

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO E DA TEMPERATURA DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO CRESCIMENTO DAS RAÍZES PRIMÁRIAS DE TRIGO

INFLUENCE OF THE NUTRIENT SOLUTION PHOSPHORUS CONCENTRATIONS AND TEMPERATURES IN THE WHEAT PRIMARY ROOT GROWTH

CAMARGO, Carlos E. de O.¹; FERREIRA FILHO, Antonio W. P.²

RESUMO

Compararam-se 14 genótipos (linhagens mutantes e cultivares) de trigo quanto ao crescimento das raízes primárias durante 7 e 15 dias de desenvolvimento em soluções nutritivas, em condição de laboratório, por meio de dois experimentos, em blocos ao acaso, com duas repetições cada um. No primeiro empregaram-se soluções com quatro diferentes concentrações de fósforo (3,875; 7,75; 15,5 e 31,0 mgL⁻¹), com pH 4,0 e temperatura de 24 ± 1°C e no segundo utilizaram-se soluções com pH 4,0 com três diferentes temperaturas (18°C±1°C, 24°C±1°C e 30°C±1°C). As análises de variância dos crescimentos médios das raízes dos genótipos durante 7 e 15 dias, nos dois experimentos, mostraram efeitos significativos para genótipos e efeitos não significativos para as interações genótipos x concentrações de fósforo ou genótipos x temperaturas das soluções. Houve variabilidade genética entre os genótipos avaliados para crescimento das raízes primárias nos primeiros estádios de desenvolvimento independentemente da concentração de fósforo, temperatura e período de crescimento. O genótipo 6 (BH-1146) exibiu potencial genético para maior crescimento radicular e os genótipos 25 (KAUZ"S" / IAC-24 M₄), 27 (KAUZ"S" / IAC-24 M₆), 32 (KAUZ"S"), 37 (TUI"S" / IAC-24 M₂), 40 (IAC-287 / IAC-24 M₁), 41 (IAC-287 / IAC-24 M₂), 42 (IAC-287 / IAC-24 M₃) e 44 (IAC-287 / IAC-24 M₄) para reduzido crescimento radicular nos primeiros estádios de desenvolvimento. Genótipos de trigo poderiam ser selecionados com sucesso em relação ao crescimento das raízes primárias, empregando-se soluções nutritivas com baixa concentração de fósforo e temperatura variando de 18 a 30°C, durante 7 a 15 dias de cultivo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., crescimento radicular, cultivares, linhagens mutantes.

INTRODUÇÃO

O trigo é cultivado na estação seca do ano no Estado de São Paulo, portanto, as novas cultivares a serem desenvolvidas nos programas de melhoramento genético devem apresentar tolerância ao Al³⁺ e raízes primárias longas nos primeiros estádios de desenvolvimento em solos ácidos, para permitir um bom estabelecimento da cultura, considerando o curto período de semeadura (abril) onde é freqüente a ocorrência de estresse hídrico. Como a toxicidade do Al³⁺ paralisa irreversivelmente o crescimento radicular (FOY et al., 1965), não seria recomendado para cultivo um genótipo de trigo sensível à toxicidade do Al³⁺, porém com potencial genético para raízes primárias longas visando buscar água e nutrientes nas camadas mais profundas de um solo ácido, nas condições de estresse hídrico. Um genótipo tolerante ao Al³⁺ mas com um crescimento reduzido das raízes primárias, também não seria adequado, para produzir competitivamente em condições de seca.

A toxicidade de alumínio não é o único fator limitante em solos ácidos, portanto, os métodos de separação de plantas tolerantes e sensíveis a determinado nível de alumínio usando solos ácidos não são bastante precisos. Além disso, as partes da planta diretamente afetadas, as raízes, não são facilmente observadas. O emprego de soluções nutritivas pode tornar mais eficiente e precisa a separação das plantas em relação à tolerância ao alumínio (CAMPBELL & LAFEVER, 1976; CAMARGO, 1985).

