

优质棉中棉所 127 相关杂交分离群体纤维产量和品质性状遗传变异分析

张小微^{1,2}, 王晓宇², 葛群², 龚举武^{1,2}, 李俊文², 刘爱英², 巩万奎², 商海红²,
潘境涛², 邓晓英², 范森森², 石玉真², 陈全家¹, 袁有禄^{1,2}

(¹新疆农业大学农学院 / 棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830000; ²中国农业科学院棉花研究所 / 棉花生物学国家重点实验室 / 农业部棉花生物学与遗传育种重点实验室, 河南安阳 455000)

摘要: 为了进一步揭示棉花优质品种的纤维产量和品质性状之间的遗传关系, 筛选纤维品质突出的优异材料, 本研究以优质品种中棉所 127 为父本, 与高产品系 sGK 中 156 为母本杂交, 构建 F₂ 和 F_{2,3} 分离大群体, 对分离群体的纤维产量与品质进行初步评价分析。结果表明 F₂ 和 F_{2,3} 世代中铃重、衣分、纤维上半部平均长度、断裂比强度、马克隆值、伸长率和整齐度性状均呈正态分布, 表现双向超亲分离, 群体内存在丰富的遗传变异, 纤维上半部平均长度的超高亲比例分别为 61.38% 和 69.55%, 断裂比强度的超高亲比例分别为 42.12% 和 61.00%, 铃重的超高亲比例分别为 41.31% 和 28.43%。2 个分离世代纤维上半部平均长度和断裂比强度呈现出极显著正相关, 衣分与纤维上半部平均长度和断裂比强度这 2 个主要纤维品质性状呈极显著负相关, 表明同步对纤维产量和品质进行改良具有一定的难度。筛选出同时在 F₂ 和 F_{2,3} 中断裂比强度大于 38.00 cN/tex 的优异材料 10 个, 且纤维上半部平均长度均大于 31.00 mm。本研究为棉花纤维产量和品质 QTL 挖掘及分子聚合育种等储备了大量的基础材料。

关键词: 优质棉; 品质性状; 产量性状; 变异分析

Genetic Variation Analysis of Fiber Yield and Fiber Quality Traits in Cotton Variety CCRI127 with Excellent Fiber Quality

ZHANG Xiao-wei^{1,2}, WANG Xiao-yu², GE Qun², GONG Ju-wu^{1,2}, LI Jun-wen², LIU Ai-ying²,
GONG Wan-kui², SHANG Hai-hong², PAN Jing-tao², DENG Xiao-ying²,
FAN Sen-miao², SHI Yu-zhen², CHEN Quan-jia¹, YUAN You-lu^{1,2}

(¹ College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University/Engineering Research Centre of Cotton, Ministry of Education, Urumqi 830000; ² Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Cotton Biology/Key Laboratory of Biological and Genetic Breeding of Cotton, Ministry of Agriculture, Henan Anyang 455000)

Abstract: To decipher the genetic interaction of the fiber yield with quality-related traits in high-quality cotton varieties and screen elite lines with higher fiber quality, several traits have been measured in F₂ and F_{2,3} populations, derived from variety CCRI127 with elite fiber quality crossing with sGK line Zhong 156 with high

收稿日期: 2021-02-04 修回日期: 2021-03-05 网络出版日期: 2021-03-18

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210204001>

第一作者研究方向为棉花分子育种, E-mail: 569525772@qq.com

通信作者: 陈全家, 研究方向为棉花遗传育种, E-mail: chqjia@126.com

袁有禄, 研究方向为棉花分子育种, E-mail: yuanyoulu@caas.cn

基金项目: 国家自然科学基金 (32070560); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0100306); 中央级基本科研业务费专项 (1610162020040904); 农业科技创新工程 (CAAS-ASTIP-2016-ICR); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (1610162021044)

Foundation projects: National Natural Science Foundation of China (32070560), National Key Research and Development Project (2016YFD0100306), Central-level Basic Scientific Research Operation Fee Special (1610162020040904), Agricultural Science and Technology Innovation Project (CAAS-ASTIP-2016-ICR), Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (1610162021044)

yield. Statistical analysis showed a normal distribution in traits including boll weight, lint percentage, upper half mean fiber length, fiber strength, micronaire, elongation and fiber uniformity. The transgression separation in populations if compared to both parents suggested abundant genetic variations. The ratios over the super high parent were 61.38% and 69.55% for average length of upper part of fiber in F_2 and $F_{2,3}$, 42.12% and 61.00% for fiber strength, and 41.31% and 28.43% for boll weight. A significant positive correlation between the average length of the upper half and fiber strength, and a significant negative correlation between lint percentage and fiber quality traits, including the average length of the upper half and fiber strength were observed, implying antagonistic on fiber yield and fiber quality. Ten individuals with fiber strength higher than 38.00 cN/tex in F_2 and $F_{2,3}$ generations were selected, showing more than 31.00 mm on the average length of the upper half. Collectively, this study provided elite materials for the quantitative trait locus (QTL) mapping for fiber yield and fiber quality, and molecular breeding by stacking multiple elite genes.

Key words: excellent fiber quality cotton; fiber quality traits; fiber yield traits; variation analysis

棉花是我国重要的经济作物,在世界上也是重要的天然纤维来源^[1]。棉花有4个栽培种(陆地棉、海岛棉、亚洲棉和非洲棉),陆地棉因其产量高、适应性广等特点在世界范围内广泛种植,其总产量占全球棉花总产量的95%以上,也是我国最主要的栽培种^[2]。棉花的产量和纤维品质性状为数量性状,受气候条件、采收时间等外部环境影响大,且衣分与纤维上半部平均长度和断裂比强度存在遗传上的负相关性,难以在提升棉花产量的同时提高纤维品质,对此无数棉花育种工作者在多个方向进行了探索,希望能够达到同步改良棉花产量和品质性状的目的^[3-10]。孙振纲等^[11]分析了27个陆地棉种质的农艺性状,发现纤维品质性状变异较农艺性状变异小。尹会会等^[12]分析了134份国外陆地棉种质的主要品质与农艺性状,发现各个材料间霜前衣分的遗传多样性指数最高,马克隆值的变异系数最大。林忠旭等^[13]以DH962×冀棉5号 $F_{2,3}$ 家系为分析群体,发现衣分与纤维上半部平均长度、断裂比强度和整齐度存在极显著相关性。

棉花的纤维品质性状如纤维上半部平均长度、断裂比强度、马克隆值等直接影响纺织物的染色均匀度、成纱强力、纺纱支数高低以及纺纱工艺流程等^[14]。随着人民生活水平的提高及纺织工业的不断发展与进步,棉纺织企业的装备和技术得到不断的更新,纱线质量水平也得到大幅度提高,特别在高支纱上,正在向高强、高性价比方向转变,因此棉纺织企业对原棉的质量要求也不断提高,市场需要更强、更细、更整齐的棉花纤维^[15-16]。而我国棉花品种纤维品质相对较为单一,与国外优质棉相比还存在着断裂比强度偏低、细度较粗等问题,根据2017/2018年度中国棉花质量分析报告(2017/2018年度即为2017

