

LOCALIZAÇÃO DE FÓSFORO E DE NITROGÊNIO AFETANDO OS PARÂMETROS CINÉTICOS DE ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO EM MILHO¹

Vera Maria Carvalho Alves², Jurandir Vieira de Magalhães³, Roberto Ferreira de Novais⁴, Antônio Fernandino de Castro Bahia Filho², Cristiane Abreu de Oliveira⁵ e Carla Cristina de Moura França⁵

Embrapa/Milho e Sorgo, C.P. 151, Sete Lagoas, MG, 35701-970, Brasil.

RESUMO- O efeito da aplicação localizada de P na absorção de nitrato e de amônio em milho (*Zea mays* L.) foi estudado utilizando-se a técnica de raízes subdivididas. Foram testadas duas fontes de N (nitrato e amônio) e a localização de P e N: a) juntamente em ambos os vasos geminados, b) juntamente em apenas um dos vasos geminados, c) a aplicação de P em um dos vasos geminados e de N no outro e d) a aplicação de N e de P em um dos vasos geminados e de N no outro. O fornecimento de N em um vaso e de P em outro, reduziu a V_{max} para nitrato e a V_{max} para amônio em relação aos tratamentos em que ambos os elementos foram fornecidos no mesmo vaso. A Km para ambas as fontes de N não foi afetada pela separação espacial do fornecimento de N e de P. A redução da Vmax para nitrogênio, quando o N e o P foram fornecidos separadamente, se deveu ao fato de que a aplicação de P apenas à metade do sistema radicular, comparativamente à sua aplicação em todo o sistema radicular, reduziu a concentração deste elemento na parte aérea e na porção radicular onde não ocorreu aplicação externa de P, indicando haver problemas de ciclagem interna de P em plantas de milho.

Termos adicionais para indexação: absorção de fósforo, absorção de nitrogênio, amônio, nitrato, raízes sub-divididas, *Zea mays*.

PHOSPHORUS AND NITROGEN LOCATION AFFECTING THE KINETIC PARAMETERS OF NITROGEN UPTAKE BY MAIZE

ABSTRACT - The N uptake by maize (*Zea mays* L.) as a function of P and N placement in a split-root experiment in nutrient solution was evaluated by using two sources of nitrogen (nitrate and ammonium). The treatments used were: a) P and N together in both pots, b) P in one pot and N in the other pot, c) P and N in one pot only and d) N and P together in one pot and N in the other pot. The P and N placement separately, P in pot and N in the other, decreased I_{max} of nitrate and I_{max} of ammonium in relation to joint placement of N and P in both pots. The Km values were not affected either by the sources of N or by the N and P placement. The decreases in the I_{max} values for N observed when P and N were applied in separate pots, may be due to the placement of P only in one half of the root system, thus reducing the concentration of P either in the shoot or in the other half of the roots, indicating some problems in Pi cycling in the plants of maize.

Additional index terms: ammonium, nitrate, nitrogen uptake, phosphorus uptake, split root, *Zea mays*.

¹ Recebido em 17/03/1998 e aceito em 16/11/1998. Trabalho financiado pela FAPEMIG.

² Eng^o. Agr^o., DS, Pesquisador da EMBRAPA/Milho e Sorgo, C.P. 151, Sete Lagoas, MG, 35701-970.

³ Bolsista do Programa RHAÉ

⁴ Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 36570-000. Bolsista do CNPq.

⁵ Bolsista de Aperfeiçoamento do CNPq

INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado são altamente intemperizados e freqüentemente ácidos, possuindo teores elevados de óxidos de ferro e de alumínio. Essas características conferem a esses solos elevada capacidade de sorção de P, que aliada à pobreza generalizada desse nutriente e ao seu pequeno coeficiente de difusão, o tornam praticamente imóvel no solo.

A aplicação localizada de P apresenta a vantagem de retardar sua sorção pelo solo, mas reduz a porção do sistema radicular em contato com esse elemento, e isso pode influenciar a taxa de absorção pela planta. Diversos trabalhos têm demonstrado que o suprimento de P a apenas parte do sistema radicular resulta em menor produção de matéria seca da parte aérea e menor concentração de P na parte aérea (Jungk & Barber, 1974; Anghinoni & Barber, 1980; Novais *et al.*, 1985) e nas raízes sem contato com este elemento (Castilhos & Anghinoni, 1988), em plantas de milho.

