

647 份海岛棉优异种质资源遗传多样性分析

张磊磊¹、范阿棋¹、洪梅¹、马志华¹、陈晋瑞¹、赵双印¹、郑凯²、吐尔逊·吐尔洪¹

(¹新疆巴音郭楞蒙古自治州农业科学研究院/国家农业农村部新疆早中熟及早熟陆地棉、长绒棉观测实验站, 库尔勒 841000; ²新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 通过对 647 份海岛棉种质资源进行变异系数分析、遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析, 以期在今后海岛棉亲本选配和品种选育筛选出类型更加多样的海岛棉种质资源材料。结果表明, 647 份海岛棉种质资源数量性指标变异范围在 2.46%~36.43% 之间, 表明海岛棉种质资源间差异大, 种质资源类型丰富; 描述性指标遗传多样性分析表明, 海岛棉种质资源茎毛多少、叶片颜色、叶茸毛多少、花瓣基斑大小、主茎硬度、果枝类型、花柱长度, 种质资源外在描述性类型较为多样, 可直接用于开展品种植株形态的改良使用; 数量性指标遗传多样性分析表明, 反映纤维品质的指标较反映产量的指标多样性更为丰富, 种质资源材料可用于纤维品质、熟性的改良使用。相关性分析表明, 不同数量性状间呈现出显著的相关性, 相互制约、相互作用、相互影响, 在材料创制时应当相互考量, 综合分析。主成分分析表明, 前 5 个特征值的累计贡献率达到了 75.76%, 第 1 主成分与纤维品质有关, 第 2 主成分与籽棉产量有关, 第 3 主成分与伸长率有关, 第 4 主成分与熟性有关, 第 5 主成分与衣分有关; 聚类分析在遗传距离为 10 时, 将种质资源划分为 6 个类群, 第 II 类群综合表现较好, 在实际育种中可根据育种目标进行针对性选择和改良。

关键词: 海岛棉; 种质资源; 农艺性状; 纤维品质; 遗传多样性分析

Genetic Diversity Analysis of 647 Sea Island Cotton Germplasm Resources

ZHANG Lei-lei¹, FAN A-qi¹, HONG Mei¹, MA Zhi-hua¹, CHEN Jin-ru¹, ZHAO Shuang-yin¹, ZHENG Kai²,
Tu'er-xun Tu'er-hong¹

(¹Academy of Agricultural Sciences in Xinjiang Bayingoleng Mongolia Autonomous Prefecture/Xinjiang Early-middle-maturing and Early-maturing Upland Cotton and Long-staple Cotton Observation Experimental Station Ministry of Agriculture and Rural Area of China, Korla, 841000; ²Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052)

Abstract: The variation coefficient analysis, genetic diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis of 647 island cotton germplasm resources were carried out in order to screen more diverse types of island cotton germplasm resources for parent selection and variety breeding in the future. The variation range of quantitative indexes of 647 sea island cotton germplasm resources was 2.46%~36.43%, indicating the rich diversity among sea island cotton germplasm resources. The number of stem hairs, leaf color, leaf hairs, petal basal spot size, main stem hardness, fruit branch type and style length of island cotton germplasm resources were variable, and these external descriptive traits could be directly used for the improvement of plant morphology. Genetic diversity analysis of quantitative indicators showed that the diversity of indicators reflecting fiber quality was more abundant than that reflecting yield, and germplasm resources could be used for improving fiber quality and maturity. Correlation analysis revealed a significant correlation between different quantitative traits. The complicated interaction mode implied a

收稿日期: 2022-08-15

修回日期: 2022-08-31

网络出版日期:

URL:

第一作者主要研究方向为棉花新品种选育及栽培技术研究, E-mail: xndzll@163.com

通讯作者: 洪梅, 主要从事棉花研究, E-mail: 1548232934@qq.com

基金项目: 新疆维吾尔自治区创新环境(人才、基地)建设专项(PT2011)

Foundation project: The innovation environment (talent, base) construction project of Xinjiang (PT2011)

comprehensive evaluation by integrating multiple datasets in germplasm innovation. The principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first five eigenvalues reached 75.76%. The first principal component was related to fiber quality, the second principal component was related to seed cotton yield, the third principal component was related to elongation, the fourth principal component was related to maturity, and the fifth principal component was related to lint percentage. When the genetic distance was 10, the germplasm resources were divided into 6 groups by cluster analysis. The comprehensive performance of cluster II was better. In actual breeding, targeted selection and improvement can be carried out according to breeding objectives.

Keywords: Sea Island cotton; germplasm resources; agronomic traits; fiber quality; genetic diversity analysis

棉花作为我国重要的经济作物和纺织工业的原材料^[1],决不能在种源上出现“卡脖子”情况。棉花种业要避免出现“卡脖子”的问题,首先应提升核心种源的自给率,掌握核心种质资源是关键中的关键。一直以来,棉花种质资源的多样性始终是育种家追求的关键一环,具有多样性的种质资源为棉花亲本选配、品种选育提供了更多地选择和可能。

