu devido a uma barreira mecânica promovida pela deposição desse elemento na parede celular. A deposição e o aumento da solubilidade do silício nas folhas foram apontados como causa de resistência em plantas de trigo a dois importantes pulgões, *Metopolophium dirhodum* (Walk, 1848) e *Sitobion avenae* (Fabricius, 1794), após a aplicação foliar desse elemento em solução de Na_2SiO_2 a 1% (Hanisch, 1980).

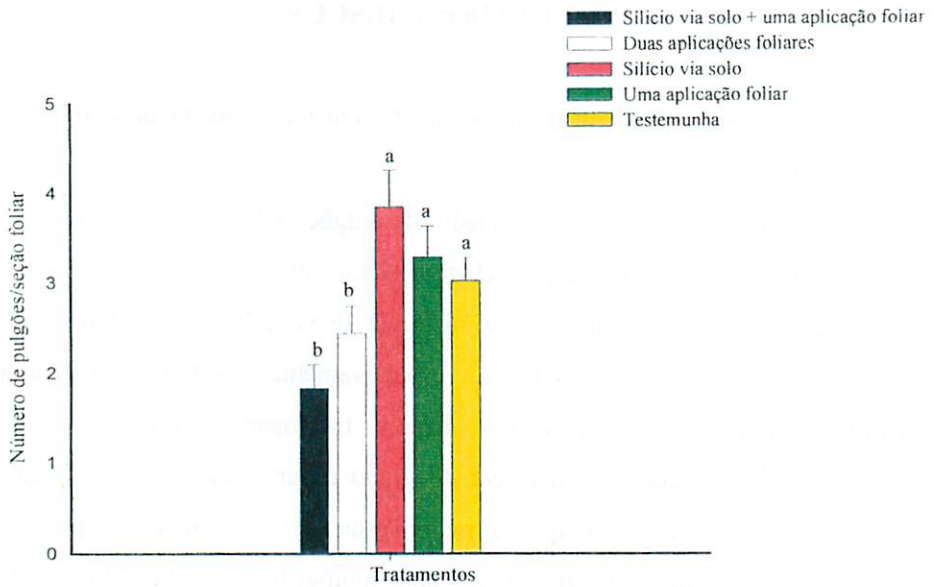


FIGURA 2. Número médio (\pm erro padrão) de pulgões-da-folha *Rhopalosiphum maidis* em folhas destacadas de plantas de milho com ou sem adição de silício. Médias dos tratamentos com diferenças significativas pelo teste de Scott e Knott ($P \leq 0,05$).

3.2 Teste de preferência ou de livre escolha em folhas de plantas de milho

O número médio de pulgões presentes em folhas de plantas de milho que receberam uma aplicação foliar de silício não diferiu da testemunha (sem aplicação de silício), nas avaliações realizadas às 24 e 48 horas após a liberação dos pulgões (Tabela 1). Entretanto, detectou-se que 72 horas após a liberação dos pulgões, a preferência por folhas que receberam uma aplicação foliar da solução de silicato de sódio na concentração de 0,5% de SiO_2 foi estatisticamente menor quando comparada com aquela de folhas que não receberam silício. Nas plantas em que foram feitas as adubações foliares com silício, o número de pulgões foi quase quatro vezes menor em relação à testemunha, sendo de 1,17 e 4,0 pulgões, respectivamente. Observou-se, ainda,

que o número de pulgões nas folhas das plantas adubadas com silício diminuiu significativamente 72 horas do período de avaliação, enquanto, na testemunha, o número de pulgões foi semelhante às 24, 48 e 72 horas após a liberação. Para esse teste, Cruz, Vendramim e Oliveira (1998) recomendaram o mínimo de 72 horas para avaliação de resistência a pulgões em genótipos de sorgo.

TABELA 1. Número médio (\pm erro padrão) de pulgões-da-folha *Rhopalosiphum maidis* em folhas de plantas milho com uma aplicação foliar de silício e no tratamento testemunha, após 24, 48 e 72 horas de sua liberação. Lavras-MG, 2000.

Tratamento	Número de pulgões		
	Tempo (horas)		
	24	48	72
Uma adução foliar	3,66 \pm 0,71 a A	4,17 \pm 1,01 a A	1,17 \pm 0,48 b B
Testemunha	5,33 \pm 0,76 a A	3,50 \pm 0,62 a A	4,00 \pm 0,77 a A

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

Comparando-se as plantas nas quais foram efetuadas duas aplicações foliares de silício, aos 15 e 30 dias após a sua emergência, observou-se um número significativamente inferior de pulgões nas folhas tratadas, independentemente do tempo de avaliação (Figura 3). Desse modo, plantas que receberam a adubação foliar com silício apresentaram praticamente 70% menos pulgões em relação à testemunha (2,61 e 4,44 pulgões, respectivamente). A realização de duas adubações foliares proporcionou uma melhor distribuição desse elemento nas folhas, aumentando a resistência mecânica através da deposição de silício nas células epidérmicas.

