

陆地棉细胞质雄性不育系创制与评价

刘赛男, 柯会锋, 张艳, 王志城, 王省芬, 孙正文, 吴立强, 李志坤, 张桂寅,
马峙英

(河北农业大学, 教育部华北作物种质资源研究与利用重点实验室, 河北保定 071001)

摘要: 棉花是世界重要的经济作物, 杂种优势利用是提高棉花产量、改善品质的重要途径。针对棉花杂种优势利用过程中亲本遗传基础狭窄的关键问题, 本研究以分别携带不育基因和恢复基因的材料 851A 和 ZB79185R 为供体亲本, 以陆地棉骨干亲本农大 372 和农大 20 为受体亲本创制不育系和恢复系新材料。针对不育基因的转育, 以 851A 为母本, 以农大 372 为父本进行杂交获得 F1 代, 之后与受体亲本连续进行 5 代回交, 并在每一回交世代检测花粉活性, 选取花粉活性最弱、育性最差的植株进行回交, 最后获得具有优良遗传背景的不育系新材料; 针对恢复基因的转育, 以 ZB79185R 为母本, 以农大 20 为父本进行杂交获得 F1 代, 之后与受体亲本连续回交 6 代, 结合高世代利用与恢复基因紧密连锁的 SSR 标记 NAU6466 和 COTO10 进行辅助选择, 选取含有目标标记且植株长相与受体亲本较一致的单株进行回交, 获得 BC6F1, 自交 1 代, 对获得的 BC6F2 进行花粉活力鉴定, 收取花粉活性最强、植株育性最好的单株作为恢复系新材料。本研究创制了具有优良遗传背景的新不育系和恢复系, 新材料的创制将拓宽棉花杂种优势利用的遗传基础, 为组配强优势杂交种奠定物质基础。

关键词: 陆地棉; 细胞质雄性不育系; 恢复系; 分子辅助选择

中图分类号: S562

Creation and evaluation of new materials for cytoplasmic male sterile line and restorer line in upland cotton

LIU Sainan, KE Huifeng, ZHANG Yan, WANG Zhicheng, WANG Xingfen, SUN Zhengwen, WU Liqiang, LI Zhikun, ZHANG Guiyin, MA Zhiying

(Hebei Agricultural University/North China Key Laboratory for Crop Germplasm Resources of Education Ministry, Baoding, 071001, China)

Abstract: Cotton is an important cash crop worldwide. Utilization of heterosis is an important way to improve cotton yield and quality. To solve the key problem of narrow genetic basis of parents in cotton heterosis utilization, the cotton materials 851A and ZB79185R carrying sterile genes and restorer genes respectively were used as donor parents, and cotton backbone parents Nongda 372 and Nongda 20 were used as recipient parents to create new materials of sterile line and restorer line. For developing new sterile line, the 851A served as the female for the initial cross while Nongda372, showing good genetic background, was used as male parent. This cross produced F1 progeny. For backcrossing, 'Nongda372' was used as the recurrent paternal parent to generate six successive backcross populations. For each generation, only plants with abortive stamens and relatively better agronomic traits were selected as maternal parents for further backcrossing. For developing new restorer line, the ZB79185R served as the female for the initial cross while Nongda20, showing good genetic background, was used as male parent. This cross produced F1 progeny. For backcrossing, 'Nongda20' was used as the recurrent paternal parent to generate six successive backcross populations. For the advanced backcross population, only plants with SSR markers that associated with restorer gene as well as relatively better agronomic traits were selected as maternal parents for further backcrossing. At last BC6F1 generation was self-cross to develop

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0101405)

作者简介: 刘赛男 (1995-), 女, 在读硕士, 棉花杂种优势利用

通信联系人: 马峙英 (1958-), 男, 教授、博导, 作物遗传育种. E-mail: mzhy@hebau.edu.cn

BC6F2, and the seedlings with strong pollen vitality and best fertility were selected as new restorer line. In this study, the new sterile line and restorer line with good genetic background were created, which will broaden the genetic basis for the utilization of heterosis and lay a material foundation for the developing strong heterosis hybrids.

Key words: Upland cotton; Cytoplasmic male sterial line; restorer lines; Marker assisted selection

0 引言

棉花是重要的经济作物，在世界经济发展占有不可替代的地位。杂种优势(heterosis)是生物界中存在的普遍现象，杂交棉的应用大幅度提高棉花产量、品质及抗性^[1-3]。棉花杂种优势利用途径有人工去雄、利用雄性不育系、化学杀雄、利用指示性状等，其中利用雄性不育系制种种子纯度高、制种方便省工、节约成本^[4]。20 世纪 60 年代美国的 Meyer 等^[5]首次育成亚洲棉(Ai)和异常棉细胞质(Bi)的雄性不育系，从此开始了对棉花雄性不育系的研究。