为此,学术界就棉花种质资源多样性开展了一系列研究。王俊铎等^[2]对 200 份陆地棉种质资源进行了农艺性状的遗传多样性分析,确定了 50 份种质资源可用于新疆陆地棉育种材料的亲本。李慧琴等^[3]对 270 份陆地棉种质资源 7 个农艺性状和 5 个品质性状进行变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析。尹会会等^[4]对 134 份国外陆地棉种质资源主要农艺性状和纤维品质性状进行了变异系数、遗传多样性指数、主成分分析、聚类分析,通过综合 35 份纤维品质优异的种质与 58 份农艺性状优异的种质筛选出美 1870、美 1884、FM1830 等 14 份品质与产量俱佳的优异种质。董承光等^[5]基于表型性状对 429 份陆地棉种质资源进行了遗传多样性分析,将种质资源划分为 10 个类群,其中第 I 类群占供试材料总数的 76.9%。代攀虹等^[6]利用 19 个表型性状分析 419 份陆地棉核心种质进行了遗传多样性分析,证明了不同地理来源遗传变异有较大的差异,不同生态区的核心种质具有独特的性状特性。金宇豪等^[7]从 390 份陆地棉中筛选出 46 份纤维品质性状优异种质、122 份农艺性状优异种质和 10 份纤维品质与农艺性状俱佳的种质资源材料。王海涛等^[8]对 314 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分析,筛选出 6 大类群优异种质资源。范李萍等^[9]对 94 份海岛棉种质按照遗传和表型特征进行遗传多样性分析,得出利用 SSR 标记和农艺性状分析 2 种方法聚类结果基本一致,聚类结果与地理分布有明显的联系。目前,已有的研究多数针对于陆地棉,在开展海岛棉种质资源遗传多样性方面的研究较少,且已有的海岛棉种质资源研究涉及群体数量少、指标少,不能全面反映海岛棉种质资源现状。

本研究在前人研究的基础上,精选了新疆巴音郭楞蒙古自治州农业科学研究院自上世纪 50 年代以来引进和保存的 647 份海岛棉优异种质资源,分别选择了 16 个描述性指标和 16 个数量性指标进行遗传多样性分析,选择 16 个数量性指标进行遗传变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,种质资源材料更具有代表性,指标选择更加全面,以期通过研究为今后海岛棉亲本选配和品种选育筛选出类型更加多样的海岛棉种质资源材料。

1 材料与amp;方法

1.1 试验时间和地点

试验在新疆巴州农业科学研究院试验地(新疆库尔勒市)进行了 2 年的扩繁和鉴定,其中:2020 年扩

繁和鉴定种质资源 320 份（4 月 22 日播种）、2021 年扩繁和鉴定种质资源 327 份（4 月 15 日播种）。试验地位于 41°74'N、86°12'E，属暖温带大陆性气候，年平均气温 8.2~11.6℃，全年大于 10℃积温为 3791.2~4691.5℃，年平均降水量为 56.30 mm，年日照时数 2768.7~3103.2 h，无霜期 210 d，适合海岛棉的种植和生长。试验前茬作物为棉花，按照 1 膜 4 行的栽培模式进行种植，行长 3.00 m，行距 0.76 m，株距 0.10 m，小区面积 4.50 m²，随机区组，3 次重复，膜下滴灌、随水追肥、人工打顶，按照当地常规方式进行管理，2 年管理措施相同。

1.2 试验材料

供试材料为 647 份海岛棉种质资源，来自埃及、前苏联、美国、苏丹、叙利亚、印度、加拿大、阿尔巴尼亚、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、摩洛哥、秘鲁和中国新疆、河南、广东、云南等 14 个国家 39 个地区（表 1）。

表 1 海岛棉种质资源的来源

Table 1 The germplasm resources sources of Sea Island cotton

国家 state	地区 region	数量 number	代表性种质资源 representative germplasm resources
中国 CHN	新疆库尔勒	118	巴州 270、新海 45 号
	新疆阿瓦提	69	新海 62 号、鲁泰 700Q
	新疆阿拉尔	89	军海 1 号、新海 41 号
	新疆吐鲁番	9	吐海 1 号、端绿籽长绒
	新疆莎车	1	新疆 75-86（光籽）
	新疆墨玉	1	墨 1431
	新疆图木舒克	4	喀垦 Y9-2、新海 3 号
	新疆石河子	17	石河子 V4-2、混 8-1
	新疆库车	24	新库 198-1、新库 90085
	新疆乌鲁木齐	51	新海 6 号、新海 12 号
	新疆铁门关	8	库垦 H8660、库垦 93-562
	河南安阳	7	中海 261、抗萎 2 号
	云南	49	云南 8040-2、云南 1 号
	上海	3	长绒棉 4923、米 10
	江苏南京	16	65-3040、江苏长绒棉
	广东广州	2	11/58-1/61、平远 1 号
	陕西武功	1	西农 27
	陕西泾阳	2	西北海岛棉、泾阳来德夫阿金
	河北石家庄	2	冀 92-113、冀 92-125
	海南	1	海南岛长绒棉
北京	5	Sakel、Coastland	
前苏联 USSR	苏联全苏棉花所	39	苏联 1241、苏联 10964
	苏联中央育种站	18	C-6001、C-6022
	苏联约乐坦站	18	2-u-3、9122-u
	苏联瓦赫什站	9	5650-B
	苏联莫干站	4	MOC-0 号、莫什 620
苏联弗尔干站	1	123Φ	
美国 USA	—	14	pimaS-2、pimaS-3
埃及 EGY	—	35	Giza45、埃及棉 424
阿尔巴尼亚 ALB	—	2	鲁什涅、洛塞雅 1 号
苏丹 SUD	—	2	苏丹长绒棉、Bar14/25
叙利亚 SYR	—	2	阿什蒙、叙利亚长绒棉

印度 IND	---	1	西印度海岛棉
加拿大 CAN	---	1	加拿大 275
乌兹别克斯坦 UZB	---	1	卡尔什 8
塔吉克斯坦 TJK	---	2	5320-B
土库曼斯坦 TKM	---	1	阿什 8
摩洛哥 MAR	---	2	卡那克 55
秘鲁 PER	---	1	海岛棉

