

爆裂玉米产量及膨爆特性遗传效应分析

李玉玲, 杜振伟, 董永彬, 吴晓军, 牛素珍

(河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以 12 个爆裂玉米自交系间杂交 F_1 为材料, 采用三倍体胚乳模型对子粒膨爆特性及穗粒重、百粒重的 3 类遗传效应研究结果表明, 3 项膨爆特性指标同时受到直接效应和母体效应 2 种遗传体系所控制, 百粒重和穗粒重由 3 套遗传体系所决定。穗粒重、百粒重、爆花率和膨化体积以普通直接遗传率为最主要分量, 膨化倍数的普通母体遗传率最高。各自交系的直接加性效应和母体加性效应的显著性不同, 要注意不同自交系的恰当组配。

关键词:爆裂玉米; 产量; 膨爆特性; 遗传效应

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2006)01-0035-04

Analysis of Genetic Effect for Yield and Popping Characteristics in Popcorn

LI Yu-ling, DU Zhen-wei, DONG Yong-bin, WU Xiao-jun, NIU Su-zhen

(Agronomy College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Genetic effects were analyzed by genetic model for triploid endosperm plant seeds using the F_1 crosses of 12 popcorn inbreds. The result showed that the 3 popping characteristics were controlled by two genetic systems, including direct and maternal effect. The additive effect was the most important genetic effect for all characters, but non additive effects were also important. 100-kernel weight and kernel weight per ear were controlled by all the three genetic systems. The normal direct heritability of 100-kernel weight, kernel weight per ear and popping volume were the most important factors. The normal maternal heritability of expansion fold was the highest. The direct additive effects and maternal additive effects were different among all inbred lines, so to make elite popcorn inbreds, good inbreds must be selected first and proper crossing must be considered at the same time.

Key words: Popcorn ; Yield trait ; Popping characteristic ; Genetic effect

爆裂玉米具有独特的膨爆特性和利用价值。爆裂玉米的膨爆特性主要是由胚乳的成分和结构所决定的种子性状^[1]。胚乳是三倍体, 与其母体植株相差一个世代, 主要由母体植株提供的营养物质所充实。因此, 爆裂玉米的膨爆特性可能同时受胚核基因、母体植株核基因和细胞质基因的共同控制, 对其研究应采用不同于二倍体植株及二倍体种子胚的遗传模型。本研究根据在爆裂玉米育种中可以有效利用普通玉米种质的育种实际, 采用朱军提出的三倍体胚乳种子遗传模型及其分析方法^[2], 研究子粒膨爆特性及穗粒重、百粒重的 3 类遗传效应, 旨在为爆裂玉米子粒膨爆特性的改良及种质的合理利用提供

理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料与试验设计

2002 年采用 12 个爆裂玉米自交系 N04, N10, N14, N08, N16, N09, N05, N01, M2, F2, F1, M1 按照双列杂交 (Griffing IV) 设计配制出 66 个组合。2003 年夏播在郑州和西华分 2 点种植, 采用随机区组排列, 3 次重复, 单行区, 行长 4 m, 行距 0.67 m, 株距 0.25 m。管理同一般大田, 生理成熟时以小区为单位进行收获, 待自然干燥后按材料脱粒, 称取穗粒重和百粒重。

收稿日期: 2005-05-12

基金项目: 河南省重大科技攻关项目 (0122011700)

作者简介: 李玉玲 (1962-), 女, 河南舞阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事玉米遗传育种方面的研究工作。

1.2 膨爆特性指标及测定方法

每小区随机数无病虫的完整子粒 100 粒, 称重后用 BZ-99 型豪华型爆花机进行膨化试验, 用 500 mL 量筒测量其膨化后体积, 计数未爆花粒数, 由此计算评价膨化特性的 3 个指标: (百粒)膨化体积、爆花率(膨化子粒数/总试爆粒数×100%)和膨化倍数(膨化体积(mL)/百粒重(g))

1.3 统计分析方法

根据朱军提出的三倍体种子胚乳遗传模型及分析方法^[2], 估算 3 个膨化特性指标及百粒重和穗粒重的直接加性、直接显性、细胞质、母体加性、母体显性的方差分量和直接加性与母体加性、直接显性与母体显性协方差及其与环境互作效应分量, 各项遗传率, 各性状间的遗传相关分量, 预测亲本各性状的遗传效应值。

