

Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja⁽¹⁾

Adônis Moreira⁽²⁾, Eurípedes Malavolta⁽³⁾, Reges Heinrichs⁽⁴⁾ e Roberto Tetsuo Tanaka⁽⁵⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do Mg na absorção do Zn e do Mn em quatro cultivares de soja. Utilizou-se a técnica de cinética de absorção por raízes destacadas. As raízes foram colocadas em frascos com as seguintes combinações: três doses de Mg (1,0, 3,0 e 6,0 mmol L⁻¹) x cinco doses de Zn ou Mn (0,5, 1,0, 2,0, 5,0 e 10,0 µmol L⁻¹), com três repetições. Com pipetador, foi colocado 14,8 MBq de radiozinco ou de radiomanganês. Após uma hora de exposição, as raízes foram lavadas e secadas em estufa; em seguida foram pesadas e determinou-se a radioatividade. Os valores foram convertidos em micromoles por grama de matéria seca. Foram estimadas as variáveis K_m e V_{max} pela equação de Lineweaver & Burk. As cultivares apresentaram comportamentos distintos na absorção de Mg, Mn e Zn; a inibição do Mg sobre o Zn e o Mn na soja é do tipo não competitiva, e as variáveis K_m e V_{max} comportaram-se de modo independente no processo de absorção.

Termos para indexação: *Glycine max*, nutriente, inibição, carência mineral.

Magnesium influence on manganese and zinc uptake by excised roots of soybean

Abstract – The objective of this work was to evaluate the influence of Mg in the absorption of Mn and Zn in four soybean cultivars. Excised roots were used in the assays of absorption kinetics. The roots were placed in solutions with the following combinations: three concentrations of Mg (1.0, 3.0 and 6.0 mmol L⁻¹) x five concentrations of Zn or Mn (0.5, 1.0, 2.0, 5.0 and 10.0 µmol L⁻¹), with three replicates. To each of these solutions 14.8 MBq of radiozinc or radiomanganese was pipetted. After one hour of exposure, the roots were washed, oven-dried, weighted, and the absorbed radioactivity determined. The obtained values were converted to micromoles per gram of dry matter. The K_m and V_{max} estimated values were determined by the Lineweaver & Burk transformation. The soybean cultivars showed an effect of non-competitive inhibition between Mg and Zn and between Mg and Mn. The cultivars had distinct behavior in absorption of Mg, Mn and Zn. The K_m and V_{max} values were mutually independent in the absorption process of roots.

Index terms: *Glycine max*, nutrient, inhibition, mineral deficiency.

Introdução

No Brasil, grande parte da área cultivada com soja situa-se na região dos Cerrados cujos solos possu-

em baixa capacidade de troca catiônica, alta capacidade de adsorção de P e elevadas concentrações de Al e Mn trocáveis ou disponíveis (Lopes, 1984; Komatuda, 1988).

Até recentemente havia grande preocupação com a toxidez de alguns elementos, destacando-se o Mn (Franco & Döbereiner, 1971; Pavan & Bingham, 1981). Atualmente, porém, observam-se várias culturas com deficiência desse nutriente, entre as quais se destaca a soja (Novais et al., 1989; Abreu et al., 1994).

A deficiência de Mn tem se tornado comum em áreas de cultivo, sobretudo em solos de baixa fertilidade natural, chegando a causar, em algumas situações, redução no rendimento de grãos de até 50% (Tanaka et al., 1992). Nessas áreas, tal deficiência foi atribuída à aplicação de altas doses de calcário que elevaram o pH a valores próximos da neutralidade.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 13 de setembro de 2002.

Extraído da tese de doutorado apresentada pelo primeiro autor à Universidade de São Paulo (USP). Projeto financiado pela Fapesp.

⁽²⁾ Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental, Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus, AM. E-mail: adonis@cmaa.embrapa.br

⁽³⁾ USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: mala@cena.usp.br

⁽⁴⁾ USP, CENA. Bolsista da Fapesp. E-mail: rheinric@cena.usp.br

⁽⁵⁾ Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. E-mail: tanakart@cec.iac.br

A aplicação de grandes quantidades de corretivo pode causar um novo equilíbrio dos íons na solução do solo em detrimento dos micronutrientes (Lindsay, 1991) e, conseqüentemente, reduzir a absorção destes pelas plantas, a menos que o desbalanço seja compensado pelo uso de fertilizantes contendo esses nutrientes.