Foi desenvolvido na Universidade de Oregon, Estados Unidos, um método rápido para a identificação de plantas tolerantes e de fácil reprodução, com base na paralisação irreversível do meristema apical das raízes primárias do trigo no estágio de plântula, utilizando-se soluções nutritivas, contendo níveis elevados de Al³⁺ (MOORE et al., 1976, CAMARGO & OLIVEIRA, 1981). Foi posteriormente demonstrado que o aumento da concentração de fósforo e o aumento da temperatura das soluções nutritivas acentuavam, independentemente, o efeito da toxicidade do Al³⁺ (CAMARGO, 1983, 1985). No primeiro caso, foi verificado que à medida em que cresceram as concentrações de fósforo das soluções, os teores de Al aumentaram nas raízes para todos os genótipos estudados, indicando que o Al e o P ficaram acumulados interna ou externamente nas raízes (CAMARGO E FELICIO, 1987). No segundo caso, de acordo com BENITEZ (1977), o aumento da temperatura de 22 para 34°C aumentou a proporção de absorção de Al pelos processos metabólicos. Por esse motivo o método usado como rotina, no Instituto Agrônomo (IAC), para selecionar plântulas de trigo, provenientes de cruzamentos, em geração F₂, vem empregando a temperatura de 24 ± 1°C e a ausência de fósforo nas soluções de tratamento (CAMARGO et al., 1996; CAMARGO & FERREIRA FILHO, 2000).

Com o objetivo de desenvolver um método rápido e de fácil reprodução, empregando soluções nutritivas, para separar genótipos de trigo quanto ao crescimento das raízes primárias nos primeiros estádios de desenvolvimento, foi estudado o efeito do pH e da concentração salina da solução nutritiva. Ficou demonstrado que a variabilidade genética entre os genótipos avaliados para crescimento de raízes primárias foi independente do pH e da concentração salina das soluções (CAMARGO et al., 2002).

Com o mesmo propósito, procurou-se no presente trabalho, avaliar o efeito da concentração de fósforo e da temperatura das soluções nutritivas no crescimento das raízes primárias de genótipos (linhagens mutantes e cultivares) de trigo.

¹ Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador Científico, Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP). * Autor correspondente <E-mail: ccamargo@iac.sp.gov.br> Bolsista do CNPq.

² Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador Científico, Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Campinas (SP).

(Recebido para publicação em 29/04/2004 Aprovado em 25/05/2005)

MATERIAL E MÉTODOS

Em dois experimentos realizados em laboratório do Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, do (IAC), foram avaliados 14 genótipos de trigo (BH-1146, KAUZ"S" / IAC-24 M₂, KAUZ"S" / IAC-24 M₄, KAUZ"S" / IAC-24 M₆, KAUZ"S" / IAC-24 M₈, KAUZ"S", IAC-24 / TUI"S" M₂, TUI"S" / IAC-24 M₁, TUI"S" / IAC-24 M₂, TUI"S", IAC-287 / IAC-24 M₁, IAC-287 / IAC-24 M₂, IAC-287 / IAC-24 M₃ e IAC-287 / IAC-24 M₅). Com exceção das cultivares BH-1146, KAUZ"S" e TUI"S", os demais genótipos avaliados foram obtidos por seleções realizadas em diferentes gerações (F₂ a F₅), a partir de populações segregantes oriundas de sementes em geração F₁, providas de cruzamentos realizados no IAC, seguidas de irradiação gama, visando o aumento da variabilidade genética. Os genótipos foram selecionados de 45 previamente estudados quanto ao crescimento radicular em soluções nutritivas (TULMANN NETO et al., 1995 a e b, 1996 e 2001; CAMARGO et al., 1997 e 2002). Com exceção dos genótipos KAUZ"S" e TUI"S", sensíveis à toxicidade de Al³⁺, não exibindo crescimento das raízes primárias centrais após exposição por 48 horas em solução tratamento contendo 2 mg.L⁻¹, os demais genótipos avaliados apresentaram-se como tolerantes à toxicidade de Al³⁺, mostrando crescimento radicular após desenvolvimento por 48 horas em solução tratamento contendo 10 mgL⁻¹ (CAMARGO & OLIVEIRA, 1981).

O delineamento experimental para o Experimento 1 foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 4x14, sendo quatro soluções nutritivas completas (normais) com quatro diferentes concentrações de fósforo (3,875; 7,75; 15,5 e 31,0 mg.L⁻¹) e 14 genótipos de trigo, com duas repetições. A composição da solução completa (MOORE, 1974 e MOORE et al., 1976) foi: Ca(NO₃)₂ 4 mmolL⁻¹, MgSO₄ 2 mmolL⁻¹, KNO₃ 4 mmolL⁻¹, (NH₄)₂SO₄ 0,435 mmolL⁻¹, MnSO₄ 2 μmolL⁻¹, CuSO₄ 0,3 μmolL⁻¹, ZnSO₄ 0,8 μmolL⁻¹, NaCl 30 μmolL⁻¹, Fe-CYDTA 10 μmolL⁻¹, Na₂MoO₄ 0,10 μmolL⁻¹ e H₃BO₃ 10 μmolL⁻¹. Adicionou-se o fósforo como KH₂PO₄, de modo a obter soluções com 3,875; 7,75; 15,5 e 31,0 mgL⁻¹ de P.