目前高优势杂交组合少制约着我国杂交棉的大面积推广，所以进一步研究和创制不育系恢复系新材料意义重大，品种遗传的多样性和丰富的种质资源是创建不育系和恢复系新材料的基础，分子标记是目前分析遗传多样性的重要手段之一，为选育高产优质高抗棉花品种和种质资源的收集保存提供重要依据^[6]。目前分子标记主要有 RFLP、RAPD、AFLP 和 SSR 等，SSR 具有可重复性强、共显性、数量多、多态性丰富、多等位性、对基因组覆盖性强等特点而受到育种家欢迎，在品种遗传多样性评价和鉴定中发挥重要作用^[7-8]。

本实验采用“定向转育”的设计方案，采用回交转育方法创建棉花不育系新材料；为了加快育种进程通过分子辅助选择技术，选择纯合植株创建棉花恢复系新材料，然后与优良不育系两系组合成高优势杂交组合，选育出高产优质杂交种。

1 材料方法

1.1 试验材料

陆地棉细胞质不育基因材料及陆地棉恢复基因材料：不育系（851A），基因型为 S(rr)；保持系（851B），基因型为 N(rr)；恢复系（ZB79185R），基因型为 S（RR）。上述材料由中国农业科学院棉花研究所邢朝柱研究员提供。

本研究中所选用的转育受体亲本由河北农业大学的棉花遗传育种研究室提供，分别为陆地棉综合性状优良品系（品 1-品 13），优异纤维品质品系（Y385-Y397）和骨干亲本（农大 372、农大 20），共计 28 个亲本，基因型记为 N(RxRx+background)。所有材料编号和名称见表 1。

表 1 不育系恢复系材料编号及材料名称
Table 1 CMS and restorer material number and material name

不育系材料编号	不育系材料名称	恢复系材料编号	恢复系材料名称
QZH-2	品 2A	QZH-31	SF-3R
QZH-4	品 4A	QZH-32	SF-6R

QZH-5	品 5A	QZH-33	SF-8R
QZH-6	品 6A	QZH-34	SF-9R
QZH-7	品 7A	QZH-35	SF-12R
QZH-8	品 8A	QZH-36	SF-14R
QZH-9	品 9A	QZH-52	SF-14R
QZH-10	品 10A	QZH-37	SF-15R
QZH-11	品 11A	QZH-38	SF-152R
QZH-12	品 12A	QZH-39	SF-161R
QZH-13	品 13A	QZH-40	SF-163R
QZH-14	品 14A	QZH-41	SF-187R
QZH-15	品 15A	QZH-42	SF-189R
QZH-16	品 1A	QZH-43	SF-194R
QZH-17	品 2A	QZH-44	SF-206R
QZH-18	品 3A	QZH-45	SP-280R
QZH-19	品 4A	QZH-46	SP-285R
QZH-20	品 5A	QZH-47	SP-290R
QZH-21	品 6A	QZH-48	SP-295R
QZH-22	品 7A	QZH-49	SP300R
QZH-23	品 8A	QZH-50	SP305R
QZH-24	品 9A	QZH-67B	SF-3R
QZH-25	品 10A	QZH-68	SF-6R
QZH-26	品 11A	QZH-69	SF-8R
QZH-27	品 12A	QZH-70	SF-9R
QZH-28	品 13A	QZH-71	SF-12R
QZH-29	品 14A	QZH-72	SF-14R
QZH-30	品 15A	QZH-67A	SF-14R
QZH-19(123)	品 4A	QZH-73	SF-15R
QZH-20(124)	品 5A	QZH-74	SF-152R
QZH-23(127)	品 8A	QZH-75	SF-161R
		QZH-76	SF-163R
		QZH-77	SF-187R
		QZH-42	SF-189R
		QZH-78	SF-194R
		QZH-79	SF-206R
		QZH-80	SP-280R
		QZH-81	SP-285R
		QZH-82	SP-290R

QZH-83	SP-295R
QZH-84	SP-300R
QZH-85	SP-305R
QZH-53	品 1R
QZH-54	品 2R
QZH-55	品 3R
QZH-57	品 6R
QZH-58	品 7R
QZH-59	品 9R
QZH-60	品 10R
QZH-61	品 11R
QZH-62	品 12R
QZH-63	品 13R
QZH-64	品 14R
QZH-65	品 15R
QZH-66	品 16R

1.2 转育方法

75 1.2.1 不育系新材料创制方法及技术路线

(1) 851A 不育系基因型 $S(rr)$ ，表现为细胞质不育；受体亲本基因型为 $N(RxRx+background)$ ，表现为胞质可育。首先将 851A 做母本，将受体亲本 $N(RxRx+background)$ 做父本，配置杂交组合获得基因型为 $S(rRx+background)$ 的杂交种子 F_1 ，其表现为不育胞质。

80 (2) 播种 F_1 代 $S(rRx+background)$ 种子，在开花时将 F_1 做母本，把受体亲本作为父本进行回交，得到基因型为 $\{S(rRx+background)+S(RxRx+background)\}$ 的回交种子 BC_1F_1 。

(3) 播种 BC_1F_1 代种子 $\{S(rRx+background)+S(RxRx+background)\}$ ，在开花时选每个材料中育性最差的最少 10 个单株 $S(rRx+background)$ 做回交，得到回交种子 BC_2F_1 。

