

SELECCION MASAL POR PRECOCIDAD EN DOS POBLACIONES DE MAIZ

por

M. T. FONTURBEL y A. ORDAS

Misión Biológica de Galicia, C. S. I. C., Pontevedra, España

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.) es una de las plantas cultivadas de mayor importancia económica en el mundo y ocupa en Galicia una gran parte de las superficies cultivadas.

Las condiciones climatológicas gallegas permiten el empleo de materiales cuyas maduraciones oscilan entre los ciclos 200 y 500 según la escala FAO. En el mundo existe una gran diversidad de germoplasma potencialmente útil para su empleo en Galicia, pero que tropieza con el grave inconveniente de su tardía maduración, es decir, el grano contiene una excesiva humedad en el momento de la recolección. El criterio días a floración como determinante de la maduración ha sido empleado por numerosos autores (Giesbrecht, 1960a, 1960b; Gunn, 1974; Hallauer y Russell, 1962; Hallauer, 1965; Mohamed, 1959). La fecha de floración no es, propiamente hablando, una medida de maduración, pero, aparte de poderse determinar con facilidad, está altamente correlacionada con el porcentaje de humedad en recolección (Ordás, 1979).

El seleccionador dispone de diversos métodos para la mejora interna de una población (Sprague, 1966). Destaca entre ellos por su simplicidad la selección masal, aunque su efectividad esté limitada a características que tienen una alta heredabilidad

como, por ejemplo, fecha de floración (Hallauer, 1981).

El objetivo fundamental de este trabajo fue estudiar la eficiencia de dos ciclos de selección masal por floración femenina precoz en dos poblaciones tardías de maíz y comprobar la respuesta correlacionada obtenida en el contenido en humedad del grano en la recolección. Secundariamente, se trató de observar el efecto que producen las condiciones de «stress», causado por altas densidades de siembra, en el comportamiento de las poblaciones mencionadas.

MATERIALES Y METODOS

En 1978 se inició en la Misión Biológica de Galicia (Pontevedra) un programa de selección masal por floración femenina precoz en las poblaciones de maíz 'Purdue Synthetic A o2' y 'Purdue Synthetic B o2' (en lo sucesivo denominadas Purdue A y Purdue B, respectivamente), procedentes del programa de mejora de la calidad proteica del maíz en la Universidad de Purdue (Indiana, USA).

En cada una de las dos poblaciones un ciclo de selección se realiza cruzando entre sí las primeras 60 plantas (de un total de 600 sembradas) que presentan visible el ápice de la espiga, con lo que se obtiene una intensidad de selección de, aproximadamente, el 10 por 100. La densidad de siembra bajo la que se lleva a cabo la selección es de unas 41.500 plantas/ha.

Para este estudio se cultivaron las dos poblaciones originales (C0) y las poblaciones resultantes de los dos primeros ciclos de selección (en lo sucesivo C1 y C2) en un diseño de parcela dividida (split-plot) dispuesto en bloques al azar con seis repeticiones. Cada una de las poblaciones originales (junto con sus ciclos C1 y C2) se consideró como un experimento independiente. Se emplearon densidades de 41.500 y 83.000 plantas/ha (parcelas completas) con ciclos de selección (C0, C1 y C2) como subparcelas. Cada parcela elemental, de 7,2 m² de superficie, constó de 30 golpes repartidos en dos surcos, con un marco de siembra de 0,80 × 0,30 m. Se sembró un número de granos en exceso; un aclareo

posterior permitió ajustar el número de plantas a las densidades deseadas.

Las experiencias fueron llevadas a cabo durante 1980 en las parcelas experimentales de la Misión Biológica de Galicia (Pontevedra).

En cada una de las parcelas se tomaron datos de floración femeninas (días entre la siembra y el momento en que el 50 por 100 de las plantas presentaban los estilos visibles), floración masculina (días entre la siembra y el momento en que el 50 por 100 de las plantas producían polen), porcentaje de humedad del grano en recolección, altura de la planta, altura de inserción de la mazorca, porcentaje de encamado y número de mazorcas por planta. Sobre una muestra aleatoria de diez mazorcas por parcela se midieron, finalmente, la longitud y el número de filas medios de la mazorca así como el tamaño medio del grano.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estándar para los diseños de parcela dividida, considerándose densidades y ciclos como factores aleatorios. La separación de medias se efectuó por el método FLSD (Carmery y Swanson, 1971).