Em cada repetição foram utilizadas quatro vasilhas plásticas com 8,3 L de capacidade, uma para cada concentração de fósforo, sobre as quais foram adaptadas telas de náilon com malha de aproximadamente 1 mm.

Um número suficiente de sementes de cada genótipo, após submersão em solução de hipoclorito de sódio a 10% por aproximadamente 2 minutos e posterior lavagem com água destilada, foi colocada em placas de Petri para germinar em refrigerador a uma temperatura de 12°C por 72 horas, período necessário para a emergência das raízes. De cada genótipo, 25 sementes germinadas foram escolhidas pela uniformidade e colocadas com auxílio de uma pinça sobre a tela de náilon de cada vasilha com as soluções nutritivas de tratamento. As raízes emergentes das sementes tocavam as soluções, portanto obtendo um pronto suprimento de água e nutrientes. As telas foram cobertas durante 24 horas com um filme plástico visando manter uma alta umidade relativa favorecendo o crescimento uniforme das plântulas.

Durante todo o período experimental, a solução das vasilhas foram arejadas e diariamente seu volume completado com água destilada e o pH ajustado para 4,0 com ajustamentos diários com H₂SO₄ 0,5 molL⁻¹ ou NaOH molL⁻¹. As vasilhas foram mantidas em banho-maria à temperatura de 24 ± 1°C, sob condição de laboratório com controle de temperatura ambiente. O experimento foi mantido com luz fluorescente (80 μmol.m⁻².s⁻¹) em sua totalidade.

Após 7 e 15 dias de condução do experimento, 10

plântulas de cada genótipo nas vasilhas com os tratamentos de concentração de fósforo foram coletadas e o comprimento da raiz primária central foi medido com o uso de régua.

No Experimento 2 foram utilizados os mesmos 14 genótipos de trigo, agora cultivados na solução nutritiva completa do Experimento 1, acrescida de 15,5 mg.L⁻¹ de P, com três valores de temperatura: 18°C±1°C, 24°C±1°C e 30°C±1°C. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 3x14, com duas repetições. O método de cultivo foi o mesmo descrito para o Experimento 1, ou seja, em cada repetição foram utilizadas três vasilhas plásticas com volume de 8,3 L, com tela de náilon adaptada na superfície, com 25 plântulas de cada genótipo e contendo as soluções nutritivas com os valores de temperatura estabelecidos nos tratamentos. A solução das vasilhas foram continuamente arejadas e o volume e pHs ajustados diariamente. As vasilhas foram mantidas em banhos maria com temperaturas de 18°C±1°C, 24°C±1°C e 30°C±1°C, sob condição de laboratório, com controle de temperatura ambiente. O Experimento 2 também foi mantido com luz fluorescente (80 μmol.m⁻².s⁻¹) em sua totalidade.

Após 7 e 15 dias de condução do experimento, 10 plântulas de cada genótipo foram colhidas de cada vasilha e tiveram o comprimento da raiz primária central medido com o uso de régua. Tanto no Experimento 1 quanto no 2 os dados de comprimento da raiz após 7 e 15 dias de cultivo foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%. No experimento 1 foram testados (teste F a 5%) os efeitos de genótipos, os efeitos da concentração de fósforo na solução e o efeito da interação (genótipos x concentração de fósforo na solução). No experimento 2 foram testados (teste F a 5%) os efeitos de genótipos, os efeitos da temperatura da solução e o efeito da interação (genótipos x temperatura da solução).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de crescimento das raízes de genótipos de trigo durante 7 e 15 dias em soluções nutritivas com quatro diferentes concentrações de fósforo (3,875; 7,75; 15,5 e 31,0 mgL⁻¹), com pH 4,0 e temperatura de 24°C±1°C estão localizados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

As análises de variância dos crescimentos radiculares dos genótipos de trigo durante 7 e 15 dias em soluções nutritivas com quatro diferentes concentrações de fósforo mostraram efeitos significativos para genótipos e concentrações de fósforo das soluções e efeitos não significativos para as interações genótipos x concentrações de fósforo das soluções (Tabelas 1 e 2).

As médias de crescimento das raízes dos 14 genótipos considerados em conjunto durante 7 (118mm) e 15 dias (167 mm) em soluções nutritivas completas com 3,875 mgL⁻¹ de P, foram significativamente (teste de Duncan, ao nível de 5%) menores em relação às médias dos mesmos genótipos, nos mesmos períodos de crescimento em soluções com 7,75 (127 e 197 mm, respectivamente), 15,5 (134 e 206 mm, respectivamente) e 31,0 mgL⁻¹ de P (129 e 193 mm, respectivamente) (Tabelas 1 e 2). Estes dados mostraram que quantidades adequadas de fósforo resultam num rápido crescimento vegetativo das plântulas de trigo devido a grande demanda nesse estágio de desenvolvimento (LAMB, 1973) e confirmaram também os resultados obtidos por CAMARGO & FELÍCIO (1987), onde verificou-se como tendência geral um aumento do crescimento das raízes de genótipos de trigo com a elevação da concentração de fósforo das soluções nutritivas de 0 a 31 mg.L⁻¹, na ausência de alumínio.

