

TRIGO, TRITICALE E CENTEIO: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA AO FÓSFORO E TOLERÂNCIA À TOXICIDADE AO ALUMÍNIO (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2, 3) e JOÃO CARLOS FELÍCIO (2, 3)

RESUMO

Com o objetivo de estudar a eficiência da utilização de fósforo e a tolerância à toxicidade ao alumínio, instalou-se um experimento empregando os cultivares de trigo BH-1146, Anahuac, IAC-5, IAC-24 e IAC-21; o de triticales TCEP 77138 e o de centeio Branco, em soluções nutritivas contendo cinco níveis de fósforo (0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31 mg/litro) combinados com cinco níveis de alumínio (0, 1, 3, 6 e 10 mg/litro). A eficiência ao fósforo foi avaliada levando-se em consideração a produção de matéria seca e a quantidade de P nela presente, e a tolerância ao alumínio, com base no comprimento máximo das raízes após doze dias de crescimento em soluções nutritivas. O cultivar de centeio e o de triticales mostraram maior tolerância ao alumínio. Os cultivares de trigo BH-1146, IAC-21, IAC-5 e IAC-24 apresentaram-se como tolerantes e Anahuac, como sensível. O sintoma da toxicidade de alumínio ficou acentuado pelo aumento das concentrações de alumínio e fósforo para todos esses cultivares. 'IAC-5' foi considerado eficiente na utilização de fósforo; 'IAC-21' e 'IAC-24', moderadamente eficientes, e 'Anahuac', ineficiente, em soluções contendo baixos níveis de fósforo na presença de Al^{3+} .

Termos de indexação: trigo, triticales, centeio, cultivares; tolerância ao alumínio, eficiência ao fósforo, comprimento da raiz, peso seco da parte aérea, solução nutritiva.

(1) Com recursos complementares do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria da Agricultura, por meio do Instituto Agrônomo. Apresentado na XIV Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Londrina (PR), julho de 1986. Recebido para publicação em 28 de julho de 1988.

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

(3) Com bolsa de pesquisa do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A triticultura brasileira, em sua grande parte, instala-se em solos ácidos, com elevados teores de alumínio trocável ou solúvel e baixa disponibilidade de fósforo, apresentando, nessas condições, baixa produtividade.

O alumínio no solo ácido paralisa a divisão celular no meristema apical das raízes, resultando em drástica redução no sistema radicular (MOORE et al., 1976). Essa característica tem sido usada como um critério para a toxicidade de alumínio, e a resposta diferencial das raízes, para avaliar a variação genética na tolerância ao alumínio (ALI, 1973, e FOY et al., 1974).

O 'BH-1146' mostrou produção significativamente superior aos cultivares Tobarí-66, Alondra-S-46, IAC-17 e Siete Cerros em solo ácido sem calcário, confirmando a sua tolerância ao alumínio, em solução nutritiva. A tolerância à toxicidade de alumínio é um fator importante para garantir bom desenvolvimento do sistema radicular do trigo: permite a obtenção de água em maior profundidade em condições de seca, onde o cultivar suscetível não sobreviveria, dada a inibição pelo alumínio do crescimento do sistema radicular além da camada superficial do solo, a qual em geral é corrigida (CAMARGO & OLIVEIRA, 1981).

A toxicidade de alumínio não é o único fator limitante em solos ácidos; portanto, os métodos de separação de plantas tolerantes e suscetíveis 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).

Foi demonstrado em soluções nutritivas que os cultivares de triticales foram mais tolerantes que os de trigo, a 5 mg/litro de Al^{3+} . Todos eles foram sensíveis a 10 mg por litro de Al^{3+} e os dois de centeio, Goyarowo e Branco, tolerantes a 20 mg por litro de Al^{3+} (CAMARGO & FELÍCIO, 1984).

