SÓCIOS:
Instituto da Potassa e do Fosfato (EUA)
Instituto da Potassa e do Fosfato (Canadá)

DIRETOR:
T. Yamada

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Nº 84 DEZEMBRO/98

MANEJO DO BORO DE ACORDO COM SUA MOBILIDADE NAS DIFERENTES CULTURAS [1]

Patrick H. Brown[2]
Hening Hu[3]

A deficiência e a toxicidade de boro ocorrem em todas as regiões agrícolas do mundo. A identificação e a correção do desequilíbrio em B requerem o conhecimento dos processos que governam sua absorção, remobilização e distribuição na planta.

O BORO É MÓVEL OU IMÓVEL NO TECIDO DA PLANTA?

Sabe-se atualmente que o boro é móvel no floema de todas as espécies que utilizam polióis (açúcares simples) como um metabólito fotossintético primário. Nestas espécies, um complexo poliol-B-poliol é formado nos tecidos fotossintéticos e é transportado no floema para drenos ativos, como meristemas vegetativos ou reprodutivos. Em espécies que não produzem quantidades significativas de polióis, o B, uma vez transportado até a folha através do fluxo transpiratório, não pode entrar no floema, resultando na sua completa imobilidade na folha.

Em espécies nas quais o B é imóvel, ele se move com o fluxo da transpiração, e uma vez que entra em uma folha ele tende a aí permanecer. Nestas espécies, o B se acumulará nos locais de terminação de veias da folha. Encontra-se freqüentemente um gradiente abrupto na concentração de B de tal modo que sua concentração em pecíolo e nervura central < meio da lâmina < margens e ápices. Este princípio é ilustrado na Figura 1, na qual é comparada a distribuição de B em uma folha madura de nogueira e de macieira. Em nogueira, onde o B é imóvel, a maior acumulação ocorreu no ápice e na margem da folha.

Veja neste número:

Análise foliar: faça amostragem correta 4
Dinâmica de íons no solo manejado com resíduos vegetais 5
Nutrição com cobre e doenças do coração 7
Simpósio sobre micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura 8
A lei do mínimo ou a importância da adubação balanceada 12

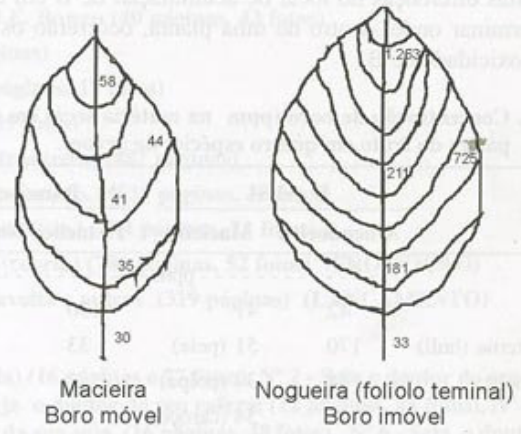

Figura 1. Concentração de B na folha (ppm) de macieira e de nogueira, em condições de campo. As folhas foram coletadas no final do período de crescimento. As duas espécies foram cultivadas muito próximas uma da outra e receberam a mesma irrigação.

[1] Fonte: **Better Crops with Plant Food**, Norcross, n.2, 1998.
[2] Professor Associado, Departamento de Pomologia, Universidade da Califórnia, Davis, EUA.
[3] Pesquisador Pós-Doutor, Departamento de Pomologia, Universidade da Califórnia, Davis, EUA.

POTAFOS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO
Rua Alfredo Guedes, 1949 - Edifício Rácz Center - sala 701 - Fone e fax: (019) 433-3254 - Endereço Postal: Caixa Postal 400 - CEP 13400-970 - Piracicaba-SP, Brasil

