

## 海岛棉单株成铃性状的发育遗传研究

郭伟锋,曹新川,胡守林,梅拥军

(塔里木大学棉花研究所,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:** 采用包括基因型与环境互作的加性-显性-母体遗传模型,分析了两年的海岛棉7个亲本及其21个 $F_1$ 组合不同发育期的单株成铃数资料。遗传方差分析表明,成铃前期遗传主效应与遗传 $\times$ 环境互作效应所占比例相当;成铃中期加性效应和显性效应的影响降低,显性 $\times$ 环境互作效应及母体 $\times$ 环境互作效应增加;成铃后期遗传 $\times$ 环境互作效应在8月2日上升至最大,之后逐渐下降但仍然起重要作用。控制单株成铃数的基因在成铃前期到7月17日表达比较活跃。同一遗传效应的非条件遗传相关多为显著的正值,而条件遗传相关则检测到显著负值与正值。两种分析方法的结合能充分阐明海岛棉成铃发育中的基因活动特点。结果表明:海岛棉单株成铃性状的发育遗传特点与陆地棉存在差异。

**关键词:** 海岛棉;加-显-母体遗传模型;单株铃数;条件遗传相关

**中图分类号:** S562.032 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-7807(2010)01-0083-06

## Genetic Analysis for Developmental Behavior of Boll Number Per Plant in Island Cotton

GUO Wei-feng, CAO Xin-chuan, HU Shou-lin, MEI Yong-jun

(Research Institute of Cotton, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

**Abstract:** An additive-dominant-maternal model with genotype $\times$ environment interaction was applied to analyze developmental genetics for the boll number per plant at different stages in two years. The experimental data were obtained from seven island cotton varieties and their 21  $F_1$  crosses. It was showed that genetic main and  $G\times E$  effects were predominant at the early boll stage. Additive and dominant effects reduced at the middle stage while  $D\times E$  and  $M\times E$  effects increased continually. At the late boll stage  $G\times E$  effects increased to maximum at August 2, it reduced gradually since then but played a more important role than other effects. Gene expression was very active during prior stage of bolling to July 17. Significant unconditional positive correlation was detected for the same genetic effect while conditional correlation was positive or negative. The combination of two analytic methods can explain clearly the gene expression feature for developmental behavior of boll number per plant. The results showed that the genetic developmental features of boll number per plant are different from upland cotton in island cotton.

**Key words:** island cotton; ADM genetic model; boll number per plant; conditional genetic correlation

提高海岛棉产量是解决新疆优质棉花播种面积及增加棉农收益的有效途径之一。棉花产量的主要构成因素是单株成铃数<sup>[1-2]</sup>。棉花在某一时间段的成铃数与棉花在该时间段的遗传有关,也与它在以前的成铃数表现有关,同时还受到环境效应的影响。有关陆地棉经济性状的发育遗传研究较多<sup>[3-7]</sup>。陈青等<sup>[3]</sup>研究认为,单株成铃数在成铃前期以  $G\times E$  互作效应为主,成铃中期加性效应和显性效应有所增加,而  $G\times E$  互作效应逐渐减

小,成铃后期加性效应仍继续增加,而显性效应则减小, $D\times E$  互作效应明显上升。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。许乃银等<sup>[4]</sup>研究认为,陆地棉  $F_2$  单株结铃数在结铃早中期具有较大的显性遗传效应和较大的杂种优势利用潜力,而在中后期加性遗传效应较强,进行遗传选择效果较好。叶子弘等<sup>[5]</sup>认为陆地棉开花成铃早期主要受显性效应控制,至中后期加性效应作用逐渐增强,基因型 $\times$ 环境互作效应相

收稿日期:2008-10-31 作者简介:郭伟锋(1975-),男,硕士,讲师,Email:gwzfky@163.com.

基金项目:塔里木大学校长基金重点资助项目(TDZKZD2007001)

对较小。为加快海岛棉育种进程,选育适合生产需要的海岛棉品种或杂交种,研究海岛棉不同时期成铃数的遗传机制十分必要。但是,迄今对海岛棉成铃动态规律的研究很少。本文采用包括基因型×环境互作的加-显-母体遗传模型,分析海岛棉7个亲本及其21个F<sub>1</sub>组合不同成铃期单株成铃数的发育遗传特点,为新疆海岛棉遗传育种、杂种优势利用及栽培管理提供有价值的信息。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料和田间实验