GABELMAN, 1976, GERLOFF, 1976, e WHITEAKER et al., 1976, estudando 54 cultivares de feijão em soluções nutritivas contendo 2 ppm de P por planta, separaram os cultivares nas seguintes classes: eficientes, moderadamente eficientes e ineficientes, com base no peso seco da parte aérea e na proporção da eficiência do emprego de fósforo (PER), definida como miligrama de matéria seca produzida por miligrama de P no tecido. Esses autores também verificaram, estudando os mesmos cultivares em soluções contendo 31 e 62 mg de P por planta, que alguns deles apresentavam aumento de crescimento quando o P da solução aumentava para os níveis mais elevados, enquanto outras linhagens não mostravam resposta.

Os cultivares de trigo IAC-5, IAS-20, BH-1146 e IAC-17 foram considerados eficientes na utilização de fósforo; IAC-18, IAC-13 e IAC-15, moderadamente eficientes, e Siete Cerros, INIA-66 e Alondra-S-46, ineficientes, levando-se em

consideração a produção de matéria seca da parte aérea e a proporção entre a produção de matéria seca da parte aérea e a quantidade de P nela presente para as soluções contendo 3,875 mg/litro de P (CAMARGO, 1984). O 'IAC-5', eficiente na utilização e absorção de fósforo em baixas concentrações desse elemento na solução nutritiva e no solo, poderia ser cultivado em solos com baixa disponibilidade de fósforo: à medida que a concentração desse elemento aumentasse por práticas de adubação fosfatada, o cultivar responderia elevando a produtividade.

O presente trabalho teve por objetivo estudar o comportamento de cultivares de trigo, triticale e centeio em relação à eficiência à utilização de fósforo e à tolerância à toxicidade de alumínio em solução nutritiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Estudaram-se os cultivares de trigo BH-1146, Anahuac, IAC-5, IAC-21 e IAC-24; o de centeio Branco e o de triticale TCEP 77138, em soluções nutritivas contendo cinco níveis de alumínio combinados com cinco níveis de fósforo.

Colocaram-se as sementes desses cultivares, cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10%, para germinar em caixas de Petri por 24 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Escolheram-se 15 sementes uniformes de cada cultivar, colocando-as sobre a superfície de 25 telas de náilon, que foram adaptadas sobre 25 vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade com soluções nutritivas contendo um décimo da concentração da solução nutritiva completa com 0, 1, 3, 6 e 10 mg por litro de Al^{3+} combinados com 0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31 mg por litro de fósforo.

Como controle, escolheram-se 10 e 15 sementes de cada cultivar, pondo-as sobre o topo de duas telas de náilon: uma delas, em contacto com solução nutritiva completa e, a outra, com água destilada, existentes em vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade.

A composição da solução nutritiva completa utilizada foi a seguinte: $Ca(NO_3)_2$ 4mM; $MgSO_4$ 2mM; KNO_3 4mM; $(NH_4)_2SO_4$ 0,435mM; KH_2PO_4 0,5mM; $MnSO_4$ 2 μ M; $CuSO_4$ 0,3 μ M; $ZnSO_4$ 0,8 μ M; NaCl 30 μ M; Fe-CYDTA 10 μ M; Na_2MoO_4 0,1 μ M e H_3BO_3 10 μ M. A composição da solução de tratamento foi de um décimo da completa. Adicionou-se o fósforo como KH_2PO_4 , de modo a obter soluções tratamentos com 0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31 mg/litro de fósforo, e, o ferro, em quantidade equivalente à da solução completa como $FeCl_3$ no lugar de Fe-CYDTA. Antes de pôr as sementes sobre as telas, adicionou-se suficiente H_2SO_4 1N nas soluções de tratamento, para trazer o pH para cerca de 4,2 e a necessária quantidade de alumínio como $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. O pH final foi ajustado para 4,0 com uma solução de H_2SO_4 1N, evitando-se adicionar NaOH, que poderia causar a precipitação do alumínio, pelo menos no local de queda da gota.

As soluções foram continuamente arejadas, ficando as vasilhas plásticas em banho-maria a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Durante todo o experimento, que foi mantido com luz fluorescente em sua totalidade, o pH das soluções foi conservado o mais próximo possível de 4,0, com ajustamentos diários.

