

新疆转 *Bt* 基因棉主要性状的配合力和杂种优势分析

刘丽, 余渝, 王旭文, 王娟, 孔宪辉* (新疆农垦科学院棉花研究所/农业农村部西北内陆区棉花生物学与遗传育种重点实验室/新疆兵团棉花遗传改良与高产栽培重点实验室, 新疆石河子 832000)

摘要 [目的]新疆是我国最大的棉花种植基地。转 *Bt* 基因抗虫棉能有效抵御棉铃虫灾害,其面积在新疆日益扩大。分析新疆自育陆地棉和转 *Bt* 基因抗虫棉的配合力和杂种优势可为快速、有效培育出适应新疆的高产、优质抗虫棉奠定基础。[方法]以 6 个转 *Bt* 基因抗虫棉品种(系)和 11 个不同来源的常规陆地棉品种(系)为亲本,按照 11×6 的 NC II 设计组配不完全双列杂交,得到 66 个杂交组合,分析杂交组合 10 个主要性状的配合力及遗传效应和杂种优势表现。[结果]同一亲本各性状间和同一性状不同亲本间的一般配合力效应值不同。[结论]母本 A7(丰凯 2002)和 A10(石 K14)在皮棉产量、籽棉产量上具有较高的一般配合力效应值,是较好的丰产品种;父本 B5(15-80K)和 B3(15-52K)在长度、比强度上具有较高的 GCA 效应值,是较好的品质品种;组合 A9×B2(三棉 9 号×石抗 126)、A10×B4(石 K14×112-17K)、A11×B2(66-9×石抗 126)、A8×B6(H10-2×16-9K)、A9×B1(三棉 9 号×金惠 2 号)和 A1×B6(FY11×16-9K)具有高产、优质的潜力;竞争优势分析发现籽棉产量、皮棉产量、单铃重、衣分、长度、整齐度和伸长率 7 个性状的竞争优势均为正向,其中以皮棉产量和籽棉产量的竞争优势最大,分别达到了 14.84% 和 16.46%。

关键词 陆地棉;主要性状;配合力;杂种优势;*Bt* 基因

中图分类号 S562 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)08-0044-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.08.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Combining Ability and Heterosis of Main Traits of Transgenic *Bt* Cotton in Xinjiang

LIU Li, YU Yu, WANG Xu-wen et al (Cotton Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science /Northwest Inland Region Key Laboratory of Cotton Biology and Genetic Breeding(Xinjiang), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/ Key Laboratory of Genetic Improvement and High Yield, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract [Objective] Xinjiang is the largest cotton planting region for China's cotton production. *Bt* transgenic cotton can effectively resist damage caused by *Helicoverpa armigera*. The planting area of *Bt* transgenic cotton is growing in Xinjiang. [Method] Combining ability and heterosis of upland cotton and *Bt* transgenic cotton of homebred were analyzed, in order to lay a foundation for breeding quickly and effectively, and we could have high yield and high quality insect-resistant cotton varieties which adapted to Xinjiang. As parents from six *Bt* transgenic cotton varieties (or lines) and eleven upland cotton strains, crosses were made according to NC II design of the incomplete diallel cross (11×6) to analysis the heterosis and combining ability of hybrid. [Result] The significant differences of GCA effect values in same traits among the different parents and also the same parents in different traits were found. [Conclusion] The female parents A7 (Fengkai 2002) and A10 (ShiK14) were better high-yield varieties, which had higher GCA effect values in lint yield and seed cotton yield. The male parent B5 (15-80K) and B3 (15-52K) were better quality varieties, which had higher GCA effect values in length and specific strength. The hybrid of A9×B2 (Sanmian 9×Shikang 126), A10×B4 (ShiK14 × 112-17K), A11×B2 (66-9×Shikang 126), A8×B6 (H10-2 × 16-9K), A9×B1 (Sanmian 9×Jinhui 2) and A1 ×B6 (FY11 × 16-9K) had potentiality of high-yielding and high quality. According to the analysis of competitive advantage, the competitive advantage of 7 traits were positive, such as seed cotton yield, lint yield, single boll weight, lint percentage, fiber length, fiber uniformity and fiber elongation, among which lint yield and seed cotton yield had the largest competitive advantage, which reached 14.84% and 16.46%, respectively.

Key words Upland cotton; Main traits; Combining ability; Heterosis; *Bt* genes

利用棉花杂种优势是近年来抗虫棉育种主要途径之一^[1-4]。而棉花杂种优势的利用关键在于高优势组合的选配,配合力分析则是比较亲本和预测杂种优势的重要方法^[5]。一般配合力主要反映 1 个亲本与其他亲本杂交组合的平均表现,是双亲的主效应;特殊配合力主要是 2 个亲本的杂交组合对双亲基因型平均表现的偏离,是双亲的互作效应^[6]。长期的育种实践证明,一般配合力是基因加性作用的表现,其遗传力较高,容易通过基因的重组实现一般配合力的累加,特殊配合力是由基因的显性和上位性作用决定的^[7]。