Se calculó, asimismo, el coeficiente de correlación simple entre días a floración femenina y porcentaje de humedad del grano en recolección.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al seleccionar las poblaciones Purdue A y Purdue B por floración femenina precoz se consiguió una respuesta positiva tras sólo dos ciclos de selección (*tablas 1 y 2*). Debido a la escasa magnitud de los efectos cuadráticos cabe esperar que la selección siga siendo igualmente efectiva durante los próximos ciclos. Los coeficientes de regresión lineal indican una ganancia media de 1,8 días/ciclo en la población Purdue A y 2,2 días/ciclo en la población Purdue B, resultados similares a los obtenidos por Terry y Brown (1972, 1976). Un número reducido de loci determinantes de la fecha de floración en estas poblaciones debe haber sido la causa de una respuesta tan rápida, lo cual concuerda

Tabla 1. Análisis de varianza de diez características de la población Purúnc A (ciclos C0, C1 y C2)

Origen de la variación	g.l.	Cuadrados medios									
		f.f.	f.m.	h.r. %	a.p. cm	a.m. cm	e. %	n.m.	l.m. cm.	n.f.	t.g. mm
Densidades (D).	1	34,02**	1,77	1,03	113,77	678,16**	140,18	0,110	18,35**	2,250*	0,010
Error a.....	5	1,83	0,71	8,15	168,78	49,51	74,80	0,020	0,83	0,186	0,192
Ciclos (C).....	2	40,58**	24,19**	5,41	46,19	151,00	1088,43**	0,020	3,25*	0,235	0,020
R. lineal.....	1	80,66**									
R. cuadr.....	1	0,50									
C x D.....	2	1,03	0,03	4,81	107,71	53,36	195,94	0,005	0,91	0,130	0,225
Error b.....	20	2,27	0,41	4,03	145,17	51,72	118,56	0,006	0,63	0,170	0,081

* y ** indican significación estadística a los niveles del 5 y 1 por 100, respectivamente.

f. f. = floración femenina (días).

f. m. = floración masculina (días).

h. r. = humedad en recolección.

a. p. = altura de la planta.

a. m. = altura de la mazorca.

e. = encamado.

n. m. = número de mazorcas por planta.

l. m. = longitud de la mazorca.

n. f. = número de filas.

t. g. = tamaño del grano.

Tabla 2. Análisis de varianza de diez características de la población Purdue B (ciclos C0, C1 y C2)

Origen de la variación	g.l.	Cuadrados medios									
		f.f.	f.m.	h.r. o/o	a.p. cm	a.m. cm	e. o/o	n.m.	l.m. cm	n.f.	t.g. mm
Densidades (D).	1	44,44**	4,00	27,56*	15,34	286,17*	311,22	0,180**	34,02**	0,030	0,080
Error a.....	5	0,78	0,80	2,87	61,91	39,82	150,26	0,004	0,89	0,340	0,096
Ciclos (C).....	2	60,08**	35,58**	6,65	12,00	158,94	1,93	0,030**	0,32	0,460	0,145
R. lineal....	1	117,04**									
R. cuadr....	1	3,12									
C x D.....	2	2,53	2,25	5,77	19,75	23,78	490,66**	0,005	0,92	0,400	0,095
Error b.....	20	1,23	0,68	5,10	83,93	51,52	62,27	0,004	0,48	0,587	0,189

* y ** indican significación estadística a los niveles del 5 y 1 por 100, respectivamente.

- l. f. = floración femenina (días).
- f. m. = floración masculina (días).
- h. r. = humedad en recolección.
- a. p. = altura de la planta.
- n. m. = altura de la mazorca.
- e. = encamado.
- n. m. = número de mazorcas por planta.
- l. m. = longitud de la mazorca.
- n. f. = número de filas.
- t. g. = tamaño del grano.

con los resultados de Bianchi y Maliani (1954), Bianchi y Botazzi (1955), Daniel (1973), Giesbrecht (1960a, 1960b), Hallauer (1965), Mohamed (1959) y Yang (1949), quienes emplearon materiales de base genética diversa y diferente a las poblaciones de este trabajo. Es lógico deducir, por tanto, que en el maíz, en general, la fecha de floración femenina está regulada por un número pequeño de genes, con efectos fundamentalmente aditivos.

La disminución del número de días a floración femenina fue ligeramente mayor en Purdue B que en Purdue A (tablas 3 y 4), tanto en valores absolutos (4,4 y 3,7 días) como en relativos (5,3 y 4,7 por 100). En todos los casos, la densidad alta causó un re-

Tabla 3. Medias de días a floración femenina en la población Purdue A (ciclos C0, C1 y C2) a dos densidades de siembra.

