

– MAGNÉSIO – UM ELEMENTO ESQUECIDO NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA¹

Ismail Cakmak²
Atilla M. Yazici²

A nutrição com magnésio é freqüentemente negligenciada e sua falta afeta o crescimento das plantas. Muitas funções essenciais das plantas requerem fontes adequadas de magnésio, sendo o seu papel mais visível na formação de raízes, clorofila e na fotossíntese. Muitas reações menos visíveis também são dependentes do suprimento adequado de magnésio. Esta breve revisão resume algumas das funções essenciais do elemento nas plantas.

O magnésio (Mg) tem várias funções-chave nas plantas. Os processos metabólicos e as reações particulares influenciados pelo Mg incluem: 1) fotofosforilação (como a formação de ATP nos cloroplastos), 2) fixação fotossintética do dióxido de carbono (CO₂), 3) síntese protéica, 4) formação de clorofila, 5) carregamento do floema, 6) separação e utilização de fotoassimilados, 7) geração de espécies reativas de oxigênio e 8) fotooxidação nos tecidos foliares. Conseqüentemente, muitos processos fisiológicos e bioquímicos críticos nas plantas são adversamente afetados pela deficiência de Mg, levando a prejuízos no crescimento e na produção. Na maioria dos casos, o envolvimento do Mg nos processos metabólicos depende da ativação de numerosas enzimas. Uma importante enzima Mg-ativada é a ribulose-1,5-bifosfato (RuBP) carboxilase – enzima-chave no processo da fotossíntese e a mais abundante no planeta.

Um dos sintomas típicos da deficiência de Mg (Figura 1) é o amarelecimento das folhas velhas, na forma de clorose internerval. Observou-se que até 35% do total de Mg nas plantas estão localizados nos cloroplastos (Figura 2). No entanto, a expressão dos sintomas de deficiência de Mg é altamente dependente da intensidade de luz. Alta intensidade luminosa aumenta o desenvolvimento de clorose, juntamente com algumas manchas avermelhadas no limbo foliar (Figura 3). Portanto, as bem documentadas diferenças entre espécies de plantas na expressão visual dos sintomas de deficiência de Mg e também nas concentrações críticas de deficiência de Mg no tecido foliar podem estar relacionadas com a intensidade luminosa no ambiente de crescimento.

O dano foliar que ocorre nas plantas deficientes em Mg expostas à alta intensidade luminosa tem sido atribuído à maior geração de espécies de oxigênio reativas altamente prejudiciais nos cloroplastos em detrimento da inibição da fixação fotossintética de CO₂. Plantas que se desenvolvem sob condições de alta intensidade luminosa parecem ter maior exigência em Mg do que as plantas cultivadas sob menor intensidade luminosa.

DEFICIÊNCIA DE MAGNÉSIO É UM PROBLEMA CRESCENTE

A despeito do papel bem conhecido do Mg em várias funções críticas na planta, surpreendentemente, há pouca pesquisa relacionada ao papel da nutrição com Mg na produção e qualidade agrícola. Por isso, muitas vezes o Mg é considerado um “elemento esquecido”. No entanto, a deficiência de Mg torna-se cada vez

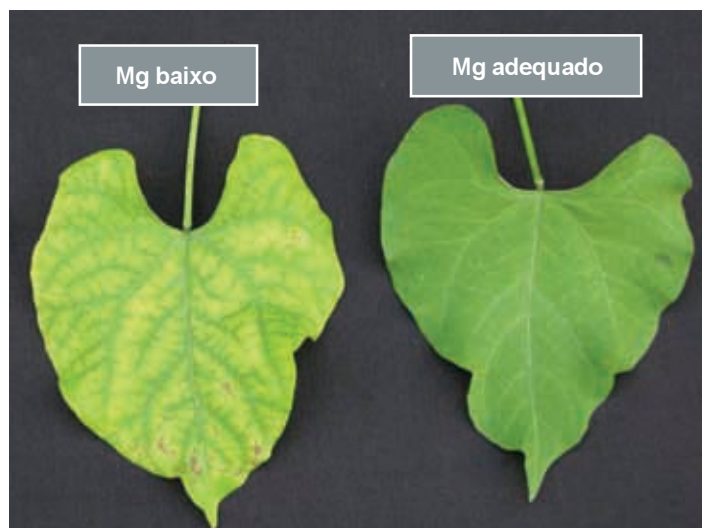


Figura 1. Sintomas de deficiência de magnésio em folhas de feijoeiro comum (à esquerda).

