

Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da aveia-preta cultivar comum

The effect of macronutrient deficiency on the nutritional status of lopsided oat, cultivar common

Danilo Eduardo ROZANE^{1,4}, Renato de Mello PRADO^{2,5}, Liliane Maria ROMUALDO³

¹ Eng^o. Agr^o., Mestrando, Depto. Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp). Via de Acesso Prof. Dr. Paulo Donato Castellane, s/n. 14870-000, Jaboticabal-SP. E-mail: danilorozane@yahoo.com.br

² Prof. Dr., Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

³ Zootecnista, Mestranda, Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp. E-mail: lilianeromualdo@yahoo.com.br

⁴ Bolsista da FAPESP

⁵ Bolsista do CNPq

Resumo

A aveia-preta é uma cultura amplamente cultivada no Brasil, seja como forrageira, seja como cobertura morta, entretanto há poucos trabalhos sobre a nutrição da planta. Assim, este trabalho objetivou avaliar o efeito da deficiência de N, P, K, Ca, Mg e S na aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) cultivar Comum, sob o crescimento, produção de matéria seca e no teor e acúmulo de nutrientes da planta, além da sintomatologia visual de desordem nutricional. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com sete tratamentos, que corresponderam à solução completa Hoagland & Arnon (macro e micronutrientes) e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S em três repetições. A omissão de N, P, K e Mg foram as que mais limitaram o crescimento e a produção de matéria seca da aveia-preta. O teor de nutrientes, na parte aérea, das plantas de aveia-preta do tratamento completo e da omissão, foi, respectivamente: N = 39,2 e 10,9; P = 8,0 e 1,0; K = 73,8 e 17,6; Ca = 9,5 e 1,7; Mg = 2,7 e 0,7; S = 3,0 e 2,1 g.kg⁻¹. A deficiência induzida de cada nutriente diminuiu sua absorção pelas plantas e, conseqüentemente, houve alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

Palavras-chave adicionais: *Avena strigosa* Schreber; diagnose visual; nutrição; sintomas de deficiência; solução nutritiva.

Abstract

Although black oat is amply cultivated in Brazil as a forage crop or straw groundcover, there are few studies on the plant nutrient requirements. The present study aimed to assess the effect the deficiency of the nutrients N, P, K, Ca, Mg, and S could have on the growth, production of dry material and on levels and accumulation of plant nutrients in lopsided oat (*Avena strigosa* Schreber) of the Common cultivar. Visual symptoms of nutritional disorders were also assessed. A completely random design was used, with seven treatments that corresponded to the complete Hoagland & Arnon solution (macro and micronutrients), and the same solution with individual omissions of N, P, K, Ca, Mg, and S in three repetitions. The absence of N, P, K, and Mg were the treatments that most limited the growth and dry material production in the lopsided oat plants. The nutrient levels in the aerial part of the plants resulting from the complete treatment and those from the incomplete solutions were respectively: N = 39.2 and 10.9; P = 8.0 and 1.0; K = 73.8 and 17.6; Ca = 9.5 and 1.7; Mg = 2.7 and 0.7; S = 3.0 and 2.1 g.kg⁻¹. The induced deficiency of each nutrient diminished the absorption of each of these by the plants thus resulting in morphological alterations characteristic of the deficiency symptoms of each element.

Additional keywords: *Avena strigosa* Schreber; visual diagnosis; nutrition; deficiency symptoms; nutritional solution.

Introdução

A aveia-preta (*Avena strigosa* Schreber) é uma gramínea anual, rústica (DERPSCH &

CALEGARI, 1992), utilizada principalmente como cultura de cobertura do solo e adubação verde.

O aporte de elevada quantidade de resíduos ao solo no emprego do sistema plantio direto, associado aos sistemas de rotação de

cultura em um modelo conservacionista, vem atribuir a esta forrageira o posto de principal cobertura hiberna (PÖTKER & ROMAN, 1994), ocupando extensas áreas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná (SANTI et al., 2003) e especialmente nas áreas do Cerrado.

O cultivo da aveia-preta como cultura de cobertura de solo reduz a erosão e o escoamento superficial de água (DEBARBA & AMADO, 1997), promove a ciclagem de nutrientes e o aumento de carbono orgânico no solo (AMADO et al., 2001), além de auxiliar na correção da acidez do solo da camada superficial (AMARAL et al., 2004).

