



Nutrição saudável

A relação entre a oferta equilibrada de nutrientes minerais às plantas de trigo e a ocorrência de doenças bióticas na cultura

Treze elementos minerais são considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas de trigo: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), ferro (Fe), molibdênio (Mo) e cloro (Cl). Esses nutrientes são os mesmos que são essenciais para a grande maioria das plantas de importância agrícola, e a sua oferta para as plantas, em proporções equilibradas, é fundamental para o sucesso da produção e da qualidade tecnológica dessa produção que, no caso da cultura do trigo, são os grãos.

O desenvolvimento das doenças causadas por agentes fitopatogênicos é afetado pela oferta às plantas desses elementos nutricionais, condição que pode viabilizar ou não a otimização das va-

lências agronômicas dessas plantas. Além disso, a falta ou o excesso de um determinado nutriente pode afetar a atividade de outros nutrientes, gerando consequências no metabolismo da planta. Destaca-se, ainda, que a disponibilidade de nutrientes para a planta tem relação direta com a concentração do nutriente no solo; sua forma e sua solubilidade, capacidade de assimilação por parte da planta e condições ambientais no local onde está estabelecida em relação a aspectos como pH, umidade e temperatura.

O componente positivo do tema nutrição mineral de plantas, em relação às doenças bióticas, é o fato de que os efeitos prejudiciais causados pelos fitopatógenos podem ser bastante minimizados por meio da oferta às plantas de nutrientes em quantidades equilibradas. O fornecimento de nutrientes de forma balanceada favorece o crescimento normal das plantas e é também considerado relevante para seus processos de defesa contra os agentes fitopatogênicos. A deficiência, o excesso ou o desequilíbrio nas combinações de elementos nutricionais pode influenciar a reação das plantas à infecção pelo patógeno de forma a aumentar o nível de defesa ou favorecer a ocorrência de doenças.

É possível afirmar que são relativamente escassas as informações sobre os efeitos da oferta de nutrientes minerais para as plantas em relação à ocorrência de doenças de natureza biótica. A cultura do trigo também pode ser incluída nesse contexto. Além disso, é comum observar nos trabalhos que tratam desse tema a ocorrência de dificuldades na avaliação dos dois tipos principais de variáveis mensuradas em tais trabalhos. Tais dificuldades estão relacionadas à acuracidade e/ou precisão da fenotipagem dos sintomas nas plantas e da determinação da concentração dos elementos químicos ofertados para estas plantas. No caso da medição dos nutrientes disponíveis para as plantas, o que é mais comum observar é que a medição dessa variável é realizada quantificando-se somente a dose do elemento químico adicionado ao solo, sem precisar o quanto realmente fica disponível ou é absorvido pelas plantas.



Deficiência de N



Deficiência de P



Deficiência de K

MACRONUTRIENTES

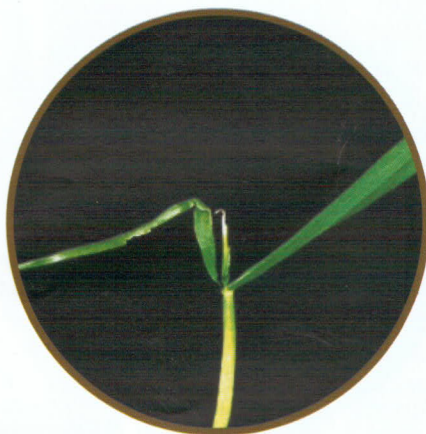
Os nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, absorvidos em quantidades mais elevadas pelas plantas (macronutrientes), possuem mais informações descritas na literatura de seus efeitos sobre as doenças em relação aos micronutrientes.

Plantas bem nutridas com nitrogênio apresentam maior período de crescimento e desenvolvimento, tecidos

tenros e atraso na maturidade. Ao contrário, plantas deficientes apresentam menor crescimento, são mais frágeis e envelhecem precocemente, sendo assim mais suscetíveis ao ataque de patógenos. Nas duas formas de absorção do nitrogênio pela planta (nitrato, NO_3^- , e amoniacal, NH_4^+), a assimilação pode ocorrer de maneira diferente e exercer um efeito bem discrepante sobre as



Deficiência de S



Deficiência de B



Deficiência de Zn

doenças. Existe diferença em relação à forma de aplicação, como no caso das podridões de raiz de trigo causadas por *Fusarium* spp., em que, na forma de NO_3^- , atua diminuindo o ataque do patógeno, e na forma NH_4^+ , age de forma contrária. Quanto às doenças foliares em trigo, a adubação nitrogenada em doses elevadas aumenta a suscetibilidade das plantas, como observado no complexo

das ferrugens (*Puccinia* spp.). Também já foi verificado que a severidade de oídio (*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*) e de manchas foliares causadas por *Septoria tritici* aumenta com maiores taxas de fertilização nitrogenada.

