

Potencial da aplicação de silício como ferramenta no manejo integrado de pragasLeila Müller¹ e Luiz Antônio Zanão Júnior²

¹Mestranda em Agricultura Conservacionista - Instituto Agronômico do Paraná, Rod. Celso Garcia Cid, km 375
CEP 86047-902 - Três Marcos - Londrina - PR

²Doutor, Pesquisador, Instituto Agronômico do Paraná, BR 163, km 188, 85825-000, Sta. Tereza do Oeste - PR

leilamuller@gmail.com, lzanao@iapar.br

Resumo: A sustentabilidade da atividade agrícola depende do equilíbrio ambiental, social, cultural e econômico do agroecossistema e o manejo integrado de pragas (MIP) colabora nesse sentido. Entre as estratégias que podem ser adotadas nesse tipo de manejo, está a aplicação de produtos silicatados, que são capazes de proporcionar às plantas maior resistência ao ataque de herbívoros e de agentes patogênicos, além de reduzir o acamamento e o estresse hídrico, entre outros benefícios que resultam em maior rendimento do produto final. Diversos estudos vêm sendo conduzidos acerca da técnica demonstrando o seu potencial como ferramenta do MIP, mas há carência no que concerne às plantas não gramíneas e aos efeitos nas populações de inimigos naturais.

Palavras-chave: silicatos, herbívoros, agricultura conservacionista

The potential of silicon application as a tool in the integrated pest management

Abstract: The sustainability of the agricultural activity depends on the environmental, social, cultural and economic balance of the agro-ecosystem and the integrated pest management (IPM) collaborates in this sense. Among the strategies that can be adopted for this type of management, is the application of silicate products, that are capable of providing the plants more resistance to attack by herbivores and pathogens, as well as reduce lodging and water stress, among other benefits that result in yield improvement of the final product. Several studies have been conducted on the technique demonstrating its potential as a tool of the IPM, but there is lack when it comes to plants not grass and the effects on populations of natural enemies.

Keywords: silicates, herbivores, conservation agriculture

Introdução

A necessidade crescente da população mundial por alimentos requer o cultivo de áreas extensas, cujas características técnicas favorecem a ocorrência de insetos-praga a níveis nos quais o planejamento minucioso se torna ferramenta imprescindível para a sustentabilidade do sistema produtivo. O manejo integrado de pragas (MIP) foi definido por Kogan (1998) como um “sistema de decisão para uso de táticas de controle, isoladamente ou associadas harmoniosamente, numa estratégia de manejo baseada em análises de custo/benefício que

levam em conta o interesse e/ou impacto nos produtores, sociedade e ambiente.” Assim, essas táticas vêm sendo estudadas tanto no sentido de serem desenvolvidas, quanto aprimoradas, como é o caso da aplicação de silício nas culturas visando ao manejo de pragas, cujos resultados mais recentes obtidos por pesquisadores são apresentados neste trabalho.

O silício na nutrição vegetal

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, depois do oxigênio (Santos et al., 2009), e o principal componente de minerais do grupo dos silicatos. Em solos ocorre principalmente no quartzo (SiO_2), bem como na caulinita e em outros minerais secundários (Raij, 1991). É classificado como elemento mineral benéfico em nutrição vegetal, pois embora influencie o crescimento e o desenvolvimento de certas espécies, sua falta não impede que a planta complete seu ciclo de vida (Korndörfer, 2006).

O elemento ocorre na solução do solo como o ácido monossilícico [$\text{Si}(\text{OH})_4$] (Raij, 1991), chamado de Si solúvel ou facilmente aproveitável pelas plantas. Este ácido tem sua disponibilidade afetada pelo pH, temperatura, teor de matéria orgânica, presença de óxidos de ferro e alumínio e concentração de Si na solução (Korndörfer, 2006).

A capacidade de absorção e acumulação de Si é variável entre as espécies (Tisdale et al., 1985; Marschner, 1997; Ma et al., 2001; Korndörfer, 2006), que podem ser classificadas como acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias (Myake e Takahashi, 1983).

Nas plantas, o Si é absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e posteriormente, é translocado para as folhas. Com perda de água devido à transpiração, o ácido é gradualmente concentrado e polimerizado, primeiro sob forma coloidal e finalmente sob forma de sílica gel ou sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), tornando-se imóvel. Esta sílica pode ser depositada intra ou extracelularmente, principalmente nas células epidérmicas. Depositada intracelularmente, pode preencher quase toda a célula. Extracelularmente é depositada sob a cutícula. A associação cutícula juntamente com a camada de Si é geralmente denominada de dupla camada cutícula-sílica (Epstein, 1999; Ma et al., 2001). A maioria dos benefícios do Si às plantas é atribuída à sílica amorfa depositada intracelularmente e à dupla camada cutícula-sílica, conferindo maior rigidez e resistência aos tecidos vegetais.