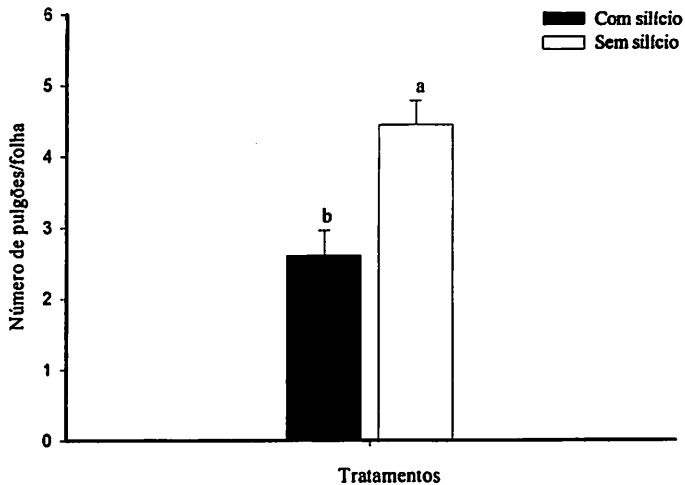


FIGURA 3. Número médio (\pm erro padrão) de pulgões-da-folha *Rhopalosiphum maidis* em folhas de plantas milho, com duas aplicações foliares de silício e no tratamento testemunha. Médias dos tratamentos com diferenças significativas pelo teste F ($P \leq 0,05$). Lavras-MG, 2000.

Quando o silício foi aplicado via solo mais adubação complementar através de uma aplicação foliar, observou-se (Tabela 2) que a partir das 48 horas da liberação dos pulgões, esse tratamento afetou estatisticamente a preferência dos pulgões. Assim, plantas que receberam adubação com silício apresentaram 2,33 e 1,33 pulgões, enquanto aquelas que não receberam esse elemento continham 5,17 e 4,00 pulgões às 48 e 72 horas, após a liberação, respectivamente. Pode-se ainda observar que o número médio de pulgões encontrados no tratamento com silício diminuiu significativamente nas avaliações realizadas às 48 e 72 horas, enquanto, na testemunha, não houve alteração na preferência do inseto (Tabela 2).

TABELA 2. Número médio (\pm erro padrão) de pulgões-da-folha *Rhopalosiphum maidis* em folhas de plantas milho com aplicação foliar de silício via solo mais uma adubação foliar e no tratamento testemunha, após 24, 48 e 72 horas de sua liberação. Lavras-MG, 2000.

Tratamentos	Número de pulgões		
	Tempo (horas)		
	24	48	72
Silício via solo +foliar	4,50 \pm 0,72 a A	2,33 \pm 0,49 b B	1,33 \pm 0,33 b B
Sem silício	3,67 \pm 0,67 a A	5,17 \pm 1,11 a A	4,00 \pm 0,96 a A

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

Nas plantas em que o silício foi aplicado somente via solo, não foram observadas diferenças significativas na preferência dos pulgões (Tabela 3). Esse resultado, provavelmente, ocorreu devido ao baixo transporte do silício para a região apical da folha.

TABELA 3. Número médio (\pm erro padrão) de pulgões-da-folha *Rhopalosiphum maidis* em folhas de plantas milho com aplicação de silício via solo e no tratamento testemunha, após 24, 48 e 72 horas de sua liberação. Lavras-MG, 2000.

Tratamentos	Número de pulgões		
	Tempo (horas)		
	24	48	72
Silício via Solo	3,66 \pm 0,66 a A	4,00 \pm 0,58 a A	3,00 \pm 0,58 a A
Sem silício	4,66 \pm 0,84 a A	2,50 \pm 0,85 a A	2,33 \pm 1,08 a A

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

O pequeno transporte de silício para a parte aérea pode estar relacionado ao baixo coeficiente de transpiração e ao sombreamento das folhas, corroborando com as observações de Okuda e Takahashi (1964), Jones e Handreck (1967), Hutton e Norrish (1974) e Raven (1983).

