

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

李慧琴^{1,2}, 于 娅¹, 王 鹏¹, 刘 记¹, 胡 伟¹, 鲁丽丽^{1,3}, 秦文强^{1,3}

(¹ 中国农业科学院棉花研究所 / 棉花生物学国家重点实验室, 安阳 455000; ² 新疆生产建设兵团第三师农业科学研究所, 图木舒克 843900; ³ 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 对 270 份陆地棉种质资源的 7 个农艺性状和 5 个纤维品质性状进行遗传多样性、相关性、主成分和聚类分析, 进而筛选适宜优良性状的棉花种质资源材料, 为棉花育种工作中亲本选配与品种选育提供一定的理论参考依据。结果表明该批棉花种质资源具有丰富的遗传多样性, 12 个农艺性状的变异系数从大到小依次为结铃数 (24.2%)、第一果枝长度 (17.500%)、第一果枝节位 (14.100%)、单铃重 (13.329%)、马克隆值 (11.091%)、株高 (11.010%)、衣分 (10.984%)、果枝数 (9.625%)、断裂比强度 (8.574%)、上半部平均长度 (6.257%)、伸长率 (2.005%) 和整齐度指数 (1.562%)。相关分析表明上半部平均长度与株高呈显著正相关, 与马克隆值呈显著负相关, 衣分与株高和断裂比强度呈显著正相关, 与果枝数呈显著负相关, 马克隆值与伸长率呈极显著正相关, 结铃数与第一果枝节位呈显著正相关; 主成分分析表明前 4 个主成分累计贡献率达到 67.358%, 第 1 主成分主要和纤维品质有关, 第 2 主成分主要与结铃数、第一果枝长度有关, 第 3 主成分主要与果枝数有关, 第 4 主成分主要与第一果枝节位有关; 聚类分析将 270 份陆地棉种质资源在遗传距离为 7.5 时划分为 6 类, 第 1 类群的棉花材料可作为改良棉花断裂比强度的材料加以利用, 泗棉 2 号、南丹巴地大花、鄂抗棉 8 号和 Qik 可作为改良棉花产量构成的材料加以利用, 聊 113、军棉 1 号、辽阳绿绒棉和保 2367 可作为改良棉花马克隆值的材料加以利用, 陕三原 78-782 可作为株型改良的材料加以利用, 育种工作中可以结合性状之间的关系, 培育新品种与新品系, 为棉花品种选育提供理论依据。

关键词: 陆地棉; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性

Genetic Diversity Analysis of the Main Agronomic and Fiber Quality Characteristics in 270 Upland Cotton Germplasm Resources

LI Hui-qin^{1,2}, YU Ya¹, WANG Peng¹, LIU Ji¹, HU Wei¹, LU Li-li^{1,3}, QIN Wen-qiang^{1,3}

(¹ Institute of Cotton Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang 455000; ² Agricultural Science Institute of the Third Division of Xinjiang Production and Construction Group, Tumushker 843900; ³ College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052)

Abstract: In this study, we analyzed the phenotypic variation of seven agronomic traits and five fiber quality traits were analyzed in 270 cotton germplasm resources. We expected to identify the upland cotton germplasm materials suitable for trait improvement, particularly interested in the Yellow River Basin and the selection of parents in future breeding work. Twelve agronomic traits showed different levels of genetic variation (boll number per plant, 24.2%; first branch length, 17.500%; first branch position, 14.100%; boll weight, 13.329%; micronaire value, 11.091%; plant height, 11.010%; lint percentage, 10.984%; fruit branch number per plant, 9.625%; fiber

收稿日期: 2018-10-25 修回日期: 2018-11-27 网络出版日期: 2018-12-12

URL: <http://www.doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181025003>

第一作者主要从事棉花新品种选育与栽培研究, E-mail: qinqindeshijie@163.com; 于娅为共同第一作者

通信作者: 秦文强, 主要从事棉花分子生物学研究, E-mail: qinwenqiang2005@163.com

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) (2016YFD0101401)

Foundation project: The National Basic Research Program of China (“973” Program) (2016YFD0101401)

strength, 8.574%; upper half mean length, 6.257%; elongation ratio, 2.005%; and regularity degree, 1.562%)。The upper half mean length positively correlated with plant height, and negatively correlated with micronaire value; the lint percentage positively correlated with either plant height or fiber strength, and negatively correlated with fruit branch number per plant; the micronaire value positively correlated with the elongation ratio; and the boll number per plant positively correlated with the first branch position. The cumulative contribution of the top four principal factors reached 67.358% in the principal component analysis. The first principal factor was mainly related to fiber quality; the second was mainly related to boll number per plant and first branch length; the third was mainly related to fruit branch number per plant; and the fourth was mainly related to first fruit branch number per plant position. Cluster analysis classified 270 cotton germplasms into six groups. Therefore, the cotton resources of the first cluster can be used as materials to improve the upper half mean length and fiber strength of cotton. Simian 2, Nandanbadidahua, Ekangmian8, and Qik can be used as materials for improving cotton yield; Liao113, Junmian1, Liaoyanglvrongmian, and Bao2367 can be used to improve the cotton micronaire value; and SHANSANYUAN78-782 can be used to improve the cotton type. Thus, this work provided a theoretical basis for cotton breeding by pyramiding these elite traits during breeding to cultivate new varieties and strains.

