

Genética y estabilidad del mutante androestéril dominante de trigo “Oly”*

Genetics and stability of the “Oly” dominant male sterile wheat mutant

Héctor Eduardo Villaseñor Mir^{1§}, Julio Huerta Espino¹, Eduardo Espitia Rangel¹, René Hortelano Santa Rosa¹, Ma. Florencia Rodríguez García¹ y Eliel Martínez Cruz¹

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 18.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, C. P. 56250. Tel. 01 595 92 127 15, 92 126 57. Ext. 161. (huerta.julio@inifap.gob.mx; espitia.eduardo@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; rodriguez.maria@inifap.gob.mx; martinez.eliel@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: villaseñor.hector@inifap.gob.mx.

Resumen

La esterilidad masculina para facilitar la selección recurrente en trigo poco se ha utilizado, porque las fuentes de androesterilidad disponibles no permiten aplicar diversas técnicas de selección, están ligadas a efectos deletéreos o se dificulta la obtención de líneas 100% fértiles. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer la fuente de androesterilidad “Oly”, que es debida a un gen mutante dominante y se obtuvo después de un proceso de irradiación recurrente con rayos gamma de ⁶⁰Co. Las irradiaciones se iniciaron 1996 y terminaron en 1998, se reprodujo masivamente la semilla irradiada durante tres ciclos y en el verano de 2000 se identificó una planta completamente estéril que se polinizó manualmente. Las evaluaciones en invernadero y campo en poco más de 7 000 plantas indicaron que las plantas estériles siempre segregaron en la proporción 1:1 (estériles y fértiles), que sus progenies estériles y fértiles siempre lo fueron 100%, que las plantas fértiles ya no segregaron a estériles y que la segregación 1:1 no varió en evaluarse en ambientes contrastantes. La prueba de similitud indicó que el gen no está ligado con efectos deletéreo y que fue efectivo en la reconversión de material elite, lo que facilitará realizar selección recurrente en trigo.

Palabras clave: esterilidad masculina, gen mutante, irradiación.

Abstract

The male sterility facilitated recurrent selection in wheat has not been extensively used, since the available male sterility sources do not allow the application of different selection techniques, are linked to deleterious effects or 100% fertile lines are difficult to generate. This paper aimed to present the male sterility source “Oly”, caused by a dominant mutant gene, obtained after ⁶⁰Co gamma rays recurrent irradiation. The irradiation treatment began in 1996 and ended in 1998 and the seed irradiated for three cycles was massively reproduced. A completely sterile plant was identified and manually pollinated in the summer of 2000. Greenhouse and field evaluations in just over 7 000 plants showed that sterile plants always segregated 1:1 (sterile: fertile), their progenies were always 100% either fertile or sterile, fertile plants no longer segregated to sterile and 1:1 segregation was constant over different environments. The similarity test showed that the gene is not associated with deleterious effects and that was effective in the reconversion of elite material, and it will enable recurrent selection in wheat.

Keywords: male sterility, mutant gene, irradiation.

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: febrero de 2014

Introducción

El uso de la esterilidad masculina para facilitar la selección recurrente (Male Sterile Facilitated Recurrent Selection “MSFRS”) es una técnica de mejoramiento en trigo que considera una fuente de androesterilidad, cruzas compuestas y selección recurrente (Villaseñor *et al.*, 2002a). En especies autógamas poco se ha utilizado, porque de manera natural no hay germoplasma androestéril que permita la recombinación y el mejoramiento con la misma eficiencia que se logra en las alógamas (Sorrels y Fritz, 1982; Bockelman y Sharp, 1986). Para disponer de fuentes androestériles recombinantes, los mejoradores de trigo han aislado mutantes inducidos mediante radiación recurrente o debido a mutaciones espontáneas, los que en su mayoría están ligados a efectos deletéreos, por lo que ha sido difícil fijarlos en las poblaciones de origen (Ramage, 1979); a pesar de su limitante, se han reportado genotipos androestériles para el mejoramiento poblacional, como por ejemplo: Pugsley (Suneson, 1962), Probus (Fossati e Ingold, 1970), Cornerstone (Driscoll, 1977), Taigu 1 (Liu *et al.*, 1986) y el LZ (Zhou *et al.*, 2008), entre otros, de los cuales algunos se han mapeado para determinar la ubicación del gene o genes responsable de la androesterilidad (Daryl *et al.*, 2002).