3.3 Teor de silício em folhas de plantas de milho

A adubação com silício via solo e/ou foliar, utilizando como fonte uma solução de silicato de sódio, aumentou significativamente o teor desse elemento nas folhas de plantas de milho (Tabela 4). Pode-se observar que os tratamentos em que o silício foi aplicado via solo mais uma adubação foliar e somente via solo foram os que estatisticamente promoveram uma maior absorção desse nutriente, com 2,57% e 2,52% de SiO₂, respectivamente. Os tratamentos com uma adubação foliar e duas adubações foliares comportaram-se como intermediárias, com teores médios de 2,05% e 1,68% de SiO₂, respectivamente. De acordo com vários autores, a adubação com silício proporcionou uma maior absorção desse elemento, sendo transportado via xilema para a parte aérea das plantas (Jones e Handreck, 1967; Raven, 1983; Balasta et al., 1989; Carvalho, Moraes e Carvalho, 1999).

TABELA 4. Teor de silício (%) (média ± erro padrão) nas folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício. Lavras-MG, 2000.

Tratamentos	Teor de SiO ₂ (%)
Silício via solo + adubação foliar	2,57 ± 0,16 a
Silício via solo	2,52 ± 0,12 a
Duas aplicações foliares de silício	2,05 ± 0,29 b
Uma aplicação foliar de silício	1,68 ± 0,12 b
Testemunha (sem silício)	0,98 ± 0,07 c

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott ($P \leq 0,05$).

De maneira geral, a adubação com silício promoveu um aumento do seu teor nas folhas das plantas de milho. Contudo, pode-se observar que com relação ao grau de resistência das plantas aos pulgões, a sua distribuição para todas as regiões da planta é tão ou mais importante que o seu teor. Isto foi evidenciado nas plantas que receberam apenas adubação via solo, que mesmo apresentando um teor de SiO_2 bem maior que a testemunha, foram igualmente preferidos pelos pulgões.

Os resultados demonstraram que a aplicação de silício contribuiu para o aumento da resistência de plantas de milho ao pulgão *R. maidis*, formando, possivelmente, uma barreira mecânica e/ou estimulando as plantas a produzirem substâncias químicas de defesa que interferiram na preferência do inseto. Contudo, essas questões devem ser melhor investigadas, principalmente aquelas relacionadas à distribuição do silício e a indução da síntese de compostos secundários de defesa.

4 CONCLUSÕES

- A aplicação de solução de silicato de sódio via solo e/ou foliar proporciona um aumento do teor de SiO_2 nas folhas de plantas de milho;
- O tipo de aplicação de silício afeta o desenvolvimento biológico de *R. maidis*;
- A aplicação de silício via solo mais uma adubação foliar e apenas duas adubações foliares afetam o desenvolvimento biológico de *R. maidis*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTON, M.J.; JONES, M.M. Study of the transpirational surfaces of *Avena sterilis* L. var. Algerian leaves using monosilicic acid as a tracer for water movement. *Planta*, v.130, n.2, p.121-129, 1976.
- BALASTA, M.L.F.C.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. *Canadian Journal of Botany*, v.67, n.8, p.2356-2363, 1989.
- BARKER, G.M. Grass host preferences of *Listronotus bonariensis* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, Maryland, v.82, n.6, p.1807-1816, 1989.
- 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*, Piracicaba, v.28, n.4, p.505-510, 1999.
- CRUZ, I.; VENDRAMIN, J.D; OLIVEIRA, A.C. Determinação do período de avaliação de não-preferência de sorgo ao pulgão-verde, *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, Piracicaba, v.27, n.2, p. 299-302, 1998.
- HANISCH, H.C. Zun einfluss der stickstoffdungung und vorbeugender spritzung von natronwasser glas zu weizenpflanzen auf deren widerstandsfahigkeit gegen getreideblattlause. *Kali-Driefe*, v.15, p.287-296, 1980.
- HUTTON, J.T.; NORRISH, K. Silicon content of wheat husks in relation to water transpired. *Aust. J. Agric. Res.*, v.25, p.203-212, 1974.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, London, v. 19, p.107-149, 1967.
- KIN, H.S.; HEINRICHS, E.A. Effects of silica level on whitebacked planthopper. *International Rice Research Newsletter*, v.7, n.4, p.17, 1982.
- OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. The role of silicon, In: **HOPKINSIB, J. The mineral nutrition of the rice plant: Proccedins of a Symposium at the International Rice Research Institute. São Paulo: Kosmos, 1964. p.123-146.**

- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biol. Rev.**, v.58, p.179-207, 1983.
- SALIM, M.; SAXENA, R.C. Iron, silica and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, v.32, p.212-219, 1992.
- SAVANT, N. K.; SNYDER, G. D.; DATNOFF, L. E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v. 58, p.151-199, 1997.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Acluster analysis method for gruping means in the analysis of varianicis. **Biometrics**, Raleigh: v.30, n.3, p.507-512, 1974.
- SOGAWA, K. The rice Brown plant hopper feeding physiology and host plant interactions. **Annual Review of Entomology**, v.27, p.49-73, 1982.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers**. New York: Mcmillan Publishing Company, 1985. 754p.