

TRIGO: EFEITO DE MAGNÉSIO COMBINADO COM FORÇAS IÔNICAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA NA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2, 3)

RESUMO

Os cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros foram estudados em soluções nutritivas contendo 10 mg/litro de Al^{3+} , combinados com três concentrações de sais (um décimo, um quinto e a metade da concentração de sais da solução nutritiva completa) e cinco níveis de Mg (0; 9,6; 48; 96 e 192 mg/litro). A tolerância foi medida pela capacidade de as raízes primárias continuarem a crescer em soluções sem alumínio após permanência de 24, 48 e 72 horas em soluções de tratamento contendo determinada força iônica combinada com determinada concentração de magnésio, na presença de 10 mg/litro de Al^{3+} . Independentemente da força iônica, da concentração de magnésio, da atividade iônica do Al^{3+} e do período de crescimento nas soluções de tratamento, o 'BH-1146' apresentou tolerância e 'IAC-17', moderada tolerância a 10 mg/litro de Al^{3+} . 'Siete Cerros' mostrou-se sensível nas soluções com baixos níveis de magnésio. A atividade iônica do Al diminuiu à medida que foram aumentadas as forças iônicas e os níveis de Mg das soluções de tratamento. As correlações simples entre a atividade iônica do alumínio e as concentrações de magnésio com o crescimento das raízes foram respectivamente negativas e positivas. Correlações negativas foram determinadas entre as concentrações de Mg nas soluções e os teores de Al na matéria seca da parte aérea dos cultivares estudados e entre os teores de Al na matéria seca da parte aérea e os comprimentos das raízes.

Termos de indexação: trigo, crescimento da raiz; cultivar tolerante e sensível; alumínio, toxicidade, atividade iônica; magnésio, concentração.

(1) Com recursos complementares do Acordo entre as Cooperativas dos Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, por meio do Instituto Agrônômico. Trabalho apresentado na XIV Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Londrina (PR), julho de 1986. Recebido para publicação em 22 de agosto de 1986.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

O emprego de soluções nutritivas pode tornar mais eficiente e precisa a separação das plantas em relação à tolerância ao alumínio, uma vez que suas partes mais diretamente afetadas, as raízes, são facilmente observadas (MOORE et al., 1976).

Um método rápido para a identificação de plantas tolerantes e de fácil reprodução foi desenvolvido na Universidade Estadual de Oregon, com base na paralisação irreversível do meristema das raízes primárias do trigo no estágio de plântulas, mediante soluções nutritivas contendo níveis elevados de alumínio (KERRIDGE, 1969; ALI, 1973; MOORE et al., 1976, e CAMARGO et al., 1980).

CAMARGO et al. (1981), estudando dez cultivares de trigo em soluções nutritivas, demonstraram que os sintomas de toxicidade devidos ao alumínio se acentuaram ou pelo aumento da concentração de alumínio na solução ou pela diminuição da concentração de sais para todos os cultivares. A tolerância a determinada concentração de alumínio é afetada pela temperatura, pH, força iônica da solução e concentração específica de certos íons, como Ca, Mg, K, Na e P das soluções nutritivas em estudo (ALI, 1973; CAMARGO et al., 1981; CAMARGO, 1983, 1984, 1985a).

Segundo vários autores (CLARKSON & SANDERSON, 1971; OUELLETTE & DESSUREAUX, 1958; CAMARGO, 1985b), maior quantidade de cálcio era necessária para manter um crescimento normal das plantas em presença de alumínio.

DIOS & BROYER (1962) demonstraram em experimentos com soluções nutritivas contendo 4 a 17 ppm de Al, que, com a adição de níveis elevados de magnésio, houve um pequeno aumento na produção de matéria seca total das plantas de milho em relação às soluções sem alumínio. Quando empregaram nas soluções concentração de Mg de 0,1 mM, ocorreram severos efeitos tóxicos, pela presença de alumínio: a produção de matéria seca total foi de 40% em relação às soluções sem alumínio.

