

TOXICIDADE DE ALUMÍNIO E MANGANES EM SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* L. MOENCH). III RELAÇÕES
ENTRE P, Mg E AL*

Ana Cândida P. Aguirre Primavesi**
E. Malavolta***
Odo Primavesi****

RESUMO

Condúziu-se um experimento em casa de vegetação, em solução nutritiva de Hoagland e Arnon nº 1, modificada para a solução padrão contendo os tratamentos (níveis de Al, P, Mg) e usando-se quatro cultivares de sorgo sacarino: - CMS x S603, Br500, Sart e Br602. Após a colheita determinou-se os pesos da matéria seca da raiz e parte aérea e os teores de P, K, Ca, Mg e Al. Verificou-se que: a) a tolerância relativa dos culti

* Parte da tese apresentada pelo primeiro autor a ESALQ, USP, Piracicaba. Entregue para publicação em: 30/04/87.

** EMBRAPA

*** CENA, USP

**** COPERSUCAR, CTC, Piracicaba

vares for indicada pela produção de matéria seca do sistema radicular na seguinte ordem decrescente: SART > CMS x S603 > Br500 > Br602. b) a elevação dos níveis de Mg no substrato permitiu um aumento na tolerância ao alumínio desde que o fósforo se apresentasse em alta concentração. c) os teores dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea dos cultivares, comparando-se tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca na presença de Al, e grau de tolerância ao mesmo, foram diferentes para os cultivares. d) ocorreu estímulo na produção de matéria seca para determinadas combinações de níveis de Al e nutrientes, dependendo do cultivar.

INTRODUÇÃO

A toxidez de Al geralmente causa distúrbios na nutrição mineral das plantas, reduzindo a absorção de nutrientes para diferentes culturas (FOY *et alii*, 1978), e essa diferença na absorção tem sido associada com sensibilidade ao Al (CLARKSON, 1971). Paralelamente é relatado que mudanças nas concentrações de nutrientes, em solução nutritiva, podem alterar o grau de tolerância ao Al (RHUE e GROGAN, 1977).

Objetivando verificar o efeito da combinação de níveis de P, Mg e Al no grau de tolerância a este último elemento, foi desenvolvido o presente trabalho, usando-se cultivares de sorgo sacarino.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os cultivares de sorgo sacarino usados foram: CMS x S603, Br500, Sart e Br602.

Colocou-se as sementes, que foram revestidas com fungicida, para germinar em vermiculita umidecida com solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4}M (MALAVOLTA, 1975), no dia 19/09/81. Com 14 dias as plantas foram transferidas para bandejas (40 l) com solução nutritiva nº 1 de HOAGLAND & ARNON (1950), modificada para a solução padrão contendo os tratamentos. Forneceu-se os micronutrientes através da solução "a" e solução de Fe EDTA (MALAVOLTA, 1975). Fez-se o balanço nutricional da solução (SARRUGE, 1975). Semanalmente substituiu-se a solução nutritiva, que foi arejada continuamente com ajuda de compressor de ar. Os volumes das soluções foram mantidos com água destilada e o pH da solução ajustado para 4,0-4,5.

Foi a seguinte a composição da solução padrão: KNO_3 M-5 ml/l; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ M-2 ml/l; Fe-EDTA - 1 ml/l e solução "a" (micronutrientes) - 1 ml/l. Os tratamentos foram: Al (ppm) - $\text{Al}_0 = 0$, $\text{Al}_1 = 6$, $\text{Al}_2 = 12$; P (mM) - $\text{P}_1 = 0,0125$, $\text{P}_2 = 0,05$, $\text{P}_3 = 0,25$; Mg (mM) - $\text{Mg}_1 = 0,05$, $\text{Mg}_2 = 0,2$, $\text{Mg}_3 = 2,0$. O nível 3 de Mg é correspondente ao da solução de Hoagland e Arnon (SARRUGE, 1975). Para evitar a precipitação do Al, o nível 3 de P foi reduzido a 1/4 do nível da solução de Hoagland e Arnon (NOGUEIRA, 1979).

O delineamento experimental constou de parcelas subdivididas, com parcelas representadas pelos tratamentos (27) do fatorial (3x3x3) e subparcelas pelos quatro cultivares, com quatro repetições inteiramente casualizadas.