85 (4) 播种每一回交世代种子，选育性最差的至少 10 个单株继续回交，获得下一代回交种子。依此，直至获得回交 6 代 BC_6F_1 材料，得到遗传稳定的不育系新材料。

上述回交转育各世代材料均在海南南繁育种中心温室进行，每年完成 3 个世代。2018 年 4 月收获含有不育基因的 BC_6F_1 高代材料 28 份。



图 1 不育系新材料创制技术路线

Figure 1 Clay line new material creation technology route

1.2.2 恢复系新材料创制方法及技术路线

(1) 含有恢复基因的供体亲本 ZB79185R, 基因型 $S(RR)$, 表现为细胞质不育; 受体亲本基因型为 $N(RxRx+background)$, 表现为胞质可育。首先将 ZB79185R 做母本, 将受体亲本 $N(RxRx+background)$ 做父本, 配置杂交组合获得基因型为 $S(RRx+background)$ 的杂交种子 F_1 , 其表现为不育胞质。

(2) 播种 F_1 代种子并作为母本, 将各受体亲本作为轮回亲本进行回交, 得到回交 BC_1F_1 种子。

(3) 播种 BC_1F_1 代种子, 苗期利用与恢复基因连锁的分子标记进行阳性植株筛选, 将入选的植株作为母本, 轮回亲本为父本进行回交, 得到回交种子 BC_2F_1 。

(4) 播种 BC_2F_1 代种子, 苗期利用与恢复基因连锁的分子标记进行阳性植株筛选, 将入选的植株作为母本, 轮回亲本为父本进行回交, 得到回交种子 BC_3F_1 。

(5) 按照上面分子标记辅助选择和回交恢复轮回亲本遗传背景, 最终回交 6 代获得遗传背景稳定的含有恢复基因的 BC_6F_1 材料。

(6) 播种 BC_6F_1 代种子, 自交 1 代, 获得遗传稳定的陆地棉恢复系新材料。

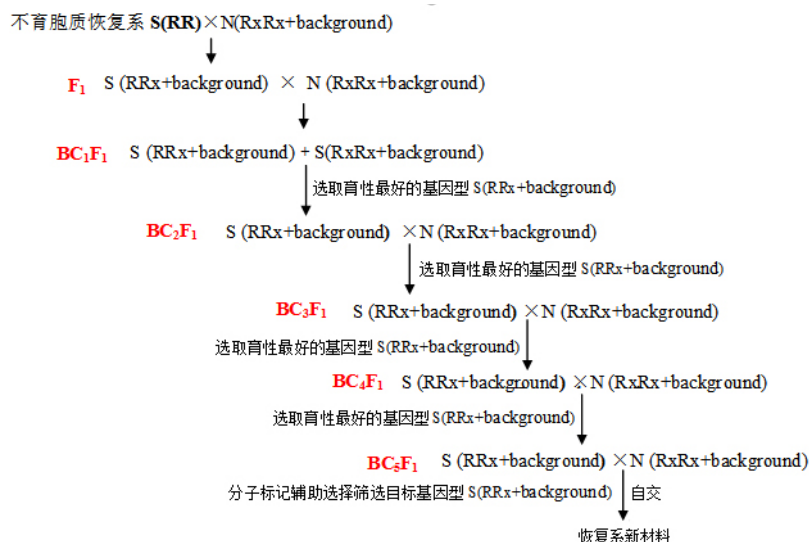


图 2 恢复系新材料创制技术路线

Figure 2 restores the new material creation technology route

1.2.3 分子标记辅助选择恢复基因

按照本研究室棉花微量 DNA 提取方法, 提取棉花幼苗 DNA, 用于分子标记检测。利用与恢复基因紧密连锁的分子标记 NAU6466 (5-3' : GCCTCATGTTTGTGTTTCTGTT/TCTTGAAACCTTTTCGGACTC^[9]引物扩增新恢复系材料 DNA。

1.2.4 不育系新材料田间育性调查

2017 年 5 月, 将创制的不育系新材料在河北农业大学棉花遗传育种实验田进行试验。7 月份, 植株开花时段, 选择盛花期上午十点之后进行, 既有足够的花可供调查, 又能保证花粉散出^[10-11]。每行调查 10 株, 每株调查 3 次, 每次调查至少 3 朵花, 调查不育性和不育度, 并分析统计结果。

1.2.5 恢复系新材料花粉观察与活性鉴定试验

2017 年 7 月中旬盛花期晴天上午 9-11 点取样, 每行取样 10 株(约占该行总株数 50%), 剥取自然花药放置在载玻片上, 滴 1-2 滴 1% 的 I₂-KI 染液到花粉量较多的材料上, 盖上盖玻片; 花粉量较少的材料在载玻片上滴 1-2 滴蒸馏水, 用镊子夹取少量花药放蒸馏水中, 将花粉粒洗出后滴 1-2 滴染液, 盖上盖玻片后在显微镜下观察花粉染色情况^[12]。