Densidad	C0	C1	C2	Media
41.500 plantas/ha..	77,5 a ⁽¹⁾	75,2 b	74,2 b	75,6
83.000 plantas/ha..	79,5 a	77,7 b	75,5 c	77,6
Media	78,5 a	76,4 b	74,8 c	76,6

(1) Las medias en la misma fila seguidas por letras diferentes son distintas al nivel del 5 por 100 según la prueba FLSD.

Tabla 4. Medias de días a floración femenina en la población Purdue B (ciclos C0, C1 y C2) a dos densidades de siembra.

Densidad	C0	C1	C2	Media
41.500 plantas/ha..	81,8 a ⁽¹⁾	81,0 a	77,3 b	80,1
83.000 plantas/ha..	84,5 a	82,2 b	80,2 c	82,3
Media	83,2 a	81,6 b	78,8 c	81,2

(1) Las medias en la misma fila seguidas por letras diferentes son distintas al nivel del 5 por 100 según la prueba FLSD.

traso en la floración de unos dos días como promedio. Este retraso se puede enmarcar en el hecho más general de las consecuencias de las condiciones de «stress», que provocan un retraimiento en la aparición de los estilos. En condiciones extremas de «stress» (excesiva densidad, falta de agua, etc.) el retraso en la floración femenina puede ser tal que, cuando los estilos aparecen, ya no existe polen viable con la consiguiente merma de producción de grano.

Un programa de selección puede tener como objetivo fundamental obtener una máxima respuesta directa (el criterio de selección y el de respuesta son el mismo parámetro) o bien la respuesta buscada puede ser una correlacionada (el criterio de respuesta es distinto al de selección). Normalmente, excepto en el caso de que la correlación entre ambos criterios sea muy estrecha, la respuesta correlacionada es inferior a la directa.

La correlación que existe en el maíz entre el número de días a floración femenina y el contenido en humedad del grano a la recolección es elevada. Así, el coeficiente de correlación simple entre estos caracteres osciló de 0,65 a 0,80 ($P < 0,01$) en cuatro ensayos de 33 a 50 híbridos en bloques al azar con tres repeticiones, realizados en la Misión Biológica de Galicia de 1977 a 1980 (datos sin publicar). En las poblaciones objeto de este trabajo, sin embargo, dichas correlaciones fueron mucho más bajas, e incluso negativas en algunos casos (*tablas 5 y 6*). No es de extrañar, en consecuencia, la escasa entidad de los cuadrados medios debidos a ciclos para el porcentaje de humedad en recolección, o

Tabla 5. Coeficientes de correlación simple entre días a floración femenina y porcentaje de humedad en la recolección en la población Purdue A (ciclos C0, C1 y C2) a dos densidades de siembra.

Densidad	C 0	C 1	C 2
41.500 plantas/ha..	-0,43	-0,01	0,05
83.000 plantas/ha..	-0,39	-0,12	-0,31

Tabla 6. Coeficientes de correlación simple entre días a floración femenina y porcentaje de humedad en la recolección en la población Purdue B (ciclos C0, C1 y C2) a dos densidades de siembra.

Densidad	C0	C1	C2
41.500 plantas/ha..	-0,52	0,35	0,24
83.000 plantas/ha..	0,17	0,40	0,41

dicho en otras palabras, la falta de respuesta correlacionada en esta última característica (tablas 1 y 2).

Es interesante notar, por otra parte, la tendencia a aumentar de los coeficientes de correlación (tablas 5 y 6) al ir avanzando la selección, especialmente a 41.500 plantas/ha, densidad a la que la selección tuvo lugar. Parece, pues, posible suponer que tras algunos ciclos más de selección la correlación entre la fecha de floración y el contenido en humedad a la recolección alcance un punto en el cual empiece a notarse una positiva respuesta correlacionada. No tienen clara explicación, sin embargo, las negativas correlaciones encontradas en las poblaciones originales, en contraste con lo que normalmente ocurre en el maíz.

En relación a las demás características medidas, es de señalar que se encontraron diferencias significativas entre los ciclos (tablas 1 y 2) para floración masculina (una respuesta similar a la obtenida para floración femenina), encamado y longitud de la mazorca en Purdue A (las poblaciones más precoces sufrieron más encamado y produjeron mazorcas más cortas) y prolificidad en Purdue B (aumentó el número de mazorcas por planta al aumentar la precocidad).

Finalmente, las altas densidades produjeron un aumento de la altura de inserción de la mazorca y una disminución de su longitud en ambas poblaciones. Además, en Purdue A originaron un menor número de filas de grano. Disminuyó también notablemente

el número de mazorcas por planta, si bien sólo se alcanzó significación estadística en el caso de la población Purdue B.

