

POSSIBILITATS DE FER SELECCIO INDIRECTA PER PRODUCCIÓ DE FARRATGE A LA VARIETAT LANCASTER DE BLAT DE MORO

A.Almirall¹, X.Roca¹, A.M.Verdú¹, L.Bosch¹, F.Casañas¹ i F.Nuez²

¹ Departament d'Agronomia. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Urgell 187, 08036 Barcelona

² Departamento de Genética. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia. Camino de Vera s.n. 46022 Valencia.

KEY WORDS

Forage maize, indirect selection, stem diameter, maturity range, number of leaves.

ABSTRACT

In the frame of a selection program devoted to the obtaintion of late forage maize, the perspectives of indirect selection for biomass production in the Lancaster variety are investigated. It is concluded that although the heritabilites of stover and ear production are low (.16 and .23 respectively), there are other traits well correlated with yield and with high heritability.

Specially promising is the stem diameter in the first internode with a .55 heritability and an additive genetic

correlation with ear and stover yield of .67 and .71 respectively.

Other useful traits for indirect selection would be days to pollen shedding, with a .66 heritability and a very high correlation with stover yield (.73), together with the number of leaves, with a .40 heritability and a .84 correlation with ear yield. The strong correlation between ear and stover yield (.78) is another favourable aspect for the forage breeding purposes.

MOTS CLAU

blat de moro farratger, selecció indirecte, diàmetre tija, cicle, nombre de fulles.

RESUM

En el marc d'un programa de selecció destinat a l'obtenció de blats de moro farratgers de cicle llarg, s'avaluen les possibilitats de realitzar selecció indirecta per a producció de biomassa en la varietat Lancaster. Es conclou que les heretabilitats de la producció de planta i panotxa són baixes (.16 i .23 respectivament), i que en canvi altres caràcters, ben correlacionats amb les produccions, tenen heretabilitats elevades. Especialment prometedor és el diàmetre de la tija en el primer entrenús amb una heretabilitat de .55 i una corre-

lació genètica additiva de de .67 i .71 respectivament amb les produccions de panotxa i planta. Altres caràcters indicats per fer selecció indirecta serien els dies a floració, amb heretabilitat de .66 i una elevada correlació amb la producció de planta (.73), i el nombre de fulles, amb heretabilitat de .40 i correlació de .84 amb la producció de panotxa. El fet de que la producció de planta i panotxa estiguin fortament correlacionades (.78) és un altre aspecte favorable a l'hora d'endegar un programa de selecció per increment de massa de farratge.

INTRODUCCIO

En el blat de moro els caràcters de producció sovint tenen una heretabilitat baixa (Hallauer & Miranda, 1981). Això fa que s'intentin buscar altres caràcters amb heretabilitats més elevades i que mantinguin bones correlacions amb el caràcter que ens interessa, per tal de poder fer selecció indirecta. Així s'ha fet amb èxit per a el gra (Hallauer & Miranda, 1981), i també s'ha suggerit per a la

producció de planta (Gallais et al, 1983; Dhillon et al, 1990). El problema és però que l'heretabilitat i les correlacions solen variar segons la població obligant a estudis particulars abans d'iniciar cap programa concret de millora.

En el marc d'un programa d'obtenció de blats de moro farratger de cicle llarg a partir de varietats de les quals

s'han derivat bons híbrids gra (Ferret et al., 1991), es va considerar la possibilitat de fer selecció indirecta per a producció de gra i de part vegetativa per dos motius: Primer la ja esmentada baixa heretabilitat dels caràcters productius en moltes poblacions de blat de moro (Hallauer & Miranda, 1981; Ferret et al., 1991), segon, el fet que la mesura de les produccions dóna molta feina i es fa quan ja no es tenen possibilitats de fer encreuaments. Disposar de caràcters molt correlacionats amb les produccions, amb bona heretabilitat i de mesura anterior o simultània amb la floració permetria controlar amb menys esforç un gran nombre

de plantes i a la vegada estalviar generacions ja que es podrien encreuar entre elles, segons la pauta de selecció que es trii, les plantes escollides.

