



Absorção de macro e micronutrientes em cultura de soja submetida a concentrações de Gadolínio⁽¹⁾.

**Ana Cláudia Ferreira de Faria⁽²⁾; Cynthia de Oliveira⁽³⁾; Marcelo Machado Ferreira⁽⁴⁾,
Sílvio Junio Ramos⁽⁵⁾, Valdemar Faquin⁽⁶⁾, Luiz Roberto Guimarães Guilherme⁽⁶⁾;**

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Acordo Vale UFLA Terras Raras (ITV, UFLA); CNPq; FAPEMIG, CAPES, Rede AgroMetais.

⁽²⁾ Estudante de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária e Iniciação Científica do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA); Lavras, Minas Gerais; acffaria@engambiental.ufla.br; ⁽³⁾ Pesquisadora Pós-Doutoranda do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras;

⁽⁴⁾ Estudante de graduação; Universidade Federal de Lavras (UFLA); ⁽⁵⁾ Pesquisador; Instituto Tecnológico Vale, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil; ⁽⁶⁾ Professor do DCS; Universidade Federal de Lavras.

RESUMO: Os elementos terras raras vem sendo adicionado a fertilizantes comerciais por apresentar ganhos na produtividade. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência que diferentes concentrações de Gadolínio (Gd) apresentam no teor de macro e micronutrientes em plantas de soja. A soja foi tratada com concentrações de 0; 3,5; 7; 14 e 28 μM de Gd. O teor do Gadolínio nos extratos foi determinado por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). O teor total de Ca, Mg, S, K, Cu, Fe, Mn, Fe e Zn nas amostras foram determinados utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica, e S total e teores de P na amostra foram determinados usando o método turbidimétrico de sulfato de bário e usando um espectrofotômetro para medir o complexo fosfomolibdênio colorimetricamente a 680 nm, respectivamente. A absorção dos macro e micronutrientes nas raízes e parte aérea foi afetada com a exposição dos diferentes tratamentos com Gd. As raízes acumularam um teor muito mais elevado de Gd do que a parte aérea. Os elementos que tiveram aumento no teor (que foram Mg, P, S e K) de acordo com o aumento da concentração de Gd, auxiliam na fisiologia das plantas, mas não tiveram uma elevação em seu teor suficiente para causar o aumento na biomassa das mesmas.

Termos de indexação: elementos terras raras, *Glycine max* (L.), nutrição de plantas.

INTRODUÇÃO

Os elementos terras raras (ETR) fazem parte de um grupo de dezessete elementos metálicos trivalentes (IUPAC, 2005).

Tais elementos têm sido comumente adicionados a fertilizantes comerciais, principalmente na China, já que pesquisas nesse país indicam ganhos de produtividade na ordem de 10 a 20% em diversas culturas agrícolas, por estes promoverem incremento na fotossíntese líquida das plantas (Guo, 1985; Xiong, 1995).

Os efeitos dos ETR em respostas fisiológicas foram relatados em diferentes espécies de plantas (Fashui et al., 2000; Chen et al. 2001; Hu et al. 2002, 2004). Uma apropriada quantidade de ETR não só promove a germinação de sementes e desenvolvimento das raízes, mas também melhora a qualidade da colheita e a resistência das plantas contra o estresse (Ele e Xue 2005; d'Aquino et al. 2009).

A concentração de ETR influencia no teor dos elementos essenciais e isso resulta num aumento de biomassa em culturas como a do arroz (Liu et al., 2012; Liu et al., 2013).

Partindo desse pressuposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o teor de macro e micronutrientes na cultura da soja na presença de diferentes concentrações de Gadolínio.

MATERIAL E MÉTODOS

Material Vegetal e Design Experimental

Sementes de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cv. BRSMG760SRR foram semeadas em substrato vermiculita, cultivadas em uma estufa, e regadas diariamente com água bidestilada. Aos 14 dias de idade, as mudas foram transplantadas para vasos de 2 L contendo solução nutritiva de Hoagland-Arnon, com 1/2 da força iônica. Depois de uma semana do transplante, as plantas foram expostas à solução nutriente contendo tratamentos de Gadolínio: 0; 3,5; 7,0; 14,0 e 28 μM , na forma de Gd (NO_3)₃.6H₂O). Sendo utilizadas as soluções de Gd-EDTA. Foram usados sete tratamentos e quatro repetições.

A solução nutritiva foi trocada uma vez por semana. O material vegetal foi coletado aos 22 dias e lavado com água deionizada, e posteriormente dividido em raízes e parte aérea, os quais foram secos em estufa de circulação forçada a 60 ° C até peso constante.