1.2.6 不育系、恢复系新材料农艺性状调查

将新材料种在棉花育种实验田, 5 月 1 日播种, 7 米行长, 行距 76cm, 株距 23cm, 7 米行长, 株距 23cm, 行距 76cm, 采用常规大田模式管理。收获期调查单株高、第一果枝节位、果枝数、铃数、烂铃数等重要农艺性状指标。

1.2.7 恢复系新材料纤维品质测定

大容量纤维测定仪 (USTER® HVI 1000) 测定棉花新材料马克隆值、上半部均长、强度等品质指标。每个材料独立重复三次, 利用 SPSS(19.0 版)分析软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 受体亲本农艺性状及其遗传基础解析

参照课题组前期完成的陆地棉重要农艺性状基于 illumina63K SNP 芯片的全基因组关联结果数据库, 进一步挖掘了本研究所选的农大 156、农大 20、2 个骨干亲本的遗传基础, 发现 2 个骨干亲本分别含有与产量显著关联的优异 SNP 为 41/62, 41/62; 与纤维品质显著关联的优异 SNP 为 17/46, 22/46, 与耐盐性状显著关联的优异 SNP。这些产量品质和抗逆的优异 SNP 的存在和分布规律揭示了三个骨干亲本的重要农艺性状的遗传基础。

2.2 细胞质雄性不育系的转育

本研究创制新不育系的不育基因来源亲本基因型为不育系 S(rr), 受体亲本基因型为 N(RxRx+background), 在杂交产生的 F₁ 代的基因型为 S(Rxr+background)。由于细胞质雄性

不育遗传是母系遗传，其育性受胞质控制而不受恢复基因之外的核基因控制，所以从第一次回交开始，每个回交世代严格筛选植株，选取不育性好，花器官完全败育且材料整齐一致、与轮回亲本性状相似高的 10 株继续回交并鉴定。如此连续进行 5 轮的回交，由于细胞质雄性不育的特性，后代植株全部为不育株，花器官败育彻底，无花粉粒或花粉粒干瘪。

2.3 分子标记辅助选择转育恢复基因

以胞质不育的供体亲本 ZB79185R（基因型为 S(RR)）为母本，将受体亲本 N(RxRx+background) 为父本，通过二者杂交，获得基因型为 S(RRx+background) 的杂交种子 F₁。由于 F₁ 的胞质不育，因此 F₁ 的育性即由细胞核基因所控制。在每次回交世代中植株的基因型分为 S(RRx) 和 S(RxRx) 两种，两种基因型都表现育性正常。为了进一步筛选出含有恢复基因的植株，本研究利用与恢复基因紧密连锁的 SSR 标记 NAU6466 和 COT010 对每个回交世代单株进行分子标记辅助选择，挑选出含有标记条带且植株长相与轮回亲本相似度高的 10 株作为下一代回交的入选单株。利用引物 NAU6466 对转育的 BC₆F₁ 的新恢复系材料 16 份，共计 1752 个单株进行恢复系基因型鉴定，PCR 扩增筛选到 415 株带有恢复基因分子标记的阳性植株（图 3）。

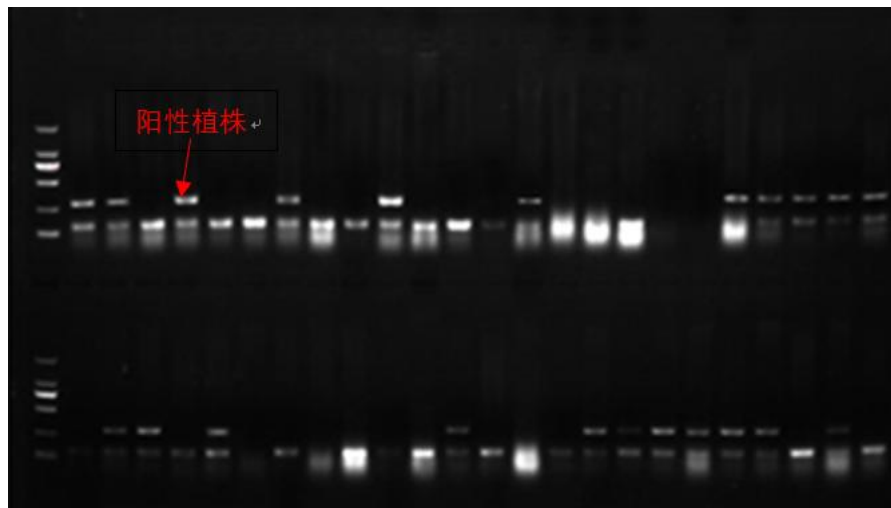


图 3 分子辅助标记检测恢复基因结果

Figure 3 Molecularly assisted marker detection restores gene results

2.4 不育系和恢复系新材料田间育性调查

通过调查，发现转育的 15 个不育系新材料不育株率为 100%，不育系如图 4 所示花丝短且柱头外露，花药瘦小且颜色浅；花粉粒没有或较少，无粉或少粉且花粉没有活性。新恢复系材料花器官如图 5 所示，花丝较长、花药饱满，花粉粒多花粉量大且花粉活性强。