Por outro lado, a assimilação de N é alterada quando plantas crescendo na presença de nitrato são privadas de P. Três efeitos distintos têm sido identificados. Primeiro, a absorção de nitrato pelas raízes decresce. Segundo, a translocação de nitrato das raízes para a parte aérea diminui, aparentemente devido a restrição do transporte do simplasma da raiz para o xilema. Terceiro, a acumulação de aminoácidos aumenta, o que geralmente se observa em folhas, ocorrendo, também, em raízes (Rufty *et al.*, 1993).

Alves *et al.* (1996) observaram redução substancial dos teores de N total em folhas de plantas de milho, cultivadas em solução nutritiva, quando submetidas a períodos crescentes de omissão de P na solução. Também em milho, Magalhães *et al.* (1995) verificaram que o sistema de absorção de nitrato é extremamente sensível à omissão de P em solução nutritiva. Um período de omissão de dois dias provocou redução de 65% da absorção de nitrato em relação à testemunha. Quatro dias de omissão de P resultaram em absorção de nitrato quase nula. Entretanto, embora tenha ocorrido redução na absorção de amônio com o aumento do período de omissão de P na solução, esta não foi tão acentuada quanto a de nitrato (Magalhães, 1995).

A deficiência de P diminuiu consideravelmente a taxa de absorção de NO_3^- por unidade de comprimento de raiz em trigo-mouro, colza e cevada (Schjorring, 1986). O estresse de P pode ter reduzido a assimilação de nitrato em proteínas, consequentemente causando "feedback" negativo na absorção de nitrato, efeito provavelmente exercido por aminoácidos (Schjorring, 1986).

Rufty *et al.* (1991) verificaram, em cevada, a redução da V_{max} para nitrato com a supressão do P. Portanto, o influxo de nitrato para as células da raiz decresceu sensivelmente em condições de limitação de fósforo.

Dentro dos conhecimentos atuais não está estabelecido conclusivamente a causa da alteração da absorção de nitrato devido ao estresse de P.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da aplicação localizada de P nos parâmetros cinéticos de absorção de nitrato e de amônio.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes do híbrido simples, progenitor do híbrido duplo de milho BR 201, foram germinadas em rolos de papel de germinação colocados em vasos contendo água destilada, sob arejamento contínuo, em casa de vegetação. Após a emergência, as plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade e transplantadas para bandejas de plástico, em número de trinta por recipiente, contendo 13 L de solução nutritiva de Steinberg, pH 5,5, modificada por Foy *et al.* (1967). A aeração foi mantida constante e a solução trocada a cada dois dias.

Sete dias após o transplante, as plantas foram transferidas, em número de duas por recipiente, para dois vasos geminados contendo 1,6 L de solução nutritiva. As raízes foram divididas igualmente entre os dois vasos geminados, sendo a raiz seminal retirada com estilete.

Foram conduzidos dois experimentos, um com nitrato como fonte de nitrogênio e outro com amônio. Cada experimento foi constituído de quatro tratamentos de localização de P e de N, com três repetições, dispostos em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos de P e de N, em mmoles L^{-1} , foram os seguintes: Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 N, vaso 2: 0,1 P + 3,71 N; Tratamento 2 - vaso 1: 0,2 P, vaso 2: 7,42 N; Tratamento 3 - vaso 1: 0,2 P + 3,71 N, vaso 2: 3,71 N; Tratamento 4 - vaso 1: 0,2 P + 7,42 N, vaso 2: 0,00 P + 0,00 N. Com exceção do P e do nitrato ou do amônio, as doses dos demais nutrientes da solução nutritiva foram as mesmas para todos os tratamentos e vasos.

Após sete dias da aplicação dos tratamentos procedeu-se ao estudo da cinética de absorção de nitrato e amônio.

