

ESTERILIDADE EM PÓLEN DE TRIGO INDUZIDA PELO ÁCIDO 2-CLOROETILFOSFÔNICO (ETHREL)¹

JOSÉ FERNANDES BARBOSA², FERNANDO IRAJÁ F. DE CARVALHO³
e MARIA JANE C.M.S. TAVARES⁴

RESUMO - A indução de macho-esterilidade e de fertilidade em trigo (*Triticum aestivum* L.) foi determinada, em casa-de-vegetação e no campo, após aplicações do gametocida ácido 2-cloroetilfosfônico (ethrel). A sensibilidade ao produto na casa-de-vegetação foi maior do que no campo. Os genótipos tratados com ethrel produziram poucos grãos, ou nenhum; entretanto, a escolha de uma concentração adequada de solução do ethrel parece ter sido de fundamental importância: revelou altos níveis de esterilidade, não ocasionou danos maiores às plantas, e evitou a ocorrência de espigamento incompleto. Mostrou-se que o estágio de desenvolvimento para aplicação também foi crítico, dado a tempo relativamente curto de efetividade do ethrel. A indução de macho-esterilidade em trigo empregando-se o ethrel parece ser possível, principalmente na utilização de métodos de melhoramento que requerem emasculação manual para a produção de genótipos superiores.

Termos para indexação: macho-esterilidade, gametocida, *Triticum aestivum*.

WHEAT-POLLEN STERILITY INDUCED BY 2-CHLOROETHYLPHOSPHONIC ACID (ETHREL)

ABSTRACT - Male sterility and female fertility were determined in greenhouse and field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.) following application of 2-chloroethylphosphonic acid (ethrel) as a gametocide. Sensitivity to ethrel treatment was greater under greenhouse than under field conditions. Genotypes treated with ethrel produced little or no seed set. It was also important to choose a proper ethrel concentration, inducing high sterility, not damaging the plants and not preventing full earing. The work showed stage of application to be critical due to the time of effectiveness of ethrel application to be relatively short. The results indicated that production of usable male sterility in wheat utilizing ethrel appears feasible, mainly in wheat breeding methods now requiring hand emasculatation for conventional variety improvement.

Index terms: male sterility, gametocide, *Triticum aestivum*.

INTRODUÇÃO

A produção de híbridos em escala comercial poderá ser uma técnica vantajosa para aumentar o rendimento de grãos, uma vez que vários autores, como Rodriguez et al. (1966), têm evidenciado a ocorrência de altos níveis de heterose entre genótipos de trigo com capacidade combinatória. No entanto, a obtenção de sementes híbridas em trigo é bastante trabalhosa e onerosa, pelo fato de esta espécie apresentar prioritariamente reprodução

autógama; conseqüentemente, um mecanismo que permita a produção de sementes híbridas de trigo em larga escala poderá ser da mais alta importância econômica e social para quem necessitar de maior quantidade de produtos para a alimentação.

A indução de macho-esterilidade utilizando controle genético poderá possibilitar a ocorrência de cruzamentos em trigo numa escala razoável para permitir a produção comercial de híbridos; Kihara (1951) foi o primeiro a apontar a existência de uma combinação núcleo-citoplasma determinante de macho-esterilidade em trigo. Posteriormente, Wilson & Ross, citados por Rodriguez et al. (1966), obtiveram linhas de trigo comum com esterilidade do pólen genético-citoplasmática utilizando o citoplasma de *Triticum timopheevi* L., o qual demonstrou ser promissor para a indução da macho-esterilidade nesta espécie. Entretanto, os sistemas de esterilidade determinados geneticamente possuem limitações para uma eficiente utiliza-

- ¹ Aceito para publicação em 21 de julho de 1986. Resumo da dissertação apresentada pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestrado em Agronomia à UFRGS.
- ² Eng. - Agr., M.Sc., Bolsista da CAPES.
- ³ Prof.-Titular, Ph.D., Univ. Fed. do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 776, CEP 90000 Porto Alegre, RS, Pesquisador do CNPq.
- ⁴ Prof.-Assistente, M.Sc., UFRGS. Pesquisador do CNPq.

ção em trigo, uma vez que os mecanismos existentes para restauração da fertilidade apresentam herança complexa e os efeitos do ambiente têm participação expressiva na determinação do caráter (Sage 1976), dificultando de forma acentuada o emprego destes sistemas na produção comercial de trigo híbrido.

Ante as deficiências observadas na manipulação da macho-esterilidade através de controle genético, têm-se sugerido produtos químicos com potencial para esterilizar o pólen em trigo, os quais parecem revelar vantagens na utilização, principalmente no que se refere à rapidez e facilidade na indução de macho-esterilidade. Dentre os gametocidas testados, o ácido 2-cloroetilfosfônico (ethrel) tem apresentado destacada possibilidade de emprego em trigo; Rowell & Miller (1971), assim como Dotlacil & Apltauerova (1978), apontaram o ethrel como de satisfatória eficiência para a indução da macho-esterilidade nesta espécie. No entanto, para viabilizar definitivamente a utilização deste gametocida em trigo, parece ser de extrema importância pesquisar e determinar doses efetivas e estádios de desenvolvimento de planta sensíveis ao ethrel. Diversos pesquisadores, como Rowell & Miller (1974), Benert & Hughes (1972), Dotlacil & Apltauerova (1977) e Stoskopf & Law (1972), indicaram que o estádio de aplicação era o fator mais crítico para a efetividade do ethrel sendo necessárias doses mais intensas para obter macho-esterilidade quando a aplicação era feita após o período mais recomendável, o qual estava situado em torno da meiose formadora dos grãos de pólen em trigo.