试验选用新疆自育的7个海岛棉品种(系): (1)新海21、(2)新海25、(3)新海15、(4)IZ18、(5)276、(6)99-111、(7)IZ179。在塔里木大学农业实验站中进行。2005年配制双列杂交组合21个,2006和2007年种植亲本和F<sub>1</sub>。采用完全随机区组设计,两次重复。亲本和F<sub>1</sub>每小区为4行,行长5.0 m(0.6 m+0.3 m宽窄行)地膜覆盖种植,株距0.13 m,田间管理同一般大田。在棉花成铃期发育阶段,每小区选择并标记10株生长正常的植株。数据调查从6月24日开始,8月10日止,逐日挂牌标记各个小区内的成铃情况,记载每一小区每天的成铃数。待标记铃吐絮成熟时,按小区内单株收获,室内考种,记录每个小区每日的实际结铃总数(生长过程中脱落棉铃除外),统计每天小区内平均单株成铃数,进而统计相隔8 d的7月1日、7月9日、7月17日、7月25日、8月2日、8月10日累计单株成铃情况。

### 1.2 统计分析

海岛棉第t时期的单株成铃数的表现型值y(t),采用朱军<sup>[8,9]</sup>提出的包括基因型×环境互作的

加-显-母体遗传模型分析:  $y(t)=\mu(t)+A(t)+D(t)+M(t)+AE(t)+DE(t)+ME(t)+\varepsilon(t)$ 。其中, $\mu(t)$ 是第t时期的群体均值,A(t)是第t时期的加性效应,D(t)是第t时期的显性效应,M(t)是第t时期的母体效应,AE(t)是第t时期的加性×环境互作效应,DE(t)是第t时期的显性×环境互作效应,ME(t)是第t时期的母体×环境互作效应, $\varepsilon(t)$ 是第t时期的随机机误。

给定t-1时期的单株平均成铃数,第t时期的条件表现型值y(t|t-1)采用以下条件遗传模型分析:  $y(t|t-1)=\mu(t|t-1)+A(t|t-1)+D(t|t-1)+M(t|t-1)+AE(t|t-1)+DE(t|t-1)+ME(t|t-1)+\varepsilon(t|t-1)$ 。运用MINQUE(1)法估算方差分量,用Jackknife抽样方法计算各遗传参数的估计值及其标准误,t测验法对遗传参数做统计检验。对不同时期的成铃性状,同时采用朱军提出的条件遗传分析方法估算条件变量的遗传参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 海岛棉亲本和F<sub>1</sub>不同时期单株成铃数平均表现

由表1可知,不同亲本在不同时期的累积单株成铃数存在差异,如2006年7月1日成铃最多的品种是276,最少的品种是IZ18,且相差较大,其它成铃时期也有相似特点,但后期品种间相差不大。相同品种同一时期的年份间成铃情况不同,如新海25在两年中的7月17日成铃数分别为8.45个和7.51个,说明可能存在着基因型与环境互作的遗传关系。从表1还可看出,各个品种成铃特点表现相似,7月25日前成铃速度快,以后成铃慢,这可能与海岛棉成铃前期和中期适

表1 海岛棉亲本和F<sub>1</sub>组合不同时期单株成铃表现

Table 1 Average phenotypic values for boll number per plant of seven parents and F<sub>1</sub> of island cotton in two years

亲本 及 F <sub>1</sub>	07-01		07-09		07-17		07-25		08-02		08-10	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
新海 21	1.67	1.85	4.62	3.91	6.95	6.01	9.52	8.87	11.00	10.20	11.29	12.10
新海 25	1.91	2.43	5.82	5.02	8.45	7.51	11.73	9.84	12.73	11.34	12.82	13.04
新海 15	0.50	0.62	2.95	2.02	5.36	6.12	8.36	9.32	10.55	10.76	11.27	11.15
IZ18	0.04	0.57	1.27	2.52	5.07	3.74	6.65	7.12	10.46	9.84	12.62	12.21
276	2.13	1.98	5.07	4.23	8.00	7.13	10.40	9.45	12.20	11.42	13.20	12.87
99-111	0.56	0.11	3.44	4.65	5.88	7.01	8.38	8.94	10.56	11.20	11.25	12.54
IZ179	0.10	0.60	1.55	2.92	3.53	4.24	7.09	7.71	11.18	10.24	13.64	12.80
F <sub>1</sub>	1.01	1.47	4.70	4.31	8.96	7.71	10.23	9.29	12.84	12.13	13.04	12.95