Nos dois dias que antecederam a execução da cinética, os vasos foram transferidos para câmara de crescimento, programada para fotoperíodo de 12 horas, temperatura diurna média de $26 \pm 0,5$ °C, temperatura noturna média de $18 \pm 0,9$ °C, umidade relativa diurna média de 72% e irradiância de $540 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Na manhã do dia em que se realizou a cinética, as plantas foram transferidas para solução de estabilização, onde foram mantidas por uma hora e meia. Com exceção do fósforo e do nitrato ou amônio, as doses dos demais nutrientes da solução nutritiva foram as mesmas para todos os tratamentos e vasos e corresponderam à solução de Steinberg modificada por Foy *et al.* (1967), diluída a 1/4. As doses de P e de N, em $\mu\text{moles L}^{-1}$, nessa solução foram as seguintes: Tratamento 1 - vaso 1: 100 P + 100 N, vaso 2: 100 P + 100 N; Tratamento 2 - vaso 1: 200 P, vaso 2: 200 N; Tratamento 3 - vaso 1: 200 P + 100 N, vaso 2: 100 N; Tratamento 4 - vaso 1: 200 P + 200 N, vaso 2: 0,00 P + 0,00 N. Após esse período, as plantas foram transferidas para a solução de cinética, idêntica à solução de estabilização, iniciando-se a retirada de alíquotas de 10 ml de cada vaso, a cada 30 minutos, durante 8 horas. Essas alíquotas foram congeladas em freezer a -18 °C para dosagem posterior de nitrato e de amônio. Os vasos foram pesados antes do início e após o fim de cada cinética, para estimar a água perdida por

evapotranspiração.

As dosagens de nitrato e de amônio na solução de cinética foram realizadas por sistema de injeção em fluxo ("Flow Injection Analysis"- FIA). O método utilizado para a determinação de nitrato foi o descrito por Kamphake *et al.* (1967) e para a determinação de amônio, o descrito por Alves *et al.* (1993).

Com base nos dados obtidos, os parâmetros cinéticos Km e Vmax foram calculados conforme procedimento proposto por Claassen & Barber (1974), utilizando-se o processo gráfico matemático descrito por Ruiz (1985).

Terminada a cinética de absorção, as plantas foram divididas em raiz e parte aérea, sendo as raízes lavadas e secas com papel toalha. O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 75°C até atingir massa constante, determinando-se, em seguida, a matéria seca. Após moagem, 200 mg de material vegetal foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica, procedendo-se a dosagem de P por espectrometria de emissão de plasma. O N foi determinado, após digestão sulfúrica de 0,1 g de material vegetal, pelo método do fenol/hipoclorito (Zagatto *et al.*, 1981).

RESULTADOS

O fornecimento de N separadamente do P, à metade do sistema radicular, reduziu a Vmax para nitrato e para amônio, em relação aos tratamentos em que o P foi fornecido juntamente com o N (Tabela 1). A redução da Vmax para nitrato foi de 23,7% para a dose de 3,71 mmoles L⁻¹ (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻ x Tratamento 3 - vaso 2: 3,71 NO₃⁻) e de 10,6 % para a dose de 7,42 mmoles L⁻¹ (Tratamento 4 - vaso 1: 0,2 P + 7,42 NO₃⁻ x Tratamento 2 - vaso 2: 7,42 NO₃⁻), embora a última não tenha sido

significativa. Para o amônio, a redução da Vmax foi de 46,5% (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NH₄⁺; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NH₄⁺ x Tratamento 3 - vaso 2: 3,71 NH₄⁺) e de 37% (Tratamento 4 - vaso 1: 0,2 P + 7,42 NH₄⁺ x Tratamento 2 - vaso 2: 7,42 NH₄⁺), respectivamente.

Quando o P e o N foram fornecidos em dobro, juntos no mesmo vaso, houve aumento na Vmax para nitrato de 41,5%, em relação à dose normal (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻ x Tratamento 4 - vaso 1: 0,2 P + 7,42 NO₃⁻) e de 26,4% quando o N foi fornecido em dobro na ausência de P (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻ x Tratamento 2 - vaso 2: 7,42 NO₃⁻). Para o amônio, o aumento foi de 120% (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NH₄⁺; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NH₄⁺ x Tratamento 4 - vaso 1: 0,2 P + 7,42 NH₄⁺) e de 39% (Tratamento 1 - vaso 1: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻; vaso 2: 0,1 P + 3,71 NO₃⁻ x Tratamento 2 - vaso 2: 7,42 NH₄⁺), respectivamente.

