

优异纤维品质陆地棉与转基因抗虫棉的配合力及遗传效应分析

唐文武^{1,2}, 黄英金^{1*}, 吴秀兰^{1,2}, 肖文俊¹

(1. 江西农业大学农学院, 南昌 330045; 2. 肇庆学院生命科学学院, 肇庆 526061)

摘要: 利用 10 个优异纤维品质陆地棉品种和 6 个转 Bt 基因抗虫棉品种配组的 10×6 NCII 交配设计, 对其产量、品质及抗虫性的配合力及遗传效应进行了分析。结果表明: Bt 基因能在 F₁ 得到显性遗传。以 A₈ 的产量性状一般配合力最高, A₄ 的纤维品质性状一般配合力最高; A₇×B₅、A₆×B₁ 等组合的各性状特殊配合力较好; 亲本的一般配合力与组合间特殊配合力不存在显著相关性。遗传效应分析表明, 基因加性效应对铃重、衣分、2.5% 跨长、比强度、伸长率等性状起主导作用; 双亲的互作效应对 F₁ 产量性状起重要作用; 2.5% 跨长、铃重、比强度的狭义遗传力较高, 产量性状的狭义遗传力最低。

关键词: 抗虫杂交棉; 配合力; 遗传力

中图分类号: S562.035 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2009)05-0415-05

Analysis on Combining Ability and Genetic Effects between Super Fibre Varieties and Insect-resistant Transgenic Varieties in Upland Cotton

TANG Wen-wu^{1,2}, HUANG Ying-jin^{1*}, WU Xiu-lan^{1,2}, XIAO Wen-jun¹

(1. College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Department of Biology, Zhaoqing University, Zhaoqing, Jiangxi 526061, China)

Abstract: Combining ability and genetic effects of yield and fiber quality characters were investigated by way of 10×6 NCII cross design with 10 super fiber varieties and 6 insect-resistant transgenic varieties. The results showed that, Bt gene was dominant inheritance in F₁ hybrids. A₈ showed the best general combining ability (GCA) in yield characters, A₄ expressed the best GCA in fiber quality characters. Combinations of A₇×B₅, A₆×B₁ expressed higher specific combining ability (SCA). But the GCA of parents and SCA of combination have no significant correlation. Genetic effects analysis showed that the additive variation was principal in boll weight (BW), lint percentage (LP), span length (SL), fiber strength (FS), elongation rate (ER). While seed cotton yield (SCY) and lint yield (LY) mainly by their interactions. SL, BW and FS had high narrow heritability (H_N²), while SCY and LY were had low H_N².

Key words: insect-resistant hybrid cotton; combining ability; heritability

杂种优势利用是提高棉花产量、改良棉纤维品质的重要育种手段。20 世纪 90 年代中期随着转 Bt 基因抗虫棉的培育成功, 抗虫杂交棉的研究和利用出现高潮^[1-7], 用 Bt 基因抗虫棉与普通陆地棉品种杂交, 进行杂种优势和配合力效应分析

已有报道^[3-5]。但采用纤维强、细、长的特优异种质材料和转 Bt 基因抗虫棉进行 NCII 交配设计, 开展配合力、遗传力等研究尚未见报道。本研究以系谱来源广泛的优异纤维品质陆地棉品种与遗传背景不同的转基因抗虫棉杂交, 分析后代性状

收稿日期: 2008-05-16

作者简介: 唐文武(1978-), 男, 硕士, 讲师, wwtang@zqu.edu.cn; * 通讯作者, yjhuang_cn@126.com

基金项目: 江西省“十五”科技攻关资助项目(200120900747)

