

## ESTADO NUTRICIONAL DE SOJA TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL TRATADAS COM GLIFOSATO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

LEILA APARECIDA FIGUEIREDO<sup>1</sup>, ANTONIO ENEDI BOARETTO<sup>1</sup>, VICTOR SANCHES RIBEIRINHO<sup>1</sup>e DENIS HERISSON DA SILVA<sup>2</sup>

**RESUMO:** Aplicação de glifosato na cultura de soja transgênica é comum. Seu uso indiscriminado pode levar a distúrbios nutricionais e na fixação biológica de N, afetando indiretamente o acúmulo deste nutriente na planta, distúrbios esses que devem ser melhor estudados. O objetivo deste trabalho foi determinar a produção de massa seca da planta e dos nódulos e o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de duas variedades de soja (transgênica, Valiosa, e convencional, Conquista), em função de doses de glifosato. O experimento realizado em casa de vegetação consistiu em um delineamento experimental inteiramente ao acaso, com 2 variedades de soja e 6 doses de glifosato, crescidas em solução nutritiva, com cinco repetições. A produção de massa seca da planta e dos nódulos na variedade Conquista foi reduzida a partir da dose de 8  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de glifosato. A nodulação e o acúmulo de macronutrientes não foram afetados na soja transgênica. Houve diminuição no acúmulo de micronutrientes metálicos na variedade Valiosa em função das doses de glifosato. Houve diferença no acúmulo de nutrientes e na produção de massa seca entre as duas variedades, quando essas não receberam a aplicação do herbicida.

Termos para Indexação: *Glycine max* (L.), herbicida, nutrição mineral

### NUTRITIONAL CONDITION IN TRANSGENIC AND CONVENTIONAL SOYBEAN TREATED WITH GLYPHOSATE IN NUTRIENT SOLUTION

**ABSTRACT:** The glyphosate application in the transgenic soybean crop is common. Indiscriminate applications can cause nutritional disturbances and in the biological fixation of nitrogen, affecting this nutrient accumulation in the whole plant. Thus, these disturbances should be better studied. This study aimed to determine soybean dry mass weight production, nodules and nutrients accumulation in two soybean varieties (Valiosa, transgenic, and Conquista, conventional), in relation of glyphosate doses applied. The trial was carried on greenhouse conditions, in a completely randomized design, with 2 varieties and 6 glyphosate doses, with five replications, grown in nutrient solution. Dry mass weight production of the plant and nodules in the Conquista variety was reduced when glyphosate was added in nutrient solution higher than 8  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Nodulation and macronutrient accumulation were not affected in the transgenic soybean. There was decrease in metallic micronutrient accumulation in the Valiosa variety in relation of glyphosate doses applied. There was difference in nutrient accumulation and in the dry mass weight production between Valiosa and Conquista varieties when those did not receive the herbicide application.

Index terms: *Glycine max* (L.), herbicide, mineral nutrition

<sup>1</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Avenida Centenário, 303, 13400-970, Piracicaba, SP, leilaf@esalq.usp.br, aeboaret@cena.usp.br, vsribeirinho@cena.usp.br

<sup>2</sup>Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Escritório de Desenvolvimento Rural, Rua Campos Salles, 507, 13400-200, Piracicaba, SP, denis.silva@cati.sp.gov.br

## INTRODUÇÃO

A produção mundial de soja na safra de 2007/2008 foi de 221 milhões de toneladas, sendo que a produção do Brasil, segundo maior produtor mundial desse grão, foi de 60 milhões de toneladas, valor este que correspondeu a 51% da produção total do grão na América do Sul (EMBRAPA, 2008).

Dada a importância da produção de soja na agricultura e os avanços na biotecnologia, foram desenvolvidas variedades de soja tolerantes ao glifosato, conhecidas como soja Roundup Ready (RR), as quais facilitam o uso deste herbicida na cultura com reconhecida eficácia e amplo espectro de controle de plantas daninhas. Com o desenvolvimento da soja RR, o glifosato também passou a ser usado após a emergência dessa cultura (PROCÓPIO et al., 2007), entretanto, poucos estudos foram desenvolvidos no país sobre os efeitos do herbicida nessas variedades.

