

## 转基因抗虫棉产量性状的遗传效应及其杂种优势分析

刘芦苇, 祝水金\*

(浙江大学农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310029)

**摘要:**采用加性-显性与环境互作的遗传模型,分析了9个亲本和36个 $F_1$ 的皮棉产量、单株铃数、铃重和衣分的两年资料,估算了转基因抗虫棉各项遗传方差和成对性状间各项遗传效应的相关性。结果表明,转基因抗虫棉的产量性状受加性和显性效应共同控制,皮棉产量、铃重和衣分都以基因的显性效应为主,而单株铃数是以加性效应为主,单株铃数和衣分还具有基因与环境互作效应。遗传相关分析表明,转基因抗虫棉的皮棉产量与单株铃数的基因型和表现型相关系数都比较大而且比较接近;皮棉产量与单株铃数、铃重和衣分的加性相关系数都达到极显著水平,而且皮棉产量与单株铃数、衣分的数值比较大。利用亲本和 $F_1$ 的资料预测了 $F_2$ 基因型值和杂种优势,结果表明,转基因抗虫棉 $F_2$ 的皮棉产量、单株铃数、铃重和衣分的群体平均优势分别为4.0%、5.1%、-1.3%和3.2%,群体超亲优势分别为-7.3%、-6.0%、-4.2%和-0.5%。

**关键词:**抗虫棉;产量性状;杂种优势;遗传率;遗传相关

**中图分类号:**S562.032 **文献标识码:**A

**文章编号:**1002-7807(2007)01-0033-05

## Analysis of Genetic Effects and Heterosis for Yield and Yield Traits in Transgenic Insect Resistant Cotton (*G. hirsutum* L)

LIU Lu-wei, ZHU Shui-jin\*

(College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)

**Abstract:** Nine parents and their 36  $F_1$  combinations of Bt and non Bt cotton were analyzed for four traits in two years by a genetic model of additive-dominance with environmental interaction effects. Genetic variance components and correlations of the transgenic insect resistant cotton were estimated. The result indicated that all yield traits of the transgenic insect resistant cotton were mainly controlled by the additive effects and dominant effects, the dominant effects was in the lint yield, boll weight and lint percentage, and the additive effects was in chief in bolls per plant. In addition, there was a interaction effect between genes and environments for bolls per plant and lint percentage. The genotype and phenotype correlation coefficient of yield and bolls per plant in transgenic insect resistant cotton were large, and their values were almost the same. The additive correlation between yield and bolls per plant, as well as boll weight and lint percentage were remarkable significantly. The values of additive correlation between lint yield and bolls per plant, including lint yield and lint percentage were large. The  $F_2$  genotypic value and their heterosis were analyzed and forecasted from the data of parents and their  $F_1$ . The result indicated that the heterosis in  $F_2$  of the transgenic insect resistant cotton over mid-parent were 4.0%, 5.1%, -1.3% and 3.2% in average for yield, boll per plant, boll weight

收稿日期:2006-02-30 作者简介:刘芦苇(1982-),男,硕士研究生;\*通讯作者,shjzhu@zju.edu.cn

基金项目:国家973计划项目(2004CB117305)、国家自然科学基金(30471108)和国家农业成果转化基金(2003710011012)

and lint percentage, respectively, and those over the better parent were -7.3%, -6.0%, -4.2% and -0.5% in average for yield, boll per plant, boll weight and lint percentage, respectively.