Devido à expansão do cultivo da aveia-preta e a escassez de estudos direcionados à nutrição da cultura, tornam-se essenciais pesquisas sobre desordens nutricionais e com a descrição dos sintomas característicos. Estas informações são úteis para proporcionar o uso da diagnose foliar e visual como ferramenta auxiliar no manejo da adubação da cultura.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito da deficiência dos macronutrientes da aveia-preta sobre o crescimento e a produção de matéria seca, e no teor e acúmulo de nutrientes das plantas, além da sintomatologia visual de desordem nutricional.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, sob hidroponia, na FCAV/Unesp Câmpus Jaboticabal-SP, com coordenadas geográficas 21°15'22" sul, 48°18'58" oeste e altitude de 575m.

As mudas de aveia-preta, cv. Comum, foram propagadas através de sementes em bandejas plásticas contendo areia grossa lavada. Durante 15 dias, após a emergência, as plantas permaneceram em solução nutritiva completa de HOAGLAND & ARNON (1950), diluída a $\frac{1}{4}$ da concentração usual. Após esse período, foram transplantadas para vasos de polipropileno (8,0 L).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com sete tratamentos, que corresponderam à solução completa HOAGLAND & ARNON (1950) (macro e micronutrientes) e a omissão individual de N, P, K, Ca, Mg e S, em três repetições. Cada parcela foi constituída de duas plantas. Após a aplicação dos tratamentos, as plantas foram cultivadas por 35 dias em solução nutritiva. As soluções foram renovadas quando transcorridos 50% do período experimental.

Ressalta-se que, para o manejo das soluções nutritivas ao longo do período de estudo, o pH foi monitorado diariamente, ajustado-se a $5,5 \pm 0,5$, usando-se solução NaOH ou HCl a 0,1

M.L⁻¹. Para a reposição da água evapotranspirada, foi utilizada água desionizada, sendo a solução nutritiva oxigenada constantemente.

Aos 35 dias após o transplante, quando as plantas já manifestavam os sintomas visíveis da deficiência dos elementos omitidos em cada tratamento, avaliaram-se a altura das plantas, o número de folhas e perfilhos. Nesta mesma ocasião, efetuou-se a colheita, separando-as em parte aérea e raiz. O material foi lavado e seco em estufa de ventilação forçada de ar, a 65°C, até atingir massa constante. As amostras secas foram pesadas e moídas em moinho tipo Wiley, para posterior análise química de macronutrientes, seguindo a metodologia de BATAGLIA et al. (1983). Com base nos resultados de teor de nutrientes e na produção de matéria seca, calculou-se o acúmulo dos nutrientes. Durante todo o período experimental, realizou-se a descrição dos sintomas de deficiência nas plantas.

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

Resultados e discussão

Os parâmetros vegetativos de crescimento, produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, além do teor e acúmulo de nutrientes da parte aérea e as eventuais desordens nutricionais na aveia-preta, sob omissão de N, P, K, Ca, Mg e S, serão discutidos para cada nutriente.

Nitrogênio (N)

A omissão de N reduziu drasticamente o desenvolvimento das plantas, afetando o número de folhas, os perfilhos e a altura das mesmas em relação ao tratamento completo, ocasionando o maior dano à planta em relação às demais deficiências estudadas (Tabela 1).

O teor e as quantidades acumuladas de N na parte aérea do tratamento completo foram de 39,20 g kg⁻¹ e 20,28 mg planta⁻¹, enquanto no tratamento com omissão deste nutriente esses valores reduziram-se para 10,93 g kg⁻¹ e 5,65 mg planta⁻¹, respectivamente (Tabelas 3 e 4). Assim, a omissão de N diminuiu a absorção deste nutriente, ocasionando plantas com menor acúmulo de matéria seca da parte aérea, sistema radicular e planta toda, quando comparados aos demais tratamentos (Tabela 2). Além disso, a omissão do presente nutriente na solução nutritiva diminuiu significativamente o teor e o acúmulo de outros nutrientes, além do N, como o K (38,53 g kg⁻¹; 114,71 mg planta⁻¹) e o Ca (7,10 g kg⁻¹; 24,89 mg planta⁻¹), respectivamente, não provocando alterações nos demais nutrientes (Tabela 3).

