

OMISSÃO DE NUTRIENTES NO CRESCIMENTO, NA NUTRIÇÃO E NOS SINTOMAS VISUAIS EM PLANTAS DE MILHO VARIEDADE AL-BANDEIRANTE

Renato de Mello Prado¹; Claudenir Facincani Franco²

¹ Eng. Agr., Prof. Dr. Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp. Via de Acesso Paulo Donato Castellane, s/n., 14870-000, Jaboticabal, SP. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

² Eng. Agr., Mestre em Ciência do Solo, Depto. de Solos e Adubos, FCAV/Unesp.

RESUMO

A omissão de nutriente pode promover desordem nutricional distinta em função do genótipo. Assim, objetivou-se avaliar a omissão de nutrientes sobre a nutrição e o crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) da variedade Al-Bandeirante, cultivado em solução nutritiva. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizados, com duas repetições, tendo os seguintes tratamentos: solução completa; omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e B. Aos 42 dias após a aplicação dos tratamentos, avaliaram-se o desenvolvimento (altura das plantas, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar e matéria seca de raiz, caule, folhas), o estado nutricional e os sintomas visuais de deficiência. A deficiência de NPK foi que mais limitou o desenvolvimento das plantas de milho. O teor dos nutrientes nas plantas de milho do tratamento completo e da omissão foram respectivamente: N = 26,7 e 9, P = 9,4 e 0,6; K = 44,7 e 6,1, Ca = 4,2 e 0,7, Mg = 4,8 e 1,0, S = 2 e 0,9 g kg⁻¹, B = 52 e 34, Zn = 19 e 9 mg kg⁻¹. A deficiência de um nutriente, além de promover diminuição do teor na parte aérea, causou um desequilíbrio entre o outros nutrientes e conseqüentemente houve alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

Palavras-chave: *Zea mays*, nutrição mineral, nutrientes, omissão de nutrientes.

OMISSION OF NUTRIENTS IN THE GROWTH, THE NUTRITION AND THE VISUAL SYMPTOMS IN MAIZE PLANTS AL-BANDEIRANTE VARIETY

ABSTRACT

The nutrient omission can promote different nutritional disorder in function of the genotype. Like this, it was aimed at to evaluate the omission of nutrients on the nutrition and

the development of corn plants (*Zea mays* L.) of the variety Al-Bandeirantes, cultivated in nutritious solution. A completely randomized design, with two replications, having the following treatments: complete solution; individual omission of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn and B. Forty two days after the application of the treatments, the development (height of the plants, number of leaves, diameter of the stem, leaf area and matter dry of root, stem, leaves), the nutritional state and the visual symptoms of deficiency were evaluated. The deficiency of NPK was the one that most limited the development of the corn plants. The content of the nutrients in the plants of corn from the complete treatment and from the omission were: N = 26.7 and 9, P = 9.4 and 0.6; K = 44.7 and 6.1, Ca = 4.2 and 0.7, Mg = 4.8 and 1.0, S = 2 and 0.9 g kg⁻¹, B = 52 and 34, Zn = 19 and 9 mg kg⁻¹. The deficiency of a nutrient, besides promoting decrease of the contents in the aerial part, caused an unbalance among the other nutrients and consequently morphologic alterations, as characteristic symptoms of deficiency of each nutritious one.

Key words: *Zea mays*, mineral nutrition, nutrients, omission of nutrients.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutricional constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no planeta (Fancelli & Dourado Neto, 1996). Assim, a expansão da cultura do milho no Brasil, ocorreu graças aos programas de melhoramento que permitiram que fossem alcançados sucessos substanciais com a obtenção de cultivares melhoradas e híbridos (simples, duplo ou triplo) superiores (Paterniani & Miranda Filho, 1978). Assim, existem variabilidade genética das plantas de milho nessas cultivares que aumenta do híbrido simples para o híbrido triplo, híbrido duplo e,

finalmente, a variedade cultivada (Lemos, 1976). Além, do fator genético, os aspectos da nutrição da planta tem relação direta com a produção da cultura do milho.

