

## 转基因抗虫陆地棉与优质品系杂交铃重、衣分的遗传及其 $F_1$ 杂种优势分析

李俊文, 刘爱英, 石玉真, 龚举武, 王 涛, 商海红, 巩万奎, 袁有禄\*

(中国农业科学院棉花研究所 / 农业部棉花遗传改良重点实验室, 河南 安阳 455000)

**摘要:** 利用 7 个陆地棉抗虫常规品种(品系)为母本, 5 个优质不抗虫品系为父本, 按 NCII 设计配制了 35 个组合, 采用“加性 - 显性遗传模型”(“A-D 模型”)对亲本及  $F_1$  两年的铃重、衣分数据进行了分析。结果表明, 铃重的遗传主要受到显性效应的控制, 衣分主要受到加性效应的控制, 显性效应对衣分也有重要影响。 $F_1$  的铃重具有极显著的正向群体平均优势和正向超亲优势, 而衣分则具有极显著的正向群体平均优势和负向群体超亲优势。铃重狭义遗传率为 0, 进行杂交育种时不宜在早代进行选择, 但因其具有较高的杂种优势, 可通过杂种优势利用途径提高棉花的铃重; 衣分具有较高的狭义遗传率, 适宜在早中世代选择。

**关键词:** 陆地棉; 双列杂交; 遗传分析; 杂种优势; 铃重; 衣分

**中图分类号:** S562.032 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-7807(2010)02-0163-06

## Genetic Effects and Heterosis Analysis for Boll Weight and Lint Percentage of Bt Transgenic Upland Cotton Crossed with Superior Fiber Quality Accessions

LI Jun-wen, LIU Ai-ying, SHI Yu-zhen, GONG Ju-wu, WANG Tao, SHANG Hai-hong, GONG Wan-kui, YUAN You-lu\*

(China Cotton Research Institute of CAAS/ the Key Laboratory of Cotton Genetic Improvement of the Ministry of Agriculture, Anyang, Henan 455000, China)

**Abstract:** To detect the genetic effects and heterosis of boll weight and lint percentage of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.), seven high-yield cultivars (lines) with transgenic resistance to bollworm and five superior fiber quality accessions and 35 crosses derived from these 12 parent lines via North Carolina II design (NC II design) were utilized. The Additive-Dominance model was employed to dissect the genetic effects and predict the heterosis of the two traits. The results indicated that boll weight was mainly dominant genetic effect with variance ratio of 61.1%, while the lint percentage was predominantly affected by additive component with variance ratio of 57.9%. And significant positive population mean heterosis and population over-parents heterosis, 8.8% and 4.9%, respectively, was detected for both boll weight at 1% significant level; while there existed significant positive population mean heterosis and negative population over-parents heterosis, though they were low, only 1.8% and -2.2%, respectively. None-existed narrow heritability for boll weight suggested boll weight should be selected in advanced generation while hybrid breeding procedure and its hybrid vigor could be utilized. Whereas lint percentage should be selected in early generation, because the narrow heritability was high(57.9%) for this trait.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L.; diallel analysis; genetic analysis; heterosis; boll weight; lint percentage

陆地棉占世界棉花总产的 90%。我国是世界上第一大棉花生产国, 陆地棉产量的高低对我国原棉总产的影响至关重要。研究了解陆地棉产

量相关性状的遗传机理及其杂种优势, 对陆地棉产量的遗传改良、选配强优势杂交组合具有重要意义。

**收稿日期:** 2009-11-23 **作者简介:** 李俊文(1981-), 硕士, 研究实习员, [junwenlee@163.com](mailto:junwenlee@163.com); \* 通讯作者, [youluyuan@hotmail.com](mailto:youluyuan@hotmail.com)