DISTRIBUIÇÃO DE BORO NO TECIDO DA PLANTA

A Figura 1 também ilustra a distribuição de B em macieira. Na folha dessa espécie as concentrações de B foram significativamente menores que na de nogueira, e houve muito pouca diferença na acumulação de B ao longo da folha. Esta distribuição uniforme de boro no tecido de macieira não tem correlação com o padrão de nervuras da folha e não é consistente com a hipótese de que a distribuição de B é determinada exclusivamente pela transpiração. Esta mesma distribuição foliar foi observada em amendoeira, pessegueiro e ameixeira, sugerindo que a distribuição de B nestas espécies não é governada pela transpiração e sim pela sua mobilidade no floema. A evidência da mobilidade ou imobilidade do B no floema também pode ser percebida através da distribuição de B dentro dos diferentes órgãos de uma dada planta. Por exemplo, sob condições de campo, o pistache e a nogueira contêm maior concentração de B nas folhas maduras e menor concentração de B no fruto e no tecido da semente (Tabela 1). Já a amendoeira e a macieira, cultivadas no mesmo local, tiveram a maior concentração de B na casca externa e na pele do fruto e menor nas folhas (Tabela 1).

Aceitava-se até recentemente que a absorção de boro (B) era governada por processo passivo (não-metabólico), que ele era imóvel no floema e que, assim, uma vez incorporado no tecido, não poderia ser remobilizado para prover as necessidades de outros tecidos da planta. Contudo, recente trabalho de Brown e colaboradores demonstrou que a mobilidade do B varia muito entre as espécies de plantas, e que o conhecimento atual dos sintomas e o manejo da nutrição de B deve ser reexaminado, espécie por espécie.

A concentração de B em folhas de idades diferentes dentro da mesma espécie pode também fornecer evidência da mobilidade de B. A ocorrência de concentrações mais altas de B em folhas velhas ou maduras comparadas a folhas mais jovens é evidência da imobilidade do B, enquanto concentrações mais altas de B em folhas mais jovens são uma indicação da mobilidade do B porque estas folhas transpiraram menos água que as folhas mais velhas. Os resultados da Tabela 2 sugerem que o B é imóvel no floema em pecã, tomate, morango e nogueira, enquanto o B é móvel no floema em maçã, damasco, pera, uva, "loquat", pêssego, aipo, azeitona e romã. Estas diferenças no local de acumulação de B em tecidos vão determinar onde, dentro de uma planta, ocorrerão os sintomas de toxicidade de B.

Tabela 1. Concentração de boro (ppm na matéria seca) em folha e partes do fruto em quatro espécies de árvore.

Órgão	B móvel		B imóvel	
	Amendoeira	Macieira	Pistache	Nogueira
	ppm			
Folha	42	41	130	295
Casca externa (hull)	170	51 (pele)	33	40
Casca (shell)	34	34 (polpa)	2	9
Semente	43	54 (caroço)	1	4

SINTOMAS DE TOXICIDADE DE BORO

A diferença na mobilidade do B também resulta em diferença na expressão dos sintomas de toxicidade de B nas diferentes plantas. Como as plantas, nas quais o B está imóvel, acumulam sempre o B no ápice e na extremidade das folhas velhas, como a nogueira na Figura 1, os sintomas de toxidez de B nessas espécies sempre são exibidos como queimadura nas margens e na ponta destas folhas (Figura 2, em pistache).

Por outro lado, as plantas nas quais o B é móvel exibem a toxicidade de B como "dieback" em brotos jovens (Figura 3, em amendoeira), abundante secreção de resina na axila da folha e aparecimento de lesões corticentas marrons ao longo de caules e pecíolos (Figura 4, em amendoeira), em vez da queimadura marginal na folha. O "dieback" induzido pela toxicidade de B foi relatado em amendoeira, macieira, damasqueiro, cerejeira, pessegueiro, pereira, ameixeira, ameixa seca, etc. A ocorrência destes sintomas "não usuais" de toxicidade de B não é, porém, restrita somente aos membros dos gêneros Prunus, Malus e Pyrus, como se discutiu acima. Por exemplo, o aipo responde à toxicidade de B produzindo folhas jovens deformadas, talos amargos e disformes, sem sintoma de queimadura na margem foliar. Sabe-se que em aipo o boro é móvel no floema, uma vez que ele, à semelhança dos membros do gênero Prunus, utiliza um poliol como fotossintetado primário transportado. Os dois tipos de sintomas de toxicidade de B descritos acima são conseqüência da diferença na mobilidade de B. Em resumo, para essas espécies nas quais o B é imóvel, a toxicidade de B é exibida como queimadura de ápice/margem de folhas velhas, enquanto para essas nas quais o B é móvel, o "dieback" meristemático é o sintoma primário da toxicidade de B.