Desta maneira, o ethrel poderia permitir a produção de sementes híbridas de trigo em escala comercial, sendo necessárias, segundo Rowell & Miller (1971), apenas duas linhagens para efetuar os cruzamentos, isto é: uma, polinizadora (linha P); e outra, macho-estéril induzida quimicamente (linha C). Por outro lado, este produto poderá ser utilizado vantajosamente em diferentes métodos de melhoramento de trigo, principalmente nos que requerem grande número de cruzamentos ou certa quantidade de sementes híbridas (Porter & Wiese 1961). Em um programa que objetivava obter resistência horizontal para diferentes raças de pató-

genos, Beek (1977) observou níveis adequados de macho-esterilidade induzida pelo ethrel num bloco de cruzamento com 18 genótipos de trigo, ocupando uma área de 0,5 ha, onde obteve 240 kg de sementes híbridas. Outros métodos de melhoramento, como, por exemplo, seleção recorrente e cruzamentos compostos, também poderão ser viabilizados através do emprego do ethrel como macho-gametocida, evidenciando grande potencial para este produto químico no melhoramento genético da cultura do trigo.

Este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade real do produto gametocida ethrel na indução de macho-esterilidade em trigo, definindo doses e estádios de desenvolvimento adequados para aplicações, em dois genótipos utilizados em programas de melhoramento genético desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar o produto ácido 2-cloroetilfosfônico (ethrel) como macho-gametocida em trigo, foram conduzidos três experimentos, dois no campo e um em casa-de-vegetação, durante os anos de 1983 e 1984.

Os genótipos de trigo E-7414 e PF 79780, originados dos cruzamentos artificiais de INIA 66/20 IASSUL² e IAS 63/ALONDRA "S"/GA BOTO/LAGOA VERMELHA respectivamente, foram tratados com o ethrel em três estádios de desenvolvimento de planta, determinados com base na escala de crescimento e desenvolvimento criada por Zadoks et al. (1974), a qual utiliza os valores de 41,45 e 54 para os estádios denominados pré-emborrachamento, emborrachamento e espigamento, respectivamente. No experimento em casa-de-vegetação não foi utilizado o estádio de espigamento para aplicação do produto, por ser, possivelmente, o período de menor relevância de efeito do ethrel sobre plantas, visto que o objetivo principal era testar doses.

As concentrações utilizadas para a aplicação no ano agrícola de 1983, de 0 ppm, 500 ppm, 1.000 ppm e 2.000 ppm, perfazendo doses de, aproximadamente, 0, 1, 2 e 4 l/ha de ingrediente ativo, tinham por objetivo fornecer pontos para o ajuste de uma equação linear de resposta, assim como evitar danos em outros caracteres que não o pólen das plantas. Para os dois experimentos posteriores, as soluções empregadas tiveram suas concentrações incrementadas, sendo utilizadas, em casa-de-vegetação, 100 ml por vaso, no campo, em 1984, através da aplicação de uma vazão de, aproximadamente, 370 l/ha, evitando, desta forma, a possibilidade de não absorção efetiva do gametocida pelas plantas tratadas. Em casa-de-vegetação as doses utilizadas, variando de 0, 10, 20 e 40 l/ha de ingrediente ativo, determinaram alta resposta em ambos os genótipos testados; assim sendo, no campo, em 1984,

as dosagens foram reduzidas para 0, 5, 10 e 20 l/ha de ingrediente ativo, objetivando não induzir o aparecimento de efeitos indesejáveis do ethrel sobre as plantas tratadas.

As sub-subparcelas utilizadas para os dois experimentos de campo possuíam cinco linhas de 3,0 m espaçadas de 0,30 m, constituindo um delineamento de parcelas sub-subdivididas, arranjadas em blocos casualizados com quatro repetições. Na casa-de-vegetação foram empregados vasos plásticos contendo quatro plantas de trigo em cada um, sendo dispostos conforme delineamento de blocos casualizados, com três repetições.

Para os três experimentos foram ensacadas espigas no período entre o espigamento e a antese, tendo por objetivo estimar a frequência de autofecundação ocorrida, sendo utilizadas cinco espigas nos experimentos de campo e uma espiga em casa-de-vegetação; ainda anteriormente à antese, foram coletadas mais cinco espigas não ensacadas por parcela para efetuar uma análise microscópica dos grãos de pólen.

Aproximadamente duas semanas após o período de antese, no experimento de campo, em 1984, foram medidos a estatura e os comprimentos do pedúnculo e o primeiro, segundo, terceiro e quarto entrenós, com a finalidade de auxiliar na definição dos efeitos da aplicação do ethrel em plantas de trigo.

Quando na maturação dos dois genótipos de trigo testados foram colhidas as espigas ensacadas, assim como espigas não ensacadas na mesma quantidade. Para a avaliação do rendimento de grãos em 1984, as três linhas centrais de cada parcela foram colhidas, sendo desprezados 40 cm de bordo em cada extremidade, constituindo uma área útil de aproximadamente 2,0 m².

