

Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva

Effects of omitting macronutrients on the development and nutritional status of sorghum plants grown in nutrient solution

Renato de Mello PRADO¹, Liliane Maria ROMUALDO², Danilo Eduardo ROZANE²

¹ Prof. Dr., Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/nº, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br - Autor para correspondência.

² Pós-Graduandos, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp.

Resumo

Com o objetivo de avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. BRS 3010, foi conduzido um experimento com o uso de solução nutritiva aerada. O experimento foi desenvolvido na FCAV/Unesp, em Jaboticabal-SP. O delineamento experimental o foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos que corresponderam à solução-padrão de Hoagland & Arnon (1950) e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S, em três repetições. Após três semanas da semeadura, as plantas foram colocadas em recipientes plásticos com 8 L de capacidade, aplicando-se os respectivos tratamentos. Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, avaliaram-se a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do caule, além da matéria seca da parte aérea e das raízes, e o estado nutricional. As omissões de N, P, Ca e Mg foram as que mais limitaram a produção de matéria seca do sorgo. As plantas do tratamento completo e da omissão apresentaram, respectivamente, os seguintes teores de nutrientes na parte aérea: P = 4,8 e 0,6; K = 33,4 e 13,4; Ca = 6,0 e 1,0; Mg = 3,8 e 0,4; S = 2,2 e 1,3 g kg⁻¹, e nas raízes: P = 4,4 e 0,6; K = 26,2 e 6,3; Ca = 5,7 e 1,7 e S = 6,3 e 0,8 g kg⁻¹. A omissão de um nutriente, além de promover diminuição do teor na parte aérea da planta, causou desequilíbrio entre o demais nutrientes e, conseqüentemente, houve alterações morfológicas traduzidas como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, deficiência, nutrientes, sintomas.

Abstract

The effects of macronutrients on the development and nutritional status of sorghum plants were studied in sorghum plants grown in nutrient solutions. The experiment consisted of seven treatments in which the first was the standard Hoagland & Arnon (1950) nutrient solution and the next were obtained by excluding either N, or P, or K, or Ca, or Mg, or S from that solution. Three weeks after sowing, the plants were transferred to 8 L plastic containers and the mentioned treatments were then applied. Thirty days after transplanting, plant height, number of leaves, culm diameter, plant aerial part and root dry matter and the plants nutritional status were determined. The lack of N, P, Ca, and Mg was the most harmful to dry matter yield. The plants from the standard and the with omission solutions showed the following levels of nutrients in the aerial part, respectively: P = 4.8 and 0.6, K = 33.4 and 13.4, Mg = 3.8 and 0.4, S = 2.2 and 1.3 g kg⁻¹ and, in the roots P = 4.4 and 0.6, K = 26.2 and 6.3, Ca = 5.7 and 1.7 and S = 6.3 and 0.8 g kg⁻¹. Nutrients omitted led to the decreasing of the level with which they occur in the aerial part of the plant as well as to an unbalance between the other nutrients which caused morphological modifications shown as typical deficiency symptoms.

Key-words: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, deficiency, nutrient, symptom

Introdução

O sorgo é uma das culturas alimentares mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação. Sua reconhecida versatilidade esten-

de-se desde o uso de seus grãos como alimento humano e animal, como matéria-prima para produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas, o uso de suas panículas para produção de vassouras, extração de açúcar de seus colmos, até às inúmeras aplicações de sua forragem na nutrição de ruminantes.

A deficiência ou excesso de um elemento mineral tem semelhança em todas as espécies de plantas. O motivo pelo qual o sintoma de carência do elemento é característico deve-se ao fato de que ele exerce sempre a mesma função, qualquer que seja o vegetal (MEYER et al., 1983). No entanto, existem respostas diferenciadas entre e dentro das espécies como resultado da expressão genética, influenciando na distribuição dos elementos (VOSE, 1963).

A técnica de cultivo em solução nutritiva, tem permitido avanços no conhecimento da nutrição das plantas, pois controla mais adequadamente a composição da solução e elimina a heterogeneidade e a complexidade do solo.