Sabe-se que em áreas de Cerrado é comum a deficiência de Zn, ainda que o nutriente faça parte das formulações de adubos usados no plantio (Malavolta & Moreira, 1999). A calagem pode induzir a deficiência de Zn (Rogers & Wu, 1948) quando feita antes da semeadura da soja, ou pelo efeito residual, como na rotação com o trigo ou milho. Tal deficiência é agravada com a utilização de calcário dolomítico, pois a maior quantidade de Mg aplicado inibe a absorção de Zn, por se tratar de elementos com valência, raio iônico e grau de hidratação semelhantes (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Assim, resultados de pesquisas sobre os mecanismos de absorção ativa de íons pelas plantas superiores ajustam-se com a hipótese da existência de carregadores iônicos de natureza enzimática, que têm número finito de sítios de ligação. Desse modo, a eficiência de absorção de um dado nutriente pode ser obtida por meio das variáveis cinéticas K_m e V_{max} da equação de Michaelis-Menten (Epstein, 1972; Marschner, 1995).

O presente trabalho foi baseado na hipótese de que as deficiências de Mn e de Zn podem ocorrer não somente pelo efeito da calagem, mas também pelo efeito inibidor do Mg contido no calcário e em fertilizantes.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito do Mg na absorção de Mn e Zn por raízes destacadas de quatro cultivares de soja.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Centro de Energia Nuclear da Agricultura (USP-Cena, Piracicaba, SP). As sementes das cultivares IAC 17, FT Estrela, IAC 15-1 e DM Nobre foram colocadas para germinar em vermiculita umedecida com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4} mol L^{-1} . Após uma semana, as plântulas foram transferidas para bandejas com 40 L de solução de Johnson et al. (1957), diluída a 1/5, arejada constantemente, até o estágio V2 (Fehr et al., 1971). Posteriormente, foram transferidas para outra bandeja com

a mesma solução, omitindo-se, conforme o experimento, Mg e Zn ou Mg e Mn, até o estágio V4 (Fehr et al., 1971). O volume da solução foi completado diariamente com água destilada e desionizada.

No estágio V4, as raízes foram cortadas pouco abaixo do caule e todo o sistema radicular foi acondicionado em frascos tipo "snap cap", com 100 mL de solução, em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial, com as seguintes combinações: três doses de Mg (1,0, 3,0 e 6,0 mmol L^{-1}) x cinco doses de Zn ou Mn (0,5, 1,0, 2,0, 5,0 e 10,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) (Schmid et al., 1965), com três repetições. Foi colocado, conforme o experimento, 14,8 MBq de radiozinc (meia vida = 245 dias) ou radiomanganês (meia vida = 291 dias), iniciando-se a aeração, que durou uma hora. As raízes foram lavadas em frascos com água destilada e desionizada, agitando-as durante um minuto, procedimento repetido três vezes (Noggle & Fried, 1960). Posteriormente, foram secadas em estufa com circulação forçada a 65°C até atingir peso constante e, em seguida, foram pesadas e fez-se a contagem da atividade do ^{65}Zn ou do ^{54}Mn , usando espectrofotômetro gama monocal acoplado a um cristal cintilador sólido de NaI (TI).

Os valores obtidos em contagem por minuto (cpm) foram convertidos em micromoles por grama de matéria seca por 60 minutos de absorção. Foram determinados o K_m e V_{max} pelas transformações de Lineweaver & Burk (1934), a partir da equação de Michaelis-Menten.

$$v = \frac{V_{max} [M]}{[M] + K_m} \quad (1)$$

em que: v é a velocidade de absorção; V_{max} é a velocidade máxima de absorção; $[M]$ é a concentração iônica externa; K_m é a constante de Michaelis-Menten.

Tomando-se a recíproca dos dois membros da equação (1) obtém-se a transformação de Lineweaver & Burk (1934):

$$1/v = 1/V_{max} + K_m/V_{max} \cdot 1/[M].$$

Ajustou-se uma regressão linear, em que $x = 1/[M]$ e $y = 1/v$ e os valores de V_{max} e K_m na equação $y = a + bx$ foram estimados pelas fórmulas: $V_{max} = 1/a$ e $K_m = b/a$.