A estimativa para fecundação cruzada estava baseada em um sistema apresentado por Milliano (1976), sendo o decréscimo na frequência de grãos devido ao ensacamento (E) estimado por, $E = 100 \cdot (\text{Nee} \times 100 / \text{Nene})$, onde Nee = frequência de grãos em espigas ensacadas de plantas não tratadas com o ethrel, e Nene = frequência de grãos em espigas não ensacadas de plantas também não tratadas com o produto químico. A percentagem de fecundação cruzada (%FC) foi computada por, $\%FC = (\text{Nee} \times 100 / \text{Nene}) - (\text{Tee} \times 100 / \text{Tene})$, onde Tee determina a frequência de grãos em espigas ensacadas de plantas tratadas com o ethrel, e Tene, a frequência de grãos em espigas não ensacadas de plantas tratadas com esse gametocida. As frequências de grãos foram determinadas a partir do número de grãos formados, dividido pelo número de flores laterais existentes por espiga.

Para o preparo de quatro lâminas de microscópio com grãos de pólen por parcela, foi empregada a técnica de esmagamento em corante carmim propiônico, descrita por Lewis & John (1964) tendo sido analisados duzentos grãos de pólen em cada lâmina, dos quais somente aqueles que possuíam três núcleos e amido foram considerados normais.

RESULTADOS

Em experimento preliminar no campo, em 1983, foram testadas quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta nos genótipos de trigo E-7414 e PF-79780; não foram observados efeitos do produto sobre as plantas tratadas, o que evidencia a não-efetividade do ethrel para induzir anormalidades nos grãos de pólen. Desta forma, as doses e a concentração da solução do produto foram incrementadas para um teste em casa-de-vegetação, pois a ineficiência do ethrel no campo foi atribuída à utilização de soluções inadequadas para a absorção efetiva do gametocida pelas plantas.

As doses de 10 a 40 l/ha de ethrel, aplicadas em casa-de-vegetação, determinaram a manifestação de, praticamente, 100% de anormalidades nos grãos de pólen dos dois genótipos de trigo testados (Tabela 1), o que demonstra a capacidade deste produto químico em induzir a macho-esterilidade nesta espécie. Entretanto, os danos ocorridos nas plantas tratadas poderiam determinar limitações para a utilização efetiva do ethrel em trigo.

Em 1984, foram pesquisadas novas doses do gametocida ethrel com o objetivo de induzir à esterilidade do pólen em trigo. A Tabela 2 inclui os valores da frequência de grãos, espigas ensacadas e não-ensacadas, e de pólen anormal para o E-7414, o qual revelou uma grande resposta ao tratamento com o gametocida testado. A frequência de grãos em espigas ensacadas foi reduzida com doses crescentes do produto químico; no entanto, com o protelamento da aplicação foram necessárias doses mais intensas para a efetividade do gametocida (Tabela 2).

Em espigas não ensacadas, a interação estádios x doses também teve comportamento semelhante na produção de grãos por espiga (Tabela 2).

A frequência de pólen anormal no E-7414, determinada através de análise microscópica dos grãos de pólen, foi alterada pelo emprego do ethrel; entretanto, apenas as aplicações utilizando o estádio de pré-emborrachamento causaram efeitos significativos neste caráter (Tabela 2), com os demais estádios não diferindo das plantas não tratadas. O produto químico utilizado também teve um efeito bastante expressivo na determinação dos caracteres

freqüência de grãos, espigas ensacadas e não-ensacadas, e de pólen anormal do genótipo PF-7980 (Tabela 3).

A interação constatada entre estádios de aplicação e doses de ethrel evidenciou, para a freqüência de grãos em espigas ensacadas, que os tratamentos de 5, 10 e 20 l/ha empregados no pré-emborrachamento e 10 e 20 l/ha no emborrachamento foram os mais efetivos para reduzir a produção de grãos por espiga (Tabela 3); em espigas não ensacadas o comportamento do número de grãos foi similar; entretanto, a dose de 20 l/ha aplicada no pré-emborrachamento induziu um efeito mais intenso na redução deste caráter (Tabela 3).

A análise microscópica dos grãos de pólen indicou que o produto testado somente foi eficiente para incrementar a freqüência de pólen anormal quando aplicado em doses superiores a 10 l/ha; novamente a interação estádios x doses foi de alta importância na manifestação do caráter, onde o emprego de 10 e 20 l/ha ocupando o estádio de emborrachamento produziram freqüência de pólen anormal intermediárias às aplicações de 10 e 20 l/ha no pré-emborrachamento e demais tratamentos testados (Tabela 3).

influência na esterilidade do pólen, determinou um acréscimo acentuado na ocorrência de fecundação cruzada a campo para os dois genótipos testados; entretanto, as aplicações em estádios mais desenvolvidos de planta evidenciaram menor efetividade do gametocida empregado para a promoção de cruzamentos artificiais em trigo, principalmente no genótipo E-7414. Uma análise da regressão linear múltipla (Fig. 1) indicou que o decréscimo na freqüência de grãos em espigas ensacadas foi mais importante do que o acréscimo de grãos em espigas não ensacadas para a determinação da percentagem de fecundação cruzada a campo em 1984.