**Key words:** transgenic insect resistant cotton; yield traits; heterosis; heritability; genetic correlation

转基因抗虫棉的大面积推广种植有效地控制了棉铃虫及其它鳞翅目害虫的危害,对于稳定和发展我国的棉花生产起着极其重要的作用<sup>[1]</sup>。到目前为止,我国已审定转基因抗虫棉品种 30 多个,正在参加各级区试的转基因抗虫棉品种(组合)多达数百个<sup>[2-3]</sup>。然而,由于转基因抗虫棉的遗传研究不够深入等原因,我国培育的转基因抗虫棉品种(组合)虽其抗虫性较强,但产量水平和纤维品质等性状未有较大的突破。因此,开展转基因抗虫棉遗传基础研究对于转基因抗虫棉新品种选育具有十分重要的实践意义。有关棉花产量及产量性状的遗传研究已有不少报道,主要采用双列杂交和杂种优势的遗传分析方法<sup>[4-8]</sup>,用 AD

模型、ADM 模型和 ADAA 模型对其进行遗传分析<sup>[9-16]</sup>。然而,对于转基因抗虫棉产量及产量性状的遗传研究还少见报道。本研究利用加性-显性-显性-显性与环境互作的遗传模型研究转基因抗虫棉各种遗传效应和杂种优势,为抗虫棉新品种(组合)的选育提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究材料

选用 9 个陆地棉品种,其中 7 个为转基因抗虫棉品种,2 个非转基因常规棉品种为校正对照(表 1)。

表 1 参试品种及其主要特性

Table 1 The materials and their characters in the experiment

品种名称	主要特性	来源
春矮早	普通陆地棉推广品种	河南省农业科学院
抗虫春矮早	春矮早抗虫近等基因系, Bt, 回交转育	河南省农业科学院
NUCOTN33B	美国转基因抗虫棉, Bt, 农杆菌介导	冀岱棉种有限公司
NUCOTN32B	美国转基因抗虫棉, Bt, 农杆菌介导	冀岱棉种有限公司
GK321	国产转基因抗虫棉, Bt+CpTi, 花粉管法	中国农科院生物技术中心
GK22	国产转基因抗虫棉, Bt, 花粉管法	中国农科院生物技术中心
邯 109	国产转基因抗虫棉, Bt, 回交转育	河北邯郸市农科院
浙 905	国产转基因抗虫棉, Bt, 花粉管法	浙江大学
TM-1	陆地棉标准系	中国农科院棉花所

### 1.2 试验方法

采用半双列杂交试验设计,共 36 个组合和 9 个亲本,田间试验采用随机区组设计,2003 年和 2004 年分别在浙江萧山棉花繁育基地进行种植,小区面积 20 m<sup>2</sup>,二次重复。9 月 15 日对每个小区进行调查,并随机选取 50 个棉铃进行室内考种,测定其单铃重和衣分。

### 1.3 统计分析

应用加性-显性-显性-显性与环境互作的遗传模型,采用 MINQUE 法分析 4 个产量性状,估计各项方差分量占表现型方差的比率、成对性状间的基因型相关系数( $r_G$ )和表现型相关系数( $r_P$ )。采用 Jack-knife 重复抽样的方法估算各项估计值的标准误,然后用 t 测验对遗传参数做显著检验。用调整无偏预测法(AUP)预测遗传效应值。数据均采用

《双列杂交和杂种优势的遗传分析》软件<sup>[16]</sup>进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 转基因抗虫棉产量性状的遗传方差分量及其遗传率的分析

供试材料产量性状的各项遗传方差分量分析结果表明,4 个产量性状的加性效应和显性效应都达到极显著水平,其中皮棉产量、铃重和衣分都以基因的显性效应为主。由此可见,这 3 个性状存在一定的杂种优势,其中皮棉产量的显性遗传方差分量是加性的遗传方差分量的 6 倍左右,铃重和衣分的显性遗传方差分量是加性遗传方差分量的 1~2 倍左右。这说明皮棉产量的基因效应中显性效应是主要的,存在着明显的杂种优势。

基因加性和显性效应对铃重和衣分均很重要,存在着一定的杂种优势。而单株铃数以基因的加性效应为主,加性方差的比率较小,杂种优势不很明显(表 2)。

表 2 转基因抗虫棉产量及产量性状的遗传方差分量比值的估计值及其遗传率

Table 2 The heritability and genetic variances of the yields and their traits in transgenic cotton