A desordem nutricional de um determinado nutriente pode ser semelhante pelo fato de que ele exerce sempre a mesma função, qualquer que seja o vegetal (Meyer et al., 1983). Entretanto, existem respostas peculiares entre os genótipos como resultado da expressão genética, influenciando a distribuição dos elementos ou a sensibilidade de sistemas metabólicos (Vose, 1963), o que se reflete na manifestação e na severidade dos sintomas (Heathcote & Smithson, 1974). A literatura, indica os sintomas gerais de deficiência de nutrientes na cultura do

milho (Malavolta et al., 1989), ao passo que avaliações da desordem nutricional completos envolvendo a relação dos efeitos da omissão do nutriente, no crescimento e nutrição e os reflexos na sintomatologia, especialmente em variedades de milho, são poucos no Brasil.

Assim, objetivou-se avaliar a omissão de nutrientes sobre o crescimento, a nutrição e os sintomas visuais de deficiência, de plantas de milho da variedade Al-Bandeirante, cultivado em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, com milho da variedade Al-Bandeirante. Utilizou-se a técnica da omissão de nutriente, em solução nutritiva, aerada (Epstein, 1975).

Para isto, inicialmente, semeou-se o milho em bandejas plásticas (5 L) preenchidas com vermiculita. Após a emergência das plântulas de milho, aplicou-se nas bandejas a solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950) diluída (1:10) por duas semanas. Após esse período, as plantas foram selecionadas de acordo com a uniformidade e transplantadas para os vasos (2,5 L), onde aplicou-se os tratamentos, sendo a solução completa de Hoagland & Arnon (1950) e com a omissão de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e B. Assim, utilizou-se delineamento

inteiramente casualizado, com duas repetições, tendo nove tratamentos: solução completa (todos nutrientes); omissão individual (Diagnose por subtração) de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e B. E a unidade experimental foi composta de um vaso com 2,5 L de solução nutritiva.

As soluções nutritivas foram trocadas semanalmente e continuamente aeradas, completando-se diariamente o nível da solução no vaso com água destilada e ajustando o valor pH entre 5 e 6, com HCl 1N e NaOH 1N.

Aos 42 dias após aplicação dos tratamentos, foram realizadas avaliações da área foliar, com o auxílio de um aparelho (LI-COR Modelo LI-3100), diâmetro de caule (5 cm do colo), número de folhas (completamente expandidas) e a altura. A seguir, as plantas foram divididas em raízes, caule e folhas e lavadas em água destilada e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 60° C, para a determinação da matéria seca. A parte aérea das plantas, foram moídas e armazenadas para as determinações químicas dos teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal, e que seguiram a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Para avaliação dos resultados foi utilizada a análise de variância e a comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos afetaram o desenvolvimento das plantas de milho (Tabela 1), e os teores de nutrientes da parte aérea do milho (Tabela 2), provocando sintomas visuais característicos para cada nutriente. Assim, os resultados serão discutidos em função do nutriente em estudo.

Nitrogênio

A planta foi afetada pela deficiência de N, visto que os resultados das variáveis altura, número de folhas, o diâmetro de caule, a área foliar e a matéria seca foram significativamente inferiores à testemunha, com solução completa (Tabela 1). Este efeito da omissão do N na redução da produção de matéria seca das plantas é amplamente relatado na literatura, pois segundo Muzilli & Oliveira (1982), o nitrogênio é o elemento que mais freqüentemente limita o crescimento e a produção do milho.