En México poco se ha trabajado la MSFRS en trigo; Villaseñor *et al.* (2000b) reportan que con el control de ambos progenitores se logró mayor avance en rendimiento de grano (4.7% ciclo), se incrementó la variabilidad y concluyeron que fue más efectiva y práctica que la técnica tradicionalmente utilizada; Solís *et al.* (2002) evaluaron el avance genético de la MSFRS para resistencia a roya amarilla después siete ciclos de selección para rendimiento, encontrando que la mejora en la resistencia fue mínima porque no fue un criterio de selección; sin embargo, en los ciclos avanzados de selección se detectaron genotipos con alto rendimiento e inmunes, debido al alto nivel de recombinación.

Villaseñor *et al.* (2002a) indicaron que el éxito del mejoramiento poblacional depende mucho de la fuente de esterilidad; estos autores utilizaron la debida a una deficiencia cromosómica que segregaba hacia diferentes niveles de androesterilidad, lo que en su momento limitó la formación de líneas puras 100% fértiles, lo que coincide con Thompson y Shantz (1978) y Driscoll (1977), de tal manera que el germoplasma ideal para la MSFRS debe estar controlado por efectos genéticos, que sea estable y que no esté ligado con efectos deletéreos (Ramage, 1979); también es importante que esté gobernada por un gene

Introduction

The use of male sterility to facilitate recurrent selection (Male Sterile Facilitated Recurrent Selection “MSFRS”) is a wheat breeding technique considered a source of male sterility, composite crosses and recurrent selection (Villaseñor *et al.*, 2002a). It is rarely used in autogamous species because naturally there is no male sterile germplasm allowing recombination and breeding with the same efficiency achieved in allogamous ones (Sorrels and Fritz, 1982; Bockelman and Sharp, 1986). In order to obtain male sterile recombinant sources, wheat breeders have isolated mutants induced by recurrent irradiation or spontaneous mutations, which are mostly linked to deleterious effects, thus hardly ever fixed in the source populations (Ramage, 1979), despite this limitation, several male sterile genotypes have been reported for population breeding, such as: Pugsley (Suneson, 1962), Probus (Fossati e Ingold, 1970), Cornerstone (Driscoll, 1977), Taigu 1 (Liu *et al.*, 1986) and the LZ (Zhou *et al.*, 2008), among others, some of which have been mapped to locate the male sterility gene(s) (Daryl *et al.*, 2002).

There are few wheat MSFRS studies in Mexico, Villaseñor *et al.* (2000b) reported that controlling both parents improved grain yield (4.7% cycle), increased variability and proved to be more effective and practical than the traditional technique; Solís *et al.* (2002) evaluated MSFRS genetic gain for stripe rust resistance, after seven cycles of selection for yield, finding that resistance improvement was low because it was not the selection criterion, however, in advanced selection cycles, high yield and resistant genotypes were detected due to the high level of recombination.

Villaseñor *et al.* (2002a) indicated that population breeding success depends largely on the sterility source, these authors used a chromosomal deficiency that segregated into different levels of male sterility, which limited 100% fertile inbred lines generation, consistent with Thompson and Shantz (1978) and Driscoll (1977), thus, the ideal germplasm for MSFRS should be controlled by genetic effects, stable and not linked to deleterious

simple dominante, el que facilitaría utilizar diferentes técnicas de selección en la formación de líneas (Villaseñor *et al.*, 2002a). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de la presente investigación es indicar la manera como se generó y aisló, su segregación y la estabilidad fenotípica de un gen androestéril dominante en trigo (*Triticum aestivum* L.) denominado "Oly".