Para a melhor utilização do gametocida ethrel na indução de macho-esterilidade em trigo, seria de extrema relevância identificar caracteres morfológicos que apresentassem alterações conforme os tratamentos empregados (genótipos, estádios e doses); desta forma, a Tabela 5 inclui informações referentes à estatura de planta e comprimentos do pedúnculo e terceiro e quarto entrenós; apenas a média dos dois genótipos testados está apresentada, uma vez que ambos revelaram um comportamento similar. Na Fig. 2 é possível visualizar o

TABELA 1. Freqüência de pólen anormal em dois genótipos de trigo testados em casa-de-vegetação com quatro doses de ethrel aplicadas em dois estádios de desenvolvimento de planta (FA/UFRGS, 1984).

Estádio	Dose (l/ha)	Genótipo	
		E-7414	PF-79780
Pré-emborrachamento	0	0,06	0,11
	10	0,99	1,00
	20	0,91	1,00
	40	1,00	1,00
Emborrachamento	0	0,21	0,05
	10	0,97	0,88
	20	0,91	1,00
	40	0,85	1,00

A percentagem de fecundação cruzada, inclusa na Tabela 4, foi obtida a partir da divisão do número de grãos em espigas ensacadas pelo de espigas não ensacadas, descontando o efeito do ensacamento sobre a freqüência de grãos em espigas ensacadas, de acordo com procedimento descrito no capítulo Material e Métodos. O ethrel, através da

efeito da utilização do produto químico testado, sobre a morfologia das plantas de trigo. O número de nós por colmo não evidenciou modificação com as aplicações de ethrel, sendo a maioria das plantas possuidoras de quatro nós por colmo; o primeiro e segundo entrenós também não demonstraram resposta ao gametocida testado. Por outro lado, os

demais componentes da estatura da planta foram reduzidos significativamente pelo ethrel; entretanto o comprimento do terceiro entrenó somente foi afetado em aplicações no estádio de pré-emborrachamento (Tabela 5). Assim sendo, com o objetivo de identificar qual componente morfológico contribuiu mais acentuadamente para a redução de estatura observada, foram ajustadas equações lineares dos caracteres comprimentos do pedúnculo, terceiro e quarto entrenós para estatura total das plantas (Fig. 3). O coeficiente de regressão (b) do caráter comprimento do terceiro entrenó não alcançou significância pelo teste de F; por outro lado, os comprimentos do pedúnculo e quarto entrenó alteraram significativamente a estatura das plantas tratadas, com a redução do quarto entrenó resultando num efeito de maior importância ($b = 2,62$).

DISCUSSÃO

Os resultados preliminares obtidos no campo em 1983 indicaram a não-efetividade do ethrel para induzir a macho-esterilidade nos dois genótipos de trigo testados; desta forma, em 1984 foram testadas maiores doses do produto e soluções mais concentradas, com o objetivo de determinar o motivo da ineficiência do ethrel no ano anterior, uma vez que Rowell & Miller (1971) e Dotlacil & Aptanerova (1978) apontaram os estádios utilizados neste experimento como os mais adequados para induzir à esterilidade do pólen, e indicaram a existência de sensibilidade diferencial de genótipos de trigo ao gametocida ethrel.

A esterilidade observada na casa-de-vegetação em 1984 foi praticamente total, onde as plantas tratadas com o produto químico produziram alta

TABELA 2. Frequência de grãos, espigas ensacadas (EE) e não-ensacadas (ENE), e de grãos de pólen anormal para o genótipo E-7414 testado no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

Dose (l/ha)	Frequência de grãos											
	EE				ENE				Frequência de pólen anormal			
	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média	Estádio ¹		Média	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
0	a0,93 ²	a0,89	a0,94	0,92A ³	a0,94 ²	a0,94	a0,96	0,95A ³	b0,03 ²	b0,03	b0,03	0,03B ³
5	e0,06	ab0,73	a0,89	0,56B	cd0,58	bc0,67	a0,96	0,74B	a0,77	b0,03	b0,05	0,28A
10	e0,03	c0,48	a0,89	0,47BC	de0,39	cde0,53	a0,95	0,62BC	a0,91	b0,04	b0,03	0,33A
20	e0,02	d0,28	ab0,81	0,37C	e0,27	de0,48	ab0,87	0,54C	a0,90	b0,10	b0,02	0,34A
Média	0,26c ⁴	0,60b	0,88a	0,58	0,55b ⁴	0,66b	0,94a	0,71	0,65a ⁴	0,05b	0,03b	0,25

¹ Pré-emborrachamento (1), emborrachamento (2) e espigamento (3).

² Médias antecedidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

³ Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

⁴ Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

Um caráter que poderá definir a viabilidade de utilização do ethrel para induzir a macho-esterilidade em larga escala na cultura do trigo é o rendimento de grãos em plantas tratadas. Na Tabela 6 estão incluídos os valores obtidos no campo em 1984. O gametocida aplicado determinou uma redução acentuada no caráter, onde as plantas tratadas com doses de 5, 10 e 20 l/ha produziram, na média, 62%, 41% e 25% em relação às não-tratadas, respectivamente. No entanto, o efeito do gametocida utilizado foi menos pronunciado nas aplicações em estádios de desenvolvimento mais tardios, revelando uma interação entre estádios e doses empregados para a aplicação.

