

Os fosfitos no manejo de doenças nas culturas extensivas

Marcelo Carmona¹ e Francisco Sautua¹

O uso dos fosfitos constitui atualmente uma técnica muito divulgada nos cultivos extensivos especialmente em soja. Existem várias discussões a nível nacional e internacional acerca de seus efeitos nas plantas e nos patógenos. Muitos apregoam seu aporte como fertilizante, enquanto outros como indutor de resistência das plantas e finalmente outros como fungicidas.

Os fosfitos como fertilizantes

É importante destacar que o fosfato também chamado "fosfonato", é um sal de ácido fosforoso. Não se deve confundir com os conhecidos fertilizantes a base de fosfatos que provêm do ácido fosfórico. A diferença do ácido fosfórico que contém quatro átomos de oxigênio (H_3PO_4), o ácido fosforoso (H_3PO_3) e os compostos relacionados contêm somente três átomos de oxigênio. Tanto aos fosfatos como aos fosfitos pode-se adicionar outros elementos (K, Cu etc). Os fosfitos são mais solúveis e estáveis nas plantas que os fosfatos. As discussões acerca de que os fosfitos se comportam como fertilizantes e em especial como fonte de fósforo tem sido muitas desde muito tempo, e inclusive se mantém na atualidade. O certo é que as plantas não podem utilizar os fosfitos em forma direta como fonte de P tal como o fazem com os fosfatos, e por isso numerosos autores (Abel et al., 2002; Brunings et al., 2005; Landschoot & Cook, 2005; Mc Donald, 2001; Schroetter et al., 2006; Ratjen & Gerendás, 2009; Thao et al., 2009a; Thao et al., 2009b) declaram que os fosfitos não deveriam

ser utilizados ou difundidos como fertilizantes. As discussões começaram a muitos anos em época de guerra nos EUU e Alemanha (1930 a 1940) em busca de substitutos de fertilizantes fosforados (MacIntire et al., 1950; Landschoot & Cook, 2005), onde atribuiu-se aos fosfitos como possíveis fontes de fósforo. Essas investigações demonstraram que os fosfitos são uma fonte nutricional pobre de P, devido a que a passagem de fosfato a fosfato não ocorre ou é muito lenta sendo levado a cabo por bactérias, principalmente (Bezuidenhout et al., 1987; McDonald et al., 2001a; McDonald et al., 2001b). Posteriormente, a polêmica aumentou com os trabalhos de Lovatt (1990), Lovatt e Mikkelsen (2006), onde informaram que as aplicações foliares de fosfitos em citrinos e abacate podem substituir aos fosfatos quando existe déficit de fósforo. Provavelmente nestes cultivos perenes haja tempo para que os fosfitos possam transformar-se em fosfatos e assim serem aproveitados como fonte de P. Também os trabalhos de Rickard (2000), que indicavam que os fosfitos geram consistentes aumentos de rendimento e qualidade em várias culturas, geraram discussões. Outros autores indicavam que os fosfitos aplicados para substituir aos fosfatos como fontes de fósforo geraram inclusive efeitos daninhos em função do nível de fosfatos na planta, e que estes efeitos são maiores com baixos níveis de fosfato, concluindo que o efeito dos fosfitos sobre as plantas é inconsistente, porém fortemente dependente do status de concentração de fosfatos em plantas (Thao et al., 2009a; Thao et al., 2009b; Ratjen & Gerendás, 2009).

¹Cátedra de Fitopatología. FAUBA.
Buenos Aires, Argentina
carmonam@agro.uba.ar

Estes autores mencionam que se houveram publicações informando sobre os impactos positivos das aplicações de fosfatos nos rendimentos e qualidade de várias culturas, estes efeitos são provavelmente mais devido à supressão de doenças que o seu efeito como fertilizantes, demonstrando que o efeito deletério do fosfato é evidente em plantas com baixos níveis de fosfatos, mas não em plantas com níveis suficientes de fosfatos. O certo é que a maioria das publicações coloca em consideração a ação do fosfato como fungicida contra Oomicetos e como indutor das defesas da planta mais que como fertilizante em si.

