

陆地棉产量组分对皮棉产量的遗传贡献分析

梅拥军, 郭伟锋, 熊仁次

(塔里木大学植物科技学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:采用加性-显性-母性及其与环境互作的遗传模型,对5个陆地棉亲本及其 F_1 代20个组合6个产量组分和皮棉产量的两年资料,利用估算条件方差分量和预测条件遗传效应值的统计方法进行了贡献分析。结果表明,产量组分对皮棉产量表型值的贡献变化范围为-46%~80%;铃数对皮棉产量有很高的显性贡献率($CR_D=96\%$),其次是铃重($CR_D=41\%$);铃数对皮棉产量的母性 \times 环境互作遗传方差贡献率最大($CR_{ME}=98\%$),其次是铃重($CR_{ME}=77\%$)、衣指($CR_{ME}=62\%$)和子指($CR_{ME}=42\%$);铃数对皮棉产量的加性、母性效应贡献因亲本而异;对亲本皮棉产量的母性 \times 环境互作贡献最大的产量组分性状因不同亲本而有所不同,表明各亲本具有其独特的遗传和发育特性,亲本1的铃重对其皮棉产量的母性效应在环境1中有最大的贡献($ME_{i(C \times T)}=5.49$ g),在环境2中,亲本3的铃重有最大的母性 \times 环境互作效应贡献($ME_{i(C \times T)}=0.71$ g),亲本5的铃数具有最大的母性 \times 环境互作效应贡献($ME_{i(C \times T)}=0.51$ g)。多数杂交组合皮棉产量的显性效应主要受铃数和铃重影响,因此铃数和铃重可作为间接选择组合皮棉产量显性效应的指标。

关键词:陆地棉;产量组分性状;皮棉产量;加性-显性-母性模型;贡献分析

中图分类号:S562.035 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2007)02-0114-05

Analysis on Genetic Contribution of Yield Components to Lint Yield in Upland Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)

MEI Yong-jun, GUO Wei-feng, XIONG Ren-ci

(College of Plant Science and technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: The genetic contribution of 6 yield component traits to lint yield were conducted using additive-dominance-maternal genetic model (ADM model), which considered genotype \times environment interaction effects (GE) with estimating conditional and unconditional variance component and genetic effects in F_1 intraspecific (*Gossypium hirsutum* L.) hybrids of (5 \times 5) complete diallel cross for 2 years. Results showed that there were phenotype contribution from yield component traits to lint yield (contribution ratios range -46%~80%). Boll number had very high dominance contribution ratios on lint yield($CR_D=96\%$), and followed by that of boll weight($CR_D=41\%$). Boll number had largest maternal \times environment interaction contribution ratio on lint yield($CR_{ME}=98\%$), and followed by those of boll weight($CR_{ME}=77\%$), lint index($CR_{ME}=62\%$)and kernel index($CR_{ME}=42\%$). Any individual parents could have the different contributions of additive and maternal effects from boll number on lint yield. Any individual parent could have the most contributions of maternal \times environment interaction effects due to yield component traits on lint yield, which could result from the fact that the parent had its own genetic and developmental characterization. In environment 1, parent 1 had largest maternal \times environment interaction effects contribution from boll weight to lint yield ($ME_{i(C \times T)}=5.49$ g). In environment 2, parent 3 had largest maternal \times environment interaction effects contribution from boll weight to lint yield($ME_{i(C \times T)}=0.51$ g). The dominance effects of lint yield were mainly in-

fluenced by boll number and boll weight for many crosses, therefore boll number and boll weight could serve as measurement to select indirectly the crosses having high dominance effects of lint yield.

Key words: upland cotton; yield component traits; lint yield; additive-dominance-maternal model; contribution analysis

许多学者对陆地棉产量和品质性状的遗传、配合力和杂种优势进行了分析^[1-9],陆地棉产量性状存在着杂种优势^[3,6-9]。Marani^[1]认为单株结铃数的增加是 F_1 和 F_2 增产的主要因子, F_2 单株结铃数的增幅在 10%~40%,铃重、衣分的优势因组合而不同,但增幅较小;陈青等^[10]的试验结果表明单株总铃数与单株子棉总产量的各项相关系数均为显著正值。吴吉祥等^[7]的遗传相关分析表明,皮棉产量与单株铃数、衣分和前期收花率加性相关系数值较大;皮棉产量与单株铃数、铃重和前期收花率间存在显著的显性正相关,但与单株铃数、铃重间存在着显性与环境互作相关。陆地棉优质纤维品系的铃重和衣分仍然有改良的潜力^[11]。