freqüência de pólen anormal; entretanto, as plantas não tratadas também apresentaram nível razoável de esterilidade do pólen, indicando um possível efeito de outros fatores na determinação da esterilidade para os dois genótipos testados. Loughheed & Franklin (1972) relataram a existência de interação entre a temperatura e a liberação de etileno, princípio ativo do ethrel, pelas plantas tratadas com o gametocida; por outro lado, Zanettini et al. (1979) apontaram que a temperatura poderia induzir a anormalidades meióticas, resultando em esterilidade nas plantas, desta maneira, sustentando a possibilidade das altas temperaturas verificadas na casa-de-vegetação terem sido responsáveis

TABELA 3. Frequência de grãos, espigas ensacadas (EE) e não-ensacadas (ENE), e de grãos de pólen anormal para o genótipo PF-79780 testado no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

Dose (l/ha)	Frequência de grãos											
	EE				ENE				Frequência de pólen anormal			
	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
0	a0,83 ²	a0,84	a0,81	0,83A ³	a0,88 ²	a0,89	a0,90	0,89A ³	b0,01 ²	b0,04	b0,03	0,03B ³
5	c0,26	b0,48	a0,73	0,49B	c0,65	bc0,68	ab0,84	0,72B	b0,04	b0,02	b0,02	0,03B
10	c0,14	c0,13	ab0,67	0,31B	cd0,64	cd0,63	ab0,84	0,70B	a0,67	ab0,52	b0,01	0,40A
20	c0,03	c0,04	b0,47	0,18C	d0,43	cd0,56	abc0,73	0,57C	a0,91	ab0,55	b0,01	0,49A
Média	0,32b ⁴	0,37b	0,67a	0,45	0,65b ⁴	0,69b	0,83a	0,72	0,41a ⁴	0,28a	0,02b	0,24

¹ Pré-emborrachamento (1), emborrachamento (2) e espigamento (3).

² Médias antecedidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

³ Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

⁴ Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste em tabelas de contingência ($P > 0,01$).

TABELA 4. Percentagem de fecundação cruzada em dois genótipos de trigo testados no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

Genótipo	Dose (l/ha)	Pré-emborrachamento	Emborrachamento	Espigamento
E-7414	0	0	2,62	0,51
	5	86,35	0	4,09
	10	88,63	7,13	3,38
	20	90,05	38,70	4,49
PF-79780	0	2,33	1,97	4,31
	5	56,79	24,00	6,79
	20	86,20	85,58	27,04

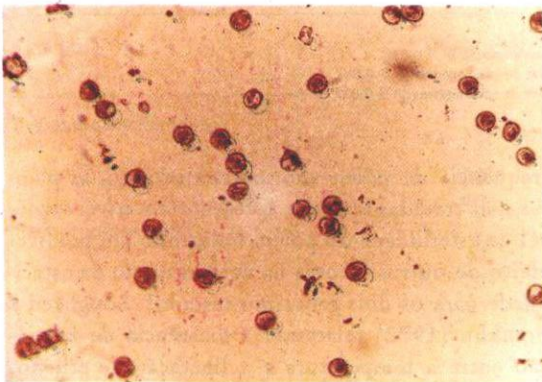


FIG. 1. Regressão linear múltipla da percentagem de fecundação cruzada para frequência de grãos, espigas ensacadas (X_1) e não-ensacadas (X_2), em dois genótipos de trigo testados no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).



FIG. 2. Parcela tratada com 5 l/ha de ethrel no pré-emborrachamento, revelando uma intensa redução na estatura das plantas pertencentes às três linhas centrais em comparação com a linha de bordo, à esquerda (EEA/UFRGS, 1984).

TABELA 5. Estatura, comprimentos do pedúnculo, terceiro e quarto entrenós, média de dois genótipos de trigo testados no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

Dose (l/ha)	Comprimento do terceiro entrenó (cm)**				Comprimento do quarto entrenó (cm)*				Comprimento do pedúnculo (cm)**				Estatura (cm)*			
	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média	Estádio ¹			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
0	ab11,8 ²	ab11,3	ab11,9	11,6A ³	a19,71 ³	ab18,53	ab19,25	19,16A ³	a32,06 ²	a31,54	a31,39	31,65A ³	a84,44 ²	a82,06 ²	a84,39	83,63A ³
5	d 8,2	ab11,1	ab11,3	10,2B	cd10,02	c12,44	ab18,76	13,74B	d17,74	d18,58	b25,03	20,44B	d67,02	cd64,04	b76,39	65,82B
10	e 9,1	ab11,2	ab11,4	10,6B	cd 9,90	c12,52	b18,09	13,54B	e15,35	de16,79	bc24,73	18,96B	e155,16	cd62,64	ab77,44	65,08BC
20	cd 8,9	b10,9	a12,7	10,8B	d 9,10	cd 12,06	ab18,45	13,20B	f12,41	e15,45	c23,64	17,17C	e151,57	cde60,33	b77,11	63,01C
Média	9,5b ⁴	11,1a	11,8a	10,8	12,19c ⁴	13,91b	18,64a	14,91	19,39c ⁴	20,58b	26,19a	22,06	62,06c ⁴	67,27b	78,83a	69,38

¹ Pré-emborrachamento (1), emborrachamento (2) e espigamento (3).
² Médias antecedidas por mesma letra não diferam entre si (P > 0,01).
³ Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferam entre si (P > 0,01).
⁴ Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferam entre si (P > 0,01).
^{*} Médias separadas por tabelas de contingência.
^{**} Médias separadas pelo teste de Duncan.