Após a colheita (04/10/81), o material foi lavado e seco em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 65 - 70°C. Obtido o peso da matéria seca,

foi moído em moinho tipo Wiley com peneira 20 (SARRUGE & HAAG, 1974). Obteve-se o extrato através de digestão nitroperclonica onde foram determinados os elementos P, Ca, Mg e Al por espectrometria de emissão com plasma induzido em argônio. O potássio foi determinado por fotometria de chama.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria seca

Determinados os pesos da matéria seca da raiz e parte aérea dos quatro cultivares (Tabela 1), verificou-se a seguinte ordem decrescente para a exploração do potencial de produção de matéria seca da raiz e da parte aérea: Br602 > Sart > CMS x S603 > Br500. No nível 12 ppm de Al o cultivar Sart apresentou maior produção de matéria seca que Br602.

Baseado na porcentagem de redução na produção de matéria seca devido ao nível 12 ppm de Al, verificou-se:

a) na raiz, os tratamentos que proporcionaram o maior grau de tolerância ao Al foram: P_3Mg_3 para os cultivares Sart (redução para 62,0%) e Br602 (redução para 45,5%), P_2Mg_2 para CMSxS603 (57,3%) e P_1Mg_1 para Br500 (52,2%). Na parte aérea, o grau de tolerância se apresentou baixo não havendo diferenças entre cultivares (Tabela 2).

b) na raiz e parte aérea, o menor grau de tolerância foi devido ao tratamento P_2Mg_3 para todos os cultivares.

Verificou-se a seguinte ordem decrescente para o grau de tolerância, para a melhor combinação de nutrien-

Tabela 1 - Matéria seca (g) da raiz (R) e parte aérea (PA) dos cultivares de sorgo sacarino

Cultivares	CMSxS 603			Br 500			Sart			Br 602				
	Tratamentos	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	
Al ₀ P ₁	Mg ₁	0,372	0,67	0,56	0,299	0,62	0,48	0,533	1,26	0,42	0,557	1,11	0,50	
	Mg ₂	0,446	0,77	0,58	0,347	0,63	0,55	0,491	1,20	0,41	0,586	1,12	0,52	
	Mg ₃	0,457	0,68	0,67	0,300	0,44	0,68	0,522	1,05	0,50	0,569	0,90	0,63	
	P ₂	Mg ₁	0,323	1,21	0,27	0,360	1,24	0,29	0,437	2,01	0,22	0,454	1,60	0,28
		Mg ₂	0,412	1,68	0,25	0,445	1,41	0,32	0,547	2,53	0,22	0,614	1,86	0,33
		Mg ₃	0,351	1,22	0,29	0,364	1,15	0,32	0,563	2,26	0,25	0,582	1,87	0,31
	P ₃	Mg ₁	0,295	1,53	0,19	0,365	1,45	0,25	0,486	2,76	0,18	0,550	2,36	0,23
		Mg ₂	0,353	1,47	0,24	0,375	1,40	0,27	0,473	2,35	0,20	0,511	1,88	0,27
		Mg ₃	0,373	1,49	0,25	0,353	1,26	0,28	0,469	2,50	0,19	0,541	1,87	0,29
Al ₁ P ₁	Mg ₁	0,195	0,25	0,78	0,165	0,12	1,38	0,265	0,18	1,14	0,253	0,19	1,33	
	Mg ₂	0,186	0,16	1,16	0,152	0,15	1,01	0,250	0,22	1,14	0,274	0,21	1,30	
	Mg ₃	0,203	0,15	1,35	0,181	0,10	1,61	0,236	0,24	0,98	0,244	0,26	0,94	
	P ₂	Mg ₁	0,109	0,52	0,59	0,220	0,22	1,00	0,307	0,49	0,63	0,313	0,38	0,82
		Mg ₂	0,316	0,53	0,60	0,242	0,35	0,69	0,419	0,82	0,51	0,367	0,66	0,56
		Mg ₃	0,266	0,23	1,16	0,215	0,13	1,65	0,249	0,21	1,19	0,333	0,26	1,28
	P ₃	Mg ₁	0,202	0,79	0,26	0,270	0,68	0,32	0,282	1,34	0,21	0,265	0,91	0,29
		Mg ₂	0,275	1,05	0,26	0,308	0,91	0,34	0,523	2,26	0,23	0,486	1,56	0,31
		Mg ₃	0,557	1,98	0,28	0,482	1,35	0,36	0,642	2,74	0,23	0,562	1,83	0,31
Al ₂ P ₁	Mg ₁	0,197	0,14	1,41	0,156	0,11	1,42	0,203	0,15	1,35	0,201	0,17	1,18	
	Mg ₂	0,202	0,15	1,35	0,162	0,18	0,90	0,225	0,20	1,13	0,116	0,18	0,64	
	Mg ₃	0,195	0,16	1,22	0,071	0,11	0,65	0,117	0,16	0,73	0,113	0,16	0,71	
	P ₂	Mg ₁	0,096	0,14	0,69	0,069	0,11	0,63	0,121	0,17	0,71	0,126	0,20	0,63
		Mg ₂	0,236	0,22	1,07	0,087	0,16	0,54	0,165	0,30	0,55	0,174	0,31	0,56
		Mg ₃	0,089	0,13	0,68	0,054	0,08	0,68	0,098	0,17	0,58	0,111	0,20	0,56
	P ₃	Mg ₁	0,158	0,27	0,59	0,073	0,21	0,35	0,150	0,37	0,41	0,165	0,36	0,46
		Mg ₂	0,141	0,46	0,31	0,135	0,34	0,40	0,250	0,72	0,35	0,199	0,50	0,40
		Mg ₃	0,163	0,44	0,37	0,171	0,37	0,43	0,291	0,74	0,39	0,246	0,57	0,43