**基金项目:** 国家 973 项目(2004CB117306)

前人对棉花铃重和衣分等产量相关性状的遗传及  $F_1$  杂种优势进行了较多的研究<sup>[1-18]</sup>。因使用材料和方法不同,得出的结果也不尽相同。有的研究表明,铃重的遗传主要受显性效应的控制<sup>[1-7]</sup>,有的则认为铃重的遗传主要受加性效应的影响<sup>[8-14]</sup>,还有少数结果支持加性和显性效应对铃重的遗传同样重要<sup>[15-18]</sup>。衣分的遗传同样存在不同的研究结果。大部分研究结果认为衣分的遗传主要受到加性效应的控制<sup>[1-3,6,8-13,15,17]</sup>,少数研究认为衣分的遗传受加性效应和显性效应的共同控制<sup>[4,14,18]</sup>,还有结果认为衣分主要受显性效应的影响<sup>[7]</sup>。铃重和衣分的遗传除了受加性效应、显性效应的影响,还受加性互作效应和显性互作效应的影响。多数研究认为显性互作效应对铃重的遗传影响较大<sup>[3,6-7,11-12,14,16-17]</sup>,少数研究认为加性互作效应对铃重的遗传影响较小<sup>[5,11-12,14]</sup>。显性互作效应对衣分的遗传也有较大影响<sup>[3,5-7,12,16-17]</sup>,加性互作效应对衣分影响较小<sup>[3,5,7,11-12,16-17]</sup>。

多数结果认为铃重存在显著的正向中亲优势(群体中亲优势)<sup>[4,8,10,12,19]</sup>,少数认为铃重的群体平均优势不显著<sup>[16]</sup>,还有少数研究报道了铃重存在显著或极显著的群体超亲优势<sup>[4,19]</sup>,还有研究认

为铃重群体超亲优势不显著<sup>[11,16]</sup>。衣分存在显著的群体平均优势<sup>[4,12,16,19]</sup>,也有研究认为衣分的中亲优势不明显<sup>[8,10]</sup>,多数研究结果支持衣分存在显著的负向超亲优势<sup>[11,13-14,16,19]</sup>。

随着杂交棉的大面积推广种植,杂交种培育的组配方式也多种多样,有必要采用不同材料对陆地棉铃重、衣分的遗传和杂种优势进行进一步分析研究。为此,本研究利用抗虫陆地棉与优质品系杂交为材料,采用朱军提出的“ $A-D$ 模型”<sup>[20-21]</sup>分析了铃重、衣分的遗传和杂种优势。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

用 12 个陆地棉品系为亲本,按 NCII 设计配制组合获得 35 个  $F_1$ 。亲本材料由中棉所提供:(1)264-8,(2)冀优 851,(3)156 系,(4)223,(5)441 系,(6)177 系,(7)sGK9708。母本共 7 个,编号为 1~7,均为转基因抗虫棉新品系;亲本(8)0-153,(9)126 系,(10)48 系,(11)7235,(12)中 8036 作父本,编号是 8~12。8~11 号为不抗虫优质品系,(12)号为对照,品质不突出。亲本、 $F_1$  铃重和衣分 2004—2005 年田间表现列于表 1。

表 1 亲本及  $F_1$  的铃重和衣分在 2004-2005 年的表现

Table 1 Phenotypic mean value for boll weight and lint percentage in 12 parents and 35  $F_1$ s over two environments

组合	铃重		衣分		组合	铃重		衣分	
	2004	2005	2004	2005		2004	2005	2004	2005
1	4.68	5.22	43.54	41.18	3×10	5.82	5.93	39.49	37.00
2	5.47	5.70	41.77	39.71	3×11	6.16	6.26	36.21	36.59
3	5.61	5.72	38.63	37.64	3×12	5.51	5.53	41.29	39.22
4	4.91	4.77	36.64	33.95	4×8	5.58	5.79	37.68	37.06
5	5.34	6.01	39.17	38.14	4×9	5.91	5.58	37.68	37.48
6	5.66	5.68	37.93	35.73	4×10	5.79	5.97	37.89	35.74
7	5.43	5.54	42.21	39.42	4×11	6.10	6.02	35.57	35.34
8	5.65	5.23	36.34	35.49	4×12	5.54	5.46	40.84	39.41
9	5.89	5.41	37.44	36.42	5×8	5.84	5.73	38.74	36.65
10	5.37	6.18	37.68	37.04	5×9	6.03	-	38.88	38.91
11	4.29	3.81	36.98	35.52	5×10	6.00	5.99	39.64	37.51
12	5.08	4.98	42.90	41.56	5×11	6.30	6.22	38.29	37.20
1×8	4.89	5.46	40.85	39.23	5×12	5.64	6.03	42.19	38.91
1×9	5.11	5.39	40.74	41.52	6×8	5.86	5.62	39.28	37.82
1×10	5.59	5.92	41.95	39.49	6×9	5.90	5.64	38.84	36.73
1×11	5.56	6.51	36.98	35.67	6×10	5.82	5.94	38.92	37.93
1×12	5.19	5.48	43.46	40.48	6×11	5.99	6.09	36.96	36.60
2×8	5.34	5.30	40.32	37.87	6×12	5.59	5.34	41.35	40.04
2×9	5.97	5.60	40.35	38.33	7×8	5.65	5.54	42.47	39.94
2×10	5.88	5.54	41.17	39.50	7×9	5.92	5.59	42.33	39.68
2×11	5.57	5.80	38.89	36.95	7×10	6.00	5.90	42.04	39.88
2×12	5.67	5.52	43.08	40.32	7×11	6.43	6.18	38.54	37.03
3×8	5.76	5.68	38.54	38.19	7×12	5.37	5.52	44.45	41.49
3×9	6.04	5.71	39.48	37.98					