O glifosato é um herbicida sistêmico, não-seletivo, de amplo espectro e de baixa toxicidade. Controla plantas mono e dicotiledôneas anuais e perenes, de folhas largas ou estreitas, sendo, portanto, uma das melhores opções para o manejo dessas plantas. Este herbicida é utilizado extensivamente, sendo aplicado após emergência das plantas daninhas, antes da semeadura ou emergência das culturas (TREZZI et al., 2001).

No Brasil, o uso da simbiose Soja-Bradyrhizobium diminui os custos de produção relacionados à utilização de fertilizantes nitrogenados devido à fixação biológica de nitrogênio (FBN). O processo de fixação pode ser afetado pela aplicação de glifosato de forma direta por danos às bactérias simbiotes, ou indireta, por afetar a fisiologia da planta hospedeira, reduzindo a eficácia do processo de fixação/absorção.

Os efeitos tóxicos diretos do glifosato em estirpes de rizóbios são geralmente

demonstrados a partir de experimentos em que se coloca este microorganismo diretamente em contato com o herbicida em placas de petri. Em solução nutritiva, a nodulação da soja pode ser afetada (HERNANDEZ et al., 1999; KING et al., 2001).

A concentração de nutrientes na soja transgênica pode ser afetada pela aplicação do glifosato devido a distúrbios fisiológicos na planta. Dentre os poucos trabalhos relacionados à nutrição mineral da soja resistente ao glifosato, em experimento utilizando solo, constatou-se que houve diferenças nutricionais de plantas de soja convencionais e transgênicas (ZOBIOLE et al., 2009). No entanto, experimentos utilizando doses de glifosato em solução nutritiva em soja resistente ainda são inexistentes. O uso da solução nutritiva permite avaliar os efeitos do glifosato nas plantas, sem os interferentes externos, como a sorção da molécula aos colóides do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de matéria seca (planta e nódulos) e o acúmulo de nutrientes em duas variedades de soja, resistente e convencional, em função das doses do herbicida glifosato.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em fevereiro/2008 em casa de vegetação, localizada no Município de Piracicaba, SP, 22°42'30" S, 47°38'01" W, 554 m acima do nível do mar; sendo o clima da região classificado, segundo Koeppen, como CWA, subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente > 22°C (OMETTO, 1991).

As variedades de soja estudadas foram: 'BRS Conquista', variedade não resistente ao glifosato (convencional); 'BRS Valiosa' - soja Roundup Ready, variedade tolerante ao glifosato (resistente). Sementes das variedades, previamente esterilizadas e inoculadas com

bactérias fixadoras de nitrogênio *Bradyrhizobium japonicum*, foram germinadas em areia autoclavada e deixadas crescer até alcançarem o estágio V2, quando a infecção das raízes pelas bactérias fixadoras de N já havia ocorrido. Nesse estágio, as plântulas foram transferidas para solução nutritiva (pH 6,0). Foram utilizados vasos plásticos com volume de 2 litros de solução nutritiva, aeradas permanentemente, cujo volume foi completado diariamente com água desionizada, conforme a demanda transpiratória. A solução utilizada foi a proposta por Johnson et al. (1957), com a concentração de N reduzida,  $\frac{1}{4}$  da necessidade de N requerida pela soja, para evitar a interferência do excesso desse nutriente na FBN ( $N = 56 \text{ mg L}^{-1}$ ).

As plântulas foram transplantadas inicialmente para solução nutritiva diluída a  $\frac{1}{5}$  da concentração de nutrientes, com quatro trocas sucessivas e crescentes até a concentração final de nutrientes.

O experimento foi conduzido com 2 variedades de soja (Conquista e Valiosa) e 6 doses de glifosato: testemunha (sem aplicação de glifosato); 2; 4; 8; 16 e  $32 \mu\text{mol L}^{-1}$  de glifosato p.a. (PM = 169), com cinco repetições, em delineamento inteiramente casualizado. As aplicações de glifosato foram decrescentes: completa na ocasião do transplante, 50% e 25% nas trocas seguintes, a cada 10 dias, respeitando a meia-vida desse herbicida em água (GALLI; MONTEZUMA, 2005).

