

Análise dialélica para tolerância ao vírus-do-nanismo-amarelo-da-cevada em cultivares brasileiras de trigo⁽¹⁾

Rosa Lía Barbieri⁽²⁾, Fernando Irajá Félix de Carvalho⁽²⁾, José Fernandes Barbosa Neto⁽³⁾, Vanderlei da Rosa Caetano⁽⁴⁾, Volmir Sérgio Marchioro⁽⁵⁾, Roni de Azevedo⁽⁵⁾ e Claudir Lonrecetti⁽⁵⁾

Resumo – Seis cultivares brasileiras de trigo com diferentes níveis de tolerância ao vírus-do-nanismo-amarelo-da-cevada (VNAC) foram cruzadas de modo dialélico para avaliar as capacidades geral e específica de combinação quanto à herança da tolerância. Um isolado do vírus transmitido por *Rhopalosiphum padi* (L.) foi inoculado nas cultivares e nos híbridos F₁ no estágio de plântula com duas folhas. Foram atribuídas notas individuais a cada planta de acordo com a severidade de sintomas apresentados. Os dados obtidos foram analisados segundo os três métodos: o de Griffing, o modelo fixo, e método 2. Ficou evidenciada a presença de heterose, provavelmente decorrente do efeito aditivo de genes complementares. As cultivares BR 34 e BR 35 se destacaram com melhores valores de capacidade geral de combinação (CGC), e é recomendado seu uso como genitores em programas de melhoramento de trigo que visem à obtenção de combinações genéticas com tolerância ao VNAC.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, heterose, capacidade combinatória, melhoramento de plantas.

Diallel analysis for tolerance to barley yellow dwarf virus in Brazilian cultivars of bread wheat

Abstract – Six Brazilian bread wheat cultivars differing in tolerance to barley yellow dwarf virus (BYDV) were crossed according to a diallel design, to determine general and specific combining ability. A BYDV isolate transmitted by *Rhopalosiphum padi* (L.) was inoculated in plants when seedlings had two leaves. Ten days after anthesis each plant was examined receiving a score according to its symptom severity. Data were evaluated according to Griffing method, fixed model and method two. Heterosis was evidenced, related to the additive effects of complementary genes. Cultivars BR 34 and BR 35 showed the best values of general combining ability (GCA). They are recommended as parents in wheat breeding programs to obtain tolerant genotypes to BYDV.

Index terms: *Triticum aestivum*, heterosis, combining ability, plant breeding.

Introdução

O nanismo-amarelo-da-cevada é reconhecido globalmente como uma das moléstias que causam maiores danos aos cereais (D'Arcy & Burnett, 1995). O vírus responsável por esta moléstia, denominado vírus-do-nanismo-amarelo-da-cevada e conhecido internacionalmente como BYDV, sigla de seu nome em inglês (barley yellow dwarf virus), é transmitido de maneira persistente por certas espécies de afídeos a várias gramíneas além da cevada, incluindo trigo, aveia, centeio e triticale. Em trigo, cevada e triticale os sintomas são semelhantes. Quando a inoculação

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 11 de fevereiro de 2000.

Extraído da tese de doutorado apresentada pela primeira autora à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

⁽²⁾ Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Dep. de Fitotecnia, Caixa Postal 354, CEP 96001-970 Pelotas, RS.

E-mail: barbieri@ufpel.tche.br, carvalho@ufpel.tche.br

⁽³⁾ UFRGS, Faculdade de Agronomia, Dep. de Plantas de Lavou-
ra, Caixa Postal 776, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS.

E-mail: jfbn@vortex.ufrgs.br

⁽⁴⁾ Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Tempe-
rado, Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas, RS.

⁽⁵⁾ UFPEL, FAEM, Bolsista do CNPq.

