

TOXIDEZ DE ALUMÍNIO E MANGANES EM SORGO
SACARINO (*Sorghum bicolor* L. Moench)
IV. RELAÇÕES ENTRE P, K E Al*

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

RESUMO

Foi feito um experimento, em casa de vegetação com quatro cultivares de sorgo sacarino: CMS x S 603, Br 500, Sart e Br 602, usando-se solução nutritiva de Hoagland e Arnon nº 1 modificada para a solução padrão contendo os tratamentos (níveis de Al, P, K). Colhido o material e determinado os pesos da matéria seca da raiz e parte aérea e os teores dos elementos P, K, Ca, Mg e Al, verificou-se que: a) ocorreu estímulo na produção de matéria seca de alguns cul

* Parte da Tese apresentada pelo primeiro autor à ESALQ, USP, Piracicaba. Entregue para publicação em: 29/10/87.

** EMBRAPA

*** CENA, USP

**** COPERSUCAR, CTC, Piracicaba

tivares por determinadas combinações de níveis de Al e nutrientes; b) o acréscimo dos níveis de K no substrato promoveu um aumento na tolerância ao Al desde que o P estivesse em alta concentração; c) o fornecimento de K em nível muito alto (solução de Hoagland e Arnon), não permitiu diferenciar cultivares quanto ao grau de tolerância; d) os teores dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea dos cultivares foram diferentes para os mesmos, quando comparados os tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca.

INTRODUÇÃO

Diferenças na absorção e utilização de Ca, Mg, K e P tem sido associadas com sensibilidade ao Al para o trigo e o milho (CLARKSON, 1971).

Com o objetivo de verificar o efeito da combinação de níveis de P, K e Al no grau de tolerância a este último elemento, foi efetuado o presente estudo, utilizando-se cultivares de sorgo sacarino.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram colocadas para germinar no dia 03/04/81, sementes dos seguintes cultivares de sorgo sacarino: CMS x S 603, Br 500, Sart e Br 602. Essas sementes foram revestidas com fungicida, e o substrato para a germina-

ção foi Vermiculita umedecida com solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4} M (MALAVOLTA, 1975). As plantas, com 14 dias, foram transferidas para solução nutritiva nº 1 de HOAGLAND & ARNON (1950) contidas em bandejas de 40 l. Essa solução nutritiva foi modificada para a solução padrão contendo os tratamentos e os micro nutrientes fornecidos através da solução "a" e solução de Fe-EDTA (MALAVOLTA, 1975). O balanço nutricional foi feito de acordo com SARRUGE (1975). A referida solução foi arejada continuamente com ajuda de compressor de ar e substituída semanalmente, tendo o pH ajustado para 4,0 - 4,5 e o volume mantido com água destilada.

A composição da solução padrão foi: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 2ml/l, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 5 ml/l, Fe-EDTA - 1 ml/l e solução "a" (micronutrientes) - 1 ml/l. Os tratamentos usados foram: Al (ppm) - $\text{Al}_0 = 0$, $\text{Al}_1 = 6$, $\text{Al}_2 = 12$; P (mM) - $\text{P}_1 = 0,0125$, $\text{P}_2 = 0,05$, $\text{P}_3 = 0,25$; K (mM) - $\text{K}_1 = 0,125$, $\text{K}_2 = 0,5$, $\text{K}_3 = 2,5$. Os níveis 3 de K e P correspondem respectivamente a 5/6 e 1/4 da concentração desses elementos na solução de Hoagland e Arnon. A concentração do P foi modificada para evitar a precipitação de Al (NOGUEIRA, 1979).

O experimento foi feito segundo um delineamento com o esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos (27) do fatorial (3 x 3 x 3) representaram as parcelas e os quatro cultivares as sub parcelas, com quatro repetições inteiramente casualizadas.

O material colhido (16/05/81) foi lavado e seco em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 65 - 70°C. Após a obtenção do peso da matéria seca, foi moído em moinho tipo Wiley com peneira 20 (SARRUGE & HAAG, 1974). Através da digestão nitroperclórica obteve-se o extrato onde determinou-se os elementos P, Ca, Mg e Al por espectrometria de emissão com plasma induzido em argônio e o K por fotometria de chama.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria Seca

Verificou-se a seguinte ordem decrescente para a exploração do potencial de produção de matéria seca da raiz e da parte aérea (Tabela 1): Br 602 > Sart > CMS x S 603 > Br 500. No nível 12 ppm de Al o cultivar Br 500 apresentou maior produção que CMS x S 603.