Figura 2. O boro é imóvel em pistache; assim, os sintomas de toxicidade aparecem como queimaduras na ponta e nas margens das folhas mais velhas.

DIAGNÓSTICO DE TOXIDEZ E DEFICIÊNCIA DE BORO

Em geral, para a maioria das espécies de plantas, o B é imóvel no floema, porém, em muitas espécies de culturas importantes, como as apresentadas na Tabela 2, ele é móvel. A evidência preliminar também sugere que muitas outras espécies de planta podem exibir mobilidade de B no floema (por exemplo, em cafeeiro), entretanto, isto ainda está por ser verificado.

Figura 3. O boro é móvel em amendoeira; a toxicidade pode causar "dieback" nas brotações novas.

Figura 4. Secreção abundante de resina na axila da folha e aparecimento de lesões corticentas marrons ao longo de caules e pecíolos são sintomas de toxicidade de B em amendoeira.

Tabela 2. Concentração foliar de B (ppm na matéria seca) ao longo de um ramo, em várias espécies de planta.

Espécie	Basal	Mediano	Apical	Observações
Pecã	303	119	30	B-imóvel
Tomate	721	318	94	B-imóvel
Morango	512	176	68	B-imóvel
Noz	304	127	48	B-imóvel
Maçã	50	56	70	B-móvel
Damasco	45	60	81	B-móvel
Pera	42	57	62	B-móvel
Aipo	32	49	104	B-móvel
Uva	74	55	88	B-móvel
Loquat	72	101	162	B-móvel
Oliveira	42	51	56	B-móvel
Pêssego	53	57	208	B-móvel
Romã	21	20	111	B-móvel

A diferença na mobilidade de B indicada acima também influencia profundamente a diagnose do estado nutricional de B na planta e a correção de deficiências e toxicidades. As técnicas de amostragem praticadas atualmente e as descrições de sintomas foram baseadas na premissa de que o B é imóvel na planta. No entanto, a seleção do tecido da amostra e a determinação de concentrações críticas de nutrientes dependem ou não da mobilidade do B no floema. A Tabela 2 mostra que o B não se acumula nas folhas mais velhas de espécies nas quais ele é móvel. Assim, para estas, as folhas velhas não são adequadas para a determinação da toxicidade de B. Já as folhas apicais jovens ou o tecido do fruto podem ser melhores indicadores para estas espécies (Tabelas 1 e 2). Esta observação conduziu ao uso difundido de B na casca externa (hull) para definir o determinante do estado nutricional de B em amendoeira, na Califórnia. Em espécies com mobilidade limitada de B, porém, a concentração do elemento nas folhas velhas (Tabela 2) permanece como um bom indicador da toxicidade de B.

O uso de uma folha recentemente madura, ou completamente expandida, para a diagnose da deficiência de B é impróprio se o B for imóvel no floema, já que a sua concentração em uma folha desenvolvida pode não refletir o estado de B dos tecidos em crescimento, para os quais uma provisão de B constante é muito crítica. Neste caso, a diagnose só será possível amostrando-se tecidos em crescimento. É certamente um processo difícil e inconsistente. Contudo, é o único enfoque válido. Já para espécies com mobilidade de B no floema, as folhas maduras são apropriadas para avaliar a deficiência de B, isto porque seu teor reflete o estado nutricional do B da planta inteira, inclusive tecidos jovens em crescimento. Nestas espécies, a diminuição no teor de B no solo terá impacto no crescimento meristemático das plantas apenas quando o reservatório de B solúvel dos tecidos maduros for também esvaziado.