CHN: plant type, USSR: union of soviet socialist republics, USA: united states of america, EGY: egypt, ALB: albania, SUD: sudan, SYR: syria, IND: india, CAN: canada, UZB: uzbekistan, TJK: tajikistan, TKM: turkmenistan, MAR: morocco, PER: peru

1.3 调查项目与方法

试验按照 2005 年版《棉花种质资源描述规范和数据标准》所列指标进行调查和考种工作, 纤维品质数据由中国农业科学院棉花研究所农业部棉花品质监督检验测试中心(河南安阳)进行测定。分别选择了 16 个描述性指标和 16 个数量性指标, 描述性指标(表 2)包括: 株型、茎色、主茎硬度、茎毛多少、叶片颜色、叶裂刻深浅、叶茸毛多少、叶茸毛长短、叶基斑有无、花柱长度、花瓣基斑大小、花萼形状、果枝类型、铃形、铃尖突起程度、吐絮程度; 数量性指标包括: 生育期(d)、株高(cm)、第一果枝节位(节)、果枝数(台)、单株结铃数(个)、单铃重(g)、衣分(%), 子指(g)、上半部平均长度(mm)、整齐度指数(%), 断裂比强度(cN•tex⁻¹)、马克隆值、伸长率(%), 反射率(%), 黄度、纺纱均匀性指数。

表 2 海岛棉种质资源描述性指标测定标准

Table 2 Standard for descriptive indicators of sea island cotton germplasm resources

描述性指标 Descriptive index	记载标准 Recording criteria
株型 PT	1: 筒型 2: 塔型 3: 其他
茎色 SC	1: 日光红 2: 红 3: 绿 4: 紫
主茎硬度 MSH	1: 软 2: 中 3: 硬
茎毛多少 SPA	0: 无 1: 少 2: 中 3: 多
叶片颜色 LC	1: 浅绿 2: 绿 3: 深绿 4: 黄 5: 黄白
叶裂刻深浅 LL	0: 无 1: 浅 2: 中 3: 深 4: 全裂
叶茸毛多少 LPA	0: 无 1: 少 2: 中 3: 多
叶茸毛长短 LPL	1: 短 2: 中 3: 长
叶基斑有无 LBS	0: 无 1: 有
花柱长度 SL	1: 短 2: 中 3: 长
花瓣基斑大小 PBSS	0: 无 1: 小 2: 中 3: 大
花萼形状 CS	1: 杯状 2: 波状 3: 细齿形 4: 时钟形 5: 长萼
果枝类型 SBT	1: 0 式 2: I 式 3: II 式 4: III 式 5: IV 式
铃形 BS	1: 圆 2: 卵圆 3: 长卵圆 4: 圆锥
铃尖突起程度 BT	0: 无 1: 弱 2: 中 3: 强
吐絮程度 BOD	1: 紧 2: 中 3: 畅

PT: plant type, SC: stem colour, MSH: main stem hardness, SPA: stem pubescence amount, LC: leaf colour, LL: leaf lobe, LPA: leaf pubescence amount, LPL: leaf pubescence length, LBS: leaf base spot, SL: stigma length, PBSS: petal base spot size, CS: calyx shape, SBT: sympodial branch type, BS: boll shape, BT: boll tip, BOD: boll opening degree

1.4 数据处理与统计分析

数据在 Excel 2003 中进行整理, 调查数据取 3 重复的平均值。(1)变异系数(CV, coefficient of variation)

和遗传多样性指数 (genetic diversity index) : 整理后数据利用 Excel 2003 分别计算描述性指标的遗传多样性指数与数量性指标的变异系数和遗传多样性指数。变异系数 $CV = (SD / M) \times 100\%$, 其中 SD 为标准差 (standard deviation), M 为单个性状的平均值 (mean)。遗传多样性指数采用 Shannon's 信息指数 (H'), $H' = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 表示第 i 种表现型出现的频率, 描述性指标按照记载标准划分为 0~5 级的区间, 数量型指标按照极差分级公式划分 1~10 级区间。(2) 相关性分析 (correlation analysis): 利用 SPSS 20.0 进行 Pearson 相关系数检验数量性指标相关性大小以及 0.05、0.01 水平 (双侧) 上的显著性。(3) 主成分分析 (PCA, principal component analysis): 利用 SPSS 20.0 将原始变量经过标准化处理后创建相关系数矩阵, 再用于计算和提取能够代表供试样本大部分变异的主成分 (特征向量)。(4) 聚类分析 (clustering analysis): 利用 SPSS 20.0 将原始的数据在聚类分析时进行标准化转换, 采用欧氏距离进行基于组内联接法的系统聚类进行聚类和分析。

2 结果与分析

2.1 海岛棉种质资源描述性指标遗传多样性分析

研究结果 (表 3) 表明, 647 份海岛棉种质资源遗传多样性指数处于 0.54~1.20 之间, 遗传多样性指数均大于 0.50, 其遗传多样性较为丰富。其中茎毛多少遗传多样性指数最高 (1.20), 吐絮程度遗传多样性指数最低 (0.54), 遗传多样性指数 ≥ 0.80 的指标依次为茎毛多少、叶片颜色、叶茸毛多少、花瓣基斑大小、主茎硬度、果枝类型、花柱长度, 种质资源外在描述性类型较为多样, 可直接用于开展品种植株形态的改良使用。

表 3 海岛棉种质资源描述性指标遗传多样性分析

Table 3 Genetic diversity analysis of descriptive indexes in sea island cotton germplasm resources