A paralisação do crescimento das raízes de trigo pelo alumínio poderia ser quase completamente superada em quatro cultivares de trigo pela adição de uma quantidade extra de Ca, Mg, K ou Na nas soluções nutritivas. O efeito do Ca ou Mg foi praticamente idêntico no superar a toxicidade, e ambos foram mais eficazes do que K ou Na, cuja eficiência foi quase idêntica. Esses resultados indicaram que a valência dos cátions foi de grande importância na superação na toxicidade de Al (ALI, 1973).

A tolerância ao alumínio em variedades de batata poderia estar relacionada à habilidade das raízes em absorver Mg e K (LEE, 1971).

O presente trabalho teve por objetivo estudar o comportamento de três cultivares de trigo em relação à toxicidade de alumínio, empregando soluções nutritivas com três forças iônicas combinadas com cinco concentrações de magnésio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado foi o descrito por CAMARGO & OLIVEIRA (1981). Cada uma das 45 telas de náilon contendo 20 plântulas de cada cultivar foram divididas em três grupos de 15. Cada grupo foi colocado em contacto com as 15 soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} com cinco níveis de Mg (0; 9,6; 4,8; 96 e 192 mg/litro), combinados com três forças iônicas da solução nutritiva (1/10; 1/5 e 1/2 da concentração de sais da solução nutritiva completa). No primeiro grupo, as plântulas cresceram nas soluções de tratamento durante 24 horas; no segundo, durante 48 horas e, no terceiro, durante 72 horas.

Nas soluções de tratamento, o fósforo foi omitido para evitar as possíveis precipitações do alumínio, sendo o ferro adicionado em quantidade equivalente à da solução completa, como $FeCl_3$, no lugar do Fe-CYDTA (MOORE et al., 1976). Antes da transferência das telas com as plântulas para as soluções de tratamento, adicionaram-se soluções de $MgSO_4$ e $Al_2(SO_4)_3$ em quantidades necessárias para obter as concentrações desejadas de Mg e Al. Em seguida, acrescentou-se solução de H_2SO_4 1N para se obter pH $4,0 \pm 0,1$.

As plantas permaneceram crescendo por 24, 48 e 72 horas nas respectivas soluções de tratamento em banho-maria com temperatura de $25 \pm 1^\circ C$. Depois, voltaram para as vasilhas plásticas contendo as soluções nutritivas completas, onde cresceram antes das soluções de tratamento, por mais 72 horas, com temperatura de $25 \pm 1^\circ C$. O crescimento das raízes primárias nessas 72 horas depende da severidade do prévio tratamento: nos tratamentos mais severos, as raízes não crescem mais e permanecem grossas, mostrando no ápice uma injúria típica, com descoloramento (MOORE et al., 1976). A quantidade de crescimento da raiz de cada plântula foi determinada, medindo-se o comprimento da raiz primária central após as 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, subtraindo-se do comprimento da mesma raiz, no final do crescimento na solução de tratamento.

Durante todo o experimento, manteve-se o pH das soluções nutritivas completas e de tratamento o mais próximo possível de 4,0, por ajustamentos diários com uma solução de H_2SO_4 1N, e empregou-se luz fluorescente e arejamento das soluções.

Vinte plântulas dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros, submetidas a crescimento em cada uma das 45 soluções de tratamento, foram colocadas para secar em estufa a $45^\circ C$ por cinco dias, sendo a seguir suas folhas (partes aéreas) analisadas quanto ao teor de Al, segundo o método de BATAGLIA et al. (1978).

A atividade de íons Al^{3+} em solução foi estimada de acordo com método descrito por ADAMS (1971).