2 结果与分析

2.1 遗传方差分量的估算

表 1 各性状的遗传方差和协方差分量估计值

Tab.1 Genetic variance and covariance for all traits

方差分量 Genetic variance/ covariance	穗粒重 Kernel weight/ ear	百粒重 100-kernal weight	爆花率 Popping rate	膨化体积 Popping volume	膨化倍数 Popping fold
直接加性 V _A	0.00765 *	1.87 **	78.69 *	2605.78 *	4.491 *
直接显性 V _D	0.00551 **	0.29	43.08 *	1185.54 *	9.56 *
细胞质 V _C	0.00029 **	0.067 *	5.59	153.914	1.47
母体加性 V _{AM}	0.00234 **	0.53 *	44.73 *	1231.31 *	11.78 *
母体显性 V _{Dm}	0.00029 **	0.067 *	5.59	153.91	1.47
直接加性×环境 V _{AE}	0	0	25.97	0	0
直接显性×环境 V _{DE}	0.0035 *	1.58 *	7.47	1050.79	3.74
细胞质×环境 V _{CE}	0	0	0.14	0	0
母体加性×环境 V _{Am.E}	0	0	1.08 *	0	0
母体显性×环境 V _{Dm.E}	0	0	0.14	0	0
直接加性母体加性 C _{A.Am}	-0.0006	-0.52	-5.14	-757.41	-2.844
直接与母体显性 C _{D.Dm}	-0.0039 **	-0.57	-69.95	-1596.48	-16.77
直接与母体加性×环境 C _{AE.AmE}	0	0	-3.92	0	0
直接与母体显性×环境 C _{DE.DmE}	0	0	-9.45	0	0
机误 V _e	0.01 **	4.94	89.55 *	4807.66 *	41.72

将两种环境条件下 5 个性状的各项方差和协方差分量估计值列于表 1。由表 1 可见, 各性状的直接加性、直接显性和母体加性效应方差分量均达到显著或极显著水平, 仅穗粒重和百粒重的细胞质、母体显性、直接显性×环境和穗粒重的直接与母体显性方差分量达到显著或极显著水平, 表明直接加性、直接显性和母体加性效应对各性状的遗传均起着最重要的作用, 穗粒重和百粒重的遗传比膨爆特性更为复杂,

同时受细胞质、母体显性和直接显性×环境效应的影响, 穗粒重还受直接与母体显性效应的影响。

2.2 遗传率的估算

将各性状的各项遗传率估算结果列于表 2。由于存在细胞质效应, 普通遗传率包括普通直接遗传率[$h_o^2 = (V_A + C_{A.Am}) / V_P$]和普通母体遗传率[$h_m^2 = (V_{Am} + C_{A.Am}) / V_P$]以及普通细胞质遗传率[$h_c^2 = V_C / V_P$]。穗粒重、百粒重和膨化体积以普通直接遗传率为最主要分量, 其次为普通细胞质遗传率和普通母体遗传率分量, 但显著小于普通直接遗传率; 爆花率的普通直接遗传率最大, 普通母体遗传率也较高; 膨化倍数的普通母体遗传率最高, 普通直接遗传率和普通细胞质遗传率较小。因此, 对穗粒重、百粒重和膨化体积实施正向选择的效果优于爆花率和膨化倍数; 对爆花率实施正向选择也可以收到较好的选择效果, 但应同时注意组配爆×爆选系材料的正反交差异; 正反交差异对后代的膨化倍数影响更大。

表 2 各性状的遗传率估计值

Tab.2 Heritability for all traits

%

参数 Parameters	穗粒重 Kernel weight/ ear	百粒重 100kernal weight	爆花率 Popping rate	膨化体积 Popping Volume	膨化倍数 Popping fold
普通直接遗传率 h_o^2	33.91	18.83	58.78	28.52	4.70
普通母体遗传率 h_m^2	8.34	0.19	31.64	7.31	25.52
普通细胞质遗传率 h_c^2	1.41	0.93	4.47	2.38	4.21
互作直接遗传率 h_{OE}^2	0	0	17.63	0	0
互作母体遗传率 h_{ME}^2	0	0	-2.27	0	0
互作细胞质遗传率 h_{CE}^2	0	0	0.11	0	0

互作遗传率包括互作直接遗传率[$h_{oe}^2 = (V_{A.E} + C_{A.E.Am.E}) / V_P$]、互作母体遗传率[$h_{me}^2 = (V_{Am.E} + C_{A.E.Am.E}) / V_P$]和互作细胞质遗传率[$h_{ce}^2 = V_{C.E} / V_P$] , 除爆花率的互作直接遗传率较高外, 其他性状的各项互作遗传率均很小。