相关系数测定的是性状之间的协同变异^[1,10],因此无法度量各农艺性状对产量的实际作用大小。通径分析能揭示自变量和因变量之间的因果关系,将相关系数剖分为直接作用和间接作用,因此常被用来寻找对目标性状间接选择的有效指标^[12]。由于通径系数实质上是多元回归分析中标准化的回归系数,因此会受到其他自变量数目的增减及自变量间相关的影响。

朱军提出的条件和非条件方差分析方法^[13-16]能分析某一个发育阶段的净遗传效应,且可将净效应分解为加性、显性等遗传分量。该方法已用于分析老鼠^[17]、陆地棉^[20]等生物特定时间段内基因表达的净遗传效应。条件方差分析方法还能分析某一性状的表型值对另一性状遗传组分的影响^[18,19],这对于评价亲本和组合性状间的相互作用比用其他分析方法对单一性状的作用能提供更多信息,但该方法在分析常规性状间的遗传影响还没有得到广泛应用。

本文应用条件和非条件方差分析方法^[13-16]对陆地棉 5×5 双列杂交 F_1 6 个产量组分和皮棉产量的两年资料进行遗传贡献分析,对亲本和组合进行评价以期对陆地棉育种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与考查性状

试验在新疆阿拉尔塔里木大学农业试验站进行。选用(1)中棉所 35、(2)贝尔斯诺、(3)吉尔吉

斯、(4)ND9804、(5)98106 为亲本,按完全双列杂交遗传设计配制 20 个杂交组合,于 2004-2005 年的 4 月 19 日和 4 月 23 日分别种植 5 个亲本及其 20 个 F_1 组合。田间亲本及其 F_1 随机区组设计,两年均为 2 次重复,每个小区 4 行,行长 5 m, (0.60+0.30+0.55+0.30)m 地膜覆盖种植,株距 12.5 cm,田间管理同大田。每小个区收获 20 株子棉。测定性状有:衣分、铃重、单株铃数、单株皮棉产量、单铃子粒数、子指和衣指。

1.2 遗传模型与统计分析方法

以小区平均值为单位采用包括基因型×环境互作的加性-显性-母性的遗传模型分析。表型值可以分解为:

$$y = \mu + E + A + D + M + AE + DE + ME + \epsilon$$

式中, μ = 群体均值, E = 环境效应, $E \sim N(0, V_E)$; A = 加性效应, $A \sim N(0, V_A)$; D = 显性效应, $D \sim N(0, V_D)$; M = 母性效应, $M \sim N(0, V_M)$; AE = 加性×环境互作效应, $AE \sim N(0, V_{AE})$; DE = 显性×环境互作效应, $DE \sim N(0, V_{DE})$; ME = 母性×环境互作效应, $ME \sim N(0, V_{ME})$; ϵ = 剩余, $\epsilon \sim N(0, V_{\epsilon}^2)$ 。

运用混合线性模型估算条件方差分量和预测条件遗传效应值^[13-16],估算产量组分性状对皮棉产量的各项遗传效应分量贡献率($CR_{A(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的加性贡献率, $CR_{D(C \rightarrow T)}$ = 陆地棉产量组分性状对皮棉产量的显性贡献率, $CR_{M(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的母性效应贡献率, $CR_{AE(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的加性×环境互作贡献率, $CR_{DE(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的显性×环境互作贡献率, $CR_{ME(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的母性×环境互作贡献率, $CR_{P(C \rightarrow T)}$ = 产量组分性状对皮棉产量的表现型贡献率),预测皮棉产量的遗传效应值及产量组分性状对皮棉产量贡献的遗传效应值(A_i = 第 i 个亲本皮棉产量的加性效应, $A_{i(C \rightarrow T)}$ = 第 i 个亲本的产量组分性状对皮棉产量贡献的加性效应值; D_{ij} = 组合 $i \times j$ 皮棉产量的显性效应, $D_{ij(C \rightarrow T)}$ = 组合 $i \times j$ 的产量组分性状对皮棉产量贡献的显性效应值, M_i = 第 i 个亲本皮棉产量的母性效应, $M_{i(C \rightarrow T)}$ = 第 i 个亲本的产量组分性状对皮棉产