Quando o P foi fornecido em dobro à metade do sistema radicular, juntamente com o N (tratamentos 3 - vaso 1: 0,2 P + 3,71 N), houve aumento de 23,7% na Vmax para nitrato, mas a Vmax para amônio não se alterou, em relação aos tratamentos em que o N e o P foram fornecidos a todo o sistema radicular (tratamentos 1: vaso 1: 0,1 P + 3,71 N, vaso 2: 0,1 P + 3,71 N).

Por outro lado, a Km para nitrato e para amônio não foi afetada pelo suprimento de P apenas à metade do sistema radicular (Tabela 1). Houve aumento de Km, em ambas as fontes de N, apenas quando a dose de N foi aplicada em dobro.

A aplicação de P em apenas um dos vasos do conjunto, comparativamente à sua aplicação nos dois vasos, reduziu a concentração deste elemento na parte aérea, em ambas as fontes de N, embora para o nitrato a diferença tenha sido significativa apenas para o tratamento

TABELA 1 - Velocidade máxima de absorção de fósforo (Vmax) e constante de Michaelis (Km), obtidos para os diferentes tratamentos. Médias de três repetições ¹

Trat.	Vaso		Vmax mmoles kg ⁻¹ de matéria seca de raiz h ⁻¹	Km μmoles L ⁻¹
	1	2		
	mmoles L ⁻¹			
Nitrato				
1	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	61,752 b	14,735 bc
2	0,2P	7,42 NO ₃ ⁻	78,082 a	23,997 a
3	0,2 P+3,71 NO ₃ ⁻	3,71 NO ₃ ⁻	76,408 a	18,620 b
3	0,2 P+3,71 NO ₃ ⁻	3,71 NO ₃ ⁻	47,092 c	13,490 c
4	0,2 P+7,42 NO ₃ ⁻	0,0 P+0,00 NO ₃ ⁻	87,362 a	26,050 a
CV(%)			11,32	12,27
Amônio				
1	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	49,772 c	15,037 b
2	0,2P	7,42 NH ₄ ⁺	69,310 b	35,470 a
3	0,2 P+3,71 NH ₄ ⁺	3,71 NH ₄ ⁺	47,631 c	15,733 b
3	0,2 P+3,71 NH ₄ ⁺	3,71 NH ₄ ⁺	26,602 d	17,927 b
4	0,2 P+7,42 NH ₄ ⁺	0,0 P+0,00 NH ₄ ⁺	109,967 a	33,737 a
CV(%)			16,46	17,53

¹ A identificação em negrito corresponde ao vaso em que foi realizada a cinética. Valores seguidos das mesmas letras, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

TABELA 2 - Concentração de fósforo e de nitrogênio na parte aérea, nos diferentes tratamentos dos experimentos. Médias de três repetições

Trat.	Vaso		P	N	
	1	2			
		mmoles L ⁻¹		%	
Nitrito					
1	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	0,72 A	3,15 A	
2	0,2 P	7,42 NO ₃ ⁻	0,42 B	2,83 A	
3	0,2 P+3,71 NO ₃ ⁻	3,71 NO ₃ ⁻	0,58 AB	3,07 A	
4	0,2 P+7,42 NO ₃ ⁻	0,0 P+0,00 NO ₃ ⁻	0,60 AB	2,91 A	
CV(%)			12,33	4,67 A	
Amônio					
1	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	0,60 A	2,92 A	
2	0,2 P	7,42 NH ₄ ⁺	0,42 B	2,44 B	
3	0,2 P+3,71 NH ₄ ⁺	3,71 NH ₄ ⁺	0,40 B	2,86 A	
4	0,2 P+7,42 NH ₄ ⁺	0,0 P+0,00 NH ₄ ⁺	0,41 B	2,83 A	
CV(%)			16,01	4,17	

Valores seguidos das mesmas letras, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

TABELA 3 - Concentração de fósforo e de nitrogênio na raiz, nos diferentes tratamentos dos experimentos. Médias de três repetições