TABELA 6. Rendimento de grãos (kg/ha), média de dois genótipos de trigo testados a campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

Dose (l/ha)	Estádio				Média
	Pré-emborrachamento	Emborrachamento	Espigamento		
0	a1.516 ¹	a1.547	a1.541		1.535A ²
5	c 782	c 840	b1.242		954B
10	e 374	cd 661	c 862		632C
20	f 156	de 492	de 511		386D
Média	707c ³	885b	1.039a		877

¹ Médias antecedidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan (P > 0,01).
² Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan (P > 0,01).
³ Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Duncan (P > 0,01).

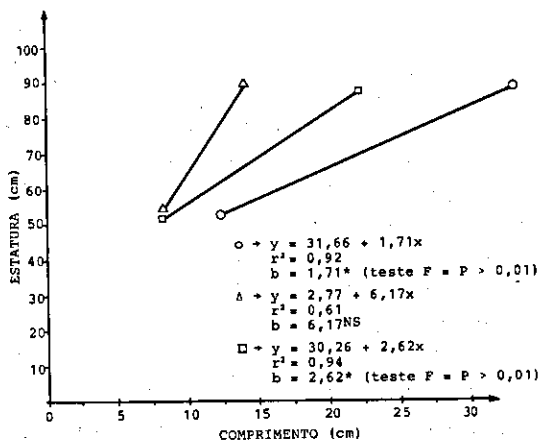


FIG. 3. Regressão linear do caráter estatura para o comprimento do pedúnculo (o—o), para o comprimento do terceiro entrenó (Δ—Δ) e para o comprimento do quarto entrenó (□—□) em dois genótipos de trigo testados no campo com quatro doses de ethrel aplicadas em três estádios de desenvolvimento de planta (EEA/UFRGS, 1984).

diretamente por grande parte da esterilidade obtida, tanto nas plantas tratadas, como nas não tratadas.

Os dados obtidos a campo em 1984 confirmaram que o ethrel poderia induzir satisfatoriamente a macho-esterilidade em trigo, refutando os resultados observados no campo em 1983 e indicando que a concentração da solução aplicada foi um fator de fundamental importância para a efetividade deste produto químico, uma vez que a dose de 5 l/ha, utilizada em 1984, produziu resultados bastante distintos em relação à quantidade de 4 l/ha, aplicada em 1983; Dotlacil & Aptauerova (1977) também apontaram a concentração da solução de ethrel como limitante para a eficiente indução de macho-esterilidade em trigo.

Os grãos de pólen analisados em plantas tratadas com o gametocida apresentaram menor desenvolvimento do que em plantas não tratadas, estando, em sua maioria, entre as fases de primeira e segunda divisão mitótica (Fig. 4), confirmando o

conceito do ethrel como retardador do crescimento, indicado por Stoskopf & Law (1972).

A produção de grãos em espigas ensacadas foi bastante influenciada pela utilização do gametocida, ficando evidente o efeito do ethrel sobre a macho-esterilidade, fato também constatado por Rowell & Miller (1971); por outro lado, as espigas não ensacadas demonstraram uma redução na frequência de grãos, indicando que o produto químico utilizado poderia estar contribuindo com outros fatores para a redução do número de grãos por espigas. As estimativas realizadas para a percentagem de fecundação cruzada ocorrida descartaram a possibilidade de ter havido ineficiência na polinização pelo vento, uma vez que níveis ao redor de 100% foram obtidos (Tabela 4). Portanto, o produto químico testado poderia ter provocado um abortamento de flores, por um efeito negativo sobre o macrogametófito; entretanto, Rowell & Miller (1974) apontaram evidências contrariando esta hipótese, e indicaram que os microgametófitos de trigo eram mais sensíveis às aplicações de ethrel do que os macrogametófitos.

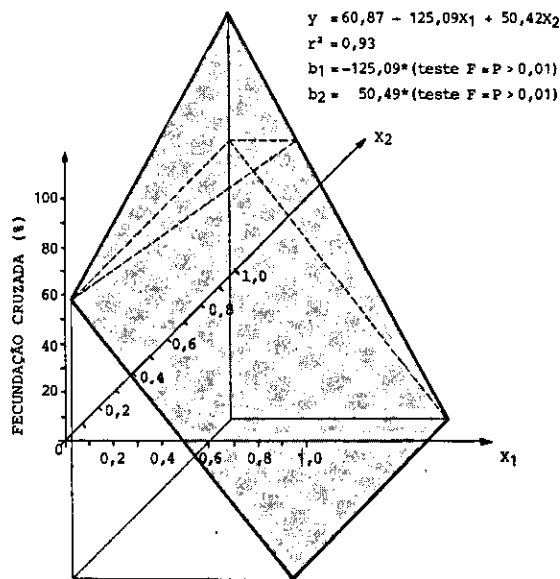


FIG. 4. Lâmina com grãos de pólen não desenvolvidos adequadamente; a grande maioria possui dois núcleos. Características usuais em plantas tratadas com o ethrel no estágio de pré-emborrachamento (EEA/UFRGS, 1984).