的配合力和遗传效应,旨在为陆地棉强优势杂交种选育中实现优异纤维品质与高产、抗虫的同步改良提供有利的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选用10个不同类型的优异纤维品质陆地棉品种(系)01-东保优(A₁)、杨坟596(A₂)、朝阳70(A₃)、AcalaSJ-3(A₄)、Hopical(A₅)、Acala(1)(A₆)、苏联8908(A₇)、遗棉2号(A₈)、美8123(A₉)、8033(A₁₀)为母本;6份转Bt基因抗虫棉品种(系)中棉所30(B₁)、中棉所31(B₂)、sGK321(B₃)、9007(B₄)、32B(B₅)、99B(B₆)为父本,按NCII遗传交配设计,配制60个杂交组合。除01-东保优为本课题组育成的稳定品系外,其余各品种均引自中国农科院棉花研究所种质库。

1.2 试验设计与方法

将60个杂交组合(F₁)、16个亲本以及对照种中棉所29(CK)共77份材料种植于江西农业大学农学实验站。按照随机区组试验设计,3次重复,单行区,小区面积9.0 m²,种植密度为3万株·hm⁻²。采用营养钵育苗移栽,4月9日播种,4月16日出苗,5月18日移栽,7月25日统一打顶。栽培管理按常规进行。

Kanamycin抗性鉴定参照马丽华^[8]的方法进行,采用750 mg·kg⁻¹浓度的卡那霉素药液涂抹棉花顶部第2叶,第5天观察抗性结果。性状考察于10月20日调查成铃数,室内考察铃重、衣

分,小区全部计产。纤维品质性状由农业部棉花品质监督检验测试中心测定。

统计分析参照翟虎渠^[9]介绍的方法进行,对杂交组合F₁的主要性状指标进行方差分析、配合力分析、遗传参数估算,按固定模型(模型I)估算供试亲本的配合力效应,按随机模型(模型II)估算各种方差分量及进行遗传参数估算。所有数据均在计算机上采用DPS^[10]和Excel统计分析软件完成。

2 结果与分析

2.1 Kanamycin抗性鉴定

Kanamycin抗性鉴定结果表明:6个转Bt基因抗虫棉亲本的检测结果均呈阳性,10个非抗虫亲本品种均为阴性;60个F₁的kanamycin结果全部为阳性。这与前人结果^[3,11]相吻合,表明抗虫基因能在F₁代得到显性遗传。

2.2 配合力方差分析

F测验(表1)表明:除整齐度外,其它9个性状的F₁基因型间的F值均达显著或极显著水平,因而进一步作配合力方差分析;各性状父母本的一般配合力方差中,除了母本的成铃数、子棉产量、皮棉产量以及父本的铃重、衣分性状外,其它性状的F值均达显著或极显著水平;母本×父本的组合特殊配合力方差中,铃重、子棉产量、皮棉产量、麦克隆值4个性状的F值也达显著或极显著水平。表明除整齐度外的其它9个性状均受加性或非加性的遗传效应影响,因而有必要进一步分析。

表1 10个性状的配合力方差分析(均方)

Table 1 Mean squares of variance analysis and combining ability for 10 traits

变异来源	自由度	成铃数	铃重	衣分	子棉产量	皮棉产量	2.5%跨长	比强度	麦克隆值	整齐度	伸长率
重复	2	31.656	0.4859	14.47	1047290.07	147602.07	0.357	6.6914	0.0736	0.6032	0.1203
组合	59	42.167**	0.628**	19.145*	1502212.44**	243530.6**	2.0652**	10.7523**	0.2064**	1.1074	0.2337**
母本	9	33.032	2.433**	70.79**	958327	208303.1	1.9905*	38.0531**	0.5783**	1.8432*	0.3743**
父本	5	173.023**	0.191	8.79	5142641.34**	769212.57**	14.763**	14.6855**	0.2925**	1.1721	0.7259**
母本×父本	45	29.454	0.316*	9.97	1206496.85*	192167.10*	0.669	4.8552	0.1225*	0.9532	0.1509