Análise do teor de gadolínio e dos teores de nutrientes

Para análises do Gd, aproximadamente 0,100 g de raízes e parte aérea foram fundidos com 1,4 g de metaborato de lítio em um cadinho de platina a 1000 °C em máquina de fusão. Após arrefecimento, os grânulos resultantes foram dissolvidos em béckeres contendo aproximadamente 50 mL de uma solução a 2,5% de ácido tartárico e de 10% de HNO₃. Cada bécker foi então transferido para uma chapa aquecedora a 120 ± 20 ° C com agitação magnética durante a solubilização completa. As amostras foram em seguida transferidas para balões volumétricos de 100 mL de polipropileno e o volume foi completado com uma solução de ácido tartárico a 2,5% e 10% de HNO₃. O material de referência certificado utilizado foi o Aquatic Plant-BCR670® IRMM.

O teor do Gadolínio nos extratos foi determinado por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).

Para análises de macro e micronutrientes, 500mg do material vegetal seco de raízes e parte aérea foram pesados e digeridos em ácido com 4,0 mL de HNO₃ concentrado + 2,0 mL de concentrado HClO₄ a 120 ± 8 ° C durante 1 hora e, em seguida, a 220 ± 8 ° C, até se observarem vapores de HClO₄.

O teor total de Ca, Mg, S, K, Cu, Fe, Mn, Fe e Zn nas amostras foram determinados utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica, e S total e teores de P na amostra foram determinados usando o método turbidimétrico de sulfato de bário e usando um espectrofotômetro para medir o complexo fosfomolibdênio colorimetricamente a 680 nm, respectivamente (Malavolta et al., 1997).

Análise estatística

Todos os resultados foram analisados por meio de análise de variância (ANAVA) e submetidos ao teste de média de Skott-Knott, em um nível de significância de 0,05 de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar 5.3 (Build 77) (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figuras e Tabelas

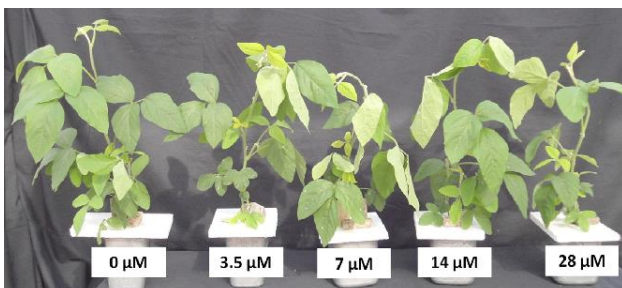


Figura 1. Soja aos 22 dias de tratamento com Gd(NO₃)₃. (Solução Gd-EDTA).

Os teores dos macronutrientes nas raízes das plantas de soja apresentaram diferentes comportamentos. Com o aumento de Gd em solução nutritiva o teor de Mg aumentou até a concentração de 3,5 µM, sofreu uma redução com a concentração de 7 µM de Gd, aumentou novamente com 14 µM e reduziu aos 28 µM. Mas, ainda assim, manteve um teor de Mg maior do que o encontrado nas amostras de controle. Já o teor de Ca não sofreu alteração de acordo com o aumento de Gd até a concentração de 14 µM de Gd e com 28 µM sofreu uma redução. O teor de P foi aumentado de acordo com o aumento de Gd até a concentração de 3,5 µM uM L⁻¹ e se manteve até 28 µM de Gd. O teor de S aumentou até a concentração de 14 µM e também reduziu com 28 µM uM de Gd. Já o teor do K aumentou com a concentração de 3,5 µM de Gd mas reduziu na de 14µM e aumentou novamente na concentração máxima de Gd, de 28 µM. Sobre os micronutrientes, com exceção do Cu, os outros elementos (Mn, Fe e Zn), não sofreram alterações significativas em seus teores e se mantiveram até a concentração de 28 µM de Gd. Já o teor de Cu e diminuiu com 28 µM de Gd. **(Tabela 1)**

Na parte aérea das plantas o teor de Mg reduziu com a concentração de 3,5 µM de Gd e aumentou com 28 µM. O teor de Ca não sofreu alterações em nenhuma concentração de Gd. Já o teor de P aumentou nas concentrações de 7 µM, 14 µM e 28µM de Gd. No teor de S ocorreu um aumento na concentração de 3,5 µM de Gd, mas na concentração de 14µM reduziu e aumentou novamente com 28 µM de Gd. O teor do K reduziu apenas no teor de 14 µM de Gd e voltou a aumentar com 28 µM. Com o teor dos micronutrientes Cu, Mn e Fe não ocorreram alterações significativas em nenhuma concentração de Gd. Apenas o teor de Zn aumentou com 3,5 µM de Gd e reduziu com 28 µM de Gd. **(Tabela 2)**