Tabela 2 - Tratamentos que permitiram a maior e menor exploração do potencial de produção de matéria seca radicular e a tolerância ao Al na raiz e parte aérea

Matéria seca (g)		CMSxS 603		Br 500		Sart		Br 602	
Raiz	> exploração	Al ₀	P ₁ Mg ₃ = 0,457	P ₁ Mg ₂ = 0,445	P ₂ Mg ₃ = 0,563	P ₂ Mg ₂ = 0,614			
		Al ₂	P ₂ Mg ₂ = 0,236	P ₃ Mg ₃ = 0,171	P ₃ Mg ₃ = 0,291	P ₃ Mg ₃ = 0,246			
	< exploração	Al ₀	P ₃ Mg ₁ = 0,295	P ₁ Mg ₁ = 0,299	P ₂ Mg ₁ = 0,437	P ₂ Mg ₁ = 0,454			
		Al ₂	P ₂ Mg ₃ = 0,089	P ₂ Mg ₃ = 0,054	P ₂ Mg ₃ = 0,098	P ₂ Mg ₃ = 0,111			
Parte aérea	> exploração	Al ₀	P ₂ Mg ₂ = 1,68	P ₃ Mg ₁ = 1,45	P ₃ Mg ₁ = 2,76	P ₃ Mg ₁ = 2,36			
		Al ₂	P ₃ Mg ₂ = 0,46	P ₃ Mg ₃ = 0,37	P ₃ Mg ₃ = 0,74	P ₃ Mg ₃ = 0,57			
	< exploração	Al ₀	P ₁ Mg ₁ = 0,67	P ₁ Mg ₃ = 0,44	P ₁ Mg ₃ = 1,05	P ₁ Mg ₃ = 0,90			
		Al ₂	P ₂ Mg ₃ = 0,13	P ₂ Mg ₃ = 0,08	P ₁ Mg ₁ = 0,15	P ₁ Mg ₃ = 0,16			
Tolerância (% redução para)									
Raiz	> tolerância		P ₂ Mg ₂ = 57,3	P ₁ Mg ₁ = 52,2	P ₃ Mg ₃ = 62,0	P ₃ Mg ₃ = 45,5			
	< tolerância		P ₂ Mg ₃ = 25,4	P ₂ Mg ₃ = 14,8	P ₂ Mg ₃ = 17,4	P ₂ Mg ₃ = 19,1			
Parte aérea	> tolerância		P ₃ Mg ₂ = 31,3	P ₃ Mg ₃ = 29,4	P ₃ Mg ₂ = 30,6	P ₃ Mg ₃ = 30,5			
	< tolerância		P ₂ Mg ₃ = 10,7	P ₂ Mg ₃ = 7,0	P ₂ Mg ₃ = 7,5	P ₂ Mg ₃ = 10,7			

tes (tratamentos), específica ao cultivar: raiz-Sart > CMS x S603 > Br 500 > Br 602.

Verificaram-se aumentos de produção de matéria seca no nível 6 ppm de Al para os cultivares CMS x S603, Br 500 e Sart (Tabela 1). Este fato sugere o efeito benéfico do Al quando em combinação com níveis adequados dos outros nutrientes, o que tem sido relatado por BRAUNER e SARRUGE (1980), JOHNSON e JACKSON (1964) e SANTA-NA et alii (1977).