Materiales y métodos

Irradiación de Temporalera M87

La variedad Temporalera M87, que se liberó en 1987 por el Programa de Trigo de Temporal de INIFAP (Villaseñor y Espitia, 2000b), se sometió a irradiación recurrente con rayos gamma de Cobalto 60 (^{60}Co) con el objetivo de inducir mutaciones para aislar algún genotipo androestéril. El proceso inició en 1996, cuando se aplicó a la semilla la dosis 30 kr y se sembró en el ciclo primavera- verano, 2006 para su reproducción; la semilla cosechada se irradió con la dosis de 30 kr y se sembró en el ciclo primavera- verano, 2007 para su reproducción; finalmente, la semilla cosechada se irradió con la dosis de 20 kr y fue sembrada en el ciclo primavera- verano, 1998 para su reproducción. Posteriormente, la semilla se sembró en el ciclo otoño- invierno, 1998-1999 y se cosecharon masivamente las plantas, procedimiento que se realizó en primavera- verano, 1999 y otoño- invierno, 1999-2000. En el ciclo primavera- verano, 2000 en el CEVAMEX un juego de 10 000 semillas se sembró de manera espaciada; durante la floración, una planta estéril se identificó por sus espigas traslucidas, en la que se cubrieron cuatro espigas que fueron polinizadas manualmente.

Naturaleza y segregación del mutante androestéril

Las 88 semillas obtenidas de la cruce de la planta androestéril con Temporalera M87, se sembraron cada una en macetas en invernadero en el CEVAMEX en primavera-verano, 2001; antes de floración, en cada planta se cubrió una espiga con bolsa de glaciene para determinar si era fértil o estéril; así mismo, se tomaron al azar 20 plantas estériles para recombinarlas con polen de las plantas fértiles. Este procedimiento se repitió con 200 semillas y 300 semillas en primavera- verano, 2002 y primavera- verano, 2003, respectivamente; también en primavera- verano, 2003 se cosecharon todas las espigas de las plantas estériles para tener mayor cantidad de semilla recombinante.

effects (Ramage, 1979); and controlled by a single dominant gene, enabling selection techniques for line generation (Villaseñor *et al.*, 2002a). Accordingly, this research aimed to describe the generation, isolation, segregation and phenotypic stability of a dominant male sterile gene in wheat (*Triticum aestivum* L.) called "Oly".

Materials and methods

Temporalera M87 irradiation

The Temporalera M87 variety, released in 1987 by the INIFAP Rainfed Wheat Program (Villaseñor and Espitia, 2000b), was recurrently irradiated with Cobalt-60 gamma rays (^{60}Co) inducing mutations to isolate some male sterile genotype. Beginning in 1996, seeds received a 30 kR dose and were planted in spring-summer season 1996 for reproduction; harvested seed was irradiated with a 30 kR dose and planted in spring-summer cycle 1997 for reproduction, finally, harvested seed was irradiated with 20 kR and planted in spring-summer season 1998 for reproduction. Then seeds were planted in fall-winter 1998-1999 and massively harvested in spring-summer 1999, and fall-winter 1999-2000. In spring-summer 2000 a set of 10 000 seeds were spaced planted at CEVAMEX; upon flowering, a sterile plant was identified by its translucent ears, in which four spikes were covered and manually pollinated.

Male sterile mutant nature and segregation

The 88 seeds from the male sterile plant \times Temporalera M87 cross, were planted in individual pots in the CEVAMEX greenhouse during spring-summer 2001; before flowering, in each plant a spike was covered with a glassine bag to determine whether they were fertile or sterile, likewise, 20 sterile plants were randomly selected to recombine with pollen from fertile plants. This procedure was repeated with 200 seeds and 300 seeds in spring-summer 2002 and spring-summer, 2003, respectively, also in spring-summer 2003 all spikes from sterile plants were harvested to gather more recombinant seeds.

Estabilidad e incorporación del mutante androestéril en genotipos elite

Para determinar la estabilidad del mutante, semilla obtenida de las plantas estériles se sembró de manera espaciada durante los veranos de 2010, 2011 y 2012 en 31 sitios de los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y México; antes de floración se cubrió con bolsa de glaciene espigas en todas las plantas; se cuantificó si cada espiga fue completamente fértil, completamente estéril o parcialmente fértil/estéril; posteriormente, de acuerdo con la prueba de Ji Cuadrada, se determinó la segregación fenotípica del carácter androestéril.

