

SELEÇÃO PARA INSENSIBILIDADE AO ÁCIDO GIBERÉLICO EM CULTIVO HIDROPÔNICO E SEUS EFEITOS NA ESTATURA DE PLANTA EM GENÓTIPOS DE TRIGOS “STAY-GREEN” E SINCRONIZADO

SELECTION TO INSENSIBILITY TO THE GIBERELLIC ACID IN HIDROPONIC CULTIVATION AND YOUR EFFECT IN STATURE OF PLANT IN STAY-GREEN AND SYNCHRONIZED WHEAT GENOTYPES

SILVA, José A.G.¹; SILVA, Simone A.²; CARVALHO, Fernando I.F.⁴; OLIVEIRA, Antonio C.⁴; CRUZ, Pedro J.⁵; BENIN, Giovani¹; SIMIONI, Daniel.³; CAETANO, Vanderlei R.⁶; SOARES, Ana C.F.²; CRUZ, Elizangela M.O.⁷

RESUMO

Oito genótipos de trigo apresentando comportamento diferenciado para estatura de planta, sendo quatro com e quatro sem a presença do caráter “stay-green”, foram avaliados em solução nutritiva com ácido giberélico (AG₃). O experimento foi conduzido no Laboratório de Di-haplóides e Hidroponia do Centro de Genômica e Fitomelhoramento da FAEM/UFPEL e no Centro Experimental da Palma, Capão do Leão (RS), em delineamento com parcelas subdivididas, com três repetições. Os genótipos foram conduzidos em baldes com solução nutritiva e concentração de 100 ppm de AG₃, permanecendo por 168 horas. Os caracteres avaliados em Laboratório foram: inserção da primeira folha (IPF), comprimento da primeira folha (CPF), inserção da segunda folha (ISF), comprimento da segunda folha (CSF), área foliar (AF), diferença da inserção da primeira e segunda folha (DIF) e estatura de plântula (EPL). Os mesmos genótipos avaliados em laboratório foram conduzidos a campo, no mesmo ano, e avaliado o caráter estatura de planta (EST) em centímetros, aferido em 21 dias após a antese. Foram mensurados os coeficientes de correlação simples para o conhecimento da associação entre estes caracteres e ficou constatado que CSF, IPF e AF com significativos coeficientes de correlação $r_F = 0,68$; $0,60$ e $0,53$ respectivamente, são os caracteres que melhor se correlacionaram com o caráter estatura de planta obtido em condição de campo. Desta forma, é possível selecionar com eficiência dentro do grupo “stay-green” e sincronizado no estádio de plântula, genótipos de estatura reduzida através da técnica de cultivo hidropônico em solução nutritiva.

Palavras-Chave: *Triticum aestivum* L., cultivo hidropônico, seleção indireta.

INTRODUÇÃO

Um fator importante para aumentar a área cultivada com trigo é o ajuste da arquitetura da planta aos ambientes de áreas consideradas periféricas, através do desenvolvimento de cultivares de porte baixo, incorporando a elas caracteres de maior adaptabilidade a condições adversas, possibilitando uma melhor utilização de técnicas agrícolas e consequentemente um aumento do patamar de potencial genético de rendimento de grãos. Desta forma, selecionar genótipos providos do caráter “stay-green”, insensíveis ao ácido giberélico; portanto,

portadores dos genes de nanismo, poderá proporcionar efetivos avanços na redução da estatura de trigo, com reflexo na qualidade e rendimento de grãos.

O caráter “stay-green” possui a propriedade de manter o colmo e as folhas verdes até o término do enchimento da semente, permitindo maior resistência ao acamamento (Woodfin et al., 1988) e maior tolerância ao estresse hídrico (ROSENOW & CLARK, 1981; ROSENOW et al., 1983). Além disso, tem sido relatado por SILVA et al. (2000) como sendo um caráter de alta herdabilidade contendo um a dois genes independentes, com ação predominante da variância de aditividade, aumentando de forma drástica a eficiência de seleção.

O comportamento da manifestação fenotípica em genótipos “stay-green” revela um prolongamento na duração da área verde dos colmos e das folhas; determinando além disto, o início da senescência que se inicia de cima para baixo, onde os colmos e as folhas inferiores são as últimas estruturas a secar, diferentemente do trigo sem a presença do caráter (maturação sincronizada) onde a senescência se dá de baixo para cima e a espiga é a última estrutura a maturar.

A resposta diferenciada ao ácido giberélico em genótipos de trigo foi primeiramente descrita por ALLAN et al. (1959) quando compararam genótipos de estatura reduzida e estes foram insensíveis ao ácido giberélico. Sendo assim, a identificação de genótipos portadores dos genes que exibem estatura reduzida pode ser efetuada através da avaliação da sensibilidade ao AG₃.