A alongação dos tecidos vegetais foi bastante alterada pela aplicação do gametocida, influenciando na estatura total das plantas tratadas; Brown & Earley (1973) e Dahnous et al. (1982) observaram manifestações similares em plantas de trigo, aveia, cevada e triticale submetidas a tratamento com o ethrel. Os resultados observados indicaram que o gametocida testado afetou apenas os entrenós que estavam em desenvolvimento ativo no momento da aplicação, evidenciando, desta forma, que o ethrel não possuía influência marcante sobre órgãos já desenvolvidos. Borghi et al. (1973) e Dotlacil & Apltauerova (1978) apontaram a redução do comprimento do pedúnculo, por causa da utilização do ethrel, como uma limitação para a ocorrência de polinização cruzada no campo, uma vez que plantas tratadas poderiam ter suas espigas retidas, total ou parcialmente, na bainha da folha bandeira. Em 1984 não foi observado este tipo de problema, apesar de doses mais intensas do gametocida terem induzido uma retenção parcial das espigas; talvez trabalhos de pesquisa futuros possam determinar adequadamente o efeito do espigamento incompleto, devido ao emprego do ethrel, no nível de polinização cruzada em trigo.

A forma de atuação do ethrel parece ser bastante complexa; este produto químico libera no interior da planta, quando hidrolisado, o hormônio vegetal conhecido como etileno (Wilde 1971), o qual provavelmente interage com os demais hormônios vegetais, controlando o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo Lieberman (1979), níveis anormais de etileno poderiam alterar a orientação das microfibrilas das células do colmo em vegetais, determinando uma desorganização dos tecidos e podendo resultar em deficiências no sistema de transporte de nutrientes, acarretando numa alteração da relação entre fonte e demanda, e levando ao enfraquecimento da dominância apical.

O desenvolvimento da espiga de trigo parece estar relacionado com a existência de dominância apical, portanto carências nutricionais poderiam determinar um desenvolvimento anormal dos órgãos reprodutivos, resultando em esterilidade nas plantas; neste sentido, Joppa et al. (1966) e Rao & Jain (1975) indicaram que deficiências vasculares e nutricionais seriam responsáveis pelo abor-

tamento de grãos de pólen em plantas de trigo com macho-esterilidade genético-citoplasmática.

A ausência de dominância apical nas plantas tratadas com o ethrel também poderia explicar a redução observada na alongação dos entrenós, fornecendo maior apoio para sustentação da hipótese de desorganização vascular induzida pelo ethrel.

O fator de maior expressão para um eficiente emprego do ethrel na indução de macho-esterilidade em trigo parece ter sido a interação existente entre estádios de desenvolvimento de planta e doses do produto. A fase mais sensível ao gametocida utilizado está situada ao redor do início da meiose responsável pela formação dos grãos de pólen; desta forma, o ethrel deve ser aplicado na dose correta em um momento bastante preciso durante o ciclo vital das plantas, uma vez que seu período de ação é curto, conforme observações citadas por Rowell & Miller (1971), Bennett & Hughes (1972) e Dotlacil & Apltauerova (1977). Os genótipos testados apresentaram sensibilidade diferencial ao produto químico aplicado, o que poderá apoiar, mais fortemente a hipótese da fundamental importância de determinar o melhor estágio de aplicação do ethrel para a obtenção de eficiência na indução de macho-esterilidade em trigo, já que estádios de desenvolvimento similares poderiam não corresponder ao mesmo momento fisiológico para diferentes genótipos.

Apesar de o produto químico testado ter determinado macho-esterilidade nos dois genótipos de trigo empregados, é importante considerar a redução no rendimento de grãos ocorrida em plantas tratadas com o gametocida com relação às não tratadas, o que poderá evidenciar efeitos indesejáveis do ethrel sobre as plantas de trigo. Como foi indicado anteriormente, o efeito do produto sobre o macrogametófito poderia ter contribuído para o decréscimo de um dos componentes do rendimento denominado "grãos por espiga"; entretanto, outros estudos deveriam ser conduzidos, com maiores amostragens, objetivando confirmar os resultados observados em 1984.

Com base nas evidências constatadas neste trabalho, é possível afirmar que o ethrel é um gametocida de eficiência adequada para induzir à macho-esterilidade em trigo. Entretanto, a reco-

mendação da utilização deste produto químico em programas de cruzamento que necessitam um rendimento expressivo de sementes híbridas poderá requerer estudos mais detalhados; talvez o emprego de doses mais reduzidas, como as indicadas por Jan & Rowell (1981), poderá resultar em maior eficiência do ethrel para a formação de híbridos de trigo. Por outro lado, quando não houver o interesse no rendimento de grãos de plantas tratadas, o ethrel parece ser bastante adequado para auxiliar o melhorista na condução de programas de melhoramento com a cultura do trigo, principalmente na utilização de métodos de condução de populações híbridas que exigem um grande número de cruzamentos, como seleção recorrente, produção de sintéticos, compostos ou multilinhas.

CONCLUSÕES

1. O produto 2-cloroetilfosfônico (ethrel) foi eficiente para induzir a macho-esterilidade em trigo, em condições de campo.

2. Ficou evidenciado que a macho-esterilidade ocorreu com maior intensidade quando o gametocida foi aplicado no estágio pré-emborrachamento.

3. As doses de 5, 10 e 20 l/ha induziram macho-esterilidade, sendo maior nas doses mais elevadas.

4. A concentração do gametocida parece ser o fator que assegura uma ação mais pronunciada.

5. O ethrel afetou o desenvolvimento da planta, diminuindo o comprimento do terceiro e quarto entrenós e do pedúnculo, dando como resultado uma estatura menor nas plantas tratadas; esse efeito foi mais acentuado quando as plantas foram tratadas no estágio de pré-emborrachamento, e menor, no espigamento.