O aumento ocorrido nos teores dos elementos Mg, P, S e K não foram suficientes para aumentar a biomassa das plantas de soja, mas são de suma importância fisiológica para a mesma, potencializando processos fisiológicos essenciais. O P interfere em vários processos, como fotossíntese, respiração, divisão celular e crescimento de células. O K participa da ativação enzimática e osmorregulação, o S participa de uma série de compostos e reações e sua falta gera uma série de distúrbios metabólicos. O Mg participa de várias funções vitais, como respiração, fotossíntese, síntese de macromoléculas e absorção iônica. **(Figura 1)**

Houve aumento do teor de Gd nas raízes e parte aérea, com o aumento da disponibilização de Gd em solução nutritiva. Mas o maior teor foi encontrado



nas raízes, por este ser o órgão de absorção direta deste elemento, no caso deste experimento. E o menor teor foi encontrado na parte aérea, devido à presença de barreiras apoplásticas que impedem a translocação de todo o Gd absorvido para a parte aérea das plantas, sendo este altamente retido nas raízes. Dessa forma a ação do Gd na parte aérea é muitas vezes indireta. O Gd foi translocado para a parte aérea apenas nas concentrações acima de 7 μM de Gd, nas concentrações inferiores os teores de Gd foram menores que o limite de detecção do método de quantificação (**Figura 2**).

Portanto, os elementos que tiveram seu teor aumentados com a presença do Gd na raiz e na parte aérea da soja, foram o Mg, o P e o S. Na raiz, além desses três elementos também houve o aumento no teor de K. O Mn, o Fe e o Zn se mantiveram tanto na raiz quanto na parte aérea das plantas. E o Ca, o K e o Cu se mantiveram na parte aérea.

CONCLUSÕES

O aumento no teor de Mg, P, S e K ocasionada pela presença de Gd em solução nutritiva não trazem diferenças significativas para a biomassa das plantas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado financeiramente pelo Instituto Tecnológico Vale em cooperação com a Universidade Federal de Lavras (Acordo Nº 020/2012) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), e apoiado pela Rede de Pesquisas AgroMetals.

REFERÊNCIAS

CHEN WJ, TAO Y, GU YH, ZHAO GW (2001) Effect of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. *Biol Trace Elem Res* 79:169–176.

D'AQUINO L, MASSIMO M, CARBONI MA, STAIANO M, ANTISARI MV, RE M, LORITO M, VINALE F, ABADI KM, WOO SL (2009) Effect of some rare earth elements on the growth and lanthanide accumulation in different *Trichoderma* strains. *Soil Biol Biochem* 41:2406–2413.

FAQUIN, VALDEMAR (2005) *Nutrição Mineral de Plantas / Valdemar Faquin*. -- Lavras: UFLA / FAEPE. p.: il. - Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente.

FASHUI H, ZHENGGUI W, GUIWEN Z (2000) Effect of lanthanum on aged seed germination of rice. *Biol Trace Elem Res* 75:205–213.

FERREIRA, D. F. *Sisvar software: versão 5.3*. Lavras: UFLA-DEX, 2010. Software.

GUO, B. Present and future situation of rare earth research in Chinese agronomy. In GUANGXIAN, X.; JIMEI, X. (editors) *Proceedings of the 1st International Conference on Rare Earth Development and Applications*, 10-14 September 1985, pages 1522-1526, Beijing, China, 1985. Science Press, Beijing.

HE Y, XUE L (2005) Biological effects of rare earth elements and their action mechanisms. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* 16:1983–1989.

HU X, DING Z, WANG X, CHEN Y, DAI L (2002) Effects of lanthanum and cerium on vegetable growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Bull Environ Contam Toxicol* 69:727–733.

HU Z, RICHTER H, SPAROVEK G, SCHNUG E (2004) Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review. *J Plant Nutr* 27:183–220.

MALAVOLTA, 1997.

XIONG, B.K. Application of Rare Earths in Chinese Agriculture and their perspectives of Development. In *Proceeding of the Rare Earths in Agriculture Seminar*, 20. September 1995, pages 5–9, Canberra, ACT Australia, 1995.

ZHU WF, XU SQ, ZHANG H, SHAO PP, WU DS, YANG WJ, FENG J (1996). Investigation on the intelligence quotient of children in the areas with high REE background (I)—REE bioeffects in the REEhigh areas of southern Jiangxi Province. *Chin Sci Bull* 41:1977–1981.

Tabela 1. Bioacumulação de Gd e utilização dos elementos de nutrição mineral na raiz de soja (n=4).