A variação porcentual entre os níveis Al_2/Al_0 indicou:

a) os tratamentos que condicionaram as menores reduções na produção de matéria seca foram: na raiz - P_2K_2 para o cultivar CMS x S 603 (redução para 36,2%), P_2K_2 para Br 500 (redução para 79,8%), Sart (aumento para 120,5%) e Br 602 (aumento para 101,6%). Na parte aérea; na parte aérea - P_1K_2 para o cultivar CMS x S 603 (redução para 20,5%), P_2K_1 para Br 500 (44,3%) e P_3K_2 para Sart (60,2%) e Br 602 (88,1%). (Tabela 2)

b) as maiores reduções foram devidas aos tratamentos: na raiz - P_1K_2 para Br 500 (redução para 15,5%), Sart (21,2%) e Br 602 (19,7%) e P_2K_3 para CMS x S 603 (19,4%). Na parte aérea - P_3K_2 para CMS x S 603 (11,5%), P_1K_3 para Sart (12,5%) e Br 602 (12,0%) e P_2K_3 para Br 500 (8,5%).

Portanto, quanto ao grau de tolerância ao Al apresentado pelos cultivares, considerando-se a melhor combinação P e K, específica para cada cultivar, verificou-se a seguinte ordem decrescente: raiz - Sart > Br 602 > Br 500 > CMS x S 603; parte aérea - Br 602 > Sart > Br 500 > CMS x S 603.

Os tratamentos que condicionaram o maior grau de tolerância ao Al apresentaram mais frequentemente os níveis 3 de P e 2 de K e os que acarretaram o menor grau

Tabella 1. Reaerria anca (g) da raiz (R) e parte aereia (PA) dos cultivares de sorgo sacarino.

Traco cultivar	CIS x S 603			Br. 508			Sirt			Br. 663		
	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA
A1 ₀ P ₁ h ₁	0,267	0,84	0,32	0,205	0,63	0,33	0,328	1,19	0,28	0,390	1,28	0,26
h ₂	0,270	0,70	0,35	0,225	0,55	0,41	0,265	1,05	0,25	0,433	1,52	0,28
h ₃	0,350	0,90	0,39	0,290	0,61	0,40	0,360	1,12	0,33	0,400	1,50	0,40
P ₂ h ₁	0,355	1,31	0,27	0,200	0,80	0,26	0,260	1,29	0,21	0,535	2,01	0,27
h ₂	0,318	1,25	0,25	0,278	1,03	0,26	0,287	1,63	0,20	0,490	2,02	0,24
h ₃	0,478	1,42	0,34	0,310	1,17	0,26	0,550	2,24	0,25	0,205	2,42	0,29
P ₃ h ₁	0,455	1,70	0,26	0,230	0,97	0,24	0,512	2,69	0,19	0,460	1,87	0,25
h ₂	0,403	1,65	0,27	0,170	0,67	0,27	0,278	1,79	0,16	0,387	1,51	0,26
h ₃	0,345	1,49	0,20	0,235	1,21	0,19	0,403	2,57	0,19	0,555	2,81	0,20
Ah ₁ P ₁ h ₁	0,235	0,36	0,65	0,135	0,21	0,64	0,420	0,71	0,59	0,325	0,50	0,65
h ₂	0,218	0,27	0,81	0,087	0,14	0,62	0,290	0,37	0,81	0,295	0,38	0,77
h ₃	0,190	0,14	0,71	0,063	0,10	0,63	0,130	0,18	0,72	0,145	0,22	0,60
P ₂ h ₁	0,465	1,04	0,45	0,260	0,72	0,36	0,513	1,45	0,35	0,617	1,52	0,41
h ₂	0,390	0,80	0,49	0,445	0,96	0,45	0,700	2,19	0,32	0,630	1,58	0,40
h ₃	0,152	0,27	0,56	0,190	0,32	0,62	0,273	0,55	0,50	0,533	0,73	0,59
P ₃ h ₁	0,220	0,23	0,24	0,200	0,40	0,25	0,370	2,16	0,17	0,505	1,97	0,26
h ₂	0,315	1,24	0,25	0,263	0,99	0,27	0,375	1,91	0,20	0,605	2,93	0,23
h ₃	0,292	1,28	0,23	0,233	0,83	0,28	0,395	1,90	0,21	0,602	2,51	0,24
Ah ₂ P ₁ h ₁	0,082	0,16	0,51	0,057	0,10	0,57	0,100	0,16	0,63	0,110	0,19	0,62
h ₂	0,090	0,16	0,56	0,040	0,07	0,57	0,140	0,22	0,64	0,150	0,23	0,65
h ₃	0,079	0,15	0,50	0,045	0,08	0,56	0,070	0,14	0,56	0,110	0,18	0,66
P ₂ h ₁	0,109	0,23	0,46	0,095	0,16	0,59	0,230	0,46	0,50	0,320	0,69	0,46
h ₂	0,115	0,22	0,52	0,057	0,10	0,57	0,115	0,24	0,40	0,228	0,42	0,54
h ₃	0,093	0,18	0,52	0,055	0,10	0,55	0,175	0,31	0,54	0,222	0,52	0,53
P ₃ h ₁	0,117	0,21	0,38	0,140	0,43	0,33	0,230	0,95	0,24	0,363	1,26	0,29
h ₂	0,093	0,19	0,49	0,142	0,28	0,51	0,335	1,11	0,39	0,393	1,33	0,30
h ₃	0,120	0,31	0,39	0,128	0,29	0,44	0,195	0,54	0,36	0,376	1,04	0,36