Se utilizaron ocho variedades como progenitores recurrentes para incorporarles la fuente de esterilidad a través de 4 retrocruzas; las siembras se realizaron en primavera-verano, 2005, otoño-invierno, 2005-2006, primavera-verano, 2006 y otoño-invierno, 2006-2007 en el CEVAMEX; inicialmente se recombinó cada variedad con cinco espigas estériles (F_1); la semilla obtenida se sembró y las plantas estériles se retrocruzaron con su respectiva variedad, para obtener de la retrocruza uno la semilla F_1 (F_1RC1); este procedimiento se repitió para lograr las F_1RC2 , F_1RC3 y F_1RC4 . La semilla obtenida de la última retrocruza se incrementó para realizar en el CEVAMEX (primavera-verano, 2010) la descripción fenotípica entre las variedades y su conversión, para valorar la eficiencia de la reconversión, en base a 10 descriptores varietales manejados por la UPOV.

Resultados

Las espigas de las plantas que se cubrieron en el invernadero se comportaron de la siguiente manera: primavera-verano, 2001 57 fértiles y 47 estériles; primavera-verano, 2002 92 fértiles y 106 estériles; y primavera-verano, 2003 152 fértiles y 141 estériles. Para todos los casos las espigas estériles lo fueron 100% y las espigas fértiles lo fueron 100%. Por otra parte, las plantas producto de la semilla de las plantas estériles siempre segregaron en 1:1 para estéril: fértil, y las plantas provenientes de la semilla de las plantas fértiles siempre segregaron a 100% fértiles, lo que determinó que la esterilidad está controlada por un gene simple dominante. En el Cuadro 1 se presenta la prueba de Ji^2 para la segregación de fértiles y estériles; cabe mencionar que la evaluación se realizó en 31 condiciones de temporal contrastantes, si se considera que el rendimiento medio del Ensayo Nacional (ERTHT) puede ser un indicador (Villaseñor y Espitia,

Male sterile mutant stability and introgression into elite genotypes

Mutant stability was tested in seed from sterile plants, spaced planted, during the summer 2010, 2011 and 2012 at 31 sites in the states of Puebla, Tlaxcala, Hidalgo and Mexico; before flowering all spikes were covered with glassine bags; and sorted as fully fertile, fully sterile or partially fertile/sterile, then the phenotypic segregation of the male sterile character was evaluated through a Chi-square test.

Eight varieties were used as recurrent parents to introduce the sterility source through 4 backcrosses, planting in spring-summer 2005, fall-winter 2005-2006, spring-summer and fall-winter 2006-2007 in CEVAMEX, initially each variety was recombined with five sterile spikes (F_1), the resulting seed was planted and sterile plants were backcrossed with their respective variety, obtaining F_1 seed (F_1RC1) from the backcross, this procedure was repeated to achieve F_1RC2 , F_1RC3 and F_1RC4 . Seed from the last backcross was multiplied for phenotypic description among varieties and their conversion and assessment of reconversion efficiency based on 10 variety descriptors from UPOV during spring-summer 2010 in CEVAMEX.

Results

Plant spikes covered in greenhouse behaved as follows: spring-summer 2001, 57 fertile and 47 sterile; spring-summer 2002, 92 fertile and 106 sterile, and spring-summer 2003, 152 fertile and 141 sterile. Spikes were either 100% sterile or 100% fertile. Moreover, sterile plants progeny always segregated 1:1 for sterile: fertile and fertile plants progeny always segregated 100% fertile, proving that sterility is controlled by a single dominant gene.

