



## 转基因抗虫棉纤维品质性状的遗传分析

沈晓佳, 孙玉强, 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:**根据 ADAA 遗传模型分析了 7 个转基因抗虫棉亲本、两个非转基因抗虫亲本和 36 个半双列杂交  $F_1$  的纤维品质性状的两年资料, 估算各项遗传方差和成对性状间的遗传相关性。结果表明, 转基因抗虫棉纤维品质的 5 个性状受加性、显性和上位性的共同控制, 其中麦克隆值、2.5% 纤维长度和纤维比强度以基因显性效应为主, 麦克隆值和纤维整齐度以上位性效应为主。除纤维比强度外, 其余 4 个纤维品质性状都受到环境互作效应的影响, 且影响较大。遗传相关分析表明, 纤维比强度与 2.5% 纤维长度的基因型相关和表型值相关达极显著水平, 其中加性相关未达显著水平, 显性相关达极显著水平。比强度与麦克隆值的基因加性相关也达极显著水平, 但表型相关未达显著水平。利用亲本和  $F_1$  的资料预测了  $F_2$  的基因型值和杂种优势。结果表明,  $F_2$  代的麦克隆值、伸长率、2.5% 纤维长度、整齐度、纤维比强度的中亲优势分别为 1.0%, -8.5%, -0.8%, 0 和 -2.9%, 无超亲优势。

**关键词:**转基因抗虫棉; 纤维品质; 杂种优势; 遗传率; 遗传相关

**中图分类号:** S562.035

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-7807(2009)03-0163-05

## Analysis of Genetic Effects for Fiber Quality in Transgenic Insect Resistant Cotton (*G. hirsutum* L.)

SHEN Xiao-jia, SUN Yu-qiang, LIU Lu-wei, ZHU Shui-jin\*

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

**Abstract:** Nine parents which seven of them were transgenic insect resistant cotton cultivars with Bt developed in China and USA, and their 36  $F_1$  combinations were analyzed for five traits of fiber quality in two years by a genetic model of additive-dominance with interaction effects, and genetic variance components and correlations were estimated as well. The results showed that the five characters related fiber quality were controlled by additive effects, dominant effects and additive  $\times$  additive effects. The main effects in micronaire, 2.5% staple strength were dominant effects, while elongation and uniformity were additive  $\times$  additive effects. There were some interaction effects with large values between genotypes and environments for all five fiber traits except for fiber strength. The genotype and phenotype correlation coefficient between fiber strength and 2.5% staple length were significant, in which the dominant correlation were high, but there were no additive correlation between them. In the meanwhile, the additive genotype correlation between fiber strength and micronaire were significant, and their phenotype correlation was undetected. 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  $F_2$  over mid-parent were 1.0%, -8.5%, -0.8%, 0, -2.9% in average for micronaire, elongation, 2.5% staple length, uniformity and fiber strength, respectively. There was no heterosis over the better parent.

**Key words:** transgenic insect resistant cotton; fiber quality; heterosis; heritability; genetic correlation

收稿日期: 2007-10-22

作者简介: 沈晓佳(1984-), 女, 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)和国家自然科学基金(30471108、30671325)

棉花的纤维品质的遗传分析已有大量的报道<sup>[1-7]</sup>,然而,有关转基因抗虫棉的纤维品质性状的遗传特点,以及纤维品质性状间的遗传相关等研究的报道却不多。本研究将利用 ADAA 模型,以 7 个转基因抗虫棉和 2 个非抗虫棉配制的半双列杂交的 36 个  $F_1$  为材料,利用两年的数据资料,估计纤维品质性状的遗传方差分量和性状之间的遗传相关性,并利用亲本和  $F_1$  的资料预测  $F_2$  的基因型值、平均优势和超亲优势,分析其杂种优

势,为抗虫棉新品种的选育和抗虫棉高优势组合的选配提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究材料

选用 9 个陆地棉品种。其中,抗虫春矮早、33B、32B、GK321、GK22、邯 109 和浙 905 等 7 个为转基因抗虫棉品种,春矮早和 TM-1 分别为非转基因常规棉推广品种和陆地棉标准系作对照(表 1)。

