

TOLERÂNCIA 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 *

J.L. BRAUNER **

J.R. SARRUGE ***

RESUMO

Este estudo foi feito visando verificar a influência do Al sobre as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas e detectar possíveis relações entre as concentrações desses mesmos elementos com o grau de tolerância ao Al de cultivares de trigo.

Nas partes aéreas de plantas de 10 cultivares de trigo apresentando tolerância diferencial ao alumínio e desenvolvidas em soluções nutritivas contendo 0,0, 2,5,

* Parte da tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pelo primeiro autor para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Entregue para publicação em 29/12/1980.

** Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas, RS.

*** Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

5,0, 7,5 e 10,0 ppm de Al foram determinados o P, Ca e Mg.

Os resultados mostraram que o grau de tolerância ao Al dos cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas e que as concentrações desses mesmos elementos se comportam diferentemente em função das concentrações de Al na solução.

INTRODUÇÃO

Muitas condições desfavoráveis do solo, como elevada concentração salina, baixa capacidade de armazenamento de água, excesso de umidade do solo, baixa disponibilidade de nutrientes, como fósforo e outros micronutrientes e concentrações tóxicas de determinados elementos, como alumínio e manganês, não são fáceis ou economicamente corrigidas (KAMPRATH e FOY (1971). Em vista disso, na atual década tem assumido grande impulso a idéia de se produzirem cultivares especialmente adaptados para tolerar alguma condição imprópria bem definido. De acordo com KAMPRATH & FOY (1971) tal programa deve envolver a seleção de uma ampla variedade de materiais genéticos a fim de determinar a faixa de tolerância dentro de espécies; uma estreita colaboração entre pesquisadores das áreas de solo, fisiologia e genética, visando a determinação de tolerância particular e a combinação dessa tolerância com outras características desejáveis para a produção de um cultivar superior para aquela condição particular de solo. Esse programa deverá também incluir a identificação de propriedades fisiológicas ou bioquímicas das plantas associadas com a tolerância a um dado fator do solo.

Especificamente com relação à toxidez do alumínio e à tolerância das plantas a esse elemento, vários mecanismos fisiológicos tem sido estudados. FOY *et alii* (1978) em sua revisão discutem os seguintes fatores fisiológicos associados à tolerância ao alumínio apresentada por espécies e variedades: a) alteração do pH na zona das raízes; b) nutrição amoniacal versus nutrição nítrica; c) absorção e translocação

do alumínio; d) nutrição cálcica; e) nutrição fosfatada; f) formação de complexos de alumínio nas plantas; e g) absorção de elementos minerais.

Os objetivos desse estudo foram verificar a influência do alumínio sobre as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas de cultivares de trigo e estabelecer relações entre as concentrações desses mesmos elementos com o grau de tolerância ao alumínio dos cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

Nas partes aéreas de plantas do experimento com níveis crescentes de alumínio (0,0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm), usados para determinação do grau de tolerância ao alumínio, conforme descrição de BRAUNER (1979) e BRAUNER & SARRUGE (1980), foram determinados o fósforo, cálcio e magnésio. Com base nesses mesmos autores, foram selecionadas para tal finalidade os seguintes cultivares, possuindo tolerância diferencial ao alumínio:

- Grupo 1 (maior tolerância) CNT1 e Horto;
- Grupo 2 - Frontana, PAT 24 e Maringá;
- Grupo 3 - Yecora, Pe 72083 e IAS 64;
- Grupo 4 (maior suscetibilidade) - Super x e Sonora 63.

Os extratos foram obtidos através de uma digestão nítrico-perclórica, segundo SARRUGE & HAAG (1974).

O fósforo foi determinado colorimetricamente e o cálcio e o magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com SARRUGE & HAAG (1974).

Os resultados foram submetidos a uma análise de variância e os efeitos significativos dentro de cada cultivar foram desdobrados através de análise de regressão até o 3º grau, considerando-se como representativa a equação significativa de maior grau.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são mostradas as concentrações de fósforo, cálcio e magnésio encontradas nas partes aéreas dos cultivares possuindo diferentes graus de tolerância ao alumínio e desenvolvidas em concentrações crescentes do citado elemento.

