



BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas

Vol. 40

Campinas, abril de 1981

Artigo n.º 8

EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SAIS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA NA TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE TRIGO A TOXICIDADE DE ALUMÍNIO ⁽¹⁾

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO ⁽²⁾, OTÁVIO FRANCO DE OLIVEIRA, *Seção de Arroz e Cereais de Inverno*, e ARQUIMEDES LAVORENTI, *Seção de Química Analítica, Instituto Agrônomo*.

RESUMO

Foram estudados dez cultivares de trigo em soluções nutritivas contendo três diferentes níveis de alumínio tóxico combinados com quatro diferentes concentrações salinas. A tolerância foi medida pela capacidade de as raízes primárias continuarem a crescer em solução sem alumínio, após permanência de 48 horas em solução contendo determinadas concentrações de sais e de alumínio. Os cultivares Siete Cerros, Tobari-66 e INIA-66 foram os mais sensíveis, IAC-15 moderadamente sensível, Alondra S-46 e IAC-17 moderadamente tolerantes, BH-1146, IAC-13, IAC-5 e C-3 tolerantes à presença de quantidades crescentes de Al^{3+} na solução nutritiva tratamento. O sintoma de toxicidade de alumínio ficou acentuado ou por aumento da concentração de alumínio ou por diminuição da concentração de sais para todos os cultivares estudados. Aparentemente, tolerância à toxicidade de determinada concentração de alumínio é uma característica antes relativa do que absoluta, por depender da concentração de sais presentes.

1. INTRODUÇÃO

Muitos solos ácidos são tóxicos a certas plantas devido à ocorrência de excessivas quantidades de alumínio solúvel ou trocável.

A aplicação de calcário muitas vezes provoca a precipitação do alumínio das camadas superiores do solo,

permanecendo, no entanto, esse elemento tóxico no subsolo (4). Como o efeito da toxicidade de alumínio nas plantas, em especial no trigo, consiste na paralisação do crescimento das raízes, torna-se de grande importância o desenvolvimento de cultivares tolerantes.

CAMARGO & OLIVEIRA (3), estudando dez cultivares de trigo em

⁽¹⁾ Trabalho apresentado na XI Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Porto Alegre (RS), 1980. Recebido para publicação a 31 de julho de 1980.

⁽²⁾ Com bolsa de suplementação do CNPq.

soluções nutritivas contendo cinco diferentes concentrações de alumínio, concluíram que 'Tobari-66' e 'Siete Cerros' foram sensíveis a 1 e 3ppm de alumínio respectivamente, 'Alondra-S-46', 'Alondra-S-45' e 'IAC-17' foram sensíveis a 6ppm e 'BH-1146', 'IAC-5', 'IAC-18', 'IAC-13' e 'Londrina' foram tolerantes a 10ppm. Os mesmos autores, estudando os cultivares de trigo Tobari-66, Alondra-S-46, IAC-17, BH-1146 e Siete Cerros em solos ácidos com a presença de Al^{3+} , confirmaram a maior tolerância a esse elemento do cultivar BH-1146.

Um método rápido e de fácil reprodução para a identificação de plantas tolerantes foi desenvolvido na Universidade de Oregon (1, 2, 5, 6), baseado na paralisação irreversível do meristema das raízes primárias do trigo no estágio de plântula, utilizando-se soluções nutritivas. ALI (1), empregando o método de soluções nutritivas (in 5), concluiu que os sintomas devidos ao efeito do alumínio poderiam ser obtidos, aumentando-se a concentração de Al^{3+} na solução em níveis constantes de sais ou diminuindo-se a concentração de sais, permanecendo constante a concentração de alumínio. Concluiu, ainda, que a tolerância ao Al^{3+} em trigo depende, além da concentração de alumínio na solução e da concentração dos sais, também do pH, da temperatura, do tempo de duração do ensaio e das variedades utilizadas.

O presente trabalho tem por objetivo estudar a tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em soluções nutritivas com níveis constantes de sais e o efeito de diferentes concentrações de sais nas soluções nutritivas, mantendo-se cons-

tante determinada concentração de alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivares estudados de trigo foram os seguintes: IAC-5, IAC-15, Alondra-S-46, INIA-66, Siete Cerros, Tobari-66, IAC-17, C-3, IAC-13 e BH-1146.