As plantas desenvolveram-se nas diferentes soluções de tratamento por doze dias. Decorrido esse período, foram retiradas das soluções, determinando-se o crescimento máximo da raiz primária central de cada plântula, em milímetro.

O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com duas repetições: as parcelas foram compostas pelas cinco concentrações de fósforo combinadas com as cinco concentrações de alumínio e, as subparcelas, pelos diferentes cultivares de trigo, centeio e triticale. Analisaram-se os dados, considerando-se a média do crescimento máximo da raiz primária central das 15 e 10 plântulas de cada cultivar, respectivamente, na primeira e na segunda repetição. A comparação entre as médias de crescimento máximo da raiz dos cultivares submetidos a uma mesma concentração de alumínio, independente do nível de fósforo utilizado, foi feita pelo teste de Tukey.

Separaram-se as raízes das partes aéreas de cada cultivar submetido a crescimento nas soluções com 0 mg por litro de Al^{3+} e 3 mg por litro de Al^{3+} , combinadas com cinco concentrações de fósforo. Juntaram-se as partes aéreas das duas repetições, colocando-as para secar em estufa, a 70°C , por cinco dias, determinando-se então os respectivos pesos secos em miligrama. As folhas (parte aérea) dos cultivares Anahuac, IAC-5, IAC-21 e IAC-24 foram analisadas quimicamente quanto ao teor de P, segundo o método de BATAGLIA et al. (1978).

Para expressar a eficiência do uso de fósforo de cada um desses cultivares submetidos a crescimento em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações desse elemento na presença e na ausência de Al^{3+} , adotou-se o critério citado por WHITEAKER et al. (1976): a proporção da eficiência da utilização de fósforo (PER), portanto, foi calculada pela divisão entre o peso seco da parte aérea em miligrama e a quantidade em miligrama de P presente nesses tecidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento médio das raízes e o peso seco de 25 plântulas de cinco cultivares de trigo, um de triticale e um de centeio, medido após doze dias de crescimento em solução nutritiva completa e em água destilada na ausência de nutrientes, encontram-se no quadro 1.

Pelo teste de Tukey ao nível de 5% para a comparação dos diferentes cultivares que cresceram doze dias em soluções nutritivas completas, 'BH-1146' mostrou as raízes mais compridas, não diferindo, porém, do 'IAC-5' e 'IAC-21'. Quando se empregou água destilada, o 'BH-1146' também apresentou as raízes mais compridas, diferindo, ao nível de 5%, pelo teste de Tukey, do 'Anahuac' e

dos cultivares de centeio e triticale. Essas observações confirmaram resultados anteriores. CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e CAMARGO & FREITAS (1985) mostraram que, em uma solução com $\text{pH} = 4,0$, na ausência de níveis tóxicos de ferro e alumínio, o 'BH-1146' apresentou o seu potencial genético no crescimento rápido das raízes, condição essa específica de cada genótipo.

O comprimento médio das raízes de cinco cultivares de trigo, um de triticale e um de centeio, medido após doze dias de crescimento em soluções nutritivas contendo cinco níveis de fósforo combinados com cinco níveis de alumínio, encontram-se no quadro 2. Pela análise estatística desse experimento, pelo teste F, houve efeitos altamente significativos de concentrações de alumínio, cultivares e interações concentrações de Al x concentrações de P, cultivares x concentrações de P, cultivares x concentrações de Al e cultivares x concentrações de P x concentrações de Al. Não se verificou efeito significativo de concentrações de P.

Considerando as médias dos diferentes cultivares estudados em soluções contendo 0 mg/litro de Al^{3+} , independente das concentrações de P utilizadas, não houve diferenças significativas, levando em consideração o comprimento médio das raízes.

