

GENÉTICA DA INSENSIBILIDADE AO ÁCIDO GIBERÉLICO EM GENÓTIPOS DE TRIGO COM DIFERENTES ESTATURAS¹

LUIZ CARLOS FEDERIZZI, FERNANDO I. F. de CARVALHO² e
MARCO ANTONIO ROTH DE OLIVEIRA³

RESUMO - Estudou-se a herança do caráter insensibilidade ao ácido giberélico em trigo (*Triticum aestivum* L.), pela análise genética de 21 cruzamentos envolvendo sete genótipos de diferentes estaturas, em todas as combinações possíveis. A análise da resposta ao ácido giberélico das populações P₁, P₂, F₁, F₂, F₃, RC₁F₁ e RC₂F₁, foi realizada em casa de vegetação, sendo utilizados 100 ppm de AG₃, e a diferença visual entre a altura da segunda e a primeira folha das plantas de trigo como indicação da resposta. A análise genética permitiu identificar um gene para a insensibilidade com dominância completa nos genótipos de baixa estatura, quando comparados com os genótipos de porte alto. Entretanto, foram identificados dois genes diferentes para a insensibilidade ao ácido giberélico entre os genótipos de reduzida estatura, sendo um presente nos genótipos BTU e ALD e o outro nos genótipos JUR e ANA.

Termos para indexação: herança, seleção, porte baixo, ácido giberélico.

GENETIC OF GIBBERELIC ACID INSENSIBILITY IN GENOTYPES OF WHEAT WITH DIFFERENT PLANT HEIGHTS

ABSTRACT - The inheritance of gibberellic acid insensibility in wheat (*Triticum aestivum* L.) was studied by genetic analysis of 21 crosses involving seven genotypes of different plant heights in all combinations. The analysis of the gibberellic acid response of P₁, P₂, F₁, F₂, F₃, RC₁F₁ e RC₂F₁ generations was realized in the greenhouse. The best isolation of the genotypes with different plant heights were obtained by the visual difference in the insertion of the second and first leaf, with 100 ppm of gibberellic acid. The genetic analysis permitted to identify one gene with complete dominance as responsible for the insensibility in the short-statured genotypes when compared with the tall ones. However, two different genes for gibberellic acid insensibility were identified in the genotypes with reduced plant heights, one gene was present in BTU and ALD and another gene was present in JUR and ANA.

Index terms: inheritance, short stature, selection, gibberellic acid

INTRODUÇÃO

O caráter insensibilidade ao ácido giberélico em trigo foi descrito pela primeira vez por Allan et al. (1959), analisando as respostas diferenciais reveladas pelos genótipos de porte baixo derivados das variedades Norin 10 e Tom Thumb, em comparação com outros genótipos de reduzida estatura e genótipos de porte alto.

A resposta diferencial observada com aplicação de ácido giberélico foi no crescimento das plântulas dos genótipos de porte alto, enquanto que as de porte baixo não revelaram nenhuma diferença no crescimento em relação às que não receberam o tratamento.

Segundo Gale & Youssefian (1985), foram descritos quatro genes maiores e independentes como responsáveis pelo caráter de insensibilidade ao ácido giberélico, embora os mais importantes sejam os alelos Gai 1 e Gai 2, provenientes da variedade Norin 10. Os outros genes descritos como insensíveis são o Gai 3, proveniente da variedade Tom Thumb, e o Gai 10, da variedade chinesa Ai-bian 1.

Da mesma forma que ocorre com os principais genes para a redução da estatura da planta

¹ Aceito para publicação em 6 de fevereiro de 1992.

Contribuição do Dep. de Plantas de Lavoura. Extraído da Tese de Mestrado do terceiro autor.

² Eng.-Agr., Ph.D., Prof., Dep. de Plantas de Lavoura, Fac. Agron.-UFRGS, Caixa Postal 7712, CEP 96001, Porto Alegre, RS. Pesquisadores do CNPq.

³ Eng.-Agr., M.Sc., OCEPAR, Cascavel, PR.

em trigo, os genes para a insensibilidade ao ácido giberélico estão localizados nos cromossomos homólogos do grupo 4. Os genes Gai 1 e Gai 3 estão localizados no cromossomo 4A, enquanto os genes Gai 2 e Gai 10 pertencem ao cromossomo 4D, correspondendo às mesmas posições reveladas pelos genes Rht 1, Rht 2, Rht 3 e Rht 10, responsáveis pela redução da estatura da planta (Gale et al. 1975a e 1975b, Gale & Marshall 1976 e Gale & Youssefian 1985).

