



As fontes de nitrogênio afetam a disponibilidade de fósforo na rizosfera e o desenvolvimento do milho⁽¹⁾.

Camila da Silva Grassmann⁽²⁾; Elialdo Alves de Souza⁽³⁾; Ciro Antônio Rosolem⁽⁴⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da FAPESP.

⁽²⁾Estudante de graduação; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Ciências Agrônomicas; Botucatu, São Paulo; milinhagrass@hotmail.com; ⁽³⁾Estudante de doutorado; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Ciências Agrônomicas; Botucatu, São Paulo; ⁽⁴⁾ Professor Doutor Orientador; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Ciências Agrônomicas; Botucatu, São Paulo.

RESUMO: A forma de N afeta as condições químicas da rizosfera, com impacto na disponibilidade de P e na produção. O objetivo desse trabalho é avaliar o efeito de N amoniacal e nítrico sobre o P no solo e o desenvolvimento da cultura do milho. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, em vasos de 12 L arranjados em DIC, e os tratamentos consistiram em 120 mg N kg⁻¹ em duas formas diferentes (amoniacal e nítrica) combinadas com cinco doses de P (0, 40, 80, 120 and 160 mg kg⁻¹). O milho foi cortado após um mês para determinação de matéria seca e o solo rizosférico obtido por agitação e lavagem das raízes foi submetido à análise de pH (CaCl₂) e ao fracionamento químico de P. Nas doses mais altas de P o amônio garantiu maior produção de matéria seca. A relação raiz: parte aérea e o pH foram sempre maiores para nitrato. O amônio mobilizou maiores teores de P não-lábil e mais do P lábil foi absorvido pela cultura. O amônio disponibiliza maiores quantidade de P dos compartimentos mais recalcitrantes, garante uma maior absorção do nutriente, especialmente nas condições de maior suprimento e, conseqüentemente, promoveram melhor desenvolvimento da cultura.

Termos de indexação: Nitrato; eficiência de uso do fósforo; amônio.

INTRODUÇÃO

Nos trópicos, o fósforo (P) é um dos fatores mais limitantes para a agricultura, devido à predominância de acidez e óxidos e hidróxidos de Fe e Al (ABDALA et al., 2012). Além disso, em solos altamente intemperizados, o P sofre altos níveis de perdas, precisando ser aplicado em maiores quantidades nas adubações das grandes culturas (VILAR et al., 2010).

Os fosfatos possuem características que favorecem a sua indisponibilidade nessas condições, como a alta reatividade química, grande tendência à fixação e baixíssima capacidade de difusão (SHEN et al., 2011). Em consequência

disso, temos uma baixa eficiência de uso do P (EUP).

Alguns trabalhos sugerem que a forma do N implica diretamente na disponibilização do P para as plantas, de forma que uma das medidas para melhor a EUP pode ser a aplicação de fosfatos juntamente com fontes de N-amoniacal, somando-se a isto um inibidor de nitrificação (IN (KLEINEIDAM et al., 2011). O tamanho e a arquitetura da raiz são de fundamental importância em todo esse contexto, de forma que a aplicação localizada de nutrientes pode ser uma das estratégias capazes de incrementar a EUP, pois o estímulo a um melhor desenvolvimento radicular no início do desenvolvimento da cultura favorece a exploração dos espaços intersticiais e permite a ocupação de maior volume de solo (JONES et al., 2009).

O objetivo desse trabalho é avaliar o efeito de diferentes formas de N (amoniacal e nítrico) sobre a disponibilidade e as formas de P no solo e o desenvolvimento da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Montagem, tratamentos e condução

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação (UNESP/FCA de Botucatu, SP). O solo coletado (0-20 cm de profundidade) é um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2006) e apresenta as seguintes características: 670 g kg⁻¹ de areia; 210 g kg⁻¹ de argila; 20 g kg⁻¹ de silte; pH 4,1 (CaCl₂); 16 g dm⁻³ de matéria orgânica; 7 mg dm⁻³ de P (resina); 1 mmol_c dm⁻³ de K; 16 mmol_c dm⁻³ de Ca; 5 mmol_c dm⁻³ de Mg; SB de 22 mg dm⁻³; CTC de 92 mg dm⁻³ e V (%) de 24 mg dm⁻³. As condições locais monitoradas apresentaram os seguintes padrões: temperaturas noturnas de (±5) 19°C combinadas com UR de (±10) 80% e temperaturas diurnas de (±6) 35°C combinadas com UR de (±5) 30%.