宜的光温条件有关。 $F_1$ 的平均成铃数与亲本相比在不同时期表现不同,年份间的表现也不一致。7月1日、7月9日、7月25日和8月10日介于亲本之间,7月17日、8月2日成铃数稍高于优势亲本,表明 $F_1$ 的单株成铃数在一定时期表现为一定的杂种优势,但是杂种优势不强。

## 2.2 遗传方差分析

单株成铃数在某一时刻的非条件遗传方差分析表明(表2),显性 $\times$ 环境互作方差和母体 $\times$ 环境互作方差在各时期都是显著的,同时检测到了不同时期显著的加性方差、显性方差和母体方差。其中,加性方差在不同发育时期与表现型方差的比例分别为:34%、11%、9%、4%、0%和0%。显性方差在7月1日最大(占总变异的15%),之后逐渐下降,与加性方差的变化趋势相同。母体方差在7月1日不存在,之后5个时期的比例分别为4.6%、3.4%、4.3%、4.5%和4.5%,变化趋势存在波动。加性 $\times$ 环境互作方差仅在7月9日检测到且占总变异的4.1%。显性 $\times$ 环境互作方差在7

月25日和8月2日占总变异的31%。母体 $\times$ 环境互作方差在7月17日至8月10日的4个时期中占总变异的30%,其它两个时期也约为20%。上述分析表明,海岛棉单株成铃数的累积遗传效应在不同时期基因表达方式存在差别。7月1日遗传主效应占48%,遗传 $\times$ 环境互作效应占28%;7月9日为30%和30%;7月17日为24%和43%;7月25日为10%和67%;8月2日为6%和69%;8月10日为5%和47%。因此,新疆海岛棉在6月上旬至7月初应该改善栽培管理措施,使单株成铃数遗传主效应及遗传 $\times$ 环境互作效应都能顺利表达,在成铃后期的7月上旬至8月初遗传 $\times$ 环境互作效应比例达到最大,成铃后期的管理变得尤为重要。从普通与互作遗传率的表现可以看出:在对新疆海岛棉进行系谱选择时单株成铃数的选择适宜在早代进行,并且注意对单株中下部成铃稳定性的选择,这样选出成铃数多而且稳定的单株机会大,同时单株成铃数也存在杂种优势可供利用。

表2 单株成铃数不同时期的非条件和条件方差分析

Table 2 Unconditional and conditional variance analysis for boll number per plant at different stages

参数	07-01	07-09	07-17	07-25	08-02	08-10	07-09	07-17	07-25	08-02	08-10
							07-01	07-09	07-17	07-25	08-02
$V_A$	0.30**	1.05**	1.62**	0.77**	—	—	—	—	—	—	—
$V_D$	0.13**	1.39**	1.89**	0.40**	0.32**	—	0.05**	—	—	—	—
$V_M$	—	0.43**	0.58**	0.91**	1.20**	1.32**	—	—	—	—	—
$V_{AE}$	—	0.39**	—	—	—	—	—	4.79**	12.56**	6.37**	1.33**
$V_{DE}$	0.08**	0.44**	1.91**	6.76**	8.36**	4.61**	1.33**	—	—	2.27**	3.71**
$V_{ME}$	0.17**	2.02**	5.33**	7.52**	10.29**	9.19**	1.17**	29.89**	71.05**	22.36**	9.74**
$V_e$	0.21**	3.71**	5.68**	4.99**	6.77**	14.08**	0.69**	1.82*	2.64**	5.03**	3.52**
$V_P$	0.88**	9.43**	17.01**	21.34**	26.94**	29.20*	3.25**	36.50*	86.26*	36.02*	18.30*
$H_N^{2\%}$	0.34**	0.16**	0.13*	0.08**	0.04*	0.05*	—	—	—	—	—
$H_B^{2\%}$	0.48**	0.30**	0.24*	0.10**	0.06*	0.05*	—	—	—	—	—
$H_{NE}^{2\%}$	0.19**	0.26**	0.31*	0.35**	0.38**	0.31**	0.36**	0.95**	0.97**	0.80**	0.61**
$H_{BE}^{2\%}$	0.28**	—	0.43*	0.67**	0.69**	0.47**	0.77**	0.95**	0.97**	0.86**	0.81**