Na literatura, encontram-se estudos sobre adubação em híbridos de sorgo (PAUL, 1990; GONTIJO NETO et al., 2002; CANDIDO et al., 2002; BRUNETTO et al., 2005), mas são escassos os trabalhos de nutrição que observaram os efeitos da omissão de nutrientes em sua cultura. Diante deste contexto, objetivou-se avaliar o efeito da omissão de macronutrientes no desenvolvimento, na produção de matéria seca e no estado nutricional de plantas de sorgo cv BRS 3010, com o uso de solução nutritiva aerada.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da FCAV/Unesp, em Jaboticabal-SP. Foram utilizadas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. BRS 3010 em solução nutritiva aerada.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com sete tratamentos que corresponderam à solução nutritiva completa de HOAGLAND & ARNON (1950) (macro e micronutrientes) e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S, em três repetições. Inicialmente, foram semeadas em bandejas de plástico com areia grossa e mantidas durante três semanas, utilizando-se da solução nutritiva completa de HOAGLAND & ARNON (1950) diluída (25%). Após esse período, as plântulas foram transplantadas para vasos (8,0 L), aplicando-se os tratamentos com a solução completa e com a omissão individual de nutrientes, que foram trocados semanalmente e continuamente aeradas, completando-se diariamente o nível da solução do vaso com água destilada e ajustando o valor do pH entre 5,0 e 6,0. Salienta-se que a condução dos tratamentos seguiu as recomendações para manejo de solução nutritiva indicados por FURLANI et al. (1999).

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos, avaliaram-se a altura das plantas, o número de folhas e o diâmetro do caule. Além disso,

efetuou-se a colheita das plantas, sendo separadas em parte aérea e raízes, lavadas e secas em estufa com circulação forçada de ar até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram submetidas à análise química de macro e micronutrientes, seguindo a metodologia de BATAGLIA et al. (1983). Realizaram-se, durante o período experimental, observações e descrições dos sintomas das plantas, até a manifestação máxima visível da deficiência do elemento.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Os parâmetros vegetativos de crescimento, como o número de folhas, a altura das plantas, o diâmetro do caule, bem como a produção de matéria seca das partes aéreas e das raízes, além do teor de nutrientes nas plantas e as eventuais desordens nutricionais no sorgo sob omissão de macronutrientes, serão discutidos para cada elemento.

Nitrogênio

A omissão de N reduziu significativamente o desenvolvimento das plantas, afetando o número de folhas, a altura das plantas e o diâmetro do caule, em relação ao tratamento completo. Com isso, houve diminuição significativa na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes em relação ao tratamento completo (Tabela 1).

O tratamento completo apresentou teor de N na parte aérea de $33,8 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto, no tratamento com omissão deste nutriente, não foi possível sua determinação por não ter material vegetal suficiente para análise química. Entretanto, nas raízes, observou-se que as plantas submetidas à omissão de N apresentaram menor teor do nutriente ($7,8 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo (23 g kg^{-1}) (Tabela 2). O mesmo ocorreu com o N acumulado pelas raízes, sendo maior no tratamento completo ($82,0 \text{ mg planta}^{-1}$) comparado ao deficiente ($4,0 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 3).

Os efeitos da omissão do N, no desenvolvimento e na nutrição das plantas, resultaram no aparecimento de sintomas visuais de deficiência. Notou-se, inicialmente, uma clorose uniforme da parte vegetativa, intensificando-se nas folhas mais velhas.

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), esse sintoma está associado com a menor produção de clorofila, ocasionando modificação nos cloroplastos.

Tabela 1 - Produção de matéria seca e parâmetros vegetativos das plantas de sorgo cv. BRS 3010, em função da omissão de macronutrientes na solução nutritiva.

Table 1 - Dry matter production and vegetative parameters of sorghum plants, cv BRS 3010, as a result from macronutrients omission in the nutritive solution

Tratamentos/ Treatments	Matéria seca/ Dry matter			Altura/ Height (cm)	Diâmetro/ Diameter (mm)	Número de folhas/ Leaf number
	Parte aérea/ Aerial part ----- g planta ⁻¹ /g plant ⁻¹ -----	Raízes/ Roots	Total/ Total			
Completo/Complete	17,6	3,9	21,5	82,4	9,3	8
- N	0,5*	0,5*	1,0*	25,8*	2,8*	5*
- P	2,2*	1,3*	3,5*	40,4*	4,4*	7*
- K	15,1*	1,5*	16,6*	41,4*	9,0*	7*
- Ca	1,6*	0,4*	2,0*	24,4*	0,4*	4*
- Mg	1,6*	0,3*	1,9*	38,0*	0,3*	7*
- S	13,9*	1,2*	15,1*	57,2*	1,2*	8

*Diferença significativa em relação ao tratamento com solução completa ($p < 0,05$).