描述性指标 Descriptive index	极小值 Min.	极大值 Max.	遗传多样性指数 Genetic diversity index	频率分布 Frequency distribution					
				0	1	2	3	4	5
株型 PT	1	3	0.7867	—	68.16	25.35	6.49	—	—
茎色 SC	1	3	0.7253	—	73.11	6.03	20.86	0.00	—
主茎硬度 MSH	1	3	0.9405	—	14.99	59.66	25.35	—	—
茎毛多少 SPA	0	3	1.1973	21.18	51.93	17.31	9.58	—	—
叶片颜色 LC	1	5	1.0760	—	21.33	34.47	43.89	0.00	0.31
叶裂刻深浅 LL	2	5	0.7216	—	0.00	0.31	47.76	51.78	0.15
叶茸毛多少 LPA	2	4	1.0487	—	0.00	19.32	42.66	38.02	—
叶茸毛长短 LPL	1	3	0.6622	—	61.36	38.18	0.46	—	—
叶基斑有无 LBS	0	1	0.6671	61.36	38.64	—	—	—	—
花柱长度 SL	1	3	0.8412	—	7.57	63.68	28.75	—	—
花瓣基斑大小 PBSS	2	4	1.0211	—	0.00	42.19	15.92	41.89	—
花萼形状 CS	1	2	0.6268	—	31.99	68.01	0.00	0.00	0.00
果枝类型 SBT	1	4	0.8510	—	67.54	0.00	18.86	13.60	0.00
铃形 BS	2	4	0.7384	—	0.00	55.33	43.59	1.08	—
铃尖突起程度 BT	2	4	0.6208	—	0.00	8.81	80.83	10.36	—
吐絮程度 BOD	1	3	0.5423	—	3.71	13.14	83.15	—	—

2.2 海岛棉种质资源数量性指标变异系数分析

研究结果 (表 4) 表明, 647 份海岛棉种质资源不同数量性状间变异范围在 2.46%~36.43% 之间, 变异

幅度较大，其中：第一果枝节位变异系数最大（36.43），变异幅度为 1.1~7.8 节，整齐度指数变异系数最小（2.46），变异幅度为 78.80%~91.20%。一般而言，变异系数 $\geq 10\%$ 则表示样本间的差异较大^[10]。变异系数 $\geq 10.00\%$ 的数量性指标依次为第一果枝节位、单株结铃数、株高、黄度、纺纱均匀性指数、马克隆值、断裂比强度、果枝数、铃重，指标占比达到了 56.25%，说明本研究中 647 份海岛棉种质资源间差异大，种质资源类型丰富，有利于开展海岛棉特异种质资源的比较、筛选和利用。

2.3 海岛棉种质资源数量性指标遗传多样性分析

为了便于数据的量化和分析，本研究将 16 个数量性指标按照极差分级公式进行加工^[9]，分成了 1~10 级区间进行遗传多样性分析。研究结果（表 4）表明，647 份海岛棉种质资源遗传多样性指数处于 1.22~2.11 之间，其中断裂比强度遗传多样性指数最高（2.11），衣分遗传多样性指数最低（1.22），遗传多样性指数 ≥ 1.80 的依次为断裂比强度、黄度、伸长率、纺纱均匀性指数、上半部平均长度、株高、整齐度指数、马克隆值、反射率、果枝数、单株结铃数、生育期，其涵盖了纤维品质 8 指标，纤维品质指标较产量指标多样性更为丰富，有利于开展纤维品质特异材料的筛选和使用。

表 4 海岛棉种质资源数量性指标变异系数及遗传多样性指数分析

Table 4 Variation coefficient of quantitative indexes and genetic diversity index of island cotton germplasm resources

数量性指标 Quantative indexes	极小值 Min.	极大值 Max.	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	遗传多样性指数 Genetic diversity index
生育期/d GP/d	109.00	154.00	45.00	130.36	7.69	5.8967	1.8630
株高/cm PH/cm	35.00	124.80	89.80	77.29	15.79	20.4334	1.9834
第一果枝节位/节 SBN/节	1.10	7.80	6.70	3.15	1.15	36.4320	1.7625
果枝数/台 SBN/台	6.80	19.30	12.50	13.49	2.00	14.8514	1.8848
单株结铃数/个 BPP/个	3.50	18.80	15.30	8.66	2.25	25.9878	1.8691
铃重/g BW/g	2.12	5.15	3.03	3.42	0.40	11.6411	1.7042
衣分/% LP/%	16.31	40.28	23.97	33.11	2.03	6.1286	1.2235
子指/g SI/g	7.72	15.93	8.21	12.33	1.17	9.5139	1.7753
上半部平均长度/mm FL/mm	24.90	40.70	15.80	35.06	2.88	8.2217	1.9885
整齐度指数/% LU/%	78.80	91.20	12.40	86.03	2.12	2.4608	1.9626
断裂比强度/cN·tex ⁻¹ FS/cN·tex ⁻¹	25.60	52.10	26.50	37.70	5.77	15.2930	2.1078
伸长率/% EL/%	5.00	10.60	5.60	6.53	1.07	16.4544	2.0690
马克隆值 MIC	3.00	5.20	2.20	4.09	0.37	8.9726	1.9000
反射率/% REF/%	59.30	82.00	22.70	73.92	4.99	6.7457	1.8896
黄度 YEL	6.70	14.30	7.60	9.53	1.81	18.9770	2.0705
纺纱均匀性指数 SCI	95.00	258.00	163.00	185.96	31.95	17.1822	2.0268