Ens proposem per tant investigar les heretabilitats i correlacions d'una serie de caràcters vegetatius de mesura anterior a la floració (alçada, nombre de fulles, diàmetre del primer entrenús), juntament amb les produccions, per tal d'establir si en la varietat Lancaster té sentit i/o és possible fer selecció indirecta per a incrementar la producció de biomassa total.

MATERIAL I METODES

Per a l'estimació de les heretabilitats i correlacions es va fer un estudi familiar de germans i mitjos germans obtinguts de l'encreuament entre plantes escollides a l'atzar dins de la varietat Lancaster.

Es van sembrar 62 famílies de mitjos germans (36 plantes) i 182 famílies de germans complets (12 plantes) en tres blocs, amb quatre repeticions, seguint el disseny experimental I proposat per Comstock & Robinson (1948).

El treball de camp es va realitzar a la finca can Margens de les Franqueses del Vallès, a l'estiu de 1990, seguint el protocol que sol ser l'habitual en aquest

tipus de conreu.

Durant el desenvolupament de l'experiment es varen controlar, planta a planta, els següents caràcters:

Dies a floració masculina (dF):

Per a cada planta s'anotaven els dies transcorreguts entre la sembra i la primera emissió de pol.len.

Dies a maduració (dM): Al final del conreu, es passava diàriament per la parcel.la i s'obrien les espates de les espigues, es clavava l'ungla i si l'estat de la majoria de grans estava en torn d'un 40% de humitat, la planta es tallava. (Aproximadament això coincideix amb

el moment en que l'ungla es clava amb dificultat en el gra).

Alçada total (Ato): Valor expressat en centímetres, corresponent a la distància entre el sòl i el punt d'inserció de l'última fulla. Mesurada immediatament després de la floració.

Diàmetre de la base (diB): Valor expressat en mil·límetres, corresponent al gruix de la tija en mig del primer entrenús lliure, en el seu nus inferior, d'arrels adventícies. Tenint en compte que la secció de la tija és ovalada, s'escollí el diàmetre més petit. Mesurat immediatament després de la floració.

Nombre de fulles totals (Nt): Valor corresponent al nombre de nusos totals que té la planta. Mesurat immediatament després de la floració.

Producció de matèria seca de la planta (PMSp): Al tallar la planta, el dia de maduració, es separà de l'espiga i s'assecà en un assecador a 60°C fins a pes constant i es pesà.

Producció de la matèria seca de l'espiga (PMSe): Es seguí el mateix procés que per a la planta. Es pesaren el gra i el suro junts.

Les variances additiva ($\sigma_{A_y}^2$), no additiva ($\sigma_{D_y}^2$), genotípica ($\sigma_{G_y}^2$) i fenotípica ($\sigma_{P_y}^2$) de cada variable es van calcular respectivament utilitzant les expressions:

$$\sigma_{A_y}^2 = 4\sigma_m^2$$

$$\sigma_{D_y}^2 = 4(\sigma_f^2 - \sigma_m^2)$$

$$\sigma_{G_y}^2 = \sigma_{A_y}^2 + \sigma_{D_y}^2$$

$$\sigma_{P_y}^2 = \sigma_m^2 + \sigma_f^2 + \sigma^2$$

sient σ_m^2 la component mascle; σ_f^2 la component femella dins de mascle; i σ^2 la component de variances entre repeticions segons el model I de Comstock & Robinson (1948). L'heretabilitat de cada caràcter es va estimar segons $h^2 = \sigma_A^2 / \sigma_P^2$.

Per tal d'estimar els coeficients de correlació entre els caràcters, es va efectuar una anàlisi de la covariància entre tots els parells possibles de caràcters, seguint el mateix model descrit abans per a la anàlisi de la variances.