Trat.	Vaso		P	N	
	1	2			
		mmoles L ⁻¹		%	
Nitrito					
1	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	0,1 P+3,71 NO ₃ ⁻	0,56 AB	2,65 AB	
2	0,2 P	-	0,54 B	1,61 C	
2	-	7,42 NO ₃ ⁻	0,27 C	2,65 AB	
3	0,2 P+3,71 NO ₃ ⁻	-	0,66 A	2,65 AB	
3	-	3,71 NO ₃ ⁻	0,28 C	2,37 B	
4	0,2 P+7,42 NO ₃ ⁻	-	0,63 AB	2,87 A	
4	-	0,0 P+0,00 NO ₃ ⁻	0,28 C	1,72 C	
CV(%)			10,02	7,24	
Amônio					
1	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	0,1 P+3,71 NH ₄ ⁺	0,60 A	3,10 A	
2	0,2 P	-	0,61 A	2,01 B	
2	-	7,42 NH ₄ ⁺	0,37 B	2,87 A	
3	0,2 P+3,71 NH ₄ ⁺	-	0,56 A	2,89 A	
3	-	3,71 NH ₄ ⁺	0,30 B	2,70 AB	
4	0,2 P+7,42 NH ₄ ⁺	-	0,66 A	3,04 A	
4	-	0,0 P+0,00 NH ₄ ⁺	0,31 B	2,32 B	
CV(%)			10,40	10,09	

Valores seguidos das mesmas letras, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

2 (vaso 1: 0,2 P, vaso 2: 7,42 NO₃⁻) (Tabela 2). No sistema radicular houve menor concentração de P nos vasos onde não ocorreu aplicação de P, para ambas as fontes de N (Tabela 3). Assim, a porção do sistema radicular suprida com P não foi capaz de suprir adequadamente a porção que não estava em contato com esse elemento.

Embora não significativo, houve tendência de maior concentração de N na parte aérea das plantas quando o P e o N foram fornecidos em ambos os vasos (Tabela 2). A semelhança do P, observou-se menor conteúdo

de N nas raízes nos tratamentos em que não houve aplicação externa deste elemento (Tabela 3).

DISCUSSÃO

O fornecimento de N em um vaso e de P em outro reduziu a Vmax para nitrato e para amônio, em relação aos tratamentos em que ambos os elementos foram fornecidos no mesmo vaso.

Considerando-se os resultados deste experimento, pode-se inferir que esta redução na Vmax de nitrato e de amônio deveu-se a menores teores de P na raiz, vis-

to que o P absorvido por uma metade do sistema radicular não era suficiente para suprir as necessidades da outra metade (Tabela 3). Houve redução média de 50% na concentração de P na metade do sistema radicular em que não se aplicou P externamente.

Resultados semelhantes tem sido encontrados na literatura (Novais *et al.*, 1985; Castilhos & Anghinoni, 1988), indicando que, para o milho, o P deve estar em contato com o maior volume possível de raízes para que haja sua maior absorção. Estes resultados têm sido atribuídos a problemas de transporte de P na planta, como consequência da organização vascular das raízes e da parte aérea do milho (Stryker *et al.*, 1974a,b). Esta hipótese é reforçada no presente trabalho, quando se verifica que o fornecimento de N a apenas metade do sistema radicular também não foi suficiente para suprir adequadamente a outra metade que não estava em contato direto com o elemento.

Diversos autores tem constatado redução na taxa de absorção de nitrato como consequência de deficiência de P (Schjorring, 1986; Rufty Jr. *et al.*, 1991; Magalhães *et al.*, 1995). Em linhas gerais, a limitação da absorção de nitrato em plantas sob estresse de fósforo pode estar relacionada a efeitos regulatórios ou energéticos. No primeiro caso, considera-se o papel dos aminoácidos, ou mesmo do próprio nitrato acumulado, como promotores de mecanismos de inibição do tipo "feedback" negativo na absorção de nitrogênio (Schjorring, 1986). Nesse caso, compostos como asparagina e glutamina (Rufty Jr. *et al.*, 1990; Lee *et al.*, 1992), asparagina e nitrato (Rufty Jr. *et al.*, 1993), cisteína, glicina e serina (Breteler & Arnozist, 1985) podem causar inibição. A associação estreita entre o declínio na concentração radicular de P e o influxo de N pode indicar um acoplamento regulatório. Assim, a síntese do sistema de transporte pode ser particularmente sensível a decréscimo de uma molécula como Pi. No segundo caso (hipótese energética), o decréscimo de ATP pode ser responsável por restrição na síntese do sistema de transporte de N, ou a limitação de ATP pode restringir a energia disponível diretamente para o transporte de nitrato contra o gradiente de potencial eletroquímico (Rufty Jr. *et al.*, 1993). Com os resultados do presente experimento não é possível concluir se a redução de Vmax para nitrogênio está relacionada a efeitos regulatórios ou energéticos.