Tabela 1 - Análise de desenvolvimento da aveia-preta, cv. Comum, após 35 dias de cultivo em soluções nutritivas completas e com omissão N, P, K, Ca, Mg e S. ⁽¹⁾

Table 1 - Analysis of some growth characteristics of lopsided oat plants growing for 35 days in complete and incomplete nutrient solutions. ⁽¹⁾

Tratamentos	Altura (cm)	Número de Folhas	Número de Perfilhos
Completo	75,00 ^{ab}	32,67 ^a	9,67 ^a
Completo sem N	58,00 ^c	7,50 ^d	1,83 ^e
Completo sem P	77,83 ^a	15,77 ^c	4,17 ^{de}
Completo sem K	77,83 ^a	25,83 ^b	7,00 ^{bc}
Completo sem Ca	73,83 ^{ab}	38,00 ^a	8,33 ^{ab}
Completo sem Mg	63,17 ^{bc}	21,00 ^{bc}	5,67 ^{cd}
Completo sem S	77,00 ^a	34,00 ^a	7,50 ^{abc}
Q.M.	272,94 ^{**}	367,86 ^{**}	34,72 ^{**}
C.V. (%)	5,9	8,5	14,7

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ Means followed by the same letter do not differ at the 5% level of probability according to the Tukey's test.

Os sintomas visuais de deficiência iniciaram com clorose uniforme da parte vegetativa, intensificando-se nas folhas mais velhas, que evoluíram gradativamente à necrose, especialmente na extremidade das mesmas. Isto concorda com EPSTEIN & BLOOM (2006), que afirmam que as partes mais maduras das plantas em geral são as primeiras a se tornar afetadas, pois o N transloca-se de regiões mais velhas para as mais jovens. E também observou-se menor comprimento e espessura no limbo foliar, além de maior senescência foliar e menor enchimento de panícula ao final do experimento.

Estes efeitos deletérios da omissão do nitrogênio na planta ocorre devido sua importância na fenologia das plantas. CARELLI et al.

(1996), em um experimento com girassol, em solução nutritiva, 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.

Fósforo (P)

Com a omissão de P, pode-se observar diminuição do número de folhas e perfilhos, em relação ao tratamento completo (Tabela 1), resultando em menor produção de matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de aveia-preta (Tabela 2).

Tabela 2 - Produção média de matéria seca da raiz, parte aérea e total da aveia-preta, cv. Comum, após 35 dias de cultivo em soluções nutritivas completas e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S. ⁽¹⁾

Table 2 - Total dry mass production by the aerial part, root system and the total plant of lopsided oat cultivar common plants after 35 days in complete and incomplete nutrient solutions. ⁽¹⁾

Tratamentos	Raiz	Parte aérea	Total
	----- g planta ⁻¹ -----		
Completo	0,67a	3,75a	4,42a
Completo - N	0,24e	0,52e	0,76d
Completo - P	0,52c	2,26c	2,77c
Completo - K	0,37d	2,99b	3,36bc
Completo - Ca	0,58b	3,5ab	4,09a
Completo - Mg	0,16f	1,24d	2,77c
Completo - S	0,65a	3,29ab	3,95ab
Q.M.	0,10 ^{**}	5,72 ^{**}	7,10 ^{**}
C.V. (%)	4,4	9,5	7,8

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; ** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

⁽¹⁾ Means followed by the same letter do not differ at the 5% level of probability according to the Tukey's test; ** Significant at the 5% level of probability by the F test.