*Significant difference in relation to the treatment with complete solution ($p < 0,05$).

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 2 - Teores de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas de sorgo cv. BRS 3010, em função da omissão de macronutrientes na solução nutritiva.

Table 2 - Nutrient contents of the aerial part and roots of sorghum plants, cv. BRS 3010, as a result from the omission of macronutrients of the nutritive solution.

Tratamentos/ Treatments	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----					
	Parte aérea/Aerial part											
Completo/Complete	33,8	4,8	33,4	6,0	3,8	2,2	52,5	5,3	103,5	200,0	43,6	
- N	-	4,6	33,5	9,5*	3,3	1,3*	-	1,0*	182,0*	400,0*	29,0*	
- P	26,2*	0,6*	23,6*	4,8*	2,4*	1,3*	133,0*	7,6	72,0	166,6	45,6	
- K	40,5*	7,9*	13,5*	10,1*	6,1*	2,2	68,0*	13,5*	86,0	325,0*	54,0*	
- Ca	38,2*	9,4*	75,5*	1,0*	5,9*	3,3	119,5*	13,6*	133,5	516,6*	130,0*	
- Mg	29,0*	6,7*	32,1	5,6	0,4*	2,0	162,0*	8,0	165,0	350,0*	66,5*	
- S	29,7*	2,0*	36,0	4,9*	3,0*	1,3*	103,0*	6,3	88,5	250,0	76,5*	
	Raízes/Roots											
Completo/Complete	23,0	4,4	26,2	5,7	8,0	6,3	45,0	43,5	1066	1350	33,3	
- N	7,8*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- P	20,6	0,6*	18,6*	3,5*	1,7*	3,5*	57,5*	40,3	737,5*	400,0*	19,3*	
- K	37,1	8,2*	6,3*	5,3	3,7*	5,7	52,5	170,5*	586,5*	1150*	54,5*	
- Ca	-	6,7*	26,6	1,7*	4,1*	4,8*	-	83,0*	675,0*	650,0*	91,0*	
- Mg	27,2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- S	18,3*	1,2*	28,6	7,3	2,9*	0,8*	69,0*	15,3*	223,5*	200,0*	62,0*	

*Diferença significativa em relação ao tratamento com solução completa ($p < 0,05$).

*Significant difference in relation to the treatment with complete solution ($p < 0,05$).

- não determinado

-not determined

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

MENDES (1959) acrescentou a grande importância do elemento não só no crescimento, mas também na divisão celular. Em um experimento com girassol em solução nutritiva, CARELLI et al. (1996) observaram que a deficiência de N provocou diminuição de 31% na taxa de fotossíntese, que, por sua vez, está relacionada com o decréscimo na quantidade da enzima rubisco, visto que parte do nitrogênio total da folha está alocada nesta enzima.

Assim, quando o teor de N na planta apresenta um valor muito baixo, têm-se comprometidos diversos processos fisiológicos que

acarretam sintomas visuais de deficiência, conforme descrito anteriormente.

A omissão do N na solução nutritiva afetou outros nutrientes, com redução significativa, em comparação com o tratamento completo, respectivamente, nos teores de S (1,3 g kg⁻¹), Cu (1,0 mg kg⁻¹) e Zn (29,0 mg kg⁻¹) e aumento dos teores de Ca (9,5 g kg⁻¹), Fe (182 mg kg⁻¹) e Mn (400 mg kg⁻¹) (Tabela 2). Este aumento dos teores de Ca, Fe e Mn, na parte aérea das plantas, não é explicado pelo aumento da absorção desses nutrientes e, sim, pelo efeito de concentração, pois houve redução da quantidade acumulada dos respectivos nutrientes (Tabela 3).