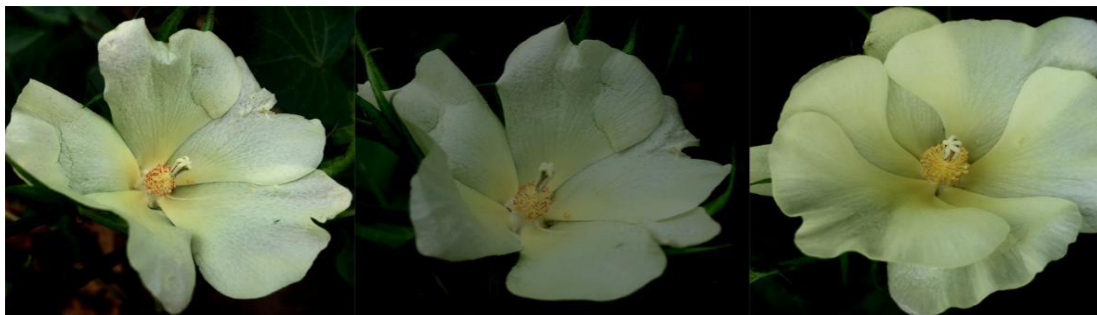


图 4 不育系新材料育性调查

Figure 4 Fertility survey of new material in sterile line

160



图 5 恢复系新材料育性调查

Figure 5 Restoration of new material fertility survey

2.5 花粉观察与活性鉴定结果分析

165

用花粉活力染色剂对不育系新材料花粉活力进行检测，结果如图 6 中图 B 所示花粉没有活性。对恢复系花粉活性进行检测，结果如图 6 中图 A 所示花粉活性强。

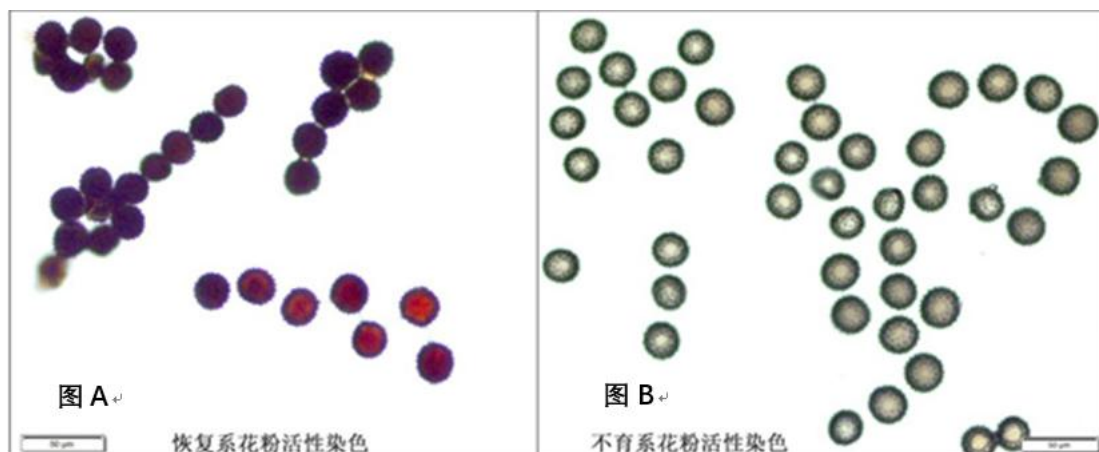


图 6 不育系恢复系新材料染色剂检测

Figure 6: Detection of new material stains in the sterile line of sterile lines

170

2.6 产量构成因素调查结果分析

2.6.1 不育系新材料产量构成因素调查结果分析

由表 3 统计分析出不育系新材料株高全部在 80~120cm 范围内；第一果枝节位大部分利于通风，不易产生病害；果枝数大部分较多有利于棉花高产；其中第一果枝节位的变异系数最大，说明有大的改良潜力；株高和果枝数的变异系数小，可成为稳定的种质资源收集利用。

175

由表 2 和表 3 综合分析得出 QZH-2、QZH-4、QZH-7、QZH-10、QZH-12、QZH-16、QZH-18、QZH-19、QZH-26 这些不育系新材料的产量性状相对优良，可为创制强优势组合提供基础。

表 2 不育系新材料材料主要产量构成因素的调查结果

Table 2 Survey results of main yield components of new material materials for sterile lines