A estatura é considerada um caráter controlado por genes maiores, simbolizados por *Rht* (Reduction Height) denominados genes de nanismo. Estes genes foram identificados inicialmente na variedade japonesa “Norin 10” (GALE et al., 1981). A identificação de genótipos portadores destes genes pode ser efetuada através da avaliação da sensibilidade ao ácido giberélico. Os genes que controlam a insensibilidade ao ácido giberélico têm sido simbolizados por *Gai 1* e *Gai 2*. A associação entre o caráter insensibilidade ao ácido giberélico e o caráter estatura de planta foi observado por ALLAN et al. (1959), GALE & GREGORY (1977), FEDERIZZI et al. (1988), CANCI et al. (1997), DORNELLES et al. (1995) e SILVA et al. (2004).

¹ Eng. Agr. MsC, Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitomelhoramento em nível de Doutorado, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPEL), Pelotas/RS.

² Eng. Agr., Dra Professora do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal da Bahia.

³ Eng. Agr., Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos. FAEM/UFPEL, Pelotas/RS.

⁴ Eng. Agr., PhD Professor do Departamento de Fitotecnia FAEM/UFPEL.

⁵ Eng. Agr., Dr Professor do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal da Bahia.

⁶ Eng. Agr., Dr Pesquisador da EMBRAPA Clima Temperado, Pelotas/RS.

⁷ Eng. Agr., Mestranda em Fitotecnia da Universidade Federal da Bahia.

(Recebido para publicação em 26/10/2004, Aprovado em 05/04/2005)

Os caracteres estatura de planta, inserção de primeira e segunda folha, diferença entre a inserção da primeira e segunda folha, comprimento da segunda folha, aspecto clorótico visual da plântula, comprimento do coleoptilo têm sido empregadas como critério de avaliação da sensibilidade ao ácido giberélico por vários pesquisadores (GALE & GREGORY, 1977; FEDERIZZI et al., 1988; CANCI et al., 1997). Doses de 100 ppm têm sido reportadas como a de melhor resultado em trabalhos feitos com trigo, com a aplicação exógena de ácido giberélico (ALLAN, et al., 1959; FEDERIZZI et al., 1988 e DORNELLES et al., 1997).

Desta forma, a avaliação de genótipos insensíveis ao ácido giberélico permite o reconhecimento de genótipos portadores dos genes *Rht* de forma precoce no estágio de plântula, em condições de laboratório, com a aplicação exógena de ácido giberélico. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a associação existente entre os caracteres indicativos de sensibilidade ao ácido giberélico (AG₃) em laboratório e a estatura de planta (EST) em condição de campo experimental empregando genótipos de trigo "stay-green" e de maturação sincronizada, para possível utilização na seleção indireta de genótipos de estatura reduzida.

MATERIAL E MÉTODOS

As constituições genéticas de trigo utilizados no estudo foram a TB 438 e TB 188 que compreendem linhagens selecionadas pelo programa de melhoramento da Embrapa Clima Temperado. Estes genitores foram obtidos via recombinação em seleção recorrente com várias linhagens promissoras que apresentavam o caráter "stay-green" e por revelarem senescência sincronizada. A partir daí, nos anos de 1999 a 2001, utilizando duas épocas de semeadura por ano, verão e inverno, sob condições de campo e telado, foram realizados cruzamentos entre as linhagens TB 438 (portador do caráter "stay-green") e TB 188 (maturação sincronizada) de modo a obter a geração F₁ para retrocruzamento e autofecundação para formação da população F₂. Por meio de avanços de gerações até F₆ foram obtidas linhagens distintas para o tipo de maturação (F₆-SG: "stay-green") e (F₆-SZ: sincronizada) ambas na geração F₆. Além disso, foram obtidos retrocruzamentos um e dois, respectivamente RC₁ e RC₂; sendo a partir daí, autofecundadas até a geração F₆, onde foram selecionadas plantas RC₁F₆ e RC₂F₆, para a presença e ausência do caráter "stay-green". Contudo, foram obtidos os seguintes números de linhagens: (F₆-SG= 7; F₆-SZ= 5; RC₁F₆-SZ= 7; RC₁F₆-SG= 4; RC₂F₆-SG= 6 e RC₂F₆-SZ= 4).