注:*,** 分别达0.05和0.01显著水平。

2.3 一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)效应

研究结果表明,一般配合力基因型效应在同一亲本各性状间以及同一性状各亲本间存在明显差异,表明不同亲本在各性状上的加性效应大小是不同的。由表2可知,在母本中以A₈的产量性状一般配合力为最好,除衣分性状为负值外,其它4个性状的一般配合力相对效应值(EGCA)分别为11.313%、1.637%、13.453%、9.5442%;纤

维品质性状中,以A₄的一般配合力为最好,其纤维长度、比强度、麦克隆值、伸长率的EGCA均为正值,分别为1.573%、4.167%、1.296%、0.825%。父本中,除B₄的产量性状一般配合力表现较好外,其它父本一般配合力偏低。

对60个组合9个性状的特殊配合力分析表明,同一亲本所配组合及同一组合不同性状间的SCA差异很大,表明基因互作具有多样性。其中

以杂交组合 $A_7 \times B_5$ 为最好, 除在衣分上 SCA 为负值外, 其它 8 个性状 SCA 值均较高; $A_1 \times B_1$ 、 $A_2 \times B_2$ 、 $A_3 \times B_2$ 、 $A_6 \times B_1$ 、 $A_8 \times B_2$ 等 5 个组合也表现较好。可进一步通过对比试验从这些组合中筛选出高产优质抗虫的杂交组合。

其次, 对 60 个组合的亲本一般配合力效应

(G_i, G_j) 及其效应之和 (G_{i+j}) 与组合特殊配合力 (S_{ij}) 进行逐步回归分析, 发现 9 个性状的 G_i, G_j 和 G_{i+j} 与特殊配合力 (S_{ij}) 的相关系数分别在 0~0.002 之间, 均未达到显著水平。表明供试亲本主要农艺性状、纤维品质性状的一般配合力与组合间特殊配合力不存在显著相关性。

表 2 亲本性状的—般配合力相对效应值

Table 2 The effects of general combining ability(EGCA) for 9 traits in parents

亲本	成铃数	铃重	衣分	子棉产量	皮棉产量	2.5%跨长	比强度	麦克隆值	伸长率
A_1	7.601	-5.665	5.8941	1.3076	7.2355	-0.006	-1.557	-1.62	2.558
A_2	-4.759	-1.013	-2.047	-5.796	-7.348	0.622	-3.762	0.216	1.815
A_3	-1.478	-7.166	-6.601	-8.594	-14.02	-0.063	0.12	-4.104	-1.733
A_4	-4.753	3.521	1.1371	-0.09	-0.824	1.573	4.167	1.296	0.825
A_5	-8.76	15.564	-3.442	5.143	1.9451	-1.433	4.167	-3.24	-1.815
A_6	-2.646	2.668	-4.753	-0.122	-4.491	1.269	10.2	-5.292	0.825
A_7	3.644	-3.486	4.2417	-0.051	4.4631	-0.615	-4.327	4.212	1.485
A_8	11.313	1.637	-3.612	13.453	9.5442	1.06	-3.616	1.944	-3.053
A_9	1.706	-2.544	1.1384	-0.637	0.3314	-0.595	-1.447	1.512	1.98
A_{10}	-1.868	-3.515	8.0438	-4.614	3.168	-1.813	-3.944	5.076	-2.888
B_1	-19.468	-0.029	0.3986	-19.08	-18.89	-3.385	-1.75	3.413	-4.01
B_2	1.783	-2.591	0.9937	-0.772	0.2273	-1.912	-2.876	0.497	0.644
B_3	5.398	-0.188	0.2111	5.3243	5.7301	0.405	-0.153	-0.086	2.772
B_4	8.846	1.295	-0.459	9.9844	9.855	2.608	3.478	-0.54	-0.842
B_5	-5.076	0.395	1.279	-4.881	-3.989	-0.302	1.662	-0.994	0.099
B_6	8.518	1.119	-2.424	9.4215	7.0622	2.585	-0.361	-2.289	1.337