材料	株高	第一果枝节位	果枝数
QZH-23(127)	90.3	7.2	12.4
QZH-6	92.0	6.9	11.1
QZH-24	92.2	7.9	11.6
QZH-25	95.8	5.7	13.6
QZH-21	96.0	6.1	12.3
QZH-11	96.4	5.8	12.2
QZH-9	97.0	6.1	11.8
QZH-19(123)	97.1	4.8	11.8
QZH-29	97.1	7.1	13.1
QZH-16	98.0	6.5	13.1
QZH-27	99.3	6.1	11.5
QZH-28	99.3	7.5	12.1
QZH-17	100.0	6.2	12.0
QZH-26	100.3	5.3	12.7
QZH-2	101.2	5.0	14.1
QZH-12	101.2	5.4	12.7
QZH-18	102.0	6.1	13.3
QZH-4	102.1	5.3	14.4
QZH-23	103.2	6.2	11.8
QZH-19	104.0	6.1	14.6
QZH-20(124)	104.2	4.9	11.4
QZH-10	104.8	5.7	12.6
QZH-8	105.2	6.2	13.1
QZH-15	107.2	6.4	11.2
QZH-7	107.2	7.4	12.4
QZH-22	108.1	5.1	13.0
QZH-30	108.7	5.5	10.7
QZH-13	109.5	6.0	13.8
QZH-14	109.6	5.5	14.5
QZH-5	112.1	5.3	14.0
QZH-20	119.3	6.5	14.6

表 3 不育系新材料主要产量构成因素的表现
Table 3 Performance of major yield components of new materials in sterile lines

不育系	最小值	最大值	均值	差值	标准偏差	变异系数 100%
株高(cm)	90.30	119.30	101.95	29.00	6.40	6.28
第一果枝节位	4.80	7.90	6.06	3.10	0.80	13.14
果枝数	10.70	14.60	12.69	3.90	1.11	8.75

190 2.6.2 恢复系新材料产量构成因素调查结果分析

由表 4 和表 5 综合分析得出大部分恢复系新材料的产量构成因素性状优良。QZH-32、QZH-34、QZH-36、QZH-38、QZH-39、QZH-42、QZH-43、QZH-44、QZH-46、QZH-49、QZH-71、QZH-80、QZH-82 材料的株高和第一果枝高度适宜，果枝数和铃数相对较多，烂铃数较少，这些材料的产量构成因素更有利于集高产优质抗病的恢复系棉花新材料的进一步选育。

195

表 4 恢复系新材料主要产量构成因素的调查结果
Table 4 Survey results of major yield components of new materials in the restoration system

材料	株高	第一果枝节位	果枝数	铃数	烂铃数
QZH-69	62.0	4.1	12.0	11.0	0.0
QZH-68	64.7	4.0	10.0	15.5	0.1
QZH-67B	69.2	6.3	10.8	10.2	0.0
QZH-70	70.0	3.8	12.3	27.3	0.3
QZH-67A	74.1	4.9	11.5	22.2	0.0
QZH-72	75.5	4.4	11.7	18.0	0.0
QZH-79	80.5	5.1	11.4	24.8	0.2
QZH-73	80.7	3.8	11.1	23.4	0.0
QZH-81	81.9	6.8	11.4	20.5	0.2
QZH-76	84.2	6.5	12.2	19.2	0.3
QZH-78	85.6	6.0	10.7	22.8	0.3
QZH-71	86.1	4.8	12.2	20.3	0.0
QZH-36	89.3	4.5	13.6	14.5	0.0
QZH-77	89.7	5.3	11.6	21.3	0.3
QZH-75	90.7	7.0	13.1	22.2	0.1
QZH-74	91.4	6.3	11.2	22.3	0.1
QZH-52	91.4	3.8	12.0	14.9	0.1
QZH-33	91.6	2.4	10.0	10.2	0.0
QZH-31	92.6	3.4	14.0	12.4	0.0
QZH-82	93.2	6.7	12.7	24.0	0.0
QZH-32	94.2	2.8	13.7	21.2	0.0
QZH-83	95.7	6.3	11.0	17.8	0.0
QZH-42	96.0	5.5	15.0	7.3	0.0
QZH-37	98.6	3.6	15.0	18.8	0.8
QZH-38	99.7	5.0	14.3	4.0	0.0
QZH-53	99.8	5.3	12.0	19.3	0.1

QZH-39	100.3	5.1	13.3	6.0	0.0
QZH-44	100.4	4.6	14.6	11.0	0.0
QZH-34	100.5	5.0	14.5	17.5	0.0
QZH-46	100.8	5.6	13.9	13.1	0.0
QZH-41	101.7	4.7	14.1	13.1	0.2
QZH-47	102.3	4.0	12.5	15.8	0.0
QZH-43	102.6	4.9	12.9	12.4	0.0
QZH-40	103.7	6.0	13.3	9.0	0.3
QZH-48	105.3	7.5	12.6	12.6	0.0
QZH-50	106.0	6.7	11.8	12.9	0.0
QZH-45	107.4	5.3	12.8	12.7	0.0
QZH-80	107.9	5.6	13.1	28.2	0.0
QZH-85	109.7	7.0	12.6	19.5	0.3
QZH-84	110.9	6.5	11.4	22.8	0.0
QZH-49	120.6	5.6	13.8	21.0	0.0
QZH-35	122.1	4.3	15.0	28.6	0.1

200

表 5 恢复系新材料主要产量构成因素的表现
Table 5 shows the performance of major yield components of new materials in the restoration system

