

O pH DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE TRIGO À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO ⁽¹⁾

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2). *Seção de Arroz e Cereais de Inverno,
Instituto Agronômico.*

RESUMO

Foram estudados nove cultivares de trigo em soluções nutritivas contendo quatro níveis de alumínio (0, 5, 10 e 20mg/litro) combinados com três níveis de pH (4,0, 5,0 e 6,0). A tolerância foi medida pela capacidade de as raízes primárias continuarem a crescer em solução sem alumínio, após um período de permanência de 48 horas em solução contendo determinados níveis de pH e de alumínio. Os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13 e C-3 foram tolerantes; IAC-17 e Alondra-4546 foram moderadamente tolerantes, e Siete Cerros, Super-x e CNT-8 foram sensíveis à presença de quantidades crescentes de Al^{3+} nas soluções de tratamentos quando foi mantido o pH 4,0. Todos os cultivares foram tolerantes às dosagens de alumínio estudadas quando foram mantidos os níveis de pH 5,0 ou 6,0. Ficou confirmado que um controle rigoroso do pH da solução tratamento é um fator de grande importância no estudo da toxicidade do alumínio a diferentes cultivares de trigo.

1. INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores têm usado o solo para a separação de grande número de cultivares de trigo tolerantes ao alumínio (3,8,11). A desvan-

(1) Com verba suplementar do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, por meio do Instituto Agronômico. Recebido para publicação a 26 de março de 1982.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

tagem de usar o solo é que o grau de seleção de plantas tolerantes não pode ser quantitativamente controlado, pois a solubilidade do alumínio e a severidade de sua toxicidade são afetadas por muitos fatores do solo (1). KERRIDGE (7) descreveu uma técnica de separação de variedades de trigo tolerantes ao alumínio empregando soluções nutritivas nas quais eram mantidos rigorosamente o pH e a concentração da solução, em uma câmara de crescimento com temperatura controlada. O mesmo autor mostrou diferenças quantitativas entre grupos de variedades de trigo.

Num estudo de dez cultivares de trigo em soluções nutritivas contendo três diferentes níveis de alumínio tóxico combinados com quatro diferentes concentrações salinas, foi demonstrado que o sintoma de toxicidade do alumínio, paralisação do crescimento radicular, ficou acentuado pelo aumento da concentração de alumínio na solução ou pela diminuição de 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 (5).

Sintomas de toxicidade ao alumínio foram obtidos em soluções nutritivas para oito cultivares de trigo, tanto por um aumento da concentração de alumínio, mantendo constante a temperatura das soluções, quanto pelo aumento da temperatura, mantendo constante determinada quantidade de alumínio (2).

De acordo com a teoria da hidrólise, há dez vezes mais alumínio na forma trivalente (Al^{3+}) do que na bivalente ($AlOH^{2+}$) em condições de pH igual a 4,0; 3,1 vezes em pH igual a 4,5, enquanto em pH igual a 5,0 as quantidades de alumínio nas formas trivalentes e bivalentes são praticamente iguais. Diferentes espécies de plantas ou cultivares de uma mesma espécie em solução nutritiva podem mudar o pH, devido a uma desigual absorção entre cátions e ânions (6,9), causando um efeito significativo sobre a quantidade e a forma do alumínio presente na solução. Com base nessas considerações, pode ser facilmente entendido que um controle rigoroso do pH da solução é um fator importante no estudo da toxicidade do alumínio às plantas, porém há muito poucos trabalhos na literatura onde preciso controle do pH foi mantido (10).

O presente trabalho tem por objetivo estudar o comportamento de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em soluções nutritivas, mantendo um pH constante, e o efeito de diferentes níveis de pH nas soluções nutritivas mantendo constante determinada concentração de alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivares de trigo estudados foram os seguintes: IAC-17, BH-1146, CNT-8, IAC-13, IAC-18, Alondra-4546, C-3, Siete Cerros e Super-x.

O delineamento estatístico empregado foi parcelas subsubdivididas com duas repetições, onde as parcelas foram compostas por quatro diferentes concentrações de alumínio (0, 5, 10 e 20mg/litro) nas soluções tratamentos, as subparcelas por três diferentes níveis de pH (4,0, 5,0 e 6,0) e as subsubparcelas pelos nove cultivares relacionados.

As sementes dos nove cultivares, 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 foi colocada em contato com a solução nutritiva completa existente em vasilha plástica de 8,30 litros de capacidade cada uma.