Calcularam-se as seguintes correlações simples para cada cultivar estudado em determinado período (24, 48 e 72 horas) na solução de tratamento com determinada concentração salina (um décimo, um quinto e metade da solução nutritiva completa): (a) entre a atividade iônica do alumínio ($a_{Al^{3+}}$) e o crescimento das raízes após 72 horas de permanência em soluções nutritivas completas; (b) entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e o crescimento das raízes após 72 horas de permanência em soluções nutritivas completas; (c) entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e os teores de Al na matéria seca das partes aéreas das plântulas de trigo após 72 horas de permanência em soluções nutritivas completas e (d) entre os teores de Al na matéria seca das partes aéreas das plântulas de trigo e o crescimento das raízes após 72 horas de permanência em soluções nutritivas completas.

O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com parcelas subsubdivididas com duas repetições, onde as parcelas foram compostas por 15 diferentes soluções de tratamento; as subparcelas, pelo tempo de crescimento das plântulas nas soluções de tratamento (24, 48 e 72 horas) e, as subsubparcelas, pelos três cultivares de trigo (BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros). Analisaram-se os dados considerando-se a média de crescimento da raiz primária central das 20 plântulas de cada cultivar após a influência prejudicial do Al^{3+} na solução de tratamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio das raízes dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros, medidos após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, seguido de 24, 48 e 72 horas de crescimento nas soluções de tratamento contendo cinco concentrações de magnésio combinadas com três concentrações salinas encontram-se no quadro 1.

Os cultivares BH-1146 e IAC-17 foram tolerantes a 10 mg/litro de Al^{3+} em todas as soluções de tratamento contendo Mg, porém apresentaram sintoma de toxicidade de alumínio (inibição irreversível do crescimento radicular) após permanecerem 72 horas na ausência de Mg e com a solução nutritiva diluída na proporção de um décimo da concentração da solução completa. 'Siete Cerros' mostrou-se sensível a 10 mg/litro de Al^{3+} somente nas seguintes condições: (1) quando permaneceu durante 24, 48 e 72 horas em soluções de tratamento com um décimo, um quinto e metade da concentração salina da solução nutritiva completa na ausência de Mg; (2) quando permaneceu durante 24 e 48 horas nas soluções de tratamento com um décimo e um quinto da concentração da solução

nutritiva completa, com a adição de 9,6 mg/litro de Mg; (3) quando permaneceu durante 72 horas nas soluções de tratamento contendo 9,6 mg/litro de Mg, independente da força iônica da solução, e (4) quando permaneceu durante 72 horas em soluções de tratamento contendo um décimo da concentração salina da solução completa na presença de 48 mg/litro de Mg.

A atividade iônica do alumínio diminuiu à medida que aumentaram as forças iônicas e os níveis de Mg nas soluções de tratamento (Quadro 1). Foi determinada a correlação simples de $-0,90$, altamente significativa, entre a atividade iônica do alumínio e a concentração de magnésio nas soluções de tratamento.

QUADRO 1. Comprimento médio das raízes de três cultivares de trigo medido após 72 horas de crescimento nas soluções nutritivas completas seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} com cinco concentrações de magnésio combinadas com três diferentes concentrações salinas e atividade iônica do alumínio ($a_{Al^{3+}}$) nessas soluções de tratamento