As plantas foram coletadas no estágio do florescimento pleno (R2), que corresponde à época de maior absorção de nutrientes e foram separadas em parte aérea (PA), raiz e nódulos, lavadas com água desionizada, secas em estufa a  $65^\circ\text{C}$  até atingirem o peso constante, pesadas e moídas em moinho tipo Wiley. A digestão do material foi realizada conforme metodologia proposta por Sarruge e Haag (1974), para

determinação dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn). Os teores de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; P por colorimetria do molibdovanadato; S por turbidimetria do  $\text{Ba}_2\text{SO}_4$ ; N por micro-Kjeldahl e B por colorimetria da curcumina.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as comparações entre as médias, através do teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de massa seca de nódulos e planta

Houve aumento na produção de massa seca da PA da variedade Conquista quando as plantas foram submetidas a baixas doses de glifosato em solução nutritiva, mas foi observado queda na produção após o tratamento com  $8 \mu\text{mol L}^{-1}$  (Tabela 1).

Após aplicação do herbicida, ocorre o acúmulo de chiquimato pela inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS). Com a inibição desta enzima, a planta não produz os aminoácidos para a síntese de proteínas (PADGETTE et al., 1995; TREZZI et al., 2001) e alguns metabólitos secundários, acumulando um composto intermediário, o chiquimato (VIDAL, 1997). Este acúmulo provoca um colapso no metabolismo intermediário dos tecidos vegetais, e quanto mais glifosato a planta recebe, mais ácido chiquímico ela acumula, provocando a sua morte.

Na variedade Valiosa a produção de massa seca da PA foi de 11 a  $13,8 \text{ g planta}^{-1}$  (Tabela 1). Na dose mais baixa, de  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ , houve

**TABELA 1.** Produção de massa seca da parte aérea, raiz e nódulos das plantas de soja

Doses de glifosato $\mu\text{mol L}^{-1}$	Produção de massa seca em soja						CV (%)
	0	2	4	8	16	32	
Parte aérea (g)							
Valiosa	11,0 b	13,0 b	12,2 a	13,8 a	13,0 a	12,4 a	9,3
Conquista	13,8 a	16,0 a	12,8 a	11,2 b	3,9 b	3,1 b	
Raiz (g)							
Valiosa	1,3 a	1,0 b	1,3 a	1,3 a	1,6 a	1,3 a	17,7
Conquista	1,4 a	1,8 a	1,4 a	1,5 a	1,1 b	0,5 b	
Nódulos (g)							
Valiosa	0,4 b	0,4 b	0,5 a	0,5 a	0,4 a	0,4 a	14,0
Conquista	0,6 a	0,6 a	0,5 a	0,2 b	0,2 b	0,1 b	

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem (Tukey, 5%).

maior produção de massa seca da variedade Conquista (Tabela 1), o que na literatura é descrito como eustress, ou seja, um efeito que ativa o metabolismo celular e aumenta a atividade fisiológica, podendo ser de origem climática, hídrica, patológica ou mesmo química, neste caso devido ao herbicida (LICHTENTHALER, 1996).

As produções de massa seca de nódulos e da PA na variedade Valiosa foram 35% e 20% menores, respectivamente, que na variedade Conquista, ambas cultivadas sem aplicação de glifosato (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados em um estudo de comparação da nodulação de variedades de soja resistentes e convencionais sem a presença do glifosato, no qual foi encontrado valores 10% acima nas massas de nódulos das plantas convencionais do que das resistentes (MONTERO, et al., 2001). Com base em trabalhos relacionados à produtividade entre variedades resistentes e convencionais ficam demonstrados resultados contraditórios: produção da soja resistente superior à da convencional em 10% (FERNANDEZ; McBRIDE, 2002) e produtividade média da soja convencional de 3 a 12% superior à da soja transgênica (USDA, 1998). Com base nos

estudos, pode-se afirmar que há diferenças nutricionais de plantas de soja convencionais e transgênicas, sem aplicação do glifosato. A presença de um gene exógeno na soja geneticamente modificada diminuiu a concentração de nutrientes nas plantas dessa em relação às plantas de soja convencionais, mas os mesmos valores de referência nutricional são usados para ambas as variedades (ZOBIOLE et al., 2009). Não foi observado efeito significativo na produção de massa seca de nódulos na variedade Valiosa em função das doses de glifosato (Tabela 2). Em experimento similar utilizando solo, houve um incremento em 0,225 mg no N total na PA e 12 mg na massa seca da PA, a cada 1 mg de massa seca produzida de nódulos (MONTERO, et al. 2001).