Os genes Gai 1 e Gai 3 para a insensibilidade ao ácido giberélico, provenientes das variedades Norin 10 e Tom Thumb, respectivamente, são considerados alelos alternativos do mesmo locus no cromossomo 4A, conforme resultados obtidos por Gale & Marshall (1976). Por outro lado, os genes Gai 2 e Gai 10, localizados no mesmo cromossomo 4D, não ocupam o mesmo locus (Gale & Youssefian 1985).

Conforme Gale et al. (1975a e 1975b), Gale & Marshall (1976), Gale & Law (1977) e Gale & Youssefian (1985), os alelos Gai 1, Gai 2, Gai 3 e Gai 10 revelam uma ação gênica de dominância para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico. Entretanto, o efeito de insensibilidade é mais severo quando conferido pelo Gai 10, decrescendo para os genes Gai 3, Gai 2 e Gai 1.

A associação entre o caráter insensibilidade ao ácido giberélico e o caráter estatura da planta para os genes Gai e Rht em cruzamentos envolvendo genótipos de trigo de diferentes estaturas, foi relatada por Radley (1970), Gale & Marshall (1975), Gale et al. (1975a e 1975b), Gale & Marshall (1976) e Gale & Gregory (1977). Além das evidências fisiológicas da associação dos caracteres estatura e insensibilidade ao ácido giberélico, foram conduzidos estudos genéticos com o objetivo de determinar a relação entre os genes Gai 1, Gai 2 e Gai 3, que controlam a insensibilidade ao regulador de crescimento, e os genes Rht 1, Rht 2 e Rht 3, que conferem a baixa estatura em trigo.

As avaliações genética e fisiológica realizadas indicaram que os dois fenótipos são diferentes mas resultantes da ação pleiotrópica de um mesmo locus, sendo possível separar os efeitos

na estatura da planta pela reação de insensibilidade ao ácido giberélico. Conforme Gale & Marshall (1976), nas avaliações de cruzamentos entre genótipos altos e o genótipo baixo Tom Thumb, no qual está presente o gene Rht 3, insensível ao ácido giberélico, não foram observados indivíduos altos insensíveis e baixos sensíveis, ficando evidenciado que os genes Rht 3 e Gai 3 são, na verdade, o mesmo gene. Resultados semelhantes foram obtidos por Gale & Gregory (1977), em cruzamentos entre genótipo alto com genótipo de baixa estatura, não sendo observadas plantas altas homozigotas e insensíveis ao ácido giberélico (Gai Gai), reforçando, desta forma, as evidências de que os genes Gai e Rht são idênticos. Estes mesmos autores sugerem que, caso os dois fenótipos sejam provenientes de loci distintos, eles devem estar muito próximos um do outro e podem ser considerados idênticos na prática.

Para Gale & Youssefian (1985), nem todos os genótipos de trigo portadores dos genes Rht para reduzida estatura revelam a mesma resposta ao ácido giberélico, sendo provável que diferentes mecanismos genéticos e fisiológicos estejam envolvidos na expressão dos diversos fenótipos de baixa estatura. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo identificar os mecanismos de herança para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico em trigos brasileiros com diferentes estaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

As análises realizadas neste trabalho foram baseadas em cruzamentos efetuados entre sete genótipos de trigo, descritos na Tabela 1. Três classes foram caracterizadas: a classe de baixa estatura, representada pelos genótipos Alondra (ALD), Juriti (JUR), Baturina (BTU) e Anahuac (ANA), a classe de estatura intermediária OC 855, e a classe dos indivíduos altos, formada pelos genótipos Frontana (FN) e Maringá (MRNG).

As diferentes populações e gerações utilizadas neste trabalho foram desenvolvidas no campo e em casa de vegetação, nos anos de 1987 e 1988.

Foram estabelecidas no campo, na Estação Experimental Agronômica (EEA/UFRGS), Eldorado do Sul, RS, em 19 de junho de 1987 e 10 de julho de

TABELA 1 - Descrição dos sete genótipos de trigo utilizados na análise da insensibilidade ao ácido giberélico, FA/UFGRS. Porto Alegre, RS, 1989.

Genótipo	Abre- via- tura	Genealogia	Origem	Ano de lança- mento	Estatura média (cm)	Classe fenotí- pica	Ciclo
Alondra	ALD	D6301/Nai 60//Wrm/3/CNO*2/CHR	México	1980	94	Baixo	Precoce
Juriti-Ocepar 11	JUR	IAC 5/Aldan "S"	Brasil	1984	99	Baixo	Precoce
Batuíra-Ocepar 7	BTU	Tzpp*2/An64//Inia 66/3/Cno/Jar/Kvz	Brasil	1984	83	Baixo	Precoce
Anahuac F 75	ANA	II 12.300//Lr 64/7C/3/Nor	México	1975	85	Baixo	Precoce
OC 855	-	CHM 754/5/Par/4/LAS 20/H567.71//LAS 20/3/Par	Brasil	Linhagem	106	Interme- diário	Precoce
Frontana	FN	Fronteira/Mentana	Brasil	1943	132	Alto	Precoce
Maringá-IAC 5	MRNG	Frontana/Kenya 58//P.G.1	Brasil	1966	125	Alto	Precoce

1987, duas épocas do bloco de cruzamentos, composto por vinte genótipos, onde foram executados os primeiros cruzamentos e a obtenção das sementes F_1 .