6. O gametocida possibilitou a ocorrência de alto nível de fecundação cruzada nas condições de campo, revelando possuir potencial para ser empregado na produção comercial de trigo híbrido.

7. Houve decréscimo de rendimento maior quando foi aplicado mais cedo, isto é, no pré-emborrachamento, quando o produto foi mais efetivo e também diretamente proporcional às doses; mas na dose menor, o rendimento obtido será viável economicamente se a semente produzida tiver um preço maior do que a semente comum, o que ocorre em geral com as sementes híbridas, por provocarem, pela heterose, maior produtividade.

8. Os rendimentos obtidos indicam que pode ser utilizado o gametocida quando são adotados métodos de melhoramento que necessitem de grande quantidade de sementes híbridas.

REFERÊNCIAS

- BEEK, M.A. Resumo do progresso do programa de resistência horizontal em trigo. In: REUNIÃO DE TRABALHO SOBRE RESISTÊNCIA HORIZONTAL E DETERMINAÇÃO DE PERDAS DAS CULTURAS, Passo Fundo, 1977. Ata. Passo Fundo, EMBRAPA, 1977. p.45-53.
- BENNETT, M.D. & HUGHES, W.G. Additional mitosis in wheat pollen induced by ethrel. *Nature*, London, 240:566-8, 1972.
- BORGH, B.; BONALI, F.; BOGGINI, G. Induction of male sterility in wheat with ethephon for hybrid seed production. In: SEARS, E. & SEARS, L.M.S., ed. Proceedings of the Fourth International Wheat Genetics Symposium. s.l., 1973. p.338-43.
- BROWN, C.M. & EARLEY, E.B. Response of one winter wheat and two spring oat varieties to foliar applications of 2-chloroethylphosphonic acid (ethrel). *Agron. J.*, 65:826-32, 1973.
- DAHNOUS, K.; VIGUE, G.T.; LAW, A.G.; KONZAK, C.P.; MILLER, D.G. Height and yield response of selected wheat, barley, and triticale cultivars to ethephon. *Agron. J.*, 74:580-2, 1982.
- DOTLACIL, L. & APLTAUEROVA, M. The effect of ethrel concentration of male sterility in spring wheat. *Sci. Agric. Bohemoslov.*, 9:217-24, 1977.
- DOTLACIL, L. & APLTAUEROVA, M. Pollen sterility induced by ethrel and its utilization in hybridization of wheat. *Euphytica*, 27:353-60, 1978.
- JAN, C.C. & ROWELL, P.L. Response of wheat tillers at different growing stages to gametocide treatment. *Euphytica*, 30:501-4, 1981.
- JOPPA, L.R.; MCNEAL, F.H.; WELSH, J.R. Pollen and anther development in cytoplasmic male-sterile wheat. *Crop Sci.*, 6:296-7, 1966.
- KIHARA, H. Substitution of nucleus and its effects on genome manifestations. *Cytologia*, 16:177-93, 1951.
- LEWIS, K.R. & JOHN, B. The matter of mendelian heredity. London, Churchill, 1964. 196p.
- LIEBERMAN, M. Biosynthesis and action of ethylene. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 30:533-91, 1979.
- LOUGHEED, E.C. & FRANKLIN, E.W. Effects of temperature on ethylene evolution from ethephon. *Can. J. Plant Sci.*, 52:769-73, 1972.
- MILLIANO, W. Observations and results on the use of ethrel as a male gametocide in wheat. s.l., FAO, 1976. 9p. (FAO. Comunicação interna)
- PORTER, K.B. & WIESE, A.F. Evaluation of certain chemicals as selective gametocides for wheat. *Crop Sci.*, 1:381-2, 1961.
- RAO, V.S.P. & JAIN, H.K. Developmental basis of male sterility in bread wheat. *Z. Pflanzenzücht.*, 74:168-71, 1975.
- RODRIGUEZ, R.; QUIÑONES, M.; BORLAUG, N.E.; NARVÁEZ, I. Trigo híbridos; su potencial para alimentar una creciente población mundial. México, CIMMYT, 1966. 48p. (Folleto de investigación, 3)
- ROWELL, P.L. & MILLER, D.G. Effect of 2-chloroethylphosphonic acid (ethphon) on female fertility of two wheat varieties. *Crop Sci.*, 14:31-4, 1974.
- ROWELL, P.L. & MILLER, D.G. Induction of male sterility in wheat with 2-chloroethylphosphonic acid (ethrel). *Crop Sci.*, 11:629-31, 1971.
- SAGE, G.C.M. Nucleo-cytoplasmic relationships in wheat. *Adv. Agron.*, 28:267-300, 1976.
- STOSKOPF, N.C. & LAW, J. Some observation on ethrel as a tool for developing hybrid cereals. *Can. J. Plant Sci.*, 52:690-3, 1972.
- WILDE, R.C. Practical applications of 2-chloroethylphosphonic acid in agricultural production. *HortScience*, 6:364-70, 1971.
- ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.*, 14:415-21, 1974.
- ZANETTINI, M.H.B.; FERNANDES, M.I.B.M.; SALZANO, F.M. Cytogenetics studies in two Brazilian wheat cultivars under natural and controlled temperature conditions. *R. bras. Biol.*, 39:551-7, 1979.