年9月1日至2018年8月31日),全国细绒棉平均纤维上半部平均长度为29.00 mm,断裂比强度平均为28.03 cN/tex,马克隆值在3.50~3.60和4.30~4.90之间的比例共占比64.47%;在全国棉花中,纤维上半部平均长度为28.00~29.00 mm的中长棉占82.69%,断裂比强度为26.00~28.90 cN/tex的中强棉花占62.06%,难以全面满足当今市场的不同需求,尤其纤维上半部平均长度大于30.00 mm,断裂比强度大于33.00 cN/tex,马克隆值为3.80~4.50,适合纺40~60支纱以上的高品质棉^[17-21]。

因此,本研究通过对高产、抗虫、纤维品质较好的品系sGK中156与优质棉中棉所127杂交构建的 F_2 和 $F_{2,3}$ 群体的纤维品质与产量表型数据的遗传变异分析,为棉花产量和品质性状QTL挖掘及分子聚合育种等储备大量的基础材料。

1 材料与方法

1.1 群体构建

以自育的高产、抗虫、纤维品质较好的sGK中156为母本(P_1),以河南省(豫审棉20200003)和四川省(川审棉20200001)审定的中棉所127^[22]为父本(P_2)杂交构建分离群体。其中,中棉所127纤维品质优异,纤维上半部平均长度为32.57 mm,断裂比强度为34.03 cN/tex,马克隆值为4.49。2017年在河南安阳中国农业科学院棉花研究所试验农场种植亲本,配置杂交组合 F_1 ,2017年10月将 F_1 种植海南三亚自交加代,2018年在河南安阳种植 F_2 单株1041个,2019年在河南安阳获得1041个 $F_{2,3}$ 家系。

1.2 田间试验

2017年4月在河南安阳中国农业科学院棉花

研究所试验农场种植亲本材料各 1 行, 杂交获得 F_1 , 2017 年 10 月将 F_1 在海南三亚种植 2 行并严格自交。2018 年在河南安阳种植亲本和 F_1 各 2 行, 严格自交得到的 1041 个 F_2 单株种植 40 行, 行长 8 m, 行距 0.8 m, 株距 0.25 m。2019 年 4 月在河南安阳种植 $F_{2,3}$ 株行, 亲本种植 2 行, 株距 0.25 m, 行长 5 m, 行距 0.8 m, 且每隔 20 行种植 1 行中棉所 60 作为对照。肥水管理等同大田常规管理。

1.3 产量和纤维品质性状调查

F_2 世代以单株为单位收取全部自交铃, $F_{2,3}$ 世代以株行(系)为单位, 分别收取中部 30 铃, 晒场通风晾晒后, 考查铃重、衣分等产量性状; 纤维品质性状统一在农业农村部棉花品质监督检验测试中心检测 (HVICC 校准), 采用 HFT9000 系列的纤维检测仪测定纤维上半部平均长度、整齐度、马克隆值、伸长率和断裂比强度 5 项指标。

1.4 数据分析

利用 MS Excel 2019、SPSS 24.0 和 Origin 2019 对各群体的表型数据进行统计分析、相关性分析及图表的制作。

2 结果与分析

2.1 亲本及后代群体纤维产量和品质性状表型值分析

通过对亲本及 F_2 、 $F_{2,3}$ 群体的纤维产量和品质数据分析(表 1、图 1), 高产品系 sGK 中 156 的衣分性状在 2 年均大于中棉所 127, 平均相差 2.04%, 中棉所 127 的铃重、纤维上半部平均长度、断裂比强度均大于高产品系 sGK 中 156, 分别平均相差 0.37 g、3.20 mm 和 5.55 cN/tex。表明 2 个亲本的产量和纤维品质性状在 2 年不同环境中的表现优异且较为稳定, 是理想的亲本材料。

表 1 亲本及后代群体纤维产量和品质性状的统计分析

Table 1 Statistical analysis of fiber yield and fiber quality traits in two parents and populations

性状	年份	亲本		群体									
		Parents		Population									
Traits	Years	P ₁	P ₂	世代 POP	样本数 Sample size	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Average	标准差 SD	偏度 Skew	峰度 Kurt	变异系数(%) CV
铃重(g) BW	2018	5.32	5.64	F_2	1030	3.59	7.74	4.15	5.55	0.64	0.32	0.60	11.53
	2019	5.24	5.66	$F_{2,3}$	1041	4.30	6.67	2.37	5.46	0.35	-0.10	0.03	6.40
衣分(%) LP	2018	40.44	38.66	F_2	1040	26.43	42.41	15.98	35.48	2.14	-0.19	0.37	6.04
	2019	44.63	42.34	$F_{2,3}$	1039	32.76	45.75	12.99	40.28	1.90	-0.36	0.75	4.71
纤维上半部平均长度(mm) FL	2018	27.70	31.40	F_2	1041	27.60	35.60	8.00	31.60	1.10	-0.10	0.04	3.48
	2019	28.20	30.90	$F_{2,3}$	1041	28.00	35.90	7.90	31.70	1.21	0.15	-0.10	3.83
整齐度(%) FU	2018	84.20	85.10	F_2	1041	79.60	87.10	7.50	84.40	1.18	-0.61	0.60	1.40
	2019	85.10	85.80	$F_{2,3}$	1041	81.60	88.60	7.00	85.30	1.06	-0.25	0.17	1.24
断裂比强度(cN/tex) FS	2018	29.50	35.70	F_2	1041	25.40	44.20	18.80	35.20	3.07	0.16	0.06	8.71
	2019	28.00	32.90	$F_{2,3}$	1041	27.00	40.40	13.40	33.70	2.15	0.24	-0.10	6.36
马克隆值 FM	2018	4.90	4.90	F_2	1041	2.60	5.70	3.10	4.50	0.47	-0.30	0.01	10.61
	2019	4.70	5.00	$F_{2,3}$	1041	3.20	5.60	2.40	4.50	0.41	0.03	-0.15	9.11
伸长率(%) FE	2018	6.80	6.90	F_2	1041	6.50	7.30	0.80	6.90	0.11	-0.11	0.22	1.59
	2019	6.60	7.00	$F_{2,3}$	1041	6.60	7.40	0.80	6.90	0.12	0.21	-0.01	1.72

BW: Boll weight, LP: Lint percentage, FL: Upper half mean fiber length, FU: Fiber uniformity, FS: Fiber strength, FM: Fiber micronaire, FE: Fiber elongation, the same as below