QUADRO 1. Comprimento médio das raízes e peso seco da parte aérea de 25 plântulas de cinco cultivares de trigo, um de triticale e um de centeio, medido após 12 dias de crescimento em solução nutritiva completa e em água destilada na ausência de nutrientes

Cultivares	Solução nutritiva completa		Água destilada	
	Comprimento da raiz	Parte aérea	Comprimento da raiz	Parte aérea
	mm	mg	mm	mg
BH-1146	247,7	750	30,6	464
Anahuac	166,0	430	17,5	301
IAC-5	211,8	750	22,6	388
IAC-21	227,3	683	24,7	400
IAC-24	171,3	449	21,4	303
TCEP 77138	157,7	500	16,7	299
Branco	159,7	369	17,6	229
D.M.S.(¹)	62,1		9,5	

(¹) Diferenças mínimas significativas ao nível de 5% para a comparação das médias de comprimento das raízes dos cultivares de trigo.

QUADRO 2. Comprimento médio das raízes de cinco cultivares de trigo, um de triticale e um de centeio, medido após 12 dias de crescimento em soluções nutritivas com um décimo da concentração salina da solução completa contendo cinco níveis de fósforo combinados com cinco níveis de alumínio

Cultivares	Concentração de fósforo mg/l	Concentração de Al ³⁺ (mg/l)									
		0		1		3		6		10	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
BH-1146	0	155,9	100	126,5	81	97,3	62	46,8	30	29,6	19
	3,1	170,1	100	105,3	62	112,8	66	45,6	27	25,5	15
	6,2	169,3	100	120,8	71	117,2	69	51,2	30	28,3	17
	12,4	149,5	100	163,8	110	108,0	72	28,3	19	13,8	09
	31,0	166,8	100	209,4	126	106,8	64	10,5	06	13,8	08
Anahuac	0	114,8	100	12,7	11	9,9	09	11,8	10	8,8	08
	3,1	158,2	100	10,7	07	13,3	08	13,1	08	8,6	05
	6,2	158,1	100	20,6	13	12,8	08	9,7	06	7,4	05
	12,4	155,6	100	53,0	34	11,1	07	8,9	06	9,5	06
	31,0	136,6	100	87,3	64	13,5	10	9,2	07	6,1	04
IAC-5	0	141,2	100	139,3	99	70,2	50	37,6	27	24,4	17
	3,1	166,9	100	103,9	62	101,1	61	34,3	21	16,3	10
	6,2	159,8	100	95,3	60	91,3	57	41,9	26	24,2	15
	12,4	133,5	100	132,2	99	107,6	81	20,6	15	17,2	13
	31,0	143,6	100	140,2	98	94,9	66	14,4	10	15,4	11
IAC-24	0	101,5	100	89,5	88	73,6	73	39,6	39	16,9	17
	3,1	113,6	100	75,3	66	78,8	69	39,5	35	27,6	24
	6,2	121,2	100	90,6	75	78,9	65	45,4	37	19,7	16
	12,4	116,7	100	80,6	69	89,1	76	28,0	24	12,9	11
	31,0	113,7	100	105,2	93	74,8	66	17,1	15	11,6	10
IAC-21	0	117,0	100	133,9	114	85,9	73	34,7	30	23,0	20
	3,1	149,4	100	106,7	71	89,3	60	34,9	23	20,7	14
	6,2	144,5	100	106,1	73	87,3	60	49,7	34	23,4	16
	12,4	136,0	100	132,8	98	94,6	70	28,5	21	14,5	11
	31,0	125,5	100	172,8	138	85,4	68	16,4	13	13,4	11
TCEP 77138	0	123,1	100	115,7	94	113,3	92	63,5	52	53,8	44
	3,1	124,4	100	111,8	90	121,5	98	60,9	49	53,7	43
	6,2	137,8	100	140,6	102	128,8	93	56,3	41	46,9	34
	12,4	124,9	100	135,0	108	125,3	100	28,2	23	33,4	28
	31,0	106,7	100	119,2	112	104,3	98	18,7	18	8,3	08
Branco	0	110,2	100	141,1	128	119,4	108	49,5	45	55,2	50
	3,1	106,1	100	118,1	111	106,3	100	59,5	56	53,0	50
	6,2	109,1	100	139,5	128	89,8	82	77,8	71	53,2	49
	12,4	110,9	100	161,8	146	138,7	125	31,4	28	52,3	47
	31,0	95,9	100	96,9	101	150,9	157	45,3	47	23,9	25
D.M.S. (1)		62,1		36,0		31,5		13,5		12,2	

(1) Diferenças mínimas significativas ao nível de 5% para a comparação das médias dos cultivares dentro de uma mesma concentração de alumínio, independente do nível de fósforo utilizado.