Per a l'estimació de les respostes correlacionades a la selecció s'ha utilitzat l'expressió:

$$r_y = \text{cor}_{xy} i_x \sqrt{h_x^2} \sigma_{A_y}$$

on,

r_y = resposta correlacionada en el caràcter y

cor_{xy} = correlació genètica additiva entre els caràcters x i y

i_x = intensitat de selecció sobre el caràcter x

h_x^2 = heretabilitat del caràcter x

σ_{A_y} = desviació típica additiva del caràcter y

D'aquesta expressió es dedueix que la resposta correlacionada a la selecció en el caràcter y per unitat d'intensitat de selecció aplicada en el caràcter x seria:

$$r_y / i_x = \text{cor}_{xy} \sqrt{h_x^2} \sigma_{A_y}$$

Els errors de les estimes de l'heretabilitat i els dels coeficients de correlació es van estimar mitjançant els mètodes proposats per Robertson (1959) i Reeve (1955).

RESULTATS I DISCUSSIO

A la Taula 1 es pot observar que els caràcters productius (PMSp i PMSe) tenen una heretabilitat baixa (0,16 i 0,23 respectivament). Sobretot la de la producció de la part vegetativa és molt baixa si la comparem amb el valor de .59 estimat per Ferret (1990). Tenint en compte que es va utilitzar el mateix material, ens indica un canvi important en la component ambiental, probablement a causa d'una major heterogeneïtat en el lloc del present assaig.

L'heretabilitat dels dies a floració és elevada (0,66), en canvi el caràcter dies a maduració té heretabilitat mitjana-baixa (Taula 1). Això podria ésser degut a que es tracta d'un caràcter de mesura

menys objectiva (dificultat de determinar el moment del 40% d'humitat del gra), i també d'un caràcter influït per més factors que els dies a floració (fisiologia de la maduració, malalties, etc.).

Els caràcters morfològics (Ato, Nt i diB), presenten heretabilitats mitjanes, sent la del diàmetre la més alta (Taula 1). Aquest caràcter i el de dies a floració masculina són els que donen en el nostre assaig uns valors més elevats d'heretabilitat.

La correlació existent entre els dos caràcters productius (producció matèria seca planta i producció matèria seca espiga) és realment alta (Taula 2).

**Taula 1. Estimes de les variàncies i valor de l'heretabilitat.
Variance estimations and heretability values.**

	VA	VD	VG	VF	h^2
dF	3,88	0	3,88	5,84	0,66 ± 0,19
dM	7,20	1,48	8,68	21,12	0,34 ± 0,14
diB	3,88	0	3,88	7,05	0,55 ± 0,18
Ato	186,64	0	186,64	542,77	0,34 ± 0,13
Nt	1,32	0	1,32	3,33	0,40 ± 0,20
PMSp	182,52	150,16	332,68	1155,75	0,16 ± 0,09
PMSe	397,43	0	397,43	1750,78	0,23 ± 0,11

**Taula 2. Matriu de correlacions genètiques additives (damunt diagonal) i de correlacions fenotípiques (sota diagonal).
Correlation matrix. Additive genetic correlations above the diagonal.
Phenotypic correlations below the diagonal.**

	dF	dM	diB	Ato	Nt	PMSp	PMSe
dF		0,90 ±0,02	0,31 ±0,20	0,47 ±0,23	0,42 ±0,17	0,73 ±0,18	0,24 ±0,09
dM	0,48 ±0,21		0,29 ±0,25	0,44 ±0,30	0,34 ±0,22	0,74 ±0,21	- 0,02 ±0,34
diB	-0,21 ±0,22	-0,07 ±0,28		0,10 ±0,28	0,18 ±0,14	0,71 ±0,05	0,67 ±0,18
Ato	0,31 ±0,24	0,19 ±0,31	0,03 ±0,28		0,60 ±0,15	0,56 ±0,27	0,57 ±0,27
Nt	0,35 ±0,17	0,17 ±0,25	0,02 ±0,23	0,27 ±0,24		0,40 ±0,10	0,84 ±0,04
PMSp	0,17 ±0,32	0,26 ±0,37	0,41 ±0,28	0,45 ±0,31	0,20 ±0,30		0,78 ±0,32
PMSe	0,04 ±0,24	0,14 ±0,33	0,35 ±0,26	0,47 ±0,26	0,09 ±0,28	0,51 ±0,32	

Aleshores les plantes més productores de matèria seca en la seva part vegetativa són també les que produeixen més espiga, la qual cosa és molt favorable tenint en compte l'aportació energètica del gra des del punt de vista alimentari del blat de moro com a planta farratgera (confirmant d'aquesta manera el que ja havia dit Ferret (1990)).