As estaturas de todos os genótipos componentes do bloco de cruzamentos foram obtidas aos vinte dias após a antese. Durante os meses de setembro e outubro, foram realizados os cruzamentos com a emasculação de, no mínimo, cinco espigas por combinação. As espigas polinizadas foram colhidas e trilhadas individualmente, sendo que, para cada espiga emasculada foram colhidas duas espigas da planta utilizada como genitor feminino, para possibilitar a identificação na geração F_1 da ocorrência accidental de autofecundação.

As sementes F_2 foram obtidas em casa de vegetação a partir das sementes F_1 colhidas em 1987. As sementes F_1 foram divididas e semeadas em janeiro e fevereiro de 1988, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, e no Centro de Pesquisas Eloy Gomes, Cascavel, PR, respectivamente.

Novo bloco de cruzamento foi implantado em 17 de junho de 1988 e 28 de junho de 1988 na Estação Experimental Agronômica (EEA/UFGRS), Eldorado do Sul, RS. Foram também semeadas 113 linhas compostas por genitores, geração F_1 e geração F_2 , possibilitando desta forma, a realização dos retrocruzamentos e a obtenção de novas sementes das gerações F_1 e F_2 e de sementes da geração F_3 .

Das 21 combinações utilizadas neste trabalho, em cinco cruzamentos, não foi possível obter as gerações de retrocruzamentos para ambos os genitores, sendo que, para as demais combinações foram obtidas e avaliadas as gerações F_1 , F_2 , F_3 , RC_1F_1 e RC_2F_1 , além das gerações parentais.

O estudo da herança da insensibilidade ao ácido

giberélico foi realizado em 21 cruzamentos, envolvendo genótipos de classes fenotípicas iguais ou diferentes quanto à insensibilidade ao ácido giberélico.

Foram plantadas em casa de vegetação as gerações F_1 , F_2 , F_3 , RC_1F_1 e RC_2F_1 e os genitores de 16 cruzamentos, mais as gerações F_1 , F_2 , F_3 e os genitores de cinco outras combinações.

A semeadura foi realizada em caixa de madeira com as dimensões de 10 x 60 x 80 cm, contendo solo previamente analisado, adubado e uniformizado. Após, umedeceu-se o solo para uniformizar a profundidade de semeadura mantendo a mesma distância entre as linhas e entre plantas, em cada caixa. Somente após a secagem total do solo de todas as caixas é que foi realizada a semeadura. Todas as gerações de cada cruzamento foram semeadas em uma só caixa.

As semeaduras foram realizadas em 15, 16 e 17 de fevereiro de 1989, com o aparecimento dos coleóptilos das primeiras plântulas quatro dias após a semeadura, em todas as caixas.

Após a semeadura, as sementes foram cobertas com solo, sendo adicionada, na sequência, uma camada de um centímetro de areia média lavada, com o objetivo de proporcionar melhor retenção de umidade das caixas.

Para os 16 cruzamentos nos quais foram obtidas sementes das sete gerações, a semeadura foi realizada em caixas compostas por vinte linhas, com vinte sementes por linha, com a distribuição de uma linha para cada um dos genitores, para a F_1 , para a RC_1F_1 e para a RC_2F_1 , sendo que para a F_2 foram semeadas nove linhas, e para a F_3 , seis linhas de vinte sementes cada, totalizando 400 sementes para cada uma destas caixas. Para os cinco cruzamentos onde não foi possível obter as gerações RC_1F_1 e RC_2F_1 , foi semeada uma linha para cada um dos genitores e F_1 , onze li-

nhas para a F_2 , e sete linhas para a F_3 , totalizando 420 sementes para cada uma destas caixas.

O número médio de plântulas emergidas e testadas, em cada geração dos 21 cruzamentos, foi em torno de 18 para os genitores e F_1 , doze para a RC_1F_1 e RC_2F_1 , 170 para a geração F_2 , e 127 para a geração F_3 . Foram realizadas doze irrigações diretamente sobre o substrato, em todas as caixas, durante o período de testes em casa de vegetação, com 1.200 ml de solução contendo 100 ppm de ácido giberélico para as oito primeiras irrigações e somente 1.200 ml de água por caixa para as quatro últimas irrigações. As irrigações foram executadas no período de 15 de fevereiro até 08 de março de 1989, sendo a primeira realizada na semeadura.