Os fosfatos como antifúngicos

Uma substância é considerada fungicida quando apresenta toxicidade ao patógeno objeto de controle. Geralmente se associa a palavra fungicida com a morte do fungo (fungus: fungo; cida: morte). Porém, algumas substâncias que também são conhecidas como fungicidas, controlam doenças inibindo o crescimento micelial ou sua esporulação. Estas são chamadas substâncias fungistáticas e antiesporulantes. As propriedades antifúngicas dos fosfatos foram descobertas na França na década de 1970, precisamente em estudos com Fosetyl-Al sobre a requeima da batata (*Phytophthora infestans*).

A comprovação como ação antifúngica destas substâncias foi realizada nos Oomicetos: *Phytophthora*, *Pseudoperonospora*, *Peronospora*, *Plasmopara*, *Pythium*, *Albulgo* e *Bremia*. Os efeitos sobre este grupo de microorganismos consistem na inibição do crescimento micelial (fungistático), mudanças metabólicas que influenciam diretamente no pseudo-fungo, e supressão de germinação e esporulação (Cohen & Coffey, 1986; Garbelotto et al., 2009).

Os fosfatos são mais efetivos contra os Oomicetos "in vivo" que "in vitro" e, além disso, tem efeitos antifúngicos diretos sobre os patógenos, ativam os mecanismos de defesa das plantas (Guest and Grant, 1991).

Os fosfatos são utilizados como parte do manejo integrado de doenças em culturas como batata, tomate, videira, hortícolas, gramados, etc.

Por exemplo, para o cultivo de batata na Argentina, Lobato e col (2008) demonstraram que os fosfatos diminuíram o ataque de *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* e *Fusarium solani* (Lobato et al., 2008). Estes mesmos autores corroboraram a hipótese que os fosfatos são mais fungistáticos que fungicida (Lovato et al., 2010) e que os efeitos dos fosfatos são mais importantes sobre *P. infestans*.

As experiências em outros cultivos e outros patógenos resultam muito interessantes. Por exemplo, para o cultivo de soja na Argentina, Carmona et al. (Carmona et al., 2009; Carmona et al., 2008; Carmona et al., 2006a; Carmona et al., 2009b; Carmona, 2009) realizaram 9 ensaios com fosfatos (Phi) entre os anos 2005 a 2008 (safras agrícolas 2004/2005, 2005/2006 e 2007/2008), 8 com fosfato de potássio (PhiK) e 1 com fosfato de cobre (PhiCu), demonstrando em um ensaio no Sul de Santa Fé que o uso de fosfatos de K reduz a severidade das DFC aumentando o rendimento entre 210 a 270 kg/ha.

Os resultados da Tabela 1 mostram que as aplicações de Phi geraram aumentos nos rendimentos que dependeram do ano, dose e características dos ensaios. Assim, como de exemplo, seis aplicações de PhiK na dose de 1 litro por ha deram respostas médias de 194 kg/ha (máx. 325 kg/ha - min. 90 kg/ha). O índice de controle de severidade de DFC médio foi de até

18%. As 6 aplicações de PhiK a dose de 0,5 litros por ha deram respostas médias de 153 kg/ha (máx. 234 kg/ha - min. 21 kg/ha). Mesmo assim resultou muito interessante a mistura complementar de um fungicida (estrobirulina mais triazol) mais 0,5 litros de Phi de K, que aumentou o rendimento em 14%, em relação a média obtida por utilizar a mistura de fungicidas em forma individual em 9 ensaios (481 vs 420 kg/ha). Neste aspecto, um ensaio realizado em Las Parejas (Carmona e Sautua dados não publicados) trouxe resultados que fortalecem a possibilidade de misturas de fungicidas mais Phi incluso com a metade da dose de fungicida. A Tabela 2 demonstra como a mistura da metade da dose recomendada de piraclostrobin + epoxiconazole mais Phi K, gerou um rendimento maior (maior número de grãos) que a aplicação da dose cheia da mistura de fungicidas. Em ambos os tratamentos o % de controle foi semelhante (44 e 45%). Para o caso particular da mancha olho-de-rã (Carmona et al., 2010) durante a campanha 2009/2010 avaliou-se o efeito da mistura de fungicidas (estrobirulina mais triazol e carbendazim) com um composto que continha aminoácidos e fosfatos para o controle de mancha olho-de-rã (MOR). Registrhou-se uma diminuição de 52% do número de lesões de MOR por folíolo (331 vs 160 lesões/folíolo). Quando se avaliou o composto de fosfatos em aplicações individuais o controle foi de 33%.