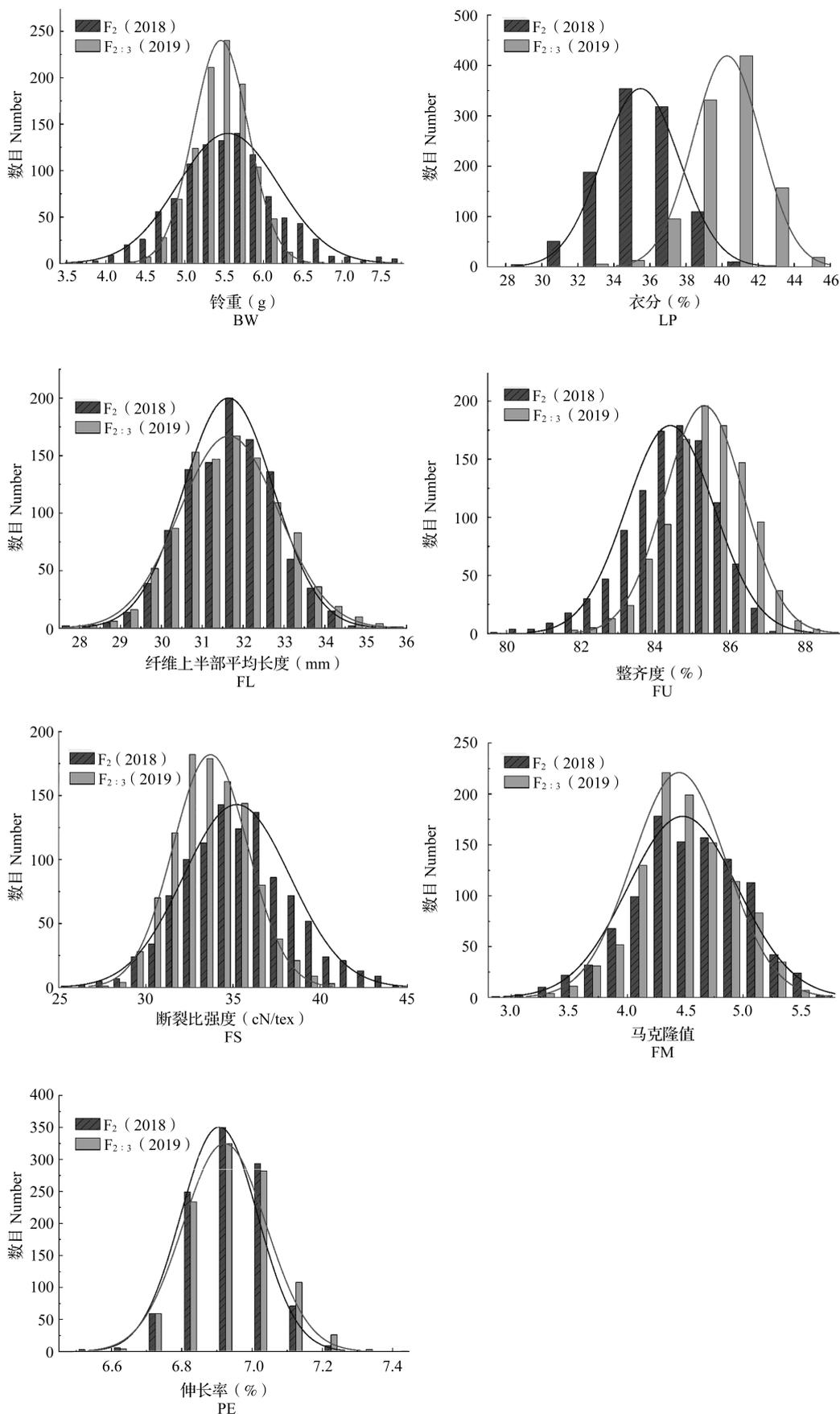


图1 F₂、F_{2:3}群体纤维产量和品质性状表型值频率分布图
 Fig.1 Frequency distribution of fiber yield and quality traits in F₂ and F_{2:3} populations

各世代的产量和品质性状的偏度绝对值均小于 1, 数据呈连续正态分布。铃重、纤维上半部平均长度、断裂比强度、整齐度和伸长率这 5 个性状的平均值在 2 个世代中都超过低亲亲本, 其中纤维上半部平均长度在 2 个世代中都超过高亲亲本, 马克隆值的平均值均为 4.5, 优于双亲达到 A 级水平。衣分、纤维上半部平均长度和整齐度在 $F_{2,3}$ 群体中的最小值和最大值都超过同性状在 F_2 群体中的最小值和最大值。

相比 $F_{2,3}$ 株行群体, F_2 单株群体各性状的表型值变化更大。与 $F_{2,3}$ 群体的极差相比, F_2 单株群体中铃重和衣分的极差分别为 4.15 g 和 15.98%, 分别增加了 1.78 g 和 2.99%; 纤维上半部平均长度和断裂比强度的极差分别为 8.00 mm 和 18.80 cN/tex, 分别增加了 0.10 mm 和 5.40 cN/tex; 马克隆值、整齐度和伸长率的极差分别为 3.10、7.50% 和 0.80%, 分别增加了 0.70、0.50% 和 0。在 F_2 群体中, 铃重的变异系数最大, 为 11.53%, 其次是马克隆值, 为 10.61%; 在 $F_{2,3}$ 群体中, 马克隆值的变异系数最大, 为 9.11%, 其次是铃重, 为 6.40%。在 F_2 和 $F_{2,3}$ 群体中变异系数最小皆为整齐度, 为 1.40% 和 1.24%。除纤维上半部平均长度和伸长率外, 在 $F_{2,3}$ 群体中各性状的变异系数均低于同性状在 F_2 群体中的变异系数。

结果表明, 在 sGK 中 156 × 中棉所 127 F_2 和 $F_{2,3}$

群体的纤维产量和品质性状中, 铃重和马克隆值的变异系数较大, 存在大量变异; 伸长率和整齐度的变异系数最小, 较为稳定; 在纤维上半部平均长度和断裂比强度这 2 个主要纤维品质性状上也存在有大量的遗传变异。

2.2 后代群体纤维产量和品质性状超亲优势分析

通过对 F_2 、 $F_{2,3}$ 群体纤维产量和品质性状的超亲优势分析(表 2、表 3、图 2)。在 F_2 和 $F_{2,3}$ 2 个世代的铃重、衣分、纤维上半部平均长度和断裂比强度这 4 个主要的产量和品质性状中, 品质性状的超高亲比例优于产量性状的超高亲比例, 其中纤维上半部平均长度的超高亲比例最高, 皆达到 60% 以上, 衣分的超高亲比例最低, 皆不足 1%, 铃重和衣分在 F_2 中的超高亲比例大于在 $F_{2,3}$ 中的超高亲比例, 纤维上半部平均长度和断裂比强度在 F_2 中的超高亲比例小于在 $F_{2,3}$ 中的超高亲比例。纤维上半部平均长度在 2 个世代中达到 30.00 mm 的比例均超过 90%, 达到 32.00 mm 的比例均接近 40%; 断裂比强度在 2 个世代中达到 30.00 cN/tex 的比例均超过 95%, 达到 32.00 cN/tex 的比例均超过 78%; 其中纤维上半部平均长度和断裂比强度有 84.9% 的比例在两个世代中同时达到 30, 有 19.7% 的比例同时达到 32; 并且在 F_2 和 $F_{2,3}$ 世代中断裂比强度同时达到 38.00 cN/tex, 纤维上半部平均长度也同时达到 32.00 mm 的单株(系)有 6 个。

