



SCIENTIFIC NOTE / NOTA CIENTÍFICA

ABSORÇÃO DE CÁLCIO E FERRO POR ARROZ CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM DOSES DE SILÍCIO E MANGANÊS

IRON AND CALCIUM UPTAKE BY RICE PLANTS CULTIVATED IN NUTRITIONAL SOLUTION WITH MANGANESE AND SILICON DOSES

Luiz Antônio ZANÃO JÚNIOR¹
Renildes Lúcio Ferreira FONTES^{2,3}
Vinícius Tavares de ÁVILA²
Gaspar Henrique KORNDÖRFER^{4,3}

RESUMO

Este experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar o teor e acúmulo de Fe e Ca em plantas de arroz cultivadas em soluções nutritivas com doses de Mn, com ou sem adição de Si. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 2x3 (duas doses de Si: 0 ou 2 mmol dm⁻³ e três doses de Mn: 0,5; 2,5 e 10 µmol dm⁻³) em blocos casualizados com cinco repetições, sendo a unidade experimental um vaso plástico (4 dm³) com seis plantas de arroz (cv. Metica-1). Trinta e nove dias após a colocação das plântulas em solução nutritiva com os tratamentos foram determinados o teor e acúmulo de Fe e Ca em raízes e limbo foliar (folha). A maior dose de Mn reduziu a absorção de Ca e Fe por plantas de arroz. A adição de Si à solução nutritiva para as plantas de arroz reduziu a translocação de Fe das raízes para as folhas.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; nutrição mineral de plantas; micronutrientes.

ABSTRACT

The concentrations and contents of Fe and Ca in the plant were evaluated in rice plants grown in nutritional solution with increasing Mn doses, with or without Si. The treatments were arranged in a 2x3 factorial (0 or 2 mmol dm⁻³ Si; 0.5; 2.5 and 10 µmol dm⁻³ Mn), in a completely random design with four replications. The experimental unit was a 4 dm³ pot with six rice plants, cv. Metica-1. Thirty nine days after plant growth in the the solutions with the treatments it was determined the concentrations and contents of Fe and Ca in root and leaf blade (leaf). The bigger Mn dose decreased the Fe and Ca uptake. The addition of Si to the nutritional solution caused the decrease of Fe translocation from roots to shoots.

Key-words: *Oryza sativa* L.; mineral nutrition of plants; micronutrients.

¹ Pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná, Pólo Regional de Pesquisa de Ponta Grossa, Rodovia do Café, Km 496, Av. Pres. Kennedy, s/n, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, Caixa Postal 129, CEP 84001-970. E-mail: lzanao@iapar.br. Autor para correspondência.

² Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mails: renildes@ufv.br, vtasolosufv@yahoo.com.br

³ Bolsista do CNPq

⁴ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. E-mail: ghk53@terra.com.br

INTRODUÇÃO

O arroz cultivado em sistema irrigado (várzeas) ocupa 55% da área cultivada no mundo e representa 75% da produção total (Fairhurst & Dobermann, 2002; Fageria et al., 2008). Neste sistema algumas desordens nutricionais podem ocorrer como a toxidez causada por Mn e Fe, pois baixos níveis de O_2 no solo propiciam a redução desses nutrientes podendo alcançar concentrações tóxicas às plantas (Ponnamperuma, 1972). Além do mais, alta concentração de Mn^{2+} na rizosfera também pode acarretar antagonismo entre este micronutriente e outros nutrientes como Fe, Ca, Mg e Zn (Kabata-Pendias & Pendias, 1985; Fageria et al., 2008).

O Mn é um micronutriente que atua na etapa fotoquímica da fotossíntese, na multiplicação e funcionamento dos cloroplastos, na síntese da clorofila e como ativador ou co-fator de mais de 35 enzimas de processos de regulação hormonal e síntese de compostos fenólicos. Além disso, ele tem sido citado como um micronutriente importante na defesa das plantas às doenças, exercendo importante papel na síntese de lignina e outros compostos fenólicos, estando associado às barreiras físicas e químicas da parede celular (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997). Assim como os outros nutrientes, tanto sua deficiência quanto sua toxidez são prejudiciais às culturas. O Fe é constituinte de várias proteínas do tipo heme, presentes nos citocromos, catalases e peroxidases e proteínas que contêm S, como a ferredoxina, que atua no transporte de elétrons em vários processos metabólicos. O Ca é integrante da parede celular e exerce importante papel na manutenção da integridade da membrana plasmática (Marschner, 1995). Este papel protetor do cálcio na membrana é mais proeminente sob condições de estresse, como toxidez de Al^{3+} (Noble & Sumner, 1988).