Key words: upland cotton; germplasm resources; agronomic traits; genetic diversity

棉花是我国重要的经济作物与纺织工业的原材料^[1],同时也是关系国计民生的重要战略物资。在棉花4个栽培种中,陆地棉(*Gossypium hirsutum* L.)的种植面积最大,其产量占世界棉花总产的90%以上^[2]。优质品种是棉花生产的核心技术,高产优质早熟多抗棉花新品种的培育和应用是实现棉花增产、棉农增收的最有效途径之一^[3]。合理选择、利用棉花种质资源对棉花育种起着至关重要的作用。

种质资源的多样性一直是育种工作者所追求的关键问题,具有多样性表型的种质资源一直是育种工作者搜集材料的核心问题^[4-6],而农艺性状和纤维品质通常是考察棉花种质资源优劣的两大重点性状,棉花大多数农艺性状为数量性状遗传^[7],表型易受环境因素影响,有关棉花主要农艺性状和纤维品质方面的分析国内已有大量报道,所采用的统计分析方法包括相关性分析^[8-12]、主成分分析^[4, 13]、聚类分析^[14-18]、变异分析^[19-21]等,其中主成分分析是将多个复杂的原始指标转化为几个具有代表性的互不相关的综合指标(主成分)^[13],每个主成分是一个相对独立的指标体系,各个主成分之间不存在相关性且数值直观容易分析^[11];聚类分析是一种用于生物资源分类和亲缘关系研究的多元统计方法^[20, 22]。尹会会等^[23]对134份国外陆地棉种质主要农艺性状与纤维品质性状进行主成分分析,结果表明:棉花各产量相关性状间、棉纤维各品质相关性状间以及棉花各产量相关性状与棉纤维各品质性

状间均存在不可调和的矛盾,彼此间存在或少的联系,或是抑制,或是促进。李飞等^[14]将172份陆地棉材料的19个农艺性状进行了主成分分析和聚类分析,主成分分析结果表明,19个性状可以简化为彼此互不相关的5个主成分,这5个主成分累计贡献率达80.253%。李武等^[4]对黄河流域102个棉花材料的9个农艺性状进行主成分及聚类分析,结果表明棉花品种株高越高相应的营养枝、果枝数、单株铃数增多,单铃质量提高,生育期延长;棉花品种第一果枝着生节位较高,生育期延长,营养枝较多,单株铃数增多,单铃质量提高,衣分也会上升;同一品种的籽指越大,相应的衣分就会降低,导致皮棉产量下降。董承光等^[15]研究发现,整齐度与上半部平均长度、比强度及伸长率显著正相关,比强度与长度极显著正相关。过去的多个研究中,由于研究群体相对较小,材料来源不同或种植环境及方式的不同,研究结论具有较大差异^[24-25]。

本研究在前人研究的基础上精选270份陆地棉种质资源,以农艺、产量及纤维品质性状为切入点,进行大群体的变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,通过4个指标综合评价棉花种质资源,以为筛选优质棉花种质材料、创新棉花种质资源提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试棉花种质资源材料共270份,由中国农业

科学院棉花研究所种质资源库提供, 2016-2017 年在河南安阳扩繁与试种鉴定。

1.2 试验方法

试材种植于河南省安阳市中国农业科学院棉花研究所白璧试验基地。采用随机区组设计, 3 次重复, 每小区 3 行, 行长 5.000 m, 行距 0.800 m, 株距 0.250 m, 理论密度为 60000 株/hm², 小区面积 12.000 m², 田间管理方法同常规大田。

1.3 数据采集整理

1.3.1 数据采集 每小区选取中间有代表性的棉花 10 株, 主要调查第 1 果枝节位、株高、果枝数、单株结铃数。每处理按照小区随机采收棉株中部内围正常开裂棉铃 35 个, 分析单铃重。于收花后各小区取棉样 30 g, 送中国棉花研究所棉花品质监督检验测试中心对纤维品质进行检测, 采用国际上最先进的乌斯特的 HVI1000 型大容量纤维测试仪测定^[26]。对棉纤维上半部平均长度、伸长率、断裂比强度、整齐度指数、马克隆值等纤维指标进行测定。

