

옥수수 二面交雜에 의한 登熟期間의 遺傳 分析

차선우* · 박상일** · 정승근** · 박승의*** · 김석동*

Inheritance of Grain Filling Duration in Corn

Seon Woo Cha*, Sang Il Park**, Seung Keun Jong**,
Seung Ue Park*** and Seok Dong Kim*

ABSTRACT : This study was conducted to clarify the genetic effect on the duration of grain filling with using the eight corn inbreds. In diallel cross analysis, the grain filling during the lag period showed partial dominance with great additive effects. Inbreds FR14A and A508 showed greater recessive gene effects for lag period, while FR25 showed greater effects of dominant genes. The genetic analysis for the effective filling period(EFP) showed over dominance without additive gene effects. FR25 of 8 inbreds showed greatest effects of dominant genes for EFP, while YUBC208 showed greater recessive gene effects for EFP than other inbreds. The genetic analysis for total grain filling period(TGFP) seemed to be due to partial dominance with greater additive effects. Early inbred line, YUBC208 especially showed greater recessive gene effects for TGFP than others. No. of effective genes related to EFP and TGFP were estimated by at least 5.

Key words : Corn, Grain filling, Genetic analysis, Diallel cross.

옥수수의 수량은 종자가 파종되어 일생을 마치고 까지의 전생육기간을 통하여 이루어지는 여러 생리적 과정들의 상호작용으로 결정된다고 할 수 있으며, 그중 수정에서부터 생리적 성숙기까지로 표시되는 등숙기간은 수량과 아주 밀접한 관계가 있다.^{6,8,9} 일반적으로 옥수수의 등숙기간은 유전자형에 따라 30~60일로 변이폭이 크기 때문에 같은 환경조건에서 잘 적응되는 유전자형이라면 등숙기간이 긴 것이 종실수량성 향상에 기여가 더 클 것으로 판단된다.

옥수수의 등숙기간을 측정하는 방법에는 종실 기저부의 黑色層(black layer)형성시기 조사방

법,^{7,13} Johnson & Tanner¹²의 방법에 의한 등숙 단계(초기, 유효, 후기등숙기간)구분법, 및 乳線(milk line)을 조사하는 방법¹³ 등이 있는데 최근에는 조사하기 쉽고 등숙단계별 등숙기간 및 등숙속도의 구명이 편리한 Johnson & Tanner의 방법¹²이 주로 많이 이용된다.

최근 국내에서 이용되고 있는 옥수수 육종재료 들은 초기등숙기간 9~13일, 유효 등숙기간 19~30일, 후기 등숙기간 2~5일 등으로 총 등숙기간은 30~46일로 밝혀졌으며¹⁾, 그중 총등숙기간은 粒重, 粒長 및 種實收量과 고도의 유의성 있는 정 의 상관관계가 있음이 확인되었다.²⁾ 한편 Cha et

* 작물시험장(National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea)

** 충북대학교 농과대학(Coll. of Agric., Chungbuk Nat'l Univ. Chongju 361-240, Korea)

*** 강원도농촌진흥원(Kangwon Provincial Rural Development Administration, Chunchon 200-150, Korea)

〈'97. 7. 11 接受〉

al.³⁴⁾은 登熟特性(등숙기간, 등숙속도)에 대한 조만숙 자식계통들의 조합능력, 잡종강세 및 우성정도 등을 분석하였다. 본시험은 옥수수 숙기가 전혀 다른 자식계통과 이들간의 二面交配에서 생산된 F₁ 교잡종들을 이용하여 수량과 관련이 높은 등숙기간의 유전분석을 추정함으로써 다수성 품종육성의 기초자료로 이용코자 실시하였다.

재료 및 방법

본 시험에 사용된 공시재료는 조숙계통인 A508, YUBC 208 및 A662등 3계통과 만숙계통인 FR25, FR2A, KI16A, KS42 및 FR14A의 5계통 등 8개의 자식계통과 이들간의 이면교배(diallel cross)에서 얻어진 28개 조합의 F₁들이었다.

이들 양친과 F₁들은 휴폭 60cm, 주간거리 25cm(6,600본/10a)로 재식하여 10a당 질소, 인산, 칼리를 각각 18, 15, 15kg의 성분량으로 사용하였으며 그중 질소의 1/2은 본엽 7~8매시 추비로 사용하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였으며 기타 재배법은 작물시험장 옥수수 표준재배법에 준하였다.