Macronutrientes	Controle	Raiz			
		3,5 mM	7,0 mM	14 mM	28 mM
Mg mg g ⁻¹ MS	6,534c	8,234b	6,161c	12,713a	8,569b
Ca mg g ⁻¹ MS	5,487a	5,932a	5,152a	5,399a	4,269b
P mg g ⁻¹ MS	11,38b	14,29a	14,90a	15,27a	14,59a
S mg g ⁻¹ MS	1,767c	2,527a	2,599a	2,263a	2,102b
K mg g ⁻¹ MS	14,80c	30,00a	39,40a	23,00b	35,40a
Micronutrientes					
Cu µg g ⁻¹ MS	6,0966a	3,9771a	5,0868a	5,0027a	1,3271b
Mn µg g ⁻¹ MS	161,84a	124,61a	121,03a	89,68a	66,30a
Fe µg g ⁻¹ MS	588,41a	486,07a	523,26a	464,12a	477,20a
Zn µg g ⁻¹ MS	18,88a	17,35a	19,01a	17,09a	17,98a

Os valores representam médias ± SD (n=4). Letras diferentes indicam diferenças significativas (P <0,05), de acordo com o teste de Skott-Knott.

Tabela 2. Bioacumulação de Gd e utilização dos elementos de nutrição mineral na parte aérea de soja (n=4).

Macronutrientes	Controle	Parte aérea			
		3,5 mM	7,0 mM	14 mM	28 mM
Mg mg g ⁻¹ MS	3,126c	3,570b	3,741b	3,879b	4,507a
Ca mg g ⁻¹ MS	19,71a	18,26a	17,85a	19,10a	20,24a
P mg g ⁻¹ MS	5,37d	6,35d	7,58c	9,00b	11,58a
S mg g ⁻¹ MS	2,304b	2,844a	2,945a	2,495b	3,008a
K mg g ⁻¹ MS	30,90a	31,65a	22,65b	31,35a	31,80a
Micronutrientes					
Cu µg g ⁻¹ MS	0,9783a	1,3664a	0,6049a	0,3450a	0,7349a
Mn µg g ⁻¹ MS	59,80a	74,44a	86,29a	76,96a	76,19a
Fe µg g ⁻¹ MS	125,64a	156,00a	162,18a	154,16a	153,16a
Zn µg g ⁻¹ MS	11,64b	20,97a	18,88a	17,01a	13,24b

Os valores representam médias ± SD (n=4). Letras diferentes indicam diferenças significativas (P <0,05), de acordo com o teste de Skott-Knott.

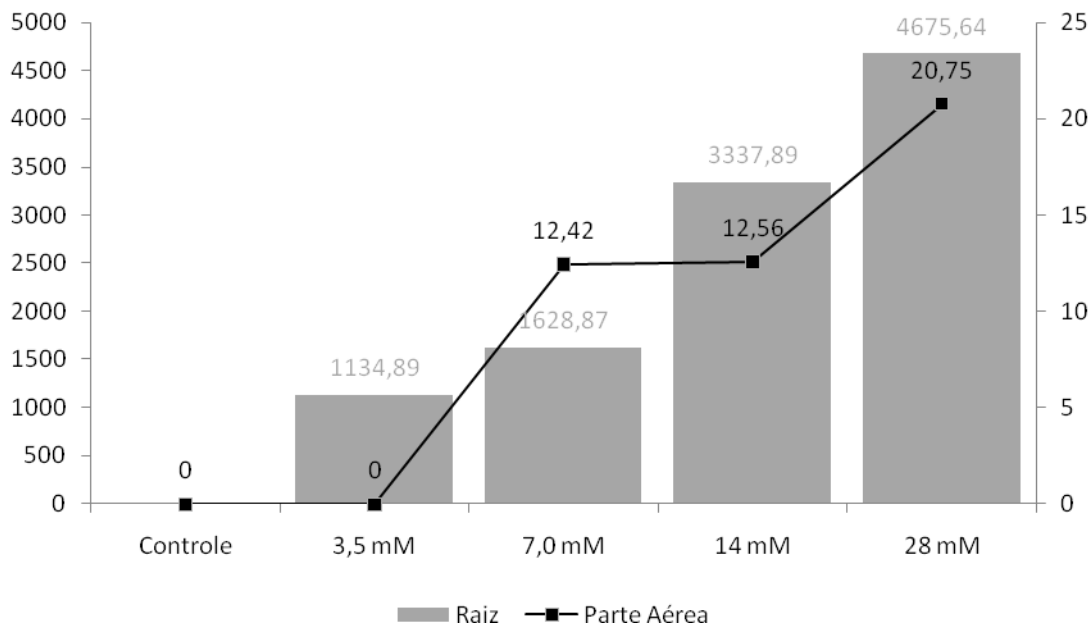


Figura 2. Teores de Gd em plantas de soja cultivadas em solução nutritiva.