1.3.2 数据标准化及统计分析 试验数据经 Microsoft Excel 2007 整理后, 利用 SPSS 19.5 进行

遗传变异、相关分析和主成分分析, 利用 R 3.4.1 语言软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 主要性状的遗传多样性分析

270 份陆地棉种质资源材料的变异分析结果(表 1)表明, 种质资源不同性状间的变异范围为 1.562%~24.222%, 变幅较大, 其中结铃数的变异系数最大为 24.222%, 变异幅度为 7.300~41.100 个, 整齐度指数的变异系数最小为 1.562%, 变异幅度为 79.200%~87.200%, 其他性状的变异系数依次为第 1 果枝长度(17.500%)>第一果枝节位(14.100%)>单铃重(13.329%)>马克隆值(11.091%)>株高(11.010%)>衣分(10.984%)>果枝数(9.625%)>断裂比强度(8.574%)>上半部平均长度(6.257%)>伸长率(2.005%)。一般变异系数大于 10% 表示样本间差异较大^[27]。本研究中 7 个性状的变异系数均大于 10%, 说明 270 份陆地棉种质资源间存在的差异大, 资源类型丰富, 有利于特异种质材料的比较和筛选。

表 1 270 份陆地棉种质资源性状变异情况

Table 1 The phenotypic variation of major agronomic traits in 270 upland cottons

性状	极小值	极大值	极差	均值	标准差	变异系数(%)
Traits	Min.	Max.	Range	Mean	SD	CV
株高 PH	52.700	91.400	38.700	70.960	7.813	11.010
第一果枝长度 FBL	6.700	44.900	38.200	29.360	5.138	17.500
果枝数 FBN	9.100	16.300	7.200	12.623	1.215	9.625
结铃数 BN	7.300	41.100	33.800	19.141	4.636	24.222
第一果枝节位 FBP	4.700	13.400	8.700	7.072	0.997	14.100
单铃重 BW	2.900	7.200	4.300	5.276	0.703	13.329
衣分 LP	22.700	44.800	22.100	35.187	3.865	10.984
上半部平均长度 UHML	21.800	32.600	10.800	28.973	1.813	6.257
整齐度指数 RD	79.200	87.200	8.000	84.719	1.324	1.562
断裂比强度 FS	22.400	37.300	14.900	29.155	2.500	8.574
马克隆值 MV	2.700	6.300	3.600	5.007	0.555	11.091
伸长率 ER	6.300	7.000	0.700	6.724	0.135	2.005

PH: plant height, FBL: first branch length, FBN: fruit branch number per plant, BN: boll number per plant, FBP: fruit branch position, BW: boll weight, LP: lint percentage, UHML: upper half mean length, RD: regularity degree, FS: fiber strength, MV: micronaire value, ER: elongation ratio, the same as below

2.2 主要性状的相关性分析

对 270 份陆地棉种质资源 12 个主要农艺性状进行相关性分析(表 2),结果表明,株高与单铃重、衣分、上半部平均长度、断裂比强度、马克隆值呈显著正相关,与整齐度指数和伸长率呈极显著正相关;第一果枝长度与果枝数和马克隆值呈显著正相关;果枝数与衣分呈显著负相关;结铃数与第一果枝节位呈显著正相关,与衣分呈极显著正相关;第一果

枝节位与马克隆值呈显著负相关,与伸长率呈显著正相关;单铃重与断裂比强度和马克隆值呈极显著正相关;衣分与断裂比强度呈极显著正相关;上半部平均长度与马克隆值呈极显著负相关;断裂比强度与马克隆值呈显著负相关。以上分析可以说明陆地棉各农艺性状间是相互影响、相互制约的,在种质创新利用时应结合分析。

表 2 270 份陆地棉种质资源性状相关性分析

Table 2 The correlation analysis among major agronomic traits in 270 upland cottons

性状 Traits	株高 PH	第一果 枝长度 FBL	果枝数 FBN	结铃数 BN	第一果 枝节位 FBP	单铃重 BW	衣分 LP	上半部平 均长度 UHML	整齐度 指数 RD	断裂比 强度 FS	马克 隆值 MV
第一果枝长度 FBL	0.217										
果枝数 FBN	0.310	0.206*									
结铃数 BN	0.280	0.463	0.349								
第一果枝节位 FBP	0.103	0.069	-0.08	0.131*							
单铃重 BW	0.144*	0.021	-0.106	0.020	0.067						
衣分 LP	0.123*	0.030	-0.126*	0.177**	0.083	0.244					
上半部平均长度 UHML	0.128*	0.049	-0.001	0.043	0.249	0.221	0.358				
整齐度指数 RD	0.188**	-0.014	-0.038	0.059	0.074	0.310	0.430	0.709			
断裂比强度 FS	0.121*	-0.025	0.050	-0.049	0.097	0.194**	0.191**	0.836	0.684		
马克隆值 MV	0.138*	0.131*	0.082	0.261	-0.142*	0.199**	0.408	-0.176**	0.075	-0.141*	
伸长率 ER	0.198**	0.067	-0.007	0.077	0.147*	0.263	0.373	0.732	0.605	0.740	0.169**