注: +, \*, \*\* 分别表示达到 0.1, 0.05, 0.01 显著水平, — 表示未达到显著水平; 下同。

条件遗传方差分析能够揭示性状在某一时间段的净遗传效应。条件加性方差在各时期均没达到显著水平,导致非条件加性方差比例逐渐降低,条件母体方差与之相似(表2)。条件显性方差则只在7月1日至7月9日被检测到,这是导致非条件显性方差比例在单株成铃后期下降的遗传原因。条件显性 $\times$ 环境互作方差只在7月9日至17日和7月17日至25日没检测到。这说明条件遗传方差虽没达到显著水平,但微小遗传效

应累加的结果使得检测到显著的非条件遗传方差。条件母体 $\times$ 环境互作方差在5个时期都被检测到,表明海岛棉成铃过程中基因的母体 $\times$ 环境互作净效应活跃表达。条件加性 $\times$ 环境互作方差在7月1日至9日不显著,其它时期都检测到,但非条件加性 $\times$ 环境互作方差5个时期没达到显著水平,这表明新基因表达效应的累加未达到一定水平,所以无法检测到显著非条件遗传效应。即在非条件分析方法尚无法检测到显著水平的累

积效应时,新基因已经开始表达。结合非条件和条件方差的结果,海岛棉单株成铃数在中前期时,加性效应、显性效应及母体效应的基因表达比较活跃,到后期时逐渐被遗传×环境互作效应的基因表达所代替。

### 2.3 非条件相关分析

基因连锁及一因多效等原因导致不同性状之间基因效应的相关性。如果不同发育时期控制某一性状的基因效应发生改变,那么基因效应之间的相关也就相应地变化。从表3可以看出,整个海岛棉在前、中和后期成铃过程中的基因型相关达极显著正值,8月2日与8月10日相关不显著,说明成铃性状不同时期的相互作用是遗传因素综合作用的结果。表现型的各个时期间相关特点与基因型基本一致,即海岛棉的前后期成铃表现为协同变化趋势。成铃性状在不同时期之间的母体×环境互作组分相关都达到显著正值;显性×环境互作组分相关多数达到显著正值,7月1日与7月9日为负向显著;加性×环境互作组分相关没有达到显著水平,这与遗传×环境互作非条件方差比例变化特点一致。母体效应组分相关

显著正值与负向显著都存在;加性效应和显性效应组分相关为多数显著正值,而且各时期间相关表现相似,这与遗传主效应非条件方差比例变化特点不同。所以,成铃性状非条件相关分析可以更进一步阐明非条件方差分析的结果,控制成铃性状早期表现的遗传效应并不总是以相同的表达状态调节后期的表现,即基因表达活跃程度各时期不一致。不同时期之间的加性效应和显性效应存在显著正相关,在单株成铃选择育种和杂种优势利用时对亲本植株前期成铃进行筛选将会对后期成铃期表现产生影响。母体效应在大部分时期存在正或负相关,母体×环境互作效应在大部分时期存在正相关,对亲本植株在一定环境中进行选择将会对单株成铃的表现产生影响。7月9日与8月10日、7月17日与8月10日的母体效应及7月1日与7月9日的显性×环境互作效应的非条件相关为显著负值,说明该遗传效应在相应时期的累积基因表达量的方向相反,这与方差分析结果一致,但不影响综合的基因型显著正相关。

表3 单株成铃数不同时期之间的非条件相关系数

Table 3 Unconditional correlation coefficients of boll number per plant at different stages

r	07-01	07-01	07-01	07-01	07-01	07-09	07-09	07-09	07-09	07-17	07-17	07-17	07-25	07-25	08-02
	07-09	07-17	07-25	08-02	08-10	07-17	07-25	08-02	08-10	07-25	08-02	08-10	08-02	08-10	08-10
r <sub>A</sub>	1.00**	1.00**	1.00**	—	—	0.99**	1.00**	—	—	1.00**	—	—	—	—	—
r <sub>D</sub>	1.00**	0.89**	1.00**	1.00**	—	1.00**	1.00**	1.00**	—	1.00**	1.00**	—	0.68**	—	—
r <sub>M</sub>	—	—	—	—	—	0.97**	0.88**	0.57**	-0.58**	1.00**	0.49**	-0.80**	0.62**	0.52**	0.96**
r <sub>AE</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r <sub>DE</sub>	-0.69**	0.46**	0.75**	1.00**	—	0.97**	1.00**	1.00*	—	1.00**	1.00**	—	1.00**	1.00**	1.00**
r <sub>ME</sub>	0.76**	0.63**	0.56**	0.53**	—	1.00**	0.95**	0.98**	1.00**	0.96**	0.98**	1.00**	1.00**	1.00**	1.00**
r <sub>e</sub>	0.90**	0.86**	0.73**	0.62*	-0.74*	0.98**	0.82**	0.63**	-0.59*	0.91**	0.59**	—	0.68**	0.61**	0.89**
r <sub>P</sub>	0.80**	0.72**	0.62**	0.43**	—	0.96**	0.87**	0.67**	0.53*	0.91**	0.75**	0.62*	0.84**	0.74**	0.81**
r <sub>G</sub>	0.77**	0.67**	0.59**	0.50*	0.59*	0.95**	0.91**	0.88**	1.00**	0.92**	0.90*	1.00*	0.90*	1.00*	—