Tabela 3 - Nutrientes acumulados na parte aérea e raízes das plantas de sorgo cv. BRS 3010, em função da omissão de macronutrientes na solução nutritiva.
 Table 3 - *Nutrients accumulated in the aerial part and roots of the sorghum plants cv. BRS 3010, as a function of the omission of macronutrients in the nutrient solution.*

Tratamentos/ Treatments	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg planta ⁻¹ -----											
Parte aérea/Aerial part											
Completo/ Complete	580,0	87,0	600,0	100,0	76,0	41,0	0,9	0,1	1,8	3,5	0,80
- N	-	2,4*	17,0*	5,0*	1,6*	7,0*	-	0,0005*	0,1*	0,2*	0,01*
- P	52,0*	1,3*	52,0*	11,0*	5,3*	3,0*	0,3*	0,016*	0,2*	0,3*	0,10*
- K	560,0	110,0*	210,0*	150,0*	93,0*	34,0*	1,1	0,2*	1,3*	4,4*	0,70
- Ca	54,0*	15,0*	130,0*	1,7*	8,4*	4,8*	0,2*	0,02*	0,2*	0,9*	0,20*
- Mg	52,0*	11,0*	220,0*	8,4*	0,8*	3,7*	0,2*	0,01*	0,3*	0,6*	0,10*
- S	410,0*	30,0*	500,0	73,0*	43,0*	18,0*	1,4*	0,1*	1,2*	3,5	1,10*
Raízes/Roots											
Completo/ Complete	82,0	15,0	110,0	24,0	29,0	24	0,2	0,20	3,8	5,5	0,130
- N	4,0*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- P	72,0*	0,9*	26,0*	4,0*	2,0*	4,8*	0,1*	0,10*	0,9*	0,5*	0,002*
- K	78,0	12,0	9,0*	8,0*	6,0*	9,0*	0,1*	0,30*	0,9*	1,7*	0,080*
- Ca	-	2,0*	11,0*	0,5*	1,5*	2,2*	-	0,04*	0,2*	0,3*	0,044*
- Mg	7,0*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- S	22,0*	5,0*	33,0*	9,0*	3,4*	0,8*	0,1*	0,02*	0,2*	0,2*	0,080*

*Diferença significativa em relação ao tratamento com solução completa ($p < 0,05$).

*Significant difference in relation to the treatment with complete solution ($p < 0,05$).

- não determinado

-not determined

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Fósforo

Os parâmetros vegetativos indicativos de crescimento foram significativamente afetados pela omissão de fósforo. Houve diminuição do número de folhas, altura da planta e diâmetro do caule em relação ao tratamento completo, resultando em diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de sorgo (Tabela 1). Observou-se, ainda, que a relação matéria seca de raízes e parte aérea foi maior na solução deficiente de P, comparado à solução completa, fato semelhante ao obtido por CAMACHO et al. (2002), com sorgo cultivado em solução nutritiva. De acordo com a literatura, plantas sob deficiência de P aumentam o dreno de fotoassimilados para as raízes, a fim de aumentar a capacidade da planta para absorção de P (FREEDEN et al., 1989).

As plantas que receberam o tratamento com a omissão do elemento apresentaram redução significativa do teor do nutriente da parte aérea, em relação ao tratamento completo, respectivamente, de 4,8 para 0,6, e das raízes, de 4,4 para 0,6 g kg⁻¹ (Tabela 2). Acrescenta-se, ainda, conforme era esperado, a diminuição do P acumulado na parte aérea de 87 para 1,3 mg planta⁻¹, e nas raízes, de 15 para 0,9 mg planta⁻¹ (Tabela 3). O teor de P no tratamento completo (4,8 g kg⁻¹) está de acordo com MARSCHNER (1995), que indicou teor de P de 3 a 6 g kg⁻¹ para

otimizar o crescimento da maioria das culturas durante o estágio vegetativo de crescimento. Por outro lado, CAMACHO et al. (2002) observaram maior teor de P na parte aérea de oito cultivares de sorgo, cultivadas em solução com omissão do nutriente (1,4 a 2,2 g kg⁻¹). Essa diferença no teor de P, possivelmente, deve-se à cultivar distinta utilizada nos ensaios.