*与**分别表示 $P < 0.05$ 水平与 $P < 0.01$ 差异显著性

* and ** represent the P -value of 0.05 and 0.01, respectively

2.3 主要性状的主成分分析

对 270 份陆地棉种质资源的 7 个农艺性状和 5 个纤维品质性状进行主成分分析,提取特征值大于 1 的主成分,前 4 个特征值的累计贡献率达 67.358%,包含了农艺性状和纤维品质性状的绝大部分信息。

从表 3 可知,第 1 主成分的特征值为 3.580,贡献率为 29.837%,第 1 主成分中上半部平均长度特征向量值正值最大(0.888),说明上半部平均长度对第 1 主成分影响最大,其次是伸长率(0.862)、断裂比强度(0.841)、整齐度指数(0.830),因此第 1 主成分为棉花纤维品质因子。第 2 主成分的特征值为 1.969,贡献率为 16.409%,第 2 主成分中结铃数特征向量值正值最大(0.758),其次是第一果枝长

度(0.632)、果枝数(0.551),因此第 2 主成分为结铃数因子。第 3 主成分的特征值为 1.436,贡献率为 11.968%,第 3 主成分中果枝数特征向量值为正值最大(0.462),果枝数过少会影响结铃数最终影响产量,而过多会导致棉花贪青晚熟,马克隆值特征值为负值最大(-0.666),反映棉纤维的成熟度和细度。第 4 主成分的特征值为 1.097,贡献率为 9.143%,第 4 主成分中第一果枝节位特征向量值为正值最大(0.839)。

2.4 主要性状的聚类分析

利用 R 语言软件将 270 份陆地棉种质资源进行系统聚类,在遗传距离为 7.5 时将 270 份材料划分为 6 大类(图 1),同时计算各类群的性状平均值(表 4)。

表 3 270 份陆地棉种质资源农艺性状的主成分分析
Table 3 Principal component analysis of major agronomic traits in 270 upland cottons

性状	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
Traits	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
株高 PH	0.325	0.485	0.171	-0.174
第一果枝长度 FBL	0.114	0.632	0.241	0.147
果枝数 FBN	0.001	0.551	0.462	-0.397
结铃数 BN	0.110	0.758	0.153	0.244
第一果枝节位 FBP	0.205	0.006	0.271	0.839
单铃重 BW	0.415	0.058	-0.408	0.112
衣分 LP	0.538	0.199	-0.547	0.179
上半部平均长度 UHML	0.888	-0.206	0.244	0.037
整齐度指数 RD	0.830	-0.098	-0.054	-0.074
断裂比强度 FS	0.841	-0.261	0.261	-0.206
马克隆值 MV	0.130	0.541	-0.666	-0.146
伸长率 ER	0.862	-0.037	0.003	-0.094
特征值 Characteristic value	3.580	1.969	1.436	1.097
贡献率 (%) Contributions rate	29.837	16.409	11.968	9.143
累计贡献率 (%) Accumulative contributions rate	29.837	46.247	58.215	67.358