MANEJO DA ADUBAÇÃO BORATADA

O manejo da adubação boratada em plantas é diretamente influenciado pelos padrões de mobilidade de B. Evidência experimental demonstra claramente que o B aplicado via foliar pode ser retranslocado para os órgãos em crescimento nas espécies com significante mobilidade de B no floema. Isto sugere que a aplicação foliar de B pode ser usada efetivamente para corrigir a deficiência e fornecer B para a futura flor e para o tecido do fruto. Benefícios significativos da aplicação foliar de B na frutificação têm sido observados em muitas espécies de frutíferas como amendoeira, ameixeira e outros, como conseqüência desta mobilidade. Porém, em espécies nas quais o B é imóvel, o B aplicado via foliar não pode ser retranslocado do local de aplicação e não pode suprir as exigências do tecido ainda não formado. Conseqüentemente, nestas espécies as aplicações de B devem ser feitas diretamente no tecido de interesse desde que corrija as deficiências. Em frutífe-

ras, onde o B é essencial para o processo de florescimento, as aplicações de B só podem ser usadas efetivamente se aplicadas diretamente nos botões florais ou nas flores.

RESUMO

O conhecimento da mobilidade relativa do B em uma espécie em particular determina o enfoque a utilizar para amostrar e diagnosticar o estado nutricional de B. Este conhecimento também determina a melhor estratégia de fertilização a usar e auxilia a compreender as causas e as conseqüências da deficiência de B. Trabalhos adicionais estão sendo feitos para caracterizar plenamente os padrões de mobilidade do B em diversas espécies de plantas. Porém, as seguintes predições podem já ser feitas para algumas importantes culturas:

• Em milho, trigo, alfafa e hortaliças, exceto as já citadas anteriormente, o B é imóvel e deve, então, ser fornecido durante todos os estádios de crescimento da planta.

• Nestas, a aplicação foliar de B pode ser usada para corrigir a deficiência nos tecidos atuais, mas terá pouco efeito nos futuros brotamentos;

• Algumas espécies podem apresentar cultivares nas quais o B pode apresentar pequena mobilidade. Isto pode explicar as diferenças em sensibilidade para deficiência de B que ocasionalmente são observadas entre cultivares. É necessária uma pesquisa posterior sobre este tópico.

LITERATURA

BROWN, P.H. & BARRY, S.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v.193, p.85-101, 1997.

BROWN, P.H. & HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, v.77, p.497-505, 1996.

HU, H.; PENN, S.G.; LEBRILLA, C.B.; BROWN, P.H. Isolation and characterization of soluble B-complexes in higher plants. **Plant Physiology**, v.113, p.649-655, 1997.

ANÁLISE FOLIAR:
faça amostragem correta

A análise foliar e a análise de solo são ferramentas importantes para o manejo da adubação balanceada para quem busca altas produtividades.

Na tabela abaixo (de Malavolta et al., 1997) são descritos a época, o tipo de folha e o número de folhas/amostra para as principais culturas.

Tabela 1. Amostragem para diagnose foliar das principais culturas (In: Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1997).

Cultura	Época	Tipo de folha	Nº de folhas por ha
Algodoeiro herbáceo	Início do florescimento	Limbo de folhas recém-maduras	30
Amendoim	Início do florescimento	4ª folha da haste principal a partir da base (1ª = acima dos ramos cotiledonares)	30
Arroz	Meio do perfilhamento	Folha Y (posição ocupada em relação à folha mais nova desenrolada acima)	50
Batatinha	Meio do ciclo, 35-45 dias após a emergência	Pecíolo da 4ª folha a partir da ponta	30
Cacaueiro	Verão	3ª folha a partir da ponta, lançamento recém-amadurecido, planta a meia-sombra	18
Cafeeiro	Primavera-verão	3º e 4º pares de folhas, a partir da ponta, ramos a meia-altura e produtivos	30
Cana-de açúcar	Quatro meses após brotação	Folha + 3; folha + 1 = com primeira lígula (= região de inserção da bainha do colmo) Terço mediano, excluída a nervura principal	20-30 por talhão uniforme
Citros	Verão	Folhas do ciclo da primavera, de ramos frutíferos, frutos com 2-4 cm de diâmetro, 3ª ou 4ª folha a partir do fruto	20
Dendezeiro	Fim das chuvas	Folha 9 (plantas novas) ou 17 (adultas); pecíolos centrais	25 plantas

(Continua)