注: 2005 年,组合 5×9 在重复 2 和重复 3 中铃重表现明显异常,将其作为缺失数据处理,以“-”表示。

## 1.2 田间试验

2004—2005 年将 12 个亲本及 35 个 F<sub>1</sub> 种植在河南安阳中棉所试验地。行长 8 m、行距 0.8 m、株距 0.26 m。2004 年小区为单行区,2005 年为双行区。田间管理采取常规管理。每小区收取棉株中部成熟、吐絮正常的棉铃 50 个进行室内考种,测定铃重和衣分。

## 1.3 遗传分析方法

用朱军提出的“双列杂交和杂种优势的遗传分析”软件进行统计分析,采用“A-D 模型”和最小范数二阶无偏估计法(MINQUE 法)估算各性状的加性、显性、加性×环境、显性×环境及剩余方差和表型方差。并用群体平均优势 H<sub>pm</sub>(F<sub>1</sub>)和群体超亲优势 H<sub>pb</sub>(F<sub>1</sub>)来预测杂种优势。群体平均优势:H<sub>pm</sub>(F<sub>1</sub>)=(F<sub>1</sub>-MP)/u;群体超亲优势:H<sub>pb</sub>(F<sub>1</sub>)=(F<sub>1</sub>-BP)/u。其中,MP 表示两个亲本的中亲值,BP 表示高亲的基因型值,u 表示双列杂交的所有亲本和杂交组合 F<sub>1</sub> 的算术平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 亲本及 F<sub>1</sub> 表现

从两年表现看,除 4 号亲本的铃重和衣分都

表现较低外,1~7 号亲本的铃重、衣分整体高于 8~12 号亲本。35 个组合中,27 个组合的铃重至少有一年表现超高亲,其中 12 个组合两年都表现超高亲;与铃重不同,多数组合衣分的表现介于双亲之间,15 个组合两年表现都处于双亲之间。4 号和 11 号亲本铃重都偏低,但由其配制的 11 个组合,除 4×8、4×10 铃重仅一年表现超高亲,其余 9 个组合两年都表现超高亲,尤其是组合 4×11 两年铃重高达 6.10 g 和 6.02 g,远远高于双亲表现,表明 4 号和 11 号亲本对 F<sub>1</sub> 铃重的杂种优势具有重要贡献。

### 2.2 铃重、衣分的方差分量比率

由表 2 可知,铃重不存在加性方差,显性方差比率为 61.1%,加性互作方差比率为 10.1%,显性互作方差比率为 5.9%,剩余方差比率为 23.0%,都达到显著或极显著水平。表明铃重的遗传主要受到显性效应控制,同时还受到环境的影响。衣分加性方差比率为 57.9%,显性方差比率为 11.6%,加性互作方差比率为 1.8%,剩余方差比率为 28.6%,均达到极显著水平。而显性效应与环境的互作效应方差比率为 0,说明衣分主要受加性效应控制,同时还受显性互作效应影响。

表 2 方差分量比率估计值

Table 2 Estimated ratio of variance components to the phenotypic variance for boll weight and lint percentage

性状	V <sub>A</sub> /V <sub>P</sub>	V <sub>D</sub> /V <sub>P</sub>	V <sub>AE</sub> /V <sub>P</sub>	V <sub>DE</sub> /V <sub>P</sub>	Residual
铃重	0.000±0.000	0.611±0.016**	0.101±0.009**	0.059±0.013**	0.230±0.011**
衣分	0.579±0.015**	0.116±0.01**	0.018±0.006**	0±0	0.286±0.013**