Conforme o teste de Tukey, constata-se que no tratamento 0,0 de alumínio não houve diferenças na concentração de fósforo das partes aéreas dos vários cultivares. O mesmo não aconteceu com relação ao cálcio, onde o cultivar PAT 24 foi o que apresentou menor concentração, sendo inferior às concentrações de cálcio que possuem as plantas dos cultivares Pel 72083 e CNT1. Quanto ao magnésio, o cultivar IAS 64 apresentou concentrações inferiores às concentrações exibidas pelos demais cultivares estudados. Esse tipo de variação, de provável natureza genética, tem sido detectado. KLEESE *et alii* (1968) desenvolveram 12 variedades de cevada, 12 variedades de trigo e 10 variedades de soja, durante 2 anos e em 2 locais para assegurar variação genética e ambiental na acumulação de 12 elementos minerais. A análise feita em folhas e grãos permitiu a verificação de que havia diferenças varietais na acumulação de P, K, Mg, Na, Ca, Mn, B e Sr na maioria dos materiais. As diferenças na acumulação devidas a anos e locais foram geralmente pequenas e não significativas. Esses autores acreditam que a manipulação genética quanto à acumulação de elementos oferece um instrumento promissor e adicional para a obtenção da produção máxima das plantas cultivadas. Em milho, NAISMITH *et alii* (1974), usando técnicas de marcação de gens e translocações super numerárias, puderam responsabilizar o cromossoma 9 pela acumulação de Ca, P e Mn. Os seus estudos indicaram que não existe um mecanismo genético comum para o controle da acumulação de Ca, P e Mn.

A análise das diferenças existentes entre as concentrações de fósforo, cálcio e magnésio dos 10 cultivares, nos tratamentos correspondentes a 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm de alumínio, através da d.m.s. (Tukey, Tabela 1), não permitiu estabelecer qualquer relação entre as concentrações daqueles elementos e o grau de tolerância ao alumínio apresentado pe

Tabela 1 - Concentração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas das plantas de trigo desenvolvidas em presença de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições)

CULTIVAR	% P						% Ca						% Mg						
	ppm Al						ppm Al						ppm Al						
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5
CNT1	0,19	0,19	0,19	0,19	0,16	0,18	0,61	0,38	0,43	0,54	0,32	0,30	0,19	0,20	0,21	0,18			
Frontana	0,18	0,20	0,18	0,17	0,17	0,18	0,40	0,37	0,39	0,46	0,34	0,29	0,18	0,20	0,23	0,22			
Super x	0,14	0,10	0,13	0,17	0,18	0,18	0,52	0,35	0,34	0,39	0,47	0,29	0,24	0,22	0,33	0,38			
Pel 72083	0,18	0,18	0,16	0,15	0,19	0,19	0,58	0,38	0,37	0,37	0,33	0,37	0,25	0,25	0,22	0,21			
Yecora	0,22	0,22	0,16	0,17	0,19	0,19	0,50	0,33	0,29	0,31	0,33	0,29	0,20	0,18	0,24	0,22			
Horto	0,16	0,19	0,16	0,17	0,17	0,17	0,54	0,38	0,40	0,34	0,35	0,35	0,23	0,19	0,24	0,22			
Sonora 63C	0,14	0,18	0,17	0,19	0,19	0,19	0,54	0,39	0,34	0,31	0,38	0,38	0,30	0,28	0,29	0,36			
PAT 24	0,18	0,23	0,22	0,24	0,20	0,33	0,21	0,21	0,21	0,26	0,24	0,24	0,15	0,14	0,12	0,13			
Maringá	0,15	0,17	0,17	0,19	0,24	0,41	0,29	0,29	0,34	0,42	0,24	0,29	0,18	0,18	0,21	0,14			
IAC 64	0,19	0,21	0,24	0,18	0,22	0,51	0,32	0,32	0,36	0,44	0,26	0,09	0,18	0,16	0,17	0,21			

d.m.s. (0,05)*
Tukey

0,21

0,12

*Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

los cultivares. No entanto, GALLO *et alii* (1972), aproveitando a realização de um ensaio de seleção de cerca de 3000 cultivares de trigo, instalado em um solo possuindo pH 4,70 e 1,20 e.mg Al/100g, escolheram 20 cultivares com plantas em bom desenvolvimento, 20 com plantas em regular desenvolvimento e 20 com plantas em mau desenvolvimento e coletaram amostras constituídas de 50 a 100 plantas, nas quais foram feitas determinações de Al, Mn, P, K, Ca e Mg. A partir dos resultados obtidos foi constatado que as plantas com mau desenvolvimento apresentaram uma concentração média de P menor do que as plantas com desenvolvimento regular e bom; as plantas com mau desenvolvimento apresentaram uma concentração média de Ca menor do que as plantas com desenvolvimento regular, e estas, menor do que as plantas com bom desenvolvimento; com relação ao Mg, as plantas com mau desenvolvimento apresentaram uma menor concentração média do que as plantas com desenvolvimento regular, e estas, menor do que as plantas com bom desenvolvimento.