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

Matéria seca (g)	CM5 x S 603	Br 500	Sart	Br 602
Raiz	> exploração Al ₀	P ₂ K ₃ = 0,478	P ₂ K ₃ = 0,550	P ₂ K ₃ = 0,705
	Al ₂	P ₃ K ₂ = 0,120	P ₃ K ₂ = 0,335	P ₃ K ₂ = 0,393
	< exploração Al ₀	P ₁ K ₁ = 0,267	P ₁ K ₂ = 0,265	P ₁ K ₁ = 0,330
	Al ₂	P ₁ K ₃ = 0,075	P ₁ K ₃ = 0,078	P ₁ K ₁₋₃ = 0,118
Parte Aérea	> exploração Al ₀	P ₃ K ₁ = 1,78	P ₃ K ₁ = 2,69	P ₃ K ₃ = 2,81
	Al ₂	P ₃ K ₁ = 0,31	P ₃ K ₂ = 1,11	P ₃ K ₂ = 1,33
	< exploração Al ₀	P ₁ K ₂ = 0,78	P ₁ K ₂ = 1,05	P ₁ K ₁ = 1,28
	Al ₂	P ₁ K ₃ = 0,15	P ₁ K ₃ = 0,14	P ₁ K ₃ = 0,18
Tolerância (% redução para)				
Raiz	> tolerância	P ₂ K ₂ = 36,2	P ₃ K ₂ = 79,8	P ₃ K ₂ = 120,5
	< tolerância	P ₂ K ₃ = 19,5	P ₁ K ₃ = 15,5	P ₁ K ₃ = 21,2
Parte Aérea	> tolerância	P ₁ K ₂ = 20,5	P ₃ K ₁ = 44,3	P ₃ K ₂ = 62,0
	< tolerância	P ₃ K ₂ = 11,5	P ₂ K ₃ = 8,5	P ₁ K ₃ = 12,5

os níveis 1 a 3 de P e 3 de K. Possivelmente para a melhor atuação do mecanismo de tolerância ao Al torna-se necessário uma combinação apropriada dos níveis de P e K.

Elementos minerais

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

a) no tratamento que proporcionou a maior produção de matéria seca quando comparado ao que proporcionou a menor produção:

- o cultivar CMS x S 603 apresentou teores maiores de Ca, Mg, P e menores de K e Al e quantidades maiores de todos os elementos.

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

b) no tratamento que condicionou o maior grau de tolerância, quando comparado ao que acarretou o menor:

- o cultivar CMS x S 603 apresentou teores mais elevados de Ca, Mg, Al e menores de K e P e quantidades menores de Ca, Mg, K, P e maiores de Al.