Para a condução do experimento em laboratório foram empregadas as 33 linhagens para os tipos "stay-green" e sincronizadas e seus genitores para avaliação em hidroponia, sendo utilizada a técnica descrita por CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e adaptado por DORNELLES et al. (1997) incluindo a avaliação de estatura de planta com o uso do ácido giberélico (AG₃). Dez sementes de cada planta, variando em torno de 35 plantas para cada linha, dentro do grupo "stay-green" e sincronizada foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial) por 20 minutos e lavadas com água destilada, para retirar o excesso do produto desinfetante. Em seguida foram semeadas em gerbox, sobre papel filtro umedecido com água destilada e levadas para germinar em câmara BOD, a temperatura de 20°C com iluminação permanente, onde permaneceram por três dias para germinação e desenvolvimento da plântula.

As sementes pré-germinadas, com 2mm de raiz, foram transferidas para uma tela de plástico adaptada à tampa de um recipiente com capacidade de 5,5 litros, contendo solução

nutritiva completa com pH calibrado para $4 \pm 0,3$, de modo as raízes ficassem em contato permanente com a solução. Estes recipientes foram colocados em tanque banho-maria, e mantidas a temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ com o auxílio de resistências adaptadas ao tanque, sob iluminação permanente e ligados a um sistema de aeração, para dotação de oxigênio necessário ao desenvolvimento do sistema radicular, por um período de 48 horas. Após este período, as telas com as plântulas foram transferidas para recipientes com solução tratamento contendo solução nutritiva mais 100 ppm de AG₃ com pH 7, por 168 horas. Posteriormente, foram aferidos os caracteres indicativos de sensibilidade ao ácido giberélico com o auxílio de régua milimetrada, e os resultados expressos em cm.

Os caracteres avaliados foram: inserção da primeira folha (IPF), tomada da base do colmo até a altura do encontro da emergência da 1ª folha, a inserção da 2ª folha (ISF) tomada da base do colmo até o encontro de inserção da 2ª folha, o comprimento da 1ª folha (CPF) e 2ª folha (CSF), diferença da inserção da 1ª e 2ª folha (DIF) medida entre o intervalo de inserção entre a 1ª e 2ª folha, estatura de plântula (EPL), medindo da base ao ápice da plântula com a régua e área foliar (AF) incluída toda a parte aérea e determinada com a máquina medidora de área foliar.

Para a aferição do caráter estatura de planta (EST) em campo, foram feitas medições, após 21 dias da antese, em cada planta individual da base do colmo até o ápice da espiga, excluindo as aristas, em um experimento instalado a campo, paralelamente ao conduzido para a avaliação dos caracteres já mencionados em condições de laboratório, utilizando os mesmos genótipos oriundos de sementes de uma mesma planta.

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, sendo cada linhagem composta de aproximadamente 35 plantas e avaliação de dez sementes de cada planta, em três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância do experimento em parcelas subdivididas para avaliar o comportamento dos caracteres indicativos de insensibilidade ao ácido giberélico estão incluídos na Tabela 1.

É possível observar que para a maioria dos caracteres avaliados ocorreram efeitos significativos entre as linhagens (L), exceto para os caracteres comprimento da 2ª folha (CSF) e a diferença entre a inserção da 1ª e 2ª folha (DIF). Os grupos "stay-green" e de maturação sincronizada somente para o caráter DIF não diferiram significativamente, sendo que os demais caracteres evidenciaram comportamentos distintos pelo teste F. Isto indica que para as linhas tanto para os tipos "stay-green" e sincronizados avaliados na concentração de 100 ppm de AG₃, existe presença de variabilidade, mostrando diferentes níveis de insensibilidade ao ácido giberélico (AG₃). Desta forma, é possível afirmar que as concentrações avaliadas foram adequadas para separar genótipos sensíveis e insensíveis ao AG₃, confirmando os resultados obtidos utilizando metodologia similar para aplicação de AG₃ em trigo por Dornelles et al. (1997).

Os coeficientes de variação para todos os caracteres avaliados foram considerados adequados para as condições experimentais, variando de 6,61 a 19,09%, indicando aceitável precisão experimental. Entretanto, para determinar reduções nestes valores de coeficientes de variação, provavelmente seja necessário aumentar o tamanho da parcela e/ou o número de repetições.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para os caracteres estatura de planta a campo (EST), área foliar (AF), inserção da 1ª folha (IPF), comprimento da 1ª folha (CPF), inserção da 2ª folha (ISF), comprimento da 2ª folha (CSF), diferença da inserção da 1ª e 2ª folha (DIF) e estatura de plântula (EPL). FAEM/UFPel, 2004.