O P é necessário para a formação de compostos biorgânicos e ativo em processos metabólicos de vital importância para as plantas. Apesar disso, sua ação

na resistência às doenças é variável e parece ser pouco evidente. Na cultura de trigo, poucos estudos relatam a ação de P em relação à resistência das plantas às doenças. Nas raízes, uma maior concentração de P resulta na menor exsudação de aminoácidos, o que provoca a redução da atividade de patógenos e, assim, resulta na menor severidade da doença mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). Entretanto, elevados níveis de P podem favorecer o aparecimento da mancha da gluma em trigo causada por *Stagonospora nodorum*.

Nutriente conhecido por exercer mais influência sobre as doenças, o K aumenta a resistência das plantas à ação de penetração e impede o desenvolvimento de alguns patógenos a partir do aumento da espessura da parede celular, que gera mais rigidez dos tecidos e ajuda a promover rápida recuperação das injúrias. Plantas deficientes em K originam parede celular mais fina, enfraquecimento do colmo, menor crescimento radicial, acúmulo de fotossintatos nas folhas e de N não utilizado, deixando a planta mais sensível à infecção por fungos, bactérias e vírus. Dentre reações observadas, o K tem demonstrado efeitos na redução da severidade do complexo de ferrugens causadas por *Puccinia* sp. em trigo. Já foi observado que a aplicação de cloreto de potássio (KCl) reduziu a infecção de oídio e manchas foliares. O K torna a parede celular mais forte, menos propensa a organismos invasores.

O Ca tem um papel crítico na divisão e desenvolvimento celular, na estrutura da parede celular e na formação da lamela média, sendo praticamente imóvel nos tecidos. Além de ser capaz de induzir resistência em plantas através do seu efeito no metabolismo de pectinas, o Ca modifica as pectinas hidrossolúveis e deixa-as resistentes às enzimas pectolíticas dos patógenos. Muitos fungos e bactérias invadem o tecido vegetal através da produção extracelular de enzimas pectolíticas como a poligalacturonase, que dissolve a lamela média.

Os registros limitados dos efeitos do S em doenças de plantas refletem a grande oferta deste elemento na maioria dos solos. Com isso, o modo de ação do S ainda é incerto. Supõem-se que as

células fúngicas são permeáveis, podendo o elemento ser absorvido por tais agentes patogênicos e afetar a atividade respiratória do fungo. Outra hipótese é a de que a absorção do S altera o fluxo de elétrons na cadeia respiratória mitocondrial, tornando-o fungitóxico.

O Mg atua na regulação de processos fisiológicos que influenciam na suscetibilidade ou resistência de doenças de plantas. Níveis equilibrados deste elemento auxiliam na integridade estrutural da lamela média e na produção de energia para funções de defesa e inativação de metabólitos patogênicos. Ao exercer um importante papel no transporte de fotossintatos no floema, sua deficiência provoca o acúmulo de sacarose e aminoácidos nas folhas, o que cria um ambiente propício ao ataque de vários patógenos.

MICRONUTRIENTES

No que se refere aos nutrientes essenciais requeridos em menores quantidades (micronutrientes), a sua oferta às plantas por meio da adubação nem sempre se reflete em produtividade,

mas no vigor das plantas e na tolerância a pragas e doenças e até na qualidade do produto colhido. Os micronutrientes são igualmente importantes como os macronutrientes no controle de diferentes doenças das plantas ao desempenharem um papel na redução da sua gravidade devido ao envolvimento na fisiologia e bioquímica da planta. Em geral, os micronutrientes inibem a penetração do patógeno, afetando a rigidez da parede celular e a integridade física da estrutura da membrana.

Embora o papel do B nas plantas não seja bem claro, sua função parece estar muito relacionada a aspectos fisiológicos e bioquímicos. O B, assim como o Ca, promove a rigidez da parede celular e atua na permeabilidade da membrana, por isso pode suprimir a penetração de patógenos. A deficiência de B prejudica a integridade estrutural da membrana, que pode resultar na liberação de compostos orgânicos da célula para o exterior, tornando-se substrato para patógenos e sua disseminação.

O Fe é um elemento que desempe-

na um papel complexo nas interações planta-patógeno. Existe o registro de interações planta-patógeno em que o nutriente melhorou o crescimento do patógeno. Porém, o Fe é essencial para a síntese de fitoalexinas e indução de resistências às doenças.

O Zn desempenha um papel importante na ativação de enzimas envolvidas em várias vias metabólicas, especialmente na síntese de proteínas e amido. A nutrição com Zn além de aumentar o vigor, reduz a severidade da podridão das raízes causada por fusarium em trigo, proporcionada pela melhora na integridade das membranas celulares e diminuição nos danos oxidativos provocados pela liberação de lipídios nas raízes.