- o cultivar Br 500 mostrou teores maiores de Ca e P e menores de Mg, K, Al e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

- os cultivares Sart e Br 602 apresentaram teores

Tabela 3. Teores e quantidades de nutrientes e Al no porta-área dos cultivos em tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca (P) no nível 12 ppm de Al e tolerância ao mesmo (T)

Cultivo	Tratamento	Ca		N		K		P		Al	
		g	mg/2 plan- tas	g	mg/2plan- tas	g	mg/2 plan- tas	g	mg/2 plan- tas	g	mg/2 plan- tas
Cm x S 643	P ₁₅ T ₀	1,35	2,160	0,56	0,896	1,15	1,810	0,14	0,224	356	0,057
	P ₁₅ T ₁	1,24	2,356	0,50	0,950	1,52	2,808	0,83	1,577	261	0,038
	P ₁₅ T ₂	1,41	4,371	0,57	1,767	1,22	3,782	0,59	3,069	165	0,051
	P ₁₅ T ₃	1,06	1,599	0,53	0,795	1,59	2,385	0,12	0,180	254	0,038
	P ₁₅ T ₄	1,06	4,558	0,50	2,150	1,42	6,106	0,90	3,870	117	0,050
Br 500	P ₁₅ T ₀	1,04	1,040	0,54	0,540	1,33	1,330	0,13	-0,130	205	0,021
	P ₁₅ T ₁	1,06	4,558	0,50	2,150	1,42	6,106	0,90	3,870	117	0,050
	P ₁₅ T ₂	1,21	1,197	0,81	0,567	0,96	0,672	0,13	0,091	398	0,028
	P ₁₅ T ₃	0,80	2,768	0,36	3,996	1,06	31,746	0,69	7,659	106	0,118
	P ₁₅ T ₄	1,52	2,128	0,81	1,134	1,31	3,234	0,09	0,126	570	0,000
Bart	P ₁₅ T ₀	0,80	3,768	0,36	3,996	1,06	31,746	0,69	7,659	106	0,118
	P ₁₅ T ₁	1,52	2,128	0,81	1,134	1,31	3,234	0,09	0,126	570	0,000
	P ₁₅ T ₂	0,80	3,768	0,36	3,996	1,06	31,746	0,69	7,659	106	0,118
	P ₁₅ T ₃	1,52	2,128	0,81	1,134	1,31	3,234	0,09	0,126	570	0,000
	P ₁₅ T ₄	0,93	12,369	0,40	5,120	3,58	47,614	0,04	11,172	99	0,132
Br 602	P ₁₅ T ₀	1,07	1,926	0,54	0,972	1,82	3,276	0,07	0,126	246	0,044
	P ₁₅ T ₁	0,93	12,369	0,40	5,120	3,58	47,614	0,04	11,172	99	0,132
	P ₁₅ T ₂	1,07	1,926	0,54	0,972	1,82	3,276	0,07	0,126	246	0,044
	P ₁₅ T ₃	0,93	12,369	0,40	5,120	3,58	47,614	0,04	11,172	99	0,132
	P ₁₅ T ₄	1,07	1,926	0,54	0,972	1,82	3,276	0,07	0,126	246	0,044

maiores de K e P e menores de Ca, Mg, Al e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

Na Tabela 4, fixando o nível 3 de P, nota-se que apenas o cultivar CMS x S 603 apresentou maior grau de tolerância com as doses de K, tanto para a raiz como para a parte aérea. Os cultivares Br 500, Sart e Br 600 apresentaram um aumento no grau de tolerância tanto para a raiz como para a parte aérea, até o nível 2 de K, havendo um decréscimo com a dose 3 do mesmo. Ali, citado por FOY et alii (1978), encontrou que a toxidez de alumínio em trigo pode ser completamente modificada pelo aumento da concentração de K na solução. Verificou-se que o nível 3 de K mostrou-se bastante prejudicial ao mecanismo de tolerância ao Al. Deve ser lembrado que o nível 3 de P usado foi 1/4 do nível normalmente usado na solução de Hoagland e Arnon e o nível 3 de K foi um pouco menor (1 mM a menos).

CONCLUSÕES

- O fornecimento de K em nível muito alto (solução de Hoagland e Arnon) não permitiu diferenciar cultivares quanto ao grau de tolerância.