新疆转 *Bt* 抗虫棉历经了 20 多年的历史,实践证明转 *Bt*

基因抗虫棉对遏制棉铃虫的危害起到了重要作用,使得抗虫棉在新疆不推自广^[8],因此抗虫棉需求量很大。2019 年,新疆开展了转基因抗虫棉区试,这也预示着培育适应新疆的转基因抗虫棉新品种已迫在眉睫。研究发现,陆地棉具有高产、优质、早熟、抗逆性强等杂种优势,并且表现在产量、品质、生长发育、生理生化、亚细胞结构直至分子水平等各种层次上^[9];利用杂种优势可以大幅度提高棉花产量、改善纤维品质并增强抗病虫等逆境能力^[10];但因棉花主要经济性状均为数量性状,受微效多基因及环境影响,使得杂交棉性状表现极其复杂^[11]。为加快育种进程,选育出杂种优势强的抗虫杂交棉,笔者利用 6 个转 *Bt* 基因抗虫棉品种(系)为父本,11 个不同来源适应新疆的早熟陆地棉品种(系)为母本,采用 6×11 的 NC II 设计^[12-13],组配了 66 个杂交组合,分析了 10 个主要性状的配合力和遗传效应规律,以期为培育新疆早熟抗虫棉亲本的选择、杂种优势的鉴定提供依据。

1 材料与方法

1.1 亲本材料 6 个抗虫棉品种(系)(编号 B1~B6):金惠 2

基金项目 国家重点研发计划子课题(2017YFD0101601-02);兵团育种专项“新品种选育与种质资源创新(优质、机采杂交棉)”(2016AC027);兵团重点领域创新团队(2017CB011)。

作者简介 刘丽(1979—),女,江苏泗洪人,副研究员,博士,从事棉花遗传育种研究。* 通信作者,副研究,硕士,从事棉花遗传育种研究。

收稿日期 2020-08-28;修回日期 2020-09-11

号、石抗 126、15-52K、112-17K、15-80K、16-9K(自行转育的含 Bt 基因的抗虫棉品系);11 个常规品种(系)(编号 A1~A11):FY11、中 705、惠远 718、金垦 1042、Y13、Y14、丰凯 2002、H10-2、三棉 9 号、石 K14、66-9;CK 为新陆早 36 号。

2012 年夏季按 11(常规品种)×6(抗虫棉)的 NC II 设计组配不完全双列杂交,得到 66 个新组合。

1.2 田间试验与性状调查 田间试验于 2012—2013 年在新疆农垦科学院试验地进行。采用随机区组设计,双行区,行长 5 m,2 次重复,田间管理同大田。

收获前在试验小区随机选取棉株中部 10 个考种铃,测定单铃重(g)、百粒重(g)、衣分(%),采用混合棉样通过 HVI900 检测棉花品质,分别测定棉花纤维长度(纤维 2.5% 跨距长度)、整齐度(%)、断裂比强度(cN/tex)、伸长率和马克隆值。各试验小区分别收获计产(kg/区),测定小区的籽棉产量和皮棉产量。

杂种优势以 F_1 和 CK 分别代表杂种 1 代和对照性状的平均值,竞争优势 = $(F_1 - CK) \times 100\% / CK$ 。配合力测定参照

刘来福等^[13]的方法,采用固定模型进行分析。

1.3 数据分析 利用 Excel 2007 和 DPS 7.05 软件进行数据整理和配合力分析^[12]。

2 结果与分析

2.1 配合力效应分析

2.1.1 基因型方差分析。对 NC II 设计的 66 个组合的 10 个性状的方差和配合力效应进行分析(表 1)。组合中 10 个性状基因型间差异均达极显著水平,表明这些组合各性状之间存在着遗传差异,因此可在此基础上对材料进行配合力分析及其杂种优势研究。对亲本和组合配合力进一步分析,结果表明父本或母本间的 GCA 均方除整齐度和马克隆值外,其他性状均达显著水平,说明这些性状的遗传变异主要受加性基因控制;母本和父本互作效应均方中,衣分、整齐度、马克隆值、比强和伸长率都达到显著或极显著水平,说明这些性状除受加性基因控制外,还有非加性效应影响,其他性状非加性效应作用较小。

表 1 F_1 代 10 个性状亲本 GCA 及杂交组合 SCA 方差分析
Table 1 The parents GCA and cross combination SCA anova of 10 traits

| 性状 Traits | 区组 Block | 组合 Combination | 父本(P1) Male parent | 母本(P2) Female parent | 父本×母本 P1×P2 | 误差 Error |
|--------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-------------|
| 籽棉产量 Seed cotton yield | 0.028 5 | 0.399 1** | 0.587 9** | 1.441 1** | 0.171 9 | 0.108 6 |
| 皮棉产量 Lint yield | 0.000 6 | 0.095 2** | 0.288 9** | 0.247 1** | 0.045 4** | 0.022 5 |
| 单铃重 Single boll weight | 0.181 9 | 0.299 4** | 0.909 0** | 0.770 9** | 0.144 2 | 0.125 6 |
| 衣分 Lint percent | 4.123 4 | 3.190 2** | 14.944 8** | 5.245 6** | 1.603 6** | 0.665 2 |
| 百粒重 Hundred-grain weight | 0.059 4 | 2.440 8** | 16.571 3** | 2.580 2* | 0.999 9 | 0.753 5 |
| 长度 Fiber length | 0.215 2 | 1.306 2** | 6.229 5** | 1.306 9 | 0.813 8 | 0.586 1 |
| 整齐度 Fiber uniformity | 1.704 5 | 1.442 6** | 0.935 0 | 2.526 9 | 1.276 5* | 0.790 1 |
| 马克隆值 Micronaire value | 0.055 2 | 0.131 8** | 0.128 8 | 0.149 8 | 0.128 5** | 0.060 4 |
| 比强 Fiber strength | 1.241 2 | 3.026 5** | 6.709 8* | 5.499 8* | 2.163 6** | 1.030 9 |
| 伸长率 Fiber elongation | 0.001 2 | 0.094 2** | 0.255 9* | 0.106 5 | 0.075 6* | 0.044 0 |