O Si é considerado um elemento '*quasi-essential*' ou agronomicamente essencial, por propiciar vários efeitos benéficos a muitas espécies vegetais (Epstein & Bloom, 2005). Destaca-se por reduzir a intensidade de estresses bióticos e abióticos em várias culturas, dentre elas o arroz. Entre os benefícios que o Si traz ao arroz, destacam-se o incremento da resistência da planta a condições estressantes como doenças, pragas, seca, salinidade e acamamento (Ma, 2004; Fauteux et al., 2005). O Si também pode amenizar a toxidez causada por Mn, Fe, Zn, Al e Cd (Liang et al., 2007). Entretanto, alguns autores afirmam que ele pode reduzir a absorção de Ca, pois compete com este elemento e forma compostos com lignina, ácidos orgânicos, álcoois polihídricos e compostos fenóis-carboidratos (Ma & Takahashi, 1993; Inanaga et al., 1995).

A utilização do Si na nutrição do arroz poderia ser uma alternativa para resolver problemas relacionados à toxidez causada pelo Mn em ambientes com estes problemas, inclusive a deficiência induzida de Fe. Todavia, a relação entre

o Si e o Ca também deve ser investigada. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar os teores e o acúmulo de Fe e Ca em plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com doses de Mn, com ou sem adição de Si.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em solução nutritiva, em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, MG. Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial 2×3 (0 ou 2 $mmol\ dm^{-3}$ Si e 0,5; 2,5 e 10 $\mu mol\ dm^{-3}$ Mn) com cinco repetições no delineamento em blocos casualizados. A unidade experimental foi composta por um vaso plástico com 4,5 dm^3 de capacidade, com 4 dm^3 de solução nutritiva e seis plantas. Foi utilizada a cultivar de arroz Metica-1, sendo as sementes germinadas em rolos de papel germitest umedecidos com água destilada, mantidos por seis dias em germinador à temperatura de 25 °C. Retiradas do germinador, as plântulas cresceram por três dias na solução nutritiva base diluída a ½ força, utilizando-se $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ e H_4SiO_4 como fontes de Mn e Si. A solução nutritiva base foi proposta por Zanão Júnior et al. (2009). O H_4SiO_4 foi obtido pela passagem de uma solução de silicato de potássio através de uma coluna de resina de troca de cátions (Ma et al., 2001). As plantas cresceram na solução nutritiva com troca da solução a cada quatro dias, mantendo-se o volume da solução no vaso pela adição de água destilada. O pH foi monitorado diariamente e mantido próximo a 5,5 com adição de soluções de NaOH ou HCl (1 $mol\ dm^{-3}$).

Após o crescimento na solução base, diluída a ½ força, plântulas foram selecionadas por uniformidade e colocadas em vasos contendo a solução nutritiva com a adição de soluções contendo Si e Mn para estabelecer os tratamentos. Após crescimento das plantas por 39 dias nas soluções nutritivas com os tratamentos, as plantas foram cortadas, divididas em raízes e lâmina foliar (folha), as partes lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h. A matéria seca foi moída em moinho tipo Wiley e passada em peneira de malha 0,84 mm e mineralizada (solução $HNO_3 + HClO_4$ concentrados na proporção 3:1 v/v), determinando-se os teores de Fe e Ca por espectrofotometria de absorção atômica, segundo EMBRAPA (1999). Nesse mesmo tecido vegetal foram determinados os teores de Mn e Si, com resultados apresentados no trabalho de Zanão Júnior (2007).