As plantas que receberam o tratamento com a omissão do elemento apresentaram redução significativa no teor e no acúmulo do nutriente na parte aérea, em relação ao tratamento completo, respectivamente de 7,97 g kg⁻¹ para 0,97 g kg⁻¹, e de 17,97 mg planta⁻¹ para 2,17 mg.planta⁻¹ (Tabelas 3 e 4). Assim, o teor de P no tratamento completo está pouco acima do indicado por MARSCHNER (1995), que relatou teor de P igual a 3 e 6 g kg⁻¹ para otimizar o crescimento da maioria das culturas durante o

estádio vegetativo de crescimento. NAKAGAWA & ROSOLEM (2005), trabalhando com aveia-preta em condições de campo também observaram menor teor de P (5,56 g.kg⁻¹), em plantas submetidas a tratamento com a dose máxima do elemento (80 kg ha⁻¹ de P₂O₅). A omissão de P também reduziu significativamente o teor e o acúmulo do N (26,63 g kg⁻¹; 13,72 mg planta⁻¹), bem como o teor do K (63,67 g kg⁻¹), comparado ao tratamento completo (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Teores de macronutrientes da parte aérea da aveia-preta, cv. Comum, após 35 dias de cultivo em soluções nutritivas completas e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S.⁽¹⁾

Table 3 - Macronutrient levels in the aerial part of lopsided oat plants growing for 35 days in complete and incomplete nutrient solutions.⁽¹⁾

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Q.M.	C.V. (%)
	g kg ⁻¹							
Completo	39,20Ab	7,97ABc	73,83Aa	9,53CDc	2,67Cd	2,97BCDd	2440,82**	7,3
Completo - N	10,93Db	7,10Bc	38,53Ca	7,10Ec	2,77Cd	2,90CDd	552,03**	5,7
Completo - P	26,63Cb	0,97Cd	63,67Ba	8,27DEc	2,13Cd	2,73Dd	1826,64**	7,4
Completo - K	40,70Aa	8,93Ad	17,57Db	14,13Ac	3,93Be	3,23ABCe	579,11**	4,0
Completo - Ca	39,33Ab	9,47Ac	68,83ABa	1,73Fd	5,20Acd	3,57Acd	2208,70**	9,8
Completo - Mg	34,47Bb	9,23Acd	69,17ABa	11,70Bc	0,67De	3,27ABde	2071,92**	10,4
Completo - S	37,40ABb	9,43Ac	66,17ABa	11,00BCc	2,80Cd	2,17Ed	1923,36**	5,7
Q.M.	343,02**	27,84**	1297,84**	47,42**	6,01**	0,61**		
C.V. (%)	4,5	7,9	6,0	7,7	10,1	3,9		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na vertical e minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% probabilidade pelo teste F.

⁽¹⁾Means in the same column followed by the same large letters and in the same line followed by the same small letter are not statistically different at the 5% level of probability according to Tukey's test; ** Significant at 1% level of probability by F test.

Tabela 4 - Acúmulo de macronutrientes na parte aérea da aveia-preta, cv. Comum, após 35 dias de cultivo em soluções nutritivas completas e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S.⁽¹⁾

Table 4 - Macronutrients accumulated in the aerial part of lopsided oat cv Common plants growing for 35 days in complete and incomplete nutrient solutions.⁽¹⁾

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Q.M.	C.V. (%)
	mg planta ⁻¹							
Completo	20,28ABbc	17,97ABbc	221,61Aa	33,45CDb	3,31Cc	9,78BCDc	26847,23**	12,6
Completo - N	5,65Dde	15,99Bc	114,71Ba	24,89Eb	3,42Ce	9,55CDd	6537,85**	6,1
Completo - P	13,72Cc	2,17Ce	190,09Aa	28,99DEb	2,65Ce	9,01Dd	19988,80**	1,1
Completo - K	21,07Ac	20,21Ac	52,35Ca	49,60Ab	4,88Be	10,65ABCd	1389,12**	5,6
Completo - Ca	20,36ABb	21,22Ab	206,07Aa	6,08Fd	6,45Ad	11,76Ac	23471,95**	2,3
Completo - Mg	17,83Bc	20,77Ac	206,71Aa	41,04Bb	0,83Dd	10,77ABcd	24815,86**	9,6
Completo - S	19,32ABc	21,04Ac	197,43Aa	38,61BCb	3,48Ce	7,15Ed	20024,83**	1,6
Q.M.	92,15**	140,26**	11683,50**	584,26**	9,25**	6,61**		
C.V. (%)	6,0	8,0	9,9	7,8	10,2	4,0		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na vertical e minúscula na horizontal, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% probabilidade, pelo teste F.