Tabela 1 - Crescimento radicular médio de genótipos de trigo¹ durante 7 dias em soluções nutritivas completas com pH 4,0 combinadas com quatro concentrações de fósforo.

Genótipos	Concentração de P (mgL ⁻¹)			
	3,875	7,75	15,5	31,0
	mm			
6- BH-1146	140a	159a	167a	153a
23- KAUZ"S" / IAC-24 M ₂	121bc	134bc	145bc	138b
25- KAUZ"S" / IAC-24 M ₄	102e	112ef	121ef	108f
27- KAUZ"S" / IAC-24 M ₆	107de	113d-f	119f	120d-f
29- KAUZ"S" / IAC-24 M ₈	119ab	127b-e	133c-e	134bc
32- KAUZ"S"	105de	105f	116f	112ef
34- IAC-24 / TUI"S" M ₂	128ab	140b	152b	141ab
36- TUI"S" / IAC-24 M ₁	127b	141b	151b	146ab
37- TUI"S" / IAC-24 M ₂	114cd	116d-f	120ef	124c-e
39- TUI"S"	128ab	132bc	139b-d	141ab
40- IAC-287 / IAC-24 M ₁	109de	128b-d	129d-f	120d-f
41- IAC-287 / IAC-24 M ₂	112c-e	123c-e	128d-f	124c-e
42- IAC-287 / IAC-24 M ₃	112c-e	123c-e	127d-f	125cd
44- IAC-287 / IAC-24 M ₅	108de	124c-e	125ef	123c-e
Média	118C	127B	134A	129B
F (Genótipos)	14,91*			
F (Concentrações de fósforo)	15,68*			
F (Gen. X Conc. de fósforo)	0,29			

¹Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não são estatisticamente diferentes e médias de concentrações de fósforo na linha seguida por uma mesma letra maiúscula não são estatisticamente diferentes (teste de Duncan ao nível de 5%). *: significativo ao nível de 5%.

Tabela 2 - Crescimento radicular médio de genótipos de trigo¹ durante 15 dias em soluções nutritivas completas com pH 4,0 combinadas com quatro concentrações de fósforo.

Genótipos	Concentração de P (mgL ⁻¹)			
	3,875	7,75	15,5	31,0
	mm			
6- BH-1146	250a	295a	290a	282a
23- KAUZ"S" / IAC-24 M ₂	203b	233b	246b	236b
25- KAUZ"S" / IAC-24 M ₄	155c-e	181c-e	197d-f	191cd
27- KAUZ"S" / IAC-24 M ₆	157c-e	191cd	208c-e	188cd
29- KAUZ"S" / IAC-24 M ₈	172b-e	206bc	224b-d	205bc
32- KAUZ"S"	141de	156de	182ef	153d
34- IAC-24 / TUI"S" M ₂	175b-e	207bc	225b-d	208bc
36- TUI"S" / IAC-24 M ₁	190bc	230b	235bc	207bc
37- TUI"S" / IAC-24 M ₂	142de	205bc	179ef	171cd
39- TUI"S"	179b-d	207bc	218b-d	211bc
40- IAC-287 / IAC-24 M ₁	142de	157de	169f	158d
41- IAC-287 / IAC-24 M ₂	144de	151e	173f	159d
42- IAC-287 / IAC-24 M ₃	134e	160de	165f	167cd
44- IAC-287 / IAC-24 M ₅	157c-e	180c-e	178ef	169cd
Média	167C	197AB	206A	193B
F (Genótipos)	18,21*			
F (Concentrações de fósforo)	14,55*			
F (Gen. X Conc. de fósforo)	0,24			

¹Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não são estatisticamente diferentes e médias de concentrações de fósforo na linha seguida por uma mesma letra maiúscula não são estatisticamente diferentes (teste de Duncan ao nível de 5%). *: significativo ao nível de 5%.

O genótipo 6 (BH-1146) mostrou o maior crescimento médio das raízes (140 mm) durante 7 dias em soluções nutritivas completas com 3,875 mgL⁻¹ de P, não diferindo, somente, dos genótipos 29, 34 e 39 (Tabela 1). Nas mesmas condições os genótipos 25 (KAUZ"S" / IAC-24 M₄) exibiu o menor crescimento médio das raízes (102 mm), não diferindo apenas dos genótipos 27, 32, 40, 41, 42 e 44.