Suas sementes, cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10%, foram colocadas para germinar em caixas de Petri por 24 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Foram escolhidas vinte sementes uniformes de cada cultivar e colocadas sobre o topo de doze telas de náilon. Cada uma das telas contendo as sementes dos dez cultivares foi colocada em contato com a solução nutritiva existente em doze vasilhas plásticas de 8,30 litros de capacidade cada uma.

A concentração final da solução, que será referida como "solução base", foi a seguinte: $Ca(NO_3)_2$ 4mM; $MgSO_4$ 2mM; KNO_3 4mM; $(NH_4)_2SO_4$ 0,435mM; KH_2PO_4 0,5mM; $MnSO_4$ 2 μ M; $CuSO_4$ 0,3 μ M; $ZnSO_4$ 0,8 μ M; $NaCl$ 30 μ M; $Fe-CYDTA$ 10 μ M; Na_2MoO_4 0,10 μ M e H_3BO_3 10 μ M. O nível da solução nas vasilhas plásticas tocou embaixo da tela de náilon, de maneira que as sementes foram mantidas úmidas e as radículas emergentes tinham um pronto suprimento de nutrientes. O pH da solução foi previamente ajustado para 4,00 com H_2SO_4 1N. A solução foi continuamente aerificada e as vasilhas plásticas contendo as soluções foram colocadas em banho-maria com temperatura de $25 \pm 1^\circ C$ dentro do labo-

ratório. O experimento foi mantido com luz artificial em sua totalidade.

As plantas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Após esse período, cada plântula tinha três raízes primárias, uma mais longa medindo cerca de 4,5cm e duas mais curtas localizadas lateralmente à primeira.

Cada uma das doze telas de náilon contendo vinte plântulas dos dez cultivares foi transferida para doze vasilhas plásticas contendo soluções de tratamentos.

As composições das soluções de tratamentos foram as seguintes:

1. 5ppm de Al^{3+} com a mesma concentração de sais da solução base.
2. 10ppm de Al^{3+} com a mesma concentração de sais da solução base.
3. 20ppm de Al^{3+} com a mesma concentração de sais da solução base.
4. 5ppm de Al^{3+} com metade da concentração de sais da solução base.
5. 10ppm de Al^{3+} com metade da concentração de sais da solução base.
6. 20ppm de Al^{3+} com metade da concentração de sais da solução base.
7. 5ppm de Al^{3+} com um quinto da concentração de sais da solução base.
8. 10ppm de Al^{3+} com um quinto da concentração de sais da solução base.
9. 20ppm de Al^{3+} com um quinto da concentração de sais da solução base.

10. 5ppm de Al^{3+} com um décimo da concentração de sais da solução base.
11. 10ppm de Al^{3+} com um décimo da concentração de sais da solução base.
12. 20ppm de Al^{3+} com um décimo da concentração de sais da solução base.

Nas soluções-tratamento o fósforo foi omitido e o ferro foi adicionado em quantidade equivalente como $FeCl_3$ no lugar do $Fe - CYDTA$, como foi descrito por MOORE et alii (6). O fósforo foi omitido para evitar a possível precipitação do alumínio como $Al(OH)_3$, ponto a que se dispensa atenção especial. Antes da transferência das telas contendo as plântulas para as soluções de tratamento, foi adicionado suficiente H_2SO_4 1N para que o pH se aproximasse de 4,2. Completada a correção, foi adicionada a quantidade necessária de alumínio como $Al_2(SO_4)_3 - 18H_2O$. O pH corrigido para 4,2 baixa após a adição das diferentes doses de alumínio, porém essa margem de 0,2 no pH é suficiente para que o índice permaneça garantidamente acima de 4,0, para evitar o uso de KOH. O pH final foi ajustado para 4,0 com H_2SO_4 1N.

Após as plântulas ficarem crescendo por 48 horas nas respectivas soluções de tratamentos, foi medida a raiz primária de cada plântula, transferindo-as de volta para as vasilhas contendo solução nutritiva (solução base), onde cresceram nas primeiras 48 horas. Permaneceram crescendo na solução base por mais 72 horas. O crescimento da raiz nessas 72 horas depende da severidade do prévio tratamento. Com uma quantidade

tóxica de alumínio, as raízes primárias não crescem mais e permanecem grossas, mostrando no ápice uma injúria típica, com descoloramento. A quantidade de crescimento da raiz foi determinada, medindo-se novamente o comprimento da raiz de cada plântula no final das 72 horas, na solução base, e subtraindo-lhe o comprimento medido no final do crescimento nas soluções de tratamentos.