Concentração salina (força iônica da solução)	Concentração de magnésio		$a_{Al^{3+}}$	BH-1146			IAC-17			Siete Cerros		
	mg/l	mM		24h	48h	72h	24h	48h	72h	24h	48h	72h
	mg/l	mM	10 ⁻⁴ M	mm								
1/2	0,0	0,0	1,63	61,6	63,2	61,0	49,4	46,3	25,1	0,0	0,0	0,0
	9,6	0,4	1,56	55,6	72,5	81,2	49,4	52,9	43,0	2,9	0,2	0,0
	48,0	2,0	1,34	59,3	97,4	81,5	64,4	83,1	63,2	39,6	30,4	0,2
	96,0	4,0	1,17	73,8	117,8	98,2	76,7	101,1	91,9	41,8	65,2	20,9
	192,0	8,0	0,96	60,3	115,7	92,5	78,1	101,0	91,1	60,9	88,6	36,6
1/5	0,0	0,0	1,95	36,7	22,3	16,8	24,3	5,6	1,9	0,0	0,0	0,0
	9,6	0,4	1,82	55,1	37,0	42,2	43,7	19,2	3,8	0,0	0,0	0,0
	48,0	2,0	1,49	82,7	91,6	96,1	63,5	84,0	67,5	42,2	35,1	0,2
	96,0	4,0	1,26	82,0	99,2	103,3	75,7	100,4	79,1	45,3	59,1	19,1
	192,0	8,0	1,01	65,2	109,6	110,2	67,8	107,5	90,2	66,2	87,3	51,1
1/10	0,0	0,0	2,09	27,6	7,8	0,0	1,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	9,6	0,4	1,93	43,3	23,0	24,5	16,6	2,3	1,7	0,0	0,0	0,0
	48,0	2,0	1,54	74,5	68,0	76,6	49,9	47,9	47,7	10,7	2,1	0,0
	96,0	4,0	1,29	82,5	88,0	96,4	75,4	73,2	77,6	38,1	33,5	10,5
	192,0	8,0	1,03	81,1	91,0	109,6	82,0	94,5	91,7	59,7	70,7	57,0

Nas soluções de tratamento contendo baixas concentrações de Mg, aumentando-se o tempo de permanência de 24 para 72 horas, para as três concentrações salinas, os efeitos prejudiciais do Al^{3+} , como a diminuição do crescimento do sistema radicular, foram mais acentuados para os três cultivares estudados.

Houve uma tendência de aumento no crescimento médio das raízes com a elevação dos níveis de Mg nas soluções e a conseqüente redução da atividade iônica do alumínio, independente das concentrações salinas.

A elevação da força iônica das soluções de tratamento de um décimo para a metade da concentração empregada na solução nutritiva completa, independente do tempo de permanência das plantas nessas condições, na presença de 9,6 e 48 mg/litro de Mg, proporcionou um aumento no crescimento das raízes primárias dos cultivares devido à redução da atividade do Al^{3+} .

O efeito da concentração salina e do tempo de crescimento nas soluções de tratamento quando se adicionaram 96 e 192 mg/litro de Mg foi pouco evidente, provavelmente pela diminuição na absorção do alumínio causada pela elevada concentração de Mg.

Os resultados obtidos mostram que, aumentando-se as concentrações de Mg nas soluções, houve uma diminuição nos efeitos tóxicos do alumínio, confirmando OUELLETTE & DESSUREAUX (1958), LUND (1970), CLARKSON & SANDERSON (1971) e ALI (1973). A diminuição da toxicidade de Al^{3+} também foi demonstrada pelo aumento, nas soluções, dos níveis de Ca (ALI, 1973, e CAMARGO, 1985b), de K (AIMI & MURAKAMI, 1964, e ALI, 1973), e de Na (ALI, 1973).

Essas afirmações permitem considerar que o alumínio e outros nutrientes poderiam estar competindo um com o outro para entrar nas raízes das plantas.

Um mecanismo de competição de cátions não específico considerado por ALI (1973) explicaria o aumento do efeito tóxico do Al^{3+} à medida que se reduz a força iônica da solução, ou diminuição, pelo aumento individual das concentrações de Ca, Mg, K e Na.

Os resultados deste estudo evidenciam que o efeito primário do Al^{3+} não foi interferir na absorção de magnésio, causando sua deficiência nas plantas, uma vez que, aumentando-se as concentrações de Ca, K e Na (força iônica das soluções), as raízes foram protegidas dos efeitos adversos do Al, confirmando os resultados obtidos por ALI (1973). A presença do magnésio nas soluções poderia prevenir a entrada do Al^{3+} nas células meristemáticas pela diminuição de sua atividade iônica. Nos quadros 2 e 3 encontram-se, respectivamente, as correlações simples entre a atividade iônica do alumínio e as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três concentrações salinas

com o crescimento das raízes de três cultivares de trigo após 72 horas de permanência em soluções nutritivas completas, seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento.