O genótipo 6 mostrou o maior crescimento médio das raízes durante 7 dias em soluções nutritivas completas com

7,75 (159 mm) e 15,5 mgL⁻¹ de P (167 mm), diferindo dos demais genótipos avaliados. Nas mesmas condições em soluções nutritivas completas com 7,75 mg.L⁻¹ de P o genótipo 32 (KAUZ"S") exibiu o menor crescimento médio das raízes (105 mm), apenas não diferindo dos genótipos 25, 27 e 37. Em soluções nutritivas completas com 15,5 mgL⁻¹ de P os genótipos 27 (KAUZ"S" / IAC-24 M₆) e 32 (KAUZ"S") exibiram os menores crescimentos médios das raízes (119 e 116 mm,

respectivamente), apenas não diferindo dos genótipos 25, 37, 40, 41, 42 e 44.

Considerando-se o crescimento médio das raízes durante 7 dias em soluções nutritivas com $31,0 \text{ mgL}^{-1}$ de P, verificou-se que o genótipo 6 mostrou as raízes mais

compridas (153 mm) não diferindo somente dos genótipos 34, 36 e 39. Nas mesmas condições o genótipo 25 mostrou o menor crescimento médio das raízes (108 mm), não diferindo apenas dos genótipos 27, 32 e 40.

Tabela 3 - Crescimento radicular médio de genótipos de trigo¹ durante 7 dias em soluções nutritivas completas com pH 4,0 e temperaturas de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Genótipos	Temperatura		
	$18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$	$24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$	$30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$
	mm		
6- BH-1146	141a	153a	180a
23- KAUZ"S" / IAC-24 M ₂	118c	132c-e	146b-d
25- KAUZ"S" / IAC-24 M ₄	101f	113fg	112fg
27- KAUZ"S" / IAC-24 M ₆	98fg	117fg	127ef
29- KAUZ"S" / IAC-24 M ₈	110e	134b-e	147bc
32- KAUZ"S"	94g	111g	107g
34- IAC-24 / TUI"S" M ₂	119c	139bc	145b-d
36- TUI"S" / IAC-24 M ₁	129b	147ab	154b
37- TUI"S" / IAC-24 M ₂	102f	117fg	131de
39- TUI"S"	110e	137b-d	147bc
40- IAC-287 / IAC-24 M ₁	111de	121e-g	129e
41- IAC-287 / IAC-24 M ₂	114c-e	116fg	132c-e
42- IAC-287 / IAC-24 M ₃	117cd	123e-g	125ef
44- IAC-287 / IAC-24 M ₅	111de	125d-f	129e
Média	113A	127B	136C
F (Genótipos)	15,63*		
F (Temperatura)	52,94*		
F (Genótipos x Temperaturas)	0,90		

¹Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não são estatisticamente diferentes e médias de temperatura na linha seguida por uma mesma letra maiúscula não são estatisticamente diferentes (teste de Duncan ao nível de 5%).
*: significativo ao nível de 5%.

Tabela 4 - Crescimento radicular médio de genótipos de trigo¹ durante 15 dias em soluções nutritivas completas com pH 4,0 e temperaturas de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Genótipos	Temperatura		
	$18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$	$24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$	$30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$
	mm		
6- BH-1146	269a	297a	365a
23- KAUZ"S" / IAC-24 M ₂	230b	222b	267b
25- KAUZ"S" / IAC-24 M ₄	171fg	186b-e	182cd
27- KAUZ"S" / IAC-24 M ₆	181d-g	183b-e	181cd
29- KAUZ"S" / IAC-24 M ₈	197c-f	217bc	220c
32- KAUZ"S"	152g	162e	158d
34- IAC-24 / TUI"S" M ₂	217bc	221b	190cd
36- TUI"S" / IAC-24 M ₁	208b-d	212b-d	221c
37- TUI"S" / IAC-24 M ₂	170fg	171de	192cd
39- TUI"S"	202b-e	224b	267b
40- IAC-287 / IAC-24 M ₁	172e-g	173c-e	153d
41- IAC-287 / IAC-24 M ₂	185d-f	183b-e	148d
42- IAC-287 / IAC-24 M ₃	184d-f	172c-e	166d
44- IAC-287 / IAC-24 M ₅	193c-f	207b-e	158d
Média	195A	202A	205A
F (Genótipos)	13,88*		
F (Temperatura)	1,06		
F (Genótipos x Temperaturas)	1,27		

¹Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não são estatisticamente diferentes e médias de temperatura na linha seguida por uma mesma letra maiúscula não são estatisticamente diferentes (teste de Duncan ao nível de 5%).
*: significativo ao nível de 5%.