As plantas diferem bastante na capacidade de absorver e acumular Si. Os teores foliares desse elemento em um estudo envolvendo mais de quinhentas espécies variaram de 0,1 a 100 g kg^{-1} (Ma et al., 2001). Em culturas como o arroz, e cana de açúcar a absorção de Si pode igualar-se ou exceder à dos macronutrientes (Savant et al., 1997; Zanão Júnior, 2007).

Segundo Marschner (1997) e Takahashi (1995), o Si acumulado junto aos estômatos reduz a taxa de transpiração, diminuindo, assim o consumo de água pela planta.

Além de conferir às plantas resistência ao estresse hídrico, o Si também está associado à resistência ao ataque de pragas e a ocorrência de doenças (Epstein, 1999; Marschner, 1997; Korndörfer, 2006), entre outros benefícios.

Silício no manejo integrado de pragas

Embora o Si não seja essencial para as plantas (Epstein, 2009), a aplicação de silicatos tem aumentado a resistência de algumas culturas às pragas (Costa e Moraes, 2006; Dalastra et al., 2011).

Gomes et al. (2009) observaram, em sistema orgânico, que plantas de batata inglesa adubadas com Si, independentemente da forma de aplicação (via solo ou via foliar) e da fonte utilizada (ácido silícico ou pó de rocha), apresentaram menor número de pulgões, de lesões foliares provocadas por *Diabrotica speciosa* (Germar) e de folíolos minados por *Liriomyza* spp., em relação às da testemunha.

Santos et al. (2009) verificaram que a aplicação de Si (serpentinó calcinado e wolastonita) em plantas de arroz foi eficiente na redução do ataque do percevejo-dos-grãos *Oebalus* spp. e da severidade de brusone, resultando em aumento da fitomassa e da produtividade.

Esses efeitos podem estar relacionados à capacidade do Si em promover defesa física às plantas por meio da silificação das células epidérmicas, causando o seu enrijecimento e prejudicando a penetração e a mastigação desses tecidos pelos insetos (Ghanmi et al., 2004; Currie e Perry, 2007; Gomes et al., 2008; Keeping et al., 2009), devido às propriedades mecânicas da sílica biogênica. Tal processo pode afetar também o ataque de pragas como as brocas do colmo *Eldana saccharina* (Walker) (Keeping et al., 2009) e *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Elawad et al., 1985; Meyer e Keeping, 2001).

Estudos acerca dos efeitos do Si sobre a herbivoria do pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) na cultura do trigo têm mostrado que esse inseto, em testes de preferência com chance de escolha em laboratório, apresentou não-preferência pelas plantas que receberam aplicação desse elemento via foliar ou solo. Tal comportamento pode ser atribuído ao já mencionado aumento do grau de resistência mecânica do tecido da planta à penetração do estilete dos pulgões (Moraes et al., 2004; Gomes et al., 2005; Goussain et al., 2005). O mesmo se aplica à cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stal) em cana-de-açúcar (Korndörfer et al., 2011).

Em plantas de milho, Neri et al. (2009) constataram que o ácido silícico aplicado no solo interagiu positivamente com o inseticida lufenuron no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) possibilitando uma redução da dose do inseticida, além de aumentar o diâmetro do caule, fortalecendo a estrutura da planta. Assim, o Si parece ser particularmente benéfico para gramíneas, nas quais pode também promover a defesa contra infecções fúngicas e prevenir o acamamento (Hopkins e Hüner, 2008).

Antunes et al. (2010) constataram que a ocorrência de lagartas de *Chlosyne lacinia saundersii* (Doubleday e Hewitson) em plantas de girassol que receberam aplicação de Si foi mais de quatro vezes menor em relação à testemunha (sem aplicação de Si).

Pinto et al. (2012) estudaram os efeitos da aplicação de silicato de potássio em genótipos de cacaueteiro em casa de vegetação e verificaram que uma das doses reduziu a preferência do pulgão *Toxoptera aurantii* (Boyer) pelas folhas de um deles. Além disso, houve um aumento da fotossíntese líquida e do teor de fenóis solúveis totais.