E-mail: volmirsm@ufpel.tche.br, roni@ufpel.tche.br,
claudir@ufpel.tche.br

do vírus acontece na fase de plântula, os sintomas apresentados são clorose e nanismo; ocorrendo em um estágio posterior, as folhas se tornam amarelas, podendo mostrar um leve avermelhamento, e algumas vezes as margens das folhas de trigo podem ser serrilhadas (Burnett, 1983). Em certas condições, ocorre a esterilidade total ou parcial da espiga (Cacatano, 1968). De acordo com Esau (1957), o vírus causa extensiva degeneração no floema do hospedeiro, ocasionando um colapso na condução da seiva, o que se reflete em esterilidade ou mortalidade de afilhos, redução no crescimento da raiz e na produtividade de grãos.

De acordo com a terminologia referente a respostas de plantas a viroses proposta por Cooper & Jones (1983), e utilizada por grande número de pesquisadores que trabalham com BYDV (Singh et al., 1993; Burnett et al., 1995; Miller & Rasochová, 1997; Jin et al., 1998), a resistência corresponde a uma redução na replicação do vírus na planta, enquanto a tolerância ocorre quando a planta não sofre a ação dos danos causados pelo vírus, ou seja, independentemente da concentração do vírus, desenvolve pouco ou nenhum sintoma da moléstia e não sofre reduções na produtividade por unidade de área. Um experimento conduzido por Henry & Vivar (1998) mostrou que plantas resistentes nem sempre são tolerantes, e vice-versa. Burnett et al. (1995) revisaram o progresso obtido pelo melhoramento genético no que se refere à tolerância e à resistência ao BYDV, destacando que muito poucos genes de resistência têm sido encontrados nos cereais, ao passo que genes conferindo tolerância parecem ter uma ocorrência expressivamente mais ampla.

Quase cinco décadas após a moléstia ter sido descrita na Califórnia por Oswald & Houston (1951), muitas informações têm sido publicadas sobre o nanismo-amarelo-da-cevada em nível mundial. Contudo, poucos ainda são os trabalhos realizados no Brasil, e não há nenhuma publicação que discuta as potencialidades do germoplasma brasileiro de trigo para a obtenção de genótipos elite expressando tolerância a BYDV. Além disto, como o objetivo do melhoramento genético é a obtenção de plantas que apresentem um desempenho superior às já existentes, qualquer avanço no conhecimento da genética do caráter de interesse é significativo para o

melhorista, já que esta superioridade depende da expressão de genes, e também porque a taxa pela qual as combinações gênicas produzindo superioridade possam ser reproduzidas depende do modo pelo qual estes genes são reorganizados. Conforme Allard (1960), os híbridos entre certos genótipos podem resultar muito superiores aos pais, ao passo que híbridos entre outros genótipos aparentemente iguais aos primeiros podem manifestar um fenótipo surpreendentemente inferior ao dos genitores. Assim, uma das primeiras decisões a serem tomadas pelo melhorista deve ser a escolha dos genitores, e o método de análise dialélica é uma estratégia que permite a identificação precoce de híbridos capazes de produzir uma progênie superior. A ação gênica e a existência de heterose podem ser exploradas pelo melhorista, proporcionando grandes avanços para a seleção (Tomes, 1998).

O objetivo deste trabalho foi determinar as capacidades geral e específica de combinação para tolerância ao BYDV em seis cultivares de trigo.

Material e Métodos

Seis cultivares brasileiras de trigo com respostas distintas a um isolado de BYDV obtido no Município de Capão do Leão, RS (Barbieri, 1999), foram utilizadas neste experimento. Foi realizado um cruzamento dialélico entre as cultivares IAC 5 - Maringá, EMBRAPA 16, CEP 24, BR 14, BR 34 e BR 35. Os cruzamentos recíprocos não foram realizados, uma vez que não há relatos de efeito materno relativo a tolerância ao BYDV em cereais. As sementes das cultivares foram obtidas na Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre, e na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, em Passo Fundo, RS.

O experimento foi conduzido no Município de Capão do Leão, RS. Os 15 híbridos F_1 e seus genitores foram semeados em baldes contendo solo com pH corrigido, e adubado com macros e micronutrientes. Os baldes foram mantidos em telado coberto com telhas de acrílico transparente. Foram semeados quatro baldes com cada genótipo, sendo colocadas três sementes por balde, totalizando 12 repetições por genótipo, em um delineamento experimental completamente casualizado. Quando as plântulas apresentavam duas folhas, foram colocados 10 afídeos da espécie *Rhopalosiphum padi* (L.) portadores do BYDV por planta, com auxílio de pequenas gaiolas para insetos.