参数	皮棉产量	单株铃数	铃重	衣分
加性方差比率 $V_A/V_P$	0.091**	0.059**	0.181**	0.230**
显性方差比率 $V_D/V_P$	0.445**	0.029*	0.309**	0.429**
加性*环境比率 $V_{AE}/V_P$	0.007	0.075**	0	0.051**
显性*环境比率 $V_{DE}/V_P$	0	0.216**	0	0
机误方差比率 $V_E/V_P$	0.457**	0.622**	0.510**	0.290**
普通广义遗传率 $h_G^2$	0.536**	0.088**	0.490**	0.659**
交互广义遗传率 $h_{GE}^2$	0.007	0.290**	0	0.051**
普通狭义遗传率 $h_G^2$	0.091**	0.059**	0.181**	0.230**
交互狭义遗传率 $h_{GE}^2$	0.007	0.075**	0	0.051**

\*,\*\* 分别表示 0.05 和 0.01 概率水准显著

加性×环境交互效应只有对单株铃数、衣分的遗传表现有显著作用,对皮棉产量和铃重的遗传表现不显著;而显性×环境的交互效应只对单株铃数的遗传表现有显著作用,对皮棉产量、铃重和衣分的遗传表现不显著。由于皮棉产量和铃重的基因与环境交互都不显著,说明这两个性状的杂种优势在不同的环境条件下表现差异不大。在这 4 个性状中,皮棉产量、单株铃数和铃重受环境机误的影响较大,衣分则较小。

衣分的普通广义遗传率均达到极显著水平,说明这 4 个产量性状中单株铃数受非遗传因素的影响较大。单株铃数和衣分的交互遗传率均达到显著水平。由此可见,单株铃数受到了较大的基因与环境的交互效应。由于皮棉产量、铃重和衣分的普通广义遗传率明显大于交互广义遗传率,只有单株铃数具有较大的交互遗传率。因此,控制部分产量性状的基因的表达受环境的影响较小,可以在早期世代对产量性状进行遗传改良(表 2)。

转基因抗虫棉的皮棉产量、单株铃数、铃重和

## 2.2 转基因抗虫棉产量性状的遗传相关分析

表 3 转基因抗虫棉产量性状间的相关系数

Table 3 The correlation coefficients among the yield traits of transgenic cotton

性状	参数	单株铃数	铃重	衣分
皮棉产量	$r_A$	0.952**	0.198**	0.781**
	$r_D$	1.000**	0.157**	0.065
	$r_{AE}$	1.000**	0	-0.586
	$r_{DE}$	0	0	0
	$r_e$	0.519**	0.293**	-0.049
	$r_P$	0.548**	0.151*	0.139**
	$r_G$	0.598*	0.019	0.252**
单株铃数	$r_A$		-0.408	0.713*
	$r_D$		-0.440	-0.236
	$r_{AE}$		0	-0.634**
	$r_{DE}$		0	0
	$r_e$		0.015	-0.087
	$r_P$		-0.094	0.073
	$r_G$		-0.239*	0.212**
铃重	$r_A$			0.086
	$r_D$			-0.225*
	$r_{AE}$			0
	$r_{DE}$			0
	$r_e$			0.043
	$r_P$			-0.066
	$r_G$			-0.141