Tabela 1. Impacto do uso de fosfatos (Phi) de K e de Cu, isolados ou em misturas com fungicidas sobre o rendimento da cultura de soja em ensaios de controle de DFC.

Tratamentos	Nº de Ensaios	Nº de Aplicações	Aumento de Rendimento (kg/ha)
Phi K 0,5lt	5	6	153 (234 - 21)
Phi K 1lt	6	6	194 (325 - 90)
Phi Cu 1,5lt	1	2	132 (225 - 38)
Phi K 0,5 lts + Azoxistrobina + Cyproconazole (300)	1	2	481 (571 - 391)
Phi K 1 lt + Azoxistrobina + Cyproconazole (300)	3	3	387 (451 - 340)
PhiCu 1,5lt + Azoxistrobina + Cyproconazole (300)	1	2	297 (353 - 240)
Azoxistrobina + Cyproconazole (300)	9	11	420 (601 - 234)

Tabela 2. Rendimento, componentes de rendimento, severidade das DFC e seu controle. Ensaio realizado em Las Parejas, Santa Fe, safra 2007/2008.

Tratamento	Rendimento (kg/ha)	Resp (kg/ha)	P 1000 (gr)	NG	% Sev 30 DDA	% Controle
Testemunha	2566 a	0	155 a	1661 a	46 b	0
Phi K [500cc] + (Piraclostrobina + Epoxiconazole) [350cc] - R3	2936 c	370	158 b	1855 c	25 a	45
Piraclostrobina + Epoxiconazole [700cc] - R3	2800 b	234	158 b	1778 b	26 a	44

Fonte: Carmona e Sautua sem publicar. UBACyT G020 y UBACyTG043

Apesar de não ter sido possível determinar a campo qual foi a função principal do Phi aplicado a cultura de soja (antifúngico ou indutor de defesas ou ambas), todos estes dados resultam promissores para considerar ao Phi como ferramenta complementar ao uso de fungicidas em um programa de manejo integrado. Porém são necessários ainda mais ensaios e pesquisas.

Fosfitos como indutores de resistência

A indução a resistência é um fenômeno que ocorre quando por um estresse ou uma pré-infecção de algum patógeno, as plantas se voltam resistentes a infecção posterior de outros patógenos. Este mecanismo pode ocorrer por duas alternativas: 1) resistência sistêmica adquirida RSA ou 2) resistência sistêmica induzida RSI (Vallad and. Goodman, 2004).

A RSA tem como protagonista o ácido acetil salicílico (AS) gerando um aumento das proteínas relacionadas com a patogênese (PR). A ativação da RSA é acompanhada de um incremento endógeno, local e sistêmico de ácido salicílico (AS) que promove principalmente a PR.

A RSI é gerada por bactérias promotoras do crescimento geralmente do solo. De igual maneira que a RSA, a RSI é uma resistência sistêmica, de amplo espectro (vírus, bactérias, fungos) e duradoura, mas a ativação da RSI não depende de um incremento endógeno local e sistêmico de AS. Pelo contrário, essa resistência depende das rotas reguladas pelos hormônios etileno (ET) e ácido jasmônico (JA).

Em geral, o aumento da resistência pode dever-se às proteínas relacionadas com a patogênese (PR) e pelas fitoalexinas (FX).

As PR são proteínas sintetizadas pela planta quando esta é atacada ou estimulada com algumas substâncias. Alguns exemplos são β -glutanasas ou quitinasas que em forma sinérgica degradam a parede celular dos fungos. Estes aumentos de defesa também podem ocorrer sem nenhuma infecção prévia, senão através da utilização de substâncias que ativam as PR e as fitoalexinas. Dentro destas substâncias pode-se mencionar a acibenzolar-S-metilo (Romero et al 2008 e 2009), fosfitos etc. Ademais, e como discutiu-se previamente no caso do P, segundo várias publicações, o P estaria também envolvido no aumento das defesas das plantas quando é aplicado como fertilizante (fosfato) (Reuveni e col 1994 a e b). Desta maneira, aplicações foliares de fosfatos no milho induziram uma proteção sistêmica contra *P. sorghi* e *E. turicum* (Graham, 1983).