També apareixen correlacions elevades entre el caràcter diàmetre de la base i els caràcters productius, concretament 0,71 amb PMSp i 0,67 amb PMSe. Es possible, per tant, fer una selecció indirecta buscant una millor producció tenint en compte l'heretabilitat

més elevada del caràcter diàmetre de la base i les bones correlacions ara esmentades.

Referent als caràcters definidors del cicle (dies a floració masculina i dies a maduració) les correlacions són altes amb la variable productiva PMSp, donant uns valors de 0,73 i 0,74. Així, podem afirmar que la producció de planta augmenta amb la durada del cicle de la planta, fet àmpliament reconegut en la bibliografia (Fairey, 1982; Bastida *et al.*, 1985; Barrière i Traineau, 1986; Brossa *et al.*, 1987; Ferret, 1990).

En canvi, les correlacions entre

dies a floració masculina i dies a maduració, per una banda, i producció de matèria seca espiga, per l'altra, són molt baixes (0,24 i -0,02). Es a dir, segons aquests resultats, un augment del cicle no implica necessàriament un augment de la producció de l'espiga, diferint en aquest aspecte dels resultats trobats pels mateixos autors citats en el paràgraf anterior. La falta de correlació entre cicle i producció de panotxa es pot atribuir, com ja s'ha comentat anteriorment, a la dificultat de realitzar la collita per farratge en idèntic estat fisiològic per a totes les plantes. Com que en el moment de la collita per a farratge no s'ha finalitzat l'ompliment del gra, la producció de panotxa es pot veure modificada si collim una mica mes d'hora o una mica mes tard del 40% d'humitat en el gra (sempre difícil de determinar al camp). Aquest aspecte no és tant important per la producció de planta, que com es pot veure té bona correlació amb el cicle.

L'elevada correlació (0,90) entre els caràcters dies a floració masculina i dies fins a maduració es lògica i esperable.

Entre els dies transcorreguts fins a la floració masculina (dF) i la resta de variables estudiades s'estableixen correlacions força elevades. En definitiva, un cicle més llarg es tradueix en plantes de més alçada, més fulles i més productives (sobretot de la part vegetativa). Una cosa semblant passa també amb el caràcter dies a maduració,

excepte amb la producció d'espiga.

Les correlacions que s'estableixen entre les variables productives i les morfològiques de la planta, com alçada total i nusos totals, permeten afirmar que un bon rendiment en massa de farratge està associat a un bon desenvolupament de la planta, confirmant així les afirmacions fetes en aquest sentit per Gallais *et al* (1983) i Geiger *et al* (1986). La grandària de la planta i el nombre de fulles que aquesta posseeix ens porta a una producció més gran de matèria seca total. Si examinem les respostes correlacionades a la selecció per unitat d'intensitat de selecció aplicada sobre caràcters de cicle o morfològics (Taula 3) observem que les respostes més elevades per a la producció de part vegetativa s'obtidrien seleccionant per dies a floració i diàmetre a la base, i pel que fa a la producció de panotxa, seleccionant per nusos totals i diàmetre de la base. Ja que ens interessa tant la producció de planta com de panotxa, sembla que el caràcter a utilitzar de manera preferent seria el diàmetre de la base, complementat amb el nombre de nusos i els dies a floració.

Pel que fa a les correlacions fenotípiques ens trobem que, en la majoria dels casos, són més baixes que les correlacions genètiques additives. Aquesta disminució dels valors pot atribuir-se a l'existència de correlacions ambientals negatives entre algunes de les variables, coincidint doncs, amb el que

Taula 3.-Respostes correlacionades a la selecció en el caràcter y per unitat d'intensitat de selecció aplicada en el caràcter x.