Estos últimos resultados son la lógica consecuencia de un número excesivo de individuos por unidad de superficie: la existencia de una cantidad limitada de factores nutritivos (agua, elementos minerales) provoca que cada planta no pueda expresar completamente todo su potencial productivo.

A la vista de todo lo expuesto se puede concluir que la selección masal aplicada a la fecha de floración es un medio eficaz y rápido de conseguir adaptar poblaciones exóticas a un medio ambiente distinto al suyo de origen. Por otra parte, las correlaciones entre caracteres pueden ser alteradas sustancialmente mediante selección.

RESUMEN

Tras dos ciclos de selección masal por floración femenina precoz en las poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) 'Purdue Synthetic A o2' y 'Purdue Synthetic B o2', se planteó un ensayo con las poblaciones originales y las resultantes de la selección. Se empleó un diseño en parcela dividida, con densidades de siembra (41.500 y 83.000 plantas/ha) como parcelas completas y ciclos de selección como subparcelas.

La disminución del número de días entre siembra y floración femenina fue de 1,8 días/ciclo en la población Purdue A y de 2,2 días/ciclo en la población Purdue B. En todos los casos la densidad alta provocó un retraso en la floración de unos dos días.

No se encontró ninguna respuesta correlacionada en el contenido en humedad del grano a la recolección, consecuencia de unas correlaciones muy bajas, e incluso negativas, entre este carácter y la fecha de floración. La selección efectuada causó, en general, un considerable aumento de dichas correlaciones.

SUMMARY

After two cycles of mass selection for earlier silking date in the maize (*Zea mays* L.) populations 'Purdue Synthetic A o2' y

'Purdue Synthetic B 02', a trial was carried out with the original and the selected populations. A split-plot design was used with planting densities (41,500 and 83,000 plants/ha) as whole plots and cycles of selection as subplots.

The number of days between planting and silking decreased 1.8 days/cycle in Purdue A and 2.2 days/cycle in Purdue B. In every case the high density caused a silking delay of about two days.

There was no correlated response on kernel moisture at harvest; this was a result of low (even negative in some cases) correlations between silking date and kernel moisture at harvest. The selection brought about generally a substantial increase of those correlations.

REFERENCIAS

- BIANCHI, A., y BOTAZZI, A.
1955. Meccanismi genetici nel tempo di fioritura in un incrocio di *Zea mays*. Genet. Agrar., 5, 213-227.
- BIANCHI, A., y MALTANI, I.
1954. Fattori genetici nel tempo di fioritura in un incrocio di *Zea mays*. Genet. Agrar., 4, 68-90.
- CARMER, S. G., y SWANSON, M. R.
1971. Detection of differences between means: a Monte Carlo study of five pairwise multiple comparison procedures. Agron. J., 63, 940-945.
- DANIEL, L.
1973. Erbgang und genetische variation der blütezeit bei *Zea mays* L. Acta Universitatis Agriculturae, 21, 285-296.
- GIESBRECHT, J.
1960a. The inheritance of time of silking and pollen shedding in maize. Can. J. Genet. Cytol., 1, 329-338.
1960b. The inheritance of maturity in maize. Can. J. Plant. Sci., 40, 490-499.
- GUNN, R. E.
1974. Flowering and maturation of grain maize under British conditions. J. Agric. Sci. Camb., 82, 173-176.
- HALLAUER, A. R.
1965. Inheritance of flowering in maize. Genetics, 52, 129-137.
1981. Response of populations to different methods of recurrent selection. III Symposium español de maíz, Córdoba (en prensa).
- HALLAUER, A. R., y RUSSELL, W. A.
1962. Estimates of maturity and its inheritance in maize. Crop. Sci., 2, 289-294.

MOHAMED, A. H.

1959. Inheritance of quantitative characters in *Zea mays*. I. Estimation of the number of genes controlling the time of maturity. *Genetics*, 44, 713-724.

ORDÁS, A.

1979. Empleo de unidades térmicas y capa negra en la clasificación de híbridos de maíz para Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, 38, 1079-1088.

SPRAGUE, G. F.

1966. Quantitative genetics in plant improvement, pp. 315-347. En K. J. Frey (ed.) *Plant breeding*. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, USA.

TROYER, A. F., y BROWN, W. L.

1972. Selection for early flowering in corn. *Crop. Sci.*, 12, 301-304.
1976. Selection for early flowering in corn: seven late synthetics. *Crop Sci.*, 16, 767-772.

YANG, Y.-K.

1949. A study on the nature of genes controlling hybrid vigor, as it affects silking time and plant height, in maize. *Agron. J.*, 41, 309-312.