De acordo com os valores de F da análise de variância efetuada nos dados de concentração de P (C.V. = 20,85%), de Ca (C.V. = 24,43%) e Mg (C.V. = 23,12%), verificou-se que as concentrações desses elementos foram influenciadas pelo alumínio nos seguintes cultivares:

P - Super x;

Xa - CNT1, Super x, Pel 72083, Yecora, Horto, Sonora 63, Maringã e IAS 64;

Mg - todas.

A natureza do efeito do alumínio sobre as concentrações de P, Ca e Mg dos cultivares onde houve significância é revelada pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 2, juntamente com os respectivos valores de F, coeficientes de determinação e pontos de máxima e mínima concentração dos elementos e do alumínio.

Embora os valores de F não houvessem sido significativos para as concentrações de P de 9 cultivares, o desdobramento dos graus de liberdade através de análise de regressão possibilitou o aparecimento de significância para algumas equações nos cultivares Yecora, Sonora 63, PAT 24 e Maringã.

Tabela 2 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo, cálcio e magnésio das partes aéreas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações do alumínio e respectivos valores de F, coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máxima		Ponto de Mínima	
				Al ppm	Conc. %	Al ppm	Conc. %
Super x	$Y = 0,0063X + 0,1145$	6,85**	54,58	-	-	-	-
CNT1	$Y = -0,0033X^3 + 0,0504X^2 - 0,2037X + 0,6151$	17,75**	99,15	7,43	0,53	2,77	0,37
Super x	$Y = 0,0065X^2 - 0,0677X + 0,5209$	10,80**	92,90	-	-	5,19	0,33
Pel 72083	$Y = -0,0201X + 0,5080$	11,75**	63,74	-	-	-	-
Yecora	$Y = 0,0050X^2 - 0,0631X + 0,4816$	6,29*	93,57	-	-	6,34	0,28
Horto	$Y = -0,0170X + 0,4890$	8,41**	67,22	-	-	-	-
Sonora 63C	$Y = 0,0054X^2 - 0,0703X + 0,5424$	7,42**	98,39	-	-	6,50	0,31
Maringã	$Y = -0,0023X^3 + 0,0339X^2 - 0,1228X + 0,4128$	8,91**	97,76	7,26	0,41	2,41	0,28
IAS 64	$Y = -0,0027X^3 + 0,0415X^2 - 0,1686X + 0,5144$	12,11**	99,37	7,37	0,44	2,80	0,31
FÓSFORO							
CÁLCIO							
CNT1	$Y = -0,0090X + 0,2620$	7,15**	53,40	-	-	-	-
Frontana	$Y = -0,0009X^3 + 0,0158X^2 - 0,0754X + 0,2897$	4,08*	99,91	8,33	0,24	3,32	0,18
Super x	$Y = 0,0038X^2 - 0,0281X + 0,2884$	11,32**	87,62	-	-	3,66	0,24
Pel 72083	$Y = -0,0142X + 0,3295$	17,80**	76,46	-	-	-	-
Yecora	$Y = 0,0027X^2 - 0,0308X + 0,2789$	5,69*	65,94	-	-	5,68	0,19
Horto	$Y = 0,0033X^2 - 0,0439X + 0,3393$	8,63**	84,02	-	-	6,57	0,19
Sonora 63C	$Y = 0,0038X^2 - 0,0401X + 0,3788$	11,32**	99,71	-	-	5,23	0,27
PAT 24	$Y = -0,0099X + 0,2040$	8,65**	67,74	-	-	-	-
Maringã	$Y = -0,0011X^3 + 0,0183X^2 - 0,0835X + 0,2879$	6,53*	99,89	7,34	0,21	3,30	0,17
IAS 64	$Y = 0,0085X + 0,1215$	6,38*	62,87	-	-	-	-
MAGNÉSIO							

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade
 ** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Devido à importância da relação Al/p, amplamente referida na literatura, essas equações são mostradas na Tabela 3, juntamente com seus valores de F e coeficientes de determinação.