注:V<sub>A</sub>/V<sub>P</sub>、V<sub>D</sub>/V<sub>P</sub>、V<sub>AE</sub>/V<sub>P</sub>、V<sub>DE</sub>/V<sub>P</sub>、Residual 分别表示加性方差 V<sub>A</sub>、显性方差 V<sub>D</sub>、加性互作方差 V<sub>AE</sub>、显性互作方差 V<sub>DE</sub> 和机误方差占表型方差 V<sub>P</sub> 的比率。\* 表示在 5% 水平达到显著,\*\* 表示在 1% 水平达到显著(下同)。

### 2.3 铃重、衣分的遗传率

由表 3 可知,铃重的狭义和广义遗传率分别为 0 和 61.1%,狭义和广义互作遗传率分别为 10.1% 和 16.0%,均达到极显著水平;衣分的狭义

和广义遗传率分别为 57.9% 和 69.6%,达到极显著水平,狭义互作遗传率为 1.8%,达到极显著水平,广义互作遗传率为 1.8%,未达到显著水平。

表 3 遗传率估计值

Table 3 Estimated heritability for boll weight and lint percentage

性状	H(N)	H(B)	H(NE)	H(BE)
铃重	0.000±0.000	0.611±0.015**	0.101±0.009**	0.160±0.014**
衣分	0.579±0.015**	0.696±0.015**	0.018±0.006**	0.018±0.011 <sup>+</sup>

注:H(N)、H(B)、H(NE)、H(BE)分别表示狭义遗传率、广义遗传率、狭义互作遗传率和广义互作遗传率。

## 2.4 铃重、衣分的加性效应和纯合显性效应

亲本铃重的加性效应为0, 纯合显性效应都是负值, 其中亲本1、2、3、4、5、6、7、11、12达到了显著或极显著水平。1、2、7、12号亲本的加性效应为正值, 且都达到了极显著水平, 3、4、5、6、8、9、

10、11号亲本为负值, 其中3、4、6、8、11号亲本的加性效应达到了显著或极显著水平; 除1、2、11号亲本的纯合显性效应为正值外, 其余皆为负值, 4、6号亲本达到显著水平, 7、8、9、10号亲本达到了极显著水平。

表4 加性效应( $A_{ii}$ )和纯合显性效应( $D_{ii}$ )估计值

Table 4 Additive effects( $A_{ii}$ )and homozygous dominance effects( $D_{ii}$ ) for boll weight and lint percentage

性状 遗传效应	铃重		衣分	
	$A_{ii}$	$D_{ii}$	$A_{ii}$	$D_{ii}$
1	0.000±0.000	-0.332±0.084*	1.426±0.207**	0.752±0.419+
2	0.000±0.000	-0.037±0.076	0.896±0.231**	0.123±0.501
3	0.000±0.000	-0.224±0.086**	-0.352±0.169*	-0.179±0.340
4	0.000±0.000	-0.692±0.133**	-1.462±0.205**	-0.955±0.393*
5	0.000±0.000	-0.344±0.076**	-0.087±0.177	-0.145±0.204
6	0.000±0.000	-0.150±0.053**	-0.606±0.188**	-0.992±0.397*
7	0.000±0.000	-0.306±0.076**	1.508±0.117**	-0.900±0.184**
8	0.000±0.000	-0.033±0.090	-0.696±0.143**	-1.726±0.364**
9	0.000±0.000	-0.082±0.085	-0.345±0.220	-1.365±0.493**
10	0.000±0.000	-0.157±0.111	-0.277±0.161+	-1.063±0.401**
11	0.000±0.000	-1.686±0.15**	-1.894±0.256**	0.749±0.581
12	0.000±0.000	-0.273±0.069**	1.889±0.135**	-0.210±0.226

## 2.5 铃重、衣分的杂合显性效应

由表5可知, 凡由4号、11号亲本配制的组合, 杂合显性效应皆为正值, 组合4×9、4×10、4×11、4×12、1×11、3×11、5×11、6×11、7×11均达到了显著或极显著水平, 这说明亲本4和11对提高F<sub>1</sub>的铃重贡献很大, 这与表型结果一致。

从表6可知, 衣分的杂合显性效应中, 组合1×11和7×11为负值, 并达到了极显著水平, 组合1×9、4×12、6×8、7×8、7×9、7×10、7×12的杂合显性效应为正值, 并达到了极显著水平, 表明7号亲本对F<sub>1</sub>的衣分贡献较大。