- A elevação dos níveis de K no substrato promoveu um aumento na tolerância ao Al desde que o P estivesse em alta concentração.

- Os teores dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea dos cultivares, nos tratamentos que acarretaram as maiores produções de matéria seca na presença de Al e maior grau de tolerância ao mesmo, foram diferentes para os cultivares.

- Quanto ao grau de tolerância Al apresentado pelos cultivares, considerando-se a melhor combinação P e

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

Nível Cation	Parte aérea			Raiz					
	CMS x S 603	Br 500	Sart Br 602	CMS x S 603	Br 500	Sart Br 602			
K ₁	P ₁	19,0	15,9	13,4	14,8	30,7	27,8	30,5	35,8
	P ₂	17,6	20,2	35,7	34,3	29,6	45,7	85,8	59,8
	P ₃	17,4	44,3	35,3	67,4	25,7	60,9	44,9	78,9
K ₂	P ₁	20,5	12,7	21,0	15,1	33,3	17,8	52,8	34,6
	P ₂	17,6	9,7	16,8	20,8	36,2	21,1	40,1	46,5
	P ₃	11,5	41,8	62,0	88,1	21,0	79,8	120,5	101,6
K ₃	P ₁	16,7	13,1	12,5	12,0	21,4	15,5	21,2	19,7
	P ₂	12,7	8,5	13,8	21,5	19,5	17,7	31,8	31,5
	P ₃	18,3	24,0	21,0	37,0	34,8	54,5	40,4	66,7

K, específica para cada cultivar, verificou-se a seguinte ordem decrescente para a raiz: Sart > Br 602 > Br 500 > CMS x S 603 e para a parte aérea: Br 602 > Sart > Br 500 > CMS x S 603.

- Uma dada combinação de níveis de Al e nutrientes no substrato (tratamento) não afetou igualmente a parte aérea e o sistema radicular dos cultivares.

- Determinadas combinações de níveis de Al e nutrientes estimularam a produção de matéria seca de alguns cultivares.

SUMMARY

INDUCED TOXICITIES OF ALUMINUM AND MANGANESE IN SWEET SORGHUM. IV. RELATIONS BETWEEN P, K AND Al.

Four sweet sorghum varieties (CMS x S 603, Br 500, Sart and Br 602) were grown in a modified Hoagland's solution in order to supply varying levels of Al, P and K. Dry matter production was measured. The material was analysed for P, K, Ca, Mg and Al. The following conclusions could be drawn: a) a stimulation on growth of some varieties was observed when a given combination among Al and other nutrient levels was provided; b) by increasing K level in the nutrient solution more tolerance to Al toxicity was observed, as long as P was present in high concentration in the substrate; c) a high level of K in the nutrient solution, such as that given in Hoagland's solution, does not allow to differentiate cultivars with respect to tolerance to Al toxicity; d) there were differences among varieties with respect to tissue P, K, Ca, Mg and Al concentrations which were associated with maximum and minimum growth.

LITERATURA CITADA

- FOY, C.D., 1974. Effects of aluminum on plant growth. In: Plant Root and Its Environment. Charlottesville; Virginia, U.S.A. Ed. by E. W. CARSON, Virginia Polytechnic Institute and State University. 691 p.
- 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.
- MALAVOLTA, E., 1975. Práticas de nutrição mineral de plantas. Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Postila mimeografada, 65 p.
- MALAVOLTA, E.; J.R. SARRUGE e V.C. BITTENCOURT, 1977. Toxicidez de alumínio e de manganês. In: FERRI, M.G., coord. IV. Simpósio sobre o Cerrado; Bases para a Utilização Agropecuária. p. 275-301.
- NOGUEIRA, F.D., 1979. Efeitos do alumínio no sorgo grãoífero (Sorghum bicolor L. Moench) . Piracicaba, ESALQ/USP, 120 p. (Tese de Doutorado).
- OLMOS, J.I.L. e M.C. CAMARGO, 1976. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura, 28:171-180.
- SARRUGE, J.R. & H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas . Piracicaba, ESALQ/USP. 56 p.
- SARRUGE, J.R., 1975. Soluções nutritivas. Nota técnica. Summa Phytopathologica, 1: 231-233.