Considerando 1 mg/litro de Al^{3+} , todos os cultivares apresentaram uma tendência de aumentar o crescimento das raízes à medida que se elevaram as concentrações de P nas soluções. As diferenças no crescimento das raízes na presença de 0 e 31 mg por litro de P somente foram significativas para os cultivares BH-1146 e Anahuac. Este foi o mais sensível com a adição de 1 mg por litro de Al^{3+} nas soluções de tratamento, diferindo estatisticamente dos demais quando se utilizaram as concentrações de 0; 3,1 e 6,2 mg/litro de P. Com a adição de 31 mg por litro de P, o 'Anahuac' recuperou em parte o crescimento de suas raízes, diferindo significativamente somente dos cultivares mais tolerantes a 1 mg/litro de Al: BH-1146, IAC-5 e IAC-21.

Nas soluções contendo 3 mg/litro de Al^{3+} , não houve efeito significativo da elevação da concentração de P no crescimento das raízes, com exceção do cultivar de centeio, que apresentou um crescimento significativo quando a concentração de P aumentou de 3,1 para 31,0 mg/litro. 'Anahuac' foi o mais sensível a essa concentração de Al, diferindo de todos os outros. O 'Branco' foi o mais tolerante a 3 mg/litro de Al^{3+} , diferindo significativamente dos demais com a adição de 31,0 mg/litro de P.

Quando se adicionaram 6 mg/litro de Al^{3+} , verificou-se, para todos os cultivares, à exceção do Anahuac, um decréscimo significativo no crescimento das raízes à medida que se elevou a concentração de fósforo de 0 para 31,0 mg/litro nas soluções. O 'TCEP 77138' foi o mais tolerante a 6 mg/litro de Al^{3+} quando não se adicionou P, apresentando as raízes mais compridas, diferindo pelo teste de Tukey a 5% dos demais cultivares, porém não diferindo do centeio 'Branco' quando se adicionaram 3,1 mg/litro de P nas soluções; apresentou, todavia, um crescimento radicular significativamente superior ao dos demais. O 'Branco' diferiu dos demais quando se colocaram 6,2 mg/litro de P nas soluções, sendo, nessas condições, o mais tolerante a 6 mg/litro de Al^{3+} . Esses resultados estão de acordo com os obtidos por CAMARGO & FELÍCIO (1984): os cultivares de centeio estudados foram mais tolerantes à toxicidade de Al^{3+} do que os de tritcale e, estes, mais tolerantes aos de trigo. O centeio 'Branco' somente diferiu de 'Anahuac' com a adição de 12,4 mg/litro de P na solução, porém apresentou o maior crescimento das raízes na presença de 31,0 mg/litro de P, diferindo dos demais e confirmando a sua maior tolerância a 6 mg/litro de Al^{3+} .

Considerando as soluções que receberam 10 mg/litro de Al^{3+} , verifica-se que, com exceção dos cultivares Anahuac e IAC-24, sensíveis a essa concentração de Al^{3+} , os demais apresentaram uma redução estatisticamente significativa à medida que se elevou a concentração de fósforo da solução de 0 para 31,0 mg/litro. Nas soluções com 0; 3,1 e 6,2 mg/litro de P, os cultivares de centeio e tritcale apresentaram as raízes mais compridas, diferindo estatisticamente dos de trigo. 'BH-1146' foi o cultivar de trigo que apresentou o maior crescimento radicular na presença de 10 mg/litro de Al^{3+} e na ausência de P, diferindo, porém, do

'IAC-24 e 'Anahuac'. Quando se empregaram soluções com 12,4 mg/litro de P, o cultivar de centeio foi o mais tolerante, diferindo dos demais. Com 31 mg/litro de P, ele exibiu pequeno crescimento das raízes, porém ainda diferiu dos cultivares Anahuac, IAC-24 e TCEP 77138.