表 1 参试品种及其主要特性

Table 1 The materials and their characters in the experiment

材料	主要特性	来源
抗虫春矮早	春矮早抗虫近等基因系, <i>Bt</i> , 回交转育	河南省农业科学院
33B	美国转基因抗虫棉, <i>Bt</i> , 农杆菌介导	冀岱棉种有限公司
32B	美国转基因抗虫棉, <i>Bt</i> , 农杆菌介导	冀岱棉种有限公司
GK321	国产转基因抗虫棉, <i>Bt</i> + <i>CpTI</i> , 花粉管法	中国农科院生物技术研究所
GK22	国产转基因抗虫棉, <i>Bt</i> , 花粉管法	中国农科院生物技术研究所
邯 109	国产转基因抗虫棉, <i>Bt</i> , 回交转育	河北邯郸市农业科学院
浙 905	国产转基因抗虫棉, <i>Bt</i> , 花粉管法	浙江大学农学系
春矮早	陆地棉推广品种, 非转基因	河南省农业科学院
TM-1	陆地棉标准系, 非转基因	中国农科院棉花研究所

### 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 年分别在萧山棉花繁育基地进行种植。小区面积 20 m<sup>2</sup>, 2 次重复。田间管理按照当地棉花管理措施进行。收花测产前,每小区随机收取 50 个正常吐絮的棉铃,进行室内考种后,纤维送农业部棉花品质检测中心进行纤维品质分析。

### 1.3 统计分析方法

应用 ADAA 的遗传模型,采用 MINQUE 法,分析 5 个纤维性状,估计各项方差分量占表现型方差的比率,估计成对性状间的基因型相关系数( $r_G$ )和表现型相关系数( $r_P$ )。各估计值的标准误用 Jackknife 的方法对年份试验区组抽样而估算,然后采用  $t$  测验对遗传参数做统计检验。用调整无偏预测法(AUP)预测遗传效应值。数据均采用朱军的《双列杂交和杂种优势的遗传分析》软件<sup>[8-9]</sup>进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 转基因抗虫棉亲本及 $F_1$ 的纤维品质性状的表现

转基因抗虫棉材料间纤维品质性状差异较大。除 32B 外,其它转基因抗虫棉品种的纤维比强度均

低于陆地棉标准系 TM-1,其中 33B、GK321 和 GK22 与标准系的差异达到显著水平。所有参试材料的克隆值偏大,其中 GK321 和邯 109 显著差于对照,而 GK22 却显著优于对照。除 32B 外,参试抗虫棉亲本的 2.5% 纤维跨距长度与对照差异未达显著水平。可见,转基因抗虫棉品种的纤维品质性状表现相对较差,参试的大多数材料的纤维品质指标低于其标准水平。通过杂交和回交育成的抗虫春矮早和春矮早是一对近等基因系,除抗虫基因外,其余基因基本相同。纤维品质分析结果表明,抗虫春矮早的纤维比强度和克隆值优于轮回亲本(春矮早),而纤维长度、伸长率和纤维整齐度却差于春矮早,这是否说明抗虫棉的外源基因与转基因棉的纤维品质性状有一定的关联,且其影响机制如何还有待于进一步研究。

转基因抗虫棉亲本和  $F_1$  纤维品质性状在两年中的平均结果(表 2)表明,克隆值、伸长率、纤维长度和纤维强度这 4 个性状 2003 年的表现型均值比 2004 年略高,可能是由于 2004 年夏末多雨的天气引起的。但是纤维整齐度的表现型值却相反。2003 年,转基因抗虫棉亲本的克隆值、伸长率、纤维长度和纤维强度比  $F_1$  要高,而纤维整齐度则相反。2004 年各纤维品质的表现与 2003 年相同。可见,克隆值、伸长率、纤维长度

和纤维强度这 4 个性状表现出一定的负向杂种优势。因此,将有必要用 ADA 模型对数据进行进一步分析。

表 2 转基因抗虫棉亲本和  $F_1$  纤维品质性状在两年中的平均表现

Table 2 Average phenotypic values for fiber quality of parents and their  $F_1$ s in two years

年份	世代	麦克隆值	伸长率/%	纤维长度/mm	整齐度/%	纤维强度/(cN · tex <sup>-1</sup> )
2003	亲本	5.37	7.13	30.42	45.10	21.91
	$F_1$	5.32	6.88	29.78	45.96	21.33
2004	亲本	4.68	5.03	28.08	50.73	21.17
	$F_1$	4.94	4.27	27.82	49.89	20.60
平均	亲本	5.03	6.08	29.52	47.92	21.54
	$F_1$	5.13	5.58	28.80	47.93	20.97