Após as transformações dos dados, foram feitas análises de variância, teste F e, quando necessário, o teste de comparação de médias (Tukey 5%) e regressões (Pimentel-Gomes, 1990).

Resultados e Discussão

A absorção do Zn por raízes destacadas aumentou com o incremento das doses desse nutriente na solução nutritiva, com diferenças significativas en-

tre as cultivares (Tabela 1). No entanto, com o aumento na concentração de Mg de 1,0 mmol L⁻¹ para 6,0 mmol L⁻¹ na solução, dentro de cada dose de Zn, houve diminuição, na média, de 63,5% na absorção de zinco. Tal resultado concorda com os obtidos por Sadana & Takkar (1983), que, estudando o efeito do Mg na absorção e translocação de ⁶⁵Zn, observaram que a adição de 20 mmol L⁻¹ de Mg na solução reduz significativamente a absorção do Zn pelas raízes do arroz.

A redução na absorção de Zn pelas raízes, com o incremento na concentração de Mg na solução, foi quase a mesma nas cinco doses de zinco. Segundo Brar & Sekhon (1976) e Sadana & Takkar (1983), esse comportamento é característico de inibição do tipo não competitiva.

A inibição não competitiva foi também confirmada pela relação entre o Zn absorvido e a sua concentração na solução obtida na transformação de Lineweaver & Burk. Os coeficientes angulares e as ordenadas do ponto de intersecção mudaram com o incremento das doses de Mg de modo que as relações entre o coeficiente angular e o ponto de intersecção permaneceram quase constantes (Tabela 2).

Esses resultados indicam que na presença de altas concentrações de Mg, a absorção de Zn é negativamente afetada, o que é agravado na maioria dos solos tropicais, tendo em vista ser este micronutriente um dos mais limitantes nesses solos (Lopes, 1984). Um dos procedimentos para minimizar tal efeito é aumen-

tar as quantidades de KCl nas soluções; a presença do Cl na solução aumenta a absorção de Zn pelo efeito do íon acompanhante, além do efeito inibitório existente entre o Mg e o K (Malavolta et al., 1997).

Os valores de K_m e V_{max} foram influenciados pelos níveis de Mg e pelas cultivares (Tabela 2). As plantas sob a dose 1,0 mmol L⁻¹ de Mg apresentaram, na média, valores de K_m e V_{max} 45,2% e 73,7%, respectivamente maiores que o nível 6,0 mmol L⁻¹ de magnésio. Essas mudanças nos valores de K_m e V_{max} podem ser explicadas pelo aumento ou decréscimo do número de sítios de absorção por unidade de peso radicular (Karunaratne et al., 1986).

Os valores de K_m e V_{max} apresentaram diferenças entre as cultivares, destacando-se os menores valores de K_m nas cultivares IAC 15-1 e FT Estrela, nas concentrações 1,0 mmol L⁻¹ e 3,0 mmol L⁻¹ de Mg (Tabela 2). Na dose 6,0 mmol L⁻¹ de Mg, os menores valores de K_m estimados ocorreram nas cultivares IAC 15-1 e DM Nobre. Esse resultado indica a maior afinidade íon-carregador dessas cultivares dentro de cada concentração de Mg na solução, levando, então, à maior eficiência na absorção de um dado elemento, neste caso o zinco. Na seleção de plantas ou cultivares eficientes na absorção de nutrientes, tem-se procurado plantas com baixos valores de K_m (Nielsen & Barber, 1978; Furlani, 1988; Stefanutti, 1997).

A constante V_{max} diminuiu significativamente em todas as cultivares com o aumento das concentra-

Tabela 1. A absorção de ⁶⁵Zn por raízes destacadas de plantas de quatro cultivares de soja nas três concentrações de magnésio⁽¹⁾.