表5 铃重杂合显性效应估计值( $D_{ij}$ )

Table 5 Heterozygous dominance effects( $D_{ij}$ ) for boll weight

	8	9	10	11	12
1	-0.206±0.135	-0.258±0.086**	0.188±0.077*	0.629±0.125**	0.072±0.057
2	-0.245±0.081**	0.124±0.089	-0.062±0.117	0.083±0.099	0.156±0.108
3	0.054±0.086	0.086±0.224	-0.021±0.116	0.521±0.082**	-0.059±0.139
4	0.227±0.142	0.156±0.060*	0.199±0.067**	0.565±0.091**	0.135±0.060*
5	0.054±0.060	0.093±0.079	0.046±0.067	0.504±0.134**	0.199±0.121
6	0.109±0.039**	0.001±0.486	0.013±0.109	0.365±0.074**	-0.092±0.061
7	-0.031±0.079	0.008±0.076	0.116±0.110	0.675±0.130**	-0.085±0.064

注: 1~7表示母本, 8~12表示父本。交叉表格中的数值是对应亲本组配获得组合的杂合显性效应 $D_{ij}$ ; 表6与此相同。

表6 衣分杂合显性效应估计值( $D_{ij}$ )

Table 6 Heterozygous dominance effects( $D_{ij}$ ) for lint percentage

	8	9	10	11	12
1	0.392±0.314	1.141±0.37**	0.681±0.352+	-2.256±0.398**	-0.041±0.115
2	-0.055±0.298	-0.126±0.489	0.782±0.548	-0.121±0.606	0.168±0.423
3	0.352±0.239	0.400±0.325	-0.134±0.392	-0.489±0.566	-0.122±0.298
4	0.382±0.215+	0.268±0.647	-0.534±0.478	-0.412±0.738	0.749±0.246**
5	-0.533±0.322+	0.053±0.069	-0.054±0.374	0.589±0.368	0.148±0.424
6	0.761±0.204**	-0.295±0.514	0.267±0.302	0.109±0.278	0.539±0.330
7	1.460±0.260**	0.945±0.268**	0.841±0.249**	-0.805±0.280**	0.861±0.240**

## 2.6 铃重、衣分的杂种优势

从表 7 可知, F<sub>1</sub> 铃重的群体平均优势分别为 8.8%, 群体超亲优势为 4.9%, 均达到极显著水平。32 个组合群体平均优势为正值, 22 个组合达到了显著或极显著水平, 占 70.97%; 3 个组合群体平均优势为负值, 均未达到显著水平。31 个组合群体超亲优势为正值, 14 个组合达到显著或极显著水平, 占 45.16%; 4 个组合为负向群体超亲优势, 3 个组合达到极显著水平, 其中一个组合为 0, 也达到极显著水平。

F<sub>1</sub> 衣分的群体平均优势和群体超亲优势为 1.8% 和 -2.2%, 均达到极显著水平。29 个组合具

有正向群体平均优势, 13 个组合达到了显著或极显著水平, 占 44.83%; 6 个组合具有负向群体平均优势, 1 个组合达到极显著水平; 11 个组合具有正向群体超亲优势, 但均未达到显著水平; 24 个组合的群体超亲优势为负值, 有 21 个组合达到极显著水平。

这些结果表明, 铃重存在明显的杂种优势。选配亲本时, 即使亲本之一铃重偏低(如 11 号亲本), 通过利用杂种优势仍可获得大铃组合(如组合 3×11); 衣分存在负向群体超亲优势, 选择高衣分材料作双亲才有较大可能获得高衣分 F<sub>1</sub>。

表 7 杂种优势估计值

Table 7 Heterosis prediction for boll weight and lint percentage in F<sub>1</sub>s

参数	Hpm(F <sub>1</sub> )	Hpb(F <sub>1</sub> )	Hpm(F <sub>1</sub> )+N	Hpm(F <sub>1</sub> ) - N	Hpb(F <sub>1</sub> ) + N	Hpb(F <sub>1</sub> ) - N
铃重	0.088±0.004**	0.049±0.015**	32(22)	3(0)	31(14)	3(3)
衣分	0.018±0.003**	-0.022±0.005**	29(13)	6(1)	11(0)	24(21)