Fonte de Variação	G.L	QM							
		EST	AF	IPF	CPF	ISF	CSF	DIF	EPL
Bloco	19	28,6	1,08	0,12	1,40	0,06	6,23	0,27	15,43
Grupos (G)	1	3232,8*	26,56*	4,02*	25,80*	0,08ns	226,19*	1,86ns	516,2*
Resíduo (a)	19	26,1	0,89	0,35	1,24	0,03	10,50	0,58	22,14
Linhagens (L)	3	586,1*	4,01*	3,34*	14,32*	0,55*	9,29ns	0,42ns	90,94*
(GxL)	3	3510,8*	3,43*	2,89*	5,24*	0,05ns	90,86*	4,38*	155,9*
Resíduo (b)	114	27,9	0,68	0,18	0,73	0,04	4,73	0,33	10,69
c.v. Resíduo (a)	%	6,61	18,58	16,33	11,50	19,09	10,88	14,49	16,01
c.v. Resíduo (b)	%	6,84	16,24	11,78	8,85	11,60	14,01	18,58	11,13
Média		77,16	5,08	3,65	9,68	0,98	15,51	3,13	29,38

*significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F.

A interação Grupo vs. Linhagens (GxL) esteve presente na maioria dos caracteres, o que indica dependência entre grupos e linhagens, ou seja, a classificação destas linhagens quanto aos caracteres avaliados seria diferente dependendo do grupo de plantas "stay-green" e sincronizadas. Isto é indicativo de presença de variabilidade entre as linhagens dentro de cada grupo, o que pode possibilitar a existência de correlação fenotípica entre os caracteres que evidenciam insensibilidade ao AG₃ com a estatura de planta obtida a campo.

Correlacionado fenotipicamente os caracteres apresentados na Tabela 2, são possíveis avaliar a magnitude e a direção das influências de um caráter sobre o outro, dando um indicativo simples de associação entre eles. A magnitude destas correlações evidencia uma direção em sua maioria, positiva. O maior grau de associação foi observado entre a estatura de plântula e comprimento da 2ª folha (0,963) indicando que a EPL pode ser utilizada de forma mais fácil e eficiente na substituição do CSF, a qual necessita de aferições minuciosas. Além disso, ambos os caracteres supracitados obtiveram maior associação com a estatura de planta (0,542 e 0,577) seguida do caráter IPF (0,504) sendo, portanto,

significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t. Resposta similar foi obtida por CANCI, et al. (1997) utilizando mesma metodologia para avaliação em laboratório onde a estatura de plântula foi aferida pela distância da inserção da raiz à extremidade da folha mais desenvolvida no momento da aferição, no caso a segunda folha. O caráter área foliar também evidenciou elevado grau de associação com o EPL (0,858) com ótimo indicativo de viável utilização como parâmetro de seleção para estatura reduzida por ser medido por aparelho fotoelétrico, de fácil manipulação.

Não foi evidenciada correlação apenas para os caracteres (ISF x EST), (ISF x IPF) e (ISF x CSF). Além disso, a diferença da inserção da 1ª e 2ª folha (DIF) também apresentou menor associação com a maioria dos caracteres. Isso pode ser explicado porque nem todas as plântulas apresentaram inserção da 2ª folha (ISF) e indica que quanto maior a estatura de plântula (EPL) maior a estatura de planta (EST) e maior será a inserção da 1ª folha (IPF), com isso, pode haver maior possibilidade de surgir a 2ª folha e esta proporcionar incremento na diferença de inserção entre 1ª e 2ª folha (DIF).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson entre os caracteres indicativos de insensibilidade ao ácido giberélico (estatura reduzida), submetidos a 100ppm de AG₃. FAEM/UFPel, 2004.

	EST	AF	IPF	CPF	ISF	CSF	DIF	EPL
EST	1							
AF	0,532**	1						
IPF	0,604**	0,674**	1					
CPF	0,328**	0,709**	0,661**	1				
ISF	0,114	0,342**	0,244	0,177**	1			
CSF	0,677**	0,826**	0,707**	0,702**	0,241	1		
DIF	0,340**	0,334**	0,691**	0,452**	-0,527**	0,436**	1	
EPL	0,542**	0,858**	0,798**	0,834**	0,351**	0,963**	0,435**	1

* significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste t, a n-2 G.L. (0,254); estatura de planta a campo (EST), área foliar (AF), inserção da 1ª folha (IPF), comprimento da 1ª folha (CPF), inserção da 2ª folha (ISF), comprimento da 2ª folha (CSF), diferença da inserção da 1ª e 2ª folha (DIF) e estatura de plântula (EPL).