As fitoalexinas são substâncias antimicrobianas que são sintetizadas rapidamente na planta após um ataque microbiano. Os fosfitos têm demonstrado serem indutores da resistência, sendo esta a função mais universalmente aceita para os fosfitos.

Uma proposta interessante de denominação e conceito foi realizada por Wiese et al (2003) já que a RSA pode ser induzida por patógenos avirulentos mas também por compostos químicos. Wiese et al., (2003) introduziram o termo resistência quimicamente induzida (RQI), para descrever a resistência sistêmica adquirida após a aplicação de um composto sintético. Entre os elicitores da RSA se encontra o fosfato de potássio, benzothiabendazole, ácido salicílico e probanazole. Os fosfitos, portanto, induzem ou ativam sistemas de defesa que colocam-se em funcionamento quando as plantas so-

frem ataques por patógenos ou insetos (Dordas, 2008; Percival, 2010).

Por outro lado, aplicações de baixas concentrações de fosfito (0.63 mg de HPO32- por planta) inibiram o desenvolvimento de nematóides *Heterodera avenae* e *Meloidogyne marylandi* em trigo e cevada, mas a aplicação de fosfatos (PO43-) como fosfatos de potássio nas mesmas concentrações não reduziu o número de nematóides em trigo (Oka et al., 2007).

Conclusões

O manejo de doenças pela nutrição mineral de plantas deveria receber maior atenção pela pesquisa. Sua potencialidade de uso deveria ser priorizada no manejo de doenças a considerar seus aspectos práticos, econômicos e os relacionados com a proteção ambiental.

De maneira geral, os nutrientes podem reduzir as doenças ou diminuí-las a níveis de intensidade que junto com outras práticas como, por exemplo, culturais, genéticas, proporcionam uma melhor sanidade dos cultivos. A melhoria na defesa contra as doenças estaria fundamentada não somente pelas melhorias nas condições de crescimento da cultura, mas também pela própria interação com a biologia e nutrição dos patógenos.

Os fosfitos constituem ainda um desafio adicional. Apesar do uso como fertilizante ser contraditório, está consolidada a hipótese de ser um indutor das defesas das plantas e com atividades antifúngicas. Os resultados do uso de fosfitos no manejo sanitário de soja na Argentina foram promissores e sugerem a necessidade de continuar estudando o comportamento dos fosfitos para avaliar sua utilidade como

ferramenta complementar não somente no manejo das DFC e da MOR na cultura da soja, mas também em outras doenças e em outras culturas. Pelo exposto, mais pesquisas são necessárias para avaliar interdisciplinariamente e com maior profundidade fitopatológica e epidemiológica os impactos da nutrição e uso de fosfitos sobre os cultivos, estudando além da relação nutrição-rendimento, a interação com a susceptibilidade dos genótipos, a avaliação das doenças e do ambiente.