Elementos minerais

Comparando-se os tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca e tolerância ao Al (Tabela 2), para cada cultivar, verificou-se o seguinte comportamento dos elementos minerais na parte aérea quanto ao teor e quantidade (Tabela 3):

- a) comparando-se os tratamentos que proporcionaram a maior e menor produção de matéria seca
 - os cultivares CMSXS 603 e Br 602 apresentaram teores mais elevados de K e P e menores de Mg, Al e Ca e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.
 - o cultivar Br 500 mostrou teores maiores dos elementos Ca, Mg, K, P e menores de Al e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.
 - o cultivar Sart apresentou teores e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.
- b) no tratamento que propiciou o maior grau de tolerância ao Al quando comparado ao que condicionou a menor tolerância.
 - os cultivares CMSXS 603 e Sart apresentaram teores maiores de K, P e menores de Mg, Al e Ca e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

Tabela 3- Teores e quantidades de nutrientes e Al na parte aérea dos cultivos, nos tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções (P) de matéria seca no nível 12 ppm de Al e total rância (T) ao mesmo.

Cultivar	Tratamento	Ca		Mg		K		P		Al	
		g	mg/2 plantas	g	mg/2 plantas	g	mg/2 plantas	g	mg/2 plantas	g	mg/2 plantas
CMSA603	P ₃ Mg ₂ T+	0,88	4,018	0,12	0,552	2,83	13,018	0,86	5,056	336	0,155
	P ₂ Mg ₃ T-	0,90	1,170	0,35	0,455	1,73	2,249	0,09	0,117	509	0,066
	P ₃ Mg ₂ P+	0,88	4,048	0,12	0,552	2,83	13,018	0,86	5,056	336	0,155
	P ₂ Mg ₃ P-	0,90	1,170	0,35	0,455	1,73	2,249	0,09	0,117	509	0,066
	P ₃ Mg ₂ T+	1,21	4,477	0,41	1,517	4,64	17,168	0,62	2,294	323	0,120
	P ₂ Mg ₃ T-	0,71	0,568	0,26	0,208	2,42	1,936	0,05	0,040	376	0,030
Sari	P ₃ Mg ₂ P+	1,21	4,477	0,41	1,517	4,64	17,168	0,62	2,294	323	0,120
	P ₂ Mg ₃ P-	0,71	0,568	0,26	0,208	2,42	1,936	0,05	0,040	376	0,030
	P ₃ Mg ₂ T+	1,05	7,560	0,12	0,864	4,11	29,592	0,82	5,904	350	0,252
	P ₂ Mg ₃ T-	1,10	1,870	0,42	0,714	2,45	4,165	0,08	0,136	648	0,110
	P ₃ Mg ₂ P+	1,94	14,356	0,70	5,180	5,65	41,810	0,97	7,178	644	0,477
	P ₂ Mg ₃ P-	1,07	1,605	0,26	0,350	2,20	3,300	0,06	0,090	435	0,065
Br 602	P ₃ Mg ₂ T+	1,26	7,182	0,45	2,565	4,35	24,795	0,45	2,565	319	0,182
	P ₂ Mg ₃ T-	1,25	2,500	0,41	0,820	1,84	3,680	0,08	0,160	834	0,167
	P ₃ Mg ₂ P+	1,26	7,182	0,45	2,565	4,35	24,795	0,45	2,565	319	0,182
	P ₂ Mg ₃ P-	1,30	2,080	0,54	0,864	2,05	3,280	0,07	0,112	439	0,070

- os cultivares Br 500 e Br 602 apresentaram teores mais elevados de Ca, Mg, K, P e menores de Al e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

Considerando-se o nível 3 de fósforo (Tabela 4), nota-se um aumento no grau de tolerância ao Al, nos cultivares, com as doses de Mg, tanto na parte aérea como na raiz. RHUE e GROGAN (1977), relatam que em milho, aumentando-se as concentrações de Mg decrescia a toxicidade de alumínio. Constata-se também a importância da combinação dos níveis para atingir a máxima produção de matéria seca e/ou o maior grau de tolerância, visto que o aumento no grau de tolerância com as doses de magnésio só se verificou em presença do nível 3 de P.

CONCLUSÕES

- Os cultivares mostraram mudanças no grau de tolerância ao alumínio quando se variaram os níveis de nutrientes no substrato.

- Ocorreu um aumento na tolerância ao alumínio, com a elevação dos níveis de magnésio sempre que o fósforo foi mantido em alta concentração.