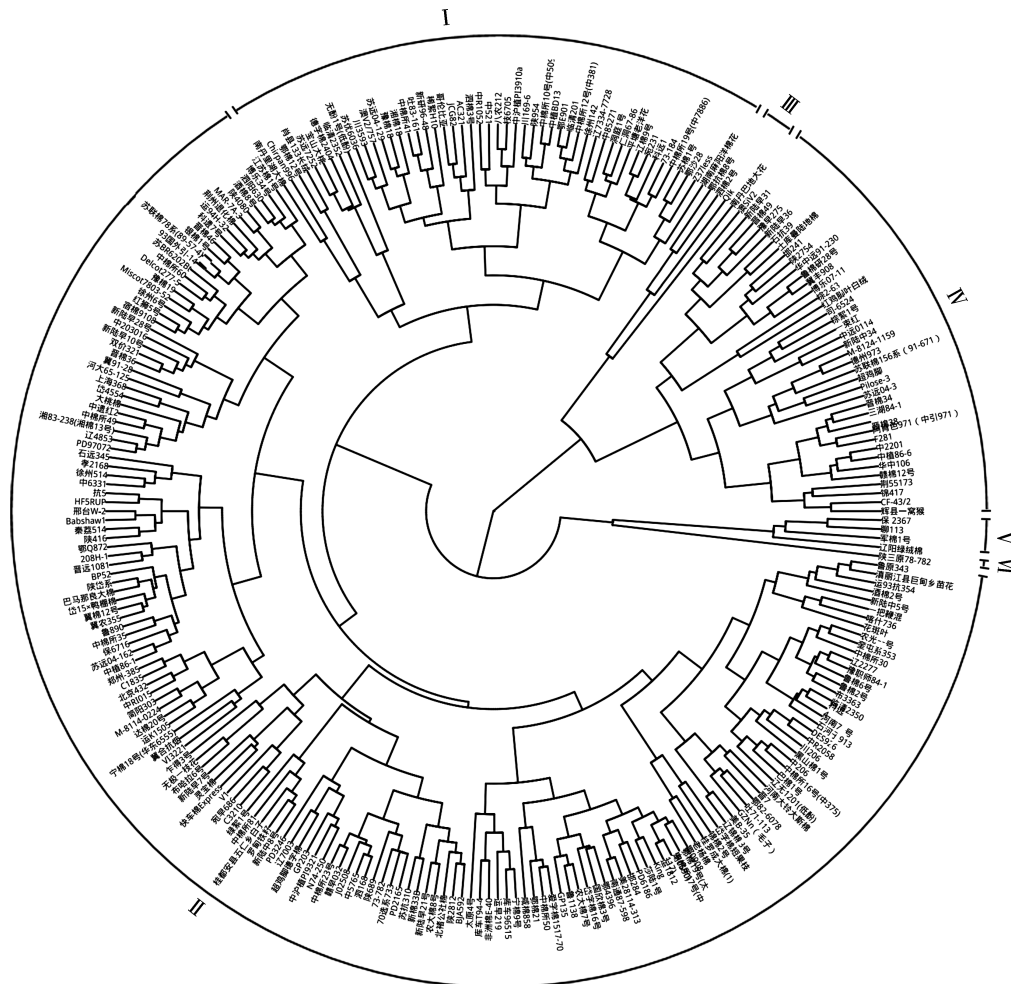


图 1 陆地棉种质资源聚类图
Fig.1 Cluster analysis in upland cotton germplasm resources map

表4 不同类群12个性状的平均数

Table 4 The average of 12 characters in different clusters

类群 Cluster	株高 PH	第一果 枝长度 FBL	果枝数 FBN	结铃数 BN	第一果 枝节位 FBP	单铃重 BW	衣分 LP	上半部平 均长度 UHML	整齐度 指数 RD	断裂比 强度 FS	马克隆 值 MV	伸长率 ER
I	63.031	29.088	12.270	18.040	7.110	5.237	36.558	29.511	84.870	30.059	4.962	6.751
II	70.874	29.173	12.669	19.130	7.000	5.262	34.530	28.818	84.640	28.950	5.017	6.714
III	81.458	37.500	13.822	36.934	7.427	5.351	37.233	28.100	84.187	27.884	5.256	6.693
IV	82.613	31.749	12.984	19.369	7.173	5.418	36.400	29.361	85.024	29.909	5.091	6.768
V	55.290	24.071	10.961	12.042	6.431	4.342	27.878	27.000	83.100	26.911	3.850	6.509
VI	80.862	6.714	9.710	9.432	9.000	4.864	35.183	29.200	84.531	28.600	4.200	6.600

第 I 类群包含 50 份,属于株高较矮、衣分适中、上半部平均长度和断裂比强度较好的棉花材料;第 II 类群包含 172 份,属于株高适中、结铃数适中的棉花材料;第 III 类群包含 4 份棉花材料,分别为泗棉 2 号、南丹巴地大花、鄂抗棉 8 号和 Qik,属于株高较高、第一果枝长度长(37.500 cm)、结铃数多(36.934 个)的棉花材料;第 IV 类群包含 39 份棉花材料,属于株高高(82.613 cm)、第一果枝较长的棉花材料;第 V 类群包含 4 份,分别是聊 113、军棉 1 号、辽阳绿绒棉和保 2367,属于株高非常矮(55.290 cm)、第一果枝长度适中、单铃重低、衣分低(27.878)、上半部平均长度短(27.000 mm)和马克隆值好(3.850,达到 A 级标准)的棉花材料;第 VI 类群包含 1 份棉花材料陕三原 78-782,属于株高较高、第一果枝长度短(6.714 cm)、果枝数少(9.710 个)、结铃数少(9.432)和马克隆值较好的棉花材料。在实际育种工作中可以根据育种目标进行综合分析和筛选。