Os vetores foram previamente colocados para se alimentar durante uma semana em plantas de aveia infectadas com o isolado do vírus. Três dias após a inoculação nas cultivares e seus F₁, as plantas foram pulverizadas com o inseticida phosdrin para eliminar os afídeos.

A avaliação da resposta das plantas à ação do vírus foi realizada dez dias após a antese. Para tanto, foi estabelecido um sistema de escore visual para a reação das plantas ao BYDV, com notas variando de zero (sem sintomas) a nove (sintomas severos), com base na escala proposta por Schaller & Qualset (1980). Duas pessoas, independentemente, avaliaram cada planta. Quando as notas atribuídas a uma planta pelos dois avaliadores foram discrepantes entre si, houve reavaliação da planta para chegar a uma nota consensual.

Os dados obtidos foram comparados pelo teste de Tukey e analisados segundo o método de análise dialélica desenvolvida por Griffing (1956), modelo fixo, e método 2, que permite estimar os efeitos das capacidades gerais e específicas de combinação, com $p(p+1)/2$ combinações, sem os híbridos F₁ recíprocos. Procedeu-se à análise da variância para dialélicos, envolvendo as seis cultivares e os híbridos F₁.

O modelo de Griffing estabelece que:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} = valor médio da combinação híbrida ($i \neq j$) ou do genitor ($i = j$);

m = média geral;

g_i, g_j = efeito da capacidade geral de combinação do i -ésimo e do j -ésimo genitor;

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação para os genitores i e j ;

e_{ij} = erro experimental médio.

Resultados e Discussão

A análise de variância demonstrou que os genitores diferiram em relação à capacidade geral de combinação (CGC); e a significância da capacidade específica de combinação (CEC) revelou que os cruzamentos são heterogêneos (Tabela 1). Deste modo, ficou evidenciada a existência de variabilidade genética aditiva e não-aditiva entre os genótipos avaliados.

Foram observadas diferenças significativas para as notas conferidas de acordo com a manifestação de sintomas nas plantas inoculadas (Tabela 2). Convém lembrar que as notas são inversamente proporcionais à tolerância, ou seja, quanto menor a nota, maior a tolerância. Os genitores foram separados em três gru-

Tabela 1. Análise de variância das capacidades gerais (CGC) e específicas (CEC) de combinação do cruzamento semidialélico entre seis cultivares brasileiras de trigo, conforme o método de Griffing (1956).

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
CGC	5	11,2575	2,2515	15,01*
CEC	15	16,0456	1,0697	7,13*
Erro	170	26,12	0,15	

* Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Médias das notas atribuídas visualmente a seis cultivares de trigo e seus híbridos F₁ infectados pelo BYDV, capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) conforme Griffing (1956), modelo fixo, método 2.

Cultivar ou híbrido	Nota ⁽¹⁾	CGC	CEC
IAC 5	5,00a	0,25	1,88
EMBRAPA 16	4,88a	0,40	1,47
CEP 24	4,88a	0,53	1,21
BR 14	3,83b	0,11	1,00
BR 34	1,00h	-0,82	0,02
BR 35	1,43gh	-0,48	-0,23
IAC 5 x EMBRAPA 16	2,75cde	-	-0,51
IAC 5 x CEP 24	1,86fg	-	-1,53
IAC 5 x BR 14	1,78fg	-	-1,19
IAC 5 x BR 34	2,00fg	-	-0,05
IAC 5 x BR 35	2,00fg	-	-0,39
EMBRAPA 16 x CEP 24	2,75cde	-	-0,79
EMBRAPA 16 x BR 14	2,23ef	-	-0,93
EMBRAPA 16 x BR 34	2,00fg	-	-0,20
EMBRAPA 16 x BR 35	2,08fg	-	-0,47
CEP 24 x BR 14	2,92c	-	-0,33
CEP 24 x BR 34	2,31def	-	-0,01
CEP 24 x BR 35	3,00c	-	0,33
BR 14 x BR 34	1,78fg	-	-0,13
BR 14 x BR 35	2,88cd	-	0,63
BR 34 x BR 35	1,75fgh	-	0,43