Freitas et al. (2012) observaram que lagartas da traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella*, Linnaeus) alimentadas com discos foliares de repolho tratados com Si sofreram desgaste nas mandíbulas devido à deposição de cristais desse elemento na folha, o que pode ter interferido no hábito alimentar da praga causando mortalidade elevada.

Percebe-se, portanto, a relevância da aplicação de silicatos no manejo de herbívoros mastigadores. Ressalta-se que a concentração de Si nas folhas é diretamente proporcional ao grau de abrasividade das mesmas (Massey et al., 2006; Massey et al., 2007) a qual pode aumentar o desgaste de peças bucais em invertebrados herbívoros (Massey e Hartley, 2009; Kvedaras et al., 2009), prejudicando a mastigação e a extração de nutrientes pelo inseto (Hunt et al., 2008).

Além de promover resistência mecânica às plantas contra herbívoros, o Si pode atuar como agente indutor de resistência (Gomes et al., 2008; Costa et al., 2009; Massey e Hartley, 2009; Moraes et al., 2009; Reynolds et al., 2009; Pereira et al., 2010; Dalasta et al., 2011) participando, por exemplo, na produção de substâncias de baixa digestibilidade na seiva utilizada pelos insetos sugadores e interferindo negativamente na sua biologia (Moraes et al., 2004; Gomes et al., 2005; Goussain et al., 2005; Massey e Hartley, 2006; Korndörfer et al., 2011).

Nesse sentido, Camargo et al. (2008) observaram que a aplicação de Si em plantas de *Pinus taeda* induziu resistência às plantas ao pulgão-gigante-do-pinus *Cinara atlântica* (Wilson), reduzindo não só a preferência como também a capacidade reprodutiva do adulto. E Dalasta et al. (2011) verificaram que uma aplicação de Si proporcionou proteção às plantas

de amendoim contra o ataque do tripses *Enneothrips flavens* (Moulton), reduzindo o número de adultos e ninfas do inseto e aumentando a produtividade de vagens em 31,30 % e de grãos em 28,85 %.

O Si desencadeia diversas reações que resultam em mecanismos bioquímicos de defesa das plantas (Fawe et al., 1998; Correa et al., 2005; Epstein, 2009) os quais podem constituir-se na produção de compostos fenólicos (Ghanmi et al., 2004; Currie e Perry, 2007) capazes de interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-pragas (Chérif et al., 1994).

Além disso, esse mineral participa como estimulante da atividade de enzimas de defesa das plantas contra a herbivoria (Dixon et al., 1994) como a peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amonialiase (Gomes et al., 2005), cujas funções estão relacionadas à síntese de substâncias que contribuem para aumentar a dureza dos tecidos (lignina e suberina) e à redução da qualidade nutricional do alimento para os herbívoros (Oliveira et al., 2012).

É possível que o Si também esteja envolvido no incremento da liberação de voláteis responsáveis pela atração de inimigos naturais, favorecendo o controle biológico dos herbívoros (Reynolds et al., 2009), processo de extrema importância para o MIP, que carece de mais estudos.

Conclusões

Os efeitos decorrentes da aplicação de Si podem resultar em melhorias no rendimento das culturas.

Há carência de estudos que elucidem o melhor aproveitamento do mineral por plantas dicotiledôneas, bem como os efeitos sobre a população de inimigos naturais.

A aplicação de Si se apresenta como potencial ferramenta do MIP, contribuindo para a sustentabilidade das culturas.

Referências

ANTUNES, C. S.; MORAES, J. C.; ANTÔNIO, A.; SILVA, V. F. Influência da aplicação de silício na ocorrência de lagartas (Lepidoptera) e de seus inimigos naturais chaves em milho (*Zea mays* L.) e em girassol (*Helianthus annuus* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 619-625, 2010.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, E. B. DE; IEDE, E. T. Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera:Aphididae) em plantas de *Pinus taeda* adubadas com silício. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.927-932, 2008.

CHERIF, M.; ASSELIN, A.; BELANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, n. 3, p.236–242, 1994.

CORREA, R. S. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; CARVALHO, G. A. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.34 n.3 p.429– 433, 2005.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-s-methyl na resistência de plantas de trigo ao *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.35, n. 6, p.834-839, 2006.

CURRIE, H. A.; Perry; C. C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, p.1383–1389, 2007.