注: * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示在 0.01 水平差异极显著

Note: * indicated significant differences at 0.05 level; ** indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.1.2 亲本一般配合力效应(GCA)分析。以考虑主要经济性状产量和品质为主来评价父本和母本,皮棉产量和籽棉产量以母本 A7 和 A8 的 GCA 效应值最高(表 2);单铃重 GCA 效应值最高的也是母本 A7;衣分以母本 A10 的 GCA 效应值为最高,其次为父本 B5;百粒重 GCA 效应值最高的是父本 B1 和母本 A7;长度 GCA 效应值以父本 B3 和 B4 最高;整齐度 GCA 效应值最高的为母本 A6 和 A5;比强度以父本 A5 的 GCA 效应值最高。母本 A7 在籽棉产量、单铃重和百粒重等性状的 GCA 效应值较高;母本 A10 在籽棉产量、单铃重、衣分等性状的 GCA 效应值较高,都为正值;父本 B5 和 B3 在衣分、比强度和长度等与品质相关的性状 GCA 效应值较高,都为正值。由此可以看出,在配制组合选择亲本时,母本 A7 和 A10 为较好的丰产品种;父本 B5 和 B3 为较好的品质品种。

2.1.3 各性状特殊配合力分析。对 66 个杂交组合的 10 个性状 SCA 效应值进行分析(表 3),供试组合 SCA 在不同性状上各不相同。SCA 效应值较高的组合有:皮棉产量和籽棉产量有 A5×B3、A9×B2、A10×B4 和 A11×B2,单铃重有 A10×

B3、A6×B5、A8×B2,衣分有 A7×B3、A10×B2、A6×B5,百粒重有 A9×B3、A9×B3、A10×B5,长度有 A8×B6、A5×B5、A2×B6,整齐度有 A10×B2、A8×B2、A6×B4,比强有 A4×B1、A1×B6、A8×B3、A2×B3、A4×B2,伸长率有 A2×B3;马克隆值最高的为 A9×B6,最低的为 A4×B6。从皮棉产量、籽棉产量、长度、比强等品质性状综合来看,高产、优质潜力的组合有 A9×B2、A10×B4、A11×B2、A8×B6、A9×B1 和 A1×B6。

2.2 遗传力及杂种优势分析 以新陆早 36 号为对照,对 NC II 不完全双列杂交设计的 66 个组合的 9 个性状平均竞争优势进行了分析(表 4)。10 个性状中,籽棉产量、皮棉产量、单铃重、衣分、长度、整齐度和伸长率 7 个性状的竞争优势为正向,其中以皮棉产量和籽棉产量的竞争优势最大,其次是单铃重和纤维长度。从组合的平均表现来看,各性状指标都优于对照。通过配合力方差分析可知,皮棉产量、籽棉产量、单铃重、衣分、百粒重、长度等性状的一般配合力方差较大,表明这些性状的一般配合力更重要。遗传力反映的是亲本性状的遗传给后代的一种能力,广义遗传力和狭义遗传力分析结

果显示,不同性状的遗传力差异很大。皮棉产量、籽棉产量、单铃重、衣分、百粒重、长度、比强度等性状的广义遗传力都大于40%,受加性效应影响较大,这些性状在早代选择的效