表 2 群体产量和纤维品质性状超高亲优势分析表

Table 2 Proportion of population yield and quality traits over super high parent

世代 POP	样本数 Sample size	铃重 BW	衣分 LP	纤维上半部平均长度 FL	断裂比强度 FS
F_2	1041	430 (41.31)	8 (0.77)	639 (61.38)	639 (42.12)
$F_{2,3}$	1041	296 (28.43)	5 (0.48)	724 (69.55)	724 (61.00)

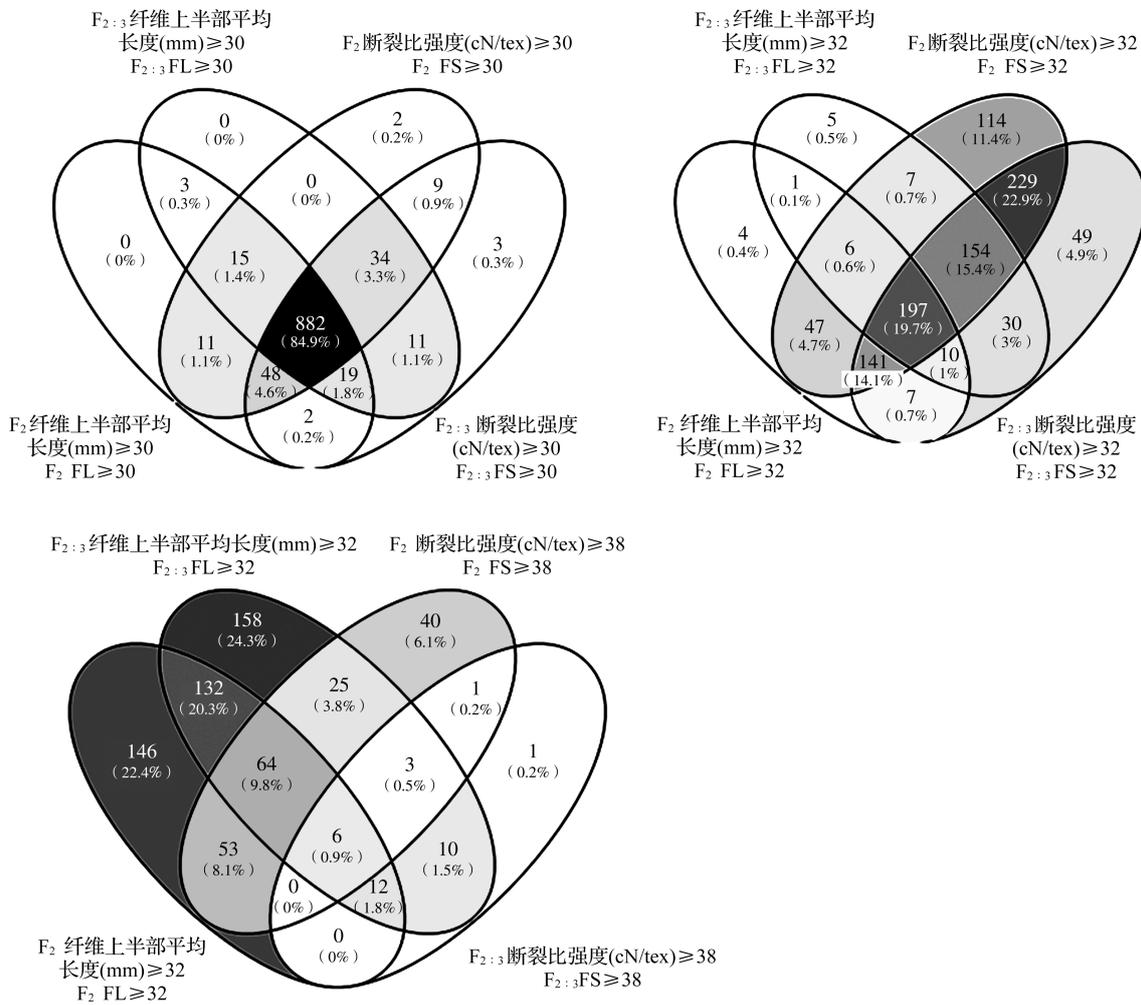
括号内为该数据占总样本数的比例(%), 下同

The proportion of the data in the total number of samples is shown in brackets (%), the same as below

表 3 群体优异纤维品质性状统计表

Table 3 Statistical table of excellent fiber quality traits in population

世代 POP	样本数 Sample size	纤维上半部平均长度 FL		断裂比强度 FS		
		≥ 30 mm	≥ 32 mm	≥ 30 cN/tex	≥ 32 cN/tex	≥ 38 cN/tex
F_2	1041	980 (94.14)	413 (39.67)	1001 (96.15)	895 (85.98)	192 (18.44)
$F_{2,3}$	1041	964 (92.60)	410 (39.39)	1008 (96.83)	817 (78.48)	33 (3.17)



图中数据为样本个数

The data word in the figure is the number of samples

图2 群体优异纤维品质性状统计图

Fig.2 Statistical chart of excellent fiber quality traits in population

以上结果表明,通过 sGK 中 156 和中棉所 127 杂交构建的后代分离群体,在铃重、纤维上半部平均长度、断裂比强度和马克隆值等产量和品质性状上都存在丰富的遗传变异。在产量性状中,铃重的超亲优势更为明显;在纤维品质性状中,纤维上半部平均长度和断裂比强度这 2 个主要的纤维品质性状超亲比例高,纤维上半部平均长度超过 30.00 mm 的同时断裂比强度也超过 30.00 cN/tex 的比例高,整体呈现出纤维长、强的特点,表现稳定且优异,能为后续的棉花育种工作提供理想的选择材料。

2.3 后代群体产量和品质性状间的相关性分析

通过对 F₂ 和 F_{2:3} 群体的产量和品质性状相关性分析(表 4),可以得出纤维品质性状间的相关性为:在 F₂、F_{2:3} 2 个世代中,纤维上半部平均长度与断裂比强度和伸长率均呈极显著正相关;马克隆值与纤维上半部平均长度和断裂比强度均呈极显著负

相关;断裂比强度与伸长率呈极显著正相关。

纤维品质性状和产量性状之间的相关性为:在 F₂、F_{2:3} 2 个世代中,衣分与纤维上半部平均长度、断裂比强度和伸长率均呈极显著负相关,与马克隆值分别呈显著、极显著正相关。铃重在 F₂ 中与纤维上半部平均长度呈显著负相关,与马克隆值呈极显著正相关;在 F_{2:3} 中与纤维上半部平均长度、断裂比强度呈极显著负相关,与整齐度、马克隆值呈极显著正相关。说明了在低世代分离群体中,铃重自身变异较大,分离现象明显,同时受其他外部因素的影响也大;同步对纤维产量和纤维品质进行改良具有一定的难度。