3 讨论

系统地研究棉花种质资源的遗传多样性对棉花遗传育种具有十分重要的意义。本研究是基于黄河流域棉区 270 份陆地棉种质资源进行分析,供试材料的性状涵盖面较广,有利于在育种工作中提取相应的性状进行改良。尹会会等^[23]研究了 134 份陆地棉种质的上半部平均长度、马克隆值、单株铃数等 15 个纤维品质与农艺性状的遗传变异情况,其中变异系数大于 10% 的有 7 个性状,大部分的变异系数都在 5% 以上,而本试验的研究结果表明,12 个性状中株高、第一果枝长度、结铃数、第一果枝节位、单铃重、衣分与马克隆值的变异系数均在 10% 以上,其中纤维品质性状中马克隆值的变异系数达到了 11.1%,农艺性状中结铃数达到了 24.2%,这与尹会

会等^[23]的研究结果一致。

本试验相关分析表明,株高与整齐度指数、伸长率,结铃数与衣分,单铃重与马克隆值、断裂比强度,马克隆值与伸长率均呈极显著正相关,表明棉花株高越高,棉纤维整齐度指数越高,伸长率越长;结铃数越多,衣分越高;单铃重越重,马克隆值越粗、断裂比强度越强;马克隆值越粗,伸长率越长。纤维上半部平均长度与马克隆值呈极显著负相关,说明纤维上半部平均长度越长马克隆值越细,这与戴茂华等^[3]与董承光等^[15]的部分研究结果一致。

主成分分析结果表明:随着上半部平均长度的增加,伸长率、断裂比强度和整齐度指数均会随之增加,但第一果枝长度、结铃数和马克隆值随之增加的较慢;随着结铃数增多,第一果枝长度、果枝数、株高、马克隆值逐渐增加,但上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度和伸长率逐渐降低;马克隆值降低,相应的衣分、单铃重和整齐度指数降低,而降低果枝数会相应地提高马克隆值;随着第一果枝节位增加,第一果枝长度、结铃数、单铃重、衣分和上半部平均长度有所增加,而株高、果枝数、整齐度指数、断裂比强度、马克隆值和伸长率有所下降。

本试验中,通过对农艺与品质性状的聚类分析发现,泗棉 2 号、南丹巴地大花、鄂抗棉 8 号和 Qik 可作为改良棉花产量构成的材料加以利用;聊 113、军棉 1 号、辽阳绿绒棉和保 2367 可作为改良棉花马克隆值的材料加以利用;陕三原 78-782 可作为株型改良的材料加以利用。聚类分析现已经被广泛用于作物种质资源分类与遗传多样性的研究上,但应当注意的是,本试验中聚类分析所用的田间试验数据受环境条件影响较大,因此,若取得更为理想的聚类分析结果,应在严格控制试验环境条件的基础上,结合分子标记等先进技术,对试验进行更加系统的研

究,更好地为选配杂交亲本提供理论依据。

棉花农艺、产量及品质性状间存在着千丝万缕的关系,或促进或抑制,其中结铃数、单铃重和衣分是棉花产量构成的重要指标,上半部平均长度、断裂比强度和马克隆值是棉花纤维品质构成的重要指标,而棉花产量的提高和棉纤维品质的改良一直都是育种工作者追求的两大目标,但棉花产量与棉纤维品质之间存在不可调和的矛盾,高产育种中过度追求产量,或品质育种中过度追求品质,这两种方式都是不可取的^[18],在育种中要同时兼顾棉花产量和棉纤维品质。在棉纤维品质改良中较难同时兼顾上半部平均长度和马克隆值,本研究所做的相关性分析和主成分分析也再次印证了这一点。马克隆值一直是棉纤维品质改良中较难攻克的难题,马克隆值作为棉纤维细度和成熟的指标,对后续的棉纤维加工有重要影响。本研究中聊 113、军棉 1 号、辽阳绿绒棉和保 2367 的马克隆值均值达到 3.9,达到 A 级标准,在今后的育种工作中可利用基因工程的方法转移该优良目的基因。

本研究所做的变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析是将棉花 7 个农艺性状和 5 个纤维品质性状结合进行了综合分析,其中 7 个农艺性状数据属于表型数据,由于表型性状易受环境因素的影响,对最终的结果有一定的影响,因此在试验执行过程中只有严格控制环境因素,才能得到准确的结果^[28]。本研究选取了较多的陆地棉种质资源,采取了严格的田间操作和调查标准来控制试验误差,结果精准可靠,可为今后棉花品种选育工作提供理论依据。