\*,\*\* 分别表示 0.05 和 0.01 概率水准显著

各产量性状间的遗传相关系数分析结果表明,皮棉产量与单株铃数的基因型和表现型相关系数较大,均达到极显著水平,皮棉产量和衣分的基因型和表现型相关系数也达到了极显著水平。基因型相关分解结果表明,皮棉产量与单株铃数、铃重和衣分的加性相关系数都达到极显著水平,其中皮棉产量与单株铃数和衣分的加性相关系数较大。皮棉产量与单株铃数和铃重的显性相关系数也达到极显著水平。此外,尽管单株铃数和铃重存在着基因型和表现型的负相关,但加性和显性负相关均未达到显著水平;铃重和衣分之间的显性负相关达到显著水平,但加性正相关不显著;单株铃数和衣分之间的加性正相关达到显著水平,显性负相关则不显著。这些结果表明,转基因抗虫棉的皮棉产量与其产量构成因素之间的遗传相关具有一定的特殊性,在转基因抗虫棉新品种选育和杂种优势选配方面应根据其性状之间的遗传相关,特别是其显性和加性相关的特点进行后代选择和亲本选配(表3)。

### 2.3 转基因抗虫棉杂种 $F_1$ 和 $F_2$ 产量性状的平均表现

表4 抗虫棉亲本、 $F_1$  和  $F_2$  产量性状的平均表现

Table 4 The yields and their traits of parents,  $F_1$  and  $F_2$  (estimated) of the transgenic cotton

性状	均值		
	P	$F_1$	$F_2$
皮棉产量	1840.90	1957.9	1911.40**
单株铃数	28.60	28.88	28.85
铃重	4.08	4.01	4.04*
衣分	37.22	39.16	38.41**

$F_2$  预测值,经过 F 测验,\*、\*\* 分别表示 0.05、0.01 概率水平显著

由表4可知, $F_1$  和  $F_2$  的单株铃数和衣分的平均表现都高于亲本的平均值,表明  $F_1$  和  $F_2$  在这两个产量性状均存在着一定的杂种优势,而铃重在  $F_1$  和  $F_2$  中的平均表现都略低于亲本,可见铃重的杂交优势不明显。此外,单株铃数和衣分的平均表现都为  $F_1 > F_2 > P$ ,杂种优势有下降趋势,这跟前人的研究结果相吻,即产量性状的杂种优势存在着  $F_2$  衰退的情况。

### 2.4 转基因抗虫棉 $F_2$ 产量性状的基因型值和杂种优势

对转基因抗虫棉  $F_2$  产量性状的平均基因型值、平均优势和超亲优势进行估算,结果列于表5。

由表5可见,皮棉产量和衣分  $F_2$  的平均基因型值达到极显著水平,铃重达到显著水平,而单株

铃数未达到显著水平。皮棉产量、铃重和衣分  $F_2$  代的群体平均优势都达到了极显著水平,而单株铃数不显著,其中单株铃数和衣分表现为正向优势,而铃重则表现为负向。皮棉产量、单株铃数和铃重的  $F_2$  群体超亲优势均为负值。可见,转基因抗虫棉  $F_2$  存在一定的群体平均优势,但是不具有超亲优势。

表5 转基因抗虫棉  $F_2$  产量性状的平均遗传表现

Table 5 The genetic expression of the yields and their trait in  $F_2$  of the transgenic cotton

性状 r	$F_2$ 基因型值	平均优势/%	超亲优势/%
皮棉产量	1911.41**	4.0**	-7.3**
单株铃数	28.85	0.2	-5.6**
铃重	4.04*	-1.3**	-4.2**
衣分	38.41**	3.2**	-0.5 <sup>+</sup>