2.4 优异纤维品质材料的纤维品质和产量表现

通过对 F₂、F_{2:3} 世代全部单株(系)产量和纤维品质的分析,结合当代棉纺织业对断裂比强度的更高要求,筛选出同时在 F₂ 和 F_{2:3} 世代中断裂比

表 4 F_2 和 $F_{2,3}$ 群体纤维产量和品质性状相关性分析Table 4 Correlation analysis of fiber yield and quality traits in F_2 and $F_{2,3}$ populations

性状 Traits	世代 POP	铃重 BW	衣分 LP	纤维上半部 平均长度 FL	整齐度 FU	断裂比强度 FS	马克隆值 FM
衣分 LP	F_2	-0.156**					
	$F_{2,3}$	0.083**					
纤维上半部平均长度 FL	F_2	-0.065*	-0.245**				
	$F_{2,3}$	-0.168**	-0.476**				
整齐度 FU	F_2	0.045	-0.103**	0.084**			
	$F_{2,3}$	0.127**	-0.003	-0.108**			
断裂比强度 FS	F_2	-0.04	-0.302**	0.465**	0.316**		
	$F_{2,3}$	-0.107**	-0.415**	0.596**	0.057		
马克隆值 FM	F_2	0.330**	0.074*	-0.213**	0.190**	-0.301**	
	$F_{2,3}$	0.324**	0.404**	-0.463**	0.159**	-0.465**	
伸长率 FE	F_2	0.064*	-0.307**	0.440**	0.432**	0.547**	0.170**
	$F_{2,3}$	-0.023	-0.244**	0.495**	0.088**	0.537**	-0.036

**、* : 在 $P=0.01$ 、 $P=0.05$ 级别 (双尾), 相关性显著

**、* : At $P=0.01$, $P=0.05$ level (two tailed), the correlation was significant

强度大于 38.00 cN/tex 的优异材料 10 个 (表 5)。这 10 个材料在 F_2 群体中, 断裂比强度为 39.10~42.00 cN/tex、纤维上半部平均长度为 31.10~33.60 mm、马克隆值为 3.50~4.80; 在 $F_{2,3}$ 群体中, 断裂比强度为 38.40~39.30 cN/tex、纤维上半部平均长度为

31.50~34.10 mm、马克隆值为 3.70~4.30。这些材料在断裂比强度、纤维上半部平均长度和马克隆值方面均达到甚至超过行业标准, 符合长、强、细的要求, 产量和纤维品质表现优异且稳定, 为棉花育种提供了优异的后备材料。

表 5 优质单株 F_2 、 $F_{2,3}$ 世代纤维品质和产量表现Table 5 Performance of fiber quality and yield traits in F_2 and $F_{2,3}$ populations with high fiber quality

材料编号 Material number	世代 POP	铃重 (g) BW	衣分 (%) LP	纤维上半部平 均长度 (mm) FL	整齐度 (%) FU	断裂比强度 (cN/tex) FS	马克隆值 FM	伸长率 (%) FE
MBJ19002-001	F_2	5.67	33.09	32.60	84.50	40.60	4.20	7.10
	$F_{2,3}$	5.52	38.26	32.40	85.50	38.70	4.00	7.00
MBJ19002-002	F_2	5.08	33.33	33.30	86.60	39.80	4.50	7.20
	$F_{2,3}$	5.15	36.57	33.20	85.80	38.70	3.70	7.40
MBJ19002-003	F_2	6.51	31.80	31.60	85.50	39.20	4.10	7.00
	$F_{2,3}$	5.44	39.25	33.30	86.10	39.30	3.70	7.00
MBJ19002-004	F_2	4.76	33.78	31.10	84.40	40.50	3.50	6.90
	$F_{2,3}$	5.53	39.78	32.30	84.80	38.40	3.90	6.90
MBJ19002-005	F_2	5.49	31.38	33.10	84.10	40.70	4.00	6.90
	$F_{2,3}$	5.36	37.41	34.10	83.50	39.20	4.20	7.10
MBJ19002-006	F_2	5.79	35.08	31.90	85.40	42.00	4.50	7.00
	$F_{2,3}$	5.18	40.37	33.40	85.80	39.00	4.20	7.10
MBJ19002-007	F_2	5.26	32.94	33.60	85.80	39.10	4.80	7.10
	$F_{2,3}$	5.10	36.95	32.90	83.90	38.40	4.30	7.00
MBJ19002-008	F_2	4.66	36.06	31.50	86.20	41.50	3.70	7.00
	$F_{2,3}$	5.16	40.47	31.50	84.80	38.90	4.00	6.90
MBJ19002-009	F_2	5.66	35.53	33.10	83.90	41.20	4.40	6.90
	$F_{2,3}$	5.21	37.94	33.10	85.40	39.20	4.10	6.90
MBJ19002-010	F_2	6.42	32.63	33.50	84.70	39.10	4.00	7.10
	$F_{2,3}$	5.84	40.43	32.90	85.70	38.40	3.90	7.10

3 讨论

棉花是常异花授粉植物,其育种的主要目标是高产和优质。然而,棉花的产量和纤维品质性状为数量性状,遗传机理较为复杂,同时受气候条件、土壤条件、种植模式和生产技术等多方面的影响;产量和品质性状之间存在显著的负相关关系,产量性状和品质性状难以同步提高^[23-27],因此同步改良棉花产量和纤维品质是育种工作者的重要研究方向^[28-29]。本研究利用高产系 sGK 中 156 和优质品种中棉所 127 杂交并严格自交获得 F_2 和 $F_{2,3}$ 分离群体,铃重在 F_2 和 $F_{2,3}$ 中的超亲比例分别为 41.31% 和 28.43%,衣分在 F_2 和 $F_{2,3}$ 中的超亲比例分别为 0.77% 和 0.48%,纤维上半部平均长度在 F_2 和 $F_{2,3}$ 中的超亲比例分别为 61.38% 和 69.55%,断裂比强度在 F_2 和 $F_{2,3}$ 中的超亲比例分别为 42.12% 和 61.00%。和前人的研究相比,sGK 中 156 × 中棉所 127 后代分离群体在铃重、纤维上半部平均长度和断裂比强度上,拥有更大的超亲优势^[30-32]。sGK 中 156 × 中棉所 127 杂交后代表现优异的原因可能有:(1)双亲各性状综合表现优异且稳定,在产量性状和品质性状上分别有突出的优异表现。sGK 中 156 的母本中棉所 41 和父本中棉所 12 皆为抗虫、丰产材料,中棉所 127 的母本鲁 6269 × Hn1209 F_1 和父本鲁 6269 × 69307 F_1 ,皆由品质表现优异的材料杂交获得;(2) F_2 和 $F_{2,3}$ 世代为低分离群体,杂种优势现象明显;(3)sGK 中 156 和中棉所 127 的配合力较高,能更大程度的发挥双亲的优势。研究进一步表明了 sGK 中 156 × 中棉所 127 群体后代在棉花增产与提高品质方面有巨大的潜力。张震^[33]的研究表明,环境对棉花产量性状和品质性状的影响存在较大差异,棉花品质性状与环境的互作效应小,受到环境的影响也小,而棉花产量性状与环境的互作效应相对更大,受到环境的影响也大。申孝军^[34]的研究表明,适度水分胁迫有利于霜前花衣分的提高,原因是干旱会增加棉花的不孕籽数,降低种子的数量和单粒质量,从而相对的提高了棉花的衣分值。王太祥等^[35]的研究表明,日照时间和降水显著负向影响棉花的产量,积温显著正向影响棉花的产量。对 sGK 中 156 × 中棉所 127 的 F_2 和 $F_{2,3}$ 进行相关性分析发现,铃重与衣分在 F_2 中呈现极显著负相关,在 $F_{2,3}$ 中表现出极显著正相关,在 F_2 中与整齐度和断裂比强度无显著相关性,在 $F_{2,3}$ 群体中与断裂比强度呈极显著负相关,