恢复系	最小值	最大值	均值	差值	标准偏差	变异系数 100%
株高(cm)	62.00	122.08	93.94	60.08	13.21	14.06
第一果枝节位	2.40	7.50	5.41	5.10	1.22	22.50
果枝数	9.80	15.00	12.42	5.20	1.40	11.31
铃数	4.00	30.00	17.97	26.00	5.91	32.89
烂铃数	0.00	0.80	0.09	0.80	0.16	179.03

2.7 恢复系新材料纤维品质测定性状结果分析

利用大容量纤维测定仪（USTER® HVI 1000）测定棉花恢复系新材料品质，主要对以下三个品质指标进行统计结果如下面表 6，结果分析见下面表 7。

205 纤维长度：棉花恢复系新材料的纤维长度平均值为 29.19mm，纤维长度在 28mm~31mm 的新材料有 QZH-36、QZH-32、QZH-76、QZH-57、QZH-68 等 18 份占新材料的 45%，从此可见陆地棉种植资源的纤维长度大多可满足纺织工业需求。

210 纤维强度：棉花恢复系新材料的强度平均值为 29.22cN/tex，强度在 29.0cN/tex 以下的新材料有 QZH-85、QZH-82、QZH-57、QZH-37、QZH-72 等 26 份占新材料的 65%，强度在 30cN/tex 以上的新材料有 QZH-75、QZH-46、QZH-74、QZH-83、QZH-49 等 14 份占新材料的 35%，表明大部分品种只能纺中低支纱，小部分能纺高支纱，还需要进一步提高品种的纤维能力以满足纺织工业的需求。

马克隆：马克隆值和纤维成熟度和纤维细度有关，陆地棉马克隆值可分为 A、B、C 这三个等级，其中 A 级标准为 3.7~4.2，是马克隆值的最佳范围；B1 级 3.5-3.6 和 C1 级≤3.4，属于马克隆偏粗范围；B2 级 4.3-4.9 和 C2 级≥5.0，属于马克隆偏细范围。棉花恢复系新材

215 料的马克隆平均值为 4.69，马克隆值在正常范围 3.5~4.9 的新材料有 QZH-31、QZH-40、QZH-41、QZH-47、QZH-48 等 28 份占新材料的 70%。

220 由表 6 和表 7 综合分析得出恢复系新材料纤维品质整体优良，其中 QZH-31、QZH-32、QZH-36、QZH-40、QZH-41、QZH-44、QZH-46、QZH-47、QZH-48、QZH-49、QZH-50、QZH-74、QZH-78、QZH-80、QZH-53、QZH-54、QZH-55 这些材料的纤维长度都大于 28mm，纤维强度大于 28.0cN/tex，马克隆值都达到 B 级以上，是兼具长纤维、高强度、细度好的种质材料。

表 6 恢复系新材料主要品质性状的检测结果
Table 6 Test results of major quality traits of new materials in restoration

材料	纤维长度	强度	马克隆
QZH-31	30.56	31.69	4.80
QZH-32	28.09	29.90	4.03
QZH-33	26.37	27.32	3.80
QZH-35	27.55	27.43	5.05
QZH-36	28.07	29.35	4.02
QZH-52	26.61	28.82	4.45
QZH-37	24.79	26.55	4.33
QZH-39	29.20	33.71	5.36
QZH-40	29.54	31.37	4.42
QZH-41	31.35	31.91	4.63
QZH-43	29.83	26.74	4.86
QZH-44	30.04	32.91	4.88
QZH-45	31.49	32.78	3.17
QZH-46	32.92	30.18	4.27
QZH-47	31.51	30.92	4.49
QZH-48	30.36	32.44	4.44
QZH-49	30.86	30.81	4.42
QZH-50	29.86	28.53	3.43
QZH-67B	29.65	28.97	5.56
QZH-68	28.73	27.16	4.90
QZH-70	27.04	28.57	5.73
QZH-71	27.35	26.89	4.61
QZH-72	26.88	26.70	4.72
QZH-67A	29.22	28.37	5.09
QZH-73	27.70	27.02	5.34
QZH-74	29.54	30.39	4.81
QZH-75	29.46	30.14	5.01
QZH-76	28.10	29.59	5.12
QZH-78	28.94	28.80	4.51

QZH-79	29.45	28.30	5.06
QZH-80	31.38	32.01	4.06
QZH-81	31.62	27.74	4.85
QZH-82	31.22	26.09	4.59
QZH-83	27.44	30.79	4.63
QZH-84	30.14	27.00	5.02
QZH-85	28.97	25.31	5.03
QZH-53	28.98	28.33	4.92
QZH-54	29.82	32.57	4.86
QZH-55	30.20	29.41	4.82
QZH-57	28.49	26.36	4.80

225

表 7 恢复系新材料主要品质性状的表现
Table 7 shows the performance of major quality traits of new materials in restoration

	最小值	最大值	均值	差值	标准偏差	变异系数 100%
马克隆	3.17	5.73	4.69	2.56	0.51	10.90
纤维长度(mm)	24.79	32.92	29.19	8.13	1.66	5.68
强度(cN/tex)	25.31	33.71	29.22	8.40	2.16	7.38