- Quanto ao grau de tolerância ao alumínio, indicado pela produção de matéria seca radicular, verificou-se que os cultivar Sart se apresentou mais tolerante, os cultivares CMSxS 603 e Br 500 medianamente tolerantes e Br 602 o mais susceptível.

- Os cultivares apresentaram teores diferentes dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea, comparando-se tratamentos que condicionaram as maiores e menores produções de matéria seca e tolerância ao Al.

Tabela 4- Variação percentual (redução para) da produção de matéria seca no experimento de Mg, com o aumento do nível de Al de 0 para 12 ppm, na solução nutritiva (grau de tolerância)

Nível	Parte aérea						Raiz	
	CMSxS603	Br 500	Sart	Br 602	CMSxS603	Br 500	Sart	Br 602
Mg ₁ P ₁	20,9	17,7	11,9	15,3	53,0	52,2	36,7	36,1
P ₂	11,6	8,9	8,5	12,5	29,7	19,2	27,7	27,8
P ₃	17,6	14,5	13,6	15,3	53,6	20,0	30,9	30,0
Mg ₂ P ₁	19,5	28,6	16,7	16,1	45,3	46,7	45,8	19,8
P ₂	13,1	11,3	11,9	16,7	57,3	19,6	30,2	28,3
P ₃	31,3	24,3	30,6	26,6	39,8	36,0	52,9	38,9
Mg ₃ P ₁	23,5	25,0	15,2	18,9	42,7	23,7	22,4	19,9
P ₂	10,7	7,0	7,5	10,7	25,4	14,8	17,4	19,1
P ₃	29,5	29,4	29,6	30,5	43,7	48,4	62,0	45,5

- Dependendo do cultivar houve estímulo na produção de matéria seca por determinadas combinações de níveis de Al e nutrientes.

SUMMARY

INDUCED TOXICITIES OF ALUMINUM AND MANGANESE IN SWEET SORGHUM. III. RELATIONS BETWEEN P, Mg AND Al.

Four varieties of sweet sorghum (CMSxS603), Br500, Sart and Br602) were grown in a modified Hoagland's solution in order to supply varying levels of Al, P and Mg. After harvesting dry matter was measured both in roots and tops, and analyses for P, K, Ca, Mg and Al were made. The following was observed: a) tolerance of the varieties was better indicated by root dry matter according to a decreasing order - Sart, CMSxS 603, Br 500, Br 602; b) when the Mg concentration in the substrate was raised, tolerance to Al toxicity was increased provided P was supplied at a relatively high level; c) maximum and minimum dry matter yield of the tops were associated with P, K, Ca, Mg and Al contents which were different for the four varieties; d) depending upon the variety and of the supply of the other nutrients (P and Mg) a stimulation on growth was caused by low Al levels in the nutrient solution.

LITERATURA CITADA

BRAUNER, J.L. e J.R. SARRUGE, 1980. Tolerancia de cultivares de trigo (Triticum aestivum L.) ao alumínio e ao manganês. III. Influência do alumínio e do grau

- de tolerância ao alumínio sobre as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas. Anais da ESALQ, 37(2): 837-848.
- CLARKSON, D.T., 1971. Inhibition of the uptake and long distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. J. Exp. Botany, 22(73):837-851.
- FOY, C.D.; R.L. CHANEY e M.C. WHITE, 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol, 29:511-566.
- HOAGLAND, D.R. e D.I. ARNON, 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Expt. Sta. Circ. 34 p.
- JOHNSON, R.R. e W.A. JACKSON, 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28: 381-386.
- MALAVOLTA, E., 1975. Práticas de nutrição mineral de plantas. Curso de Pós- Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Postila mimeografada, 65 p.
- NOGUEIRA, F.D., 1979. Efeitos do alumínio no sorgo graminífero (Sorghum bicolor L. Moench). Piracicaba, ESALQ/USP, 120 p. (Tese de Doutorado).
- RHUE, R.D. e C.O. GROGAN, 1977. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. Agron. J., 69: 755-760.
- SANTANA, M.M.B.; F.P. CABALA-ROSAND e A.P. VASCONCELOS FILHO, 1977. Fertilidade dos solos ocupados com seringueira no sul da Bahia e grau de tolerância dessa cultura ao alumínio. Rev. Theobroma, 7: 125-132.
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. ESALQ/USP. 56 p.

SARRUGE, J.R., 1975. Soluções nutritivas. Nota Técnica.
Summa Phytopathologica, 1: 231-233.