与整齐度呈极显著正相关。由此推断控制铃重、衣分的基因和控制纤维品质的某些基因存在一定的连锁关系。对 F_2 和 $F_{2,3}$ 的产量性状分析发现,2 个世代的铃重和衣分差异较大,对挑选出的 10 个优异材料分析发现,铃重降低的同时衣分增加。由此推断原因可能是:(1)铃重和衣分作为产量性状,在低分离群体中分离现象明显,不稳定;(2)铃重和衣分受天气等环境影响大,通过慧聚数据(<http://hz.zc12369.com/home/>)对历史天气查询发现,2018 年 4 月 20-30 日播种期降水量为 42.5 mm,2019 年同期降水量为 31.9 mm,相差 10.6 mm;2018 年 7-8 月棉桃发育的关键时期降水量为 206.2 mm,2019 年同期为 187.3 mm,相差 18.9 mm,尤其 7-8 月是棉花的花铃期,生殖生长和营养生长都很旺盛,对水分反应敏感,需水量最多,并形成大部分干物质,此时发生水分亏缺将严重影响棉花的纤维发育^[36-37];(3)收花方式不同造成差异,2018 年 F_2 为单株收花,2019 年 $F_{2,3}$ 为选取株行(系)中部 30 铃收花。上述研究进一步表明提高棉花产量的同时提升纤维品质存在一定的难度,这也与前人的研究结果一致^[38-40]。

本研究结合 F_2 和 $F_{2,3}$ 的表型数据,筛选出 10 个材料,断裂比强度均高于 38.00 cN/tex,纤维上半部平均长度均高于 31.00 mm,马克隆值为 3.50~4.80,纤维品质表现优异且较为稳定,是进行基础研究以及纺高支纱(60 支以上)的重要材料。然而,运用常规育种方法对棉花纤维品质和产量的同步改良是有限的。分子标记辅助选择育种,能够达到快速育种的目的,极大缩短棉花的育种周期,且不受环境的影响,这为棉花产量和衣分的同步改良提供了方法^[41-43]。后续试验将利用上述选择的 10 个优质材料,结合常规选择育种与分子标记辅助选择育种,以期望实现提升棉花纤维品质的同时增加棉花产量,达到棉花品质与产量同步改良的目的。

参考文献

- [1] 张素君,唐丽媛,李兴河,王海涛,刘存敬,张香云,张建宏.陆地棉产量及农艺性状的 SSR 标记关联分析.棉花学报,2019,31(5):414-426
Zhang S J, Tang L Y, Li X H, Wang H T, Liu C J, Zhang X Y, Zhang J H. Association analysis of agronomic and yield-related traits in an upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) germplasm population based on SSR markers. Cotton Science, 2019, 31(5): 414-426
- [2] 郭展.陆地棉种内遗传图谱构建及衣分 QTL 定位.重庆:西