量贡献的母性效应值)。运用 QGA Station 软件分析遗传群体的各项遗传参数。

2 结果与分析

2.1 产量组分对皮棉产量的贡献率分析

6个产量组分对皮棉产量的表型贡献率在-46%~80%之间(表1),表明这6个产量组分分别对皮棉产量表现型有不同程度的贡献或抑制作用。由于皮棉产量的加性方差、母性方差、加性×环境交互方差、显性×环境交互方差为0,所以这些组分性状对皮棉产量组分方差的贡献率不能进

行分析。铃数和铃重对皮棉产量有极显著的显性贡献率,贡献率分别为96%和41%,说明对杂种铃数显性效应的选择可选择出皮棉产量显性效应高的组合,对铃重的选择也对皮棉产量显性效应的选择起一定的效果。对皮棉产量母性×环境交互有较大贡献的有铃数($CR_{ME(C \rightarrow T)} = 98\%$)、铃重($CR_{ME(C \rightarrow T)} = 77\%$)、衣指($CR_{ME(C \rightarrow T)} = 62\%$)和子指($CR_{ME(C \rightarrow T)} = 42\%$),说明在某些环境中,皮棉产量母性效应的主选性状仍然是铃数,对铃重、衣指和子指的选择也有利于皮棉产量母性×环境交互效应的提高。

表1 产量组分性状对皮棉产量各项遗传方差分量的贡献率

Table 1 Estimated contribution ratios of variance components on yield component traits to lint yield

参数	铃重	铃数	衣分	子粒数	子指	衣指
加性贡献率 $CR_{A(C \rightarrow T)}$	—	—	—	—	—	—
显性贡献率 $CR_{D(C \rightarrow T)}$	0.41**	0.96**	0.00	0.13**	0.04**	0.11**
母性贡献率 $CR_{M(C \rightarrow T)}$	—	—	—	—	—	—
加性×环境交互贡献率 $CR_{AE(C \rightarrow T)}$	—	—	—	—	—	—
显性×环境交互贡献率 $CR_{DE(C \rightarrow T)}$	—	—	—	—	—	—
母性×环境交互贡献率 $CR_{ME(C \rightarrow T)}$	0.77**	0.98**	0.15**	0.03**	0.42**	0.62**
表型贡献率 $CR_P(C \rightarrow T)$	0.08**	0.80**	-0.43	-0.46	-0.28	-0.15

+, * 和 ** 分别表示达到10%、5%和1%显著水平,下同。

2.2 亲本产量组分对皮棉产量加性效应的贡献分析

虽然供试亲本皮棉产量的加性效应为0,但存在着铃数对皮棉产量的加性效应贡献。亲本1、2、3、4、5的铃数对皮棉产量的加性贡献分别为-0.98 g**, -0.32 g**, 1.03 g**, -0.21 g**, 0.48 g**,说明亲本1、2、4的铃数对皮棉产量有负向的加性贡献,亲本3、5的铃数对皮棉产量有正向显著的加性贡献,即在亲本3、4的后代中可以把铃数作为选择皮棉产量的主选性状,而在亲本1、2、4的后代中就不能把铃数作为皮棉产量的主选性状。

2.3 各组合产量组分对皮棉产量显性效应贡献的遗传分析

各组合产量组分对皮棉产量的显性效应贡献列于表2。组合1×2,1×3,1×4,2×3,2×4,2×5,3×5有正向显著或极显著的显性效应,但各组合显性效应表达的遗传机理不同,组合1×2主要归因于铃重,组合1×3主要归因于衣指和铃重,1×4,2×3主要归因于衣指,组合2×4,2×5,3×5主要归因于衣分和衣指。组合1×5,3×4,4×5有负向显著的显性效应,而组合1×5的负向显性效应主要归因于衣指,3×4主要归因于衣分和衣指,组合4×5归因于铃重和衣指。

表2 杂交组合产量组分性状对皮棉产量贡献的显性效应值

Table 2 Contributed dominant effects of yield component traits to lint yield for F_1 crosses