The χ^2 test is presented in Table 1 for fertile and sterile segregation, remarkably, the evaluation was performed in 31 rainfed contrasting conditions, if the National Test (ERTHT) average yield is considered an indicator (Villaseñor and Espitia, 2000a), ranging from 1 715 kg ha⁻¹ (Terrenate 2011) to 8 087 kg ha⁻¹ (Juchitepec 2011), the altitude was also variable among sites, from 2 240 m (Chapingo) to 2 890 m (Juchitepec). In each planting, 153-968 spikes were covered from the same

2000a), en donde varió de 1715 kg ha⁻¹ (Terrenate 2011) a 8087 kg ha⁻¹ (Juchitepec 2011); la altitud también fue variable entre los sitios, con un rango de 2 240 msnm (Chapingo) a 2 890 msnm (Juchitepec). En cada siembra se cubrieron de 153 a 968 espigas del mismo número de plantas, y se observa que para los 31 sitios la Ji² de Tablas fue mayor a la Ji² Calculada, lo que determina que la segregación se ajusta a la relación 1:1 (fértiles: estériles). También se constató que las espigas (plantas) siempre fueron 100% fértiles ó 100% estériles.

number of plants, and in the 31 sites, expected χ^2 exceeded experimental χ^2 , supporting 1:1 segregation (fertile: sterile). Spikes (plants) were always 100% fertile or sterile.

Table 2 shows the comparison between the 8 varieties and their reconversion to male sterility, where similarity among varieties was 80% to 100%, *i.e.* at worst, 8 out of 10 descriptors showed similar reconversion. The deleterious

Cuadro 1. Segregación del gen androestéril "Oly" en diversas localidades y prueba de 2009 a 2012.

Table 1. Male sterile gene "Oly" segregation in various locations and tests from 2009 to 2012.

Localidad/Estado	kg ha ⁻¹ *	Fértiles		Androestériles		Total observaciones	Ji ² **	Ji ² ***
		O	E	O	E			
F. I. Villa, Tlax., P-V/2010	2 311	121	110.5	100	110.5	221	1 995	3.84
F.I. Madero, Tlax., P-V/2010	2 413	99	97.5	96	97.5	195	0 046	3.84
Terrenate, Tlax.P-V/2010	2 679	89	95.5	102	95.5	191	0 885	3.84
Nanacamilpa, Tlax., P-V/2010	2 935	124	117.5	111	11.5	235	0 719	3.84
Juchitepec, Méx., P-V/2010	3 457	78	88.5	99	88.5	177	2 492	3.84
Chapingo, Méx., P-V/2010	3 546	111	123	135	123	246	2 341	3.84
Santa Lucía, Méx., P-V/2010	5 339	137	129	121	129	258	0 992	3.84
Coatepec, Méx., P-V/2010	5 489	142	143.5	145	143.5	287	0 031	3.84
Texcal, Pue., P-V/2011	3 242	272	283	295	283	567	0 932	3.84
Terrenate, Tlax., P-V/2011	1 715	305	294	283	294	588	0 824	3.84
Soltepec, Tlax., P-V/2011	2 150	401	394	388	394	789	0 214	3.84
Santa Lucía, Méx., P-V/2011	4 910	467	484	501	484	968	1 194	3.84
Juchitepec, Méx., P-V/2011	8 087	212	204	196	204	408	0 628	3.84
Jilotepec, Méx., P-V/2011	5 154	218	231	244	231	462	1 464	3.84
Cuyoaco, Pue., P-V/2011	1 870	190	198	206	198	396	0 646	3.84
Chapingo, Méx., P-V/2011	2 427	453	470	488	470	941	1 230	3.84
Atlangatepec, Tlax., P-V/2011	1 910	213	200	187	200	400	1 690	3.84
Libres, Pue., P-V/2012	2 102	102	95.5	88	95.5	190	1 032	3.84
Soltepec, Tlax., P-V/2012	2 548	87	76.5	66	76.5	153	2 882	3.84
Terrenate, Tlax., P-V/2012	3 500	89	91.5	94	91.5	183	0 137	3.84
Teacalco, Tlax., P-V/2012	3 500	98	102	106	102	204	0 314	3.84
Mazapa, Hgo. P-V/2012	3 554	112	121	130	121	242	1 339	3.84
Chapingo, Méx., P-V/2012	3 615	201	189	177	189	378	1 524	3.84
El Texcal, Pue., P-V/2012	3 682	143	149.5	156	149.5	299	0 565	3.84
Santa Lucía, Méx., P-V/2012	3 936	216	202.5	189	202.5	405	1 81	3.84
Velasco, Tlax., P-V/2012	4 132	131	117	103	117	234	3 35	3.84
Nanacamilpa, Tlax., P-V/2012	4 916	138	130	122	130	260	0 985	3.84
Huamantla, Tlax., P-V/2012	5 245	126	128	130	128	256	0 063	3.84
Coatepec, Méx., P-V/2012	5 305	131	125.5	120	125.5	251	0 482	3.84
Juchitepec, Méx., P-V/2012	5 646	115	105.5	96	105.5	211	1 711	3.84
Tenango, Méx., P-V/2012	6 338	162	151.5	141	151.5	303	1 455	3.84
Total		5 483	7 639	5 415	7 639	15 278	8 018	49.8