果比较好。狭义遗传力较低的性状受环境影响较大,如整齐度、马克隆值。

表2 亲本 GCA 效应值比较

Table 2 Comparison of GCA of parents in different traits

| 亲本 Parents | 籽棉产量 Seed cotton yield | 皮棉产量 Lint yield | 单铃重 Single boll weight | 衣分 Lint percent | 百粒重 Hundred- grain weight | 长度 Fiber length | 整齐度 Fiber uniformity | 马克隆值 Micronaire value | 比强 Fiber strength | 伸长率 Fiber elongation |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| B1 | 0.011 2 | 0.006 9 | 0.073 5 | 0.031 3 | 1.250 0 | -0.242 8 | 0.130 3 | 0.101 8 | -0.616 6 | -0.157 5 |
| B2 | -0.026 0 | -0.049 9 | 0.068 9 | -0.776 0 | 0.022 7 | -0.597 3 | -0.115 2 | -0.026 8 | -0.521 2 | -0.007 5 |
| B3 | 0.065 3 | 0.061 4 | -0.399 2 | 0.634 5 | -1.127 3 | 0.504 5 | 0.166 7 | -0.117 3 | 0.251 6 | 0.051 6 |
| B4 | -0.280 6 | -0.189 5 | 0.150 8 | -1.180 1 | 0.613 6 | 0.600 9 | -0.206 1 | 0.022 3 | 0.265 2 | 0.069 7 |
| B5 | 0.223 0 | 0.151 9 | -0.012 9 | 0.933 1 | -0.745 5 | 0.285 4 | -0.224 2 | 0.053 2 | 0.833 4 | 0.133 4 |
| B6 | 0.007 1 | 0.019 2 | 0.118 9 | 0.357 2 | -0.013 7 | -0.550 5 | 0.248 5 | -0.033 2 | -0.212 1 | -0.089 4 |
| A1 | -0.298 2 | -0.123 9 | -0.278 0 | 0.268 2 | -0.627 3 | 0.066 1 | -0.778 0 | -0.027 5 | 0.456 1 | 0.022 8 |
| A2 | -0.345 7 | -0.133 9 | -0.003 0 | 0.553 2 | -0.027 3 | -0.084 7 | 0.297 0 | -0.042 5 | 0.714 4 | 0.031 1 |
| A3 | 0.190 2 | 0.095 2 | -0.211 4 | 0.109 8 | 0.597 7 | 0.097 8 | 0.005 3 | 0.287 5 | -0.052 2 | 0.031 1 |
| A4 | -0.429 8 | -0.169 8 | -0.153 0 | 0.644 8 | -0.469 0 | -0.705 6 | 0.180 3 | 0.070 8 | -1.810 6 | -0.235 6 |
| A5 | 0.135 2 | 0.073 6 | -0.203 0 | 0.153 2 | -0.235 6 | 0.191 1 | 0.513 6 | -0.106 7 | -0.360 6 | -0.002 2 |
| A6 | 0.224 3 | 0.081 1 | 0.105 3 | -0.521 8 | -0.085 6 | -0.163 1 | 0.580 3 | -0.124 2 | -0.043 9 | -0.035 6 |
| A7 | 0.448 5 | 0.143 6 | 0.413 6 | -1.221 8 | 1.047 7 | -0.128 9 | 0.297 0 | 0.041 7 | -0.135 6 | -0.018 9 |
| A8 | 0.417 7 | 0.145 2 | 0.180 3 | -0.889 3 | -0.035 6 | 0.361 9 | -0.294 7 | -0.033 3 | 0.222 8 | 0.047 8 |
| A9 | -0.552 3 | -0.260 6 | 0.313 6 | -0.023 5 | -0.119 0 | -0.333 9 | -0.278 0 | -0.061 7 | 0.306 1 | -0.043 9 |
| A10 | 0.115 2 | 0.106 1 | 0.172 0 | 0.990 7 | -0.052 3 | 0.389 4 | -0.703 0 | -0.025 8 | 0.497 8 | 0.147 8 |
| A11 | 0.095 2 | 0.043 6 | -0.336 4 | -0.063 5 | 0.006 0 | 0.310 3 | 0.180 3 | 0.021 7 | 0.206 1 | 0.056 1 |