O caráter estatura de planta (EST) esteve mais positivamente correlacionado com a área foliar (AF); assim, quanto menor for a dimensão da área foliar de plântulas obtidas em laboratório, mais reduzido será o caráter estatura de planta em campo. Situação similar ocorreu para a maioria dos caracteres como IPF (0,534), CPF (0,373), CSF (0,642), EPL (0,612) e DIF (0,375). Somente para o caráter ISF houve ausência de correlação com o caráter EST.

CONCLUSÕES

A concentração de 100 ppm de ácido giberélico foi eficiente para identificar precocemente genótipos de trigo com diferentes níveis de sensibilidade ao produto químico.

Os caracteres comprimento da segunda folha (CSF), inserção da primeira folha (IPF) e área foliar (AF) são os que melhor se correlacionaram com o caráter estatura de planta

obtida em condição de campo. Desta forma, é possível selecionar com eficiência, genótipos providos do caráter "stay-green" com estatura reduzida em cultivo hidropônico.

ABSTRACT

Eight wheat genotypes with different plant statures being four "stay-green" and four non "stay-green" were evaluated in hydroponic culture supplemented with gibberellic acid (GA_3). The experiment was conducted in the Laboratório de Di-haplóides e Hidroponia from the Centro de Genômica e Fitomelhoramento – FAEM/UFPel and in the Centro Experimental da Palma, Capão do Leão County, RS, in split plot design, with three replications. The genotypes were grown in pots containing hydroponic solution containing 100 ppm of GA_3 , remaining for 168 hours. The evaluated lab traits were: 1st leaf insertion (IPF) and length (CPF), 2nd leaf insertion (ISF) and length (CSF), leaf area (AF), difference between the first and second leaf insertion and plantlet stature (EPL). For the same genotypes evaluated in the lab, field measures were taken for plant stature (EST) in centimeters, measured 21 days after anthesis. The coefficients of single correlation were measured to verify the association between these traits and was observed that CSF, IPF and AF with significant correlation coefficients $r_P = 0.68$; 0.60 and 0.53 , respectively, are the traits that best correlated with the trait plant stature obtained in field conditions. Thus, it is possible to efficiently select on hydroponic culture for short stature traits at the plantlet stage of "stay-green" and non stay-green plants.

Key words: *Triticum aestivum* L., hydroponic culture, indirect selection.

REFERÊNCIAS

- ALLAN, R.E.; VOGEL, O.A.; CRADDOCK, J.C. Comparative response to gibberellic acid of dwarf, semidwarf and standart short and tall winter wheat varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v.51, p.737-740, 1959.
- CANCI, P.C.; CARVALHO, F.I.F. DE; BARBOSA NETO, J.F.; et al. Diferentes ambientes para a avaliação de sensibilidade ao ácido giberélico em genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.21-25, 1997.
- DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. Avaliação simultânea para tolerância ao alumínio e sensibilidade ao ácido giberélico em trigo hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.9, 1997.
- DORNELLES, A.L.C.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; et al. O uso de ácido giberélico em solução nutritiva na avaliação precoce de estatura de genótipos de trigo hexaplóide. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.3, p.363-366, 1995.
- FEDERIZZI, L.C.; CARVALHO, F.I.F. DE; OLIVEIRA, M.A.R. DE; et al. Avaliação da resposta de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) de diferentes estaturas à aplicação de ácido giberélico no estádio de plântula. **Revista do Centro Ciências Rurais**, Santa Maria, v.18, n.2, p.149-161, 1988.
- GALE, M.D.; MARSHALL, G.A.; RAO, M.V. The classification of the 'Norin10' and 'Ton thumb' dwarfing genes in British, Mexican, Indian and other hexaploid bread wheat varieties. **Euphytica**, Wageningen, v.30, p.355-361, 1981.
- 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.
- ROSENOW, D.T.; CLARK, L.E. Drought tolerance in sorghum. **American Seed Trade Associativa**, Washington, n.1, p.18-31, 1981.
- ROSENOW, D.T.; QUISENBERRY, J.E.; WENDT, C.W. Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. **Agricultural Water Management**, Califórnia, V.7, p. 207-222, 1983.
- SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; et al. Trigos di-haplóides com potencial para tolerância a toxicidade ao alumínio e a sensibilidade ao ácido giberélico em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.10, n.1, p.37 – 41, jan-mar, 2004.
- SILVA, S.A. CARVALHO, F.I.F.; CAETANO, V.R. Genetic Basis of Stay-Green Trait in Bread Wheat **Journal of New Seeds**, Washington, v.2, n.2, p.55-68, 2000.
- WOODFIN, C.A.; ROSENOW, D.T.; CLARK, L.E. Association between the stay green trait and lodging resistance in sorghum. **Agronomy abstracts**. ASA, Madison, p.102, 1988.