Durante 15 dias de crescimento em soluções completas com $3,875$; $7,75$; $15,5$ e $31,0 \text{ mgL}^{-1}$ de P, o genótipo 6 exibiu as raízes mais compridas (250, 295, 290 e 282 mm,

respectivamente), diferindo dos demais genótipos (Tabela 2). Nas mesmas condições considerando-se soluções completas com $3,875 \text{ mgL}^{-1}$ de P, o genótipo 42 (IAC-287 / IAC-24 M₃)

mostrou o menor crescimento radicular (134 mm), diferindo apenas, dos genótipos 6, 23, 36 e 39. Quando levou-se em consideração soluções completas com $7,75 \text{ mgL}^{-1}$ de P, o genótipo 41 (IAC-287 / IAC-24 M₂) apresentou as raízes mais curtas (151 mm) somente não diferindo dos genótipos 25, 32, 40, 42 e 44. As linhagens mutantes 40, 41 e 42 tiveram as raízes mais curtas (169, 173 e 165 mm, respectivamente) quando desenvolveram em soluções nutritivas completas com $15,5 \text{ mgL}^{-1}$ de P, não diferindo dos genótipos 25, 32, 37 e 44 e os genótipos 32, 40 e 41 mostraram as raízes mais curtas (153, 158 e 159 mm, respectivamente) quando desenvolveram em soluções nutritivas completas com $31,0 \text{ mgL}^{-1}$ de P, não diferindo dos genótipos 25, 27, 37, 42 e 44.

Levando-se em consideração os dados contantes das tabelas 1 e 2 observou-se que os genótipos 6, 23, 29, 34, 36 e 39 apresentaram os maiores e os genótipos 25, 27, 32, 37, 40, 41, 42 e 44 os menores crescimentos das raízes independentemente das concentrações de fósforo das soluções e dos períodos de desenvolvimento dos genótipos nas soluções.

Os dados de crescimento das raízes de genótipos de trigo durante 7 e 15 dias em soluções nutritivas completas, empregando-se três diferentes temperaturas ($18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) estão localizados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

As análises de variância dos crescimentos radiculares dos genótipos de trigo durante 7 e 15 dias em soluções nutritivas completas combinadas com três temperaturas mostraram efeitos significativos para genótipos e efeitos não significativos para as interações genótipos x temperaturas. Os efeitos de temperatura foram significativos somente quando considerou-se o período de 7 dias de crescimento nas soluções.

As médias de crescimento das raízes dos 14 genótipos considerados em conjunto durante 7 dias (113 mm) em soluções nutritivas com $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ foram significativamente (teste de Duncan, ao nível de 5%) menores em relação às médias dos mesmos genótipos, nos mesmos períodos com $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (136 mm). Estes dados não concordam com os obtidos por CAMARGO (1983), onde verificou-se como tendência geral uma diminuição do crescimento das raízes de genótipos de trigo com o aumento da temperatura de 22 para $34^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, nas soluções nutritivas de tratamento contendo diferentes concentrações de alumínio.

O genótipo 6 mostrou o maior crescimento médio das raízes durante 7 dias em soluções nutritivas completas com temperatura de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (141 mm), $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (153 mm) e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (180 mm) diferindo dos demais genótipos avaliados (Tabela 3) com exceção do genótipo 36 quando considerou-se a temperatura de $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. Nas mesmas condições o genótipo 32 exibiu o menor crescimento médio das raízes em soluções nutritivas completas com temperatura de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (94 mm), $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (111 mm) e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (107 mm) diferindo dos demais genótipos avaliados (Tabela 3) com exceção do genótipo 27, considerando a temperatura de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, dos genótipos 25, 27, 37, 40, 41 e 42 na temperatura de $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 25 na temperatura de $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Não foram verificadas diferenças significativas entre as temperaturas quando considerou-se em conjunto os 14 genótipos durante 15 dias de crescimento. Em soluções completas com temperaturas de 18, 24 e $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ o genótipo 6 exibiu as raízes mais compridas (269, 297 e 365 mm, respectivamente), diferindo dos demais genótipos avaliados (Tabela 4). Nas mesmas condições o genótipo 32 mostrou o menor crescimento radicular (152 e 162 mm,

respectivamente), em soluções completas com temperaturas de 18 e $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ não diferindo apenas, dos genótipos 25, 27, 37 e 40 quando considerou-se a temperatura das soluções de $18^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e dos genótipos 25, 27, 37, 40, 41, 42 e 44 na temperatura das soluções de $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. Nas mesmas condições os genótipos 32, 40, 41, 42 e 44 exibiram as raízes mais curtas variando de 148 a 166 mm, apenas não diferindo dos genótipos 25, 27, 34 e 37, na temperatura de $30^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ das soluções.