A produção de massa seca de nódulos da variedade Valiosa não variou com as doses de glifosato, o que também confirma a resistência dos nódulos nesta variedade ao herbicida, no entanto, a variedade Conquista foi sensível às doses de glifosato superiores a 4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , observando-se redução da massa seca de nódulos (Tabela 1). Houve redução na massa seca de nódulos até R3 com a aplicação do herbicida em solo, utilizando a variedade Valiosa (OLIVEIRA JUNIOR. et al., 2008).

**TABELA 2.** Análise de regressão referente à produção de massa seca da parte aérea, raiz e nódulos das plantas de soja, em função das doses de glifosato.

Variedade	Equação	r <sup>2</sup>
<b>Massa seca parte aérea</b>		
Valiosa	$Y = -0,006x^2 + 0,21x + 11,79$ (*)	0,49
Conquista	$Y = 0,015x^2 - 0,89x + 15,91$ (**)	0,91
<b>Massa seca raiz</b>		
Valiosa	$Y = -0,0008x^2 + 0,03x + 1,21$ (*)	0,75
Conquista	$Y = -0,036x + 1,6$ (**)	0,88
<b>Massa seca nódulos</b>		
Valiosa	ns	
Conquista	$Y = 0,001x^2 - 0,057x + 0,66$ (**)	0,97

Pelo teste F: \*\*significativo a 1% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

### Acúmulo de nutrientes

No tratamento testemunha, o acúmulo de P e Mg foram maiores na variedade Conquista quando comparado com a variedade Valiosa (Tabela 4). A maior produção de massa seca de nódulos na variedade Conquista contribuiu para o acúmulo do Mg, uma vez que o Mg tem importância fundamental na FBN, pois a geração de ATP no nódulo é dependente desse íon (MALAVOLTA et al., 1997).

O acúmulo de N, K, Ca, Mg, S, B e Fe na variedade Valiosa não foi afetado pelas doses de glifosato. Nessa variedade a presença do herbicida na solução surtiu pouco efeito, pois a soja resistente ao glifosato apresenta dupla expressão da enzima EPSPs, uma original da espécie e outra da *Agrobacterium* sp., estirpe CP4, a qual codifica uma variante da EPSPs (CP4 EPSPs), que não é afetada pelo herbicida (KLEBA, 1998; SANTOS, 2007). Assim, o glifosato interfere na rota metabólica da enzima EPSPs, trazendo efeitos negativos para a soja

**TABELA 3.** Correlação entre o acúmulo de nutrientes e doses de glifosato em variedades de soja.

Elemento	Variedade	Equação	r <sup>2</sup>
N	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,65x^2 - 29,09x + 391,12$ (**)	0,96
P	Valiosa	$Y = -4,73x^2 + 1,69x + 95,86$ (*)	0,43
	Conquista	$Y = 0,10x^2 + 6,01x + 126,63$ (**)	0,91
K	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,29x^2 - 17,52x + 326,54$ (**)	0,94
Ca	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,07x^2 - 6,04x + 152,07$ (**)	0,90
Mg	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,03x^2 - 2,09x + 42,81$ (**)	0,92
S	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,01x^2 - 0,98x + 22,62$ (**)	0,76
B	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = 0,007x^2 - 0,04x + 0,71$ (**)	0,96
Cu	Valiosa	$Y = -0,04x^2 + 1,15x + 21,74$ (**)	0,73
	Conquista	$Y = 0,05x^2 + 1,48x + 22,4$ (**)	0,64
Mn	Valiosa	$Y = -0,85x + 31,42$ (*)	0,54
	Conquista	$Y = -0,03x + 1,31$ (**)	0,84
Fe	Valiosa	ns	
	Conquista	$Y = -6,09x + 2,50$ (**)	0,68
Zn	Valiosa	$Y = -0,003x + 0,30$ (**)	0,53
	Conquista	$Y = -0,007x + 0,29$ (**)	0,59

Pelo teste F: \*\*significativo a 1% de probabilidade; \*significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

convencional, mas não interfere na rota da enzima CP4 EPSPs, presente na variedade Valiosa. Sob tratamento com esse herbicida, as plantas de soja RR não são prejudicadas, em virtude da ação dessa enzima alternativa (CP4 EPSPs), insensível ao produto (SANTOS, 2007; ZOBIOLE, 2009). A expressão das enzimas mantém os níveis normais dos aminoácidos aromáticos, prevenindo distúrbios metabólicos causados pela inibição da via do chiquimato.

