

RENDIMENTO DE MASSA SECA E ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELO MILHO AFETADO PELA APLICAÇÃO DE FÓSFORO, CALCÁRIO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS¹

DRY MATTER OF CORN AND PHOSPHORUS UPTAKE AS AFFECTED BY LIMING, RATES OF PHOSPHORUS, AND MYCORRHIZAE INOCULATION

Julio Cesar Pires Santos² João Kaminski³ Paulo Roberto Ernani⁴
Alvaro Luis Mafra⁵

RESUMO

A colonização do sistema radicular com micorrizas pode aumentar a absorção de P e com isto aumentar o crescimento das plantas, o que parece ser mais comum em solos com baixa disponibilidade de P. No presente trabalho, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), objetivou avaliar seu efeito na morfologia do sistema radicular, na produção de massa seca e na absorção de fósforo pelo milho. Utilizou-se o latossolo bruno argiloso, e os tratamentos consistiram de dois valores de pH (4,8 e 5,5), duas doses de fósforo (25 e 100mg P/kg de solo) e inoculação com FMA. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cinco repetições, distribuídas no delineamento experimental completamente casualizado. Aos 46 dias após a emergência as plantas foram colhidas, e nelas determinou-se a produção de massa seca de parte aérea e de raízes, o comprimento e o raio médio radicular, a porcentagem e intensidade de colonização micorrízica e a absorção de fósforo. A inoculação com FMA aumentou a CM mas não afetou a produção de massa seca e absorção de fósforo pelo milho, embora as raízes mostrassem menor comprimento, indicando que as hifas extraradiculares

compensaram o crescimento radicular. A adição de fósforo e a elevação do pH aumentaram a massa seca da parte aérea e raízes, a absorção de fósforo e o comprimento radicular.

Palavras-chave: micorriza, fósforo, pH, milho.

SUMMARY

The existence of mycorrhiza in the plant roots may increase phosphorus uptake and thus crop yield. This effect, however, seems to occur only in phosphorus deficient soils. The objective of this work was to evaluate the effect of soil pH, rates of phosphorus addition, and mycorrhiza inoculation on dry matter yield of corn and on phosphorus uptake. The experiment was run in a greenhouse, using an oxisol, with five replicates per treatment distributed in a completely randomized experimental design. The treatments, a 2x2x2 factorial, were two rates of phosphorus (25 and 100mg P/kg), two pH levels (pH 4.8 and 5.5), and without and with indigenous mycorrhiza inoculation. Forty-six days after

¹ Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor para obtenção do grau de Mestre em Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

² Engenheiro Agônomo, MsC, Professor, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Caixa Postal 281, 88520-000 Lages, SC. Autor para correspondência.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Titular, Centro de Ciências Rurais, UFSM. Bolsista do CNPq.

⁴ Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor, UDESC.

⁵ Acadêmico do Curso de Agronomia, UDESC, Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

Recebido para publicação em 10.01.95. Aprovado em 23.08.95

germination, the plants were harvested, and the following determinations were done: dry matter of shoots and roots, root length, root radius, phosphorus uptake, and rate and intensity of mycorrhiza colonization. Soil inoculation with indigenous mycorrhiza increased the rates of mycorrhiza colonization in the corn roots, but had no effect on dry matter yield or on phosphorus uptake. Shoot and root dry matter of corn, root length, and phosphorus uptake all increased with the phosphorus added but especially with liming.

Key words: *Mycorrhiza, phosphorus, pH, corn.*

INTRODUÇÃO

O sistema radicular das plantas normalmente ocupa de 1 a 2% do volume de solo onde se encontra (BARBER, 1984). Esta pequena exploração do solo pelas raízes limita a absorção daqueles nutrientes que chegam às raízes pelo mecanismo de difusão, principalmente do P, cujo coeficiente de difusão no solo é extremamente baixo (ERNANI & BARBER, 1990). Sendo assim, forma-se ao redor das raízes uma zona de depleção de P, pois a quantidade que chega é inferior a quantidade absorvida.