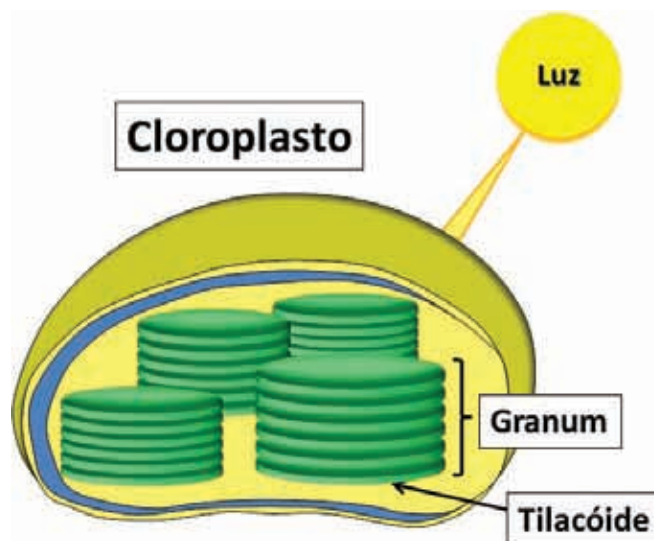


Figura 2. Cloroplastos são organelas que contêm os tilacóides – compartimentos que contêm Mg e onde a energia solar é convertida em energia química por meio da fotossíntese.

Abreviações: Al = alumínio; ATP = adenosina trifosfato; C = carbono orgânico; CO₂ = dióxido de carbono; K = potássio; Mg = magnésio; N = nitrogênio; P = fósforo; RuBP = ribulose-1,5-bifosfato.

¹ Fonte: Better Crops, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.

² Faculty of Engineering and Natural Sciences at Sabanci University, Istanbul, Turquia; email: cakmak@sabanciuniv.edu

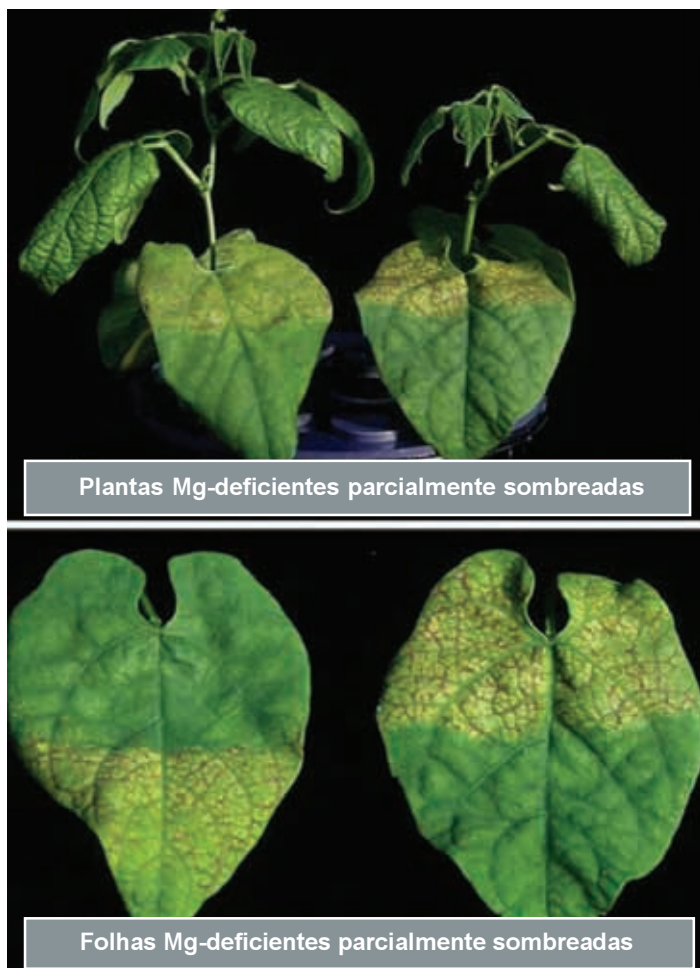


Figura 3. Sintomas de clorose foliar em plantas de feijoeiro deficientes em magnésio cultivadas sob condições de alta intensidade luminosa. A porção verde das folhas foi parcialmente sombreada com papel de filtro.