注:“Hpm(F<sub>1</sub>)”、“Hpb(F<sub>1</sub>)”分别表示 F<sub>1</sub> 的群体平均优势和群体超亲优势;“Hpm(F<sub>1</sub>) + N”、“Hpm(F<sub>1</sub>) - N”分别表示具有正向和负向群体平均优势的组数;“Hpb(F<sub>1</sub>) + N”、“Hpb(F<sub>1</sub>) - N”分别表示具有正向和负向群体超亲优势的组数;括号中的数字表示群体平均优势和群体超亲优势达到显著或极显著水平的组数。

## 3 讨论

### 3.1 铃重和衣分的遗传

铃重的遗传主要受显性效应的控制, 同时受环境互作效应的影响, 其狭义遗传率为 0; 衣分的遗传主要受加性效应的控制, 并估测到较高的狭义遗传率。在杂交育种中, 铃重应在高代进行选择, 衣分则在中早世代选择比较有效。

### 3.2 铃重和衣分的杂种优势

铃重存在群体超亲优势, 衣分存在群体中亲优势。通过利用杂种优势, 可获得大铃杂交组合, 衣分则难以通过杂种优势利用途径来提高, 在配制组合时, 只有选择高衣分材料做双亲, 才可能获得高衣分 F<sub>1</sub>。

### 3.3 杂交棉铃重和衣分的综合改良

配制杂交组合时, 只有综合考虑到各产量构成因子的遗传特点, 才能获得强优势的高产杂交组合。根据本文结果, 在利用转基因抗虫常规棉和优质棉品系配制组合时, 首先选择高衣分材料, 然后选择铃重较大的材料做亲本, 就有可能选育出大铃、高衣分杂交组合。

### 参考文献:

- [1] 朱 军, 季道藩. 陆地棉产量性状的双列分析[J]. 浙江农业大学学报, 1987, 13(3): 280-287.  
ZHU Jun, Ji Dao-fan. Diallel analysis of yield traits in upland cotton[J]. Journal of Zhejiang University, 1987, 13(3):280-287.
- [2] 张金发, 邓 忠, 孙济中, 等. 陆地棉与海岛棉种间杂种优势和配合力分析 [J]. 华中农业大学学报, 1994, 13(1): 9-14.  
ZHANG Jin-fa, Deng Zhong, Sun Ji-zhong, et al. Heterosis and combining ability in interspecific crosses between *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense* [J]. Journal of Huazhong (Central China) Agricultural University, 1994, 13(1): 9-14.
- [3] 吴吉祥, 朱 军, 季道藩, 等. 陆地棉产量性状的遗传效应及其与环境互作的分析 [J]. 遗传, 1995, 17(5): 1-4.  
WU Ji-xiang, Zhu Jun, Ji Dao-fan, et al. Analysis of genetic effect × environment interactions for yield traits in upland cotton [J]. Heredita, 1995, 17(5): 1-4.
- [4] 张正圣, 李先碧, 刘大军, 等. 陆地棉高强纤维品系和 Bt 基因抗虫棉的配合力与杂种优势研究 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1450-1455.  
ZHANG Zheng-sheng, Li Xian-bi, Liu Da-jun, et al. Study on combining ability and heterosis between high strength lines and Bt (*Bacillus thuringiensis*) bollworm-resistant lines in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Scientia Agricultura Sinica,