A micorriza, que compreende a associação de raízes de plantas superiores e fungos micorrízicos arbusculares (FMA), proporciona um significativo aumento da área de absorção de nutrientes pelo sistema radicular, pois as hifas fúngicas externas podem atingir até 80cm/cm de raiz colonizada (SANDERS et al., 1977), beneficiando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade, como o fósforo, pelas plantas devido a exploração de um volume de solo fora da zona natural de depleção das raízes principais e pelos absorventes (RHODES & GEDERMAN, 1975). Ainda, as raízes colonizadas podem apresentar parâmetros cinéticos mais adequados para suportar níveis subótimos de fósforo no solo, pois tem menor k_m e C_{min} do que as não colonizadas, como observado por FAQUIN (1988). Apesar da associação fungo-hospedeiro resultar num menor desenvolvimento radicular, a taxa de absorção de nutrientes e o crescimento das plantas parece ser mantidos, ou até aumentados, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo (GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1983).

Grande parte das pesquisas realizadas testando a eficiência dos FMA em solos com altos níveis de fósforo, mostram haver menor colonização de raízes e poucos ou nenhum benefício ao hospedeiro (MENGE et al., 1978; MOSSE, 1973), tendo sido relatado, inclusive, casos com depressão de crescimento de plantas micorrizadas (BUWALDA &

GOH, 1982; SIQUEIRA & COLLOZZI-Fo, 1986; COOPER, 1975). Por outro lado, níveis muito baixos podem dificultar o estabelecimento da associação (RHEINHEIMER, 1991; SIQUEIRA & COLLOZZI-Fo, 1986). Por isso, o caráter da associação mutualística, neutralística ou parasítica depende, basicamente, da disponibilidade de fósforo no solo, embora a característica genética da planta e do FMA possam interferir.

O aumento do pH pode desestimular o estabelecimento e o funcionamento da micorriza (HAYMAN & TAVARES, 1985; RHEINHEIMER, 1991; RHEINHEIMER & KAMINSKI, 1994). Isto deve ocorrer por causa das alterações ambientais resultantes da correção da acidez do solo, pois normalmente os maiores benefícios da associação ocorrem quando as propriedades do solo forem mantidas similares àquelas encontradas no local de origem das plantas e/ou fungos. Por isso, as práticas culturais, ou a utilização de insumos, podem agir como fatores de estresse na eficiência da associação micorrízica, devido as modificações de várias ordens que são introduzidas ao meio de crescimento das plantas.

Este trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de fósforo, da alteração dos valores de pH e da inoculação do solo com FMA no crescimento e na absorção de fósforo pelo milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com amostras de solo latossolo bruno argiloso, coletado na camada superficial de 0-20 cm. Estas amostras apresentavam pH em água de 4,8, índice SMP 5,2, 2,9 Cmol de Al/dcm³ de solo e 0,8 mg de P/dcm³ de solo extraído por resinas de base forte.

O solo foi seco ao ar e passado em peneiras de malha de 4mm. Metade dele recebeu uma mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, na proporção 3:1, numa quantidade indicada pelo método SMP para elevar o pH a 5,5. A seguir, as duas porções de solo foram umedecidas e incubadas por 90 dias. Após este período, elas foram secas ao ar e fumigadas com brometo de metila na dose de 0,7cm³/kg de solo. Após, os solos foram acondicionados em vasos de 8 litros.

Os tratamentos utilizados consistiram de um fatorial 2x2x2, sendo dois níveis de pH (4,8 e 5,5), duas doses de fósforo (25 e 100mg P/kg de solo), e

dois níveis de inoculação com FMA nativos (com e sem), em cinco repetições distribuídas no delineamento experimental inteiramente casualizado.

Na inoculação utilizou-se aproximadamente 500 esporos de fungos nativos obtidos no local onde o solo foi coletado e extraídos por peneiramento úmido (GEDERMAN & NICOLSON, 1969), sendo parte colocada no sulco de semeadura e outra parte sobre as sementes de milho.

Todos os vasos receberam 100ml de filtrado de solo (passado em peneira 0,053mm), e solução nutritiva contendo 70, 100 e 50 mg/l de nitrogênio, potássio e magnésio, respectivamente.