A redução da absorção de P nas plantas, sob deficiência do elemento na solução nutritiva, levou ao aparecimento de sintomas visuais, quando comparado ao tratamento completo, caracterizado pelo desenvolvimento lento e folhas mais velhas com cor verde-escura no início, seguindo-se de tons roxos nas pontas e margens das folhas. Portanto, as plantas deficientes em fósforo têm seu crescimento retardado por estarem ligadas à função estrutural do nutriente e ao processo de transferência e armazenamento de energia (MALAVOLTA et al., 1989), afetando vários processos metabólicos, como a síntese de proteínas e ácido nucleico (MENGEL & KIRKBY, 1987). Além disso, a omissão de P na solução nutritiva afetou outros nutrientes, com redução significativa dos teores em comparação com o tratamento completo, respectivamente, na parte aérea (N, K, Ca, S, Mg e Mn) e raízes (K, Ca, S, Mg, Mn, Fe e Zn), e aumento do teor de B tanto na parte aérea como nas raízes (Tabela 2). Com relação ao acúmulo de nutrientes, observou-se

que a omissão de P causou menor absorção de todos os nutrientes (Tabela 3).

Potássio

A planta foi afetada pela omissão de K, sendo os resultados da altura, número de folhas, diâmetro de caule e matéria seca, significativamente inferiores às plantas que receberam o tratamento completo (Tabela 1).

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de K apresentaram menor teor do nutriente, na parte aérea ($13,5 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($6,3 \text{ g kg}^{-1}$) comparado ao tratamento completo na parte aérea ($33,4 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($26,2 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). O mesmo ocorreu com o K acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = 600 , e raízes = $110 \text{ mg planta}^{-1}$) comparado ao deficiente (parte aérea = 210 , e raízes = 9 mg planta^{-1}) (Tabela 3). Essa menor absorção do K no tratamento com omissão do elemento ocasionou o aparecimento de sintomas visuais, sendo caracterizado inicialmente pela clorose das pontas e margens das folhas mais velhas, seguida por secamento e necrose, e colmos com internódios mais curtos.

Além disso, a omissão de K na solução nutritiva afetou outros nutrientes, com redução significativa dos teores de Mg, Mn e Fe nas raízes, em comparação com o tratamento completo, e aumento dos teores de Ca, Mg, B, Mn e Zn na parte aérea, e de P e Cu tanto na parte aérea como nas raízes (Tabela 2). Com relação aos nutrientes acumulados, observou-se que o tratamento com omissão de K provocou menor acúmulo de S na parte aérea de todos os nutrientes nas raízes, exceto o Cu (Tabela 3).

Cabe salientar que a relação do K com Ca e Mg nas plantas é fato conhecido pela interação entre nutrientes, devido à competição entre os elementos na absorção (MALAVOLTA et al., 1997). Deste modo, observou-se que a omissão de K apresentou uma relação Ca+Mg/K (1,2) quatro vezes maior que no tratamento completo, que foi de 0,3 (Tabela 2). Este fato indica o desbalanço nutricional em plantas com deficiência de K. Resultados semelhantes foram obtidos por OLIVEIRA et al. (2001) com a soja, sendo que plantas cultivadas sem adição de K apresentaram a relação Ca+Mg/K quase duas vezes maior comparadas àquelas cultivadas com as doses adequadas do nutriente.

Cálcio

As plantas que receberam o tratamento com a omissão de cálcio apresentaram diminuição no número de folhas, na altura da planta e no diâmetro do caule, em relação ao tratamento completo, o que refletiu na diminuição da produção de matéria seca da parte aérea e raízes

(Tabela 1). LACERDA et al. (2004) observaram efeito positivo no aumento do teor de Ca na solução nutritiva quanto à produção de matéria seca do sorgo (cv. CSF 20) submetido a concentrações de salinidade.