Zn ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Mg (mmol L ⁻¹)	IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre	Média	IAC 15-1	IAC 17	FT Estrela	DM Nobre	Média
		-----($\mu\text{mol } ^{65}\text{Zn/g de matéria seca}$)-----					-----(% de redução na absorção de Zn)-----				
0,5	1,0	0,725a	0,755a	0,676a	0,460a	0,654	-	-	-	-	-
	3,0	0,463a	0,465a	0,373a	0,320a	0,405	37,93	38,41	44,82	30,43	38,07
	6,0	0,315a	0,342a	0,219a	0,281a	0,289	56,55	54,70	67,60	38,91	55,81
1,0	1,0	1,308ab	1,486ab	2,077a	0,764b	1,409	-	-	-	-	-
	3,0	0,708a	0,930a	0,548a	0,657a	0,711	45,87	37,41	73,61	14,00	49,54
	6,0	0,540a	0,593a	0,306a	0,396a	0,450	58,71	60,09	85,27	48,17	68,06
2,0	1,0	2,322ab	3,006ab	4,424a	1,720b	3,118	-	-	-	-	-
	3,0	1,380a	1,166a	1,127a	0,906a	1,145	40,57	61,21	74,52	47,32	63,28
	6,0	0,869a	1,009a	0,770a	0,828a	0,869	62,57	66,43	82,59	51,86	72,13
5,0	1,0	5,213a	5,756a	5,458a	3,181a	4,902	-	-	-	-	-
	3,0	3,293ab	3,895a	2,612bc	2,174c	2,994	36,83	32,33	52,14	31,66	38,92
	6,0	2,214a	2,085a	1,698a	1,464a	1,865	57,53	63,78	68,89	53,98	61,95
10,0	1,0	8,829ab	9,472a	8,544b	4,975c	7,955	-	-	-	-	-
	3,0	5,782b	7,664a	5,505b	3,644c	5,649	34,51	19,09	35,57	26,75	28,99
	6,0	3,460ab	3,925a	2,833b	2,713b	3,233	60,81	58,56	66,84	45,47	59,36

⁽¹⁾Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

ções de Mg (Tabela 2). Os valores de V_{max} estimados foram menores nas cultivares DM Nobre e FT Estrela nas concentrações 1,0 mmol L⁻¹ e 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Mg e nas cultivares IAC 15-1 e DM Nobre na dose 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Mg, o que indica que essas cultivares, em determinada concentração de Mg, possuem menor quantidade de sítios de absorção do carregador (Sacramento et al., 1999). Furlani (1988) e Stefanutti (1997), em estudos com genótipos de arroz, observaram que plantas mais adaptadas a elevadas fertilidades são aquelas que possuem V_{max} correspondente aos valores mais altos.

Tabela 2. Equação de regressão, coeficiente de determinação e as variáveis K_m ($\mu\text{mol mL}^{-1}$) e V_{max} ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}^{-1}$) determinados mediante as equações de Lineweaver & Burk (1934), em relação a absorção de Zn por raízes destacadas durante 60 minutos.

Magnésio (mmol L ⁻¹)	Cultivares	Zinco			
		Equação	R ²	K _m	V _{max}
1,0	IAC 15-1	Y = 0,072 + 0,663**X	0,99	9,21	13,89
	IAC 17	Y = 0,033 + 0,643**X	0,99	19,49	30,03
	FT Estrela	Y = 0,101 + 0,689**X	0,94	6,82	9,90
	DM Nobre	Y = 0,114 + 1,058**X	0,99	9,32	8,81
3,0	IAC 15-1	Y = 0,152 + 1,055**X	0,97	6,94	6,58
	IAC 17	Y = 0,115 + 1,026**X	0,97	8,92	8,69
	FT Estrela	Y = 0,185 + 1,325**X	0,96	7,16	5,41
	DM Nobre	Y = 0,189 + 1,457**X	0,98	7,70	5,28
6,0	IAC 15-1	Y = 0,254 + 1,522**X	0,98	5,99	3,94
	IAC 17	Y = 0,215 + 1,384**X	0,99	6,44	4,65
	FT Estrela	Y = 0,189 + 1,457**X	0,98	7,71	5,29
	DM Nobre	Y = 0,383 + 1,691**X	0,96	4,42	2,61

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

As relações existentes entre a quantidade de Zn absorvida ($\mu\text{mol } ^{65}\text{Zn/g}$ de matéria seca de raiz) e a quantidade de Zn na solução ($\mu\text{mol L}^{-1}$) mostraram que a cultivar FT Estrela foi a mais eficiente e DM Nobre a menos eficiente na absorção de Zn nas três concentrações de Mg; as cultivares IAC 15-1 e IAC 17 apresentaram relações intermediárias. Segundo Sacramento et al. (1999), essa relação é indicativo da eficiência dos mecanismos de absorção, podendo-se considerar mais eficiente a cultivar capaz de acumular maior quantidade de Zn em seus tecidos radiculares, a partir da concentração externa do nutriente na solução.