O menor desenvolvimento das plantas com deficiência de N é explicado pelos seus efeitos na nutrição da planta. Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de N na solução nutritiva, houve diminuição nos teores de N (26,7 até 9 g kg⁻¹), Mg (4,8 até 2,5 g kg⁻¹), Fe (83 até 60 g kg⁻¹) e Zn (19 até 11 g kg⁻¹) e acréscimo nos teores de B (52 até 73 mg kg⁻¹) e de Mn (94 até 133 mg kg⁻¹), respectivamente (Tabela 2). No

tratamento com omissão de N, apenas o teor de N e do Zn, atingiram valor inferior ao considerado adequado segundo Malavolta et al. (1997) (N=27,5 a 32,5 g kg⁻¹; Zn=15 a 50 mg kg⁻¹), ao passo que o Mg, Fe e Mn estão na faixa considerada adequada, e o B acima desta faixa. Assim, observa-se que a omissão do N, promoveu menor teor na plantas, traduzindo em menor crescimento, tendo em vista a importância no nutriente na nutrição das plantas. O N exerce função estrutural, sendo constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromos e da clorofila (Malavolta et al., 1997). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (Schroder et al., 2000).

Observou-se que as plantas submetidas a solução com N houve maior teor de Zn no tecido vegetal. Arnon (1975) também observou, que o aumento do suprimento do N elevou os teores foliares de Zn no milho. E com relação a diminuição no teor de Mg, nas plantas submetidas a omissão de N, ocorre segundo Marschner (1995) devido ao fato que a taxa de absorção de Mg é afetada negativamente pelo nitrogênio (NH₄⁺).

Salienta-se, ainda, que as diferenças dos teores de nutrientes, são também afetadas pelos tecidos vegetais distintos, na época de florescimento da cultura, visto

que no trabalho é a parte aérea e Malavolta et al. (1997), consideram a folha abaixo e oposta da espiga.

Tabela 1. Número de folhas, altura de planta, diâmetro do caule, área foliar e matéria seca do milho variedade Al-Bandeirante, em função da aplicação da solução completa e da omissão de nutrientes na solução nutritiva.

| Tratamentos | Número de folhas | Altura de planta (cm) | Diâmetro de caule (mm) | Área foliar (dm ²) | Matéria seca (g) | | | |
|-------------|------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------------------|-------|-------|--------|
| | | | | | Raiz | Caule | Folha | Total |
| Completo | 11,0 | 81,5 | 19,0 | 7,90 | 2,14 | 1,42 | 12,65 | 16,21 |
| - N | 6,5* | 19,0* | 7,5* | 1,18* | 0,38* | 0,20* | 0,78* | 1,35* |
| - P | 6,0* | 18,0* | 6,1* | 1,16* | 0,24* | 0,15* | 0,81* | 1,19* |
| - K | 6,0* | 24,5* | 10,0* | 2,70* | 0,48* | 0,35* | 4,46* | 5,29* |
| - Ca | 5,5* | 26,0* | 18,3 | 4,74 | 0,62* | 0,87 | 2,79* | 4,28* |
| - Mg | 7,5* | 82,0 | 14,3* | 4,10 | 0,11* | 0,90 | 4,45* | 5,46* |
| - S | 7,0* | 44,8* | 15,5 | 4,88 | 1,70 | 1,04 | 8,30* | 11,04* |
| - B | 6,8* | 49,5* | 16,0 | 4,36 | 1,51 | 1,30 | 5,60* | 8,40* |
| - Zn | 8,5* | 72,5* | 16,3 | 7,89 | 1,55 | 0,36* | 8,76* | 10,67* |
| CV (%) | 9,4 | 19,2 | 7,0 | 39,8 | 20,3 | 31,8 | 15,5 | 14,2 |

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

Tabela 2. Teores de nutrientes na parte aérea de plantas de milho, variedade Al-Bandeirante, em função da aplicação da solução completa e da omissão de nutrientes na solução nutritiva.