- 南大学, 2016
- Guo Z. Construction of genetic linkage map and QTL mapping of lint percent in upland cotton intraspecific population. Chongqing: Southwest University, 2016
- [3] Gapare W, Conaty W, Zhu Q H, Liu S, Stiller W, Llewellyn D, Wilson I. Genome-wide association study of yield components and fibre quality traits in a cotton germplasm diversity panel. *Euphytica*, 2017, 213 (3): 66
- [4] Clement J D, Constable G A, Stiller W N, Liu S M. Negative associations still exist between yield and fiber quality in cotton breeding programs in Australia and USA. *Field Crops Research*, 2012, 28: 1-7
- [5] Smith C W, Gwen G C. Association of fiber quality parameters and within-boll yield components in upland cotton. *Crop Science*, 1997, 37 (6): 1775-1779
- [6] 张晓洁, 王爱玉, 王志伟, 赵金辉. 不同采收时间棉花衣分和纤维品质的比较分析. *山东农业科学*, 2014, 46 (8): 29-32
- Zhang X J, Wang A Y, Wang Z W, Zhao J H. Comparative analysis on lint percent and fiber quality of cotton harvested at different time. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46 (8): 29-32
- [7] 马晓梅, 李保成, 王新, 赵素琴, 刘永昌, 韩焕勇, 周小凤, 董承光. 早熟陆地棉品种与气候因子互作对棉纤维品质的影响. *新疆农业科学*, 2021 (2): 216-226
- Ma X M, Li B C, Wang X, Zhao S Q, Liu Y C, Han H Y, Zhou X F, Dong C G. Interaction effects of early-maturing upland cotton varieties and meteorological factors on cotton fiber quality. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021 (2): 216-226
- [8] 贾赵东, 孙敬, 张天真. 利用 7 个置换系和渐渗系的双列杂交研究海陆杂种的数量性状遗传. *南京农业大学学报*, 2006, 29 (2): 6-10
- Jia Z D, Sun J, Zhang T Z. Diallel analysis of quantitative traits of hybrid between *Gossypium barbadense* L. and *G. hirsutum* L. using 7 substitution and introgression lines. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, 29 (2): 6-10
- [9] 张培通, 朱协飞, 郭旺珍, 俞敬忠, 张天真. 高产棉花品种泗棉 3 号产量及其产量构成因素的遗传分析. *作物学报*, 2006, 32 (7): 1011-1017
- Zhang P T, Zhu X F, Guo W Z, Yu J Z, Zhang T Z. Genetic analysis of yield and its components for high yield cultivar Simian3 in *G. hirsutum* L.. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32 (7): 1011-1017
- [10] 李慧琴, 于娅, 王鹏, 刘记, 胡伟, 鲁丽丽, 秦文强. 270 份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 (4): 903-910
- Li H Q, Yu Y, Wang P, Liu J, Hu W, Lu L L, Qing W Q. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (4): 903-910
- [11] 孙振纲, 姜艳丽, 陈耕, 王娟娟, 杨印斌. 27 个陆地棉新种质材料主要性状研究及聚类分析. *山西农业科学*, 2015, 43 (7): 773-776
- Sun Z G, Jiang Y L, Chen G, Wang J J, Yang Y B. Study on main characters and clustering analysis of 27 new upland cotton germplasm. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43 (7): 773-776
- [12] 尹会会, 李秋芝, 李海涛, 王士红, 李彤, 商娜, 张晗, 杨中旭. 134 份国外陆地棉种质主要农艺性状与纤维品质性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2017, 18 (6): 1105-1115
- Yin H H, Li Q Z, Li H T, Wang S H, Li T, Shang N, Zhang H, Yang Z X. Analysis of genetic diversity of the main agronomic and fibre quality characters of 134 foreign upland cotton germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18 (6): 1105-1115
- [13] 林忠旭, 冯常辉, 郭小平, 张献龙. 陆地棉产量、纤维品质相关性状主效 QTL 和上位性互作分析. *中国农业科学*, 2009, 42 (9): 3036-3047
- Lin Z X, Feng C H, Guo X P, Zhang X L. Genetic analysis of major QTLs and epistasis interaction for yield and fiber quality in upland cotton. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42 (9): 3036-3047
- [14] 刘永川. 棉花品质仪器化公检数据在纺织配棉中的应用. *棉花科学*, 2017, 39 (6): 38-40
- Liu Y C. Application of instrumental public inspection data of cotton quality in textile cotton blending. *Cotton Sciences*, 2017, 39 (6): 38-40
- [15] 袁有禄. 棉花优质纤维特性的遗传及分子标记研究. 南京: 南京农业大学, 2000
- Yuan Y L. Inheritance of super fiber quality characters and their molecular tagging in upland cotton (*G. hirsutum* L.). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2000
- [16] 张曦, 钱玉源, 刘祎, 田海燕, 王广恩, 崔淑芳, 李俊兰. 河北省优质棉育种 70 年回顾与展望. *中国棉花*, 2020, 47 (5): 1-6, 12
- Zhang X, Qian Y Y, Liu Y, Tian H Y, Wang G E, Cui S F, Li J L. Breeding of high-quality cotton in Hebei province during the past 70 years: a review. *China Cotton*, 2020, 47 (5): 1-6, 12
- [17] 喻树迅, 朱玉贤, 陈晓亚. 棉花纤维发育生物学. 北京: 科学出版社, 2016: 31-64
- Yu S X, Zhu Y X, Chen X Y. Fiber developmental biology of cotton. Beijing: Science Press, 2016: 31-64
- [18] 中国棉麻流通经济研究会. 关于提升和保障棉花质量的研究报告. *中国棉麻产业经济研究*, 2018 (3): 1-9
- China Cotton and Hemp Circulation Economy Research Association. Research report on improving and ensuring cotton quality. *Chinese Cotton & Linen Industry Economic Research Journal*, 2018 (3): 1-9
- [19] 刘喜燕. 棉花 J02-508 辐射诱变群体产量和品质性状的遗传变异研究. 泰安: 山东农业大学, 2020
- Liu X Y. Genetic variation of yield and quality traits in radiation mutagenesis population derived from cotton j02-508. Taian: Shandong Agricultural University, 2020
- [20] 叶戡春. 棉纺企业对棉花质量的需求. *中国纤检*, 2018 (1): 24-29
- Ye J C. A requirement of textile enterprises for cotton quality. *China Fiber Inspection*, 2018 (1): 24-29
- [21] 中国纤维检验局. 2017/2018 年度中国棉花质量分析报告. *中国纤检*, 2018 (12): 24-31
- China Fiber Inspection Bureau. China cotton quality analysis report 2017 / 2018. *China Fiber Inspection*, 2018 (12): 24-31
- [22] 龚举武, 代帅, 袁有禄, 时增凯, 葛群, 石玉真, 刘爱英, 陈四维, 李俊文, 商海红, 巩万奎, 潘境涛, 邓晓英, 范森森, 李旭欣. 优质棉花品质中棉所 127 选育及栽培技术. *中国棉花*,