Nielsen & Barber (1978), trabalhando com plantas inteiras de milho, encontraram relação direta entre plantas com alta V_{max} e absorção de nutrientes. Os resultados obtidos por esses autores, associados aos do presente trabalho, permitem deduzir que a determinação dos valores da V_{max} seja mais um componente na avaliação da absorção de Mg e zinco.

A absorção de Mn por raízes destacadas decresceu com o aumento da concentração de Mg (Tabela 3). O efeito depressivo das doses de Mg foi similar em cada dose de Mn, com diferenças, em alguns tratamentos, somente entre cultivares. Segundo Foy et al. (1969) e Stefanutti (1997), as diferenças de comportamento das plantas na absorção dos nutrientes são controladas, principalmente, por fatores genéticos.

Tabela 3. Absorção de ⁵⁴Mn por raízes destacadas de plantas de quatro cultivares de soja nas três concentrações de magnésio⁽¹⁾.

Mn ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Mg (mmol L ⁻¹)	IAC 15-1 ($\mu\text{mol } ^{54}\text{Mn/g}$ de matéria seca)	IAC 17 ($\mu\text{mol } ^{54}\text{Mn/g}$ de matéria seca)	FT Estrela ($\mu\text{mol } ^{54}\text{Mn/g}$ de matéria seca)	DM Nobre ($\mu\text{mol } ^{54}\text{Mn/g}$ de matéria seca)	Média	IAC 15-1 IAC 17 FT Estrela DM Nobre Média (% de redução na absorção de Mn)				
0,5	1,0	0,219a	0,113a	0,063b	0,069b	0,116	-	-	-	-	-
	3,0	0,148a	0,056b	0,037b	0,048b	0,072	32,42	50,44	41,27	30,43	37,93
	6,0	0,074a	0,044a	0,020a	0,026a	0,041	66,21	61,06	68,25	62,31	64,65
1,0	1,0	0,352a	0,161b	0,121b	0,137b	0,192	-	-	-	-	-
	3,0	0,269a	0,088b	0,060b	0,091b	0,127	23,58	45,34	50,41	33,58	33,85
	6,0	0,164a	0,078b	0,041b	0,049b	0,083	53,40	51,55	66,12	64,23	56,77
2,0	1,0	0,567a	0,359b	0,220c	0,260c	0,352	-	-	-	-	-
	3,0	0,487a	0,171b	0,167b	0,134b	0,240	14,11	52,37	24,09	48,46	31,82
	6,0	0,252a	0,153b	0,079c	0,075c	0,140	55,56	57,38	64,09	71,15	60,23
5,0	1,0	1,061a	0,734b	0,529c	0,734b	0,765	-	-	-	-	-
	3,0	0,883a	0,452b	0,292d	0,348c	0,495	16,78	38,42	44,80	52,59	35,29
	6,0	0,633a	0,362b	0,182c	0,171c	0,337	40,34	50,68	65,60	76,70	55,95
10,0	1,0	1,382b	1,488a	0,856d	1,297c	1,256	-	-	-	-	-
	3,0	1,239a	0,777b	0,549c	0,766b	0,833	10,35	47,78	35,86	40,94	33,68
	6,0	0,720a	0,521b	0,311c	0,254c	0,452	47,90	64,99	63,67	80,42	64,01

⁽¹⁾Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O incremento na concentração de Mg de 1,0 mmol L⁻¹ para 3,0 e 6,0 mmol L⁻¹ diminuiu progressivamente a absorção de Mn (Tabela 3), com redução média de 34,5% (3,0 mmol L⁻¹) e 60,3% (6,0 mmol L⁻¹). Esse resultado é evidência da interação que ocorre entre os nutrientes, com inibição na absorção de Mn e Zn, pela maior presença de Mg na solução (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

A redução na absorção de Mn corrobora os resultados de Mass et al. (1969), que, ao estudarem a influência do Mg na absorção de Mn em cevada, observaram que a inibição entre o Mg e Mn é do tipo não competitiva (Tabela 4). Nesse tipo de inibição, o ponto de intersecção nas ordenadas e o coeficiente angular mudam com a presença do inibidor (Epstein, 1972; Malavolta et al., 1997).