등숙기간의 조사방법은 Cha et al.¹¹⁾이 이용한 방법으로 출사후 5일부터 51일까지 2~5일 간격으로 19회에 걸쳐 포장에 서있는 옥수수 표본개체로부터 직접 생립을 채취하여 건물중을 조사하였으며, Johnson & Tanner¹²⁾의 방법으로 각 등숙단계인 初期登熟期間(lag period), 有效登熟期間(effective filling period), 後期登熟期間(plateau), 總登熟期間(total grain filling period) 등으로 나누어 조사하였다.

유전분석은 Hayman & Jinks^{10,11)}의 이면교배 분석 방법으로 농촌진흥청 통계분석 program의 Diallel 분석법을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 양친 및 F₁의 등숙기간 비교

본시험에 공시된 8개 자식계통과 이들간의 이

면교배에 의해 28개 F₁ 들의 각 단계별 등숙기간은 표 1, 2와 같다.

공시된 자식계통중 FR25, FR2A, KI16A, KS42 및 FR14A등 5계통은 출사일수(ES)가 92~98일로 A508, YUBC208, A662등 3계통의 81~85일보다 숙기가 11~17일 정도 늦은 만숙계통들이었다.

초기 등숙기간(LP)은 조숙계통이 9~11일, 만숙계통들이 10~13일로 평균 11일 정도가 소요되었다. 유효등숙기간(EFP)은 조숙계통들이 19~22일로 만숙계통의 23~30일보다 4~11일 정도 짧은 결과를 보였으며 평균 24일이 소요되었다. 한편 후기 등숙기간(PL)은 조숙계통이 2~4일, 만숙계통이 4~5일로 계통간에 큰 변이는 보이지 않았다. 초기, 유효, 후기 등숙기간을 합한 총 등숙기간(TGFP)은 조숙계통이 30~37일로 만숙계통들(39~46)에 비하여 9~16일 정도 짧았는데 이는 유효등숙기간에서의 조,만숙계통간의 등숙기간 차이에 의하여 나타난 결과이다(표 1)

교잡종 28개 조합들에 대한 각 단계별 등숙기간은 표 2에서와 같다.

초기 등숙기간은 9~12일 범위로 교잡종간 차

Table 1. Mean values of LP, EFP, TGFP, BL and HD for grain filling duration of eight parents

Parents	ES	Grain			
		LP	EFP	PL	TGFP
FR25	92	13	30	4	46
FR2A	98	11	23	5	39
KI16A	93	13	28	4	45
KS42	95	11	23	5	40
FR14A	97	10	25	4	39
A508	81	10	22	4	37
YUBC208	82	9	19	2	30
A662	85	11	22	3	37
Mean	90.4	11.0	24.0	3.9	39.1
Range	81~98	9~13	19~30	2~5	30~46
CV(%)	1.7	5.4	6.8	43.6	5.5
Sd	11.4	2.4	5.7	1.9	7.8

Note : ES : Number of days from emergence to silking, LP : Effective filling period, EFP : Effective filling period, PL : Plateau, TGFP : Total grain filling period.

Table 2. Mean values of LP, EFP, TGFP, BL and HD for grain filling duration in diallel cross with eight parents

Parents	ES	Grain filling duration(days)			
		LP	EFP	PL	TGFP
FR25 /FR2A	86	11	27	8	44
FR25 /KI16A	91	12	27	5	43
FR25 /KS42	90	11	29	4	45
FR25 /FR14A	92	11	28	5	44
FR25 /A508	81	10	27	6	43
FR25 /YUBC208	82	10	29	8	47
FR25 /A662	85	11	26	8	45
FR2A /KI16A	90	12	25	6	43
FR2A /KS42	93	11	28	5	44
FR2A /FR14A	96	10	29	6	44
FR2A /A508	85	10	26	7	43
FR2A /YUBC208	84	10	26	6	42
FR2A /A662	89	11	26	7	43
KI16A /KS42	88	11	26	6	44
KI16A /FR14A	91	11	25	4	41
KI16A /A508	80	11	28	6	45
KI16A /YUBC208	81	10	25	6	41
KI16A /A662	86	12	27	6	45
KS42 /FR14A	92	11	25	6	42
KS42 /A508	83	11	26	6	43
KS42 /YUBC208	83	10	25	7	42
KS42 /A662	88	11	26	7	42
FR14A /A508	84	11	26	4	41
FR14A /YUBC208	86	11	25	7	43
FR14A /A662	88	11	23	4	38
A508 /YUBC208	76	9	25	7	42
A508 /A662	79	10	26	4	41
YUBC208 /A662	78	10	24	4	38
Mean	86.3	10.7	26.3	5.9	43.0
Range	76~92	9~12	23~29	4~8	38~45
CV(%)	1.8	5.9	6.7	34.7	4.4
Sd	8.6	1.2	2.8	2.2	3.0