⁽¹⁾Means in the same column followed by the same large letters and in the same line followed by the same small letter are not statistically different at the 5% level of probability according to Tukey's test; ** Significant at 1% level of probability by F test.

As plantas com sintomas de deficiência em P apresentaram crescimento lento, e, nas folhas mais velhas, observou-se evolução da cor verde-escura para tons roxos nas pontas e margens das mesmas. Houve uma pequena diminuição no volume e no comprimento do sistema radicular das plantas.

Potássio (K)

A planta foi afetada pela omissão de K, tendo os resultados do número de folhas, perfilhos e matéria seca total significativamente inferiores às plantas que receberam o tratamento completo (Tabelas 1 e 2).

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de K apresentaram significativamente menores teores e acúmulos do nutriente na parte aérea quando comparadas ao tratamento completo ($73,83 \text{ g kg}^{-1}$ para $17,57 \text{ g kg}^{-1}$) e ($221,61 \text{ mg planta}^{-1}$ para $52,35 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabelas 3 e 4). Assim, a omissão de K provocou diminuição de 4,2 vezes sobre a absorção do nutriente em relação ao tratamento completo.

É oportuno salientar que o N, de forma geral, apresenta-se em maior teor e acúmulo na maioria das plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2006), entretanto observou-se que, no tratamento completo, o K superou o N em teor e acúmulo na parte aérea das plantas de aveia-preta (Tabelas 3 e 4).

Com a omissão de K na solução nutritiva, observaram-se aumentos significativos nos teores e acúmulos de Ca ($14,13 \text{ g kg}^{-1}$; $49,60 \text{ mg planta}^{-1}$, respectivamente) e Mg ($3,93 \text{ g kg}^{-1}$; $4,88 \text{ mg planta}^{-1}$, respectivamente) na parte aérea da planta, comparando-se ao tratamento completo. Estes dados concordam com VELOSO et al. (1998) que, na omissão de K na solução nutritiva, relataram aumento do teor e acúmulo de Mg na parte aérea da pimenta-do-reino.

A omissão do elemento ocasionou, inicialmente, clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas seguida por secamento e necrose, internódios mais tortuosos e maior acamamento. Nas raízes, notou-se coloração amarelada.

Cálcio (Ca)

O tratamento com a omissão de cálcio não diferiu quanto aos parâmetros altura da planta, número de folhas e perfilhos (Tabela 1) e matéria seca da parte aérea (Tabela 2), em relação ao tratamento completo; entretanto, observou-se redução da matéria seca das raízes, comparativamente ao tratamento completo (Tabela 2). Possivelmente, este efeito da omissão de Ca não proporcionou maior queda na produção de biomassa das plantas, pois, no tratamento completo, o N é totalmente fornecido como nitrato (NO_3^-), enquanto, no tratamento com omissão de Ca, o

nitrogênio é fornecido como nitrato (NO_3^-) e também amônio (NH_4^+). E assim, no tratamento com omissão de Ca, parte do N na forma de amônio promoveu o maior desenvolvimento vegetativo, pois o gasto energético para assimilação do N na forma de amônio é inferior, comparado ao nitrato.

As plantas submetidas à omissão de Ca apresentaram menor teor e acúmulo do nutriente ($1,73 \text{ g kg}^{-1}$; $6,08 \text{ mg planta}^{-1}$) que no tratamento completo ($9,53 \text{ g kg}^{-1}$; $33,45 \text{ mg planta}^{-1}$), respectivamente (Tabelas 3 e 4).

Além disso, a omissão do nutriente aumentou significativamente em comparação ao tratamento completo, respectivamente, o teor e o acúmulo de S ($3,57 \text{ g kg}^{-1}$ e $11,76 \text{ mg planta}^{-1}$) e Mg ($2,67 \text{ g kg}^{-1}$ e $6,45 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabelas 3 e 4). Assim, com a omissão de Ca, ocorre um desbalanço nutricional, resultando em desequilíbrio dos demais nutrientes. Possivelmente, este aumento da absorção de S pelas plantas ocorreu devido à presença do amônio na solução nutritiva. Pois, TISDALE et al. (1985) indicaram que a absorção do N na forma amoniacal pode estimular a absorção de outros nutrientes, a exemplo do S.