A inibição não competitiva é ocasionada pela deformação do sítio não ativo do carregador, de modo que não ocorre a formação do complexo na velocidade usual e, uma vez formado, o complexo não se desdobra na velocidade normal para originar os produtos (Lehninger et al., 1995). Nesse tipo de inibição, a maior absorção de um elemento não pode ser anulada pelo aumento da concentração do outro, o que não ocorre na inibição competitiva, em que o inibidor I combina-se com o mesmo sítio ativo do carregador R; neste caso, a inibição pode ser desfeita aumentando-se a concentração do nutriente (Hopkins, 1995; Malavolta et al., 1997).

Tabela 4. Equação de regressão, coeficiente de determinação e as variáveis K_m ($\mu\text{mol mL}^{-1}$) e V_{max} ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}^{-1}$) determinados mediante as equações de Lineweaver & Burk (1934), em relação a absorção de Mn por raízes destacadas durante 60 minutos.

Magnésio (mmol L ⁻¹)	Cultivares	Manganês			
		Equação	R ²	K _m	V _{max}
1,0	IAC 15-1	Y = 0,739 + 2,108**X	0,91	2,85	1,35
	IAC 17	Y = 0,657 + 4,367**X	0,96	6,65	1,52
	FT Estrela	Y = 0,516 + 7,618**X	0,99	14,76	1,94
	DM Nobre	Y = 0,601 + 7,202**X	0,99	11,98	1,66
3,0	IAC 15-1	Y = 0,602 + 4,566**X	0,97	7,58	1,66
	IAC 17	Y = 0,995 + 8,883**X	0,98	8,93	1,01
	FT Estrela	Y = 0,599 + 13,678**X	0,98	22,85	1,67
	DM Nobre	Y = 1,145 + 9,860**X	0,98	8,61	0,87
6,0	IAC 15-1	Y = 0,954 + 6,891**X	0,98	7,22	1,05
	IAC 17	Y = 2,982 + 23,954**X	0,98	8,03	0,34
	FT Estrela	Y = 2,492 + 15,270**X	0,99	6,13	0,40
	DM Nobre	Y = 3,198 + 21,153**X	0,99	6,61	0,31

**Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

A constatação do tipo de inibição não competitiva demonstra que em solos com alta concentração de Mn, a aplicação de calcário pode diminuir o efeito de toxidez deste micronutriente em decorrência do aumento do pH do solo e da presença dos cátions Ca²⁺ e Mg²⁺, porém, em condições de carência limiar, a calagem pode agravar essa situação. Cabe salientar que ao contrário do que ocorre na inibição competitiva, em que, o aumento da concentração do nutriente pode desfazer a inibição, na não competitiva, conforme no presente trabalho, faz-se necessário o uso de outro meio para diminuir o efeito depressivo ocasionado pelo aumento da concentração de um determinado elemento, como a adição de íons acompanhantes, como NO₃⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻ (Malavolta et al., 1997).

Houve diminuição significativa na concentração de Mn nas raízes com o aumento de Mg na solução (Tabela 3). A cultivar IAC 15-1 absorveu a maior quantidade de Mn nas três concentrações de Mg; o inverso foi obtido com a FT Estrela. As cultivares DM Nobre e IAC 17 tiveram comportamentos intermediários. A cultivar DM Nobre foi a única que apresentou diminuição significativa (44,8%) no K_m com o aumento da dose de 1,0 mmol L⁻¹ para 6,0 mmol L⁻¹ de Mg na solução (Tabela 4).

Os valores de V_{max} estimados tiveram maior efeito na taxa de absorção de manganês. As cultivares IAC 17 e DM Nobre mostraram os menores valores de V_{max} nas concentrações 3,0 e 6,0 mmol L⁻¹ de Mg, ao passo que na concentração 1,0 mmol L⁻¹ de Mg os menores valores ficaram por conta de IAC 17 e IAC 15-1, o que indica menor número de carregadores nas raízes destas cultivares.

Embora tenha havido diminuição no valor estimado de V_{max}, houve redução mais acentuada nos valores de K_m estimados, resultando numa maior absorção de Mn pela DM Nobre (Tabela 3). De acordo com Vilela & Anghinoni (1984), trabalhando com outras cultivares de soja, as mudanças em V_{max} têm maior efeito na taxa de absorção de nutrientes do que K_m.