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de Ca apresentaram menor teor do nutriente, na parte aérea ($1,0 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($1,7 \text{ g kg}^{-1}$), comparado ao tratamento completo na parte aérea ($6,0 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($5,7 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2). O mesmo ocorreu com o Ca acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = 100 , e raízes = $24 \text{ mg planta}^{-1}$) comparado ao deficiente (parte aérea = $1,7$, e raízes = $0,5 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 3). Além disso, a omissão de Ca na solução nutritiva, afetou outros nutrientes, com redução significativa dos teores em comparação com o tratamento completo, respectivamente, na parte aérea (Ca) e raízes (Mg, S, Mn e F), aumento dos teores de N, K, Mg, B e Mn na parte aérea e de P, Cu e Zn tanto na parte aérea como nas raízes (Tabela 2). Os nutrientes cujos teores aumentaram pela omissão de Ca na solução nutritiva, podem ter o fato explicado pelo efeito de concentração, pois, em consequência do menor crescimento, houve concentração de nutrientes (N, P, K, Mg, B, Mn, Cu e Zn) nos tecidos vegetais. Esta hipótese é reforçada pelo fato de que houve menor acúmulo de todos os nutrientes estudados na parte aérea e nas raízes das plantas sob deficiência de Ca, comparado ao tratamento completo (Tabela 3).

As plantas de sorgo, com a omissão de Ca, apresentaram inicialmente clorose nas margens das folhas superiores, evoluindo para necrose e dilaceração, e clorose internerval. Esses sintomas são semelhantes aos descritos na literatura, ou seja, a deficiência de Ca leva a redução do crescimento de tecidos meristemáticos, sendo observado primeiro nas extremidades em crescimento nas folhas mais jovens (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Magnésio

Houve diminuição significativa do número de folhas, do diâmetro de caule e da matéria seca das raízes, das folhas e do total da planta cultivada na solução nutritiva com a omissão de Mg (Tabela 1).

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de Mg apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea ($0,4 \text{ g kg}^{-1}$), comparado ao tratamento completo na parte aérea ($3,8 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 2), mas não houve material das raízes suficiente para análise química das plantas sob deficiência desse nutriente. O mesmo ocorreu com o Mg acumulado pela parte aérea das plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo

(76,0 mg planta⁻¹), comparado ao deficiente (parte aérea = 8,4, e raízes = 1,5 mg planta⁻¹) (Tabela 3). Diante dos efeitos da omissão de Mg no desenvolvimento e no estado nutricional das plantas, observou-se a sintomatologia de deficiência caracterizada inicialmente por um amarelecimento das margens das folhas mais velhas e depois entre as nervuras, evoluindo para necrose das regiões cloróticas.

Além disso, a omissão do presente nutriente na solução nutritiva afetou outros nutrientes, com aumento significativo dos teores em comparação com o tratamento completo, respectivamente, para P, B, Mn e Zn, e diminuição do N da parte aérea do sorgo (Tabela 2). Este aumento no teor dos nutrientes citados deve-se, possivelmente, ao efeito de concentração, visto que as plantas com omissão de Mg tiveram menor acúmulo de todos os nutrientes na parte aérea comparado ao tratamento completo (Tabela 3).

Enxofre

As plantas de sorgo sob deficiência de S tiveram diminuição significativa da altura, diâmetro do caule e da matéria seca da partes aérea, raízes e do total da planta, e não houve efeito no número de folhas, quando comparado com o tratamento completo sem omissão de nutrientes (Tabela 1).

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de S apresentaram menor teor do nutriente na parte aérea (1,3 g kg⁻¹) e nas raízes (0,8 g kg⁻¹) comparado ao tratamento completo na parte aérea (2,2 g kg⁻¹) e nas raízes (6,3 g kg⁻¹) (Tabela 2). O mesmo ocorreu com o S acumulado pelas plantas, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo (parte aérea = 41, e raízes = 24 mg planta⁻¹) comparado ao tratamento com omissão de S (parte aérea = 18,0, e raízes = 0,8 mg planta⁻¹) (Tabela 3). Portanto, a menor absorção de S pelas plantas, no tratamento com a omissão do mesmo, resultou em folhas novas e recém-formadas cloróticas, indicando que os tecidos mais velhos não puderam contribuir com o suprimento de enxofre para os tecidos novos, os quais são dependentes do nutriente absorvido pelas raízes. Além disso, a omissão de S na solução nutritiva, afetou outros nutrientes, com redução significativa dos teores, em comparação com o tratamento completo, na parte aérea (N, P, Ca, Mg e S) e raízes (N, P, Mg, S, Mn, Fe e Cu), aumento dos teores de Ca e Zn nas raízes e de B tanto na parte aérea como nas raízes (Tabela 2).