2.3 亲本各性状遗传效应值的预测

通过对亲本遗传效应值的评价, 可以了解各个组合的潜在育种价值, 也可以为杂交组配方式的合理运用提供一定依据。12 个亲本遗传方差显著的各性状的遗传效应值估算结果列于表 3。由此可以看出, 除爆花率外, 不同自交系各性状的所有遗传效应均存在显著差异。在本研究测试的 5 个性状中, 不同自交系穗粒重的组配效果差异最大, 其次为百粒重和膨化体积。在供试的 12 个爆裂玉米亲本自交系中, N04, N10, M2 和 F1 各性状达到显著的遗传效应最多 而 N01 和 F2 最少

具体各自交系的组配效应及其适宜组配方式分述如下：

N04 穗粒重的直接加性、直接显性效应，百粒重的直接加性效应及膨化体积的直接加性效应均为显著或极显著负值；而穗粒重、百粒重和膨化体积的细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著正值。因此，利用 N04 组配爆裂玉米组合会降低 F₁ 及后代的穗粒重、百粒重和膨化体积，但做母本的降低幅度较小。

N10 穗粒重的直接显性效应为极显著负值；而穗粒重、百粒重和膨化体积的细胞质、母体加性和母体显性效应均为显著或极显著正值。因此，利用 N10 组配爆裂玉米组合会降低 F₁ 的穗粒重，做母本的降低幅度较小。

N14 穗粒重和百粒重的直接加性效应为显著正

值，但穗粒重的直接显性效应为极显著负值，穗粒重的细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著正值。因此，利用 N14 组配爆裂玉米组合会提高后代的穗粒重和百粒重，但 F₁ 的穗粒重较低。用做母本的组配效果较好。

N08 穗粒重的直接显性效应为极显著正值，细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著负值。因此，利用 N08 组配爆裂玉米组合会提高 F₁ 的穗粒重，而且适宜用做父本。

N16 穗粒重和膨化体积的直接加性效应为显著正值，穗粒重的直接显性效应为极显著负值，穗粒重的细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著负值。因此，利用 N16 组配爆裂玉米组合会提高后代的穗粒重和膨化体积，但 F₁ 的穗粒重较低。而且适宜用做父本。