Pelos resultados obtidos, ficou demonstrado que o sintoma da toxicidade de Al^{3+} – redução do comprimento das raízes – ficou acentuado pelo aumento da concentração de alumínio e de fósforo nas soluções para todos os cultivares estudados. Eles estão de acordo com os obtidos por CAMARGO (1985); à medida que cresceram as concentrações de P das soluções, os teores de Al aumentaram nas raízes para todos os cultivares em estudo, evidenciando que, com o aumento da concentração de P, acentuou-se o efeito da toxicidade de Al^{3+} , indicando que o Al e o P ficaram acumulados interna ou externamente nas raízes.

O peso seco da matéria seca total, das raízes e da parte aérea; os teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e a eficiência na utilização de fósforo (PER), medida pela relação entre o peso seco da parte aérea e a quantidade de fósforo presente neste tecido seco de 25 plantas de cada um dos quatro cultivares de trigo estudados durante doze dias em soluções nutritivas contendo 0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31,0 mg/litro de P, na ausência de alumínio, encontram-se no quadro 3 e, na presença de 3 mg/litro de Al^{3+} , no quadro 4.

Segundo os dados obtidos, os cultivares IAC-21 e IAC-5 apresentaram, em todas as concentrações de fósforo, produções de matéria seca da parte aérea superiores ao 'IAC-24' e 'Anahuac'. Os teores de P em porcentagem na matéria seca da parte aérea aumentaram para todos os cultivares à medida que as doses de P das soluções foram aumentadas de 0 para 31,0 mg/litro de P.

Para o nível de 3,1 mg/litro de P, 'Anahuac' mostrou o maior teor de P, corroborando com WHITEAKER et al. (1976), estudando feijão, e CAMARGO (1984), estudando trigo, cujos cultivares eficientes na utilização de fósforo apresentaram concentrações mais baixas de P em relação aos ineficientes, considerando-se os baixos níveis desse nutriente nas soluções.

Na concentração de 3,1 mg/litro de P, 'IAC-21' e 'IAC-5' apresentaram os maiores valores de PER.

Com base nos resultados e levando-se em consideração a produção de matéria seca, a proporção da eficiência na utilização de fósforo (PER), as respostas na produção de matéria seca da parte aérea, à medida que se aumentaram as concentrações de P, foi possível diferenciar 'IAC-5' e 'IAC-21' como eficientes na utilização de fósforo; 'IAC-24', como moderadamente eficiente, e 'Anahuac', como ineficiente.

Na presença de 3 mg/litro de Al^{3+} os cultivares IAC-21, IAC-5 e IAC-24 apresentaram, em todas as concentrações de P, produções superiores de matéria seca da parte aérea em relação ao 'Anahuac'. Os teores de P em porcentagem na matéria seca da parte aérea também aumentaram para os quatro cultivares, à medida que se elevaram os níveis de P de 0 para 31,0 mg/litro. Para 3,1 mg/litro de P, o 'Anahuac' exibiu também o teor mais elevado de P e, o 'IAC-5', o menor.

QUADRO 3. Peso da matéria seca total, da raiz e da parte aérea; teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e eficiência na utilização de fósforo (PER) medida pela relação entre o peso seco da parte aérea (PA) e a quantidade de fósforo presente neste tecido seco de 25 plantas de cada um dos cultivares de trigo, estudados durante 12 dias em soluções nutritivas contendo 0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31,0 mg/litro de P, na ausência de alumínio