GP: growth period, PH: plant height, SBN: sympodial branch node, SBN: sympodial branch number, BPP: bolls per plant, BW: boll weight, LP: lint percentage, SI: seed index, FL: fiber length, LU: length uniformity, FS: fiber strength, EL: elongation, MIC: micronaire, REF: reflectance, YEL: yellowness, SCI: spinning consistent index, SD: standard deviation, CV: coefficient of variation

2.4 海岛棉种质资源数量性指标间相关性分析

研究结果（表 5）表明，647 份海岛棉种质资源不同数量性状间呈现出显著的相关性，部分表现为极显

著相关。相关性达到极显著正相关的组合有 44 组，分别是生育期与株高、生育期与第一果枝节位、生育期与果枝数、生育期与马克隆值、生育期与黄度、株高与果枝数、株高与上半部平均长度、株高与整齐度指数、株高与断裂比强度、株高与反射率、株高与纺纱均匀性、第一果枝节位与马克隆值、第一果枝节位与黄度、果枝数与单株结铃数、果枝数与断裂比强度、果枝数与反射率、果枝数与纺纱均匀性、单株结铃数与伸长率、单株结铃数与马克隆值、单株结铃数与黄度、铃重与子指、铃重与上半部平均长度、铃重与整齐度指数、铃重与断裂比强度、铃重与纺纱均匀性、衣分与伸长率、子指与上半部平均长度、子指与整齐度指数、子指与断裂比强度、子指与伸长率、子指与反射率、子指与纺纱均匀性指数、上半部平均长度与整齐度指数、上半部平均长度与断裂比强度、上半部平均长度与反射率、上半部平均长度与纺纱均匀性指数、整齐度指数与断裂比强度、整齐度指数与反射率、整齐度指数与纺纱均匀性指数、断裂比强度与伸长率、断裂比强度与反射率、断裂比强度与纺纱均匀性指数、马克隆值与黄度、反射率与纺纱均匀性指数。相关性达到极显著负相关的组合有 34 组，分别是生育期与单株结铃数、生育期与铃重、生育期与子指、生育期与上半部平均长度、生育期与整齐度指数、生育期与断裂比强度、生育期与伸长率、生育期与反射率、生育期与纺纱均匀性指数、株高与马克隆值、株高与黄度、第一果枝节位与果枝数、第一果枝节位与上半部平均长度、第一果枝节位与整齐度指数、第一果枝节位与断裂比强度、第一果枝节位与反射率、第一果枝节位与纺纱均匀性指数、果枝数与马克隆值、果枝数与黄度、衣分与子指、衣分与上半部平均长度、子指与马克隆值、子指与黄度、上半部平均长度与伸长率、上半部平均长度与马克隆值、上半部平均长度与黄度、整齐度指数与马克隆值、整齐度指数与黄度、断裂比强度与马克隆值、断裂比强度与黄度、马克隆值与反射率、马克隆值与纺纱均匀性指数、反射率与黄度、黄度与纺纱均匀性指数呈极显著负相关。以上分析反映出海岛棉种质资源数量间各性状指标相互制约、相互作用、相互影响，在材料创制时应当相互考量，综合分析。

2.5 海岛棉种质资源数量性指标主成分分析

通过对 647 份海岛棉种质资源的 16 个数量性状进行主成分分析（表 6），提取特征值大于 1 的主成分，前 5 个特征值的累计贡献率达到了 75.76%，包含了四分之三以上的性状特征。第 1 主成分的特征值为 6.02，贡献率为 37.65%，纺纱均匀性指数特征向量值最大（0.96），说明纺纱均匀性指数对于第 1 主成分的影响最大，其次依次是断裂比强度（0.88）、整齐度指数（0.87）上半部平均长度（0.86）、反射率（0.85），说明第 1 主成分为海岛棉种质资源纤维品质因子。第 2 主成分的特征值为 2.08，贡献率为 13.03%，第一果枝节位特征向量值最大（0.47），说明第一果枝节位对于第 2 主成分的影响最大，其次是铃重（0.46）、子指（0.41），说明第 2 主成分为海岛棉种质资源籽棉因子。第 3 主成分的特征值为 1.59，贡献率为 9.92%，伸长率特征向量值最大（0.68），说明伸长率对于第 3 主成分的影响最大，第 3 主成分主要反映了海岛棉种质资源伸长率因子。第 4 主成分的特征值为 1.23，贡献率为 7.71%，生育期特征向量值最大（0.59），说明生育期对于第 4 主成分的影响最大，第 4 主成分主要反映了海岛棉种质资源熟性因子。第 5 主成分的特征值为 1.19，贡献率为 7.45%，衣分特征向量值最大（0.83），说明第 5 主成分主要反映了海岛棉种质资源衣分因子。

表 5 海岛棉种质资源数量性指标间相关性分析

Table 5 Correlation analysis of quantitative indexes of sea island cotton germplasm resources