Estes resultados podem indicar que a aveia-preta é pouco exigente em cálcio, pois a omissão do mesmo diminuiu drasticamente sua absorção, sem, entretanto, refletir significativamente na produção da matéria seca da parte aérea e total da planta (Tabela 2). Essa característica possivelmente favoreceu a cultura ter-se adaptado em solos de cerrado, que apresentam, frequentemente, reação ácida e baixa concentração de Ca.

Os efeitos semelhantes na diminuição da matéria seca de raiz, em plantas submetidas a deficiência de Ca, também foram constatados por PRADO & NATALE (2004a,b) nas culturas de caramboleira e goiabeira, sob níveis de Ca, via calagem. Assim, o Ca é um nutriente com papel preponderante no crescimento radicular das plantas, conforme relatado por RITCHEY et al. (1982).

As plantas submetidas à omissão de Ca apresentaram inicialmente retorcimento, clorose nas margens das folhas superiores, evoluindo para necrose e dilaceração com clorose inter-nerval, além de maior acamamento e branqueamento pronunciado nas raízes. A falta de cálcio na plantas, em geral, é caracterizada pela redução do crescimento de tecidos meristemáticos, sendo observado, inicialmente, nas extremidades em crescimento e nas folhas mais jovens (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Magnésio (Mg)

Houve diminuição significativa da altura, do número de folhas e perfilhos e da matéria seca da raiz, das folhas e do total da planta culti-

vada na solução nutritiva com a omissão de Mg (Tabelas 1 e 2).

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de Mg apresentaram significativamente menor teor do nutriente na parte aérea ($0,67 \text{ g kg}^{-1}$), comparado ao tratamento completo ($2,67 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3). NAKAGAWA E ROSOLEM (2005), em experimento de campo, encontraram teores de 3,74 e $3,27 \text{ g kg}^{-1}$ de magnésio na folha diagnóstica. Da mesma forma, ocorreu com o Mg acumulado, tendo maior acúmulo do nutriente no tratamento completo ($3,31 \text{ mg planta}^{-1}$), comparado ao deficiente ($0,83 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 4).

Salienta-se que os maiores teores de Mg foram encontrados nas omissões de K e Ca (Tabela 3), caracterizando o efeito da inibição competitiva do K na absorção do Mg (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Os primeiros sintomas de deficiência de Mg foram observados nas folhas mais velhas, que apresentaram retorcimento e amarelamento nas margens e ao longo das nervuras, evoluindo-se para necrose das regiões cloróticas, além de acamamento das plantas e diminuição no porte.

Além disso, a omissão do presente nutriente, na solução nutritiva, afetou negativa e significativamente o teor de N ($34,47 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3). Isto pode ser explicado devido ao fato de que o Mg é constituinte fundamental da clorofila, em que ocupa o centro de uma estrutura planar formada por um anel tetrapirrólico, no qual também estão inseridos quatro átomos de nitrogênio (MALAVOLTA et al., 1997). Com isso, na deficiência de Mg, há diminuição de clorofila e por sua vez de nitrogênio, que se caracterizou pelos sintomas de clorose descritos anteriormente.

Enxofre (S)

As plantas de aveia-preta sob deficiência de S não apresentaram alteração significativa para as variáveis de crescimento estudadas, bem como da produção de matéria seca, comparativamente ao tratamento completo (Tabelas 1 e 2). Este fato, possivelmente, ocorreu por causa da acumulação parcial do nutriente anterior ao início da omissão.

Observa-se que as plantas submetidas à omissão de S apresentaram, significativamente, menor teor do nutriente na parte aérea ($2,97 \text{ g kg}^{-1}$), comparado ao tratamento completo ($2,17 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3). Da mesma forma, ocorreu com o S acumulado pelas plantas, tendo maior valor no tratamento completo ($9,78 \text{ mg planta}^{-1}$), comparado ao deficiente ($7,15 \text{ mg planta}^{-1}$) (Tabela 4). Esta diminuição da absorção de S pelas plantas submetidas à omissão do nutriente foi suficiente para provocar algumas alterações nas plantas. Houve maior espaçamento entre internódios e o aparecimento de folhas novas e re-

cém-formadas cloróticas, indicando que os tecidos mais velhos não puderam contribuir para o suprimento de enxofre para os tecidos novos, os quais são dependentes do nutriente absorvido pelas raízes. De acordo com ANDREW (1962), a deficiência de enxofre resulta em restrição ao crescimento da planta.