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

pos, segundo o teste de Tukey: IAC 5, EMBRAPA 16 e CEP 24 revelaram sensibilidade ao vírus; BR 34 e BR 35 foram tolerantes; e BR 14 demonstrou reação intermediária. Os híbridos F_1 foram bastante semelhantes entre si quanto à reação ao vírus, com a manifestação de sintomas pouco expressiva. Este fenômeno ocorreu tanto para a progênie do cruzamento de cultivares sensíveis ao vírus entre si, como do cruzamento de cultivares sensíveis com tolerantes, evidenciando a presença de heterose, com a média das notas da F_1 sendo inferior à de um genitor e apresentando um grande desvio em relação à média dos dois pais.

A heterose apenas não foi detectada nos híbridos F_1 do cruzamento entre BR 34 e BR 35. Estes dois genótipos praticamente não desenvolveram sintomas, e é bastante difícil distinguir entre plantas infectadas e não-infectadas com BYDV. As cultivares BR 34 e BR 35 portam os genes responsáveis pela tolerância ao vírus em combinações altamente favoráveis, de maneira a otimizar a expressão do caráter. Em BR 34 e BR 35, a combinação de genes para tolerância ao BYDV é tão favorável, que na produção de híbridos não foi obtida nenhuma outra combinação genética que proporcionasse uma expressão superior de tolerância ao BYDV.

As F_1 dos cruzamentos de cultivares sensíveis e tolerantes também mostraram que a dominância tem pouco efeito no controle do caráter. É provável que as cultivares sensíveis (IAC 5, EMBRAPA 16, CEP 24 e BR 14) apresentem genes distintos responsáveis por sua resposta ao vírus, e que nas F_1 tenham ocorrido diferentes combinações destes genes, o que conferiu então maior tolerância do que a encontrada nos genitores.

A estimativa dos efeitos da CGC de cada cultivar e da CEC de seus cruzamentos estão apresentadas na Tabela 2. Valores negativos indicam sua contribuição para tolerância ao BYDV, enquanto valores positivos apontam tendência a conferir sensibilidade ao vírus. Assim, valores negativos de CGC foram observados em genótipos tolerantes, e valores positivos nos mais sensíveis ao BYDV.

Os valores de CGC não diferiram expressivamente entre si, o que evidenciou a presença de genes complementares de pequeno efeito nos genitores, mesmo no caso das cultivares IAC 5, EMBRAPA 16 e

CEP 24, mais sensíveis ao vírus. Esses genes sofrem o efeito da aditividade, resultando em progênes com boa tolerância ao BYDV. As cultivares BR 34 e BR 35, por apresentarem valores negativos de CGC, são as que possuem maior potencial para aumentar o caráter tolerância a este vírus em trigo.

De acordo com Cruz & Regazzi (1994), o efeito da CEC pode ser interpretado como sendo o desvio do híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores. Assim, os baixos valores absolutos das CEC observados indicam que os híbridos F_1 tiveram o comportamento esperado com base na CGC de seus genitores. Não há um cruzamento que se destaque como sendo expressivamente superior ou inferior no que se refere à tolerância ao BYDV.

A magnitude dos valores da CEC de cada genitor (s_{ii}) é um indicativo da divergência genética da cultivar em questão, em relação à média dos outros genitores testados no dialélico. Quanto maior o valor absoluto de s_{ii} , maior é o efeito da heterose inerente à cultivar, a qual se manifesta em todas as suas populações F_1 (Cruz & Regazzi, 1994). Esta hipótese pode ser demonstrada com destaque pelos valores superiores da CEC da cultivar IAC 5 e da cultivar EMBRAPA 16, as quais conferiram heterose a todos os seus híbridos F_1 .