Cultivou-se três plantas de milho por vaso, mantendo-se a umidade máxima do solo próxima a capacidade de campo, com reposição diária de água, controlada por pesagem. Quarenta e seis dias após a emergência, as plantas foram colhidas inteiras. Na parte aérea, determinou-se a massa seca e fósforo absorvido (ADLER & WILCOX, 1985). Nas raízes avaliou-se o volume, o comprimento (L) (TENNANT, 1975), estimou-se o raio médio (Ro), a superfície (S), determinou-se a massa seca, o fósforo absorvido (ADLER & WILCOX, 1985), a porcentagem e intensidade de colonização micorrízica (CM e ICM) segundo metodologias propostas por GIOVANNETTI & MOSSE (1980) e RHEINHEIMER & KAMINSKI (1995) respectivamente, preparadas de acordo com KOSKE & GEMMA (1989).

Os dados de massa seca, fósforo absorvido, comprimento radicular e CM (CM com transformação arco seno) foram submetidos a análise de variância e teste Duncan de comparação de médias, ao nível de 5% de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado que houve interação entre as variáveis estudadas, onde a elevação do pH do solo, as doses de fósforo e a inoculação com FMA nativos influenciam positivamente o rendimento de massa seca e a quantidade de fósforo absorvido pelo milho.

A elevação da dose de fósforo aplicada ao solo promoveu aumentos na produção de massa seca pela parte aérea (Tabela 1), isto deve ter ocorrido por causa do aumento na disponibilidade deste nu-

triente, cujo teor extraído por resina trocadora de ânions passou de 8,0 para 15,5mg/dcm³. No entanto, os maiores rendimentos foram alcançados na maior dose de fósforo e quando a acidez foi corrigida pelo calcário até o pH 5,5, o que eliminou os efeitos deletérios da acidez e proporcionou maior crescimento do sistema radicular em massa seca (Tabela 1), em comprimento e em superfície (Tabela 2), permitindo maior absorção de nutrientes e maior produção de massa seca. Observações semelhantes foram feitas por SIQUEIRA & COLOZZI-F0 (1986), RHEINHEIMER (1991) e RHEINHEIMER & KAMINSKI (1994). A quantidade de fósforo absorvido pela planta acompanhou a mesma tendência da produção de massa seca (Tabela 1), até porque as concentrações de fósforo foram muito similares em todos os tratamentos, tanto na raiz quanto na parte aérea do milho.

A inoculação do solo com FMA nativos aumentou a colonização micorrízica das raízes do milho quando o pH foi mantido no valor original e apresentou menor colonização quando o pH do solo foi aumentado pela calagem para 5,5 (Tabela 2). Este efeito desestimulante no estabelecimento da micorriza pelo aumento do pH também foi observado por HAYMAN & TAVARES (1985), RHEINHEIMER

Tabela 1. Rendimento de massa seca (MS) e quantidade de fósforo absorvido (P) da parte aérea e raízes de milho, influenciado pelo pH do solo, doses de fósforo e inoculação com FMA nativos.

Doses de fósforo mg.kg ⁻¹	Inoculação	Parte aérea		Raízes	
		MS g.vaso ⁻¹	P mg.vaso ⁻¹	MS g.vaso ⁻¹	P mg.vaso ⁻¹
----- pH 4,8 -----					
25	não	2,12a B*	6,36a B	1,27a A	4,80a A
	sim	2,18a B	6,39a B	1,10a A	4,96a A
100	não	5,68a A	17,73a A	1,37a A	5,78a A
	sim	6,02a A	19,69a A	1,23a A	4,52 a A
----- pH 5,5 -----					
25	não	3,76a B	11,56a B	3,09a B	10,03a B
	sim	3,18a B	10,38a B	2,96a B	9,84a A
100	não	19,18a A	57,60 bA	6,14a A	24,46a A
	sim	19,18a A	74,44a A	6,75a A	26,44a A

* Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula para inoculação com FMA na mesma dose de fósforo, maiúscula para as doses de fósforo no mesmo nível de inoculação, diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

Tabela 2. Colonização micorrízica, intensidade de colonização, comprimento, raio médio e superfície radicular influenciados pelo pH do solo, adição de fósforo e inoculação com FMA nativos.