O Mn é um dos micronutrientes mais estudados pelo seu efeito sobre doenças e sua importância no desenvolvimento da resistência em plantas. O Mn desempenha um papel importante na biossíntese de compostos de lignina e fenol, sendo que, devido à sua baixa mobilidade no floema, contribui na lignificação da parede celular e serve de

Tabela 1 - Principais doenças causadas por agentes fitopatogênicos na cultura do trigo e sua relação com elementos minerais essenciais

Nutriente	Doença	Agente causal	Efeito do nutriente*	Bibliografia consultada
Nitrogênio	Ferrugem linear	<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade aumenta com N	Devadas <i>et al.</i> (2014)
	Podridão raiz	<i>Fusarium</i> spp.	Resistência aumenta com NO ₃ -	Zambolim & Ventura (1993)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade aumenta com N	Olesen <i>et al.</i> (2013)
	Mosaico do trigo	<i>Wheat stripe mosaic virus</i> (WhSMV)	Relação de dependência não foi estabelecida	Stempkowski (2019)
Potássio	Mancha amarela	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	Resistência aumenta com K	Sharma <i>et al.</i> (2005)
	Ferrugens	<i>Puccinia</i> spp.	Resistência aumenta com K	Sweeney <i>et al.</i> (2000), Agrios (2005)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade reduzida com KCl	Cook <i>et al.</i> (1993)
	Mancha salpicada	<i>Septoria tritici</i>	Severidade reduzida com KCl	Cook <i>et al.</i> (1993)
Fósforo	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	P reduz a severidade	Graham & Menge (1982)
	Mancha da gluma	<i>Stagonospora nodorum</i>	P favorece doença	Agrios (2005)
Boro	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade reduzida com B	Marschner (1995)
	Ferrugens	<i>Puccinia</i> sp.	Deficiência aumenta severidade	Huber (1980)
Zinco	Podridão radicular	<i>Fusarium solani</i>	Aplicação de Zn aumenta tolerância	Grewal <i>et al.</i> (1996), Khoshgoftarmansh <i>et al.</i> (2010)
Cobre	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Reduzido com aplicação de Cu	Evans <i>et al.</i> (2007)
	Manchas foliares	<i>Septoria</i> spp.	Reduzido com aplicação de Cu	Dutta <i>et al.</i> (2017)
	Ferrugem da folha	<i>Puccinia triticina</i>	Reduzido com aplicação de Cu	Dutta <i>et al.</i> (2017)
	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Reduz severidade	Dutta <i>et al.</i> (2017)
Cloro	Queima da folha	<i>Pseudomonas syringae</i>	Diminui ocorrência	Agrios (2005)
	Ferrugem linear	<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Presença de Cl controla	Graham & Webb (1991)
	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Fertilizante c/ cloreto aumenta resistência	Graham & Webb (1991)
Manganês	Mancha da gluma	<i>Stagonospora nodorum</i>	Fertilizante c/ cloreto aumenta resistência	Graham & Webb (1991)
	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Lignina e suberina associados com Mn – conferem mais resistência	Krauss (1999)
Silício	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Lignina e suberina associados com Mn – conferem mais resistência	Krauss (1999)
	Ferrugem da folha	<i>Puccinia triticina</i>	Maior resistência com cloretos	Vey (2017)
Giberela	Giberela	<i>Fusarium graminearum</i>	Si reduz incidência e severidade	Morello <i>et al.</i> (2017)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Si reduz a severidade	Bélanger <i>et al.</i> (2003)
	Brusone	<i>Pyricularia oryzae</i>	Inibe crescimento in vitro	Bergmann <i>et al.</i> (2017)

*Avaliação descrita no trabalho consultado.

barreira contra a infecção por patógenos. Já foi verificado que Mn, em alta concentração nos tecidos, reduziu os sintomas de brusone em arroz.

O cobre é componente de muitas enzimas importantes para a síntese da lignina e está associado à estrutura lipídica das membranas celulares. Em trigo, já foi constatado que aplicações à base de cobre no solo têm reduzido a quantidade de infecções de oídio. Além de ser benéfico no controle da ferrugem da folha, manchas causadas por septoria e mal-do-pé. Aplicações de cobre também diminuem a ocorrência de bacterioses no colmo de trigo causadas por *Pseudomonas chiorii*.

Existem poucos relatos que associam o Mo à resposta das plantas a doenças. Não se sabe se o elemento desempenha uma função específica na proteção das plantas contra doenças.