表 3 12 个亲本 5 个性状的遗传效应预测值

Tab. 3 Predicted values of the genetic effects for 5 traits of the 12 parents

性状 Traits	效应 Effects	N04	N10	N14	N08	N16	N09	N05	N01	M2	F2	F1	M1
穗粒重 Kemel weight/ ear	Ai	-0.04 [*]	-0.01	0.04 [*]	0.009	0.05 [*]	-0.09 ^{**}	0.02	0.02	-0.02 [*]	0.05	0.01	0.05
	Di	-0.09 ^{**}	-0.07 ^{**}	-0.13 ^{**}	0.005 ^{**}	-0.013 ^{**}	0.005 ^{**}	-0.01 ^{**}	-0.09 ^{**}	-0.07 ^{**}	-0.07 [*]	-0.01 [*]	-0.13 ^{**}
	Ci	0.015 ^{**}	0.007 [*]	0.006 ^{**}	-0.009 ^{**}	-0.014 ^{**}	0.005 [*]	-0.01 ^{**}	0.004	0.007 [*]	-0.006	-0.01 [*]	0.006
	Ami	0.03 ^{**}	0.01 [*]	0.013 ^{**}	-0.018 ^{**}	-0.03 ^{**}	0.01 [*]	-0.023 ^{**}	0.007	0.014 [*]	-0.01	-0.018	0.01
	Dmi	0.015 ^{**}	0.007 [*]	0.006 ^{**}	-0.009 ^{**}	-0.014 ^{**}	0.005 [*]	-0.01 ^{**}	0.004	0.007 [*]	-0.006	-0.009 [*]	0.006
百粒重 100 kemel weight	Ai	-0.62 [*]	-0.72	0.63 [*]	-0.12	0.04	-0.75	-0.04	0.09	-0.61 ^{**}	0.57	1.61 [*]	0.64 [*]
	Di	-0.14	-0.61	-0.02	0.02	0.01	0.063	0.015	0.108	-0.06	0.21	-0.127	-0.225
	Ci	0.2 ^{**}	0.295 ^{**}	0.009	-0.12	-0.14	-0.03	-0.13	0.05	0.2 [*]	-0.028	-0.37 [*]	0.066
	Ami	0.4 ^{**}	0.59 ^{**}	0.019	-0.24	-0.28	-0.06	-0.27	0.1	0.4 [*]	-0.06	-0.74 [*]	0.13
	Dmi	0.2 ^{**}	0.29 ^{**}	0.009	-0.12	-0.14	-0.028	-0.13	0.05	0.2 [*]	-0.027	-0.37 [*]	0.07
爆花率 Popping rate	Ai	-4.81	-4.14	-3.55	-3.04	0.26	-2.48	0.86	-3.83	-3.83	-3.23	-1.21	-13.4
	Di	-12.76	-10.87	-10.83	-0.98	-1.38	-1.04	-1.43	-10.4	-11.34	-10.79	-1.19	-1.51
	Ci	1.75	1.13	1.01	-1.26	-1.84	-1.35	-1.91	0.96	1.2	0.93	-1.56	0.94
	Ami	3.5	2.26	2.02	-2.52	-3.67	-2.69	-3.83	1.91	2.4	1.85	-3.13	1.89
	Dmi	1.75	1.13	1.01	-1.26	-1.84	-1.35	-1.91	0.96	1.2	0.93	-1.56	0.94
膨化体积 Popping volume	Ai	-20.85 [*]	-71.18	22.11	-7.48	17.24 ^{**}	-16.49	24.61 ^{**}	-0.16	-28.54 ^{**}	22.07	27.55 ^{**}	22.47
	Di	-57.28	-41.98	-62.19	-3.99	-6.22	-2.69	-7.07	-46.74	-55.47	-41.92	-7.38	-58.34
	Ci	9.3 ^{**}	14.55 [*]	3.42	-6.17	-9.37	-4.48	-10.6	3.11	9.92 ^{**}	-1.29	-10.95 [*]	2.59
	Ami	18.6 ^{**}	29.11 [*]	6.85	-12.3	-18.75	-8.95	-21.2	6.22	19.83 ^{**}	-2.59	-21.9 [*]	5.19
	Dmi	9.29 ^{**}	14.55 [*]	3.42	-6.17	-9.37	-4.48	-10.6	3.11	9.92 ^{**}	-1.29	-10.95 [*]	2.59
膨化倍数 Popping fold	Ai	-0.17	-3.16	-1.37 ^{**}	0.67	2.76	3.41 ^{**}	3.99	-1.85	-1.72 ^{**}	-1.17	-0.19	0.16
	Di	-6.08	-4.97	-5.82	-0.55	-0.73	-0.71	-0.85	-5.13	-5.87	-4.55	-0.39	-5.06
	Ci	0.7	1.17	0.71	-0.78	-1.02	-0.99	-1.19	0.51	0.75	0.32	-0.55	0.39
	Ami	1.4	2.33	1.42	-1.57	-2.05	-1.98	-2.38	1.02	1.49	0.34	-1.1	0.77
	Dmi	0.7	1.17	0.71	-0.79	-1.02	-0.99	-1.19	0.51	0.75	0.32	-0.55	0.39

N05 穗粒重的直接显性、细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著负值，膨化体积的直接加性效应为显著正值。因此，利用 N05 组配爆裂玉米组合的 F₁ 穗粒重较低，但后代的膨化体积较大，更适宜用做父本。

N01 和 F2 仅穗粒重的直接显性效应为极显著负值，其他性状的各类效应均不显著，利用 N01 和

F2 组配爆裂玉米组合的 F₁ 穗粒重较低。

M2 穗粒重的直接加性、直接显性效应，百粒重的直接加性效应及膨化体积和膨化倍数的直接加性效应均为显著或极显著负值；而穗粒重、百粒重和膨化体积的细胞质、母体加性和母体显性效应均为极显著正值。因此，利用 M2 组配爆裂玉米组合会降低 F₁ 的穗粒重及后代的百粒重、膨化体积和膨化倍数 更适宜用做母本

F1 穗粒重的直接显性效应为显著负值, 百粒重和膨化体积的直接加性效应为显著或极显著正值, 穗粒重的细胞质和母体显性效应、百粒重和膨化体积的细胞质、母体加性和母体显性效应为显著负值。因此, 利用 F1 组配爆裂玉米组合会降低 F₁ 的穗粒重, 提高后代的百粒重和膨化体积, 而且适宜用做父本。

M1 穗粒重的直接显性效应为极显著负值, 百粒重的直接加性效应为显著正值, 利用其组配爆裂玉米组合会降低 F₁ 的穗粒重, 提高后代的百粒重, 而且不存在正反交差异。