组合 $i \times j$	D_i 皮棉产量	$D_{ij(C \rightarrow T)}$					
		铃重	铃数	衣分	子粒数	子指	衣指
1×2	0.29**	2.23**	0.15**	0.44**	0.44**	0.09**	0.29**
1×3	1.77**	1.26 ⁺	0.01**	-0.19**	0.04**	-0.08**	1.77**
1×4	1.46**	2.82	-0.08**	0.13**	-0.36**	0.31**	1.46**
1×5	-0.91**	2.85**	0.07**	-0.37**	0.43**	0.22**	-0.91**
2×3	0.76**	0.19*	-0.19**	-0.02**	-0.85**	0.23*	0.76**
2×4	0.90*	1.09	0.05**	1.16**	0.45**	-0.02**	0.90*
2×5	0.93**	0.18**	-0.01**	0.88**	0.23**	-0.07**	0.93**
3×4	-0.27**	-0.51	0.07**	-0.26**	0.15**	0.02**	-0.27**
3×5	1.07**	-0.86*	0.05**	1.13**	-0.21**	0.14**	1.07**
4×5	-0.11 ⁺	-0.16**	0.19**	-0.11	0.12**	-0.11	-0.11 ⁺

+, * 和 ** 分别表示10%、5%和1%显著水平。 D_{ij} 为组合 $i \times j$ 的显性效应, $D_{ij(C \rightarrow T)}$ 为组合产量组分性状对皮棉产量的显性效应贡献。

2.4 产量组分对皮棉产量的母性效应贡献的遗传分析

虽然皮棉产量的母性效应为 0,但存在着铃数对皮棉产量的母性效应贡献,5 个亲本的铃数对皮棉产量母性的贡献分别为 0.00 g、0.44 g^{**}、-0.26 g^{**}、-0.66 g^{**} 和 0.49 g^{**},说明亲本 3,4 的铃数对皮棉产量有负向的母性贡献,亲本 2,5 的铃数对皮棉产量有正向的母性效应贡献,即在亲本 2,5 的后代中可以把铃数作为选择皮棉产量的主选性状,而在亲本 1,3,4 的后代中就不能把铃数作为主选皮棉产量母性效应的主选性状。

2.5 产量组分对皮棉产量的母性×环境互作效应贡献的遗传分析

参试亲本皮棉产量的母性×环境互作效应及组分性状对皮棉产量贡献的母性×环境互作效应值列于表 3。在 2004 年,只有亲本 1 的皮棉产量具有正向极显著的母性×环境互作效应($ME_1 = 3.94 \text{ g}^{**}$),铃重、单铃子粒数对其皮棉产量母性×环境互作效应有较大的正向贡献($ME_{1(C \rightarrow T)} = 5.49 \text{ g}$ 、 $ME_{1(C \rightarrow T)} = 2.55 \text{ g}$)。亲本 3,4,5 在 2005 年具有显著的母性×环境互作效应(ME_i 分别为 1.01 g^* 、 1.59 g^{**} 、 1.70 g^{**}),但亲本 3 皮棉产量的母性×环境互作效应主要归因于铃重($ME_{i(C \rightarrow T)}$)

$= 0.71 \text{ g}^{**}$),亲本 5 主要归因于子指($ME_{i(C \rightarrow T)} = 1.01 \text{ g}^{**}$),而亲本 4 的各产量组分对皮棉产量贡献的母性×环境互作效应较小或不显著,说明本试验中所测定的性状不是亲本 4 后代皮棉产量母性×环境互作效应的主选性状;亲本 2,3,4,5 在 2004 年具有负向极显著的母性×环境互作效应(ME_i 分别为 -0.15 g^{**} 、 -0.61 g^{**} 、 -1.36 g^{**} 、 -1.81 g^{**}),亲本 2 的母性×环境互作效应主要归因于单铃子粒数($ME_{2(C \rightarrow T)} = -3.68 \text{ g}^{**}$)、子指($ME_{2(C \rightarrow T)} = -3.60 \text{ g}^{**}$)和铃重($ME_{2(C \rightarrow T)} = -2.90 \text{ g}^{**}$),而来自亲本 3,4 的产量组分对其皮棉产量的母性×环境互作贡献值与其母性×环境互作效应值相差较大,说明本试验中所检测的组分性状并非这两个亲本皮棉产量母性×环境互作效应低的主要原因,但在亲本 3 的后代中对铃数和单铃子粒数进行选择、在亲本 4 的后代中对铃数和子指进行选择对这两个亲本后代皮棉产量的选择是有利的。亲本 1 在 2005 年具有负向极显著的母性×环境互作效应($ME_1 = -4.17 \text{ g}^{**}$),铃重、子指、单铃子粒数对其有较大负向的贡献。在 2005 年,亲本 2 的母性×环境互作效应不显著,但单铃子粒数、子指和铃重对其有较大正向极显著的贡献($ME_{2(C \rightarrow T)}$ 分别为 3.45 g^{**} 、 3.27 g^{**} 和 2.17 g^{**})。