Note : ES : Number of days from emergence to silking, LP:Lag period, EFP:Effective filling period, PL:Plateau, TGFP:Total grain filling period.

이가 별로 없었다. 유효등숙기간은 23~29일 범위로 평균 26.3일이 소요되어 초기 등숙기간에 비하여 평균 약 15일이 더 길었으며 자식계통(양친들)들의 유효등숙기간에 비하여는 약 2.3일이

더 길었다.

후기 등숙기간은 4~8일 범위로 평균 5.9일이 소요되어 등숙 단계중 가장 짧은 기간을 보였으며 자식계통의 3.9일보다 2일 정도 더 길게 나타났다. 한편 출사후 수정으로부터 최대 건물중이 도달되는 생리적 성숙기까지의 총등숙기간은 38~45일 범위로 평균 43일 정도가 소요되어 자식계통들의 39.1보다 약 4일 정도가 더 긴 결과를 보였다. 결과적으로 출현후 출사기까지의 출사일수는 교잡종들이 양친들보다 더 짧게 나타났으나 총등숙기간은 교잡종들이 양친들보다 더 많은 기간이 소요되었다. 따라서 수량에 관여하는 생육단계는 영양생장기간보다는 생식생장기인 등숙기간에서 더 많이 좌우하는 것으로 사료된다.

2. 유전분석

등숙기간에 대한 Wr-Vr 그래프는 그림 1~3과 같다. 그림 1에서 초기등숙기간에 대한 Wr-Vr 그래프를 보면 회귀계수가 1.28로서 양친들 사이에 비대립 유전자의 상호작용이 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 회귀직선이 원점 상단을 통과하는 것으로 보아 F₁의 초기등숙기간은 부분우성인 것으로 추정되었다. 각 양친들이 가지고 있는 유전자의 우·열성 관계를 보면 FR14A, A508, YU-

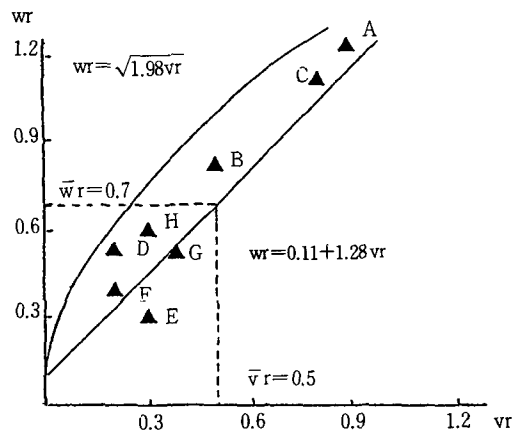


Fig. 1. Wr-Vr Graph for lag period in a 8 parental diallel cross

Note: A:FR25 B:FR2A C:KI16A D:KS42
E:FR14A F:A508 G:YUBC208
H:A662

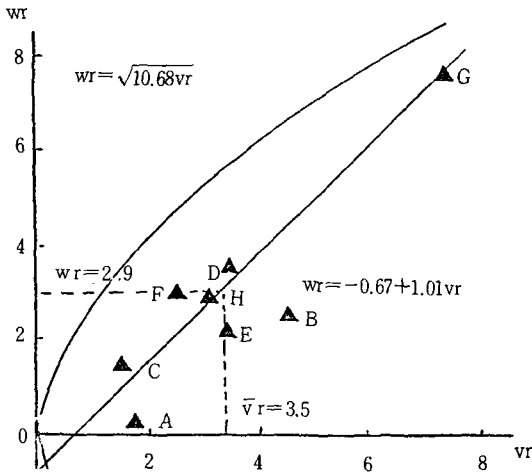


Fig. 2. W_r - V_r graph for duration of effective filling period in a 8 parental diallel cross.