As avaliações foram realizadas entre 24 de fevereiro de 1989 e 01 de março de 1989, em cinco oportunidades, de dez a quinze dias após a semeadura, o que correspondeu de sete a doze dias após a emergência das plântulas. As avaliações realizadas em 24 e 26 de fevereiro de 1989 foram baseadas nos aspectos visuais cloróticos e estiolados das plântulas e na altura da inserção da primeira folha.

As avaliações posteriores, em 27 e 28 de fevereiro e 01 de março de 1989, foram também realizadas com base no aspecto visual das plântulas, levando-se em consideração a diferença da altura de inserção da segunda e primeira folha. Todos os critérios das plântulas insensíveis foram comparados com o fenótipo revelado pelos genitores em cada caixa e em todas as caixas, sendo contadas e eliminadas todas as plântulas sensíveis ao ácido giberélico. Todas as plântulas sensíveis eram facilmente identificáveis, pois apresentavam diferenças entre a inserção da segunda e primeira folha bem pronunciadas (mais de 8 cm), enquanto que as plantas insensíveis tinham diferenças pequenas.

Para avaliar os modelos genéticos propostos, foi utilizado o teste de qui-quadrado (X^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os cruzamentos utilizados foram testados para diferentes hipóteses quanto ao número de genes para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico, levando em consideração as reações de todas as gerações.

Dos genótipos utilizados Frontana, Maringá e OC 855 revelaram reação de sensibilidade ao ácido giberélico, enquanto que os demais genótipos foram insensíveis. Tendo em vista a reação

dos genótipos parentais, os cruzamentos foram agrupados em quatro grupos distintos: (1) sensíveis vs sensíveis; (2) insensíveis vs insensíveis iguais; (3) insensíveis vs sensíveis; (4) insensíveis vs insensíveis diferentes.

Genótipos sensíveis vs sensíveis

Neste grupo foram realizados três cruzamentos (Tabela 2). Em nenhuma das gerações avaliadas foram observadas recombinantes, o que indica que os genótipos FN, MRNG e OC 855 possuem os mesmos genes de sensibilidade ao ácido giberélico.

Genótipos insensíveis vs insensíveis iguais

A análise dos cruzamentos envolvendo os genótipos insensíveis ALD vs BTU e JUR vs ANA revelaram que esses genótipos são idênticos geneticamente quanto ao caráter, não ocorrendo segregação em nenhum dos dois cruzamentos (Tabela 3).

Genótipos insensíveis vs sensíveis

Foram realizados, neste grupo, doze cruzamentos envolvendo os genótipos ALD e BTU, e JUR e ANA combinados com os genótipos sensíveis FN, MRNG e OC 855. Os resultados de todas as gerações avaliadas nos cruzamentos envolvendo ALD e BTU com FN, MRNG e OC 855 estão na Tabela 4. Estes revelaram que houve diferenças genéticas entre os genótipos sensíveis e os genótipos insensíveis utilizados como genitores. Foi observado que, em todos os cruzamentos deste grupo, a geração F_1 foi insensível ao ácido giberélico, ficando evidenciada a existência de dominância completa do caráter (Tabela 4). Em todos os cruzamentos, a hipótese testada foi de um gene de diferença entre genótipos sensíveis e insensíveis. Na maioria das gerações segregantes estudadas, os dados se ajustaram a esta hipótese; entretanto, em algumas gerações, os resultados foram estatisticamente diferentes. Quando todos os cruzamentos foram avaliados conjuntamente (Tabela 4), os resultados revelaram um perfeito ajustamen-

TABELA 2 - Classificação fenotípica, número de plântulas observadas por geração, frequência esperada e probabilidade do X² para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico, para o total dos cruzamentos envolvendo os genitores sensíveis OC 855, FN e MRNG, FA/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1989.

Cruzamento	Fenótipo ¹	Número de plântulas observadas por geração							
		P ₁	RC ₁ F ₁	F ₁	F ₂	F ₃	RC ₂ F ₁	P ₂	Total
OC 855/MRNG	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	14	16	17	171	114	13	19	364
OC 855/FN	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	17	19	19	177	115	16	19	382
MRNG/FN	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	19	20	20	175	114	20	19	388
Total	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	50	55	56	524	343	47	57	1134
Frequência esperada	I	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	1	1	1	1	1	1	1	1
X ²		0	0	0	0	0	0	0	0
P		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

¹ I : Plântulas insensíveis ao ácido giberélico

S : Plântulas sensíveis ao ácido giberélico

to de todas as gerações segregantes avaliadas, o que confirma que a diferença em sensibilidade ao ácido giberélico deveu-se a um único gene.