É oportuno salientar que DIJKSHOORN & VAN WIJK, citados por WERNER & MONTEIRO (1988), em ampla revisão na literatura, observaram, em condições de normal suprimento de nitrogênio e enxofre, proporções aproximadas entre eles da ordem de 13,6:1 para gramíneas, dado este bem próximo à relação da presente pesquisa (13,2:1) (Tabela 3). Os mesmos autores reforçam que relações mais largas do que esta devem ocorrer nos casos de deficiência de S. Este fato foi observado com a omissão de enxofre, onde a relação N:S foi larga (17,8:1) (Tabela 3).

Acrescenta-se que não houve queda maior na produção de matéria seca da aveia-preta, possivelmente pelo fato de que o teor do nutriente na parte aérea não atingiu valor muito baixo ($S = 2,17 \text{ g kg}^{-1}$), pois NAKAGAWA & ROSOLEM (2005) observaram em plantas de aveia-preta cv. Comum, com adequado desenvolvimento, em condições de campo, teor de S igual a $2,65 \text{ g kg}^{-1}$.

Por fim, observou-se, no tratamento completo, a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes na parte aérea: $K > Ca \leftrightarrow N \leftrightarrow P \leftrightarrow S \leftrightarrow Mg$, sendo o cálcio mais extraído do que o S e Mg (Tabela 4). Para os teores de nutrientes da parte aérea, encontrou-se a seguinte ordem: $K > N > Ca \leftrightarrow P > S \leftrightarrow Mg$ (Tabela 3). Entretanto, estes resultados discordam dos de CANTARELLA et al. (1996), que indicam a seguinte ordem: $N > K > Ca > P > Mg > S$.

Estas diferenças, possivelmente, ocorrem devido ao tecido vegetal, ou seja, no presente trabalho, considerou-se a parte aérea das plantas, enquanto, para CANTARELLA et al. (1996), o tecido foi a folha-bandeira. E também há outros fatores, como a condição de cultivo (solução nutritiva e campo), cultivares distintas, entre outros.

Conclusões

A omissão de N, P, K e Mg foram as que mais limitaram a produção de matéria seca e o desenvolvimento da aveia-preta.

O teor de nutrientes, na parte aérea, das plantas de aveia-preta do tratamento completo e da omissão foi, respectivamente: $N = 39,2$ e $10,9$; $P = 8,0$ e $1,0$; $K = 73,8$ e $17,6$; $Ca = 9,5$ e $1,7$; $Mg = 2,7$ e $0,7$; $S = 3,0$ e $2,1 \text{ g kg}^{-1}$.

A deficiência de um nutriente diminuiu sua absorção pelas plantas e, conseqüentemente, houve alterações morfológicas, traduzi-

das como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

Referências

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.189-197, 2001.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.115-123, 2004.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.45-47 (Boletim, 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.
- DEBARBA, L.; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p. 473-480, 1997.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80p. (Circular, 73).
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. Tradução Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 86p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5th.ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bem: Intern. Postash Institute, 1987. 687p.
- NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.441-445, 2005.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa - MG: UFV, 1999. 399p.
- PÖTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.763-770, 1994.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. A calagem na nutrição e no desenvolvimento do sistema radicular da caramboleira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.3, n.1, p.3-8, 2004 a.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1007-1012, 2004 b.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, p.378-382, 1982.
- SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; COSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia-preta. I - Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.1075-1083, 2003.
- TISDALE, S. L.; BEATON, J. D.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 4th.ed. New York: Mac Millan, 1985. 754p.
- VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. de. Diagnose de deficiências de macronutrientes em pimenta-do-reino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.1889-1896, 1998.
- WERNER, J. C.; MONTEIRO, F. A. Respostas das pastagens a aplicação de enxofre. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. **Enxofre e micronutrientes na agricultura Brasileira**, Londrina: IAPAR, 1988. cap.4, p.87-102.

Recebido em 02-08-2006

Aceito para publicação em 28-07-2008