2.4 遗传参数分析

为进一步阐明双亲及其互作效应对 F_1 性状的影响, 估算了各性状中各亲本基因型的 GCA 方差和 SCA 方差及其在 F_1 基因型总方差中的比重, 结果见表 3。从表 3 可知, 在铃重、衣分、2.5%跨长、比强度、伸长率 5 个性状的 F_1 基因型总方差中, GCA 方差所占的比重均在 70% 以上, 表明在这些性状中, 双亲的基因加性效应对 F_1 的性状形成起主导作用; 在子棉产量、皮棉产量性状的 F_1 基因型总方差中 SCA 方差所占的比重较大, 说明该性状中双亲的互作效应对 F_1 起重要作用。在 GCA 方差中父母本所占的比重因性状而异, 铃重、衣分、比强度、麦克隆值 4 个性状中母本

(P_1) 所占的比重较大, 说明母本基因型方差对 F_1 性状形成的贡献更大; 成铃数、子棉产量、皮棉产量、2.5%跨长 4 个性状中父本 (P_2) 所占比重较大, 说明父本对 F_1 性状形成的效应较大。

根据配合力方差分析结果, 进一步估算出 9 个性状的广义遗传力 (H_B^2) 和狭义遗传力 (H_N^2) (表 4)。由表可知: 2.5%跨长、比强度、麦克隆值的 H_B^2 分别为 47.25%、36.16%、37.67%, 而子棉产量、皮棉产量仅为 27.62%、25.63%, 表明纤维品质性状的广义遗传力普遍比产量性状的高。各性状的狭义遗传力中, 2.5%跨长、铃重、比强度较高, 而子棉产量、皮棉产量低。

表 3 主要性状的基因型方差及父母本及其互作对 F_1 各性状方差的贡献率

Table 3 Genotypical variances for 9 characters and the contribution ratio of the male, female and their interaction to the total variance of the characters in F_1 hybrids

性状	基因型方差(GV)			贡献率(CR)/%			
	VP_1	VP_2	VP_{12}	$(VP_1+VP_2)/V_T$	VP_1/V_T	VP_2/V_T	VP_{12}/V_T
成铃数	0.199	4.786	2.884	63.35	2.53	60.82	36.65
铃重	0.118	-0.004	0.044	71.93	74.55	-2.62	28.07
衣分	3.379	-0.039	0.038	98.87	100.00	-1.13	1.13
子棉产量	-13787.204	131204.820	159897.207	42.34	-4.97	47.31	57.66
皮棉产量	896.443	19234.849	22655.820	47.05	2.10	44.95	52.95
2.5%跨长	0.073	0.470	0.015	97.26	13.14	84.12	2.74
比强度	1.844	0.328	0.214	91.02	77.29	13.73	8.98
麦克隆值	0.025	0.006	0.015	66.95	54.70	12.24	33.05
伸长率	0.012	0.019	0.007	82.50	32.42	50.07	17.50

注: VP_1 、 VP_2 、 VP_{12} 和 V_T ($V_T = VP_1 + VP_2 + VP_{12}$) 分别表示母本、父本、父母本互作及 F_1 的总方差。

表4 主要性状的遗传力
Table 4 Heritability of 9 traits

遗传力	成铃数	铃重	衣分	子棉产量	皮棉产量	2.5%跨长	比强度	麦克隆值	伸长率
广义遗传力	27.44	46.36	25.53	27.61	25.62	47.25	36.16	37.67	22.69
狭义遗传力	17.38	33.34	25.24	11.69	12.06	45.96	32.91	25.22	18.67