| Tratamento | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------|-------|------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| | | | | | | | | | | | |
| Completo | 26,7 | 9,4 | 44,7 | 4,2 | 4,8 | 2,0 | 52 | 7 | 83 | 94 | 19 |
| - N | 9,0* | 6,7 | 37,1 | 4,8 | 2,5* | 1,1 | 73* | 4 | 60* | 133* | 11* |
| - P | 25,4 | 0,6* | 36,4 | 6,9* | 2,9* | 2,4 | 71* | 8 | 100* | 78 | 23 |
| - K | 34,4* | 7,8 | 6,1* | 6,5* | 4,4 | 2,1 | 73* | 9 | 58* | 94 | 25* |
| - Ca | 27,5 | 9,8 | 74,5* | 0,7* | 3,8 | 2,6 | 60 | 10 | 94* | 125* | 15 |
| - Mg | 27,8 | 6,6* | 63,0* | 4,3 | 1,0* | 2,0 | 53 | 10 | 73* | 143* | 20 |
| - S | 26,2 | 6,6* | 53,6 | 4,6 | 2,7* | 0,9* | 50 | 5 | 66* | 77 | 19 |
| - B | 28,6 | 6,4* | 58,5* | 5,0 | 2,3* | 2,2 | 34* | 8 | 76 | 113* | 23* |
| - Zn | 27,8 | 6,9 | 40,6 | 2,9 | 2,5* | 1,6 | 46 | 7 | 66* | 55* | 9* |
| C.V.(%) | 4,5 | 10,3 | 5,8 | 9,6 | 12,3 | 14,1 | 5,1 | 15,8 | 3,1 | 4,6 | 5,2 |

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

Os efeitos da omissão do N, no desenvolvimento e na nutrição das plantas resultaram no aparecimento de sintomas visuais de deficiência, sendo que inicialmente houve clorose uniforme da parte vegetativa, intensificando-se nas folhas mais velhas, o que pode ser explicado pela elevada mobilidade do K na planta, quanto à redistribuição (Epstein, 1975). As folhas mais velhas foram necrosadas da ponta e margens para parte central da folha, e evolução de uma clorose uniforme nas folhas mais jovens.

Possivelmente este comportamento possa ser explicado pelo fato de N tomarem parte da molécula de clorofila, conforme a fórmula empírica da clorofila: $C_{55}H_{72}O_5N_4 Mg$ (Devlin, 1969). Além disso, como a deficiência de N reduz o crescimento, a utilização de assimilados pela planta é reduzida e maiores quantidades de carbono podem ser desviadas para a formação de amido (Rufy Jr. et al., 1988). Se o acúmulo de amido no cloroplasto for excessivo, a fotossíntese pode ser seriamente afetada, por dificultar a chegada do CO_2 aos sítios de carboxilação da RubisCO (Guidi et al., 1998). 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.

Fósforo

A planta sob deficiência de P apresentou as variáveis de desenvolvimento estudadas significativamente inferiores à testemunha, com solução completa (Tabela 1). A omissão do P provocou maior redução da parte aérea (caule+folhas) (93%), comparado a matéria seca de raiz (89%), comparado ao tratamento completo. Esses resultados estão em concordância com aqueles observados por Silva & Gabelman (1993) e Machado et al. (1999) para milho.

Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de P na solução nutritiva, houve diminuição nos teores de P (9,4 até 0,6 $g\ kg^{-1}$), Mg (4,8 até 2,9 $g\ kg^{-1}$) e aumento no Ca (4,2 até 6,9 $mg\ kg^{-1}$), B (52 até 71 $mg\ kg^{-1}$) e o Fe (83 até 100 $mg\ kg^{-1}$) (Tabela 2). Cabe destacar, que este aumento no teor dos nutrientes Ca, B e Fe, com a omissão do P, ocorreu pelo efeito deste tratamento ter provocado diminuição da matéria seca das plantas (Tabela 1), e com isso provavelmente houve efeito concentração.

Segundo Malavolta et al. (1997), apenas o teor de P, no tratamento com a omissão do mesmo, esteve abaixo da faixa adequada (2,5-3,5 $g\ kg^{-1}$). Tendo em vista, os efeitos da omissão de P, na nutrição e no crescimento lento das plantas, observou-se agravamento da desordem

nutricional, que teve início com a ocorrência de uma cor verde-escura das folhas mais velhas, e em seguida tons roxos nas pontas e margens das folhas. Esse sintoma de arroxamento seria decorrente do acúmulo de fotoassimilados nos tecidos, o que favorece a síntese de antocianina, pigmento que confere essa coloração (Mengel & Kirkby, 1987). Assim, este crescimento lento das plantas, quando omitiu-se o P da solução nutritiva, deve-se ao seu papel na planta, segundo Malavolta et al. (1989), está ligado a função estrutural e no processo de transferência e armazenamento de energia para garantir o máximo metabolismo do vegetal.