Na Tabela 5 estão os resultados obtidos nos cruzamentos envolvendo genótipos insensíveis JUR e ANA com os genótipos sensíveis FN, MRNG e OC 855. Os resultados obtidos revelaram grandes diferenças entre os genótipos insensíveis e os genótipos sensíveis, e também neste grupo de cruzamentos foi observada dominância completa para insensibilidade. A hipótese testada foi de um gene de diferença. A análise individual dos cruzamentos revela que um grande número de gerações avaliadas não se ajustou a hipótese testada, sendo que os cruzamentos com o genótipo Juriti foram os mais discrepantes. Quando são considerados em conjunto os seis cruzamentos envolvendo os genótipos insensíveis JUR e ANA combinados com os genótipos sensíveis FN, MRNG e OC 855, todas as gerações revelaram ajuste a hipótese de

um gene de diferença com exceção da F₂. A análise dos cruzamentos envolvendo o genitor insensível ANA combinado com os genitores sensíveis, revelou um melhor ajuste de todas as gerações, o que confirma a hipótese de um gene de diferença entre estes genótipos, quanto à sensibilidade ao ácido giberélico.

Genótipos insensíveis vs insensíveis diferentes

Foram avaliados neste grupo quatro cruzamentos diferentes envolvendo os genótipos ALD e BTU combinados com ANA e JUR. Como já foi descrito em item anterior, ALD e BTU são geneticamente idênticos quanto ao caráter insensibilidade ao ácido giberélico assim como JUR e ANA. Neste grupo de cruzamentos, foi testada a hipótese de dois genes de diferença, e como existe dominância completa, a proporção testada para as gerações F₂ foi de 15 insensíveis e uma sensível. Os resultados obti-

TABELA 3 - Classificação fenotípica, número de plântulas observadas, esperadas e probabilidade do X^2 para as gerações avaliadas quanto a insensibilidade ao ácido giberélico nos cruzamentos envolvendo os genitores insensíveis ALD versus BTU e JUR versus ANA, FA/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1989.

Cruzamento	Fenótipo	Geração							
		P ₁	RC ₁ F ₁	F ₁	F ₂	F ₃	RC ₂ F ₁	P ₂	
Frequência esperada p/ todos cruzamentos	I	1	1	1	1	1	1	1	1
	S	0	0	0	0	0	0	0	0
ALD/BTU	Número de plântulas observadas	I	18	17	19	168	106	19	18
		S	0	0	0	0	0	0	0
	Número de plântulas esperadas	I	18	17	19	168	106	19	18
		S	0	0	0	0	0	0	0
	X ²		0	0	0	0	0	0	0
	P		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
JUR/ANA	Número de plântulas observadas	I	20	-	17	201	120	-	18
		S	0	-	0	0	0	-	0
	Número de plântulas esperadas	I	20	-	17	201	130	-	18
		S	0	-	0	0	0	-	-
	X ²		0	-	0	0	0	-	0
	P		1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	1,00

¹ I : Plântulas insensíveis ao ácido giberélico

S : Plântulas sensíveis ao ácido giberélico

dos neste grupo de cruzamentos estão na Tabela 6. Na maioria das gerações segregantes dos cruzamentos realizados, a hipótese de dois genes foi aceita. Quando todos os cruzamentos foram avaliados em conjunto, somente a geração F₃ não se ajustou à hipótese formulada. Entretanto, pelo grande número de recombinantes observados nas gerações F₂ e F₃, parece evidente que os genótipos ALD e BTU possuem um gene para a insensibilidade ao ácido giberélico, que é diferente daquele presente nos genótipos JUR e ANA.

A análise genética da insensibilidade ao ácido giberélico realizada neste trabalho envolveu genótipos sensíveis intermediários e de porte alto, bem como genótipos insensíveis e de porte baixo (Tabela 1). A associação entre insensibilidade ao ácido giberélico e estatura de planta relatada por outros autores (Radley 1970, Gale

& Marshall (1975), Gale et al. (1975a e 1975b), Gale & Marshall (1976) e Gale & Gregory (1977)) também foi observada neste trabalho.

Apesar das diferenças em estatura de planta observadas entre os genótipos altos FN e MRNG em relação ao genótipo intermediário OC 855, não foram observadas variações entre estes genótipos quanto à insensibilidade ao ácido giberélico. É possível que a menor estatura observada no genitor OC 855 deva ao acúmulo de alelos com pequeno efeito no caráter.