Fonte: Cakmak e Kirkby (2008).

mais um importante fator limitante nos sistemas intensivos de produção, especialmente em solos adubados apenas com N, P e K. Em particular, o esgotamento de Mg dos solos é uma crescente preocupação para a agricultura de alta produtividade.

Devido ao potencial de lixiviação do Mg em solos altamente intemperizados e à sua interação com alumínio (Al), a deficiência de Mg é uma preocupação crucial em solos ácidos. Um dos bem documentados mecanismos de adaptação das plantas a solos ácidos é a liberação de ânions de ácidos orgânicos nas raízes. Ânions de ácidos orgânicos liberados nas raízes formam quelatos com os íons tóxicos de Al formando complexos Al-ácido orgânico que não são fitotóxicos. Está bem documentado que o Mg é necessário para a liberação efetiva de ânions de ácidos orgânicos nas raízes, modificando a rizosfera intoxicada com Al (YANG et al., 2007). Como o Mg, também o Ca é importante na diminuição da toxidez de Al em solos ácidos. No entanto, o Mg pode ter ação protetora contra a toxicidade de alumínio quando adicionado em níveis micromolares, enquanto o Ca exerce seu papel protetor em concentrações milimolares (SILVA et al., 2001). Esse resultado indica que o Mg tem benefícios muito específicos na proteção da planta contra a toxicidade de Al.

REAÇÃO INICIAL DA PLANTA À DEFICIÊNCIA DE MAGNÉSIO

Considerando as diversas funções do Mg nas plantas, uma questão que se coloca é: qual a função ou estrutura que é afetada em primeiro lugar na deficiência de Mg? A resposta mais comum é o

nível de clorofila, ou fotossíntese, ou a síntese protéica. Existem alguns poucos estudos publicados anteriormente por Cakmak et al. (1994), com feijão comum, por Hermans et al. (2004), com beterraba açucareira, e por Hermans e Verbruggen (2005), com *Arabidopsis*, que fornecem uma clara e convincente resposta a esta pergunta, como será discutido mais adiante nesta breve revisão.

Hermans et al. (2004) cultivaram beterraba com baixo e elevado suprimento de Mg e analisaram: 1) crescimento das plantas, 2) fixação fotossintética de CO₂, 3) concentração de clorofila, 4) transporte de elétrons e 5) concentração foliar de sacarose. Os resultados foram claros: antes de qualquer mudança perceptível ou significativa ocorrida nas primeiras quatro medições, houve um grande acúmulo de sacarose nas folhas completamente expandidas das plantas deficientes em Mg. Folhas deficientes em Mg acumulam até 4 vezes mais sacarose, comparadas às folhas com teor adequado de Mg, indicando uma inibição severa no transporte de sacarose para fora das folhas deficientes em Mg.

Cakmak (1994a,b) estudou o papel do Mg na nutrição das plantas em relação a: 1) crescimento aéreo e radicular, 2) concentração e distribuição de carboidratos entre o sistema radicular e os órgãos e 3) exportação de sacarose pelo floema em feijoeiro. Os resultados mostraram acentuada inibição do crescimento das raízes, antes de qualquer mudança visível no crescimento da parte aérea e na concentração de clorofila. Por conseguinte, a relação parte aérea:raiz nas plantas de feijão e de trigo aumentou em plantas deficientes em Mg (Figura 4). Este efeito negativo antecipado da deficiência de Mg no crescimento da raiz antes do desenvolvimento da clorose foliar visível é um problema crítico para os produtores por causa da importância de um bom sistema radicular para a produção vegetal. Por isso, atenção especial deve ser dada ao estado nutricional das plantas em relação ao Mg antes do desenvolvimento de qualquer sintoma visível de deficiência.