参考文献

- [1] 喻树迅,魏晓文,赵新华. 中国棉花生产与科技发展. 棉花学报, 2000, 12(6): 327-329
Yu S X, Wei X W, Zhao X H. Cotton production and technical development in China. Acta Gossypii Sinica, 2000, 12(6): 327-329
- [2] 朱华玉. 利用棉纤维发育相关基因研究不同棉种的起源与进化. 南京: 南京农业大学, 2010
Zhu H Y. Studies on the Origin and evolution of different cotton species using genes related with fiber development. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010
- [3] 戴茂华,刘丽英,郑书宏,王瑞清,吴振良. 陆地棉主要农艺性状的相关性及聚类分析. 中国农学通报, 2015, 31(12): 139-144
Dai M H, Liu L Y, Zheng S H, Wang R Q, Wu Z L. Correlation and cluster analysis for main agronomic characters of upland cotton. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(12): 139-144
- [4] 李武,谢德意,赵付安,杨晓杰,赵远明,吕淑萍,聂利红,房卫平. 黄河流域棉花品种农艺性状的主成分及聚类分析. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 82-85
Li W, Xie D Y, Zhao F A, Yang X J, Zhao M Y, Lv S P, Nie L H, Fang W P. Principal component and cluster analysis of upland cotton in huanghe region. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(8): 82-85
- [5] 李海明,刘绍东,张思平,李阳,陈静,马慧娟,沈倩,赵新华,李存东,庞朝友. 陆地棉种质资源花铃期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 583-597
Li H M, Liu S D, Zhang S P, Li Y, Chen J, Ma H J, Shen Q, Zhao X H, Li C D, Pang C Y. Identification and indices screening of drought tolerance at flowering and boll setting stage in upland cotton germplasm resources Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(3): 583-597
- [6] 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, 2017, 18(4): 720-727
Meng 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* × *Gossypium barbadense*. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 720-727
- [7] 承泓良,何旭平,潘光照,张敬健,冷苏凤. 棉花产量育种的数量性状分析. 棉花学报, 1998, 10(6): 285-291
Chen H L, He X P, Pan G Z, Zhang M J, Leng S F. Analysis of quantitative traits in cotton breeding for lint yield. Acta Gossypii Sinica, 1998, 10(6): 285-291
- [8] 马麒,宿俊吉,李吉莲,宁新柱,刘萍,陈红,林海,邓福军. 海岛棉纤维品质与其种子短绒多寡的相关性分析. 棉花学报, 2017, 29(2): 261-267
Ma Q, Su J J, Li J L, Ning X Z, Liu P, Chen H, Lin H, Deng F J. Correlation analysis between seed fuzz amount and fiber quality of sea-island cotton (*Gossypium barbadense*). Acta Gossypii Sinica, 2017, 29(2): 261-267
- [9] 罗海华,邵德意,陈功,徐秀敏,高欣,袁长凯,彭金剑,汤飞宇. 陆地棉常规品种(系)与杂交组合性状相关性的比较分析. 作物杂志, 2017(5): 31-37
Luo H H, Shao D Y, Chen G, Xu X M, Gao X, Yuan C K, Peng J J, Tang F Y. Comparative analysis of trait correlation between conventional varieties (Lines) and hybrids of cotton. Crops, 2017(5): 31-37
- [10] 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
- [11] 庄萍萍,李伟,魏育明,颜泽洪,郑有良. 波斯小麦农艺性状相关性及其主成分分析. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 11-14
Zhuang P P, Li W, Wei Y M, Yan Z H, Zheng Y L. Correlation and principal component analysis in agronomic traits of *Triticum carthlicum* Nevski. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(4):