Todas as correlações entre as atividades iônicas do alumínio nas soluções de tratamento e os crescimentos das raízes foram negativas e aquelas entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento e os crescimentos das raízes foram positivas, sendo a maioria delas estatisticamente significativas, independente da concentração salina nas soluções de tratamento, do tempo de crescimento e do cultivar utilizado. Esses resultados confirmam que a tolerância dos cultivares de trigo estudados a $10 \text{ mg/litro de Al}^{3+}$ nas soluções de tratamento depende da concentração de Mg nas soluções e da atividade iônica do alumínio.

QUADRO 2. Correlações simples entre a atividade iônica do alumínio ($a_{\text{Al}^{3+}}$) nas soluções de tratamento contendo $10 \text{ mg/litro de Al}^{3+}$ e três concentrações salinas com o crescimento das raízes de três cultivares de trigo medido após 72 horas em soluções nutritivas completas seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento

Cultivares	Concentração salina nas soluções de tratamento		
	1/10	1/5	1/2
24 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,94**	-0,67	-0,38
IAC-17	-0,99***	-0,89**	-0,97***
Siete Cerros	-0,95**	-0,97***	-0,97***
48 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,97***	-0,96***	-0,95**
IAC-17	-0,99***	-0,96***	-0,95**
Siete Cerros	-0,88**	-0,99***	-0,99***
72 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,98***	-0,94**	-0,82*
IAC-17	-0,99***	-0,96***	-0,95**
Siete Cerros	-0,79*	-0,87*	-0,92**

* Significativo ao nível de 10%. ** Significativo ao nível de 5%. *** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 3. Correlações simples entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três concentrações salinas com o crescimento das raízes de três cultivares de trigo medido após 72 horas em soluções nutritivas completas seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento

Cultivares	Concentração salina nas soluções de tratamento		
	1/10	1/5	1/2
24 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	0,79	0,44	0,27
IAC-17	0,90*	0,73	0,90**
Siete Cerros	0,99**	0,91**	0,91**
48 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	0,85*	0,85*	0,85**
IAC-17	0,89**	0,85*	0,86**
Siete Cerros	0,98***	0,97***	0,97***
72 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	0,88**	0,81*	0,73
IAC-17	0,92**	0,86*	0,87**
Siete Cerros	0,95**	0,97***	0,97***

* Significativo ao nível de 10%. ** Significativo ao nível de 5%. *** Significativo ao nível de 1%.

O quadro 4 apresenta as correlações simples entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três concentrações salinas com os teores de alumínio na matéria seca das partes aéreas de três cultivares de trigo após 72 horas de crescimento em soluções nutritivas completas seguido de crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento.

As correlações entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento e os teores de alumínio na matéria seca das partes aéreas dos cultivares BH-1146, IAC-17 e Siete Cerros foram negativas, independente do tempo de crescimento e da concentração salina das soluções de tratamento. Apesar de poucas correlações serem estatisticamente significativas, os resultados sugerem que os teores de alumínio na parte aérea das plantas apresentaram uma tendência de diminuição com o aumento das concentrações de Mg e, conseqüentemente, da atividade iônica do alumínio das soluções de tratamento.

QUADRO 4. Correlações simples entre as concentrações de magnésio nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três concentrações salinas com os teores de Al na matéria seca das partes aéreas de três cultivares de trigo após 72 horas de crescimento em soluções nutritivas completas seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento

Cultivares	Concentração salina nas soluções de tratamento		
	1/10	1/5	1/2
24 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,28	-0,16	-0,53
IAC-17	-0,57	-0,68	-0,71
Siete Cerros	-0,87*	-0,14	-0,33
48 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,59	-0,87*	-0,63
IAC-17	-0,51	-0,61	-0,65
Siete Cerros	-0,36	-0,83*	-0,80
72 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,83*	-0,72	-0,46
IAC-17	-0,18	-0,96***	-0,55
Siete Cerros	-0,64	-0,76	-0,57

* Significativo ao nível de 10%. ** Significativo ao nível de 5%. *** Significativo ao nível de 1%.