No caso do Cl, alguns trabalhos apontam que fertilizantes com cloreto promovem uma reação de resistência parcial contra os fungos: *Puccinia* sp., *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* e *Septoria* spp. A sua forma de ação não está clara, o que pode estar exercendo interação com outros nutrientes, como o Mn. É importante

João Nunes Maciel



A deficiência de nutrientes pode influenciar na reação das plantas à infecção por patógenos

destacar que o Cl desempenha papel relacionado à manutenção de níveis de salinidade de planta, e um estresse causado pelo seu desequilíbrio reduziria a tolerância aos patógenos.

O silício (Si) não é considerado um nutriente essencial às plantas, mas se encontra em abundante concentração nas gramíneas. O elemento auxilia no controle alternativo ao ataque de pragas e doenças, através de mecanismos físicos e bioquímicos. O modo de ação e sua função no controle de doenças

ainda não estão totalmente esclarecidos, mas há indicações de que auxilia no fortalecimento das estruturas da parede celular e na ativação de compostos fenólicos, fitoalexinas e lignina, de enzimas de defesa e genes associados à resistência da planta. Em trigo e cevada o Si deposita-se em células epidérmicas infectadas criando uma barreira física para evitar a penetração por hifas de fungos. Diante disso, estudos com silicato de potássio têm demonstrado a sua capacidade em reduzir a severidade de doenças em trigo, como a ferrugem da folha (*Puccinia triticina*). Avaliações sobre o efeito do Si em cultivares de trigo com diferentes níveis de resistência à giberela demonstraram que esse elemento pode reduzir ou atrasar a infecção do patógeno, diminuindo a incidência e severidade da doença. Além disso, foi demonstrada, in vitro, capacidade inibitória de crescimento micelial de *Pyricularia oryzae*, agente causal da brusone.

João L. Nunes Maciel
Marcos Kovaleski e
Fabiano Daniel de Bona
Embrapa Trigo

Tabela 2 - Principais doenças bióticas da cultura do trigo e sua relação com elementos químicos utilizados na adubação

Nutriente	Doença	Agente causal	Consequência na planta	Bibliografia consultada
Nitrogênio	Ferrugem linear	<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade aumenta com N	Devadas <i>et al.</i> (2014)
	Podridão raiz	<i>Fusarium</i> sp.	Resistência aumenta com NO ₃ ⁻	Zambolim & Ventura (1993)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Severidade aumenta com N	Olesen <i>et al.</i> (2013)
Potássio	Mancha amarela	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	Resistência aumenta com K	Sharma <i>et al.</i> (2005)
	Ferrugens	<i>Puccinia</i> spp.	Resistência aumenta com K	Sweeney <i>et al.</i> (2000), Agrios (2005)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Resistência aumenta com K	Mann <i>et al.</i> (2004)
	Mancha da gluma	<i>Stagonospora nodorum</i>	Resistência aumenta com K	Mann <i>et al.</i> (2004)
Fósforo	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	P reduz a severidade	Graham e Menge (1982)
	Mancha da gluma	<i>Stagonospora nodorum</i>	P aumenta severidade	Agrios (2005)
Boro	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Decresce com aplicação de B	Marschner (1995)
	Ferrugens	<i>Puccinia</i> sp.	Deficiência aumenta severidade	Huber (1980)
Zinco	Podridão radicular	<i>Fusarium solani</i>	Aplicação de Zn aumenta tolerância	Grewal <i>et al.</i> (1996), Khoshgofarmanesh <i>et al.</i> (2010)
Cobre	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Reduzido com aplicação de Cu	Evans <i>et al.</i> (2007)
	Manchas foliares	<i>Septoria</i> spp.	Reduzido com aplicação de Cu	Dutta <i>et al.</i> (2017)
	Ferrugem da folha	<i>Puccinia triticina</i>	Reduzido com aplicação de Cu	Dutta <i>et al.</i> (2017)
	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Reduz severidade	Dutta <i>et al.</i> (2017)
	Queima da folha	<i>Pseudomonas syringae</i>	Diminui ocorrência	Agrios (2005)
Cloro	Ferrugem linear	<i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Presença de Cl controla	Graham e Webb (1991)
	Mal-do-pé	<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	Fertilizante com cloreto aumenta resistência	Graham e Webb (1991)
	Mancha da gluma	<i>Stagonospora nodorum</i>	Fertilizante com cloreto aumenta resistência	Graham e Webb (1991)
Silício	Ferrugem da folha	<i>Puccinia triticina</i>	Reação parcial ao cloreto	Vey (2017)
	Giberela	<i>Fusarium graminearum</i>	Si reduz incidência e severidade	Morello <i>et al.</i> (2017)
	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Si reduz a severidade	Bélanger <i>et al.</i> (2003)
	Brusone	<i>Pyricularia oryzae</i>	Inibe crescimento in vitro	Bergmann <i>et al.</i> (2017)