Cultivares	Concentração de fósforo	Matéria seca			Fósforo na matéria seca		PER
		Parte aérea		Raiz	da parte aérea		
		mg	mg		mg	%	
	mg/litro	mg	mg	mg	mg	mg PA/mg P	
IAC-5	0	580	270	850	0,211	1,22	474
	3,1	660	266	926	0,263	1,74	380
	6,2	720	279	999	0,335	2,41	299
	12,4	684	235	918	0,469	3,21	213
	31,0	696	244	940	0,670	4,66	149
IAC-21	0	593	244	837	0,237	1,41	421
	3,1	604	245	849	0,237	1,43	422
	6,2	697	246	943	0,273	1,90	366
	12,4	734	273	1007	0,505	3,71	198
	31,0	524	183	706	0,716	3,75	140
IAC-24	0	362	132	494	0,299	1,08	334
	3,1	366	136	501	0,351	1,28	285
	6,2	360	115	475	0,423	1,52	236
	12,4	386	136	522	0,659	2,54	152
	31,0	373	131	506	0,969	3,61	103
Anahuac	0	373	132	505	0,434	1,61	230
	3,1	441	202	643	0,443	1,96	226
	6,2	462	158	620	0,542	2,50	185
	12,4	430	160	590	0,743	3,20	135
	31,0	372	102	474	0,830	3,09	120

QUADRO 4. Peso da matéria seca total, da raiz e da parte aérea; teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e eficiência na utilização de fósforo (PER) medida pela relação entre o peso seco da parte aérea (PA) e a quantidade de fósforo presente neste tecido seco de 25 plantas de cada um dos cultivares de trigo, estudados durante 12 dias em soluções nutritivas contendo 0; 3,1; 6,2; 12,4 e 31,0 mg/litro de P, na presença de 3 mg/litro de alumínio

Cultivares	Concentração de fósforo	Matéria seca			Fósforo na matéria seca da parte aérea		PER
		Parte aérea	Raiz	Total	%	mg	
IAC-5	0	580	190	770	0,216	1,253	463
	3,1	677	219	896	0,206	1,395	485
	6,2	696	217	913	0,412	2,866	243
	12,4	690	220	910	0,381	2,629	262
	31,0	680	230	910	0,742	5,046	135
IAC-21	0	573	208	781	0,185	1,060	541
	3,1	563	208	771	0,299	1,682	334
	6,2	620	217	837	0,340	2,107	294
	12,4	596	202	798	0,474	2,826	211
	31,0	635	188	823	0,618	3,927	162
IAC-24	0	320	110	430	0,247	0,790	405
	3,1	340	130	470	0,309	1,051	324
	6,2	393	155	548	0,350	1,375	286
	12,4	369	155	524	0,288	1,063	347
	31,0	435	130	565	0,742	3,226	135
Anahuac	0	313	83	396	0,326	1,019	307
	3,1	300	120	420	0,426	1,278	235
	6,2	302	94	396	0,495	1,495	202
	12,4	292	94	386	0,460	1,342	217
	31,0	333	136	469	0,593	1,976	169

Este apresentou a maior proporção de eficiência na utilização de fósforo (PER) em relação aos demais, quando na adição de 3,1 mg/litro de P combinado com 3 mg/litro de Al^{3+} nas soluções.

O 'IAC-5' foi considerado eficiente na utilização de fósforo; 'IAC-21' e 'IAC-24', moderadamente eficientes, e 'Anahuac', ineficiente, levando-se em consideração a produção de matéria seca da parte aérea, a proporção de eficiência na utilização de fósforo (PER) no nível de 3,1 mg/litro de P combinado com 3 mg/litro de Al^{3+} nas soluções, e as respostas na produção na matéria seca da parte aérea, à medida que se aumentaram as concentrações de P.

4. CONCLUSÕES

1) A técnica empregada para o estudo diferencial de cultivares de trigo, centeio e triticale, em relação à tolerância à toxicidade de alumínio, foi de utilidade, possibilitando a separação de cultivares tolerantes e sensíveis, empregando-se somente soluções de tratamento contendo diferentes níveis de Al^{3+} , em um curto período de tempo.

2) Os cultivares de centeio, Branco, e de triticale, TCEP 77138, mostraram a maior tolerância ao alumínio, levando-se em consideração o comprimento das raízes primárias centrais após doze dias de crescimento nas soluções de tratamento contendo 10 mg/litro de Al^{3+} , independente das concentrações de P. Os de trigo, 'BH-1146', 'IAC-5', 'IAC-21' e 'IAC-24' apresentaram-se como tolerantes à toxicidade de alumínio, e o 'Anahuac', como sensível, levando-se em consideração o crescimento das raízes primárias após doze dias de crescimento nas soluções de tratamento contendo 3 mg/litro de Al^{3+} , independentemente das concentrações de P.