Tabela 3 - Equações de regressão dos valores de concentração de fósforo das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F e coeficientes de determinação (r^2)

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r^2
Yecora	$Y = -0,0059x + 0,2195$	6,00*	66,18
Sonora 63C	$Y = 0,0056x + 0,1515$	5,41*	78,14
PAT 24	$Y = 0,0052x + 0,1925$	4,66*	63,00
Maringá	$Y = 0,0062x + 0,1500$	6,63*	93,48

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Nas Tabelas 2 e 3 pode-se verificar que, apesar dos coeficientes de determinação serem relativamente baixos, excetuando o do cultivar Maringá, as concentrações de P das partes aéreas, dos cultivares Super x, Sonora 63, PAT 24 e Maringá aumentaram à medida que a concentração de alumínio da solução nutritiva aumentou. Somente o cultivar Yecora apresentou tendência exatamente contrária. RAMDALL & VOSE (1963) constataram que a quantidade total e a concentração de fósforo das partes aéreas e raízes de plantas de avevem foram aumentadas quando as mesmas foram desenvolvidas em soluções nutritivas contendo concentrações de fósforo de $4,5 \times 10^{-4}M$ ou $22,5 \times 10^{-4}M$ e concentração de alumínio de $1,85 \times 10^{-4}M$. Porém, quando as plantas cresceram em soluções nutritivas contendo as mesmas concentrações de fósforo, mas foram submetidas à uma concentração mais elevada de alumínio ($1,85 \times 10^{-4}$), esses autores observaram que houve uma diminuição na quantidade total de fósforo das partes aéreas e das raízes, embora a concentração fosse aumentada devido a uma redução global no crescimento.

Não existe relação entre o grau de tolerância ao alumínio e o modo de ação exercido pelo alumínio sobre as concentrações de fósforo das partes aéreas dos vários cultivares, pois o alumínio não influenciou as concentrações de fósforo das partes aéreas dos cultivares CNT1, Frontana, Pel 72083, Horto e IAS 64 que pertencem, respectivamente, aos grupos 1, 2, 3, 2 e 3; deprimiu linearmente a concentração de fósforo do cultivar Yecora, que pertence ao 3º grupo e ocasionou acréscimos, obedecendo a uma tendência linear, nos cultivares Super x (4º grupo), Sonora 63 (4º grupo), PAT 24 (2º grupo) e Maringã (2º grupo).

Na Tabela 2 pode-se verificar, através das equações, o comportamento das concentrações de cálcio das partes aéreas dos cultivares cujo parâmetro foi influenciado significativamente pelo alumínio. Independente das tendências linear, quadrática ou cúbica obtidas para os vários cultivares, nota-se que o alumínio exerceu um efeito depressivo sobre as concentrações de cálcio das partes aéreas. Uma vez mais verifica-se a inexistência de qualquer relação entre o grau de tolerância ao alumínio e a forma de ação do mesmo sobre as concentrações de cálcio das partes aéreas.

Através das equações de regressão inseridas na Tabela 2, pode-se ver que, a despeito das várias tendências aéreas dos cultivares CNT1, Frontana, Super x, Pel 72083, Yecora, Horto, Sonora 63, PAT 24 e Maringã. No entanto, de maneira inexplicável, o cultivar IAS 64 mostrou um aumento de tendência linear na concentração de magnésio em resposta aos níveis de alumínio. Além disso, na Tabela 1 vê-se que esse cultivar apresentou no tratamento sem alumínio a menor concentração de magnésio, a qual é diferente da concentração apresentada por todos os demais cultivares, na mesma condição. Não se conseguiu vislumbrar qualquer relação dessas tendências com o grau de tolerância ao alumínio manifestado pelos cultivares.