2.4 遗传相关分析

不同性状间各类遗传相关分量的分析结果(表 4)表明, 百粒重和穗粒重与爆花率的直接加性、细胞

质、母体加性和母体显性及膨化体积与穗粒重、膨化倍数与穗粒重的细胞质、母体加性和母体显性遗传相关分量均为显著或极显著负值; 百粒重和穗粒重与爆花率的直接显性, 膨化体积与穗粒重和膨化倍数与穗粒重的直接加性和直接显性, 百粒重与膨化体积和膨化倍数的直接加性、直接显性、细胞质、母体加性和母体显性遗传相关分量均为显著或极显著正值。

百粒重与爆花率和膨化体积、穗粒重与爆花率和膨化体积的直接显性与环境互作效应的遗传相关分量达到显著或极显著水平, 其余性状间的直接加性、细胞质、母体加性和母体显性与环境互作效应的遗传相关分量均不显著。

表 4 各性状间的遗传相关分量

Tab. 4 Genetic covariance for all traits

遗传相关分量 Genetic covariance	百粒重和 爆花率 100KW/ PR	百粒重和 膨化体积 100KW/ PV	百粒重和 膨化倍数 100KW/ PF	爆花率和 穗粒重 PR/ EKW	膨化体积 和穗粒重 PV/ EKW	膨化倍数和 穗粒重 PF/ EKW
直接加性 r_A	-0.3659**	1**	0.0756	-0.5663*	0.9165**	0.0547
直接显性 r_D	1**	1**	1**	0.6207*	0.7614**	0.701**
细胞质 r_C	-0.5059**	0.8611**	0.432*	-0.5485*	-1**	-0.591**
母体加性 r_{Am}	-0.5059**	0.8611**	0.432*	-0.5485*	-1**	-0.591**
母体显性 r_{Dm}	-0.5059**	0.8611**	0.432*	-0.5485*	-1**	-0.591**
直接加性×环境 r_{AE}	0	0	0	0	0	0
直接显性×环境 r_{DE}	0.027147**	0.5519**	-0.0491	0.5658**	0.3983*	0.3295
细胞质×环境 r_{CE}	0	0	0	0	0	0
母体加性×环境 r_{AmE}	0	0	0	0	0	0
母体显性×环境 r_{DmE}	0	0	0	0	0	0
Residual r_e	0.2695**	0.2091	0.0396	-0.0493	-0.0385	-0.101

3 讨论

多种作物的种子性状均存在种子的直接效应和母体效应^[3~5]。本研究结果表明, 3 项膨爆特性指标同时受到直接效应和母体效应 2 种遗传体系所控制, 且以加性效应为主, 非加性效应也起着非常重要的作用; 百粒重和穗粒重由直接效应、母体效应和细胞质效应遗传体系所决定, 与我们以往对膨化特性的研究结果一致^[6]。

百粒重与膨化体积、膨化倍数的影响均为正相关, 穗粒重与膨化体积、膨化倍数的细胞质和母体效应相关表现出极显著负相关, 且以百粒重的直接影响较大。

在供试的 12 个爆裂玉米自交系中, 各自交系的直接加性效应和母体加性效应的显著性不同, N04、N10、N14 和 M2 适合作母本, N08、N16、N05 和 F1 更适宜作父本。要充分利用各自交系有利的加性基因效

应, 组配出优良杂交种或从杂交后代选育出具有较高产量和膨爆特性的自交系, 必须确定其适宜用作父本还是母本在不了解自交系各基因效应作用方向的情况下, 应同时组配正、反交组合, 再根据后代实际表现灵活取舍, 以免漏配优良组合。

参考文献:

- [1] 崔彦宏, 乔文臣. 爆裂玉米的膨爆机理及影响因素[J]. 玉米科学, 1995, 3(4): 43-46.
- [2] 朱 军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [3] 阎新甫, 徐绍英, 李卫芬, 等. 二棱大麦 7 种必需氨基酸含量的种子直接和母体遗传效应分析[J]. 中国农业科学, 1997, 30(2): 34-41.
- [4] Ullrich S E, Eslick R F. Barley Genet[J]. Newsletter, 1978, 8: 108-109.
- [5] 石春海, 朱 军. 稻米营养品质种子效应和母体效应的遗传分析[J]. 遗传学报, 1995, 22(5): 372-379.
- [6] 李玉玲, 江洪勋. 爆裂玉米胚乳数量性状的遗传研究[J]. 生物数学学报, 2002, 17(4): 435-439.