Bibliografia

- Abel S., Ticconi C.A., Delatorre C.A. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plant.* 115, 1-8.
- Bezuidenhout, J.J., J.M. Darvas and J.M Kotze. 1987. The dynamics and distribution of phosphite in avocado trees treated with phosetyl-Al. *South African Avocado Growers' Association Yearbook 1987* 10:101-103 Katz, M. 1996. Spoon-feeding phosphorus. *Citograph* 81:4-6.
- Brunings A.M., Datnoff L.E., Simonne E.H. 2005. Phosphorous Acid and Phosphoric Acid: When all P Sources are not Equal. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Available at: <http://edis.ifas.ufl.edu/hs254>.
- Carmona A. M., Formento A.N., Scandiani M.M. 2010. Manual Mancha Ojo de Rana. ed. Horizonte A. Buenos Aires, Argentina. 48 p.
- Carmona M.; Sautua F. y Mendoza C. 2009. Los fosfitos y la nutrición mineral como una herramienta complementaria para el manejo de las EFC en el cultivo de soja. *Horizonte A Nro 25*, 34-36, pp. Convenio FAUBA-AAPRESID.
- Carmona, M.; Sautua, F y Gally, M. 2008. Efecto de fosfato de potasio y fungicidas en el control de enfermedades de fin de ciclo de la soja. Libro de resúmenes, Primer Congreso Argentino de Fitopatología, mayo de 2008, Córdoba; P 206.
- Carmona M., Abello A., Sautua F., Gally M. 2006a. Fertilizantes foliares para el manejo de las enfermedades de fin de ciclo de la soja en el sur de Santa Fe. Mercosoja 2006, 3er Congreso de Soja del Mercosur, Rosario 27 al 30 de junio de 2006: pp. 326-328
- Carmona, M.; Abello, A., Sautua, F. y Gally, M. 2006b. Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares en el manejo de las enfermedades de fin de ciclo de la soja. Pag. 385-386 XII Jornadas Fitosanitarias Argentinas 28, 29 y 30 de junio de 2006, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Carmona, M. 2006. Fosfato de cobre y fungicidas Combinación de diferentes fungicidas y momentos de aplicación. *Revista Agromercado*. pp. 168-170 Setiembre de 2006.
- Cohen, Y. and M.D. Coffey. 1986. Systemic Fungicides and the Control of Oomycetes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 24:311-338.
- Dordas C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28 (2008): 33-46.
- Garbelotto M., Härnik T.Y., Schmidt D.J. 2009. Efficacy of phosphonic acid, metalaxyl-M and copper hydroxide against *Phytophthora ramorum* in vitro and in planta. *Plant Pathol.* 58: 111-119.
- Graham D.R. 1983. Effects of nutrients stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements, *Adv. Bot. Res.* 10, 221-276.
- Guest D.I., Grant B.R. 1991. The complex action of phosphonates as antifungal agents. *Biol. Rev.* 66: 159-187.
- Landschoot P, Cook J. 2005. Sorting out the phosphonate products. *Science For The Golf Course*, November 2005: 73-77.
- Lobato, M.C., Olivieri F.P., González Altamiranda E.A., Wolski E.A., Daleo G.R., Caldiz D.O., Andreu A.B. 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *Eur. J. Plant Pathol.* 122: 349-358.
- Lovatt, C.J. 1990. A definitive test to determine whether phosphate fertilization can replace phosphate fertilization to supply P in the metabolism of *Hass* on Duke 7. *California Avocado Society Yearbook*. 74:61- 64.
- MacIntire W.H., Winterberg S.H., Hardin L.J., Sterges A.J., Clements L.B. 1950. Fertilizer evaluation of certain phosphorus, phosphorous, and phosphoric materials by means of pot cultures. *Agron. J.* 42:543-549.
- McDonald A.E., Grant B.R., Plaxton W.C. 2001a. Phosphite (phosphorous acid): Its Relevance in the Environment and Agriculture, and Influence on the Plant Phosphate Starvation Response. *J Plant Nutrition*, Vol. 24: pp. 1505-1519.
- McDonald A.E., Niere J.O., Plaxton W.C.. 2001b. Phosphite disrupts the acclimation of *Saccharomyces cerevisiae* to phosphate starvation. *Can. J. Microbiol.* 47(11): 969-978.
- Oka Y., Tkachi N., Mor M. 2007. Phosphite inhibits development of the nematodes *Heterodera avenae* and *Meloidogyne marylandi* in cereals. *Phytopathology* 97:396-404.
- Percival G.C. 2010. Effect of Systemic Inducing Resistance and Biostimulant Materials on Apple Scab Using a Detached Leaf Bioassay. *Arboriculture & Urban Forestry* 36(1): 41-46.
- Ratjen A.M., Gerendás J. 2009. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of Phosphorus. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 821-828.
- Reuveni R., Reuveni M., Agapov V. 1994b. Induction of growth increase and systemic resistance to *Exserohilum turcicum* in maize by foliar spray of phosphates. I. *Phytopathol.* 141: 337-346.
- Rickard D.A. 2000. Review of phosphorus acid and its salts as fertilizer materials. *J. Plant Nutr.* 23:161-180.
- Thao H.T.B., Yamakawa T. 2009a. Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Science & Plant Nutrition* V 55 (2): 228-234.
- Thao H.T.B., Yamakawa T., Shibata K. 2009b. Effect of phosphite-phosphate interaction on growth and quality of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa*). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172: 378-384.
- Vallad G.E., Goodman R.M. 2004. Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agriculture. *Crop Sci.* 44:1920-1934.
- Wiese J., Bagy M.M.K., Shubert S. 2003. Soil properties, but not plant nutrients (N, P, K) interact with chemically induced resistance against powdery mildew in barley, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 379- 384.