Potássio

A planta foi afetada pela omissão de K tendo os resultados da altura, número de folhas, diâmetro de caule, área foliar e matéria seca significativamente inferiores à testemunha com solução nutritiva completa (Tabela 1). Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de K na solução nutritiva, houve diminuição nos teores de K (44,7 até 6,1 g kg⁻¹), Fe (83 até 58 g kg⁻¹) e aumento no N (26,7 até 34,4 mg kg⁻¹), Ca (4,2 até 6,5 mg kg⁻¹), B (52 até 73 mg kg⁻¹) e o Zn (19 até 25 mg kg⁻¹) (Tabela 2). Apenas o teor de K foi reduzido, no tratamento com omissão do mesmo, em níveis abaixo da faixa

considerada adequada por Malavolta et al. (1997) (K=17,5-22,5 g kg⁻¹).

A sintomatologia de deficiência de K, caracterizou-se pela clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas, seguida de secamento, necrose do tecido; colmos com internódios mais curtos e finos, plantas menores, o que está de acordo com Büll (1993). A necrose nas folhas do milho ocorreu pelo fato do acúmulo da putrecina, um composto tóxico, fato este comum em plantas deficientes em K (Malavolta & Crocomo, 1982). O principal papel do K na produção de biomassa das plantas ocorre pelo fato de ser grande ativador enzimático, ou seja, o nutriente induz mudanças de conformação nas enzimas e aumenta-se a taxa das reações catalíticas (V_{max}) e, em muitos casos, também a afinidade pelo substrato (K_m) (Evans e Wildes, 1971).

Cálcio

A omissão de Ca da solução nutritiva causou diminuição da altura, do número de folhas e da matéria seca da raiz, das folhas e do total da planta (Tabela 1). Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de Ca na solução nutritiva, houve diminuição no teor Ca (4,2 até 0,7 g kg⁻¹) e aumento no teor de K (44,7 até 74,5 mg kg⁻¹), Fe (83 até 94 mg kg⁻¹) e de Mn (94 até 125 mg kg⁻¹) (Tabela 2). Apenas o teor de Ca foi reduzido, no tratamento com omissão do

Ca, em níveis abaixo da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) ($\text{Ca}=2,5-4,0 \text{ g kg}^{-1}$).

As plantas sob deficiência de Ca, desenvolveram sintomatologia caracterizada inicialmente com clorose nas folhas superiores, seguido de necrose e dilaceração das margens e clorose internerval. Sintomas estes semelhantes aos observados pela 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 e Kirkby, 1987). Os efeitos do Ca na dilaceração das margens das folhas deve-se ao seu papel nas plantas, fazendo parte dos pectatos de Ca da parede celular, conferindo estruturação das células (Malavolta et al., 1989).

Magnésio

Houve diminuição significativa do número de folhas, do diâmetro de caule e da matéria seca da raiz, das folhas e do total da planta cultivada na solução nutritiva com a omissão de Mg (Tabela 1). Esta redução do desenvolvimento da planta sob deficiência de Mg, é explicado pelo fato que este tratamento causou redução significativa, em comparação com tratamento completo, respectivamente, nos teores de Mg (4,8 até $1,0 \text{ g kg}^{-1}$), de P (9,4 até $6,6 \text{ g kg}^{-1}$) e Fe (83 até 73 g kg^{-1}) e aumento no teor de K ($44,7$ até 63 mg kg^{-1})

e no Mn (94 até 143 mg kg^{-1}) (Tabela 2). Salienta-se que o teor de Mg no tratamento com omissão do Mg, esteve em níveis abaixo da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) ($\text{Mg} = 2,5 - 4,0 \text{ g kg}^{-1}$). Monteiro et al. (1995) também observaram que a omissão de K, causou incremento no teor de K e Mn, em plantas de *Brachiária brizantha*.