3 结论

230

研究棉花杂交种对棉花的发展意义重大，第一省时省工省去了人工去雄的步骤，制种效率高的同时又更快更好地保持了杂交种种子的纯度；第二不育系恢复系新材料材料的匮乏制约着杂交种制种的发展，所以培育出新材料是解决棉花杂交种发展的重要突破口；第三棉花不育系杂种一代能够复合抗病，既高产又优质，所以创制不育系恢复系新材料可以更好地提高棉花品质产量培育出优良棉花品种。

235

回交育种是改良品种的重要手段，目前分子辅助标记选择在回交育种中应用越来越多。传统育种培育一个优良品种需要花费时间太长，难以跟上现在品种更新换代的速度。分子辅助标记选择可以加快育种进程，不受环境和作物生长状况限制，借助分子标记锁住目标基因；其次利用分子标记可跟踪目标基因和附近基因的重组，减轻不利性状连锁的累赘；还可以使后代群体迅速恢复轮回亲本的遗传背景。本研究通过分子标记辅助选择筛选到 415 株带有恢复基因分子标记的阳性植株，大大加快了选育优良恢复系新材料的进程^[13-17]。

240

通过对农艺性状和品质性状以及遗传基础的调查选择优异品种作为本实验的受体材料。本实验采用定向转育的设计方案培育新材料组配强优势组合，方便简便的同时节约了大量劳动力；使用分子辅助标记技术检测恢复基因，精确同时加快了育种进程；通过田间育性鉴定和室内花粉活性鉴定进一步筛选目标品种；最后对新材料产量构成因素和品质性状进一步分析评价，筛选出产量构成因素优良的 QZH-2、QZH-4、QZH-7、QZH-10、QZH-12、QZH-16、QZH-18、QZH-19、QZH-23 不育系新材料和产量构成因素与品质性状均为优良的 QZH-32、

245 QZH-36、QZH-44、QZH-46、QZH-49、QZH-80 的恢复系新材料，为组配强优势组合提供了种质资源基础。

[参考文献] (References)

- 250 [1] Fu D, Xiao M, Hayward A, et al. What is crop heterosis: new insights into an old topic.[J]. Journal of Applied Genetics, 2015, 56(1):1.
- [2] Chen Z J. Molecular mechanisms of polyploidy and hybrid vigor[J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(2):57.
- [3] Chen Z J. Genomic and epigenetic insights into the molecular bases of heterosis.[J]. Nature Reviews Genetics, 2013, 14(7):471.
- 255 [4] 李蒙恩等.棉花三系的选育与配套研究[J].新疆棉花论文集, 1994,107-113.
- [5] Meyer V G, Meyer J R. Cytoplasmically controlled male sterility in cotton[J]. CropSci.,1965,5(5):444-448.
- [6] 贾继增.分子标记种质资源鉴定和分子标记育种[J].中国农业科学,29(4):1-10.
- [7] Powell W, Machray G C, Provan J. Polymorphism revealed by simple sequence repeats [J]. Trends in Plant Science, 1996, 1: 215-222
- 260 [8] Varshney R K, Graner A, Sorrells M E Genetic microsatellite markers in plants: features and applications [J]. Trends in Biotechnology, 2005, 23, 48-55
- [9] 曹秀霞,哈克尼西棉细胞质雄性不育恢复基因 SSR 标记定位及利用[D]. 2012.
- [10] 张文龙, 陈志伟, 杨文鹏, 等. 分子标记辅助选择技术及其在作物育种上的应用 [J]. 种子, 2008, 27(4): 39-43.
- 265 [11] 汤继华, 胡彦民, 付志远等. 一种新型玉米温敏核雄不育系的发现、鉴定及遗传分析.[J] 中国农业科学, 2007, 40(5): 889-894.
- [12] Zhang J F, Stewart J McD. CMS-D8 restoration in cotton is conditioned by one dominant gene[J]. Crop Sci., 2001a, 41: 283-288.
- [13] 祝丽英, 陈景堂, 黄亚群等. 一个玉米细胞质雄性不育系的鉴定及遗传分析.[J]中国农业科学, 2012,45(9): 1676-1684.
- 270 [14] 刘士平, 李信, 汪朝阳, 等. 利用分子标记辅助选择改良珍汕 97B 的稻瘟病抗性 [J]. 植物学报, 2003, 45(11): 1346-1350.
- [15] 林荔辉, 陈志伟, 张积森, 等. 利用回交和 MAS 技术改良珍汕 97B 的白叶枯病抗性 [J]. 福建农林大学学报, 2004, 33(3): 280-283.
- 275 [16] 邓其明, 王世全, 邓爱萍, 等. 利用分子标记辅助育种技术选育高抗白叶枯病恢复系 [J]. 中国水稻科学, 2006, 20(2): 153-158.
- [17] 张艳, 李志坤, 吴立强,等. 棉花抗黄萎病种质资源创新和抗病基因克隆[J].中国棉花学会年会, 2011.