## 2.2 转基因抗虫棉的纤维品质遗传方差及其遗传率的分析

从供试材料纤维品质性状的各项遗传方差分量 and 机误方差分量占表型方差比值结果(表 3)可以看出,转基因抗虫棉棉花纤维品质的 5 个性状中,麦克隆值的加性和显性效应均达极显著水平,且显性为加性效应的 1~2 倍。纤维长度的显性效应达极显著水平。纤维伸长率和纤维整齐度的加性和显性效应均不明显,但上位性效应均达极显著水平,说明其存在基因间的互作关系。纤维比强度的加性、显性和上位性效应均达极显著水平,但显性效应占主要。由此可见,转基因抗虫棉的纤维品质性状以加性效应为主,传统的遗传育

种方法对于转基因抗虫棉的纤维品质改良效果有一定的难度。

环境互作效应分析结果表明,纤维伸长率、纤维长度、整齐度的加性×环境互作,显性×环境互作均达极显著水平,而上位性则不显著;麦克隆值的上位性×环境互作达显著水平,但加性×环境互作和显性×环境互作则不明显;而纤维强度的各互作遗传分量均未达显著水平。这些结果表明,转基因抗虫棉纤维比强度性状在不同环境条件下表现差异不大,性状相对稳定,而其余四个性状的环境互作效应较大,性状表达受环境的影响较大,育种改良时应注意不同生态环境条件下的选择。

表 3 转基因抗虫棉纤维品质性状的遗传方差分量比值的估计值

Table 3 Estimated proportions of variance ratio for fiber quality properties

参数	麦克隆值	伸长率	纤维长度	纤维整齐度	比强度
$V_A/V_P$	0.079±0.010**	0	0	0	0.148±0.016**
$V_D/V_P$	0.100±0.011**	0	0.229±0.013**	0	0.260±0.016**
$V_{AA}/V_P$	0	0.166±0.009**	0.003±0.012	0.065±0.009**	0.167±0.023**
$V_{AE}/V_P$	0	0.146±0.011**	0.196±0.011**	0.269±0.013**	0
$V_{DE}/V_P$	0	0.315±0.022**	0.063±0.020**	0.422±0.021**	0
$V_{AAE}/V_P$	0.242±0.017**	0	0	0	0
$V_e/V_P$	0.570±0.012**	0.373±0.008**	0.508±0.008**	0.243±0.007**	0.424±0.016**

注: \*\* 表示 0.01 显著水平。

## 2.3 转基因抗虫棉纤维性状遗传相关性分析

棉纤维品质的成对性状之间的遗传相关性结果(表 4)表明,只有纤维长度和纤维比强度的基因型和表现型相关系数达到极显著水平,而且相关系数较大。对基因型相关进一步分析发现,纤维长度和纤维比强度的显性相关系数达到极显著水平,且相关系数较大。说明纤维长度和纤维比强度间的关系密切,但应注意的是早期世代中的间接选择效果会受到显性关系的影响。不过在转基因抗虫杂交棉选育中可以获得纤维长度和纤维比强度同步提高的优势组合。

麦克隆值与其它纤维品质性状的基因型相关系数都不显著,仅与纤维长整齐度的表现型相关系数达显著水平。可见,麦克隆值与其它纤维品质性状的关系不是十分密切。对基因型相关进一步分析发现,麦克隆值与纤维长整齐度存在较大正向机误相关,可以推测环境条件对进行间接选择具有较大的作用。麦克隆值与纤维比强度的相关系数不显著,但是其加性相关达到显著水平,且其值较大。因此,这两性状之间在早期世代进行间接选择仍具有一定的效果。

表4 转基因抗虫棉纤维品质性状之间的相关性分析

Table 4 The correlation coefficients among the fiber qualities of transgenic cotton