As correlações entre os teores de Al na matéria seca da parte aérea e os comprimentos das raízes foram negativas para todos os cultivares, independente da duração do período de crescimento e das forças iônicas das soluções de tratamento. Apesar de somente algumas correlações serem estatisticamente significativas, os dados sugerem que a tolerância ao Al^{3+} exibida pelos cultivares de trigo seria aumentada pela redução dos teores de alumínio nas partes aéreas: no presente trabalho, ela foi devida à redução da atividade iônica do alumínio, em consequência do aumento dos teores de magnésio e da força iônica das soluções de tratamento.

As correlações simples entre os teores de alumínio na matéria seca das partes aéreas de três cultivares de trigo com o crescimento das suas raízes, após 72 horas de crescimento em soluções nutritivas completas, seguido de crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três diferentes forças iônicas, encontram-se no quadro 5.

QUADRO 5. Correlações simples entre os teores de Al^{3+} na matéria seca das partes aéreas de três cultivares de trigo com o crescimento das suas raízes medido após 72 horas de crescimento em soluções nutritivas completas seguido a crescimento de 24, 48 e 72 horas nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e três diferentes concentrações salinas

Cultivares	Concentração salina nas soluções de tratamento		
	1/10	1/5	1/2
24 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,66	-0,34	-0,64
IAC-17	-0,67	-0,91**	-0,86*
Siete Cerros	-0,87	-0,36	-0,20
48 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,84*	-0,11	-0,38
IAC-17	-0,71	-0,11	-0,45
Siete Cerros	-0,25	-0,76	-0,70
72 horas de crescimento nas soluções de tratamento			
BH-1146	-0,64	-0,91**	-0,81*
IAC-17	-0,07	-0,87*	-0,84*
Siete Cerros	-0,67	-0,61	0,38

* Significativo ao nível de 10%. ** Significativo ao nível de 5%. *** Significativo ao nível de 1%.

4. CONCLUSÕES

1) Independente do tempo de crescimento, dos níveis de magnésio e das concentrações salinas das soluções de tratamento, o cultivar BH-1146 apresentou tolerância e o cultivar IAC-17, moderada tolerância a 10 mg/litro de Al^{3+} .

2) O cultivar Siete Cerros foi sensível a 10 mg/litro de Al^{3+} , quando se empregaram soluções com 0 e 9,6 mg de Mg, independente da concentração salina e do tempo de crescimento nas soluções de tratamento.

3) O sintoma de toxicidade de Al^{3+} ficou acentuado pela diminuição da concentração de Mg e/ou da força iônica da solução e conseqüente aumento da atividade iônica do alumínio, e também pelo aumento no período de crescimento das raízes nas soluções contendo 10 mg/litro de Al^{3+} , para os três cultivares.

4) Foram positivas as correlações entre os comprimentos das raízes e as concentrações de Mg nas soluções de tratamento; foram negativas as correla-

ções entre os comprimentos das raízes e as atividades iônicas do alumínio; entre os teores de Al na matéria seca da parte aérea e as concentrações de Mg nas soluções; entre comprimentos das raízes e teores de Al na matéria seca da parte aérea, independentemente dos cultivares, tempo de crescimento e concentrações salinas nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} e cinco diferentes níveis de Mg.