*= kg ha⁻¹ de la media del experimento ERTHT; **= Ji- cuadrada calculada; ***= Ji- cuadrada de tablas. al 0.05 de probabilidad.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación entre las 8 variedades y su reconversión hacia androesterilidad, en donde se observa que la similitud en las variedades fue de 80% a 100%, es decir en el peor de los casos en 8 descriptores de 10 la reconversión fue semejante. Los efectos deletéreos son comunes en los mutantes en trigo (Ramage, 1979; Zhou *et al.*, 2008) y no tienen buena expresión fenotípica; para el caso del mutante androestéril dominante aislado, denominó "Oly", se corrobora por la descripción fenotípica y por la evaluación de más de 7 000 plantas, que no está ligado a efectos deletéreos, lo que permitirá manipularlo para formar poblaciones y practicar la MSFRS.

effects are common in mutant wheat (Ramage, 1979; Zhou *et al.*, 2008) and with poor phenotypic expression, in our study, phenotypic description and over 7 000 plants evaluation indicate that the isolated dominant male sterile mutant, called "Oly" is not linked to deleterious effects, enabling its manipulation to create populations and practice MSFRS.

End of the English version



Cuadro 2. Similitud entre ocho variedades y sus respectivas F₁ fértiles después de la cuarta retrocruza en base a 10 descriptores manejados por la UPOV, Roque, Guanajuato otoño- invierno, 2011-2012.

Table 2. Similarity among eight varieties and their fertile F₁ after fourth backcross based on 10 UPOV descriptors, Roque, Guanajuato. Fall- winter, 2011-2012.

No. Genotipo	Porte de la planta al amacollo	Frec. Plantas. con hoja bandera recurvada	Tiempo de espigado	Glauescencia de la vaina de la hoja	Glauescencia del cuello de la espiga	Forma de la espiga vista de perfil	Vellosidad superficie convexa de la gluma	Anchura de la gluma	Longitud del pico de la gluma
1 Batán F96	Medio	Media	Intermedio	Alta	Alta	Fusiforme	Débil	Medio	Medio
1C Bat*4/PltAndro	Medio	Media	Intermedio	Media	Media	Fusiforme	Débil	Medio	Medio
2 Romoga F96	Semierecto	Media	Intermedio	Media	Media	Fusiforme	Débil	Medio	Medio
2C Rom*4/PltAndro	Semierecto	Media	Intermedio	Media	Media	Fusiforme	Débil	Estrecho	Medio
3 Náhuatl F200	Semierecto	Baja	Precoz	Débil	Media	Fusiforme	Débil	Estrecho	Medio
3C Nah*4/PltAndro	Semierecto	Baja	Intermedio	Media	Media	Fusiforme	Débil	Estrecho	Medio
4 Tlaxcala F2000	Semierecto	Alta	Precoz	Débil	Media	Fusiforme	Débil	Estrecho	Largo
4C Tlax*4/PltAndro	Semierecto	Alta	Precoz	Débil	Media	Fusiforme	Débil	Estrecho	Medio
5 Rebeca F2000	Medio	Media	Tardío	Débil	Débil	Fusiforme	Débil	Estrecho	Corto
5C Reb*2/PltAndro	Medio	Media	Tardío	Débil	Débil	Fusiforme	Media	Estrecho	Corto
6 Triunfo F2004	Semierecto	Alta	Intermedio	Fuerte	Fuerte	Fusiforme	Muy débil	Medio	Medio
6C Tri*4/PltaAndro	Semierecto	Alta	Intermedio	Fuerte	Fuerte	Fusiforme	Muy débil	Medio	Medio
7 Altiplano F2007	Semierecto	Alta	Tardío	Media	Media	Piramidal	Débil	Estrecho	Largo
7C Alt*4/PltAndro	Semierecto	Alta	Tardío	Media	Media	Piramidal	Débil	Estrecho	Largo
8 Nana F2007	Semierecto	Media	Precoz	Media	Media	Fusiforme	Débil	Medio	Largo
8C Nan*4/PltAndro	Semierecto	Media	Precoz	Media	Media	Fusiforme	Media	Medio	Largo