表 3 亲本产量组分性状对皮棉产量母性×环境互作效应的贡献值

Table 3 Contributed maternal×environment interaction effects of yield component traits of parents to lint yield g

亲本	M_E 皮棉产量	$ME_{i(C \rightarrow T)}$				
		铃重	铃数	衣分	子粒数	子指
ME1 in 2004	3.94**	5.49**	0.94**	0.20**	2.55 ⁺	3.82
ME2 in 2004	-0.15**	-2.90**	-1.02	0.10**	-3.68**	-3.60**
ME3 in 2004	-0.61**	-0.18**	0.61**	-0.34	0.51**	0.34**
ME4 in 2004	-1.36**	-2.31	0.73**	-0.12**	0.23**	0.62**
ME5 in 2004	-1.81**	-0.10	-1.26**	0.16*	0.40**	-1.18**
ME1 in 2005	-4.17**	-5.56**	-0.47**	-0.04**	-2.05**	-4.15 ⁺
ME2 in 2005	-0.14	2.17**	0.18	-0.22*	3.45**	3.27**
ME3 in 2005	1.01*	0.71**	-0.20**	0.40**	-0.60**	0.07**
ME4 in 2005	1.59**	2.73	-0.02**	0.08**	-0.04**	-0.20**
ME5 in 2005	1.70**	-0.04**	0.51**	-0.21	-0.76**	1.01**

+、* 和 ** 分别表示 10%、5% 和 1% 显著水平。 ME_i 为皮棉产量的母性效应, $ME_{i(C \rightarrow T)}$ 为产量组分对皮棉产量贡献的母性×环境互作效应。

3 讨论

棉花的皮棉产量属于复杂的数量性状,易受到其他许多性状及环境的影响。由于皮棉产量是产量组分性状综合作用的结果,因此育种工作者希望能借助与产量有内在联系且易于观测的性状来进行间接选择。在统计分析中,常利用相关、回归、通径等系数来研究产量与其它性状之间的关

系。从遗传和相关分析的结果(表略)来看,皮棉产量与铃重、铃数存在着极显著的显性、母性×环境互作正相关,与子指间为显著的显性负相关(-0.50^+),皮棉产量与其他产量组分间遗传组分的相关不显著。因此,从相关分析的结果来看,通过选择铃数和铃重来改良皮棉产量是可行的。本试验中皮棉产量的加性方差为 0,皮棉产量似乎没有改良的潜力,皮棉产量与各产量组分间的加性

相关也无法分析,但通过贡献分析估算出了铃数对皮棉产量贡献的加性效应,各个亲本铃数对皮棉产量的加性贡献有显著差异,说明通过铃数的选择仍可以提高杂种后代皮棉产量的加性效应。

相关分析和通径分析无法度量各组合或亲本相关性状对产量的作用大小^[8,12],条件分析^[13, 19]是在给定某一自变量的前提下进行目标性状的条件方差分析,从而可以在排除其他自变量影响的情况下,估算该自变量对目标性状的净遗传贡献。

本研究中,各产量组分性状对皮棉产量表现型方差有显著贡献的只有铃重($CR_p = 8\%$)和铃数($CR_p = 80\%$),而其他性状对皮棉产量的贡献率为负,除衣分外其他5个产量组分性状对皮棉产量的显性贡献均有极显著的正值,其中铃数的显性贡献最大,其次是铃重等,这也符合在陆地棉杂种优势利用中皮棉产量表现优势的组别,多数产量组分也往往表现优势^[1]的结论。在杂交育种中,育种家希望通过选择表型值而达到选择基因型值甚至遗传组分的目的,贡献分析能分析非目标性状对目标性状遗传组分贡献的大小;贡献分析还能计算亲本和组合的主选性状,而相关分析、通径分析分析的是供试研究群体的一般趋势,因此贡献分析更符合育种实践。本研究结果还表明,对陆地棉皮棉产量加性效应的贡献因不同亲本的铃数而有较大差异,说明各亲本有其独特的遗传和发育特性,因此对产量的形成起促进或抑制作用的亲本应有所不同。