A concentração da solução nutritiva completa foi a seguinte: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4mM; MgSO_4 2mM; KNO_3 4mM; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,435mM; KH_2PO_4 0,5mM; MnSO_4 2 μM ; CuSO_4 0,3 μM ; ZnSO_4 0,8 μM ; NaCl 30 μM ; Fe-CYDTA 10 μM ; Na_2MoO_4 0,1 μM e H_3BO_3 10 μM . 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 4,0 com H_2SO_4 1N e as vasilhas contendo as soluções foram colocadas em banho-maria com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ dentro do laboratório.

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 com as vinte plântulas de cada cultivar foi transferida das soluções nutritivas completas para vasilhas plásticas de mesma capacidade, contendo as soluções tratamentos com a décima parte da concentração de sais da solução completa acrescidas de diferentes concentrações de alumínio em diferentes níveis de pH conforme a relação seguinte:

1. 0mg/litro de Al^{3+} e pH = 4,0
2. 5mg/litro de Al^{3+} e pH = 4,0
3. 10mg/litro de Al^{3+} e pH = 4,0
4. 20mg/litro de Al^{3+} e pH = 4,0
5. 0mg/litro de Al^{3+} e pH = 5,0
6. 5mg/litro de Al^{3+} e pH = 5,0
7. 10mg/litro de Al^{3+} e pH = 5,0
8. 20mg/litro de Al^{3+} e pH = 5,0
9. 0mg/litro de Al^{3+} e pH = 6,0
10. 5mg/litro de Al^{3+} e pH = 6,0
11. 10mg/litro de Al^{3+} e pH = 6,0
12. 20mg/litro de Al^{3+} e pH = 6,0

Nas soluções tratamentos, o fósforo foi omitido e o ferro adicionado em quantidade equivalente àquela adicionada na solução completa como FeCl_3 no lugar de Fe-CYDTA, como foi descrito por MOORE et alii (10). O fósforo foi omitido para evitar a possível precipitação do alumínio. Antes da transferência das telas contendo as plântulas para as soluções de tratamento, foi adicionada a quantidade necessária de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, de forma a serem obtidas soluções com 0, 5, 10 e 20mg/litro de alumínio, e, em seguida, suficiente H_2SO_4 1N ou NaOH 1N, para que fosse obtido o pH 4,0, 5,0 ou 6,0 conforme o tratamento.

As plântulas ficaram crescendo por 48 horas nas respectivas soluções tratamentos em banho-maria com a temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. No final das 48 horas, a raiz primária de cada plântula foi medida, e, as plântulas, transferidas de volta para as doze vasilhas contendo as soluções nutritivas completas, onde cresceram antes das soluções tratamentos. Permaneceram crescendo nas soluções completas por mais 72 horas com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. O crescimento das raízes 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 completa, e subtraindo o comprimento da mesma medida no final do crescimento nas soluções de tratamentos.

Durante todo o experimento o pH das soluções de tratamentos foi mantido o mais próximo possível de 4,0, 5,0 ou 6,0, por ajustamentos diários com H_2SO_4 1N ou NaOH 1N. Foi empregada luz artificial e arejamento das soluções na totalidade do experimento.

Os dados foram analisados estatisticamente, considerando-se a média do crescimento da raiz das vinte plântulas de cada cultivar após a influência prejudicial do alumínio nas soluções de tratamento submetidas a diferentes níveis de pH. A comparação entre as médias de crescimento da raiz dos nove cultivares dentro de uma mesma concentração de alumínio e um mesmo pH foi feita pelo teste de Tukey (in 12).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio das raízes dos nove cultivares de trigo, medido após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, seguido de 48 horas de crescimento nas soluções de tratamentos contendo os níveis de pH 4,0, 5,0 e 6,0 combinados com quatro diferentes concentrações de alumínio (0, 5, 10 e 20mg/litro), encontra-se no quadro 1.

Os resultados da análise estatística desse experimento são apresentados no quadro 2. Verificaram-se, pelo teste F, efeito significativo ao nível de 5% de concentrações de alumínio, e efeitos altamente significa-

QUADRO 1. Comprimento médio das raízes de nove cultivares de trigo medidos após 72 horas de crescimento em solução nutritiva completa seguido de crescimento nas soluções de tratamentos contendo quatro diferentes concentrações de alumínio combinadas com três diferentes níveis de pH