Houve redução do acúmulo de micronutrientes na parte aérea na variedade Valiosa, que pode estar relacionada à formação de complexos de íons com a molécula do glifosato na solução nutritiva. O acúmulo de Cu e Zn foi reduzido pela aplicação de  $32 \mu\text{mol L}^{-1}$  do produto em solução nutritiva. Para o acúmulo

**TABELA 4.** Acúmulo de macronutrientes em variedades de soja tratadas com glifosato.

Doses de glifosato $\mu\text{mol L}^{-1}$	Acúmulo de macronutrientes											
	N		P		K		Ca		Mg		S	
	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista
	----- mg planta <sup>-1</sup> -----											
0	380 a	411 a	92 b	111 a	270 a	300 a	127 a	132 a	29 b	39 a	17 a	17 a
2	377 a	306 b	109 b	131 a	251 b	310 a	144 a	147 a	34 a	40 a	21 b	26 a
4	325 a	272 b	94 a	104 a	214 b	257 a	130 a	143 a	32 b	39 a	17 a	19 a
8	384 a	232 b	105 a	88 b	268 a	243 a	123 a	121 a	31 a	34 a	18 a	17 a
16	358 a	80 b	112 a	50 b	253 a	89 b	135 a	57 b	29 a	13 b	19 a	7 b
32	328 a	127 b	101 a	40 b	218 a	69 b	134 a	40 b	28 a	10 b	16 a	6 b
CV %	13,3		10,3		10,7		14,1		17,8		11,8	

\* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem (Tukey, 5%).

do Cu e do Zn houve redução em 39% e 25%, respectivamente, na variedade Valiosa em relação à testemunha (Tabela 5). No mesmo tratamento foi observada tendência à redução do acúmulo de Mn (Tabela 3).

O grupo fosfonato R-PO(OH)<sub>2</sub> do composto apresenta a habilidade de formar complexos fortes com metais. Além do grupo fosfonato, o herbicida possui outros dois grupos funcionais (amino e carboxilato) que podem se coordenar fortemente com íons metálicos, especialmente com os de transição, em pH próximo da neutralidade, quando os grupos carboxilato e fosfonato estão desprotonados (COUTINHO; MAZO, 2005; TONI et al., 2006).

A constante de estabilidade (log K) dos complexos metálicos com o glifosato é de 11,92; 8,4 e 5,53 para o Cu<sup>2+</sup>; o Zn<sup>2+</sup> e o Mn<sup>2+</sup>, respectivamente (COUTINHO; MAZO, 2005). Desta forma, as deficiências de Cu<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup> encontradas no experimento são, provavelmente, causadas pela formação de complexos metálicos do Cu<sup>2+</sup> e do Zn<sup>2+</sup> com o glifosato da solução nutritiva, indisponibilizando

esses nutrientes para as plantas. O Mn<sup>2+</sup> foi o menos complexado dos três elementos, pois apresenta o menor log K. O Fe foi adicionado na solução nutritiva na forma do complexo Fe-EDTA, uma vez quelado, não houve, provavelmente, reação deste com o herbicida e, portanto, não foi constatada redução desse nutriente nas plantas. Complexos insolúveis de glifosato com íons de Cu, Fe, Ca e Mg são formados em pH próximo à neutralidade, inativando o herbicida. Entretanto, a formação do complexo glifosato-metal também diminui a absorção do nutriente, afetando a nutrição mineral das plantas não-alvo (SUBRAMANIAM; HOGGARD, 1988).