3) O sintoma de toxicidade de alumínio ficou acentuado para todos os cultivares, pelo aumento da concentração de alumínio e fósforo nas soluções de tratamento.

4) Os cultivares de trigo IAC-5 e IAC-21 foram considerados eficientes na utilização de fósforo; o 'IAC-24', moderadamente eficiente, e o 'Anahuac', ineficiente para as soluções contendo 3,1 mg/litro de P na ausência de Al^{3+} . Nas soluções contendo 3,1 mg/litro de P, porém na presença de 3 mg/litro de Al^{3+} , o 'IAC-5' foi considerado eficiente na utilização de P, 'IAC-21' e 'IAC-24', moderadamente eficientes e 'Anahuac', ineficiente, considerando a produção de matéria seca, a proporção de eficiência na utilização de fósforo e as respostas na produção de matéria seca da parte aérea, à medida que se aumentaram as concentrações de P nas soluções.

SUMMARY

EVALUATION OF WHEAT, TRITICALE AND RYE CULTIVARS FOR PHOSPHORUS EFFICIENCY AND TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN NUTRIENT SOLUTION

Five wheat cultivars, one triticale and one rye cultivar were studied in aerated nutrient solution with one tenth of the salt concentration of a complete nutrient solution, pH = 4.0 with five levels of aluminum (0, 1, 3, 6 and 10 mg/l) combined with five levels of phosphorus (0; 3.1; 6.2; 12.4 and 31 mg/l). As controls, it was used a complete nutrient solution and distilled water. The aluminum tolerance was evaluated by measuring the primary root length of the seedlings after a 12-days growth period in the different treatment solutions. The rye cultivar (Branco) and the triticale cultivar (TCEP 77138) were the most tolerant as far as aluminum toxicity is concerned, independently of the phosphorus concentrations into the solutions. The wheat cultivars: BH-1146, IAC-5, IAC-21 and IAC-24 exhibited Al tolerance in a lower degree when compared with rye and the triticale cultivar. Anahuac showed high sensitivity to aluminum toxicity. The wheat cultivars IAC-5 and IAC-21 were efficient in P utilization; IAC-24 was moderately efficient and Anahuac was considered an inefficient cultivar, taking into account the P efficiency ratio (PER) calculated as mg of top dry weight yield per mg of P in the top tissue when nutrient solutions containing low levels of P (3.1 mg/l) in the absence of Al^{3+} were used. Considering the nutrient solutions containing 3.1 mg/l of P combined with 3 mg/l of Al^{3+} , the cultivar IAC-5 was considered efficient in P utilization; 'IAC-21' and 'IAC-24', moderately efficient and 'Anahuac', inefficient.

Index terms: wheat, triticale, rye, cultivars; aluminum tolerance; phosphorus efficiency; phosphorus efficiency ratio; root length, top dry weight, nutrient solution.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, M.S. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill, Host). Corvallis, Oregon State University, 1973. 102f. 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, 1985.
- . Efeito de diferentes níveis de fósforo em solução nutritiva e no solo no comportamento de cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, **43**(1):63-86, 1984.
- & FELÍCIO, J.C. Tolerância de cultivares de trigo, triticale e centeio em diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **43**(1):9-16, 1984.

- CAMARGO, C.E.O. & FREITAS, J.G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **44**(1):65-75, 1985.
- & 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.
- 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, Beltsville, Maryland, 1976, edited by Madison, J. Wright – Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.277-286.
- FOY, C.D.; LAFEVER, H.N.; SCHWARTZ, J.W. & FLEMING, A.L. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agronomy Journal*, **66**:751-758, 1974.
- GABELMAN, W.H. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus and potassium efficiency. 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.205-212.
- GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. 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.161-173.
- 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.
- WHITEAKER, G.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. & LINDGREN, D. Intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. *Journal American Society for Horticultural Science*, **101**(4):472-475, 1976.