Cultivares	Concentração de alumínio na solução											
	0mg/litro			5mg/litro			10mg/litro			20mg/litro		
	pH	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	pH	5,0	6,0
	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0
	mm											
BH-1146	123,6	115,4	84,8	51,5	112,5	139,8	8,5	136,2	141,3	0,0	122,9	123,6
IAC-18	110,5	88,8	67,0	43,6	86,8	128,3	11,0	131,1	125,5	0,0	126,0	119,1
IAC-13	97,7	82,1	64,9	46,9	79,5	108,9	13,9	117,4	106,8	0,0	110,0	112,0
C-3	79,2	75,6	65,4	39,4	98,7	117,1	4,2	128,6	115,7	0,0	96,2	102,9
IAC-17	103,1	94,5	83,6	31,8	100,5	130,6	0,0	122,6	127,8	0,0	127,8	108,9
Alondra-4546	86,2	83,7	70,2	15,5	81,4	120,2	0,0	119,6	118,8	0,0	105,9	110,0
CNT-8	95,5	85,6	79,9	0,0	107,0	118,7	0,0	138,9	132,0	0,0	107,0	101,5
Siete Cerros	93,3	84,0	86,9	0,0	40,6	113,8	0,0	82,7	121,0	0,0	79,8	118,0
Super-x	73,4	71,4	69,2	0,0	40,6	105,9	0,0	77,0	118,4	0,0	78,6	108,0
d.m.s. (1)	18,3											
C.V. %	7,46											

(1) Diferença mínima significativa para a comparação das médias dos cultivares de trigo dentro de uma mesma concentração de alumínio e um mesmo nível de pH.

tivos de cultivares, níveis de pH, níveis de pH x concentrações de alumínio, cultivares x concentrações de alumínio, cultivares x níveis de pH e cultivares x concentrações de alumínio x níveis de pH nas soluções de tratamentos.

QUADRO 2. Análise da variância para crescimento da raiz de nove cultivares de trigo após serem testados em soluções nutritivas contendo quatro diferentes concentrações de alumínio combinadas com três diferentes níveis de pH

Causas de variação	GL	QM
Repetições	1	11,03
Concentrações de Al ³⁺	3	1809,15*
Erro I	3	73,74
pH	2	124171,87**
pH x concentrações de Al ³⁺	6	23688,86**
Erro II	8	144,01
Cultivares	8	2516,37**
Cultivares x conc. de Al ³⁺	24	289,03**
Cultivares x pH	16	643,72**
Cultivares x conc. de Al ³⁺ x pH	48	153,47**
Erro III	96	34,42
Total	215	

Considerando-se as médias dos diferentes cultivares estudados com 0mg/litro de alumínio nas soluções de tratamentos quando submetidos aos níveis de pH 4,0, 5,0 e 6,0, verificou-se como tendência geral uma diminuição do crescimento das raízes dos cultivares nas soluções nutritivas completas, com o aumento dos níveis de pH.

Para a dosagem de 5mg/litro de Al³⁺ nas soluções de tratamentos, verificou-se que todos os cultivares foram tolerantes quando se empregaram os níveis de pH 5,0 e 6,0. Os cultivares CNT-8, Siete Cerros e Super-x foram sensíveis a 5mg/litro de Al³⁺ quando o pH da solução foi 4,0 e os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13, C-3, IAC-17 e Alondra-4546 foram tolerantes a essa condição.

Considerando-se a dosagem de 10 e 20mg/litro de Al³⁺, ficou demonstrado que, à medida que o pH da solução tratamento aumentou de 4,0 para 6,0, houve um aumento no crescimento das raízes de todos os cultivares estudados.

Os cultivares Alondra-4546 e IAC-17 foram sensíveis quando se empregou uma solução tratamento com pH 4,0 e contendo 10mg/litro de Al^{3+} . Os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13 e C-3 foram tolerantes nessa condição.

Todos os cultivares foram sensíveis quando se adicionaram 20mg/litro de Al^{3+} na solução tratamento, mantendo-se constante o pH 4,0.

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que, apesar do efeito marcante da elevação do pH na tolerância de um particular cultivar de trigo a uma mesma concentração de alumínio, três grupos de cultivares poderiam ser considerados: BH-1146, IAC-18, IAC-13 e C-3 como os cultivares mais tolerantes; IAC-17 e Alondra-4546 como moderadamente tolerantes, e Siete Cerros, Super-x e CNT-8 como sensíveis.

Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles concluídos por ALI (1), onde a influência prejudicial do alumínio foi dependente do pH das soluções tratamentos e a toxicidade de certa concentração de alumínio diminuiu com a elevação do pH de 4,0 para 7,0, diminuindo, conseqüentemente, a solubilidade desse elemento.

Como foi concluído por CAMARGO (2), CAMARGO & OLIVEIRA (4) e CAMARGO et alii (5) que a identificação de plantas de trigo tolerantes e sensíveis ao alumínio em soluções nutritivas é uma função da concentração de sais, da temperatura e da concentração de alumínio, foi mostrado no presente trabalho o efeito do pH. Verificou-se a necessidade de que sejam controladas todas essas variáveis para que os resultados obtidos num experimento possam ser repetidos em outras oportunidades com a mesma precisão, evitando, pois, erros na identificação de plantas sensíveis e tolerantes, principalmente quando provenientes de populações híbridas segregantes, onde em geral são eliminadas as plantas sensíveis.