Os dados foram submetidos à análise de variância e comparados por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o software SAEG 9.0 (FUNARBE, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância dos dados encontra-se na Tabela 1. Nas raízes, os teores e o acúmulo de Ca aumentaram e os de Fe diminuíram

com o aumento da dose de Mn (Tabela 2). Veloso et al. (1995) também obtiveram resultados semelhantes na cultura da pimenteira do reino, com

adições de até 20 mg dm⁻³ de Mn na solução nutritiva.

TABELA 1 - Resumo da análise de variância realizada.

FV	GL	Quadrados médios			
		Acúmulo de cálcio		Acúmulo de ferro	
		Raízes	Folhas	Raízes	Folhas
Doses de Si	1	0,7335**	0,0527ns	917828,3**	2009,7**
Doses de Mn	2	0,3262**	2,6118*	36870,1*	33348,8**
Interação Si x Mn	2	0,1384ns	0,6543**	184993,1**	10723,2*
Blocos	4	0,0935	0,9908	21852,4	3178,2
Resíduo	20	0,0456	0,4919	9385,4	2251,9
CV%		19,33	18,11	13,71	23,14

FV	GL	Quadrados médios			
		Teores de cálcio		Teores de ferro	
		Raízes	Folhas	Raízes	Folhas
Doses de Si	1	0,4083**	35,1867**	817740,3**	52250,13**
Doses de Mn	2	0,1653*	0,8196**	160149,1**	11139,63**
Interação Si x Mn	2	0,0333ns	0,0992ns	84969,7ns	1562,23ns
Blocos	4	0,0520	0,1869	6438,9	883,58
Resíduo	20	0,0388	0,0819	39858,7	576,52
CV%		14,04	7,29	11,03	11,97

ns= não significativo; ** e * significativo a 1 e a 5% de probabilidade pelo teste F.

Com o aumento da dose de Mn na solução nutritiva houve redução nos teores foliares de Ca e Fe, sendo os menores verificados quando foi aplicada a maior dose de Mn (Tabela 2). Trata-se de uma interação negativa entre Ca e Fe e este micronutriente. Segundo Malavolta et al. (1997) os teores de Ca, Fe e Zn são os que mais comumente sofrem efeito negativo com o aumento da concentração de Mn no solo ou na solução nutritiva. Pereira et al. (2001) também verificaram diminuição nos teores foliares de Ca e Fe em arroz nas maiores doses de Mn avaliadas, assim como Salvador et al. (2003) em goiabeira e Veloso et al. (1995) em pimenteira-do-reino.

A adição de Si à solução nutritiva promoveu menores teores de Ca nas folhas, com diminuição do teor foliar desse macronutriente de 5,0 para 2,9 g kg⁻¹ (Tabela 3). Segundo Marschner (1995), a demanda por Ca é inversamente proporcional à capacidade de absorção de Si em monocotiledôneas. A partir da relação molar Si:Ca encontrada em seus tecidos, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras e não

acumuladoras de Si. Se a razão Si/Ca for maior que 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras; entre 1,0 e 0,5 intermediárias e abaixo de 0,5 não acumuladoras (Miyake & Takahashi, 1983). Essa classificação sugere antagonismo entre Ca e Si. Ma & Takahashi (1993), também observaram que o Si diminuiu a absorção de Ca e conseqüentemente, seu acúmulo na parte aérea em plantas de arroz. Estes autores explicam tal fato pela redução da transpiração das plantas ocasionada pelo Si, que pode ter diminuído também a absorção de Ca, uma vez que a absorção desse elemento é passiva e fortemente regulada pelo fluxo transpiracional. Inanaga et al. (1995) também afirmam que o Si compete com o Ca por sítios de ligação, podendo formar compostos com a lignina, ácidos orgânicos, álcoois polihídricos e compostos fenóis-carboidratos, reduzindo os teores foliares de Ca em arroz cultivado com Si. Maiores teores radiculares de Ca também foram observados nas plantas crescidas na presença de Si (Tabela 3), assim como encontrado por Ma & Takahashi (1993).

TABELA 2 - Teores de Ca e Fe em raízes e folhas e acúmulo de Ca em raízes de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de Mn.