Magalhães *et al.* (1995), trabalhando com milho verificaram que a omissão de P na solução nutritiva reduziu a taxa de absorção de nitrato e de amônio, sendo que a redução na absorção de nitrato foi notadamente mais afetada que a de amônio. O fato de que no presente experimento a redução na Vmax de amônio foi superior a redução na Vmax de nitrato provavelmente se deve à ocorrência de toxidez quando as plantas foram supridas com N na forma de amônio.

REFERÊNCIAS

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. & URQUIAGA, S.S. A rapid and sensitive flow injection technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 24:277-284,

- 1993.
- ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G. & BARROS, N.F. Efeito da omissão de fósforo na absorção de nitrogênio por híbridos de milho (*Zea mays* L.). *Revista Ceres*, 43(248):435-443, 1996.
- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agronomy Journal*, 72:685-688, 1980.
- BRETELER, H. & ARNOZIST, P.A. Effect of amino compounds on nitrate utilization by roots of dwarf bean. *Phytochemistry*, 24:653-657, 1985.
- CASTILHOS, D.D. & ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 12(3):263-267, 1988.
- CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiology*, 54:564-568, 1974.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.P. & ARMINGER, W.H. Characterization of differential aluminium tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Proceedings*, 31:513-521, 1967.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Phosphorus uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. *Agronomy Journal*, 66:554-557, 1974.
- LEE, R.B.; PURVES, J.V.; RATCLIFFE, R.J. Nitrogen assimilation and the control of ammonium and nitrate absorption by maize roots. *Journal of Experimental Botany*, 43:1385-1396, 1992.
- KAMPHAKE, L.J.; HANNAH, S.A. & COHEN, J.M. Automated analysis for nitrate by hidrazine reduction. *Water Research*, 7:205-216, 1967.
- MAGALHÃES, J.V. Alterações na absorção e no metabolismo de nitrogênio em diferentes níveis de estresse de fósforo em plantas de milho (*Zea mays* L.). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. (Tese de Mestrado)
- MAGALHÃES, J.V.; ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F. & MOSQUIM, P.R. Absorção de nitrato por plantas de milho (*Zea mays*, L.) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva. In: *V Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal*, 5. Lavras, 1995. Resumos... SBFV/UFLA, 1995. Lavras, 1995.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto a fonte de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20:749-754, 1985.
- RUFTY Jr., T.W.; ISRAEL, D.W.; VOLK, R.J.; QIU, J. & TONGMIN, S.A. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 44:879-891, 1993.
- RUFTY Jr., T.W.; MacKOWN, C.T. & ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. *Plant Physiology*, 94:328-333, 1990.
- RUFTY Jr., T.W.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. & RUTH, T.J. Altered ¹³N₃ influx in phosphorus limited plants. *Plant Science*, 76:43-48, 1991.
- RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos, Km e Vmax por uma aproximação gráfico-matemática. *Revista Ceres*, 32:79-84, 1985.
- SCHJORRING, J.K. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient or insufficient level of phosphorus in nutrient solutions. In Lambers, H., Ed., *Fundamental, ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants*. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1986. p.53-58.
- STRYKER, R.B.; GILLIAN, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform phosphorus distribution in the root zone of corn: growth and phosphorus uptake. *Soil Science Society of America Proceedings*, 38:334-340, 1974a.
- STRYKER, R.B.; GILLIAN, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. *Physiologia Plantarum*, 30:231-239, 1974b.
- ZAGATTO, E.A.G., JACINTHO, A.O. & REIS, B.F. *Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção de fluxo*. Piracicaba: CENA, 1981. 20p.