4. CONCLUSÕES

a) A identificação de cultivares de trigo tolerantes e sensíveis a determinadas concentrações de alumínio foi significativamente dependente do pH da solução nutritiva.

b) Houve um significativo aumento do comprimento das raízes dos cultivares estudados, mantendo-se constante determinada dosagem de Al^{3+} (5, 10 ou 20mg/litro) quando o pH da solução variou de 4,0 para 6,0, evidenciando que um controle rigoroso do pH da solução seria um fator de grande relevância no estudo da toxicidade do alumínio.

c) Os cultivares BH-1146, IAC-18, IAC-13 e C-3 foram os mais tolerantes; IAC-17 e Alondra-4546 foram moderadamente tolerantes, e Siete Cerros, Super-x e CNT-8 foram sensíveis entre os cultivares estudados a níveis crescentes de Al^{3+} nas soluções nutritivas de tratamentos, mantendo-se constante o pH 4,0. Todos os cultivares se apresentaram como tolerantes a todas as concentrações de alumínio estudadas quando foram mantidos constantes os níveis de pH 5,0 ou 6,0.

SUMMARY

EFFECT OF pH IN NUTRIENT SOLUTION ON TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN WHEAT CULTIVARS

The aluminum tolerance of nine wheat cultivars was studied in nutrient solutions using three different levels of pH combined with four different concentrations of this element. The tolerance was evaluated by measuring the root growth in an aluminum-free complete nutrient solution after a previous treatment in aluminum added solutions (0, 5, 10 and 20mg/l) under a particular pH (4.0, 5.0 and 6.0). The wheat cultivars BH-1146, IAC-18, IAC-13 and C-3 presented tolerance, IAC-17 and Alondra-4546 showed moderate tolerance and Siete Cerros, Super-x and CNT-8 were sensitive to the presence of increasing concentrations of Al^{3+} in the treatment solution under pH 4.0. All cultivars were tolerant to the different concentrations of aluminum under pH 5.0 and 6.0. The aluminum toxicity symptom (inhibition of root growth) was dependent on the pH and the amount of aluminum in the treatment solution. For the same level of aluminum, toxicity symptoms increased, when the pH decreased in the solution from 6.0 to 4.0, considering all the studied cultivars. Apparently wheat tolerance to Al^{3+} is a relative rather than absolute characteristic, depending on pH among other characteristics.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALI, S. M. E. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill, Host). Corvallis, Universidade Estadual de Oregon, 1973. 102p. Tese de Doutorado.
2. CAMARGO, C. E. de O. Efeito da temperatura em solução nutritiva na tolerância ao alumínio de cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, 42:51-63, 1983.
3. ———; 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.
4. ——— & 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.
5. ———; ———; LAVORENTI, A. Efeito de diferentes concentrações de sais em solução nutritiva na tolerância de cultivares de trigo à toxidez de alumínio. *Bragantia*, Campinas, 40:93-101, 1981.
6. FOY, C. D. & FLEMING, A. L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. II. Crop tolerance to suboptimal land conditions: proceedings of a symposium held in Houston, Texas, edited by Gerald A. Jung. Madison, Wisconsin, 1978. p.301-328. (ASA Special Publications, 32)
7. KERRIDGE, P. C. Aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill, Host). Corvallis, Universidade Estadual de Oregon, 1969. 170p. Tese de Doutorado.
8. MESDAG, J.; SLOOTMAKER, L. A.; POST JR., J. Linkage between tolerance to high soil acidity and genetically high protein content in the kernel of wheat, *Triticum aestivum* L., and its possible use in breeding. *Euphytica*, 19:163-174, 1976.
9. MOORE, D. P. Physiological effects of pH on plant roots. In: CARSON, E. W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, VA, Univ. Press of Virginia, 1974. p.135-151.

10. MOORE, D. P.; KRONSTAD, W. E.; METZGER R. Screening wheat for aluminum tolerance. In: WRIGHT, Madison J., ed. Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils, Beltsville, Maryland, 1976. Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.287-295.
11. REID, D. A. Genetics potentials for solving problems for soil mineral stress: aluminum and manganese toxicities in the cereal grains. In: WRIGHT, Madison J., ed. Workshop on Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils, Beltsville, Maryland, 1976. Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.55-64.
12. STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw-Hill, 1960. 481p.