	Dose de Mn, $\mu\text{g dm}^{-3}$		
	0,5	2,0	10,0
DMS	Teor de Ca nas raízes		
	----- g kg^{-1} -----		
	1,31 b	1,35 ab	1,55 a

	0,223		
DMS	Teor de Ca nas folhas		
	----- g kg^{-1} -----		
	4,00 a	4,17 a	3,60 b

	0,320		
DMS	Teor de Fe nas raízes		
	----- mg kg^{-1} -----		
	1026,9 a	900,2 b	773,9 c

	280,2		
DMS	Teor de Fe nas folhas		
	----- mg kg^{-1} -----		
	212,9 a	226,2 a	162,9 b

	18,289		
DMS	Acúmulo de Ca nas raízes		
	----- mg planta $^{-1}$ -----		
	0,92 b	1,11 ab	1,28 a

	0,242		

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.
DMS = Diferença mínima significativa.

A adição de Si à solução nutritiva alterou a partição do Fe entre raízes e parte aérea, com plantas que receberam Si apresentando maiores teores e acúmulo desse micronutriente nas raízes e menores na parte aérea, ocorrendo o inverso nas plantas cultivadas sem Si (Tabelas 3 e 4). Uma das explicações seria a deposição de Fe na superfície radicular, pois segundo Horiguchi (1987) o Si aumenta o volume e rigidez dos aerênquimas resultando em maior poder de oxidação. Assim, com base nesta informação, tanto o Fe quanto o Mn poderiam ter seus teores mais elevados nas raízes por este motivo, nas plantas com maior teor de Si. A lignina é um dos componentes da parede celular onde o Si se liga (Inanaga et al., 1995), havendo maior quantidade desse composto nas raízes que nas folhas. Desse modo, a ocorrência de mais sítios de ligação para o Fe na parede celular das raízes de plantas supridas com Si também pode ser a razão dos maiores teores de Fe encontrados nelas. Além disso, Sangster (1978) observou que o Si se deposita nos espaços livres das raízes. Uma precipitação desse Si com o Fe, também explicaria os maiores teores desse micronutriente nas raízes das plantas supridas com Si. Zanão Junior (2007) também encontrou maiores teores de Mn nas raízes de arroz cultivado com Si e doses de Mn e explicou tal fato pelos mesmos motivos expostos para o Fe.

Plantas em soluções com adição de Si apresentaram menores teores foliares de Fe do que plantas em soluções sem sua adição (Tabela 3). Comparando-se as plantas que receberam aplicação de Si com as outras plantas, verifica-se um aumento de 31% nos teores de Fe nas raízes e uma redução de 34% nos teores foliares desse micronutriente. Isso demonstra que o Si reduz a translocação do Fe das raízes para a parte aérea. Zanão Júnior (2007), trabalhando com as mesmas doses de Si e Mn e a mesma cultivar de arroz constatou menores teores de Mn nas plantas cultivadas com Si. Este autor observou que o teor foliar de Mn nas folhas de plantas de arroz cultivadas em soluções com $0,5 \mu\text{mol dm}^{-3}$ Mn, sem adição de Si, foi 650 mg kg^{-1} , enquanto que com a adição de Si esse valor caiu para 110 mg kg^{-1} . Na maior dose de Mn, sem adição de Si, o Mn foliar foi 2158 mg kg^{-1} , caindo para 1035 mg kg^{-1} Mn com a adição de Si. No trabalho do referido autor, os teores foliares de Si foram maiores nas folhas e bainhas em comparação às raízes. Quanto a valores, os teores de Si foram $71,5 \text{ g kg}^{-1}$ nas plantas de arroz crescidas em tratamentos com adição desse elemento, maiores que os de qualquer um dos macronutrientes.

Zanão Júnior et al. (2009) afirmam que um maior teor de Si na parte aérea ocorre porque este

TABELA 3 - Teores de Ca e Fe em raízes e folhas e acúmulo de Ca em raízes de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com adição de Si.