表3 不同组合 SCA 效应值比较

Table 3 Comparison of SCA of hybrids in different traits

| 组合 Combina- tions | 籽棉产量 Seed cotton yield | 皮棉产量 Lint yield | 单铃重 Single boll weight | 衣分 Lint percent | 百粒重 Hundred- grain weight | 长度 Fiber length | 整齐度 Fiber uniformity | 马克隆值 Micronaire value | 比强 Fiber strength | 伸长率 Fiber elongation |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| A1×B1 | -0.174 5 | -0.071 1 | 0.059 8 | 0.259 5 | 0.300 0 | 0.060 3 | 0.278 0 | -0.164 3 | -1.383 4 | -0.059 2 |
| A1×B2 | -0.242 3 | -0.114 3 | -0.185 6 | -0.038 2 | -0.222 7 | 0.119 8 | -0.626 5 | -0.290 7 | -0.228 8 | -0.159 2 |
| A1×B3 | 0.151 4 | 0.079 4 | -0.017 5 | 0.246 3 | -0.372 7 | -1.107 0 | 0.741 6 | 0.269 8 | 0.098 4 | 0.031 7 |
| A1×B4 | -0.012 7 | -0.044 7 | -0.117 5 | -0.929 1 | 0.486 2 | 0.881 6 | -0.835 6 | -0.084 8 | 0.984 8 | 0.113 6 |
| A1×B5 | 0.068 7 | 0.043 9 | 0.146 2 | 0.312 7 | -0.304 5 | -0.612 9 | 0.832 5 | 0.219 3 | -0.983 4 | -0.300 1 |
| A1×B6 | 0.209 6 | 0.106 6 | 0.114 4 | 0.148 6 | 0.113 7 | 0.658 0 | -0.390 2 | 0.050 7 | 1.512 1 | 0.372 7 |
| A2×B1 | 0.088 0 | 0.073 9 | -0.115 2 | 0.654 5 | -0.700 0 | -0.943 9 | 0.553 0 | -0.219 3 | -1.391 7 | -0.317 5 |
| A2×B2 | 0.190 2 | 0.030 7 | 0.039 4 | -1.163 2 | 0.127 3 | 0.545 6 | 0.198 5 | -0.040 7 | 0.512 9 | 0.032 5 |
| A2×B3 | 0.258 9 | 0.149 4 | -0.192 5 | 0.596 3 | 0.427 3 | -0.401 2 | -0.583 4 | 0.039 8 | 1.440 1 | 0.323 4 |
| A2×B4 | -0.395 2 | -0.179 7 | 0.307 5 | 0.030 9 | -0.313 8 | -0.082 6 | -0.110 6 | -0.014 8 | 0.426 5 | 0.055 3 |
| A2×B5 | 0.171 2 | 0.083 9 | 0.071 2 | -0.012 3 | -0.254 5 | -0.037 1 | 0.657 5 | 0.014 3 | -1.891 7 | -0.308 4 |
| A2×B6 | -0.312 9 | -0.158 4 | -0.110 6 | -0.106 4 | 0.713 7 | 0.918 8 | -0.715 2 | 0.220 7 | 0.903 8 | 0.214 4 |
| A3×B1 | -0.152 9 | -0.085 2 | 0.343 2 | -0.212 1 | 0.475 0 | 0.273 6 | 0.844 7 | 0.020 7 | 1.024 9 | 0.182 5 |
| A3×B2 | -0.365 7 | -0.163 4 | -0.252 2 | 0.215 2 | 0.002 3 | -0.496 9 | -1.059 8 | -0.020 7 | -1.820 5 | -0.267 5 |
| A3×B3 | 0.293 0 | 0.135 3 | 0.065 9 | 0.009 7 | -0.447 7 | 0.236 3 | -0.241 7 | -0.095 2 | -0.843 3 | -0.076 6 |
| A3×B4 | 0.113 9 | 0.021 2 | -0.134 1 | -0.535 7 | 0.511 2 | -0.305 1 | 0.431 1 | 0.055 2 | 0.343 1 | -0.094 7 |
| A3×B5 | 0.250 3 | 0.149 8 | 0.029 6 | 0.456 1 | -0.579 5 | -0.064 6 | -0.500 8 | 0.019 3 | 0.624 9 | 0.141 6 |
| A3×B6 | -0.138 8 | -0.057 5 | -0.052 2 | 0.067 0 | 0.038 7 | 0.356 3 | 0.526 5 | 0.020 7 | 0.670 4 | 0.114 4 |
| A4×B1 | 0.097 1 | 0.019 8 | 0.034 8 | -0.477 1 | -0.108 3 | -0.348 0 | -0.780 3 | 0.202 4 | 1.633 3 | 0.199 2 |
| A4×B2 | -0.020 7 | -0.073 4 | 0.139 4 | -1.429 8 | -0.181 0 | -0.268 5 | -0.084 8 | 0.236 0 | 1.437 9 | -0.000 8 |
| A4×B3 | 0.208 0 | 0.115 3 | 0.107 5 | 0.289 7 | 0.119 0 | -0.000 3 | 0.183 3 | 0.171 5 | -0.534 9 | 0.040 1 |
| A4×B4 | 0.063 9 | 0.061 2 | 0.157 5 | 0.559 3 | -0.022 1 | 0.233 3 | 0.806 1 | 0.101 9 | 0.451 5 | 0.222 0 |
| A4×B5 | 0.140 3 | 0.094 8 | -0.128 8 | 0.576 1 | 0.587 2 | 0.083 8 | -0.325 8 | 0.046 0 | -0.216 7 | -0.041 7 |
| A4×B6 | -0.488 8 | -0.217 5 | -0.310 6 | 0.482 0 | -0.394 6 | 0.299 7 | 0.201 5 | -0.757 6 | -2.771 2 | -0.418 9 |
| A5×B1 | -0.127 9 | -0.088 6 | -0.115 2 | -0.595 5 | 0.658 3 | -0.519 7 | -0.213 6 | -0.090 1 | 0.833 3 | 0.065 8 |
| A5×B2 | -0.605 7 | -0.286 8 | -0.210 6 | -0.103 2 | -1.014 4 | 0.204 8 | 0.631 9 | -0.001 5 | -0.112 1 | 0.115 8 |
| A5×B3 | 0.673 0 | 0.291 9 | -0.292 5 | -0.478 7 | -0.314 4 | -0.292 0 | -0.100 0 | 0.099 0 | -0.934 9 | -0.193 3 |
| A5×B4 | 0.153 9 | 0.067 8 | 0.157 5 | 0.010 9 | 0.044 5 | -0.353 4 | -1.227 2 | -0.035 6 | -0.948 5 | -0.211 4 |
| A5×B5 | -0.189 7 | -0.048 6 | 0.071 2 | 0.822 7 | -0.196 2 | 0.947 1 | 0.440 9 | -0.221 5 | 0.733 3 | 0.224 9 |