A complexação de Cu<sup>2+</sup> com glifosato ocorre com a formação de dois anéis quelatos. O Cu<sup>2+</sup> se liga ao glifosato causando uma torção na molécula, inativando-a e prendendo o íon, tornando ambos indisponíveis ambos para as plantas, tendo como consequência um efeito de diminuição da fitotoxicidade do glifosato no ambiente. O mesmo efeito do glifosato proposto para o Cu<sup>2+</sup> é evidenciado para os demais íons metálicos de transição, no entanto, estudos com

**TABELA 5.** Acúmulo de micronutrientes em variedades de soja tratadas com glifosato.

Doses de glifosato $\mu\text{mol L}^{-1}$	Acúmulo de micronutrientes									
	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista	Valiosa	Conquista
	----- mg planta <sup>-1</sup> -----									
0	0,60 a	0,67 a	0,023 a	0,026 a	1,5 a	1,8 a	1,0 a	1,2 a	0,24 a	0,21 a
2	0,62 a	0,63 a	0,020 a	0,020 a	2,1 a	2,5 a	1,2 a	1,3 a	0,32 a	0,26 a
4	0,51 a	0,60 a	0,027 b	0,042 a	1,7 b	2,8 a	1,0 a	1,3 a	0,27 a	0,30 a
8	0,67 a	0,49 b	0,039 a	0,033 b	1,7 b	2,3 a	1,3 a	1,1 a	0,32 a	0,33 a
16	0,60 a	0,20 b	0,026 a	0,009 b	1,7 a	0,8 b	0,9 a	0,6 a	0,26 a	0,08 b
32	0,53 a	0,18 b	0,014 a	0,005 b	1,4 a	0,7 b	0,9 a	0,5 b	0,18 a	0,07 b
<b>CV %</b>	16,2		15,4		22,2		21,4		22,6	

\* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem (Tukey, 5%).

esse elemento são mais freqüentes que estudos com os demais íons (COUTINHO; MAZO, 2005). O glifosato inibe a aquisição de Mn, Fe e Zn, mesmo quando o produto é aplicado em taxas consideradas baixas, na faixa de concentração da deriva do herbicida (1% - 10% das doses recomendadas para a cultura da soja), segundo Yamada e Castro (2007).

Foi observado um acúmulo elevado de P em ambas as variedades de soja. Isso se deve à alta disponibilidade desse elemento em solução nutritiva, quando comparado com a disponibilidade do mesmo em solo; portanto, o P não foi considerado problemático para este estudo. Mesmo no tratamento de maior dose de glifosato (32  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) na variedade Conquista, o acúmulo de P foi de 40,7 mg planta<sup>-1</sup>. Os valores encontrados por Pedrinho Junior et al. (2004) na cultivar de soja BR 16, cultivada em solo, sem aplicação de glifosato, esteve entre 50 e 60 mg planta<sup>-1</sup>, aos 60 dias, mostrando que o acúmulo desse nutriente nas variedades Conquista e Valiosa foram superiores aos níveis considerados normais para a cultura da soja.

Taxas recomendadas de glifosato para aplicação no campo podem causar efeitos negativos no crescimento e na nutrição da soja,

mesmo nas transgênicas (BOTT et al., 2008; ZOBIOLE et al., 2009). Além da formação de quelatos dos íons metálicos com o glifosato, outra possível explicação para a deficiência de nutrientes nas plantas, causada na presença do herbicida em solução nutritiva, poderia ser a formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA) dentro da planta, que é um composto secundário originado da degradação do herbicida, entretanto, sabe-se que esse composto é mais tóxico que o próprio herbicida (REDDY et al., 2004).

Como era esperado, para a variedade Conquista houve redução no acúmulo de nutrientes entre a testemunha e o tratamento 32  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Essa redução foi de 69% para N, 64% para P, 77% para K, 69% para Ca, 74% para Mg e 66% para S, entre os macronutrientes, e de 73% para B, 81% para Cu, 65% para Fe, 58% para Mn e 67% para Zn, entre os micronutrientes (Tabela 5). Quando o glifosato interfere na rota do ácido chiquímico em plantas de soja convencional, ocorrem danos fisiológicos nessas plantas, o que causa redução na produção de massa seca e, conseqüentemente, menor acúmulo de nutrientes, levando-as à morte.

## CONCLUSÕES

- A aplicação de glifosato em solução nutritiva não reduz a produção de massa seca da variedade Valiosa;

- o acúmulo de nutrientes na variedade Conquista é reduzido com a aplicação de glifosato em solução nutritiva;

- o acúmulo de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  é reduzido na variedade Valiosa quando essas são tratadas com o glifosato;

- as variedades transgênica e convencional diferem quanto ao acúmulo de nutrientes mesmo quando não tratadas com glifosato.