Contudo, apesar de as cultivares IAC 5 e EMBRAPA 16 proporcionarem maior heterose aos híbridos, BR 34 e BR 35 expressaram melhor desempenho em termos de efeito da CGC para tolerância ao BYDV. Assim, BR 34 e BR 35 parecem ter maior potencial como genitores para a obtenção de novas linhagens de trigo tolerantes ao vírus.

Conclusões

1. A tolerância ao nanismo-amarelo-da-cevada, observada nas cultivares brasileiras de trigo testadas, é herdável.
2. Existe a ação de heterose para tolerância ao BYDV, baseada na ação aditiva de genes complementares.
3. As cultivares IAC 5 e EMBRAPA 16 apresentam os melhores valores de CEC, conferindo heterose a todas as populações F_1 .
4. As cultivares BR 34 e BR 35 são preferencialmente recomendadas como genitores em programas

de melhoramento de trigo que visem à obtenção de combinações genéticas com tolerância ao BYDV.

Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES e à FAPERGS, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 3. ed. New York : J. Wiley, 1960. 485 p.
- BARBIERI, R. L. **Genética da tolerância em trigo ao vírus do nanismo-amarelo-da-cevada (barley yellow dwarf virus - BYDV)**. Porto Alegre : UFRGS, 1999. 122 p. Tese de Doutorado.
- BURNETT, P. A. Preface. In: BARLEY YELLOW DWARF WORKSHOP, 1983, Mexico. **Proceedings...** Mexico : CIMMYT, 1983. p. 6-13.
- BURNETT, P. A.; COMEAU, A.; QUALSET, C. O. Host plant tolerance or resistance for control of barley yellow dwarf. In: BARLEY yellow dwarf: 40 years of progress. St. Paul : APS, 1995. p. 321-343.
- CAETANO, V. R. Nota prévia sobre a ocorrência de uma virose em cereais de inverno no Rio Grande do Sul. **Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia**, Brasília, v. 2, p. 53-66, 1968.
- COOPER, J. I.; JONES, A. T. Responses of plants to viruses: proposals for use of terms. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, p. 127-128, 1983.
- CRUZ, C. M.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa : UFV, 1994. 390 p.
- D'ARCY, C. J.; BURNETT, P. A. **Barley yellow dwarf: a brief introduction**. In: D'ARCY, C. J.; BURNETT, P. A. (Ed.). **Barley yellow dwarf: 40 years of progress**. St. Paul : APS, 1995. p. 1-5.
- ESAU, K. Phloem deterioration in Gramineae affected by the barley yellow dwarf virus. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 44, p. 245-251, 1957.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Sciences**, **Collingwood**, v. 9, p. 463-493, 1956.
- HENRY, M.; VIVAR, H. Resistance to BYDV in barley. **BYD Newsletter**, Mexico, v. 7, p. 11, 1998.
- JIN, H.; DOMIER, L.; KOLB, F. L.; BROWN, C. M. Identification of quantitative loci for tolerance to barley yellow dwarf virus in oat. **Phytopathology**, St. Paul, v. 88, p. 410-415, 1998.
- MILLER, W. A.; RASOCHOVÁ, L. Barley yellow dwarf viruses. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 35, p. 167-190, 1997.
- OSWALD, J. W.; HOUSTON, B. R. A new virus disease of cereals transmissible by aphids. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 35, p. 471-475, 1951.
- SCHALLER, C. W.; QUALSET, C. O. Breeding for resistance to the barley yellow dwarf virus. In: INTERNATIONAL WHEAT CONFERENCE, 3. , 1980, Madrid. **Proceedings...** Madrid : University of Nebraska, 1980. p. 528-541. (University of Nebraska. Agricultural Experimental Station Publication, MP41).
- SINGH, R. P.; BURNETT, P. A.; ALBARRÁN, M.; RAJARAM, S. BDV 1: a gene for tolerance to barley yellow dwarf virus in bread wheats. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 231-234, 1993.
- TOMES, D. T. Heterosis: performance stability, adaptability to changing technology, and the foundation of agriculture as a business. In: CROP SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (Madison, Estados Unidos). **Concepts and breeding of heterosis in crop plants**. St. Paul, 1998. p. 13-28. (CSSA Special Publication, 25).