接下表

续表 3

| 组合 Combina- tions | 籽棉产量 Seed cotton yield | 皮棉产量 Lint yield | 单铃重 Single boll weight | 衣分 Lint percent | 百粒重 Hundred- grain weight | 长度 Fiber length | 整齐度 Fiber uniformity | 马克隆值 Micronaire value | 比强 Fiber strength | 伸长率 Fiber elongation |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| A5×B6 | 0.096 2 | 0.064 1 | 0.389 4 | 0.343 6 | 0.822 0 | 0.013 0 | 0.468 2 | 0.249 9 | 0.428 8 | -0.002 3 |
| A6×B1 | 0.268 0 | 0.103 9 | -0.073 5 | -0.320 5 | 0.108 3 | 0.464 5 | 0.719 7 | 0.017 4 | -0.233 4 | -0.100 8 |
| A6×B2 | 0.120 2 | 0.040 7 | 0.131 1 | -0.133 2 | 0.835 6 | -1.046 0 | 0.565 2 | -0.139 0 | -0.228 8 | -0.200 8 |
| A6×B3 | -0.386 1 | -0.200 6 | -0.600 8 | -0.468 7 | -1.114 4 | 0.157 2 | -0.766 7 | -0.253 5 | 0.198 4 | -0.109 9 |
| A6×B4 | -0.300 2 | -0.169 7 | 0.149 2 | -0.659 1 | 0.294 5 | 0.165 8 | 1.006 1 | 0.056 9 | 0.284 8 | 0.072 0 |
| A6×B5 | -0.003 8 | 0.068 9 | 0.412 9 | 1.267 7 | 0.403 8 | 0.451 3 | -1.025 8 | 0.241 0 | 0.116 6 | 0.258 3 |
| A6×B6 | 0.302 1 | 0.156 6 | -0.018 9 | 0.313 6 | -0.528 0 | -0.192 8 | -0.498 5 | 0.077 4 | -0.137 9 | 0.081 1 |
| A7×B1 | -0.086 2 | -0.003 6 | 0.218 2 | 0.634 5 | 0.825 0 | 0.230 3 | -0.797 0 | 0.191 5 | -0.241 7 | -0.067 5 |
| A7×B2 | -0.169 0 | -0.086 8 | 0.122 8 | -0.168 2 | -0.047 7 | -0.275 2 | -0.301 5 | -0.049 9 | 0.962 9 | 0.132 5 |
| A7×B3 | -0.095 3 | 0.091 9 | -0.209 1 | 2.441 3 | 0.602 3 | -0.397 0 | 0.716 6 | 0.280 6 | -0.559 9 | -0.176 6 |
| A7×B4 | -0.014 4 | -0.057 2 | -0.159 1 | -0.884 1 | -0.688 8 | 0.666 6 | 0.139 4 | -0.224 0 | -0.273 5 | 0.055 3 |
| A7×B5 | 0.237 0 | 0.006 4 | 0.004 6 | -1.802 3 | 0.670 5 | 0.422 1 | -0.392 5 | 0.185 1 | 0.908 3 | 0.191 6 |
| A7×B6 | 0.127 9 | 0.049 1 | 0.022 8 | -0.221 4 | -1.361 3 | -0.647 0 | 0.634 8 | -0.383 5 | -0.796 2 | -0.135 6 |
| A8×B1 | 0.059 6 | 0.069 8 | -0.448 5 | 0.757 0 | 0.858 3 | -0.030 5 | -0.555 3 | 0.336 5 | -1.900 1 | -0.084 2 |
| A8×B2 | 0.011 8 | 0.061 6 | 0.406 1 | 1.044 3 | -0.164 4 | -0.391 0 | 1.240 2 | 0.120 1 | -0.045 5 | 0.015 8 |
| A8×B3 | -0.324 5 | -0.234 7 | 0.374 2 | -1.471 2 | -0.714 4 | -0.047 8 | -0.791 7 | -0.104 4 | 1.481 7 | 0.156 7 |
| A8×B4 | 0.271 4 | 0.131 2 | 0.074 2 | 0.153 4 | 0.194 5 | -0.494 2 | -0.168 9 | -0.104 0 | -0.381 9 | 0.038 6 |
| A8×B5 | -0.062 2 | -0.025 2 | -0.162 1 | 0.045 2 | -0.396 2 | -0.248 7 | 0.999 2 | -0.084 9 | -0.350 1 | -0.225 1 |
| A8×B6 | 0.043 7 | -0.002 5 | -0.243 9 | -0.528 9 | 0.222 0 | 1.212 2 | -0.723 5 | -0.163 5 | 1.195 4 | 0.097 7 |
| A9×B1 | 0.054 6 | 0.035 6 | 0.218 2 | 0.171 2 | -0.208 3 | 0.655 3 | 0.478 0 | -0.110 1 | 0.666 6 | 0.107 5 |
| A9×B2 | 0.566 8 | 0.232 4 | -0.177 2 | -0.616 5 | 0.469 0 | 0.254 8 | -0.926 5 | -0.026 5 | 0.071 2 | 0.157 5 |
| A9×B3 | -0.049 5 | 0.011 1 | -0.209 1 | 0.878 0 | 1.169 0 | 0.708 0 | -0.558 4 | -0.001 0 | -0.251 6 | 0.048 4 |
| A9×B4 | -0.343 6 | -0.123 0 | 0.090 9 | 0.607 6 | -0.222 1 | -0.843 4 | 0.464 4 | -0.180 6 | -0.015 2 | -0.169 7 |
| A9×B5 | -0.182 2 | -0.089 4 | -0.095 4 | -0.020 6 | -0.962 8 | 0.717 1 | 0.732 5 | -0.121 5 | 0.466 6 | 0.166 6 |
| A9×B6 | -0.046 3 | -0.066 7 | 0.172 8 | -1.019 7 | -0.244 6 | -1.492 0 | -0.190 2 | 0.439 9 | -0.937 9 | -0.310 6 |
| A10×B1 | -0.157 9 | -0.096 1 | -0.090 2 | -0.463 0 | -0.675 0 | 0.012 0 | -0.147 0 | 0.054 0 | 0.574 9 | -0.084 2 |
| A10×B2 | 0.054 3 | 0.090 7 | -0.085 6 | 1.294 3 | -0.247 7 | 0.626 5 | 1.398 5 | 0.012 6 | -0.370 5 | -0.034 2 |
| A10×B3 | -0.122 0 | -0.060 6 | 0.882 5 | -0.111 2 | -0.797 7 | 0.674 7 | 0.866 6 | 0.168 1 | -1.143 3 | 0.006 7 |
| A10×B4 | 0.458 9 | 0.240 3 | -0.167 5 | 0.638 4 | 0.661 2 | 0.093 3 | -1.110 6 | 0.083 5 | 0.143 1 | -0.061 4 |
| A10×B5 | -0.284 7 | -0.226 1 | -0.353 8 | -1.809 8 | 1.070 5 | -0.811 2 | -1.742 5 | -0.582 4 | 0.674 9 | 0.124 9 |
| A10×B6 | 0.051 2 | 0.051 6 | -0.185 6 | 0.451 1 | -0.011 3 | -0.595 3 | 0.734 8 | 0.264 0 | 0.120 4 | 0.047 7 |
| A11×B1 | 0.132 1 | 0.041 4 | -0.031 8 | -0.408 8 | -1.533 3 | 0.146 1 | -0.380 3 | -0.238 5 | 0.416 6 | 0.157 5 |
| A11×B2 | 0.459 3 | 0.268 2 | 0.072 8 | 1.098 5 | 0.444 0 | 0.725 6 | -1.034 8 | 0.200 1 | -0.178 8 | 0.207 5 |
| A11×B3 | -0.607 0 | -0.378 1 | 0.090 9 | -1.932 0 | 1.444 0 | 0.468 8 | 0.533 3 | -0.574 4 | 1.048 4 | -0.051 6 |
| A11×B4 | 0.003 9 | 0.052 8 | -0.359 1 | 1.007 6 | -0.947 1 | 0.037 4 | 0.606 1 | 0.346 0 | -1.015 2 | -0.019 7 |
| A11×B5 | -0.144 7 | -0.058 6 | 0.004 6 | 0.164 4 | -0.037 8 | -0.847 1 | 0.324 2 | 0.285 1 | -0.083 4 | -0.233 4 |
| A11×B6 | 0.156 2 | 0.074 1 | 0.222 8 | 0.070 3 | 0.630 4 | -0.531 2 | -0.048 5 | -0.018 5 | -0.187 9 | -0.060 6 |