### 2.4 条件相关分析

单株成铃性状的非条件遗传相关反映出不同发育阶段里累积遗传控制的变化关系,无法得知控制单株成铃数在各时间段之间的净遗传效应之间的相互关系。成铃性状各时期段之间的条件相关分析不仅可以了解在早期起作用的不同遗传效应与其它时间段遗传效应的关系,而且可进一步探明动态作用的遗传效应与累积遗传效应的相互关系。从表4可知,各个单株成铃阶段

间的加性、显性及母体效应条件相关没检测到显著水平,这与条件遗传主效应方差不显著的分析结果相符。条件加性×环境互作相关在中后期都达到显著并呈正相关,而非条件分析的各时期加性×环境互作相关则不显著。条件显性×环境互作相关在成铃初期与后期达到显著负相关,而非条件分析的各时期显性×环境互作相关则正向显著,即条件相关能说明成铃发育过程基因的真实表达情况。条件母体×环境互作相关、条件表现型

相关及条件基因型相关也存在与非条件相关分析结果相反的情况。从以上分析可以看出,7月1日、7月9日与后续发育时间段的遗传×环境互作效应协同方向相反,但7月17日、7月25日与后续发育时间段的遗传×环境互作效应协同方向相同,反映出前期的成铃速度快将不利于中后期的生殖生长,而中后期的生殖生长不存在相互抑

制,这与海岛棉的种植实践相符。各个时间段同一遗传效应基因的表达情况是随成铃发育进程动态变化的。在研究单株成铃数之间的遗传相关时,只考虑不同时期非条件遗传表现之间的相互关系,而不考察在发育过程中动态变化的遗传效应之间的关系,将不能全面揭示海岛棉单株成铃的基因表达特点。

表 4 单株成铃数不同时期之间的条件相关系数

Table 4 Conditional correlation coefficients of boll number per plant at different stages

r	07-01	07-01	07-01	07-01	07-01	07-09	07-09	07-09	07-09	07-17	07-17	07-17	07-25	07-25	08-02
	07-09	07-17	07-25	08-02	08-10	07-17	07-25	08-02	08-10	07-25	08-02	08-10	08-02	08-10	08-10
	07-01	07-09	07-17	07-25	08-02	07-09	07-17	07-25	08-02	07-17	07-25	08-02	07-25	08-02	08-02
r <sub>A</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r <sub>D</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r <sub>M</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
r <sub>AE</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.95**	1.00**	1.00**	0.99**	1.00**	1.00**
r <sub>DE</sub>	—	—	—	-0.69**	-0.72**	—	—	-0.89**	-0.45**	—	—	—	—	—	0.62**
r <sub>ME</sub>	-0.61**	-0.56**	-0.56**	-0.67**	-0.74**	-0.85**	-0.48**	-0.62*	-0.75**	1.00**	1.00**	1.00**	1.00**	1.00**	1.00**
r <sub>e</sub>	-0.79**	-0.40*	-0.42*	-0.59**	-0.72**	-0.57**	-0.49**	-0.52**	-0.43**	1.00**	0.70**	0.43**	0.80**	0.45**	0.89**
r <sub>P</sub>	—	-0.53**	—	-0.46**	-0.54*	-0.62*	-0.45**	-0.47**	-0.51**	0.73**	0.65**	0.64**	0.73**	0.74**	0.73**
r <sub>G</sub>	—	-0.71*	—	-0.68*	—	-0.45*	-0.50**	-0.50**	-0.54*	0.72**	0.65**	0.68**	0.74**	0.80**	0.70*