DALASTRA, C.; CAMPOS, A. R.; FERNANDES, F. M.; MARTINS, G. L. M.; CAMPOS, Z. R. Silício como indutor de resistência no controle do tripses do prateamento *Enneothrips flavens* MOULTON, 1941 (THYSANOPTERA: THIRIPIDAE) e seus reflexos na produtividade do amendoazeiro. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 531-538, 2011.

DIXON, R. A.; HARRISON, M. J.; LAMB, C. J. Early events in the activation of plant defense responses. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 32, p. 479-501, 1994.

ELAWAD, S. H.; ALLEN JR, L. H.; GASCHO, G. J. Influence of UV-B radiation and soluble silicates on the growth and nutrient concentration of sugarcane. **Soil and Crop Science Society Florida Proceedings**, v.44, p.134-141, 1985.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v.155, p.115-160, 2009.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v.88, p.396-401, 1998.

FREITAS, L. M. DE; JUNQUEIRA, A. M. R.; MICHEREFF FILHO, M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.25, n.1, p.8-13, 2012.

GHANMI, D.; MCNALLY, D. J.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Powdery mildew of *Arabidopsis thaliana*: A pathosystem for exploring the role of silicon in plant-microbe interactions. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.64, p.189-199, 2004.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551. 2005.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; ASSIS, G.A. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. **Ciência Rural**, v.38, p.1209-1213, 2008.

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

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. **Introduction to plant physiology**. New York: John Wiley & Sons, Inc 4^a ed. 2008. 503p.

HUNT, J. W.; DEAN, A. P.; WEBSTER, R. E.; JOHNSON, G. N.; ENNOS, A. R. A novel mechanism by which silica defends grasses against herbivory. **Annals of Botany**, v.102, p.653–656, 2008.

KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon on sugarcane: cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.60, p.54-60, 2009.

KOGAN, M. Integrated pest manent: Historical perspectives and contemporary development. **Annual Review of Entomology**, v.43, p.243-70, 1998.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: **Nutrição mineral de plantas**. FERNANDES, M. S. (Ed.). Viçosa: SBCS, 2006. 432p.

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

KVEDARAS, O. L.; BYRNE, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.11, p.301– 306, 2009.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. (Eds.) **Silicon in Agriculture**. Elsevier Science, 2001. p.17-39.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^a ed. Academic Press. San Diego, Ca. USA, 1997. 889p.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, v.75, p.595– 603, 2006.

MASSEY, F. P.; ENNOS, A. R.; HARTLEY, S. E. Grasses and the resource availability hypothesis: the importance of silica-based defences. **Journal of Ecology**, v.95, p.414–424, 2007.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: impacts on foliage digestibility and vole growth rates. **Proceedings of the Royal Society**, v.273, p.2299–2304, 2006.

MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v.78, p.281–291, 2009.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: **Silicon in Agriculture**. Datnoff, L.E.; Snyder, G.H.; Korndörfer, G.H. Ed. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 2001. p.257-276.

MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; SAMPAIO, M. V. Influência do silício na interação tritrófica: plantas de trigo, pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) e seus inimigos naturais *Chrysoperla externa* (Hagen) e *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v.33, n.5, p.619-624, 2004.

MORAES, J. C.; FERREIRA, R. S.; COSTA, R. R. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1260-1264, 2009.

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

NERI, D. K. P.; GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; GÓES, G. B.; MARROCOS, S. T. P. Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1633-1638, 2009.

OLIVEIRA, R. S. de; SOUZA, M. F. de; MAGELA, M. L. M.; ALVES FILHO, A.; PAULA, C. O. de. Silício na proteção de plantas contra herbívoros: uma abordagem sobre as interações tritróficas no sistema trigo, pulgões e parasitoides. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, 2012.

PEREIRA, R. R. C.; MORAES, J. C.; PRADO, E.; DACOSTA, R. R. Resistance inducing agents on the biology and probing behavior of the greenbug in wheat. **Scientia Agricola**, v.67, p.430-434, 2010.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANETTI, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.3, p.360-367, 2012.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v.155, p.171–186, 2009.

SANTOS, A. B. dos; PRABHU, A. S.; FERREIRA, E.; FAGERIA, N. K. Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.537–543, 2009.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, v.58, p.151-199, 1997.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. **Science Rice Plant**, v.2, n.3, p.58-71, 1995.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4^a ed. Macmillan Publishing Company. New York. Collier Macmillan Publishers. London, 1985. 754 p.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 124p. (Dissertação de Mestrado).

Recebido para publicação em: 12/19/2014

Aceito para publicação em: 19/12/2014