## REFERÊNCIAS

- BOTT, S.; TEFAMARIAM, T.; CANDAN, H.; CAKMAK, I.; ROMHELD, V.; NEUMANN, G. Glyphosate-induced impairment of plant growth and micronutrient status in glyphosateresistant soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, v. 312, p. 185-194, 2008.
- COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glyphosate: Revisão. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1038-1045, 2005.
- EMBRAPA. **Soja em números (safra 2007/2008)**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=294&cod\\_pai=16](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=294&cod_pai=16)>. Acesso em: 05 fev. 2009.
- FERNANDEZ, J. e McBRIDE, W. **Adoption of bioengineered crops**. Washington: USDA, 2002. 67 p. Agricultural Economic Report.
- GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura**. São Paulo: Monsanto do Brasil, 2005. 60 p.
- HERNANDEZ, A.; GARCIA, J. I. P.; BACERRIL, J. M. Glyphosate effects on phenolic metabolism of nodulated soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 7, p. 2920-2925, 1999.
- JOHNSON, C. M.; STOUT, P. R.; BROYER, T. C.; CARTON, A. B. Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant and Soil**, v. 8, n. 4, p. 337-353, 1957.
- KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal, Madison**, v. 93, n. 1, p. 179-186, 2001.
- KLEBA, J. B. Riscos e benefícios de plantas transgênicas resistentes a herbicidas: o caso da soja RR da Monsanto. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 9-42, 1998.
- LICHTENTHALER, H. K. Vegetation Stress: an introduction to the stress concept in plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, n. 1-2, p. 3-14, 1996.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MONTERO, F. A.; FILIPPI, K. M.; SAGARDOY, M. A. Nodulacion y nutricion nitrogenada em sojas convencionales y resistentes a glifosato inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. **Ciencia del Suelo**, v. 19, p. 159-162, 2001.
- OMETTO, J. C. **Registros e estimativas dos parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba**, SP. Piracicaba: Fealq, 1991. 76 p.
- OLIVEIRA JUNIOR., R. S.; DVORANEN, E. C.; CONSTANTIN, J.; CAVALIERI, S. D.; FRANCHINI, L. H. M.; RIOS, F. A.; BLAINSKI, E. Influência do glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de cultivares de soja resistente



- ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 831-843, 2008.
- PADGETTE, S. R.; KOLACZ, K. H.; DELANNAY, X.; RE, D. B.; VALLEE, B. J.; TINIUS, C. N.; RHODES, W. K.; OTERO, Y. I.; BARRY, G. F.; EICHHOLTZ, D. A.; PESCHKE, V. M.; NIDA, D. L.; TAYLOR, N. B.; KISHORE, G. M. Development, identification, and characterization of a glyphosate tolerant soybean line. **Crop Science**, v. 35, n. 5, p. 1451-1461, 1995.
- PEDRINHO JUNIOR, A. F. F.; BIANCO, S.; PITELLI, R. A. Acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Glycine max* e *Richardia brasiliensis*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 53-61, 2004.
- PROCÓPIO, F. A. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. S. O.; BARROSO, A. L. L.; PACHECO, L. P. Manejo de herbicidas na cultura da soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 557-566, 2007.
- REDDY, K. N.; RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 16, p. 5139-5143, 2004.
- SANTOS, J. B.; FERREIRA, E. A.; REIS, M. R.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 54 p.
- SUBRAMANIAM, V.; HOGGARD, P. E. Metal complexes of glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 1326-1329, 1988.
- TONI, L. R. M.; DIMAS, H. S.; ZAIA, A. M. Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. **Química Nova**, v. 29 n. 4, p. 829-833, 2006.
- TREZZI, M. M.; KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A. Inibidores de EPSPS. In: VIDAL, R. A.; MEROTTO JUNIOR, A. (Ed.). **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. p. 37-45.
- USDA. **Agricultural Chemical Usage 1998 Vegetable Summary**. July 1999. National Agricultural Statistics Services. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/reports/nassr/other/pcubb/agch0799.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2008.
- VIDAL, R. A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: Ribas Vidal, 1997. 165 p.
- YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 119, p. 1-32, 2007. (IPNI-Encarte Técnico).
- ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; HUBER, M.; CONSTANTIN, J.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybeans. **Plant and Soil**, jul. 2009.