### 3 结论与讨论

本文分析了海岛棉两年的单株成铃数不同铃期的发育遗传规律,对性状的研究结合某一时刻的非条件遗传效应分析和特定时间段的条件遗传效应分析两种方法进行。据方差分析结果,把整个单株成铃期划分为3个阶段,即7月9日以前为成铃前期,7月9日至7月25日为成铃中期,7月25日至8月10日为成铃后期。某一时刻的遗传效应分析表明,单株成铃数在成铃前期为遗传主效应与遗传×环境互作效应所占比例相当;成铃中期加性效应和显性效应的影响降低,显性×环境互作效应及母体×环境互作效应增加;成铃后期遗传主效应的影响降到最低,遗传×环境互作效应在8月2日上升至最大,之后逐渐下降,但仍然起重要作用。这种变化特点与陆地棉的遗传特征存在一定差异<sup>[6]</sup>,可能与海岛棉发育所需要的特殊生态条件有关。

单株成铃数在发育过程中的条件与非条件

遗传分析表明,控制单株成铃数的基因在成铃前期到7月17日表达比较活跃,这反映出在该时间段棉株进入生殖生长的关键阶段,该阶段良好的栽培管理措施对于确保单株早期稳定成铃特别重要。本研究发现,控制铃数的基因加性、显性及母体累积效应在前中期时都检测到,而相应的条件遗传净效应未达到显著水平,这说明两种分析方法的运用才能阐明海岛棉成铃发育中的基因活动特点。同一遗传效应的非条件遗传相关多为显著的正值,而条件遗传相关则检测到显著负值,充分反映出成铃性状基因表达程度的时间段变化。

海岛棉由于具有在成铃前、中期遗传主效应与遗传×环境互作效应所占比例相当,后期遗传×环境互作效应起重要作用的遗传特点,在栽培上要适期播种,培育壮苗,合理施肥灌溉,适当化控,而后期应通过及时打顶、使用叶面肥、适时停水等细致的管理措施,保证后期的稳定成铃,以促进高产。

## 参考文献:

- [1] 梅拥军, 郭伟锋, 熊仁次. 陆地棉产量组分对皮棉产量的遗传贡献分析[J]. 棉花学报, 2007, 19(2):114-118.  
MEI Yong-jun, Guo Wei-feng, Xiong Ren-ci. Analysis on genetic contribution of yield components to lint yield in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2007, 19 (2): 114-118.
- [2] 陈仲方, 谢其林, 承泓良, 等. 棉花产量结构模式的研究及其在育种上应用的意义[J]. 作物学报, 1981(7):233-240.  
CHEN Zhong-fang, Xie Qi-lin, Cheng Hong-liang, et al. Studies on the structural model of cotton yield and its implications on cotton breeding[J]. Acta Agronomica Sinica, 1981(7):233-240.
- [3] 陈青, 朱军, 吴吉祥. 陆地棉不同铃期单株成铃数和子棉产量的遗传动态分析[J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(2):155-160.  
CHEN Qing, Zhu Jun, Wu Ji-xiang. Developmental genetic analysis of boll number and seed cotton yield per plant at different fruiting stages in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1999, 25 (2): 155-160.
- [4] 许乃银, 钱大顺, 张木莲, 等. 陆地棉 F<sub>2</sub> 单株结铃数的发育遗传研究[J]. 江西农业学报, 2004, 16(3):22-26.  
XU Nai-yin, Qian Da-shun, Zhang Mu-lian, et al. Study on developmental genetics of bolls per plant in F<sub>2</sub> generation of upland cotton[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2004, 16(3):22-26.
- [5] 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.  
YE Zi-hong, Zhu Jun. Genetic analysis on flowering and boll setting in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) III. genetic behavior at different developing stages[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2000, 27(9):800-809.
- [6] 骆霞虹, 卢正中, 刘鹏渊, 等. 陆地棉棉子不同发育期容重和种仁率的遗传分析[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(5):225-229.  
LUO Xia-hong, Lu Zheng-zhong, Liu Peng-yuan, et al. Genetic analysis of seed density and kernel percentage at different developmental stages in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1998, 10(5):225-229.
- [7] 周可金, 郭卫勇, 黄典平, 等. 不同开花期棉铃主要经济性状变化规律的研究[J]. 棉花学报, 1998, 10(5):244-248.  
ZHOU Ke-jin, Guo Wei-yong, Huang Dian-ping, et al. Study on effect of different flowering date on economic characters and fibre quality of cotton[J]. Cotton Science, 1998, 10(5):244-248.
- [8] 朱军. 遗传模型分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.  
ZHU Jun. Analysis methods for genetic models [M]. Beijing: Publishing House of Chinese Agriculture, 1997.
- [9] ZHU Jun. Analysis of conditional genetic effects and variance components in developmental genetics[J]. Genetics, 1995, 141: 1633-1639. ●