E nas plantas com a omissão de Mg, visualizou-se nas folhas mais velhas amarelecimento nas margens e depois, entre as nervuras, dando o aspecto de estrias; em seguida houve necrose das regiões cloróticas e o sintoma progrediu para as folhas mais novas.

O desenvolvimento do amarelecimento com diminuição do teor de clorofila, pode ter ocorrido pelo fato do Mg desempenhar função estrutural de um composto orgânico vital para os vegetais, ou seja, ele ocupa a posição central da estrutura da clorofila ($\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4 \text{ Mg}$) (Devlin, 1969).

Enxofre

A planta sob deficiência de S, apresentou diminuição significativa da altura, do número de folhas e da matéria seca das folhas e do total da planta, quando comparado com a testemunha (solução completa) (Tabela 1). Resultados semelhantes referente ao efeito positivo do enxofre no milho, também foi verificado por Vilela et al (1995).

Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de S na solução nutritiva, houve diminuição nos teores S (2 até 0,9 g kg⁻¹), P (9,4 até 6,6 g kg⁻¹), Mg (4,8 até 2,7 g kg⁻¹) e Fe (83 até 66 g kg⁻¹) (Tabela 2). O teor de S no tratamento com omissão do nutriente, esteve próximo do encontrado por Hitsuda et al. (2005), tendo como nível crítico (75% da produção máxima de biomassa) teor de 0,8 g kg⁻¹, em plantas jovens de milho (cv. IAPAR 52); entretanto, esteve em níveis abaixo da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) (S=1,5-2,0 g kg⁻¹).

Além dos efeitos da omissão do S na nutrição e no desenvolvimento do milho, houve aparecimento de sintomas visuais nas folhas novas e recém-formadas que apresentavam coloração amarelo-pálida ou verde suave, 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.

A carência de S, mostra-se importante tendo em vista seu papel na nutrição das plantas. A maior parte do enxofre nas plantas (cerca de 90%), faz parte dos aminoácidos essenciais; a cistina e metionina (Salisbury & Ross, 1992). Estes aminoácidos entram na composição

de todas proteínas, portanto, tem uma função estrutural importante.

Boro

A planta foi afetada pela deficiência de B, sendo que o número de folhas, altura e matéria seca das folhas e do total da planta foram significativamente inferiores à testemunha (tratamento completo) (Tabela 1). O efeito negativo do boro no crescimento do milho ocorreu devido a importância deste nutriente na nutrição das plantas como na biossíntese de lignina e diferenciação do xilema (Lewis, 1980) e estabilização da membrana plasmática (Pilbeam & Kirkby, 1983). Entretanto, o B teve efeito depressivo no crescimento da planta (matéria seca da planta inteira), devido a redução na produção de matéria seca de folhas, pois não afetou a matéria seca da raiz, o que discorda de Cohen & Lepper (1977) que observaram a cessação do alongamento de raízes de abóbora, submetidas à omissão de boro.

Quando compara-se o teor de nutrientes do tratamento completo e a omissão de B na solução nutritiva, houve diminuição nos teores de B (52 até 34 mg kg⁻¹), P (9,4 até 6,4 g kg⁻¹), Mg (4,8 até 1,5 g kg⁻¹) e aumentou o teor de K (44,7 até 58,5 mg kg⁻¹), o Mn (94 até 113 mg kg⁻¹) e o Zn (19 até 23 g kg⁻¹) (Tabela 2). O teor de B, no tratamento com omissão do B, ficou, ainda, acima da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) (B=

15-20 mg kg⁻¹). Este fato possivelmente deve-se ao tipo de folha amostrada, conforme já salientado ou pela água utilizada que poderia ter traços do elemento favorecendo sua absorção pelas plantas. Esta segunda hipótese, é pouco provável, visto que as plantas com omissão do nutriente desenvolveram sintomas de carência.