- 2002, 35 (12): 1450-1455.
- [5] SAHA S, Jenkins J N, WU Ji-xiang, et al. Effects of chromosome-specific introgression in upland cotton on fiber and agronomic traits [J]. *Genetics*, 2006, 172: 1927-1938.
- [6] WU Ji-xiang, Jenkins J N, Mccarty J C, et al. An additive-dominance model to determine chromosomal effects in chromosome substitution lines and other gemplasms [J]. *Theor Appl Genet*, 2006, 112: 391-399.
- [7] WU Ji-xiang, Jenkins J N, Mccarty J C, et al. Genetic association of lint yield with its components in cotton chromosome substitution lines [J]. *Euphytica*, 2008, 164: 199-207.
- [8] 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, 11(1): 18-23.
- WANG Xue-de, Pan Jia-ju. Genetic analysis of heterosis and inbreeding depression in upland cotton [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 11(1): 18-23.
- [9] 郭介华, 邹礼平. 陆地棉 12 个农艺性状的基因效应评估[J]. *棉花学报*, 1994, 6(3): 160-162.
- GUO Jie-hua, Zou Li-ping. Estimation of genetic effects on 12 agronomic characters in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 1994, 6(3): 160-162
- [10] 邢朝柱, 靖深蓉, 郭立平, 等. 转 Bt 基因棉杂种优势及性状配合力研究[J]. *棉花学报*, 2000, 12(1): 6-11.
- XING Chao-zhu, Jing Shen-rong, Guo Li-ping, et al. Study on heterosis and combining ability of transgenic Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton [J]. *Acta Gossypii Sinica*, 2000, 12(1): 6-11.
- [11] 袁有禄, 张天真, 郭旺珍, 等. 陆地棉优异纤维品系的铃重和衣分的遗传及杂种优势分析 [J]. *作物学报*, 2002, 28(2): 196-202.
- YUAN You-Lu, Zhang Tian-zhen, Guo Wang-zhen, et al. Heterosis and gene action of boll weight and lint percentage in high quality fiber property varieties in upland cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(2): 196-202.
- [12] 韩祥铭, 刘英欣. 陆地棉产量性状的遗传分析[J]. *作物学报*, 2002, 28(4): 533-536.
- HAN Xiang-ming, Liu Ying-xin. Genetic analysis for yield and its components in upland cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(4): 533-536.
- [13] 孙君灵, 杜雄明, 周忠丽, 等. 转基因抗虫棉 sGK9708 与不同类型品种杂种的遗传及杂种优势分析[J]. *棉花学报*, 2003, 15 (6): 323-327.
- SUN Jun-ling, Du Xiong-ming, Zhou Zhong-li, et al. Analysis on heritability and heterosis of main traits of Bt transgenic cotton sGK9708 crossed with different types[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 2003, 15(6): 323-327.
- [14] 石玉真, 刘爱英, 李俊文, 等. 陆海种间杂交铃重和衣分的遗传及其 F<sub>1</sub> 群体优势分析[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(2): 139-144.
- SHI Yu-zhen, Liu Ai-ying, Li Jun-wen, et al. Heterosis and genetic analysis of boll weight and lint percentage of interspecific hybrid of *G. hirsutum* L. × *G. barbadense* L. [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(2): 139-144.
- [15] CHEATHAM C L, Jenkins J N, Mccarty J C, et al. Genetic variances and combining ability of crosses of American cultivars, Australian cultivars, and wild cottons[J]. *The Journal of Cotton Science*, 2003, 7: 16-22.
- [16] 梅拥军, 张改生, 叶子弘, 等. 海岛棉不同果枝品种间杂交产量性状的遗传及 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 群体优势分析[J]. *作物学报*, 2004, 30 (10): 1026-1030.
- MEI Yong-Jun, Zhang Gai-sheng, Ye Zi-hong, et al. Genetic analysis of yield traits and population heterosis for F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> between different fruit-branch type cultivars in island cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30 (10): 1026-1030.
- [17] JENKINS J N, Mccarty J C, Wu Ji-xiang, et al. Genetic variance components and genetic effects among eleven diverse upland cotton lines and their F<sub>2</sub> hybrids [J]. *Euphytica*, 2009, 167: 397-408.
- [18] 杨六六, 刘惠民, 曹美莲, 等. 棉花产量和纤维品质性状的遗传研究[J]. *棉花学报*, 2009, 21 (3) : 179-183.
- YANG Liu-liu, Liu Hui-min, Cao Mei-lian, et al. The inheritance of cotton yield and fiber quality characters[J]. *Cotton Science*, 2009, 21 (3) : 179-183.
- [19] 王学德, 潘家驹. 陆地棉芽黄指示性状的杂种优势利用研究 [J]. *南京农业大学学报*, 1987, 12(3): 1-8.
- WANG Xue-de, Pan Jia-ju. Study on virescent indicative character applied to heterosis in upland cotton[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1987, 12(3): 1-8.
- [20] 朱 军. 作物杂种后代基因型值和杂种优势预测的方法[J]. *生物数学学报*, 1993, 8(1): 32-44.
- ZHU Jun. Methods of predicting genotype value and heterosis for offspring of hybrids[J]. *Journal of Biomathematics*, 1993, 8 (1): 32-44.
- [21] 朱 军. 遗传模型分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 56-255.
- ZHU Jun. Analysis methods for genetic models[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 56-255. ●