As relações existentes entre a quantidade de Mn absorvida ($\mu\text{mol } ^{54}\text{Mn/g}$ de matéria seca de raiz) e a quantidade de Mn na solução ($\mu\text{mol L}^{-1}$) mostram que a cultivar IAC 15-1 foi a mais eficiente em acumular maior quantidade de Mn em seus tecidos radiculares e FT Estrela a menos eficiente; as cultivares DM Nobre e IAC 17 apresentaram relações intermediárias.

Conclusões

1. Na soja, a inibição do Mg sobre a absorção do Zn e do Mn por raízes destacadas é do tipo não competitiva.

2. As cultivares apresentam comportamento distinto na absorção de nutrientes; independentemente da dose de Mg, a cultivar FT Estrela tem maior capacidade de absorver Zn, e IAC 15-1, de absorver manganês.

3. Na soja, as variáveis K_m e V_{max} estimadas comportam-se de modo independente no processo de absorção.

Referências

- ABREU, C. A.; RAIJ, B.; TANAKA, R. T. Comportamento de cultivares de soja em solo deficiente em manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 149-152, 1994.
- BRAR, M. S.; SEKHON, G. S. Effect on manganese on zinc-65 absorption by rice seedlings and its translocation within the plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 44, p. 459-462, 1976.
- EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New York: J. Wiley, 1972. 412 p.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 6, p. 929-931, 1971.
- FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; ARMIGER, W. H. Differential tolerance of cotton varieties to excess manganese. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 690-694, 1969.
- FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja - *Rhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, Rio de Janeiro, v. 6, n. 4, p. 57-66, 1971.
- FURLANI, A. M. C. Variações em parâmetros de cinética de absorção de fósforo de três linhagens de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 77-80, 1988.
- HOPKINS, W. G. Plants and inorganic nutrients. In: HOPKINS, W. G. (Ed.). **Introduction to plant physiology**. Toronto: J. Wiley, 1995. p. 65-80.
- JOHNSON, C. M.; STOUT, P. R.; BROYER, T. C.; CARLTON, A. B. Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 8, n. 1, p. 337-353, 1957.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.
- KARUNARATNE, R. S.; BAKER, J. H.; BARKER, A. V. Phosphorus uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal roots of soybeans. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 9, p. 1303-1313, 1986.
- KOMATUDA, C. R. N. **Comportamento de variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em condições de deficiência ou excesso de manganês em solução nutritiva**. 1988. 62 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: Sarvier, 1995. 839 p.
- LINDSAY, W. L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1991. p. 89-112.
- LINEWEAVER, H.; BURK, D. The determination of enzyme dissociation constants. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 56, n. 1, p. 658-666, 1934.
- LOPES, A. S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Potafos, 1984. 162 p.
- MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. **Absorção de radiozinc por duas variedades de arroz**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1999. 5 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic, 1995. 889 p.
- MASS, E. V.; MOORE, D. P.; MASON, B. J. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. **Plant Physiology**, Rockville, v. 44, p. 796-800, 1969.
- NIELSEN, N. E.; BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 695-698, 1978.

- NOGGLE, J. C.; FRIED, M. A kinetic analysis of phosphate absorption by excised roots of millet, barley and alfalfa. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v. 24, n. 1, p. 33-35, 1960.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SEDYAMA, T. Deficiência de Mn em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 199-204, 1989.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas – I: caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 815-821, 1981.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.
- ROGERS, L. H.; WU, C. Zinc uptake by oats as influenced by application of lime and phosphate. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 40, n. 2, p. 563-566, 1948.
- SACRAMENTO, L. V. S.; MARTINEZ, H. E. P.; MONNERAT, P. H.; OLIVEIRA, L. M. Absorção de magnésio por raízes destacadas de cultivares de tomateiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 509-515, 1999.
- SADANA, U. S.; TAKKAR, P. N. Effect of calcium and magnesium on ⁶⁵Zinc absorption and translocation in rice seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 6, p. 705-715, 1983.
- SCHMID, W. E.; HAAG, H. P.; EPSTEIN, E. Absorption of zinc by excised barley roots. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 18, p. 860-869, 1965.
- STEFANUTTI, R. **Eficiência da absorção e utilização de fósforo e zinco por variedades de arroz**. 1997. 93 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 1997.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 247-250, 1992.
- VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 91-96, 1984.