Após corrigidos para elevar a saturação de bases (V%) para 60%, os solos em vasos de 12 L permaneceram incubados na capacidade de campo. Um mês após a incubação a fertilização foi conduzida de acordo com os tratamentos: 120 mg N kg⁻¹ em duas formas diferentes (fonte amoniacal



como sulfato de amônio e fonte nítrica como nitrato de cálcio) combinadas com cinco doses de P (0, 40, 80, 120 and 160 mg kg⁻¹) aplicadas na forma de superfosfato triplo. Todos as unidades experimentais também receberam 125 mg kg⁻¹ de K como cloreto de potássio e 25 mg kg⁻¹ de dicianodiamida (DCD) como inibidor de nitrificação (IN). O experimento constou de quatro repetições para cada tratamento e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado.

O milho (*Zea mays* L., 2B587 da Down AgroScience) semeado e, um mês após a emergência as plantas foram cortadas ao nível do solo e as raízes cuidadosamente separadas para secagem a 65°C por 72 horas.

Análises de solo e planta

O solo aderido à raiz (rizosférico) foi coletado através de agitação e de jatos de água destilada em pisseta. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas a 60°C por 72 horas para obtenção de TFSA e, então, foram usadas para determinação do pH (CaCl₂) segundo metodologia de Rajj et al. (2001) e para o fracionamento de P segundo Hedley et al. (1982) modificado por Condrón et al. (1985). As formas de P obtidas no fracionamento químico foram agrupadas dentro dos seguintes compartimentos: P lábil (Pi-RTA + Pi-bic + Po-bic); P moderadamente lábil (Pi-hid01 + Po-hid01 + Pi-hid05 + Po-hid05); P não-lábil (PiHCl + residual P (Cross e Schlesinger, 1995).

Análise estatística

Os dados qualitativos foram submetidos à ANOVA, as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey (p < 0,05) e os efeitos das doses foram analisados por meio de regressão, com auxílio do software SISVAR 5.0 (Ferreira, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas doses de 0, 40 e 80 mg kg⁻¹ não houve diferença na produção de matéria seca total entre as fontes de N (Tabela 1). Porém, nas doses mais altas (120 e 160 mg kg⁻¹) a fonte amoniacal foi superior à fonte nítrica.

Para a mesma dose de P, a fonte de N-nítrico apresentou sempre a maior relação raiz/parte aérea, enquanto N-amoniacal apresentou os menores valores. Para a mesma fonte de N, a relação raiz/parte aérea diminuiu com o aumento da dose de P aplicada (Tabela 1). As raízes se tornam os drenos preferenciais de fotossintatos em estresse nutricional para aumentar a eficiência de absorção e garantir a exploração de maior volume de solo

(LYNCH e BROWN, 2001; LAMBERS et al., 2010; AZIZ et al., 2011). Assim, a presença do amônio garantiu maior suprimento de P e, conseqüentemente, menor necessidade de ajuste morfológico ao estresse.

O uso de amônio promoveu uma maior redução do pH para a mesma dose de P quando comparado ao nitrato. Para o N-amoniacal o pH diminuiu em resposta ao aumento da dose aplicada de P, enquanto para a fonte N-nítrica o pH aumentou em resposta ao aumento das doses de P (Tabela 2). A extrusão de H⁺ ou OH⁻ é o resultado do mecanismo de manutenção do equilíbrio de carga na planta e funciona como resposta à assimilação de amônio (NH₄⁺) ou nitrato (NO₃⁻), respectivamente (ZENG et al., 2012).

Nas doses 0, 40 e 80 mg kg⁻¹, os maiores teores de P lábil remanescente no solo e conseqüentemente, menor absorção, ocorreram nas fontes nítrica e amoniacal, respectivamente. Porém, na dose de 120 mg kg⁻¹ os valores se igualam e, na dose de 160 mg kg⁻¹, a tendência se inverte, e os maiores teores de P ocorrem para as fontes amoniacal e nítrica, respectivamente (Tabela 3 e Tabela 4). O P moderadamente lábil segue a mesma tendência observada para o P lábil, enquanto para o P não-lábil a tendência se inverte e os tratamentos com amônio apresenta valores menores (Tabela 3). Os tratamentos com maior demanda por P desencadearam um intenso processo de reposição. As formas menos lábeis, através da solubilização e da mineralização, intensificadas pelos processos rizosféricos, repunham o que foi absorvido na solução do solo e nos sítios de troca. Os menores teores de P não-lábil para todas as doses de P combinadas com N-amoniacal, em contraste com os maiores teores para a fonte N-nítrico (Tabela 3), indicam que a alta demanda por P, somada à maior absorção do nutriente em função da disponibilidade de amônio, resultou no uso mesmo das formas mais recalcitrantes como fonte de reposição. A acidificação da rizosfera intensifica a solubilização de P e o trabalho dos transportadores de fosfato que funcionam como simportadores do tipo H⁺/H₂PO₄ (ZENG et al., 2012).