Alguns trabalhos recentes têm dado ênfase à relação Al/Mg na problemática de toxidez de alumínio para as plantas. CLARK (1977) desenvolveu plantas de milho de 2 linhagens, uma eficiente e outra ineficiente na absorção de magnésio, em soluções nutritivas possuindo 0,0, 2,5, 5,0, 10,0 e 20,0 ppm de

alumínio. Nas partes aéreas e raízes foram determinadas as concentrações de Mg, P, Ca, K, Fe, Mn, Zn e Cu. Foi constatado que as plantas da linhagem ineficiente na absorção de magnésio foram mais sensíveis ao alumínio do que as plantas da linhagem eficiente e que, embora o alumínio tenha inibido a absorção e acumulação de todos os elementos minerais, as concentrações e quantidades de magnésio e manganês decresceram, mais acentuadamente do que qualquer outro elemento mineral, quando o alumínio aumentou na solução. Esse último autor citado acentuou que, embora deficiências de cálcio e de fósforo sejam comumente consideradas com sintomas de toxidez de alumínio, o magnésio pode estar estreitamente associado com toxidez de alumínio, especialmente nas raízes. KAMPRATH & FOY (1971) salientaram que, na maioria dos solos ácidos (pH acima de 4,2), o efeito primário de baixos valores de pH sobre a disponibilidade de magnésio é provavelmente de natureza indireta, através de sua influência sobre o nível de alumínio trocável ou solúvel, o qual reduz a absorção de magnésio. Os dados de MARTINI (1977), que testou um método de campo para calibrar resultados da análise do solo no Rio Grande do Sul, reforçam essa assertiva, pois o milho cultivado em 30 locais, somente mostrou sintomas de toxidez de magnésio em 4 locais, os quais, como característica comum, possuíam elevadas concentrações de alumínio.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados e da sua discussão as seguintes conclusões se evidenciaram:

a) o grau de tolerância ao alumínio dos cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas;

b) as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas dos cultivares se comportam diferentemente em função das concentrações de Al na solução.

SUMMARY

ALUMINUM AND MAGANESE TOLERANCE ON WHEAT (*Triticum aestivum* L.) CULTIVARS. III. ALUMINUM AND ALUMINUM TOLERANCE AS RELATED TO P, Ca AND Mg CONCENTRATIONS IN THE AERIAL PARTS

This study was made to detect possible inter-relations among Al concentrations or tolerance, and P, Ca and Mg concentrations in the aerial parts of 10 wheat cultivar, showing differential tolerance to Al, and growing in nutritive solutions containing 0.0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 ppm of Al, under greenhouse conditions.

The results showed no relationship among P, Ca and Mg concentrations and Al concentrations in the nutritive solutions and no Al tolerance degree from the cultivars.

LITERATURA CITADA

- BRAUNER, J.L., 1979. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês: sua determinação, influência na concentração de nutrientes e absorção de cálcio e de fósforo. Tese de Doutorado, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 211pp.
- BRAUNER, J.L.; J.R. SARRUGE, 1980. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês. I. Determinação da tolerância ao alumínio. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz" 37: 819-836.
- CLARK, R.B., 1977. Effects of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerants and Al-intolerant corn. Pl- Soil 47: 653-662.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C., 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant. Physiol. 29: 511-566.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. & ALCOVER, M., 1972. Teores de alumínio, manganês, fósforo, potássio, cálcio e

magnésio em sessenta variedades de trigo e sua relação com o "crestamento". *Bragantia* 31: XXXV-XLI.

KAMPRATH, E.J.; FOY, C.D., 1971. Lime-fertilizer-plant interactions ins acid soils. In: DINAUER, R.C., ed. *Fertilizer Technology & use*, 2.a ed., Madison, Soil Sci. Soc. Amer. Inc., p.105.151.

KLEESE, R.A.; RASMUSSEN, D.C.; SMITH, L.H., 1968. Genetic and environment variation in mineral element accumulation in barley, wheat, and soybean. *Crop Sci.* 8: 591-593.

MARTINI, J.A., 1977. A field method for soil test calibration in developing countries. *Soil Sci.* 123: 165-170.

NAISMITH, R.W.; JOHNSON, M.W.; THOMAS, W.I., 1974. Genetic control of relative calcium, phosphorus, and manganese accumulation on chromosome 9 in maize. *Crop Sci.* 14: 845-849.

RANDALL, P.J.; VOSE, P.V., 1963. Effect of aluminum on uptake & translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiol.* 38: 403-409.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P., 1974. **Análises químicas em plantas**, Piracicaba, ESALQ/USP, 55p.