O acúmulo de carboidratos nas folhas completamente expandidas é um fenômeno comum em plantas deficientes em Mg. No início da deficiência de Mg e sob severa deficiência de Mg, Cakmak (1994 a,b) descobriu que as folhas mais velhas continham, respectivamente, 3,5 a 9 vezes mais sacarose, comparadas às plantas com teores suficientes de Mg. As folhas deficientes em Mg também continham elevados teores de amido e reduzidos teores de açúcares. Em plantas de feijoeiro cultivadas com baixa oferta de Mg, por 12 dias, apenas 1% dos carboidratos totais da planta foram encontrados nas raízes, enquanto nas plantas com teores suficientes de Mg esse valor foi de 16%. Todos esses resultados indicam claramente uma inibição severa na exportação de açúcares das folhas deficientes em Mg para o floema.

Exsudatos do floema foram coletados de plantas de feijoeiro sob baixo e adequado suprimento de Mg para estudar o papel do Mg no movimento da sacarose para fora da folha. A deficiência de Mg resultou na inibição severa e precoce do transporte de sacarose no floema (Figura 5). Houve uma relação inversa entre a concentração de sacarose nos tecidos foliares e a taxa de exportação de sacarose no floema durante os 12 dias de tratamento com deficiência de Mg. O efeito inibitório da deficiência de Mg sobre o transporte de sacarose via floema ocorreu antes do aparecimento de qualquer efeito adverso no crescimento da parte aérea. O reforçamento de Mg para as plantas deficientes restabeleceu a exportação de sacarose no floema em 12 horas.

Esses resultados sugerem fortemente que o efeito do Mg no carregamento de sacarose no floema é específico e não relacionado a qualquer efeito secundário. O mecanismo pelo qual a deficiência

de Mg afeta o carregamento de sacarose do floema ainda não está totalmente compreendido, mas parece estar relacionado à baixa concentração do complexo Mg-ATP nos locais de carregamento do floema. Acredita-se que o complexo Mg-ATP é necessário para o bom funcionamento da H^+ -ATPase, uma enzima que fornece energia para o processo de carregamento no floema e mantém o transporte de sacarose nas células do floema.

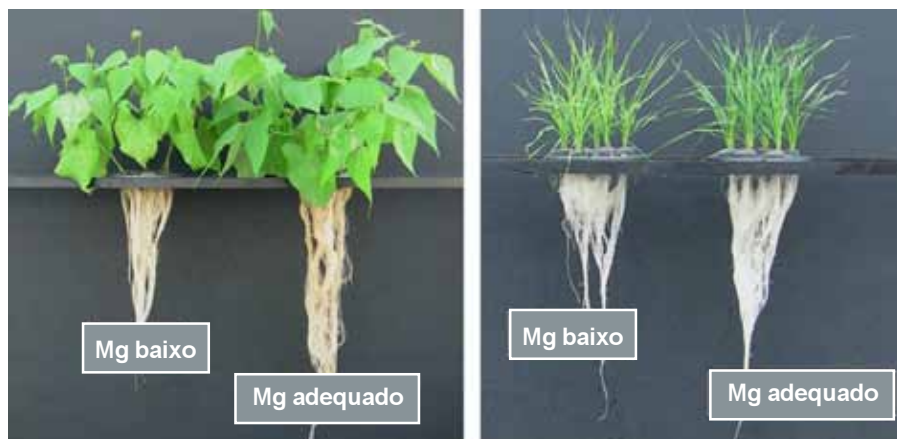


Figura 4. Crescimento de plantas de feijoeiro comum (à esquerda) e de trigo (à direita) com baixo e adequado suprimento de Mg.