A análise genética dos cruzamentos envolvendo os genótipos insensíveis e de porte baixo com os genótipos sensíveis e de porte alto revelou que um gene é responsável pela insensibilidade nos genótipos de porte baixo, conforme também observado por Gale et al. (1975a e 1976b) e Gale & Marshall (1976). Assim, todos os genótipos insensíveis e de porte baixo estu-

TABELA 4 - Classificação fenotípica, número de plântulas observadas por geração, frequência esperada e probabilidade do χ^2 para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico, para o total dos cruzamentos envolvendo os genitores insensíveis OC 855, FN e MRNG, FA/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1989.

Cruzamento	Fenótipo ²	Número de plântulas observadas por geração							
		P ₁	RC ₁ F ₁	F ₁	F ₂	F ₃	RC ₂ F ₁	P ₂	Total
BTU/MRNG	I	16	-	19	118	125	-	0	278
	S	0	-	0	19	65	-	19	103
BTU/FN	I	19	20	20	123	62	9	0	253
	S	0	0	0	52	51	11	20	134
BTU/OC 855 ¹	I	17	8	18	131	75	9	0	258
	S	0	2	0	41	40	6	13	102
ALD/MRNG	I	20	17	11	114	53	9	0	224
	S	0	3	3	49	60	9	19	143
ALD/FN	I	18	15	19	109	72	9	0	242
	S	0	1	0	57	37	11	18	124
ALD/OC 855	I	20	19	15	141	87	10	0	292
	S	0	0	0	35	26	10	18	91
Total	I	110	79	102	736	474	46	0	1547
	S	0	6	3	253	281	47	107	697
Frequência esperada	I	1	1	1	3	5	1	0	
	S	0	0	0	1	3	1	1	
χ^2		0	0,42	0,08	0,17	0,02	0,01	0	
P		1,00	P > 0,50	P > 0,75	P > 0,50	P > 0,75	P > 0,75	1,00	

¹ Nestes cruzamentos foram invertidas as posições dos genitores para a confecção da tabela.

² I : Plântulas insensíveis ao ácido giberélico.

S : Plântulas sensíveis ao ácido giberélico.

dados possuem um gene para a insensibilidade ao ácido giberélico. Dada a associação da insensibilidade ao ácido giberélico com a reduzida estatura da planta, é possível que um gene seja responsável pela baixa estatura nos genótipos estudados. Entretanto, na análise genética dos cruzamentos envolvendo os genótipos insensíveis e os de porte baixo combinando entre si, foram observados dois tipos de variação: Primeiro, nos cruzamentos ALD/BTU e JUR/ANA, onde não houve diferenças genéticas quanto ao caráter, todos os genótipos parentais e as gerações segregantes foram insensíveis ao ácido giberélico. Este resultado indica que os genótipos ALD e BTU possuem o mesmo gene da insensibilidade e, possivelmente, da reduzida

estatura da planta, assim como os genótipos JUR e ANA. Segundo, quando cruzados os genótipos insensíveis e de porte baixo ALD e BTU com os genótipos JUR e ANA também insensíveis e de porte baixo, foi verificada uma diferença de dois genes da insensibilidade ao ácido giberélico. Estes resultados indicam que o gene presente nos genótipos ALD e BTU é diferente daquele que está presente nos genótipos JUR e ANA, podendo eles ser recombinados para a obtenção de genótipos sensíveis diferentes dos tipos parentais. Por inferência, os cruzamentos dos genótipos de porte baixo ALD e BTU com os genótipos JUR e ANA podem originar recombinantes com estatura de plantas superiores e inferiores aos tipos parentais.

Estes resultados confirmam as descrições de

TABELA 5 - Classificação fenotípica, número de plântulas observadas, frequência esperada e probabilidade do X^2 para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico, para o total dos cruzamentos envolvendo os genitores insensíveis JUR e ANA versus os genitores sensíveis OC 855, FN e MRNG, FA/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1989.

Cruzamento	Fenótipo ²	Número de plântulas observadas por geração							
		P ₁	RC ₁ F ₁	F ₁	F ₂	F ₃	RC ₂ F ₁	P ₂	Total
JUR OC 855	I	18	12	18	120	69	9	0	246
	S	0	2	0	50	43	8	16	119
JUR/FN	I	20	10	18	106	46	3	0	203
	S	0	6	0	73	63	25	20	177
JUR/MRNG ¹	I	19	8	14	72	95	5	0	213
	S	0	1	0	43	76	13	19	152
ANA/OC 855	I	17	18	17	129	82	11	0	274
	S	0	2	0	38	31	9	17	97
ANA/MRNG	I	19	-	11	131	94	-	0	255
	S	0	-	8	68	40	-	20	136
ANA/FN	I	20	19	19	129	84	10	0	281
	S	0	0	0	45	34	9	20	108
Total	I	113	67	97	687	470	38	0	1472
	S	0	11	8	317	287	54	112	709
X ²		0	1,55	0,61	30,68	0,05	2,78	0	
P		1,00P	> 0,10P	> 0,10P	> 0,05P	> 0,75P	> 0,05	1,00	

¹ Nestes cruzamentos foram invertidas as posições dos genitores para a confecção da tabela.