	生育期 GP	株高 PH	第一果 枝节位 SBN	果枝数 SBN	单株结 铃数 BPP	铃重 BW	衣分 LP	子指 SI	上半部 平均长 度 FL	整齐度 指数 LU	断裂比 强度 FS	伸长率 EL	马克隆 值 MIC	反射率 REF	黄度 YEL	纺纱均 匀性指 数 SCI
生育期 GP	1															
株高 PH	0.314**	1														
第一果 枝节位 SBN	0.150**	-0.097*	1													
果枝数 SBN	0.106**	0.627**	-0.574**	1												
单株结 铃数 BPP	-0.242**	0.025	0.032	0.192**	1											
铃重 BW	-0.162**	0.049	0.095*	-0.095*	0.081*	1										
衣分 LP	0.035	-0.051	0.041	-0.045	0.037	0.007	1									
子指 SI	-0.263**	0.019	-0.085*	0.003	0.047	0.445**	-0.202**	1								
上半部 平均长 度 FL	-0.407**	0.119**	-0.107**	0.064	-0.063	0.293**	-0.137**	0.387**	1							
整齐度 指数 LU	-0.313**	0.208**	-0.108**	0.095*	-0.084*	0.201**	-0.052	0.359**	0.810**	1						
断裂比 强度 FS	-0.345**	0.303**	-0.135**	0.153**	-0.07	0.302**	0.044	0.401**	0.667**	0.756**	1					
伸长率 EL	-0.136**	0.056	0.004	0.037	0.176**	0.100*	0.164**	0.208**	-0.216**	-0.013	0.167**	1				
马克隆 值 MIC	0.232**	-0.338**	0.326**	-0.334**	0.102**	-0.044	0.003	-0.203**	-0.599**	-0.612**	-0.717**	0.054	1			
反射率 REF	-0.256**	0.315**	-0.198**	0.231**	-0.067	0.081*	-0.043	0.170**	0.683**	0.659**	0.666**	-0.085*	-0.673**	1		
黄度 YEL	0.207**	-0.342**	0.231**	-0.274**	0.108**	-0.067	0.059	-0.201**	-0.706**	-0.696**	-0.675**	0.098*	0.725**	-0.927**	1	
纺纱均 匀性指 数 SCI	-0.361**	0.266**	-0.140**	0.136**	-0.099*	0.273**	-0.037	0.385**	0.864**	0.914**	0.923**	-0.066	-0.738**	0.773**	-0.786**	1

*与**分别表示在 0.05、0.01 水平（双侧）上显著相关

* and ** represents significant correlation at 0.05 and 0.01 levels (bilateral), respectively

表 6 海岛棉种质资源数量性指标主成分分析

Table 6 Principal component analysis on quantitative indexes of sea island cotton germplasm resource

性状 Traits	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4	因子 5 Factor 5
生育期 GP	-0.378	-0.487	-0.258	0.59	-0.129
株高 PH	0.349	-0.645	0.201	0.502	-0.121
第一果枝节位 SBN	-0.267	0.474	-0.264	0.539	0.111
果枝数 SBN	0.281	-0.781	0.41	-0.088	-0.141
单株结铃数 BPP	-0.068	0.045	0.615	-0.233	0.063
铃重 BW	0.263	0.459	0.341	0.39	-0.26
衣分 LP	-0.079	-0.007	0.103	0.17	0.834
子指 SI	0.42	0.408	0.402	0.124	-0.421
上半部平均长度 FL	0.859	0.225	-0.169	-0.078	-0.118
整齐度指数 LU	0.87	0.153	-0.092	0.052	0.041
断裂比强度 FS	0.88	0.115	0.11	0.16	0.154
伸长率 EL	-0.029	0.131	0.678	0.203	0.328
马克隆值 MIC	-0.814	0.223	0.051	0.071	-0.118
反射率 REF	0.851	-0.132	-0.163	-0.042	0.119
黄度 YEL	-0.875	0.175	0.174	0.023	-0.081
纺纱均匀性指数 SCI	0.964	0.126	-0.085	0.063	0.05
特征值 CV	6.024	2.084	1.587	1.234	1.192
贡献率 CR	37.651	13.027	9.919	7.714	7.45
累计贡献率 ACR	37.651	50.677	60.596	68.311	75.761

CV: characteristic value, CR: contributions rate, ACR: accumulative contributions rate

2.6 海岛棉种质资源聚类分析

运用欧式距离进行聚类分析（表 7），在遗传距离为 10 时，将 647 份海岛棉种质资源分成了 6 类（图 1），按不同类群分别计算了各性状平均值。

表 7 海岛棉种质资源数量性指标不同类群平均值

Table 7 Average values of quantitative traits of different groups of island cotton germplasm resources

类群 Cluter	I 类 Cluster I	II 类 Cluster II	III 类 Cluster III	IV 类 Cluster IV	V 类 Cluster V	VI 类 Cluster VI
生育期/d	133.51	128.34	127.55	133.81	137.29	131.00
GP/d						
株高/cm	101.88	85.02	71.20	74.11	82.63	124.80
PH/cm						
第一果枝节位/节	2.70	2.93	2.90	3.55	2.40	1.80
SBN/节						
果枝数/台	16.12	13.96	13.18	13.05	14.79	12.70
SBN/台						
单株结铃数/个	9.17	8.26	9.00	8.75	10.74	5.70
BPP/个						
铃重/g	3.45	3.54	3.38	3.33	3.19	3.00
BW/g						
衣分/%	32.33	33.26	32.61	33.28	33.91	34.79
LP/%						
子指/g	12.51	12.79	12.49	11.84	11.27	11.30
SI/g						
上半部平均长度/mm	34.87	37.82	35.17	32.75	27.69	28.70
FL/mm						
整齐度指数/%	85.98	88.1	86.19	84.23	80.66	81.50
LU/%						
断裂比强度/cN·tex ⁻¹	38.27	44.23	36.78	32.73	28.40	32.30
FS/cN·tex ⁻¹						
伸长率/%	6.06	5.51	6.65	7.33	7.99	7.80
EL/%						
马克隆值	4.22	4.06	4.13	4.07	4.46	4.60
MIC						

反射率/%	75.71	78.48	73.94	70.10	65.74	66.20
REF/%						
黄度	8.72	7.83	9.58	10.92	12.67	12.40
YEL						
纺纱均匀性指数	186.59	223.08	183.87	156.38	110.86	128.00
SCI						
频率分布	5.72	34.78	19.47	38.80	1.08	0.15
TFD						