3 小结与讨论

选育高产、优质、抗虫的强优势组合是当前棉花育种的主攻目标,利用转 Bt 基因抗虫棉和优良品种(系)杂交较易获得高优势组合^[3, 6, 12-13]。一般配合力是预测杂种优势的一个重要指标,用一般配合力较好的双亲杂交,容易选育出高产的杂种棉组合。前人研究表明,产量、品质性状的竞争优势与母本 GCA、父本 GCA 以及父母本 GCA 均值间均有极显著的正相关^[14-15]。本研究对 16 个亲本的 9 个主要性状一般配合力分析表明,一般配合力基因型效应在同一亲本各性状间以及同一性状各亲本间存在明显差异。在 10 个母本中,以遗棉 2 号(A₃)的产量性状一般配合力为最好;纤维品质性状中,以 AcalaSJ-3(A₄)的一般配合力为最好;在 6 个转基因抗虫棉父本中,以 9007(B₄)的产量性状一般配合力为最好,其余父本一般配合力表现较差。因此,初步认定遗棉 2 号(A₃)、9007(B₄)是配制杂交棉高产组合的优良亲本,AcalaSJ-3(A₄)是配制优质纤维杂交棉组合的优良亲本。

特殊配合力效应与杂种优势的关系甚为密切,SCA 高的出现强优势组合的可能性较大^[16]。本研究对 60 个组合的 9 个性状特殊配合力分析表明,同一亲本所配组合及同一组合不同性状间的特殊配合力差异很大,其中以组合 A₇×B₅ 最好,组合 A₁×B₁、A₂×B₂、A₃×B₂、A₆×B₁、A₈×B₂ 也表现较好,下一步将对这些组合进行对比试验,以期从中筛选出高产优质抗虫陆地棉杂交组合。同时,研究表明 GCA 与 SCA 之间没有明显的对应性,由两个 GCA 高的亲本所配的杂交种,其组合 SCA 不一定高。因此,在杂交组合选配时,广泛测交是一项必不可少的工作。只有在选择一般配合力高的亲本基础上,通过广泛测交,才能获得特殊配合力高的强优势组合。

通过对遗传参数研究表明,铃重、衣分、2.5%跨长、比强度、伸长率等性状中,基因加性效应对 F₁ 起主导作用;子棉产量、皮棉产量性状中,双亲的互作效应对 F₁ 起重要作用。这和前人的研究

结果相一致^[6, 17]。其中铃重、衣分、比强度、麦克隆值 4 个性状中母本所占的比重较大,说明母本基因型方差对 F₁ 性状形成的贡献更大;成铃数、子棉产量、皮棉产量、2.5%跨长等 4 个性状中父本所占比重较大,说明父本对 F₁ 性状形成的效应较大。因此,在抗虫杂交种亲本选配中,除了重视母本农艺性状、纤维品质性状选育外,转基因抗虫棉父本的纤维长度、产量性状的选择也不能忽视。

参考文献:

- [1] 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本相关性[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 74-78.
TANG Wen-wu, Xiao Wen-jun, Huang Ying-jin, et al. Study on heterosis and parent-offspring correlation between supper fibre varieties and insect-resistant transgenic varieties in upland cotton[J]. Cotton Science, 2006, 18 (2): 74-78.
- [2] 纪家华,王恩德,李朝晖,等. 陆地棉优异种质间的杂种优势和配合力分析[J]. 棉花学报, 2002, 14(2): 104-107.
JI Jia-hua, Wang En-de, Li Zhao-hui, et al. Analysis on the heterosis and combining ability among some cotton germplasms (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2002, 14(2): 104-107.
- [3] 靖深蓉,邢朝柱,袁有禄,等. 抗虫杂交棉的选育与利用研究[J]. 中国棉花, 1997, 24(7): 15-17.
JING Shen-rong, Xing Chao-zhu, Yuan You-lu, et al. Study on insect-resistant hybrid cotton breeding and utilization[J]. China Cotton, 1997, 24(7): 15-17.
- [4] 李汝忠,王景会,王宗文,等. 转 Bt 基因抗虫棉杂交后代的抗性表现与抗虫育种策略[J]. 山东农业科学, 2000(5): 7-10.
LI Ru-zhong, Wang Jing-hui, Wang Zong-wen, et al. Boll worm resistance performance of hybrid offspring and breeding strategy for Bt transgenic cotton [J]. Shandong Agri Sci, 2000(5): 7-10.
- [5] 刘海涛,郭香墨,夏敬源. 抗虫杂交棉 F₁ 代与亲本 Bt 蛋白表达量及抗虫差异性研究[J]. 棉花学报, 2000, 12(5): 261-263.
LIU Hai-tao, Guo Xiang-mo, Xia Jing-yuan, et al. Study on the differences of boll-worm-resistance and