² I: Plântulas insensíveis ao ácido giberélico.

S: Plântulas sensíveis ao ácido giberélico.

Nelson et al. (1980), de que os genótipos ANA e ALD são portadores de diferentes genes da reduzida estatura da planta. Por outro lado, os resultados obtidos neste trabalho permitem afirmar que os genótipos JUR e BTU são portadores de diferentes genes da insensibilidade ao ácido giberélico, e, portanto, da reduzida estatura da planta.

As diferenças na estatura média dos genótipos ALD e BTU, bem como dos genótipos JUR e ANA ($P > 0,05$), são, provavelmente, provenientes de diferentes combinações de alelos com pequeno efeito na estatura.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, foram propostos os seguintes genótipos para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico:

OC 855

Frontana = gai₁ gai₁ gai₂ gai₂
Maringá

Juriti = Gai₁ Gai₁ gai₂ gai₂
Anahuac

Batuirá = gai₁ gai₁ Gai₂ Gai₂
Alondra

Os genótipos OC 855, MRNG e FN são sensíveis ao ácido giberélico e provavelmente não possuem nenhum dos genes Rht, enquanto os genótipos BTU e ALD revelam um gene para a insensibilidade diferente do gene presente nos genótipos JUR e ANA. A análise do dia-

TABELA 6 - Classificação fenotípica, número de plântulas observadas por geração, freqüência esperada e probabilidade do χ^2 para o caráter insensibilidade ao ácido giberélico, para o total dos cruzamentos envolvendo os genitores insensíveis BTU e ALD versus JUR E ANA, FA/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1989.

Cruzamento	Fenótipo ²	Número de plântulas observadas por geração							Total
		P ₁	RC ₁ F ₁	F ₁	F ₂	F ₃	RC ₂ F ₁	P ₂	
BTU/ANA	I	19	-	21	197	83	-	18	338
	S	0	-	0	7	47	-	0	54
JUR/BTU	I	20	-	20	191	110	-	19	360
	S	0	-	0	13	16	-	0	29
JUR/ALD	I	19	12	13	139	91	12	18	304
	S	0	5	0	22	16	6	0	49
ALD/ANA	I	19	16	20	161	108	9	19	349
	S	0	2	0	12	10	0	0	24
Total	I	77	28	74	688	392	18	74	1351
	S	0	7	0	54	89	6	0	156
Freqüência esperada	I	1	1	1	15	55	1	1	
	S	0	0	0	1	9	0	0	
χ^2		0	1,40	0	1,48	7,55	1,50	0	
P		1,00 P > 0,10 P >		1,00 P > 0,10 P >		0,05 P > 0,10		1,00	

¹ I : Plântulas insensíveis ao ácido giberélico.

S : Plântulas sensíveis ao ácido giberélico.

grama também revela que um mesmo fenótipo insensível poderá ser obtido por várias combinações de genes.

Os resultados obtidos neste trabalho revelam que o caráter insensibilidade ao ácido giberélico em trigo foi definido por um pequeno número de genes com grande efeito no caráter, o que concorda com os resultados de Gale et al. (1975a e 1975b), Gale & Marshall (1976) e Gale & Law (1977). O pequeno número de genes envolvidos no caráter propicia uma fácil manipulação destes fatores nos programas de melhoramento genético, tanto a nível de transferência da característica insensibilidade ao ácido giberélico como na identificação das reações no estágio de plântula.

A análise das gerações F₁ dos cruzamentos envolvendo genótipos insensíveis e de reduzida estatura versus genótipos sensíveis e de porte alto revelou uma ação gênica de dominância

para os genes determinantes da insensibilidade, o que confirma os resultados de Gale et al. (1975a e 1975b), Gale & Marshall (1976), Gale & Law (1977) e contrária à observada por Gale & Gregory (1977).

Como, em todas as gerações segregantes que foram estatisticamente diferentes da hipótese testada quanto ao número de genes para a insensibilidade ao ácido giberélico, o número de indivíduos sensíveis foi quase sempre superior ao esperado, é provável que alguns genótipos heterozigotos tenham expressado reação de sensibilidade diferente da revelada pela geração F₁, conforme o descrito por Gale & Gregory (1977).