+、\* 和 \*\* 分别表示 0.1、0.05 和 0.01 概率水平显著

## 3 讨论

本研究结果表明,转基因抗虫棉产量性状受加性和显性效应共同控制,且都达到极显著水平。产量性状之间,皮棉产量、单株铃数、单铃重和衣分对产量性状的作用不完全一致,其中皮棉产量、单铃重和衣分的遗传效应以显性效应为主,而单株铃数则是加性效应为主。这与前人的研究结果<sup>[10,18-20]</sup>较为一致,说明转基因抗虫棉品种产量性状的遗传特点与一般棉花品种基本相似。然而,本研究结果发现,抗虫棉的产量性状虽存在不同程度的基因型与环境的互作,但转基因抗虫棉只有部分产量性状的基因型与环境的互作达到显著水平,而且其效应值比较小。此外,转基因抗虫棉的衣分的杂种优势比单株铃数或者单铃重明显,单铃重的杂种优势最不明显。由此可见,研究转基因抗虫棉产量性状遗传具有一定的特殊性。研究同时说明,转基因抗虫棉皮棉产量与单株铃数和衣分都存在极显著的加性相关,皮棉产量与单株铃数、铃重又存在极显著的显性相关。因此,在转基因抗虫杂交棉组合选配时可以根据产量性状的显性效应来选配高优势杂交棉组合。此外,利用亲本和  $F_1$  的遗传表现预测  $F_2$  代的表现表明,转基因抗虫棉  $F_2$  代表现有一定的群体平均优势,但不具有群体超亲优势,利用价值较小。

## 参考文献

[1] 徐荣旗,徐俊,陈大新. 中国转基因抗虫棉育种进展

- [J]. 中国农学通报, 2001, 17(4): 53-56.
- [2] 何忠伟, 陈艳芬, 伍小松. 中国转基因抗虫棉发展的现状与对策[J]. 世界农业, 2005, 1: 18-22.
- [3] 夏敬源, 马志强, 田明军. 国产转基因抗虫棉的发展成就及其作用[J]. 中国农技推广, 2004, 6: 4-6.
- [4] 朱 军. Mixed model approaches for estimating genetic variances and covariances[J]. 生物数学学报, 1992, 7(1): 1-11.
- [5] 朱 军. 作物杂种后代基因型值和杂种优势的预测方法[J]. 生物数学学报, 1993, 8(1): 6-18.
- [6] 朱 军. 广义遗传模型与数量遗传分析新方法[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(6): 551-559.
- [7] 朱 军, 季道藩, 许馥华. 作物品种间杂种优势遗传分析的新方法[J]. 遗传学报, 1993, 20(3): 262-271.
- [8] 吴吉祥, 朱 军. 不同环境下作物基因型值和杂种优势的分析方法[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(6): 587-592.
- [9] 唐文武, 肖文俊, 黄英金, 等. 优异纤维品质陆地棉和转基因抗虫棉的杂种优势和亲子相关性[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 74-78.
- [10] 吴吉祥, 朱 军, 许馥华, 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.
- [11] 吴吉祥, 朱 军, 许馥华, 等. 陆地棉  $F_2$  产量性状杂种优势及与环境互作的预测[J]. 科技通报, 1998, 14(5): 343-347.
- [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.
- [13] 袁有禄, 张天真, 郭旺珍, 等. Heterosis and gene action of boll weight and lint percentage in high quality fiber property varieties in upland cotton[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 196-202.
- [14] 李卫华, 胡新燕, 申温文, 等. 陆地棉杂种  $F_2$  代优势组合的筛选研究[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 919-924.
- [15] McCARTY JC, WU JX, JENKINS JN, et al. Evaluating American and China Cotton Cultivars and Their Cross for Improvement[J]. Cotton Sci, 2005, 17(1): 47-55.
- [16] 宋美珍, 喻树迅, 范术丽, 等. 短季棉主要农艺性状的遗传分析[J]. 棉花学报, 2005, 17(2): 94-98.
- [17] ZHU J. Analysis methods for genetic models[M]. Beijing: Chinese Agricultural Publish House, 1997, 240-277.
- [18] 王国印. 陆地棉数量性状遗传研究与进展[J]. 中国棉花, 1994, 21(3): 5-7.
- [19] XING C Z, JING S R, GUO L P, et al. Study on the heterosis and combining ability of transgenic Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton[J]. Cotton Sci, 2000, 12: 6-11.
- [20] WU Y T. Heterosis performance of yield and fiber quality in  $F_1$  and  $F_2$  hybrids in upland cotton[J]. Plant breeding. 2004, 123: 285-289. ●