- 2021, 48(1): 30-31
Gong J W, Dai S, Yuan Y L, Shi Z K, Ge Q, Shi Y Z, Liu A Y, Chen S W, Li J W, Shang H H, Gong W K, Pan J T, Deng X Y, Fan S M, Li X X. Breeding and cultivation techniques of cotton variety CCRI127 with fine fiber quality. *China Cotton*, 2021, 48(1): 30-31
- [23] Shen X L, Guo W Z, Zhu X F, Yuan Y L, Yu J Z, Russell J K, Zhang T Z. Molecular map-ping of QTLs for fiber qualities in three diverse lines in upland cotton using SSR markers. *Molecular Breeding*, 2005, 15(2): 169-181
- [24] 袁有禄, 张天真, 郭旺珍, 潘家驹, Russell J Kohel, 熊宗伟, 唐淑荣. 棉花纤维品质性状的遗传稳定性研究. *棉花学报*, 2002, 14(2): 67-70
Yuan Y L, Zhang T Z, Guo W Z, Pan J J, Russell J K, Xiong Z W, Tang S R. Genetic stability of fiber qualities in upland cotton. *Cotton Science*, 2002, 14(2): 67-70
- [25] 张素君, 李兴河, 唐丽媛, 王海涛, 刘存敬, 蔡肖, 张香云, 张建宏. 陆地棉纤维品质性状关联分析及优异等位基因挖掘. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(1): 214-228
Zhang S J, Li X H, Tang L Y, Wang H T, Liu C J, Cai X, Zhang X Y, Zhang J H. Exploration of elite alleles related with fibre quality traits in *Gossypium hirsutum* L. by association analysis. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(1): 214-228
- [26] 李伟明, 刘素恩, 王志忠, 林永增. 棉花纤维品质年际间变化及气象因素影响分析. *棉花学报*, 2005, 17(2): 103-106
Li W M, Liu S E, Wang Z Z, Lin Y Z. Annual variance of cotton fiber quality and influence by climatic-ecologic factors. *Cotton Science*, 2005, 17(2): 103-106
- [27] 单世华, 孙学振, 周治国, 施培, 边栋材. 温度对棉纤维超分子结构的影响. *棉花学报*, 2000, 12(4): 208-211, 221
Shan S H, Sun X Z, Zhou Z G, Shi P, Bian D C. Effect of temperature on cotton fibre super-molecular structure. *Cotton Science*, 2000, 12(4): 208-211, 221
- [28] 邢朝柱, 喻树迅, 郭立平, 叶子弘, 王海林, 苗成朵, 赵云雷. 不同生态环境下陆地棉转基因抗虫杂交棉遗传效应及杂种优势分析. *中国农业科学*, 2007, 40(5): 1056-1063
Xing Z Z, Yu S X, Guo L P, Ye Z H, Wang H L, Miao C D, Zhao Y L. Analysis for genetic effect and heterosis of insect resistant transgenic upland cotton crosses in different ecological environments. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(5): 1056-1063
- [29] 陈祖海, 刘金兰, 聂以春. 陆地棉族系种质系与陆地棉品种间的杂种优势利用研究. *棉花学报*, 1994, 6(3): 151-154
Chen Z H, Liu J L, Nie Y C. Heterosis in upland cotton: useness of breeding lines developed from primitive race stocks (*Gossypium hirsutum* L.). *Cotton Science*, 1994, 6(3): 151-154
- [30] 孙福鼎, 李俊文, 刘爱英, 石玉真, 王涛, 张建宏, 王淑芳, 袁有禄. 陆地棉重组自交系群体纤维品质及产量性状遗传变异分析. *棉花学报*, 2010, 22(4): 319-325
Sun F D, Li J W, Liu A Y, Shi Y Z, Wang T, Zhang J H, Wang S F, Yuan Y L. Analysis of genetic variation for fiber quality and yield traits in an recombinant inbred population of *Gossypium hirsutum* L.. *Cotton Science*, 2010, 22(4): 319-325
- [31] 梁燕, 贾玉娟, 李爱国, 张保才, 刘广平, 李俊智, 石玉真, 李俊文, 刘爱英, 龚举武, 王涛, 商海红, 巩万奎, 袁有禄. 棉花 BC₃F₂ 代换系的产量及品质相关性状表型分析及 QTL 定位. *分子植物育种*, 2010, 8(2): 221-230
Liang Y, Jia Y J, Li A G, Zhang B C, Liu G P, Li J Z, Shi Y Z, Li J W, Liu A Y, Gong J W, Wang T, Shang H H, Gong W K, Yuan Y L. Phenotyping traits related to yield and quality of BC₃F₂ substitution lines in cotton (*Gossypium*) and their QTL mapping. *Molecular Plant Breeding*, 2010, 8(2): 221-230
- [32] 李腾宇, 许超, 李耀明, 苟成飞, 洪铸, 丁明全, 孙晨栋. 陆海杂交种纤维品质和产量相关性状的鉴定与分析. *棉花学报*, 2020, 32(4): 348-359
Li T Y, Xu C, Li Y M, Gou C F, Hong Z, Ding M Q, Sun C D. Identification and analysis of fiber quality and yield related traits of interspecific (*Gossypium hirsutum* L. × *G. barbadense* L.) hybrids. *Cotton Science*, 2020, 32(4): 348-359
- [33] 张震. 棉花纤维品质与产量性状的 QTL 定位与性状之间的遗传相关性分析. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019
Zhang Z. Genome-wide quantitative trait loci reveal the genetic basis of cotton fiber quality and yield-related traits in a *G. hirsutum* recombinant inbred line population. Xianyang: North West Agriculture and Forestry University, 2019
- [34] 申孝军. 棉花滴灌节水机理与优质高效灌溉模式. 北京: 中国农业科学院, 2012
Shen X J. Water-saving mechanism and optimal irrigation pattern for effective water use and high-quality of cotton under drip irrigation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012
- [35] 王太祥, 董舒婷. 气候变化对我国棉花产量的影响——基于 C-D-C 模型的实证分析. *江苏农业科学*, 2018, 46(24): 383-386
Wang T X, Dong S T. Impact of climate change on China's cotton production-empirical analysis based on provincial panel data. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(24): 383-386
- [36] 卡力比尔·买买提, 巴特尔·巴克, 祁嘉郁. 北疆地区棉花生育期需水量变化特征及成因分析. *节水灌溉*, 2021(1): 81-85
Mamat K, Bake B, Qi J Y. Variation characteristic of water requirement during cotton growing period and its cause in northern xinjiang. *Water Saving Irrigation*, 2021(1): 81-85
- [37] 代英男, 马一学, 陈金湘, 白玉超. 棉花干物质积累特征及其影响因素. *安徽农业科学*, 2015, 43(27): 6-7, 10
Dai Y N, Ma Y X, Chen J X, Bai Y C. Dry matter accumulation and its influencing factors in cotton. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(27): 6-7, 10
- [38] 董承光, 王娟, 周小凤, 马晓梅, 李生秀, 余渝, 李保成. 基于表型性状的陆地棉种质资源遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(3): 438-446
Dong C G, Wang J, Zhou X F, Ma X M, Li S X, Yu Y, Li B C. Evaluation on genetic diversity of cotton germplasm resources (*Gossypium hirsutum* L.) on morphological characters. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(3): 438-446
- [39] 兰孟焦, 石玉真, 葛瑞华, 李俊文, 龚举武, 刘爱英, 商海红, 巩万奎, 王涛, 袁有禄. 陆海 BC₄F₃ 和 BC₄F_{3;4} 代换系纤维产量与品质的表型评价. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(2): 257-263
Lan M J, Shi Y Z, Ge R H, Li J W, Gong J W, Liu A Y, Shang H H, Gong W K, Wang T, Yuan Y L. Evaluation of fiber yield and quality traits of chromosome segment substitution lines

- population (BC₄F₃ and BC₄F_{3;4}) from *Gossypium hirsutum* x *Gossypium barbadense*. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(2): 257-263
- [40] 张金凤, 石玉真, 梁燕, 贾玉娟, 张保才, 李俊文, 龚举武, 刘爱英, 商海红, 王涛, 巩万奎, 袁有禄. 陆地棉染色体片段代换系 (BC₃F₃ 和 BC₃F_{3;4}) 产量和纤维品质性状表现的评价. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(5): 773-781
Zhang J F, Shi Y Z, Liang Y, Jia Y J, Zhang B C, Li J W, Gong J W, Liu A Y, Shang H H, Wang T, Gong W K, Yuan Y L. Evaluation of yield and fiber quality traits of chromosome segment substitution lines population (BC₃F₃ and BC₃F_{3;4}) in cotton. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(5): 773-781
- [41] Gutierrez O A, Jenkins J N, McCarty J C, Wubben M J, Hayes R W, Callahan F E. SSR markers closely associated with genes for resistance to root-knot nematode on chromosomes 11 and 14 of upland cotton. *Theoretical and Applied Genetics*, 2010, 121(7): 1323-1337
- [42] Jenkins J N, Mc Carty J C, Wubben M J, Hayes R, Gutierrez O A, Callahan F, Deng D. SSR markers for marker assisted selection of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) resistant plants in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Euphytica*, 2012, 183(1): 49-54
- [43] Semagn K, Bjørnstad Å, Skinnes H, Marøy A G, Tarkegne Y, William M. Distribution of DArT, AFLP, and SSR markers in a genetic linkage map of a doubled-haploid hexaploid wheat population. *Genome*, 2006, 49(5): 545-555