CONCLUSÕES

Os efeitos rizosféricos promovidos pelo amônio disponibilizam P dos compartimentos mais recalcitrantes, garantem uma maior absorção do nutriente, especialmente nas condições de maior suprimento e, conseqüentemente, promovem melhor desenvolvimento da cultura.



Tabela 1. Produção de matéria seca no milho em resposta às duas formas de N combinadas com diferentes níveis de P.

Matéria Seca Total (g)		
Doses de P (mg kg ⁻¹ de solo)	Fonte de N	
	NÍTRICA	AMONICAL
0	2,75 a	1,70 a
40	29,05 a	28,85 a
80	39,26 a	39,52 a
120	50,00 b	56,82 a
160	64,00 b	77,47 a
Ef. de doses	Q**	L**
CV (%)	10,24	
Relação Raiz/Parte Aérea		
0	0,71 a	0,35 c
40	0,51 a	0,36 b
80	0,47 a	0,21 b
120	0,55 a	0,18 c
160	0,37 a	0,15 b
Ef. de doses	L**	L**
CV (%)	12,54	

Médias seguidas por letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Efeito de doses: L (efeito linear); Q (efeito quadrático); NS (não significativo); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).

Tabela 2. pH em solo rizosférico em resposta às duas formas de N combinadas com diferentes níveis de P.

pH em Solo Rizosférico		
Doses de P (mg kg ⁻¹ de solo)	Fonte de N	
	NÍTRICA	AMONICAL
0	5,29 a	5,06 b
40	5,35 a	4,85 c
80	5,37 a	4,79 b
120	5,44 a	4,62 c
160	5,78 a	4,59 c
Ef. de doses	Q**	L**
CV (%)	2,05	

Médias seguidas por letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Efeito de doses: L (efeito linear); Q (efeito quadrático); NS (não significativo); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).

Tabela 3. Conteúdo de P em diferentes labilidades no solo rizosférico em resposta às diferentes formas de N combinadas com diferentes níveis de P.

P Lábil (mg kg ⁻¹)		
Doses de P (mg kg ⁻¹)	Formas de N	
	NÍTRICA	AMONICAL
0	9,84 a	3,93 b
40	12,07 a	7,13 b
80	14,87 a	11,02 b
120	16,49 a	16,82 a
160	19,55 c	21,18 a
ED	L**	L**
CV (%)	3,07	
P Moderadamente Lábil (mg kg ⁻¹)		
0	64,18 a	58,48 b
40	66,10 a	54,23 b
80	70,31 a	53,43 b
120	71,29 a	72,18 a
160	73,21 b	82,84 a
ED	L**	Q**
CV (%)	5,30	
P Não-lábil (mg kg ⁻¹)		
0	823,40 b	753,2 c
40	886,41 a	815,1 b
80	992,66 a	829,9 b
120	926,40 a	849,4 b
160	939,74 a	840,1 b
ED	Q**	L**
CV (%)	4,26	

Médias seguidas por letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Efeito de doses: L (efeito linear); Q (efeito quadrático); NS (não significativo); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$).



REFERÊNCIAS

ABDALA, D.B. et al. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.162, p.15-23, 2012.

CONDRON, L.M.; et al. Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. *Journal of Soil Science*, v.41, p.41-51, 1990.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, v. 64, p. 197-214, 1995.

FERREIRA, D. F. SISVAR software. Versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

HEDLEY, M. J. et al. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of American Journal*, v.46, p.970-976, 1982.

JONES, D.L.; NGUYEN, C.; FINLAY, R.D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil* doi: 10.1007/S11104-009-9925-0.

KLEINEIDMAN, K. et al. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DDMP) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in rhizosphere and bulk soil. *Chemosphere*, v.84, p.182-186, 2011.

Lynch, J. P.; BROWN, K.M. Top soil foraging: An architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil*, v.237, p. 225–237, 2001.

RAIJ, B. et al. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*, v.156, p.997-1005, 2011.

VILAR, C. C. Interação entre atributos físicos, químicos e mineralógicos com a capacidade máxima de adsorção de fósforo e chumbo de amostras do horizonte A e B de Latossolos do Estado do Paraná tratadas com calcário e fosfato. 2010. 142p. (Dissertação Mestrado)- Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

ZENG, H. et al. Stimulation of phosphorus uptake by ammonium nutrition involves plasma membrane H⁺ ATPase in rice roots. *Plant and Soil*, v.357, p.205-214. 2012.

**XXXV Congresso
Brasileiro de
Ciência do Solo**

CENTRO DE CONVENÇÕES - NATAL / RN



**O SOLO E SUAS
MÚLTIPLAS FUNÇÕES**
02 a 07 DE AGOSTO DE 2015