Pelos valores das estaturas médias dos genitores empregados neste trabalho e relacionados na Tabela 1, fica também evidenciada a potencialidade da utilização de genes menores para a redução da estatura da planta em trigo além dos

genes de grande efeito no caráter. Os genótipos JUR, com 99 cm, e ANA, com 85 cm, sendo portadores do mesmo gene da insensibilidade ao ácido giberélico Gai 1, e, provavelmente, também o gene Rht 1, revelaram uma diferença de 14 cm na estatura, enquanto os genótipos BTU, com 83 cm, e ALD, com 94 cm, portadores do mesmo gene da insensibilidade ao ácido giberélico Gai 2 e provavelmente ao gene Rht 2, demonstraram uma diferença de 11 cm. Para os genótipos classificados neste estudo como sensíveis e de porte alto, foram observadas diferenças variando de 7 cm a 26 cm na estatura média da planta. Estas diferenças possivelmente demonstraram uma ação quantitativa dos genes com efeitos pequenos na estatura da planta.

A exploração da insensibilidade ao ácido giberélico parece ser de grande importância para o melhoramento genético, pois permitirá a identificação e utilização tanto dos genes Rht de grande efeito no caráter, como também o emprego dos genes menores. A perfeita manipulação desta técnica poderá possibilitar a obtenção de genótipos de grande eficiência na exploração de ambientes favoráveis, suficientemente altos para um rendimento de grãos máximo, e baixos o necessário para evitar problemas de acamamento.

Assim, as maiores implicações para o melhoramento genético de plantas da utilização da associação entre insensibilidade ao ácido giberélico e estatura da planta em trigo são: (1) a seleção precoce de genótipos portadores dos genes Rht para a redução da estatura da planta sem a interferência do ambiente e da competição entre plantas; (2) a redução do tamanho das populações conduzidas no campo; (3) o maior número de gerações de seleção por ano e; (4) a economia de tempo e espaço empregadas.

CONCLUSÕES

1. Nos genótipos utilizados neste estudo, o caráter insensibilidade ao ácido giberélico foi determinado por um gene independente com dominância completa, sendo que o gene da insensibilidade, presente em ALD e BTU, é diferente do presente em JUR e ANA. Os genóti-

pos de porte alto não possuem gene da insensibilidade ao ácido giberélico.

2. O pequeno número de genes e a completa dominância envolvida no caráter insensibilidade ao ácido giberélico permitem a seleção de genótipos de trigo de reduzida estatura no estágio de plântula, sem a interferência do ambiente com economia de tempo e espaço. O isolamento dos genes com grande efeito na redução da estatura da planta (Rht) pelo ácido giberélico poderá facilitar a manipulação de outros genes com pequeno efeito no caráter.

REFERÊNCIAS

- ALLAN, R. E.; VOGEL, O. A.; CRADDOCK JUNIOR, J. C. Comparative responses to gibberellic acid of dwarf, semi-dwarf and standard short and tall winter wheat varieties. *Agronomy Journal*, Madison, v.51, p.737-740, 1959.
- GALE, M. D.; GREGORY, R. S. A rapid method for early generation selection of dwarf genotypes in wheat. *Euphytica*, Wageningen, v.26, p.733-738, 1977.
- GALE, M. D.; LAW, C. N. Norin 10: Based semi-dwarfism. In: MUHAMMED, A.; AKSEL, R.; BIRSTEL, R. C. (Eds.). *Genetic diversity in plants*. New York: Plenum, 1977. p.132-152.
- GALE, M. D.; LAW, C. N.; MARSHALL, G. A.; WORLAND, A. J. The genetic control of gibberellin acid insensitivity and coleoptile length in a "dwarf", wheat. *Heredity*, London, v.34, n.3, p.393-399, 1975a.
- GALE, M. D.; LAW, C. N.; WORLAND, A. J. The chromosomal location of a major dwarfing gene from Norin 10 in new british semi-dwarf wheats. *Heredity*, London, v.35, n.3, p.417-421, 1975b.
- GALE, M. D.; MARSHALL, G. A. The chromosomal location of Gai 1 and Rht 1, genes for gibberellin insensitivity and semidwarfism, in a derivative of Norin 10 wheat. *Heredity*, London, v.37, n.2, p.283-289, 1976.
- GALE, M. D.; MARSHALL, G. A. The nature and genetic control of gibberellin insensitivity in dwarf wheat grain. *Heredity*, London, v.35, n.1, p.55-65, 1975.
- GALE, M. D.; YOUSSEFIAN, S. Dwarfing genes in wheat. In: RUSSEL, G. E. (Ed.). *Progress in*

- plant breeding. London: Butterworths, 1985. p.1-35.
- NELSON, W.; DUBIN, H. J.; RAJARAM, S. Norin 10 dwarfing genes present in lines used in the CIMMYT bread wheat breeding program. *Cereal Research Communications*, v.8, n.3, p.573-574, 1980.
- RADLEY, M. Comparison of endogenous gibberellins and response to applied gibberellin of some dwarf and tall wheat cultivars. *Planta*, v.92, p.292-300, 1970.