SUMMARY

ALUMINUM TOLERANCE OF WHEAT CULTIVARS AS RELATED TO MAGNESIUM LEVELS COMBINED WITH SALT CONCENTRATIONS IN NUTRIENT SOLUTIONS

An experiment was conducted to study the aluminum tolerance of the wheat cultivars BH-1146, IAC-17 and Siete Cerros in nutrient solutions containing 10 mg/l of Al^{3+} combined with three salt concentrations (0.1, 0.2 and 0.5-strength nutrient solutions) and five levels of Mg (0, 9.6, 48.0, 96.0 and 192.0 mg/l). The pH was initially adjusted to 4.0 and maintained about that value throughout the experiment. The tolerance was evaluated by measuring the root growth in an aluminum-free complete full-strength nutrient solution after a previous treatment for 24, 48 and 72 hours in treatment solutions. The cultivar BH-1146 showed tolerance and IAC-17, moderate tolerance to Al^{3+} , regardless the Al-ionic activity, Mg concentration and the ionic strength of the treatment solutions. Siete Cerros showed symptoms of severe Al toxicity in solutions with low levels of Mg regardless the salt concentration and the growth period into the treatment solutions. Positive correlations were found between root length and Mg concentrations into the treatment solutions; negative correlations were calculated between root length and aluminum ionic activity into the solution; negative correlations were verified between root length and Al concentration in the top dry matter of the plants and negative correlations were found between the Al concentration in the top dry matter of the plants and the Mg concentration in the treatment solutions. Aluminum toxicity symptoms increased in all studied cultivars by decreasing the Mg concentration and/or the salt concentration, consequently, increasing the aluminum ionic activity and by increasing the growth period in a treatment solution with 10 mg/l of Al^{3+} .

Index terms: wheat, root length, tolerant and sensitive cultivars, tolerance to aluminum toxicity, aluminum ionic activity, magnesium concentration.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. Soil Science Society of America Proceedings, **35**:420-426, 1971.

- AIMI, R. & MURAKAMI, T. Cell - physiological studies on the effect of aluminum on growth of crop plants. 1. Toxicity of aluminum to plant cells. 2. Effect of aluminum on plant growth. 3. Effect of aluminum on tissue elongation. 4. Simple method for detecting susceptibility of crop plants to acid soil. Bulletin National Institute Agricultural Science, Tokio, **11D**:331-396, 1964. (Resumo em inglês)
- ALI, S.M.E. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, University of Oregon, 1973. 102fls. Tese. (Doutoramento)
- BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 31p. (Circular, 87)
- CAMARGO, C.E.O. A concentração de fósforo na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio em soluções nutritivas. *Bragantia*, Campinas, **44**(1):49-64, 1985a.
- . Efeitos de níveis de cálcio combinados com diferentes concentrações de sais na tolerância de trigo à toxicidade de alumínio, em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **44**(2):659-668, 1985b.
- . Tolerância de cultivares de arroz a dois níveis de alumínio em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de sais. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):381-388, 1984.
- ; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R.J. Parent-progeny regression estimates and associations of different height levels with aluminum toxicity and grain yield in wheat. *Crop Science*, **20**:355-358, 1980.
- & 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.
- ; ——— & LAVORENTI, A. Efeito de diferentes concentrações de sais em soluções nutritivas na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade de alumínio. *Bragantia*, Campinas, **40**:93-101, 1981.
- CLARKSON, D.T. & SANDERSON, J. Inhibition of uptake and long distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. *Journal Experimental Botany*, **22**: 837-851, 1971.
- DIOS, V.R. & BROYER, T.C. Effects of high level of magnesium on the aluminum uptake and growth of maize in nutrient solutions. *Anales de Edafologia y Agrobiologia*, **21**:13-30, 1962.
- KERRIDGE, P.C. Aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, University of Oregon, 1969. 170fls. Tese. (Doutoramento)
- LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agronomy Journal*, **63**:604-608, 1971.
- LUND, Z.F. The effect of calcium and its relation to several cations in soybean root growth. *Soil Science Society of America Proceedings*, **34**:456-459, 1970.
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R.J. Screening wheat for aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by Madison J. Wright - Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.287-295.
- QUELLETTE, G.J. & DESSUREAUX, L. Chemical composition of alfafa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. *Canadian Journal of Plant Science*, **38**:206-214, 1958.