	Dose de Si, mmol dm ⁻³	
	0	2
	Teor de Ca nas raízes	
	----- g kg ⁻¹ -----	
	1,29 B	1,52 A
DMS	0,150	
	Teor de Ca nas folhas	
	----- g kg ⁻¹ -----	
	5,00 A	2,88 B
DMS	2,01	
	Teor de Fe nas folhas	
	----- g kg ⁻¹ -----	
	242,40 A	158,93 B
DMS	0,537	
	Teor de Fe nas raízes	
	----- g kg ⁻¹ -----	
	735,4 B	1065,4 A
DMS	178,506	
	Acúmulo de Ca nas raízes	
	----- mg planta ⁻¹ -----	
	0,95 B	1,26 A
DMS	0,163	

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.
DMS = Diferença mínima significativa.

TABELA 4 - Acúmulo de cálcio em folhas e acúmulo de ferro em raízes e folhas de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com diferentes doses de Mn, com e sem a adição de Si.

	Dose de Mn, µg dm ⁻³		
	0,5	2,0	10,0
	Acúmulo de Ca nas folhas		
	----- mg planta ⁻¹ -----		
Si, mmol dm ⁻³			
0	2,55 cB	5,13 aA	4,06 bA
2	4,06 aA	3,36 aB	4,10 aA
DMS linha	1,055		
DMS coluna	1,261		
	Acúmulo de Fe nas raízes		
	----- ug planta ⁻¹ -----		
Si, mmol dm ⁻³			
0	413,66 bB	641,00 aB	539,99 abB
2	1077,59 aA	833,49 bA	733,04 bA
DMS linha	201,031		
DMS coluna	174,169		
	Acúmulo de Fe nas folhas		
	----- ug planta ⁻¹ -----		
Si, mmol dm ⁻³			
0	101,11 bB	267,74 aA	221,90 aA
2	175,82 aA	213,27 aA	250,77 aA
DMS linha	75,975		
DMS coluna	62,605		

Médias seguidas por letras distintas diferem a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas, na coluna, comparam o efeito da aplicação do Si e minúsculas, nas linhas, o efeito das doses de Mn.

elemento é transportado das raízes para a parte aérea através do xilema e a perda de água por transpiração nas folhas acarreta a formação de sílica amorfa hidratada, principalmente nas células epidérmicas dos tecidos foliares. Assim, um maior teor de Si em folhas e bainhas está relacionado a uma maior taxa transpiratória nestes tecidos.

Houve interação significativa entre as doses de Mn e Si no acúmulo de Ca nas folhas e no acúmulo de Fe nas raízes e folhas. Na ausência do Si, houve redução no acúmulo desses elementos nas folhas do arroz na maior dose de Mn (Tabela 4). Tal fato confirma que há redução na absorção desses elementos com o aumento da dose de Mn na solução nutritiva. Contudo, quando o Si foi adicionado, não foi observado efeito das doses de Mn no acúmulo desses elementos nas folhas (Tabela 4), reafirmando o papel do Si na redução dos efeitos da toxidez causada por Mn.

Na maior dose de Mn, comparando-se a aplicação do Si, não houve alteração no acúmulo de Ca e Fe nas folhas (Tabela 4). Isto indica um efeito diluição desses elementos nas folhas decorrente do maior crescimento e produção de matéria seca das plantas em resposta à adição de Si à solução nutritiva.

A ação do Si aliviando a toxidez de Mn e outros metais em plantas é relatada em vários trabalhos (Horiguchi, 1987; Iwasaki et al., 2002; Rogalla & Römheld, 2002). Segundo El-Jaoual & Cox (1998), para aumentar a tolerância de uma planta à toxidez de Mn, o mecanismo envolvido deve evitar a absorção e translocação desse elemento para a parte aérea ou melhorar a sua distribuição na planta. Tal constatação também pode ser aplicada ao Fe. No presente trabalho a diminuição simultânea do Fe na parte aérea com seu aumento nas raízes, mostra que a adição do Si contribuiu para bloquear o transporte desse elemento das raízes para a parte aérea,

proporcionando uma distribuição mais homogênea de Fe entre as partes da planta, como verificado para os teores de Mn, por Zanão Júnior (2007).