在产量组分性状对杂交组合皮棉产量显性效应的贡献分析中,多数组合的铃数对皮棉产量显性效应的影响最大,其次是铃重,这与条件方差分析的结果吻合,因此铃数可作为组合皮棉产量显性效应的间接选择指标,铃重也可作为一个辅助指标。

致谢:

承蒙浙江大学朱军教授提供分析软件及指导,特此感谢!

参考文献:

- [1] MARANI A. Heterosis and inheritance of quantitative characters in interspecific crosses of cotton[J]. *Crop Sci*, 1968, 8: 299-303.
- [2] MEREDITH W R, Bridge R R. Heterosis and gene action in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Crop Sci*, 1972, 12: 304-310.
- [3] 王学德, 潘家驹. 陆地棉杂种优势及自交衰退的遗传分析[J]. *作物学报*, 1991, 17(1): 18-23.

- [4] MCCARTY J C, Jenkins J N, Zhu J. Introgression of day-neutral genes in primitive cotton accessions: II. predicted genetic effects[J]. *Crop Sci*, 1998, 38: 1428-1431.
- [5] MILLER P A, Marani A. Heterosis and combing ability in diallel crosses on Upland Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Crop Sci*, 1963, 3: 441-444.
- [6] GALANOPOULOU S S, Roupakias D. Performance of cotton F₁ hybrids and its relation to the mean yield of advanced bulk generations[J]. *Europ J of Agron*, 1999, 1: 53-62.
- [7] 吴吉祥, 朱 军, 许馥华. 陆地棉 F₂ 产量性状的遗传分析和预测 [J]. *北京农业大学学报*, 1993, 19(5): 95-99.
- [8] 孙济中, 刘金兰, 张金发. 棉花杂种优势的研究和利用[J]. *棉花学报*, 2004, 6(3): 135-139.
- [9] 朱乾浩, 俞碧霞, 许馥华. 陆地棉品种间杂种优势和利用的研究进展[J]. *棉花学报*, 2005, 7(1): 8-11.
- [10] 陈 青, 朱 军, 吴吉祥. 陆地棉不同铃期和铃位子棉产量杂种优势的遗传研究[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 97-99.
- [11] YUAN Y L, Zhang T Z, Guo W Z, 等. Heterosis and gene action of boll weight and lint percentage in high quality fiber property varieties in upland cotton (in English) [J]. *作物学报*, 2002(2): 196~202.
- [12] SARA WGI A K, Rastogi N K, Soni D K. Correlation and path analysis in rice accessions from Madhya Pradesh [J]. *Field Crops Research*, 1997, 52: 161-167.
- [13] ZHU J. Analysis of conditional genetic effects and variance components in developmental [J]. *Genetics*, 2005, 141: 1633-1639.
- [14] ZHU J. Mixed model approaches for estimating genetic variances and covariances (in English) [J]. *J of Biomathematics (生物数学学报)*, 1992, 1: 1-11.
- [15] ZHU J, Weir B S. Analysis of cytoplasm and maternal effects: I. A Genetic models for diploid plant seeds and animals [J]. *Theor Appl Genet*, 2004, 89(3): 153-159.
- [16] 朱 军. 遗传模型分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 88-97, 163-201.
- [17] ATCHEY W R, Zhu J. Developmental quantitative genetics, condition epigenetic variability and growth in mice [J]. *Genetics*, 1997, 147: 765-776.
- [18] 叶子弘, 朱 军. 陆地棉开花成铃性状的遗传研究 III. 不同发育阶段的遗传规律 [J]. *遗传学报*, 2000, 27(9): 800-809.
- [19] 梅拥军, 朱 军, 张利莉, 等. 陆地棉产量组分对主要纤维品质性状的贡献分析 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 848-854. ●