- Bt protein content between transgenic Bt cotton F_1 hybrids and insect-resistant parent[J]. *Acta Gossypii Sinica*, 2000, 12(5): 261-263.
- [6] 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.
- [7] 陈旭升, 狄佳春, 刘剑光, 等. 棉花杂种优势应用研究现状及发展趋势[J]. *中国农业科技导报*, 2002, 4(3): 43-46.
CHEN Xu-sheng, Di Jia-chun, Liu Jian-guang, et al. The status and developmental trend of cotton heterosis research [J]. *Review of China Agri-Science and Technology*, 2002, 4(3): 43-46.
- [8] 马丽华, 许红霞. 转 Bt 基因棉卡那霉素田间快速检测法[J]. *中国棉花*, 2000, 27(12): 11-12.
MA Li-hua, Xu Hong-xia. The methods of Bt transgenic cotton kanamycin rapid detect in field [J]. *China Cotton*, 2000, 27(12): 11-12.
- [9] 翟虎渠, 曹树青, 唐运来, 等. 籼型杂交水稻光合性状的配合力及遗传力分析[J]. *作物学报*, 2003, 28(2): 154-160.
ZHAI Hu-qu, Cao Shu-qing, Tang Yun-lai, et al. Analysis on combining ability and heritability of photosynthetic characters in india hybrid rice [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 28(2): 154-160.
- [10] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
TANG Qi-yi, Feng Ming-guang. DPS data processing system for practical statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [11] 李汝忠, 沈法富, 王宗文, 等. 转 Bt 基因抗虫棉抗性遗传研究[J]. *棉花学报*, 2001, 13(5): 268-272.
LI Ru-zhong, Shen Fa-fu, Wang Zong-wen, et al. Study on the inheritance of bollworm resistance in transgenic Bt cotton [J]. *Cotton Science*, 2001, 13(5): 268-272.
- [12] 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.
- [13] 邢朝柱, 靖深蓉, 邢以华. 中国棉花杂种优势利用研究回顾和发展方向[J]. *棉花学报*, 2007, 19(5): 337-345.
XING Chao-zhu, Jing Shen-rong, Xing Yi-hua. Review and prospect on Cotton heterosis utilization and study in China [J]. *Cotton Science*, 2007, 19(5): 337-345.
- [14] 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*, 1989, 12(1): 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*, 1989, 12(1): 1-8.
- [15] 肖松华, 黄骏麒, 潘家驹, 等. 陆地棉芽黄品系和常规品种间杂种优势利用研究[J]. *棉花学报*, 1996, 8(2): 71-76.
XIAO Song-hua, Huang Jun-qi, Pan Jia-ju, et al. Study on the utilization of heterosis between the virescent strain and the commercial cultivar in upland cotton [J]. *Cotton Science*, 1996, 8(2): 71-76.
- [16] 秦素平, 陈于和, 刘世强. 低酚棉品种间杂种优势及配合力研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2000, 31(2): 158-161.
QIN Su-ping, Chen Yu-he, Liu Shi-qiang. Studies on heterosis and combining ability between glandless strains of cotton [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2000, 31(2): 158-161.
- [17] 刘芦苇, 祝水金. 转基因抗虫棉产量性状的遗传效应及其杂种优势分析[J]. *棉花学报*, 2007, 19(1): 33-37.
LIU Lu-wei, Zhu Shui-jin. Analysis of genetic effects and heterosis for yield and yield traits in transgenic insect resistant cotton (*G. hirsutum* L.) [J]. *Cotton Science*, 2007, 19(1): 33-37. ●