表 4 不同性状遗传力及杂种优势分析

Table 4 The heterosis and heredity of different traits

| 性状 Traits | 广义遗传力 Broad-sense heritability//% | 狭义遗传力 Narrow-sense heritability//% | 一般配合 力方差 Variance of CGA | 特殊配 合力方差 Variance of SCA | 竞争优势 Competitive advantage//% |
|--------------------------|---|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 籽棉产量 Seed cotton yield | 59.00 | 47.06 | 79.77 | 20.23 | 14.84 |
| 皮棉产量 Lint yield | 63.61 | 45.09 | 70.89 | 29.11 | 16.46 |
| 单铃重 Single boll weight | 43.39 | 39.21 | 90.36 | 9.64 | 5.49 |
| 衣分 Lint percent | 67.46 | 44.51 | 65.98 | 34.02 | 1.46 |
| 百粒重 Hundred-grain weight | 56.09 | 48.92 | 87.21 | 12.79 | -4.41 |
| 长度 Fiber length | 40.63 | 29.10 | 71.62 | 28.38 | 2.71 |
| 整齐度 Fiber uniformity | 30.54 | 9.16 | 29.99 | 70.01 | 0.85 |
| 马克隆值 Micronaire value | 37.21 | 1.85 | 4.98 | 95.02 | -3.70 |
| 比强 Fiber strength | 50.48 | 23.28 | 46.12 | 53.88 | -0.22 |
| 伸长率 Fiber elongation | 37.67 | 15.27 | 40.52 | 59.48 | 0.29 |

3 讨论

新疆转基因抗虫棉种植不推自广的现状证明,新疆急需一批高产、优质、抗虫的棉花新品种。新品种的选育首先要选择农艺性好、品质优的亲本。分析亲本的配合力和杂交组合的杂种优势可以有效地鉴定亲本和选配强优势组合。

郭小平等^[14-17]利用抗虫棉为亲本研究了抗虫棉的杂种优势,结果均表明抗虫棉杂种优势明显,产量和品质性状的竞争优势与母本一般配合力(GCA)、父本 GCA 以及父母本 GCA 均值间均呈极显著的正相关。利用棉花杂种优势是快速、有效利用转 *Bt* 基因棉的一条重要途径。