Correlated responses to the selection in the y trait per unit of selection intensity applied in the x trait.

x	y	
	PMSp	PMSe
dF	7.97	3.78
dM	5.67	0
diB	7.02	9.56
Ato	4.32	6.44
Nt	3.38	10.4

ja havia dit Ferret (1990). Cal recordar la ja coneguda relació ambiental negativa entre els caràcters definidors del cicle (dF i dM), per una banda, i la producció i desenvolupament vegetatiu de la planta, per l'altra. Unes condicions ambientals desfavorables (stress) retarden la floració masculina i la maduració de la planta, provocant, en canvi, una disminució en l'alçada, en el nombre de nusos i, per tant, en la producció de la planta. En altres cassos com ara PMSp, PMSe, i Ato, les correlacions fenotípiques són de magnitud similar a les genètiques additives, indicant que la influència ambiental és en el mateix sentit.

En resum, es confirma la baixa heretabilitat dels caràcters productius i l'existència de caràcters morfològics més heretables i a la vegada correlacionats genèticament amb les produccions. Com a conseqüència dels valors d'heretabilitat i correlació obtinguts, juntament amb les possibilitats de fer selecció en una fase primerenca del cultiu, apareixen com a caràcters més indicats per a fer selecció indirecta per producció de biomassa, el gruix del diàmetre del primer entrenús, el nombre de nusos i els dies a floració. El fet de que la producció d'espiga i de planta estiguin ben correlacionats genèticament és un altre aspecte favorable a aquest tipus de selecció.

BIBLIOGRAFIA

- BARRIERE Y. i R. TRAINÉAU (1986).** Characterization of silage maize: Patterns of dry matter production, LAI evolution and feeding value in late and early genotypes. A: Breeding of silage maize. Editat per: Dolstra and Miedema, Pudoc, Wageningen: 131-136.
- BROSSA J., J.M. ESPINOSA, C. ROMERA, A. CLAVERO, M. ALOY, LL. BOSCH i F. CASAÑAS (1987).** Producció de farratge de 32 híbrids comercials de blat de moro. Servei Extensió Agrària. D.A.R.P. de la Generalitat de Catalunya.
- BASTIDA F., J.C. DUEÑAS, J.M. ESPINOSA, L. BOSCH i F. CASAÑAS (1985).** Anàlisi de la producció de blat de moro farratger considerant el cicle, època de sembra i densitat. Exp. Agrària, O. A. Caixa de Pensions 49: 3-16.
- COMSTOCK, R.E. i H.F. ROBINSON (1948).** The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics 4:254-266.
- DHILLON B.S., P.A. GURRATH, E. ZIMMER, M. WERMKE, W.G. POLLMER i D. KLEIN (1990).** Analysis of diallel crosses of maize for variation and covariation in agronomic traits at silage and grain harvests. Maydica 35: 297-302.
- FAIREY N.A. (1982).** Influence of population density and hybrid maturity on productivity and quality of forage maize. Canadian Journal of Plant Science 62: 427- 434.
- FALCONER D.S.(1981).** Introducción a la genética cuantitativa. 12ª impresión. C. Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- FERRET A. (1990).** Estudi de caràcters quantitius d'interès farratger en el blat de moro (*Zea mays* L.). Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona.
- FERRET, A., F. CASAÑAS, A. M. VERDU, L. BOSCH i F. NUEZ (1991).** Breeding for yield and nutritive value in forage maize: An easy criterion for stover quality, and genetic analysis of Lancaster variety. Euphytica 53:61-66.
- GALLAIS A., P. VINCOURT i J.C. BERTHOLLEAU (1983).** Etude de critères de sélection chez le maïs fourrage: héritabilités, corrélations

génétiques et reponse attendue à la sélection. *Agronomie* 3 (8): 751-760.

GEIGER H.H., A.E. MELCHINGER i G.A. SCHMIDT (1986). Analysis of factorial crosses between flint and dent maize inbred lines for forage performance and quality traits. A: Breeding of silage

maize. Editat per: Dolstra and Miedema, Pudoc, Wageningen: 147-154.

HALLAUER, A.R. i J.B. MIRANDA (1981). Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 468pp.