Note: A:FR25 B:FR2A C:KI16A D:KS42
E:FR14A F:A508 G:YUBC208
H:A662

BC208 및 A662는 우성 유전자가, 그리고 FR25와 KI16A는 열성 유전자가 많이 관여하는 것으로 나타났다.

유효 등숙기간(그림 2)에 대한 W_r - V_r 그래프의 회귀계수는 1.01로서 양친들 사이에 비대립 유전자의 상호작용이 없는 것으로 나타났다. 그림 2에서 회귀직선이 원점 하단을 통과하여 유효 등숙기간은 초우성을 보였는데, FR25와 KI16A는 우성유전자를, 그리고 YUBC208은 열성유전자를 많이 보유하고 있었으며, FR2A등 5계통은 중간부위에 위치하고 있어 우성유전자와 열성유전자의 비율이 비슷한 것으로 나타났다. 우성 유전자를 많이 보유하고 있는 FR25는 등숙기간 연장에 따른 수량성 향상을 위한 교배친으로서 유망한 것으로 판단되었다.

초기등숙기간과 유효등숙기간 및 후기등숙기간을 합친 총등숙기간에 대한 W_r - V_r 그래프는 그림 3과 같다. 회귀계수는 1.02로서 양친들 사이에 비대립 유전자의 상호작용이 없었고 회귀직선은 원점 상단을 통과하여 총 등숙기간은 부분우성으로 추정되었다. 이는 Chon et al.⁵⁾이 보리의 등숙기간에서 보고한 결과와 일치하는 것이었다.

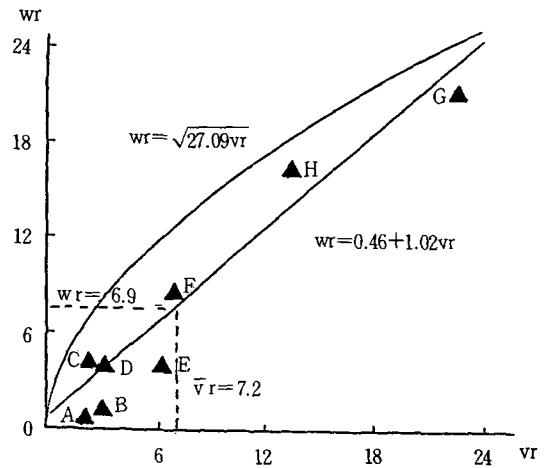


Fig. 3. W_r - V_r graph for duration of total grain filling period in a 8 parental diallel cross

Note: A:FR25 B:FR2A C:KI16A D:KS42
E:FR14A F:A508 G:YUBC208
H:A662

양친들의 우·열성 관계는 FR25와 FR2A는 우성 유전자를, 그리고 YUBC208은 열성 유전자를 많이 보유하고 있었고 A508은 중간부위에 위치하여 우열성 유전자의 관여도가 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 조생교잡종 육성을 위해서는 YUBC 208을, 등숙기간이 긴 만생교잡종 육성을 위해서는 FR25를 교배친으로 이용하는 것이 유망한 것으로 판단되었다.

생리적 성숙기의 기준으로 판단되는 흑색층 출현일수에 대한 유전분석은 총등숙기간과 거의 비슷한 결과를 보였다. 즉, 비대립 유전자의 관여가 없는 부분우성인 것으로 추정되었으며 FR25와 KS42는 우성유전자의 관여도가, 그리고 YUBC 208은 열성유전자의 관여도가 큰 것으로 나타났다.

등숙기간 각 단계별 관련된 형질들의 유전성분에 대한 분산분석을 보면 표 3과 같다. 초기등숙기간에서는 $D > H_1$ 이고, 평균 우성정도 [$(H_1/D)_{1/2}$]가 0.67로 부분우성이었으며, 평균 유전자빈도 ($H_2/4H_1$)는 0.21로서 우 열성 대립유전자의 빈도가 다소 차이가 있는 것으로 추정되었다.

유효등숙기간은 평균 우성 정도가 2.82이고,

Table 3. Genetic components for duration of grain filling period in a 8 parental diallel cross

Variance components	LP ^{a)}	EFP ^{b)}	PL ^{c)}	TGFP ^{d)}
D	4.71	2.44	-2.93	22.14
H ₁	3.11	19.39	-2.26	14.76
H ₂	2.96	17.60	-0.76	11.26
F	-0.13	5.30	-4.45	19.13
H ₁ /D	0.45	7.96	0.91	0.67
(H ₁ /D)F	0.67	2.82	0.95	0.82
H ₂ /4H ₁	0.21	0.23	0.07	0.19
h ₂ /H ₂	0.07	5.65	0.70	5.04
R	-	-0.85	-0.93	-0.85

Note : ES : Number of days from emergence to silking, LP : Effective filling period, EFP : Effective filling period, PL : Plateau, TGFP : Total grain filling period.