育种材料的一般配合力和特殊配合力是育种家的需求和实践经验的数学表达,通过配合力对育种材料进行分类是最有用的方法^[18]。该研究利用6个转Bt抗虫棉为父本,11个常规早熟陆地棉为母本,分析了亲本的一般配合力和66个组合的特殊配合力。结果表明,同一亲本各性状间和同一性状不同亲本间的GCA效应值存在明显差异,其中母本A7和A10在皮棉产量、籽棉产量方面具有较高的GCA效应值,为较好的丰产品种;父本B5和B3在长度、比强方面具有较高的GCA效应值,为较好的品质品种。同时还发现,GCA效应值与SCA效应值之间没有明显的对应性,GCA较高的亲本组配的杂交组合,其SCA不一定较高,GCA较低的亲本也有可能组配出高SCA的组合。例如,亲本A9和B2产量性状的GCA效应值较低,都为负值,但其组合A9×B2在籽棉产量和皮棉产量的SCA效应值都较高。所以,在配制杂交组合时,还是需要选择一般配合力较高的亲本基础上广泛测交,这样才能选育出SCA高的强优势杂交组合。通过特殊配合力分析,可以看出组合A9×B2、A10×B4、A11×B2、A8×B6、A9×B1和A1×B6在产量和质量性状上都具有较高的特殊配合力,有望在这些组合中选育出高产、优质、抗虫的棉花品种。

杂种优势是一种复杂的生物学现象,是生物体内各因素与环境条件综合作用的结果^[19-20]。而竞争杂种优势则是具有直接经济意义的衡量标准,即“有用杂种优势”^[5]。该研究竞争优势分析结果表明,籽棉产量和皮棉产量的竞争优势最高,分别达到了14.84%和16.46%,其次是单铃重,其竞争优势达到了5.49%。这表明优异早熟陆地棉品种与转基因抗虫棉配制的杂交种,F₁具有极强的产量优势,这与前人研究结果相同^[21-23]。

4 结论

该研究结果表明,母本A7(丰凯2002)和A10(石K14)在皮棉产量、籽棉产量上具有较高的GCA效应值,为较好的丰产品种;父本B5(15-80K)和B3(15-52K)在长度、比强上具有较高的GCA效应值,为较好的品质品种;组合A9×B2(三棉9号×石抗126)、A10×B4(石K14×112-17K)、A11×B2(66-9×石抗126)、A8×B6(H10-2×16-9K)、A9×B1(三棉9号×金惠2号)和A1×B6(FY11×16-9K)具有高产、优质的潜力;竞争优势分析发现,籽棉产量、皮棉产量、单铃重、衣分、

长度、整齐度和伸长率7个性状的竞争优势均为正向,其中以皮棉产量和籽棉产量的竞争优势最大,分别达到了14.84%和16.46%。

参考文献

- [1] 史加亮,李凤瑞,张东楼,等.抗虫棉品种(系)主要农艺性状配合力与遗传力分析[J].山东农业科学,2014,46(1):23-26.
- [2] 王娟,刘丽,孔宪辉,等.抗虫棉与早熟陆地棉品种间产量及纤维品质性状的配合力分析[J].西北农业学报,2012,21(2):64-67.
- [3] 戴茂华,刘丽英,吴振良.转Bt基因抗虫棉品种间杂种优势及配合力研究[J].华北农学报,2013,28(S1):74-78.
- [4] 唐文武,黄英金,吴秀兰.优异纤维品质陆地棉品种与转基因抗虫棉品种的配合力分析[J].安徽农业科学,2008,36(29):12647-12649.
- [5] 邢朝柱,郭立平,李威,等.棉花杂种优势利用研究十年成就和未来发展[J].棉花学报,2017,29(S1):28-36.
- [6] 纪莲蓬,张玉霞,纪家华,等.转基因棉花三系配合力及杂种优势分析[J].种子,2019,38(2):108-111.
- [7] 杨代刚.陆地棉双列杂交的遗传效应及表达谱分析[D].北京:中国农业科学院,2011.
- [8] 李雪源,王俊铎,梁亚军,等.新疆转基因抗虫棉发展回顾、现状及建议[J].中国棉花,2019,46(8):4-5,24.
- [9] 孙济中,刘金兰,张金发.棉花杂种优势的研究和利用[J].棉花学报,1994,6(3):135-139.
- [10] 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.
- [11] 李定国,张文英.陆地棉杂交种F₁代主要经济性状的杂种优势研究[J].湖北农学院学报,2004,24(4):253-257.
- [12] 朱军.遗传模型分析方法[M].北京:中国农业出版社,1996:66-75.
- [13] 刘来福,毛盛贤,黄远樟.作物数量遗传[M].北京:农业出版社,1984:206-284.
- [14] 郭小平,赵元明,吴家和,等.棉花Bt转基因品系的配合力和杂种优势表现[J].棉花学报,2006,18(5):304-308.
- [15] 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.
- [16] 唐文武,黄英金,吴秀兰,等.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[J].棉花学报,2009,21(5):415-419.
- [17] 韩洋铭,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.
- [18] 张世煌.论杂种优势利用的循环育种策略[J].作物杂志,2006(6):1-3.
- [19] HOECKER N, KELLER B, PIEPHO H P, et al. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development [J]. Theoretical and applied genetics, 2006, 112(3):421-429.
- [20] MEYER S, POSPISIL H, SCHOLTEN S. Heterosis associated gene expression in maize embryos 6 days after fertilization exhibits additive, dominant and overdominant pattern [J]. Plant molecular biology, 2007, 63(3):381-391.
- [21] 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.
- [22] 刘丽,孔宪辉,王旭文,等.早熟陆地棉主要性状配合力及杂种优势分析[J].新疆农业科学,2019,56(8):1428-1437.
- [23] 朱协飞.棉花复合杂交育成亲本主要产量性状的杂种优势及配合力分析[J].种子,2017,36(10):69-72.