Durante todo o experimento, o pH das soluções foi mantido o mais próximo possível de 4,0 por ajustamento diário.

O delineamento empregado foi em parcelas subdivididas (7), onde as parcelas foram compostas pelas quatro diferentes concentrações de sais, as subparcelas formadas pelas três concentrações de alumínio e as subsub-parcelas, pelos dez cultivares estudados. Foram feitas duas repetições para cada uma das soluções de tratamento. Os dados foram analisados, considerando-se a média do crescimento da raiz das vinte plântulas de cada cultivar após a influência prejudicial do alumínio na solução tratamento. A comparação entre as médias de crescimento da raiz dos dez cultivares submetidos a uma mesma concentração de sais e de alumínio nas soluções de tratamento foi feita pelo teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio das raízes dos dez cultivares de trigo, medidos após 72 horas de crescimento na solução base seguido de 48 horas de crescimento nas soluções tratamentos contendo a mesma concentração de sais da solução base, metade, um

quinto e um décimo combinados com três diferentes concentrações de alumínio (5, 10 e 20ppm) encontram-se no quadro 1 e figura 1.

Os resultados da análise estatística desse experimento são apresentados no quadro 2. Verificaram-se, pelo teste F, efeitos altamente significativos de concentrações de alumínio e de sais, assim como interações altamente significativas de concentrações de alumínio x concentrações de sais, cultivares x concentrações de alumínio, cultivares x concentrações de sais e cultivares x concentrações de alumínio x concentrações de sais nas soluções de tratamentos.

Considerando-se as médias dos diferentes cultivares estudados com 5ppm de Al nas soluções de tratamentos, verificou-se que quando foi empregada a mesma concentração salina da solução base, todos os cultivares foram tolerantes a essa dosagem de Al^{3+} , porém os cultivares IAC-5, IAC-15, Alondra-S-46, IAC-17, C-3, IAC-13 e BH-1146 foram os mais tolerantes e 'INIA-66', 'Siete Cerros' e 'Tobari-66', os menos tolerantes. Com a mesma concentração de Al^{3+} , porém com a metade da concentração de nutrientes da solução base, verificou-se que os cultivares INIA-66, Siete Cerros e Tobari-66 se comportaram como sensíveis. Quando a concentração de sais baixou para um quinto da concentração da solução base, 'INIA-66', 'Siete Cerros' e 'Tobari-66' foram sensíveis e os cultivares tolerantes tiveram um significativo decréscimo no crescimento da raiz devido a menor proteção das raízes exercida pelos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ contra os efeitos adversos de Al^{3+} (1). Com a décima parte da

QUADRO 1. — Comprimento médios das raízes dos dez cultivares de trigo, medidos após 72 horas de crescimento na solução base e 48 horas de crescimento nas soluções-tratamento contendo três diferentes concentrações de alumínio e quatro diferentes concentrações salinas

Cultivar	Concentração de alumínio na solução															
	5 ppm				10 ppm				20 ppm							
	Concentrações de sais				Concentrações de sais				Concentrações de sais							
	1/1	1/2	1/5	1/10	1/1	1/2	1/5	1/10	1/1	1/2	1/5	1/10	1/1	1/2	1/5	1/10
	mm															
IAC-5	109,5	93,3	56,5	28,1	70,3	64,2	33,1	1,2	54,5	45,8	19,7	1,5				
IAC-15	92,6	55,1	14,2	0,0	36,9	1,9	0,0	0,0	12,9	0,0	0,0	0,0				
Alondra-S-46	66,6	57,8	30,0	1,4	45,4	16,3	0,6	0,0	10,6	7,4	0,0	0,0				
INIA-66	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Siete Cerros	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Tobari-66	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
IAC-17	116,5	94,2	53,8	11,1	82,7	61,3	1,2	0,0	59,0	38,8	0,0	0,0				
C-3	88,5	79,1	48,4	20,2	65,3	55,9	43,8	10,1	48,6	39,9	18,0	7,2				
IAC-13	121,1	95,0	54,0	23,6	75,4	62,2	38,2	7,8	57,0	43,9	24,4	7,7				
BH-1146	109,6	89,7	59,5	40,0	93,0	77,9	43,8	2,9	71,0	59,0	28,5	1,2				

D.M.S. (5%) 8,80

D.M.S. (1%) 10,24

C.V. % 9,60

Diferenças mínimas significativas para a comparação das médias dos cultivares de trigo dentro de uma mesma concentração de sais e de alumínio na solução.