Assim, as plantas com omissão de B apresentaram diminuição do crescimento das partes terminais e necrose das folhas novas (bordas), fato também descrito por Raij (1991), e também houve o engrossamento das folhas novas, apresentando aspecto quebradiço. Os sintomas de deficiência de B, ocorreu nas partes novas das plantas, pois esse micronutriente não se transloca facilmente de um órgão para outro, mostrando transporte unidirecional via corrente transpiratória (Shelp et al., 1995). E ainda, este engrossamento das folhas, pode estar relacionado com sua função nas plantas, ou seja, no transporte de carboidratos. Pois, sob condições de deficiência do nutriente, ocorre redução no transporte da sacarose das folhas para outras partes da planta, pela maior produção de calose (polissacarídeo semelhante à celulose), a qual provoca a obstrução do floema, principal via de transporte da sacarose (Loué, 1993).

Zinco

A planta foi afetada significativamente pela deficiência do nutriente, em termos de altura, número de folhas e matéria seca do caule das folhas e do total da planta comparado a testemunha com solução nutritiva completa (Tabela 1). O efeito depressivo da omissão de Zn na solução nutritiva sobre o crescimento do milho é amplamente relatado na literatura (Furlani et al., 2005). E este fato, causou redução significativa, em comparação com tratamento completo, respectivamente, nos teores de Zn (19 até 9 mg kg⁻¹), Mg (4,8 até 2,5 g kg⁻¹), Fe (83 até 66 mg kg⁻¹), Mn (94 até 55 g kg⁻¹) da parte aérea do milho (Tabela 2). Salienta-se que o teor de Zn no tratamento com omissão do Zn, esteve abaixo da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) (Zn=15-50 g kg⁻¹). E ainda, nas plantas com omissão do dado nutriente, observou-se nas folhas novas faixas amareladas entre a nervura principal e as bordas; as folhas novas estavam pequenas e cor amarelo-pálida e os internódios curtos em relação à testemunha com solução completa. Este aspecto de internódios curtos, ocorrem em plantas deficientes em Zn, verificado também por Furlani et al. (2005), devido ao fato do papel do Zn na síntese do hormônio de crescimento, a auxina (Malavolta et al., 1989).

Por fim, observou-se de forma geral, a omissão do N, P, K, Ca, Mg, S, B e Zn reduziu a produção de matéria seca das plantas de milho em 92%, 93%, 67%, 26%, 66%, 68%, 52% e 34%, respectivamente, em relação ao tratamento completo (Tabela 1). E os sintomas de deficiência dos nutrientes foram semelhantes aos descritos na literatura por Malavolta & Dantas (1987) e Malavolta et al. (1989), embora tenha ocorrido algumas diferenças, devido ao fato dos experimentos terem sido conduzidos em condições distintas (cultivares, solução nutritiva, vasos, entre outros) e apenas na fase vegetativa. E ainda, notou-se que os teores encontrados nas folhas em que o elemento foi omitido foram sempre inferiores daqueles encontrados no tratamento completo, demonstrando que os sintomas descritos foram realmente devidos ao efeito da omissão do nutriente.

CONCLUSÕES

A deficiência de NPK foi que mais limitou o desenvolvimento das plantas de milho.

O teor dos nutrientes nas plantas de milho do tratamento completo e da omissão foram: N = 26,7 e 9, P = 9,4 e 0,6; K = 44,7 e 6,1, Ca = 4,2 e 0,7, Mg = 4,8 e 1,0, S = 2 e 0,9 g kg⁻¹, B = 52 e 34, Zn = 19 e 9 mg kg⁻¹.