Levando-se em consideração os dados constantes das Tabelas 3 e 4 observou-se que os genótipos 6, 23, 29, 34, 36 e 39 apresentaram os maiores e os genótipos 25, 27, 32, 37, 40, 41, 42 e 44 os menores crescimentos das raízes nas soluções nutritivas completas, independentemente da temperatura e do período de desenvolvimento dos genótipos nas soluções.

O crescimento radicular médio dos genótipos avaliados aumentou à medida em que se elevou a concentração de fósforo ou a temperatura das soluções nutritivas. O comportamento relativo do crescimento radicular de cada genótipo não diferiu dos demais em função das concentrações de fósforo e das temperaturas das soluções em que cresceram. Este fato foi confirmado pela não significância das interações genótipos x concentrações de fósforo e genótipos x temperaturas das soluções nutritivas.

Levando-se em consideração os dados contantes das Tabelas 1 a 4 verificou-se que os genótipos que apresentaram raízes mais compridas e os que mostraram as raízes mais curtas após 7 ou 15 dias de cultivo, mantiveram estas características considerando as diferentes soluções nutritivas empregadas no Experimento 1, onde variaram as concentrações de fósforo, e no Experimento 2, onde houve variações nas temperaturas.

Os resultados obtidos indicaram a possibilidade de ser possível avaliar com sucesso genótipos de trigo, após 7 dias de cultivo em solução nutritiva, com reduzida concentração de fósforo e temperatura variando de 18 a 30°C . Assim, as plantas selecionadas nessas condições poderiam ser cultivadas em solos ácidos, onde o subsolo tem baixa concentração de fósforo e bases, além do pH estar próximo de 4,0, como no Sul do Estado de São Paulo, tradicional região tritícola.

Este método seria mais simples do que o já usado como rotina no programa de melhoramento de trigo do IAC para a avaliação de genótipos tolerantes à toxicidade de alumínio onde os sintomas de toxicidade de alumínio (paralisação do crescimento do meristema apical das raízes primárias das plantas) em solução nutritiva poderiam ser obtidos tanto por um aumento da concentração de alumínio, mantendo-se constante a concentração de fósforo e a temperatura das soluções tratamento, quanto pela elevação da concentração de fósforo ou da temperatura, mantendo-se constante a concentração de alumínio, para todos os cultivares estudados (CAMARGO, 1983; CAMARGO & FELICIO, 1987).

Os dados obtidos no presente trabalho sugerem que o crescimento radicular seja controlado geneticamente. Para estudar a herança desta característica seria necessário realizar cruzamentos entre os genótipos contrastantes em relação ao crescimento radicular no estágio de plântula. A avaliação das populações segregantes desses cruzamentos, poderiam dar informações necessárias para serem utilizadas no futuro, visando a seleção de genótipos exibindo raízes mais compridas nos estádios iniciais de desenvolvimento, promovendo um melhor desempenho da cultura do trigo, quando da ocorrência de estresse hídrico.

CONCLUSÕES

1. Grande variabilidade genética foi observada entre os genótipos de trigo avaliados para crescimento das raízes primárias nos primeiros estádios de desenvolvimento nas soluções nutritivas.

2. Genótipos de trigo poderiam ser selecionados com sucesso em relação ao crescimento das raízes primárias, empregando-se soluções nutritivas com baixa concentração de fósforo (solo ácido) e temperatura variando de 18 a 30°C, durante 7 a 15 dias de cultivo.

3. O genótipo 6 exibiu potencial genético para maior crescimento radicular e os genótipos 25, 27, 32, 37, 40, 41, 42 e 44 para reduzido crescimento radicular nos primeiros estádios de desenvolvimento, condição essa específica desses genótipos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), Viena, Austria pelo apoio financeiro ao projeto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de produtividade científica.