Doses de fósforo mg.kg ⁻¹	Inoculação	Colonização micorrízica (intensidade)	Comprimento		Superfície cm ²
			m	raio médio mm	
----- pH 4,8 -----					
25	não	28 (2)*bA α**	146,6a B	0,19	1705
	sim	40 (2)a A α	121,7a A	0,20	1460
100	não	11 (2) b Bα	194,7a A	0,17	2011
	sim	37 (2)a A α	110,4 bA	0,22	1458
----- pH 5,5 -----					
25	não	05 (2)a A β	364,2a B	0,17	3902
	sim	07 (2)a B β	353,8a B	0,17	3737
100	não	08 (2) bA α	774,4a A	0,16	7736
	sim	29 (2)a A α	664,0a A	0,18	7424

* O número fora do parêntesis se refere a percentagem da colonização micorrízica (CM) e entre parêntesis à intensidade de colonização do córtex radicular (ICM).

** Médias não seguidas pela mesma letra, minúscula para inoculação com FMA na mesma dose de fósforo, maiúscula para as doses de fósforo no mesmo nível de inoculação, grega entre os valores de pH na mesma dose de fósforo, diferem estatisticamente pelo teste Duncan a 5%.

(1991) E RHEINHEIMER & KAMINSKI (1994), destacando ainda que os maiores benefícios para o hospedeiro ocorrem quando as propriedades do solo são mantidas similares as do local de origem dos fungos. Por outro lado, as maiores colonizações observadas nos tratamentos com menor dose de fósforo e/ou menor pH, também como observaram respectivamente LONERAGAN (1978) e RHEINHEIMER & KAMINSKI (1994) permite inferir que o estabelecimento da micorriza é estimulado quando o ambiente for estressante para a planta hospedeira e, por isso, parece que o controle do balanço energético desta associação seria da planta.

A baixa intensidade de colonização das raízes, valor 2, em todos os tratamentos implica que menos da metade das células do córtex radicular estão colonizadas (Tabela 2), indicando uma simbiose de baixa atividade (RHEINHEIMER & KAMINSKI, 1995). Tal situação pode ser atribuída à pouca dependência do híbrido de milho utilizado no experimento, já que a quantidade de fósforo acumulada pelas plantas foi similar nos tratamentos com e sem inoculação (Tabela 2), e somente na dose maior de fósforo adicionado e inoculado é que houve diferença signifi-

cativa. Por outro lado, é possível que o tempo de cultivo das plantas, 46 dias, tenha sido insuficiente para o estabelecimento completo da micorriza, pois FAQUIN (1988) e SUTTON (1973) verificaram que a CM, em soja e milho, aumentou até 60 dias após a emergência das plantas e, portanto, a micorriza ainda se encontraria em fase de estabelecimento, porém, nos tratamentos com maior pH e dose de fósforo, a associação pode ter se estabelecido primeiro e se tornado eficiente mais cedo, o que é mostrado pela maior acumulação de fósforo, como relatam RHEINHEIMER & KAMINSKI (1995).

A inoculação do solo com FMA diminuiu o comprimento e a superfície radiculares (Tabela 2) e não afetou a produção de massa

seca e a absorção de fósforo, tanto da parte aérea como das raízes de milho, exceção ao tratamento que recebeu calcário e a maior dose de fósforo (100mg P/kg); neste aumentou a absorção de fósforo (Tabela 2), o que poderia indicar que, ou a eficiência de absorção de fósforo pelas raízes foi aumentada, ou as hifas extraradiculares compensaram o menor crescimento radicular, contribuindo para a manutenção de absorção deste nutriente pelo sistema radicular do milho, o que parece mais provável. GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI (1983) relatam situação similar.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem as seguintes conclusões:

- a aplicação de calcário e o aumento da dose de 25 para 100 mg P/kg de solo aumenta a produção de massa seca e absorção de fósforo pelo milho;

- a inoculação do solo com fungos micorrízicos arbusculares nativos aumenta a colonização micorrízica das raízes de milho, porém não aumenta o

rendimento de massa seca, a concentração e a absorção total de fósforo pelas raízes e pela parte aérea;

- a colonização por fungos micorrízicos arbusculares nativos reduz o crescimento total de raízes das plantas, mas não reduz a absorção de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, P.R., WILCOX, G.E. Rapid perchloric acid digest methods for analysis of major elements in plant tissue. *Soil Sci Plant Anal*, v. 16, n. 11, p. 1153-1163, 1985.
- BARBER, S.A. *Soil Nutrient Bioavailability: a mechanistic approach*. New York: John Wiley & Sons, 1984. 323 p.
- BUWALDA, G.J., GOH, K.M. Host-fungus competition for carbon a cause of growth depressions in vesicular-arbuscular mycorrhizal ryegrass. *Soil Biol Biochem*, v. 14, p. 103-106, 1982.
- COOPER, K.M. Growth response to formation of endotrophic mycorrhizas in *Solanum leptospermum* and new zealand ferns. In: SANDERS, F., MOSSE, B., TINKER, P.B. *Endomycorrhizas*. London and New York: Academic Press, 1975. p. 391-407.
- ERNANI, P.R., BARBER, S.A. Comparison of P-availability from monocalcium diammonium phosphates using a mechanistic nutrient uptake model. *Fer Res*, The Hague, v. 22, p. 15-20, 1990.
- FAQUIN, V. *Cinética de absorção de fosfato, nutrição mineral, crescimento e produção da soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular (MVA)*. Piracicaba, 1988. 136 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", USP, 1988.
- GEDERMAN, J.W., NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans Brit Mycol Soc*, v. 46, p. 235-244, 1969.
- GIANINAZZI-PEARSON, V., GIANINAZZI, S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. *Plant and Soil*, The Hague, v. 71, p. 197-209, 1983.
- GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol*, Cambridge, v. 84, p. 489-500, 1980.
- HAYMAN, D.S., TAVARES, M. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of diferentes endophytes. *New Phytol*, v. 100, p. 367-377, 1985.
- KOSKE, R.E., GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol Res*, Cambridge, v. 4, p. 486-505, 1989.
- LONERAGAN, J.F. The physiology of plant tolerance to low phosphorus availability. In: ASA-CSSA-SSSA. *Crop tolerance to suboptimal land conditions*. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1978. Chapter 15, p. 329-343.
- MENGE, J.A., STEIRLE, O., BAGYARAJ, D.J., et al. Phosphorus concentration in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol*, Cambridge, v. 80, p. 575-578, 1978.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann Rev Phytopath*, v. 11, p. 171-196, 1973.
- RHEINHEIMER, D.S. *Comportamento de fungos micorrízicos vesicular-arbuscular nativos em pensacola com diferentes pH de solo*. Santa Maria, 1991. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 1991.
- RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J. Intensidade de colonização do córtex radicular como parâmetro de avaliação da simbiose micorrízica. *Ciência Rural*, v. 25, n. 1, p. 223-228, 1995.
- RHODES, L.H., GEDERMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytol*, Cambridge, v. 75, p. 555-561, 1975.
- SANDERS, F.E., TINKER, P.B., BLACK, R.L.B., et al. The development of endomycorrhizal root system. I. Spread to infection and growth-promoting effects with four species of vesicular-arbuscular endophytes. *New Phytol*, Cambridge, v. 78, p. 257-268, 1977.
- SIQUEIRA, J.O., COLOZZI-FO, A. Micorrizas vesicular-arbusculares em mudas de cafeeiro. II: Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *R Bras Ci Solo*, Campinas, v. 10, p. 207-211, 1986.
- SUTTON, J.C. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizae in crop plants. *Can J Bot*, Ontario, v. 5, p. 2487-2493, 1973.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, Oxford, v. 63, p. 995-1001, 1975.