Portanto, nota-se menor absorção de S pelas plantas sob omissão do nutriente. Este fato explica a diminuição da produção de matéria seca (30%) do tratamento com omissão do nutriente (Tabela 1). De acordo com ANDREW

(1962), a deficiência de enxofre reduz a quantidade de nitrogênio convertida à forma orgânica, resultando em restrição ao crescimento da planta, por conta da proporção entre esses nutrientes nas proteínas. O teor de S na planta também foi reduzido na omissão de S, sendo que, nesse tratamento, a relação N:S foi maior (22,8 na parte aérea, e 22,9 nas raízes) que no tratamento completo (15,4 na parte aérea, e 3,7 nas raízes) (Tabela 2).

Acrescenta-se que não houve maior redução na produção de matéria seca do sorgo, possivelmente pelo fato de que o teor do nutriente na parte aérea não atingiu valor muito baixo (S= 1,3 g kg⁻¹), uma vez que HITSUDA et al. (2004) observaram, em plantas de sorgo cultivadas em solução nutritiva, teor semelhante (1,1-1,3 g kg⁻¹), considerado adequado.

Por fim, observou-se no tratamento completo a seguinte ordem de extração de nutrientes da parte aérea (K>N>Ca>P>Mg>S) e raízes (K>N>Mg>Ca=S>P) (Tabela 3). Estes resultados indicam que o K é o primeiro e o N o segundo nutriente mais requerido pelas plantas de sorgo, o que discorda dos resultados de CANTARELLA et al. (1997), que ao conduzirem plantas de sorgo até o final do ciclo, indicaram o contrário, ou seja, o sorgo tem maior extração de N em relação ao K. Possivelmente, estes resultados discordantes devem-se às distintas condições edafoclimáticas e genotípicas, além do tempo de condução do ciclo vegetativo da planta.

Conclusões

As omissões de N, P, K, Ca, Mg e S causaram interações entre nutrientes, acarretando desbalanço nutricional e reduções nos parâmetros vegetativos e da matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de sorgo.

A omissão de um nutriente, além de promover diminuição de seu teor na parte aérea da planta de sorgo, causou desequilíbrio entre os demais nutrientes e, conseqüentemente, houve alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

Referências

- ANDREW, C. S. Influence of nutrition on nitrogen fixation and growth of legumes. In: COMMONWELTH SCIENTIFIC INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. **A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pasture.** Farnham Royal, 1962. p.130-146.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas,** Cam-

- pinas, Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.565-571, 2005.
- CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUERREROLVES, J.; CAMACHO, T. Crescimento vegetativo de sorgo granífero em resposta à nutrição fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.771-776, 2002.
- CANDIDO, M. J. D.; OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G. Valor nutritivo de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob doses crescentes de adubação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.1, p.20-29, 2002.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed., Campinas: IAC, 1997. p.45-47.(Boletim Técnico, 100).
- CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, I.; NOVO, M. do C. de S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.8, n.2, p.123-130, 1996.
- FREEDEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. **Plant Physiology**, Massachusetts, v.89, n.1, p.225-230, 1989.
- FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 1999. 52 p. (Boletim Técnico, 180).
- GONTIJO NETO, M. M.; OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G. Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivados sob níveis crescentes de adubação: rendimento, proteína bruta e digestibilidade *in vitro*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.4, p.1.640-1.647, 2002.
- HITSUDA, K.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D. Diagnosis of sulfur deficiency in soybean using seeds. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, n.5, p.1.445-1.451, 2004.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.289-295, 2004.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENDES, H. C. Nutrição do algodoeiro. I. Sintomas de deficiências minerais em plantas vegetando em soluções nutritivas. **Bragantia**, Campinas, v.18, n.3, p.467-481, 1959.
- MENGEL, K; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MEYER, B.; ANDERSON, D.; BOHNING, R.; FRATIANE, D. **Introdução à fisiologia vegetal**. 2. ed. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1983. 710p.
- OLIVEIRA, F. A., CARMELLO.; Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.329-335, 2001.
- PAUL, C. L. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del sorgo. In: PAUL, C. L. **Agronomía del sorgo**. Patancheru: ICRISAT, 1990. p.43-68.
- VOSE, P. B. Differences in plant nutrition. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v.33, n.1, p.1-13, 1963.

Recebido em 16-11-2005

Aceito para publicação em 07-03-2007