性状	参数	伸长率	纤维长度	整齐度	纤维强度
麦克隆值	$r_A$	0	0	0	1.000*
	$r_D$	0	0.457	0	-0.017
	$r_{AA}$	0	0	0	0
	$r_{AE}$	0	0	0	0
	$r_{DE}$	0	0	0	0
	$r_{AAE}$	0	0	0	-0.288
	$R_e$	0.170	-0.297**	0.471**	-0.0106
	$r_P$	0.046	-0.076	0.207*	-0.007
伸长率	$r_G$	-0.062	0.182	0.056	-0.002
	$r_A$		0	0	0
	$r_D$		0	0	0
	$r_{AA}$		-1.000	-0.220	-0.477
	$r_{AE}$		-0.123	0.068	0
	$r_{DE}$		-0.943**	0.184**	0
	$r_{AAE}$		0	0	0
	$R_e$		-0.054	0.376**	-0.064
2.5%纤维长度	$r_P$		-0.011	0.140*	0.101
	$r_G$		0.022	0.039	0.210*
	$r_A$			0	0
	$r_D$			0	0.950**
	$r_{AA}$			-1.000	-1.000
	$r_{AE}$			-0.960**	0
	$r_{DE}$			-1.000**	0
	$r_{AAE}$			0	0
整齐度	$R_e$			-0.327**	0.049
	$r_P$			-0.206*	0.333**
	$r_G$			-0.149	0.583**
	$r_A$				0
	$r_D$				0
	$r_{AA}$				-0.126
	$r_{AE}$				0
	$r_{DE}$				0
纤维强度	$r_{AAE}$				0
	$R_e$				0.116
	$r_P$				0.065
	$r_G$				0.042

注：\*，\*\* 分别表示 0.05 和 0.01 显著水平，下同。

#### 2.4 转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 纤维品质的基因型值和杂种优势的表现

对转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 纤维品质的平均基因型值、平均优势和超亲优势进行估算(表 5)，转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 的麦克隆值、伸长率、纤维长度和纤维强度的中亲优势和超亲优势达到极显著水平。除了麦克隆值和整齐度的中亲优势，其它都显著小于零，但数值较小。F<sub>2</sub> 代的各纤维品质的超亲优

势都显著小于零，其中伸长率和纤维强度消减的程度较大。可见，转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 纤维品质性状表现出一定的负向杂种优势，但 F<sub>2</sub> 代纤维品质性状消减幅度不大。从这些结果可以看出，转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 代纤维品质性状存在衰退现象，其性状表现很大程度上取决于其亲本的表现。因此，在转基因抗虫杂交棉组合选配过程中选择具有优异纤维品质的亲本是非常的重要且有效。

表5 转基因抗虫棉 F<sub>2</sub> 纤维性状的平均遗传表现Table 5 The estimated values of the genotype and heterosis for fiber quality in F<sub>2</sub>

性状	参数	麦克隆值	伸长率/%	纤维跨长/mm	整齐度/%	纤维强度/(cN·tex <sup>-1</sup> )
基因型值	G(F <sub>2</sub> )	5.08	5.97**	29.04	47.91	21.44**
中亲优势	Hpm(F <sub>2</sub> )	1.0%**	-8.5%**	-0.8%**	0	-2.9%**
超亲优势	Hpb(F <sub>2</sub> )	-0.8%**	-13.7%**	-2.2%**	-1.3% <sup>+</sup>	-5.6%**

### 3 结论与讨论

棉纤维品质性状的遗传分析结果因试验材料不同而异<sup>[1-7]</sup>。总的来说，纤维品质的多种性状主要受加性效应和显性效应作用，不同的性状其加性和显性效应所占的比重略有不同。转基因抗虫

棉由于其外源基因片段的插入，成为一新的棉花品种类型，其遗传特点应与非转基因棉有所不同<sup>[10]</sup>。由于外源基因的插入，原有的 DNA 序列发生了改变，从而对农艺和经济性状产生较大的影响，其遗传特性与一般非转基因棉存在着差异。另外，由于转基因抗虫棉品种的抗虫性特性，其栽

培管理也不同于一般棉花品种,即外界条件与一般棉花存在着差异。因此,由于环境条件的改变,各性状的遗传特点和遗传相关必然产生一些变化。因此,转基因抗虫棉纤维品质性状的遗传研究对于棉花遗传育具有重要的理论和实践意义。