$D < H_1$ 의 관계를 갖고 있으며, 평균우성 정도가 2.8로서 초우성인 것으로 추정되었다. 한편 유전자 평균빈도는 0.23으로서 우·열성 대립유전자의 빈도가 양친간에 약간의 차이가 있는 것으로 추정되며, 유효유전자수 (h_2/H_2)는 적어도 5개가 관여하고 있는 것으로 추정되었다.

후기등숙기간은 완전우성에 가까운 부분우성으로 추정되며, 양친의 우열성 대립 유전자의 평균빈도는 0.07로 우열성 대립유전자의 평균빈도의 차가 매우 커서 우열성 유전자중의 어느 한쪽으로 치우쳐 있는 것으로 추정되었다.

총등숙기간은 평균 우성정도가 0.86이며 $D > H_1$ 인 관계로 부분우성으로 추정되며 F값이 19.13으로 우성유전자의 효과가 컸으며 유전자 평균빈도($H_2/4H_1$)는 0.16으로서 우·열성 대립 유전자의 빈도가 양친간에 큰 것으로 추정되었다. 관여하고 있는 유효 유전자수는 5개로 추정되었다.

적 요

옥수수 수속기가 서로다른 8개의 자식계통과 이들간의 이면교배에 의하여 생산된 28개 F₁을 공시하여 등숙기간의 유전분석을 실시하였던 바

그 결과는 다음과 같다.

1. 초기등숙기간에서는 상가적 효과가 큰 부분우성으로 추정되었으며 유효등숙기간은 비대립 유전자의 상호작용이 없는 초우성으로 추정되었다.
2. 총등숙기간과 흑색층 출현일수는 상가적 효과가 비상가적 효과보다 큰 부분우성으로 추정되었다.
3. 유전자 분포상태는 유효등숙기간과 총등숙기간에서 양친들 중 FR25는 열성유전자의 관여도가 크게 나타났으며 YUBC208은 열성유전자로서의 관여도가 크게 작용하였다.
4. 유효등숙기간과 총등숙기간에 관여하는 유효 유전자수는 최소한 5개 정도가 있는 것으로 추정되었다.

LITERATURE CITED

1. Cha S.W, Park S.I, Jung S.K and Park S.U. 1994. Comparison of duration and rate of grain filling among corn inbred lines and hybrids. Korean J. Breed. 26(4) :426-434.
2. _____, _____, _____, and _____. 1995. Relationships between grain filling characteristics and grain yield and yield components in maize. Korean J. Breed. 27(1):73-78.
3. _____, _____, and _____. 1995. Combining ability of duration and rate of grain filling in corn. Korean J. Breed. 27(4):380-386.
4. _____, _____, _____, and Kim S.D. 1997. Heterosis and degree of dominance of grain filling characteristics in corn.
5. Chun J.U, Lee H.S, Lee E.S, Chung D.H and Park M.W. 1985. Genetic analysis of heading time and grain filling period in barley(*Hordeum vulgare* L.) 2. A diallel cross analysis of heading, maturing time

- and grain filling period.
6. Cross H.Z. 1975. Diallel analysis of duration and rate of grain filling of seven inbred lines of corn. *Crop Sci.* 15:532-535.
 7. Daynard T.B and Duncan W.G. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9:473-476.
 8. Daynard T.B, Tanner J.W, and Duncan W.G. 1971. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn. *Zea mays L.* *Crop Sci.* 11:45-48.
 9. _____, and Kannenberg L.W. 1976, Relationship between length of the actual and effective grain filling period and the grain yield of corn. *Can. J. Plant Sci.* 56:237-242.
 10. Hayman B.I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39:789-809
 11. Jinks J.L. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica* varieties. *Genetics* 39:767-788.
 12. Johnson D.R and Tanner J.W. 1972. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays L.*). *Crop Sci.* 12:485-486.
 13. Rench W.E and Shaw R.H. 1971. Black layer development in corn. *Agron. J.* 63:303-305.