Agradecimientos

Los autores (a) agradecen al Fondo CONACYT-SAGARPA, Proyecto Núm. 146788 por el financiamiento parcial de la presente investigación y su publicación.

Literatura citada

Bockelman, H. E. and Sharp, E. L. 1986. Development of disease resistant germoplasm in barley utilizing recurrent selection techniques. RACHIS. Barley and Wheat Newsletter 5(2):17-24.

- Daryl, L.; Klindworth, N.; Williams, D. and Shivcharan, S. M. 2002. Chromosomal location of genetic male sterility genes in four mutants of hexaploid wheat. *Crop Sci.* 42:1447-1450.
- Driscoll, C. J. 1977. Registration of Cornerstone male sterile wheat germoplasm. *Crop Sci.* 17:190-191.
- Fossati, A. and Ingold, M. 1970. A male sterile mutant in *Triticum aestivum* L. *Wheat information service (Kyoto)* 30:8-10.
- Liu, B.; Yang, L. and Deng, J. Y. 1986. A dominant gene for male sterility in wheat. *Plant Breed.* 97:204-209.
- Ramage, R. T. 1979. Male sterile facilitated recurrent selection. *Barley Newsletter.* 22:56-59.
- Solís, M. E.; Molina, G. J. D.; Villaseñor, M. H. E. y Sandoval, I. S. 2002. Efecto de la selección masal visual recurrente para rendimiento sobre la resistencia de planta adulta a roya lineal amarilla y roya de la hoja en trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):81-88.
- Sorrells, B. and Fritz, S. E. 1982. Application of a dominant male sterile allele to the improvement of self-pollinated crops. *Crop Sci.* 22:1033-1035.
- Suneson, C. A. 1962. Use a Pugsley's sterile wheat in cross breeding. *Crop Sci.* 2:534-535.
- Thompson, R. K. and Shantz, K. C. 1978. Registration of MSFRS wheat germoplasm composite crosses A and B-76. *Crop Sci.* 18:698.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000a. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In: el trigo de temporal en México.* Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.). SAGAR-INIFAP, Chapingo, Estado de México, México. 85-98 pp.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000b. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. *In: el trigo de temporal en México.* Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. SAGAR-INIFAP, Chapingo, Estado de México, México. 151-176 pp.
- Villaseñor-Mir, H. E.; Castillo, G. F.; Espitia, R. E.; Rajaram, S. y Molina, G. J. D. 2002a. Perspectivas del uso de la androesterilidad en el mejoramiento por selección recurrente de trigo en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):321-326.
- Villaseñor-Mir, H. E.; Castillo, G. F.; Rajaram, S.; Espitia, R. E. y Molina, G. J. D. 2002b. Selección recurrente para rendimiento de grano en una población androestéril de trigo. *Agric. Téc. Méx.* 28(1):43-52.
- Zhou, K.; Wang, S.; Feng, Y.; Ji, W. and Wang, G. 2008. A new male sterile mutant LZ in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 159(3):403-410.