- 11-14
- [12] 郑巨云, 王俊铎, 艾先涛, 多力坤, 梁亚军, 莫明, 吐逊江, 李雪源, 龚照龙. 陆地棉产量与纤维品质性状的遗传相关分析. 新疆农业科学, 2013, 50(6): 995-1002
Zheng J Y, Wang J D, Ai X T, Duo L K, Liang Y J, Mo M, Tu X J, Li X Y, Gong Z L. Inheritance analysis of upland cotton yield and fiber quality characters. Xinjiang Agricultural Sciences, 2013, 50(6): 995-1002
- [13] 何亮. 主成分分析在 SPSS 中的应用. 山西农业大学学报, 2007, 6(5): 20-22
He L. Principal component analysis in SPSS. Journal of Shanxi Agricultural University, 2007, 6(5): 20-22
- [14] 李飞, 王清连, 李成奇. 陆地棉品种(系)资源的主成分分析和聚类分析. 江苏农业学报, 2015, 31(6): 1211-1217
Li F, Wang Q L, Li C Q. Principal component and clustering analysis of upland cotton variety (line) resources. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2015, 31(6): 1211-1217
- [15] 董承光, 李成奇, 李生秀, 周小凤, 马晓梅, 肖光顺, 李保成. 棉花种质资源主要农艺性状的综合评价及聚类分析. 新疆农业科学, 2011, 48(3): 425-429
Dong C G, Li C Q, Li S X, Zhou X F, Ma X M, Xiao G S, Li B C. Comprehensive evaluation of the major agronomic traits and cluster analysis of cotton germplasm resources. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(3): 425-429
- [16] 孙振纲, 姜艳丽, 陈耕, 王娇娟, 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 germplasms. Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(7): 773-776
- [17] 夏碧波, 李颖, 王恒明, 李涛, 徐小万, 吴智明. 国外引进辣椒资源形态学性状的聚类分析. 分子植物育种, 2017, 15(8): 3318-3330
Xia B B, Li Y, Wang H M, Li T, Xu X W, Wu Z M. Cluster analysis of morphological traits of hot pepper germplasm introduced from abroad. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(8): 3318-3330
- [18] 徐敏, 胡玉枢, 李憬霖, 金路路, 王子胜. 早熟棉创新种质资源主要性状聚类及相关分析. 作物杂志, 2017(1): 25-31
Xu M, Hu Y S, Li J L, Jin L L, Wang Z S. Clustering and correlation analysis of earlier-mature cotton innovation germplasm based on biological characters. Crops, 2017(1): 25-31
- [19] 叶禎维, 邓晓英, 石玉真, 李俊文, 刘爱英, 龚举武, 巩万奎, 商海红, 陈婷婷, 葛群, 王艳玲, 吴玉香, 刘志, 袁有禄. 杂交棉中棉所 70 后代分离群体产量品质的表型变异分析. 棉花学报, 2016, 28(1): 1-10
Ye Z W, Deng X Y, Shi Y Z, Li J W, Liu A Y, Gong J W, Gong W K, Shang H H, Chen T T, Ge Q, Wang Y L, Wu Y X, Liu Z, Yuan Y L. Analysis of phenotypic variation in fiber yield and quality in segregative populations of hybrid cotton CCRI 70. Acta Gossypii Sinica, 2016, 28(1): 1-10
- [20] 康美玲, 田忠景, 张倩倩. 利用醇溶蛋白电泳图谱分析不同玉米品种的遗传多样性. 江苏农业科学, 2013, 41(10): 70-72
Kang M L, Tian Z J, Zhang Q Q. Study on genetic diversity among different maize varieties by SDS-PAGE protein electrophoresis. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(10): 70-72
- [21] 王娟, 董承光, 刘丽, 孔宪辉, 王旭文, 余渝. 陆地棉主要产量相关性状的 SSR 标记关联分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 720-727
Wang J, Dong C G, Liu L, Kong X H, Wang X W, Yu Y. Association analysis of yield-related traits with SSR markers in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 720-727
- [22] 阮燕晔, 郭瑞, 崔震海, 张立军. 利用 SSR 技术分析辽宁省 32 个骨干玉米自交系的遗传多样性. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 29-32
Ruan Y Y, Guo R, Cui Z H, Zhang L J. Study on the genetic diversity among 32 maize inbred lines based on SSR in Liaoning province. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(11): 29-32
- [23] 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 germplasms. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(6): 1105-1115
- [24] 陈荣江, 陈付贵, 朱明哲. 棉花新品种数量性状因子分析与聚类研究. 辽宁农业科学, 2008(5): 15-18
Chen R J, Chen F G, Zhu M Z. Factor analysis and cluster research on quantitative characters of new cotton varieties. Liaoning Agricultural Sciences, 2008(5): 15-18
- [25] 王林辉. 基于主成分分析的棉花品种综合评价及聚类分析. 广东农业科学, 2009(1): 29-32
Wang L H. Synthetic Evaluation and cluster analysis of cotton varieties based on principal components analysis. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(1): 29-32
- [26] 唐淑荣, 彭振, 褚平, 侯爱玲, 孟俊婷, 冯翠萍, 魏守军. 2012 年我国生产领域棉花纤维品质抽检结果分析. 中国棉花, 2013, 40(7): 9-13
Tang S R, Peng Z, Chu P, Hou A L, Meng J T, Feng C P, Wei S J. Evaluation of fiber quality of major cotton cultivars in China during 2012. China Cotton, 2013, 40(7): 9-13
- [27] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 655-662
Sun M, Fu K X, Fan Y, Zhang X Q, Zhang C L, Guo Z H, Wang X, Ma X. Analysis of phenotypic variations in 15 introduced elite germplasm of *Lolium multiflorum* lam. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 655-662
- [28] 周丽艳, 郭振清, 马玉玲, 东方阳, 林小虎. 春小麦品种农艺性状的主成分分析与聚类分析. 麦类作物学报, 2011, 31(6): 1057-1062
Zhou L Y, Guo Z Q, Ma Y L, Dong F Y, Lin X H. Principal component and cluster analysis of different spring wheat cultivars based on agronomic traits. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(6): 1057-1062