本研究结果表明,转基因抗虫棉的纤维品质 5 个性状的遗传方式并不完全一致。其中,麦克隆值、纤维长度和纤维比强度以显性效应为主,伸长率和纤维整齐度以上位性效应为主,达到极显著水平。除纤维比强度的环境互作作用较小外,其余 4 个性状的互作作用为 20%~69%,与非转基因抗虫棉的遗传特点一致。说明转基因抗虫棉的纤维品质受环境因素的影响较大,早世代选择对纤维品质的遗传改良较困难。同时,转基因抗虫棉纤维品质的互作分量在互作中所占的比重差异较大,麦克隆值以上位性互作为主,伸长率和整齐度以显性互作为主,纤维长度以加性互作为主。纤维长度和比强度还存在着加性上位性与环境的互作效应。因此,在转基因抗虫棉育种时应考虑纤维品质性状及其与环境的互作效应,协调各性状之间的相互关系,才能提高转基因抗虫棉的纤维品质。

纤维品质性状的杂种优势比较小,一般中亲优势只有 0~-3%<sup>[1-2]</sup>。本研究结果也表明,转基因抗虫棉的纤维品质性状杂种优势非常的小,许多性状呈负向杂种优势。因此,在转基因抗虫杂交棉亲本选配时,选择优质纤维的双亲非常重要。

#### 参考文献:

- [1] YUAN You-lu, Zhang Tian-zhen, Guo Wang-zhen, et al. Diallel analysis of superior fiber quality properties in selected upland cottons[J]. *Acta Genetica Sinica*, 2005, 32(1): 79-85.
- [2] 曹新川, 康志钰. 陆地棉纤维品质性状遗传效应的分析[J]. *西北农业学报*, 2006, 15(4): 203-205, 216. CAO Xin-chuan, Kang Zhi-yu. Genetic effect analysis of quality fiber properties in upland cotton[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2006, 15(4): 203-205, 216.
- [3] 聂以春, 周肖荣, 张献龙. 转基因抗虫棉的产量、品质及抗虫性比较研究[J]. *植物遗传资源科学*, 2002, 3(4): 8-12, 35.
- NIE Yi-chun, Zhou Xiao-rong, Zhang Xian-long. Comparison on yield, pest-resistance and fiber quality of transgenic pest-resistant cotton [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2002, 3(4): 8-12, 35.
- [4] 刘建平, 梅拥军, 张利莉, 等. 零式果枝海岛棉铃部性状和纤维品质的遗传及相关分析[J]. *作物学报*, 2005, 31(8): 1069-1073. LIU Jian-ping, Mei Yong-Jun, Zhang Li-li, et al. Analyses of heredity and correlation between boll traits and fiber quality traits in "0" plant type upland cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(8): 1069-1073.
- [5] 张文英, 梅拥军. 陆地棉铃形和纤维品质的遗传和相关研究[J]. *作物学报*, 2004, 30(8): 816-820. ZHANG Wen-ying, Mei Yong-Jun. Analysis of genetic correlation between boll shape traits and fiber quality traits in upland cotton[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(8): 816-820.
- [6] 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. SONG Mei-zhen, Yu Shu-xun, Fan Shu-li, et al. Genetic analysis of main agronomic traits in short season upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Cotton Science*, 2005, 17(2): 94-98.
- [7] 袁有禄, 张天真, 郭旺珍, 等. 棉花纤维品质性状的遗传稳定性研究[J]. *棉花学报*, 2002, 14(2): 67-70. YUAN You-lu, Zhang Tian-zhen, Guo Wang-zhen, et al. Genetic stability of fiber qualities in upland cotton[J]. *Cotton Science*, 2002, 14(2): 67-70.
- [8] XU Zhi-chen, Zhu Jun. An approach for predicting heterosis based on an additive, dominance and additive  $\times$  additive model with environment interaction [J]. *Heredity*, 1999, 82: 510-517.
- [9] ZHU Jun. Mixed model approaches for estimating genetic variances and covariances [J]. *Journal of Biometrics*, 1992, 7(1): 1-11.
- [10] 吴征彬, 陈鹏, 杨业华, 等. 转基因抗虫棉对棉花纤维品质的影响[J]. *农业生物技术学报*, 2004, 12(5): 509-514. WU Zheng-bin, Chen Peng, Yang Ye-hua, et al. Effects of cotton transgenic insect resistance on the fiber quality [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2004, 12(5): 509-514. ●