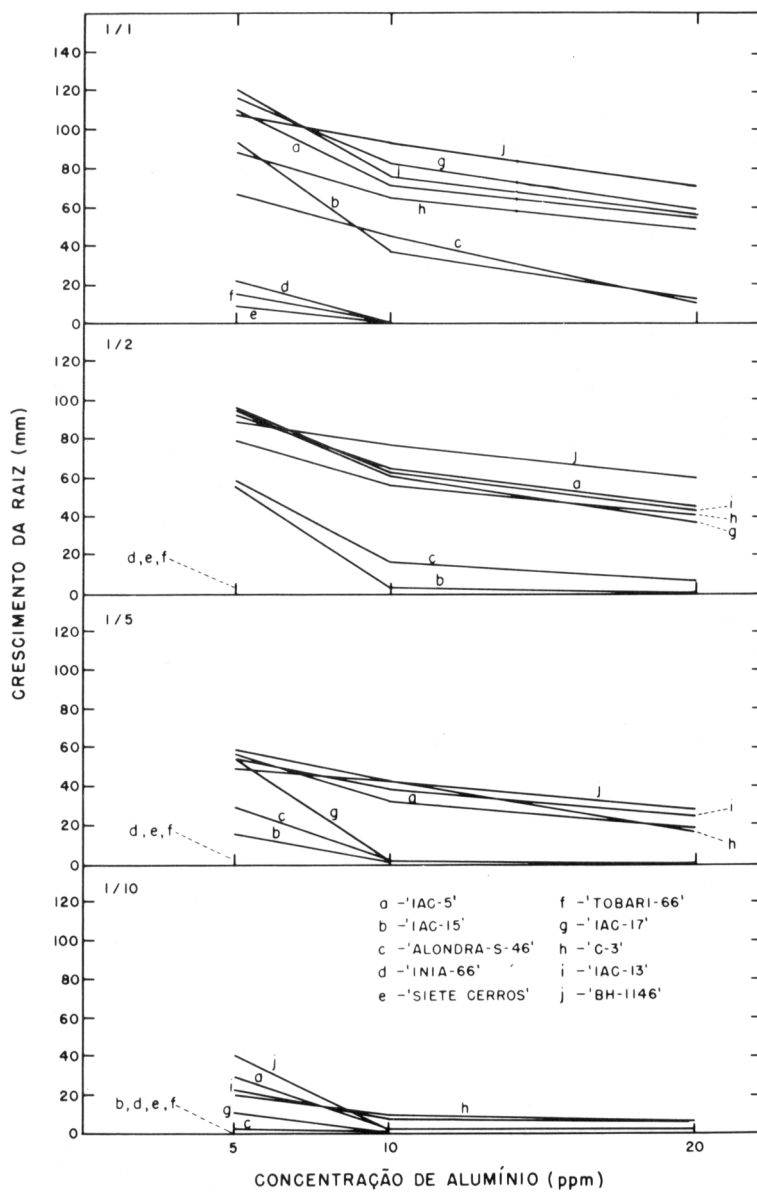


Figura 1. — Efeito de diferentes concentrações de alumínio em diferentes concentrações de sais em solução nutritiva no crescimento da raiz de dez cultivares de trigo.

concentração salina da solução base aliada a 5ppm de Al^{3+} , 'IAC-15' passou a ser sensível e os cultivares tolerantes diminuíram significativamente os comprimentos das raízes, confirmando um aumento dos efeitos nocivos dos cátions de alumínio, quando é diminuída a concentração salina da solução tratamento.

Considerando-se a dosagem de 10 e 15ppm de Al, ficou demonstrado que à medida que se diminui a concentração salina, o crescimento das raízes dos cultivares tolerantes também diminui.

Os cultivares Alondra-S-46 e IAC-17 foram totalmente sensíveis a 10ppm de Al numa concentração salina de um décimo da solução base, e 'IAC-5', 'C-3', 'IAC-13' e 'BH-1146' foram tolerantes nessas condições.

'IAC-5' e 'BH-1146' foram menos tolerantes do que 'IAC-13' e 'C-3' quando submetidos a uma solução dez vezes menos concentrada que a solução base com 20ppm de Al^{3+} . Esses dados indicam que os cultivares IAC-5 e BH-1146 seriam mais exigentes em concentração de sais do que 'IAC-13' e 'C-3'.

Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles concluídos por ALI (1), onde a toxicidade devida ao alumínio foi dependente da concentração de íons e aumentava com a diminuição na concentração de nutrientes na solução. A intensificação dos efeitos nocivos ao Al com a diminuição da concentração salina das soluções de tratamentos sugere que a tolerância ao Al pelos dez cultivares de trigo seja uma característica antes relativa do que absoluta.

QUADRO 2 — Análise de variância para crescimento da raiz dos dez cultivares de trigo após testados em doze soluções tratamentos (quatro diferentes concentrações de sais x três diferentes concentrações de Al^{3+}) com duas repetições

Causas de variação	G.L.	Q.M.
Repetições	1	0,43
Concentrações de sais	3	24.424,86**
Erro I	3	7,03
Concentrações de Al^{3+}	2	15.847,75**
Conc. Al^{3+} x conc. de sais	6	1.000,68**
Erro II	8	1,13
Cultivares	9	12.065,53**
Cultivares x conc. de sais	27	1.278,80**
Cultivares x conc. de Al^{3+}	18	612,12**
Cult. x conc. de Al^{3+} x conc. sais	54	124,20**
Erro III	108	7,41
Total	239	

4. CONCLUSÕES

a) Os cultivares Siete Cerros, Tobari-66 e INIA-66 foram os mais sensíveis, 'IAC-15' moderadamente sensível, 'Alondra-S-46' e 'IAC-17' moderadamente tolerantes e 'IAC-5', 'IAC-13', 'C-3' e 'BH-1146' tolerantes a níveis crescentes de Al^{3+} na solução nutritiva de tratamento.

b) Sintomas de toxicidade de alumínio (paralisação do crescimento

radicular) em solução nutritiva poderiam ser obtidos tanto por um aumento da concentração de alumínio, mantendo-se constante a concentração de sais, quanto pela diminuição da concentração de sais, mantendo-se constante a concentração de alumínio, para todos os cultivares estudados. Aparentemente, a tolerância à toxicidade de alumínio é uma característica antes relativa do que absoluta.

INFLUENCE OF SALT CONCENTRATIONS IN NUTRIENT SOLUTION ON TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN WHEAT CULTIVARS

SUMMARY

The aluminum tolerance of ten wheat cultivars was studied in nutrient solutions using three different levels of this element combined with four different salt concentrations.

The tolerance was evaluated by measuring the root growth in an aluminum-free complete nutrient solution after a previous treatment in Al added solutions of equal, one half, one fifth and one tenth the salt concentration of the aluminum-free solution.

The wheat cultivars Siete Cerros, Tobari-66 and INIA-66 were sensitive; IAC-15 was moderately sensitive; Alondra-S-46 and IAC-17 showed moderate tolerance; BH-1146, IAC-13, IAC-5, and C-3 were tolerant to the presence of increasing concentrations of Al^{3+} in the treatment nutrient solution.

The aluminum toxicity symptom (inhibition of root growth) was dependent on the salt concentration and the amount of aluminum in the treatment solution. For the same level of Al^{3+} toxicity increased when the concentration of the nutrients decreased in the solution, for all the studied cultivars. Apparently wheat tolerance to Al^{3+} is a relative rather than absolute characteristic, depending on nutrient availability.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALI, S. M. E. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, Oregon State University, 1973. 102f. (Tese de Doutorado)
2. CAMARGO, C. E. O.; KRONSTAD, W. E.; METZGER, R. Parent-progeny regression estimates and associations of height level with aluminum toxicity and grain yield in wheat. *Crop Science*, 20:355-358, 1980.
3. ——— & OLIVEIRA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, 40:21-31, 1981.
4. FOY, C. D.; ARMIGER, W. H.; BRIGGLE, L. W.; REID, D. A. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agronomy Journal*, 57:413-417, 1965.

5. KERRIDGE, P. C. Aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, Oregon State University, 1969. 170f. (Tese de Doutorado)
6. MOORE, D. P.; KRONSTAD, W. E.; METZGER, R. Screening wheat for aluminum tolerance. In: Proceedings of workshop on plant adaptations to mineral stress in problem soils. Beltsville, Maryland, 1976. p.287-295.
7. PETERSEN, R. G. Experimental designs for agricultural research in developing areas. Corvallis, O.S.U. Book Stores, 1976. 173p.