Vários autores citam a ocorrência da deficiência de Fe em plantas induzida pela alta concentração de Mn na solução (El-Jaoual & Cox, 1998). A razão Fe/Mn tem sido utilizada como um indicador da toxidez de Mn em plantas e com base nessa interação Ponnampertuma & Lantin (1985) recomendam a aplicação de maiores doses de Mn em solos com histórico de toxidez causada por Fe. Vale ressaltar, porém, que não houve toxidez de Fe nas plantas no presente trabalho. Os teores foliares desse micronutriente nas plantas que cresceram em todas as doses de Mn, com e sem Si, estão em níveis considerados adequados por Fageria (1984). Porém, esta redução nos teores foliares de Fe causada pela maior dose de Mn e também pelo Si indicam que tanto o Mn quanto o Si poderiam ser usados para resolver problemas relacionados à toxidez causada por Fe.

A aplicação de Si reduziu a translocação de Fe para as folhas e a competição entre Fe e Mn, um indicativo de que o Si reduz a toxidez causada por Mn, sendo uma alternativa para amenizar tal adversidade. Estudos empregando o Si na amenização da toxidez causada por Fe são encorajados com nossos resultados.

CONCLUSÕES

A aplicação da maior dose de manganês reduziu a absorção de Ca e Fe por plantas de arroz.

A adição de silício à solução nutritiva para as plantas de arroz reduziu a translocação de Fe das raízes para as folhas.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pela bolsa de mestrado e ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. EL-JAOUAL, T.; COX, D. A. Manganese toxicity in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, n. 2, p. 353-386, 1998.
2. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 370 p.
3. EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.
4. FAGERIA, N. K. *Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz*. Rio de Janeiro: Campus; Goiania: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 341 p.
5. FAGERIA, N. K. et al. Iron toxicity in lowland rice. *Journal of Plant Nutrition*, v. 31, n. 9, p. 1676-1697, 2008.
6. FAIRHURST, T.H.; DOBERMANN, A. Rice in the global food supply. *Better Crops International*, v.16, n.1, p.3-6, 2002.
7. FAUTEUX, F. et al. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, v. 249, n. 1, p. 1-6, 2005.
8. FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES (FUNARBE). *SAEG - Sistema para análise estatística*. Versão 9.0. Viçosa, 2005.
9. HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants II. Deposition of oxidized manganese in plant tissues. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 33, n. 4, p. 595-606, 1987.
10. INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 41, n. 1, p. 111-117, 1995.
11. IWASAKI, K. et al. Leaf apoplastic silicon enhances manganese tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant Physiology*, v. 159, n. 2, 167-173, 2002.
12. KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 1985. 315 p.
13. LIANG, Y. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environmental Pollution*, v. 147, n. 2, p. 422-428, 2007.
14. MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

15. MA, J. F. et al. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. **Plant Physiology**, v. 127, n. 4, p. 1773-1780, 2001.
16. MA, J. F.; TAKAHASHI, E. Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. **Plant and Soil**, v. 148, n. 1, p. 107-113, 1993.
17. MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed.. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 308 p.
18. MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
19. MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 71-78, 1983.
20. NOBLE, A. D.; SUMNER, M. E. Calcium and Al interactions and soybean growth in nutrient solutions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.7-12, p.1119-1131, 1988.
21. PEREIRA, G. D. et al. Doses e modos de adubação com manganês e seus efeitos na produção da cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 625-633, 2001.
22. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v. 24, n. 1, p. 29-96, 1972.
23. PONNAMPERUMA, F.N.; LANTIN, R.S. **Diagnosis and amelioration of nutritional disorders of rice**. Los Baños: IRRRI, 1985. 20 p.
24. ROGALLA, H.; RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 4, p. 549-555, 2002.
25. SALVADOR, J. O. et al. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003.
26. SANGSTER, A. G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, v. 65, n. 9, p. 929-935, 1978.
27. VELOSO, C. A. C. et al. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira-do-reino. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 376-383, 1995.
28. ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Rice resistance to brown spot mediated by silicon and its interaction with manganese. **Journal of Phytopathology**, v. 157, n. 2, p. 73-78, 2009.
29. ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

Recebido em 28/01/2009

Aceito em 26/04/2010