A deficiência de um nutriente, além de promover diminuição do teor na parte aérea causou desequilíbrio entre o demais nutrientes e conseqüentemente houve alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência de cada nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico 78).
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO MILHO E DO SORGO, 1990, Vitória. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba : POTAFOS, 1993. p.63-145.
- 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**, v.8, n.2, p.123-130, 1996.
- COHEN, M.S.; LEPPER, R. Effects of boron on cell elongation and division

- in squash roots. **Plant Physiology**, v.59, p.884-887, 1977.
- DEVLIN, R. M. **Plant physiology**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1969.262p.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
- EVANS, H.J.; WILDES, R.A. Potassium and its role in enzyme activation. In: Proc. 8th Colloq. Int. Potash Inst. Bern, p.13-39, 1971.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In: SEMINÁRIO SOBRE: fisiologia da produção e manejo de água e de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade, 1996. **Palestras...** Piracicaba: ESALQ/USP-POTAFÓS, 1996. p. 1-29.
- FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R., MEDA, A.R.; DUARTE, A.P. Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. **Sci. agric.** v. 62, n. 3, p. 264-273, 2002.
- GUIDI, L.; LOREFICE, G.; PARDOSSI, A.; MALORGIO, F.; TOGNONI, F.; SOLDATINI, G.F. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. **Biologia Plantarum**, Prague, v.40, p.235-244, 1998.
- HEATHCOTE, R.G. & SMITHSON, J.B. Boron deficiency on cotton in northern Nigeria. II. The effect of variety. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.10, p.209-218, 1974.
- HITSUDA, K.; YAMADA, M.; KLEPKER, D. Sulfur requirement of eight crops at early stages of growth. **Agron. J.**, v.97, p.155-159, 2005.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- LEMOS, M.A. **Variabilidade fenotípica em híbridos simples, híbridos duplos, variedade e compostos de milho (*Zea mays* L.)**. 1976, 62p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants - a unified hypothesis. **New Phytologist**, v.84, p.209-229, 1980.
- LOUÉ, A. **Oligoelements en agriculture**. Paris: SCPA Nathan, 1993. 577p.
- MACHADO, C.T.T.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; MACHADO, A.T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. **Bragantia**, v.58, n.1, p.109-124, 1999.
- MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. **O potássio e a planta**. In: POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA,

- Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, POTAFÓS, 1982.p.95-162.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas, Fundação Cargill, 1987, v.2, p.541-593.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 1989, 201p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 2ª edição. 1997, 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bem: Intern. Postash Institute, 1987. 687 p.
- MEYER, B.; et al. **Introdução à fisiologia vegetal**. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983. 710p.
- MONTEIRO, F.A., RAMOS, A.K.B., CARVALHO, D.D. DE; ABREU, J.B.R. DE; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P. DA; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Sci. Agric**, v.52, n.1, p.135-141, 1995.
- MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. Nutrição e adubação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (Londrina, PR). **O milho no Paraná**. Londrina, 1982. p. 88-104. (Circular, 29).
- PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de população de milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas : Fundação Cargill, 1978. p.202-256.
- PILBEAM, D.J.; KIRKBY, E.A. The physiological role of boron in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.6, p.363-382, 1983.
- RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.99-112.
- RUFTY Jr., T.W.; HUBER, S.C.; VOLK, R.J. Alterations in leaf carbohydrate metabolism in response to nitrogen stress. **Plant Physiology**, Bethesda, v.88, p.725-730, 1988.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**, 4. ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing, 1992. 682p.
- SCHRÖDER, J.J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen

in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p.151-164, 2000.

SHELP, B.J.; MARENTES, E.; KITHEKA, A.M.; VIVEKANANDAN, P. Boron mobility in plants. **Physiologia Plantarum**, v.94, p.356-361, 1995.

SILVA, A.E. da & GABELMAN, W.H. Screening maize inbred lines for tolerance to lowP stress condition. In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A. & MUNNS, R., eds. **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition**. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993. p.233-239. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)

VILELA, L.; RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. Resposta da soja e do milho ao enxofre num Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.281-285, 1995.

VOSE, P.B. Varietal differences in plant nutrition. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v.33, p.1-13, 1963.