TFD: the frequency distribution

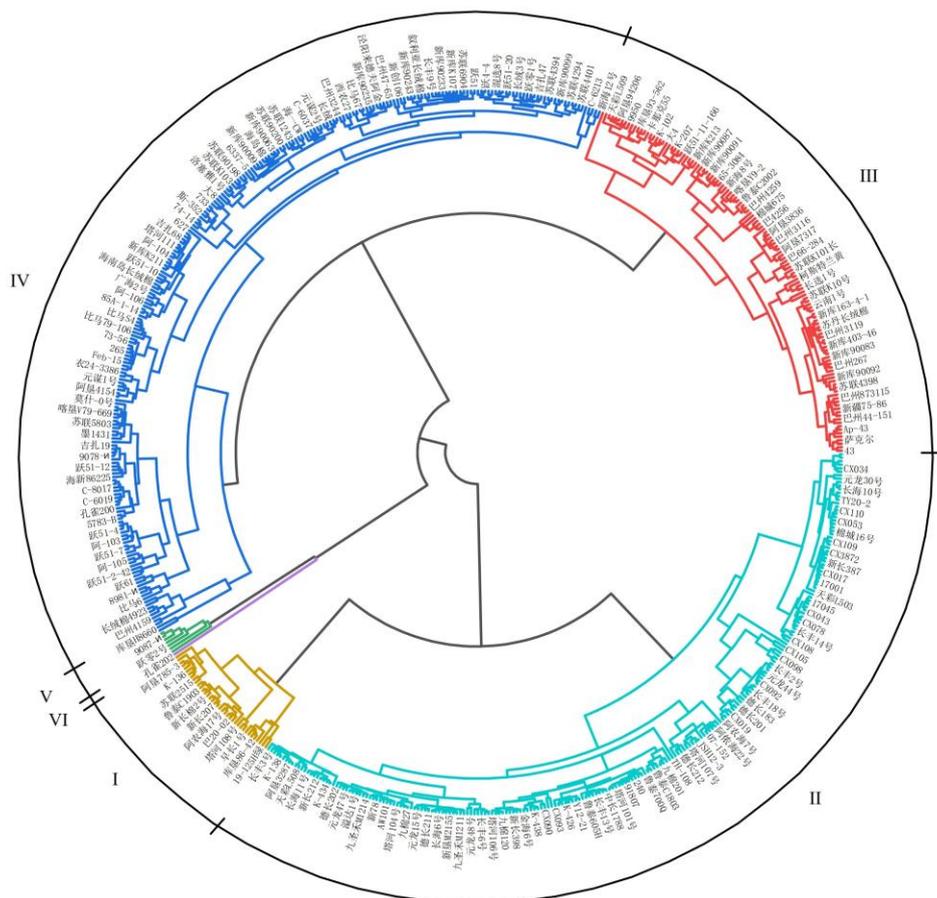


图 1 海岛棉种质资源聚类图

Fig. 1 Cluster analysis in sea island cotton germplasm resources map

第 I 类群包含了种质资源 37 份，属于植株高、果枝多、结铃性好的高植株类型材料。第 II 类群包含了种质资源 225 份，属于棉纤维长、整齐度好、断裂比强度高、马克隆值属于合理范围内、反射率高、絮色洁白、纺纱均匀性指数高的材料。第 III 类群包含了种质资源 126 份，属于生育进程早、矮生类型的材料，可用于改良品种的早熟性、降低植株高度。第 IV 类群包含了种质资源 251 份，属于 647 份种质资源中各项指标较为均衡的材料。第 V 类群包含了种质资源 7 份，包含了生育期晚、第一果枝节位低、铃重及子指轻、上半部平均长度短、整齐度差、断裂比强度低、马克隆值高、反射率低、絮色发黄、纺纱均匀性指数低等诸多不良性状。第 VI 类群包含了种质资源 1 份。在实际育种中，可根据育种目标进行针对性选择和改良。

3 讨论

研究通过遗传多样性指数分析发现,对 647 份海岛棉种质资源 16 个描述性指标进行遗传多样性分析,其遗传多样性指数处于 0.54~1.20 之间,平均遗传多样性为 0.82;而 16 个数量性指标进行遗传多样性分析,其遗传多样性指数却处于 1.22~2.11 之间,平均遗传多样性为 1.88,多样性更为丰富,其数量性指标较描述性指标表现出更为明显的丰富度和均匀度。因此,研究的后续分析没有继续选择描述性指标继续开展变异系数分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,而是选择了数量性指标,选择数量性指标所得出的研究结果会更具科学性和代表性,更能帮助育种家筛选出所需的种质资源。

研究通过相关性分析发现,16 项数量性指标之间呈现出显著性的相关性,彼此之间存在或多或少的联系,相互关系比较复杂^[11],表现出显著或极显著正相关以及显著或极显著负相关,其中第一果枝节位与上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度呈极显著负相关,与王海涛^[8]在陆地棉上的研究分析结果一致;子指与马克隆值呈极显著负相关,与刘剑光^[11]在陆地棉上的研究分析结果一致;衣分与上半部平均长度呈极显著负相关,与徐敏^[12]在陆地棉上的研究分析结果一致。以上结果说明海岛棉同陆地棉一样,产量相关性状与纤维品质相关性状多数情况下表现为负相关,两者存在着不可调和的矛盾^[3,5]。因此,在后续的品种选育中,应尽可能兼顾品种产量性状与纤维品质性状的同步改良,单一过度追求产量指标的提升或者是单一过度追求品质指标的提升都是不可取的^[12]。