ABSTRACT

Fourteen wheat genotypes (mutant lines and cultivars) were evaluated in relation to the primary root growth during 7 and 15 days of development in nutrient solutions, at the laboratory conditions, through two experiments, in randomized block design, with two replications each one. In the first were used solutions with four different phosphorus concentrations (3.875, 7.75, 15.5 e 31.0 mgL⁻¹), with pH 4.0 and temperature 24 ± 1°C and in the second, solutions with pH 4.0 and three different temperatures (18°C±1°C, 24°C±1°C and 30°C±1°C) were utilized. The analysis of variance of genotype root growth means for 7 and 15 days, in the two experiments, showed significant effects for genotype and non-significant effects for the genotype x phosphorus concentration or temperature interactions. Genetic variability was observed among the evaluated genotypes in relation to primary root growth in the first stages of development in nutrient solutions independently of the phosphorus concentration, temperature and period of growth. The genotype 6 presented genetic potential for high root growth and the genotypes 25 (KAUZ"S" / IAC-24 M₄), 27 (KAUZ"S" / IAC-24 M₆), 32 (KAUZ"S"), 37 (TUI"S" / IAC-24 M₂), 40 (IAC-287 / IAC-24 M₁), 41 (IAC-287 / IAC-24 M₂), 42 (IAC-287 / IAC-24 M₃) and 44 (IAC-287 / IAC-24 M₄) showed reduced root growth in the first stages of development. Successful selections would be possible for primary root growth, using nutrient solutions with low phosphorus concentration and temperature varying from 18 to 30°C, during 7 to 15 days.

Key words: *Triticum aestivum* L., root growth, cultivars, mutant inbred lines.

REFERÊNCIAS

BENITEZ, A. L. Influence of aluminum toxicity in intergeneric crosses of wheat and rye. 1977. 102f. (Thesis – Doctorate). Oregon State University, Corvallis.
CAMARGO, C.E. de O. Efeito da temperatura da solução nutritiva na tolerância ao alumínio de cultivares de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.42, p. 51-63, 1983.
CAMARGO, C.E. de O. A concentração de fósforo na tolerância de cultivares de trigo à toxicidade ao alumínio em soluções nutritivas. **Bragantia**, Campinas, v.44, n.1, p. 49-64, 1985.

CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C. Trigo, triticale e centeio: avaliação da eficiência ao fósforo e tolerância à toxicidade ao alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.46, n.2, p. 203-215, 1987.

CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P. São Paulo State Brazil Wheat Pool. In: BONJEAN, A.P. & ANGUS, W.J., (Ed). **The World Wheat Book - A History of Wheat Breeding**. Paris, 2000. Cap. 21, p. 549-577.

CAMARGO, C.E. de O.; FELICIO, J.C.; FERREIRA-FILHO, A.W.P. **Variedades de trigo para o Estado de São Paulo**, Campinas : Instituto Agronômico, 1996. 20p. (Boletim Técnico, 163)

CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; RAMOS, L.C. da S. et al. Primary root growth: genetics and differential among wheat mutant lines in nutrient solutions. In: **First research co-ordination Meeting of FAO/IAEA co-ordinated research project on mutational analysis of root characters in annual food plants related to plant performance 2000**. Viena. Report. Viena: International Atomic Energy Agency. 2002. p.43-46.

CAMARGO, C.E. de O.; TULMANN NETO, A.; FERREIRA FILHO, A.W.P. et al. Novos genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtidos por irradiação gama. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, n.3, p. 195-202, 1997.

CAMARGO, C.E. de O.; OLIVEIRA, O.F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. **Bragantia**, Campinas, v.40, p. 21-31, 1981.

CAMPBELL, L.G.; LAFEVER, H.N. Correlation of field and nutrient culture techniques of screening wheat for aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, 1976, Beltsville. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1976. P.277-286.

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**, Madison, v.57, p. 413-417, 1965.

LAMB, C. A. Physiology. In: BQUISENBERRY, K. S. & REITZ, L. P. (Ed). **Wheat and Wheat Improvement**. Madison, 1973. Cap. 5, p. 181-223.

MOORE, D.P. Physiological effects of pH on plant roots. In: CARSON, E.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, VA : University Press of Virginia, 1974. p.135-151.

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. 1976, Beltsville. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1976. p.287-295.

TULMANN NETO, A.; CAMARGO, C.E. de O.; ALVES, M.C. et al. Indução de mutação visando a redução de altura de planta e resistência às doenças no cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) IAC-17. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.287-293, 1995a.

TULMANN NETO, A.; CAMARGO, C.E. de O.; ALVES, M.C. et al. Indução de mutação visando a obtenção de resistência às doenças na cultivar de trigo IAC-24. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.497-504, 1995b.

TULMANN NETO, A.; CAMARGO, C.E. de O.; CASTRO, J.L. de et al. New Wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes tolerant to aluminum toxicity obtained by mutation breeding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.61-70, 2001.

TULMANN NETO, A.; CAMARGO, C.E. de O.; PETTINELLI JUNIOR, A. et al. Plant height reduction and disease resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar IAC-18 by gamma irradiation-induced mutations. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.19, n.2, p.275-281, 1996.