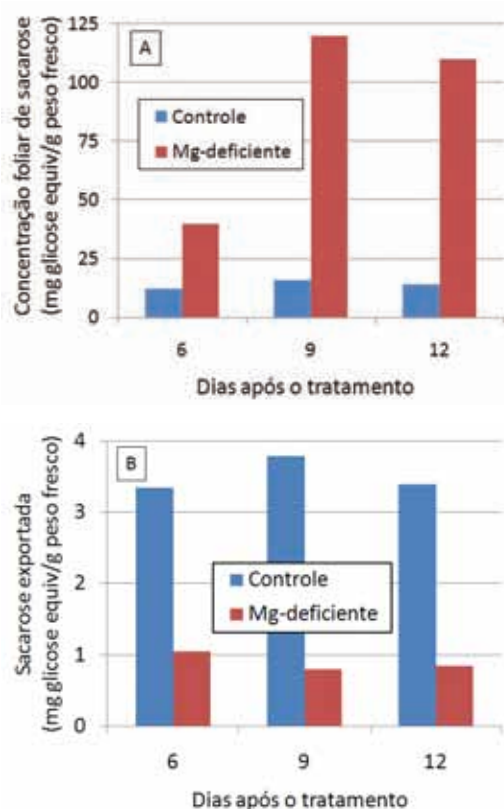


Figura 5. Concentração foliar de sacarose (A) e taxa de exportação de sacarose em plantas de feijoeiro cultivadas com suprimento adequado (controle) ou deficiente de magnésio, por 12 dias.

Fonte: Cakmak et al. (1994b).

PROBLEMA DA DEFICIÊNCIA DE MAGNÉSIO NOS ESTÁDIOS INICIAIS DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

A acumulação de carboidratos juntamente com a inibição da exportação de sacarose das folhas deficientes em Mg mostra a importância de se manter a nutrição adequada das plantas durante os

períodos de intensivo transporte de carboidratos das folhas para as células em crescimento. Quantidades suficientes de Mg são necessárias para maximizar o transporte de carboidratos para outros órgãos-drenos (tais como raízes e sementes), visando promover elevada produtividade. A manutenção da adequada nutrição com Mg nas fases de crescimento tardio também é essencial para minimizar a geração de espécies reativas de oxigênio prejudiciais e os danos fotooxidativos nos cloroplastos. A aplicação de Mg no final da estação por meio de pulverização ou adubação foliar pode ser útil em algumas circunstâncias. O comprometimento do crescimento das raízes devido à deficiência de Mg pode provocar também graves impactos sobre a absorção de nutrientes minerais e água, especialmente em condições de solos marginais.

A produção de biomassa de origem vegetal como fonte de energia renovável é uma alternativa crescente e promissora aos combustíveis fósseis. Mas a produtividade desses sistemas depende diretamente da: 1) capacidade das plantas para fixar o CO_2 em carbono orgânico (C) por meio da fotossíntese, 2) translocação do C assimilado da fonte para os órgãos-drenos, e 3) utilização do C assimilado nos órgãos-dreno para o crescimento.

Todas essas etapas são especificamente controladas pelo Mg. Assim, atenção deve ser direcionada para o estado nutricional em Mg das plantas destinadas à produção de biocombustíveis, a fim de alcançar alta produção de biomassa e distribuição dos assimilados de C para os órgãos centrais desejados (como grãos ou raízes).

O Mg tem sido conhecido por seu papel essencial na formação da clorofila e na fotossíntese. No entanto, crescente evidência mostra que os órgãos-drenos (tais como raízes em crescimento e sementes em desenvolvimento) também são severamente afetados pela deficiência de Mg. Por muito tempo o Mg tem sido um elemento esquecido na produção vegetal, mas o seu papel vital é cada vez mais reconhecido na nutrição das plantas.

AGRADECIMENTO

Parte dos resultados apresentados neste trabalho foram obtidos em colaboração com a K + S KALI GmbH (Kassel, Alemanha).

REFERÊNCIAS

- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 45, p. 1245–1250, 1994a.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency in bean plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 45, p. 1251–1257, 1994b.
- CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiology Plantarum*, v. 133, p. 692–704, 2008.
- HERMANS, C.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterisation of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, v. 56, p. 2153–2161, 2005.
- HERMANS, C.; JOHNSON, G. N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, v. 220, p. 344–355, 2004.
- SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; ISRAEL, D. W.; RAPER, C. D.; RUFTY, T. W. Magnesium is more efficient than calcium in alleviating aluminum rhizotoxicity in soybean and its ameliorative effect is not explained by the Gouy-Chapman-Stern model. *Plant and Cell Physiology*, v. 42, p. 538–545, 2001.
- YANG, J. L.; YOU, J. F.; LI, Y. Y.; WU, P.; ZHENG, S. J. Magnesium enhances aluminum-induced citrate secretion in rice bean roots (*Vigna umbellata*) by restoring plasma membrane H^+ -ATPase activity. *Plant and Cell Physiology*, v. 48, p. 66–74, 2007.