研究还发现,在 0.01 的显著性水平(双侧检验)上,相关系数 >0.80 的极强相关性的性状组合有:整齐度指数与上半部平均长度(相关系数 0.81)、纺纱均匀性指数与上半部平均长度(相关系数 0.86)、纺纱均匀性指数与整齐度指数(相关系数 0.91)、纺纱均匀性指数与断裂比强度(相关系数 0.92)、黄度与反射率(相关系数-0.93),以上结果与金宇豪^[7]、李兴河^[13]、钱玉源^[14]、唐淑荣^[15]、许乃银^[16]、刘超^[17]等学者在陆地棉种质资源方面的部分研究结论是一致的。说明上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、纺纱均匀性指数、反射率、黄度在内的纤维品质指标在不同的棉花栽培种、不同的棉花群体和不同的环境条件下表现出的相互关系较为稳定。表现为原棉纤维品质越好,其上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、纺纱均匀性指数数据结果越高,原棉品级越高其色泽越好,其反射率越高、黄度值越低,这与棉花种质资源本身的发展规律也是相符的。因此,今后在棉花利用过程中可重点结合上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、纺纱均匀性指数、反射率、黄度等纤维品质之间的相互关系进行种质资源性状的优化和改良,从而获得具有优异性状的新杂交种。

研究通过聚类分析发现,第 II 类群 225 份海岛棉种质资源中除吉扎 76,224 份种质资源均为 2010 年以后引进和选育保存的新疆本地的海岛棉种质资源,其类群在 6 个类群中各项指标突出,说明新疆海岛棉种质资源在长期的品种选育下,其各项指标较以往国外或省外引进的种质资源得到了较大提升,这对于避免出现海岛棉“卡脖子”问题具有正向的积极作用。

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[J].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] 王俊锋,龚照龙,梁亚军,艾先涛,郭江平,莫明,李雪源,郑巨云. 200 份陆地棉种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(9): 1623-1629
Wang J D, Gong Z L, Liang Y J, Ai X T, Guo J P, Mo M, Li X Y, Zheng J Y. Genetic diversity analysis of agronomic characters in 200 upland cotton germplasm resource. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(9): 1623-1629
- [3] 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[J]. 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, Qin 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
- [4] 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和纤维品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4):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(4):1105-1115
- [5] 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[J]. 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
- [6] 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 王立如, 贾银华, 潘兆娥, 庞保印, 杜雄明, 王溢. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2016,49(19): 3694-3708
Dai P H, Sun J L, He S P, Wang L R, Jia Y H, Pan Z E, Pang B Y, Du X M, Wang M. Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton. Scientia Agricultura Sinica, 2016,49(19): 3694-3708
- [7] 金字豪, 阳会兵, 高倩文, 王峰, 周仲华, 马肖, 文双雅, 胡海燕. 陆地棉纤维品质和农艺性状遗传多样性分析及优良材料鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(2): 1-12
Jin Y H, Yang H B, Gao Q W, Wamh F, Zhou Z H, Ma X, Wen S Y, Hu H Y. Genetic diversity analysis of fiber quality and agronomic traits and identification of superior materials in upland cotton. Journal of Northeast Agricultural University, 2022, 53(2): 1-12
- [8] 王海涛, 李兴河, 蔡肖, 唐丽媛, 张素君, 刘存敬, 张香云, 张建宏. 314 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[J]. 山东农业科学, 2022, 54(5): 16-23
Wang H T, Li X H, Cai X, Tang L Y, Zhang S J, Liu C J, Zhang X Y, Zhang J H. Genetic diversity analysis of agronomy and fiber quality characters in 314 upland cotton germplasm resources, Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(5): 16-23
- [9] 范李萍, 吴鹏昊, 王莉萍, 陈全家, 曲延英. 基于遗传和表型特征的海岛棉遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(2): 197-208
Fan L P, Wu H P, Wang L P, Chen Q J, Qu Y Y. Analysis of genetic diversity in sea island cotton based on genetic and phenotypic traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(2): 197-208
- [10] 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[J]. 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
- [11] 刘剑光, 赵君, 徐剑文, 吴巧娟, 肖松华. 200 份陆地棉种质资源的遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 66-69
Liu J G, Zhao J, Xu J W, Wu Q J, Xiao S H. Genetic diversity analysis of 200 upland cotton germplasm resources. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(14): 66-69
- [12] 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[J]. 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
- [13] 李兴河, 王海涛, 刘存敬, 唐丽媛, 张素君, 蔡肖, 熊永斌, 张香云. 80 份棉花种质资源的育种应用价值评价[J]. 农学学报, 2021, 11(11): 11-18
Li X H, Wang H T, Liu C J, Tang L Y, Zhang S J, Cai X, Xiong Y B, Zhang X Y. 80 Cotton germplasm resources: utilization value evaluation. Journal of Agriculture, 2021, 11(11): 11-18
- [14] 钱玉源, 刘祎, 崔淑芳, 王广恩, 张曦, 金卫平, 李俊兰. 基于表型的棉花种质资源遗传多样性分析及核心种质的抽提[J]. 华北农学报, 2019, 34(S1): 29-35
Qian Y Y, Liu W, Cui S F, Wang G E, Zhang X, Jin W P, Li J L. Analysis of Genetic Diversity of Cotton Germplasm Resources and Extraction of Core Germplasm Based on Phenotypic Traits. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2019, 34(S1): 29-35
- [15] 唐淑荣, 许乃银, 杨伟华, 魏守军, 周治国. 基于 GGE 分析的西北内陆棉区纤维品质生态区划分[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(12): 1674-1682
Tang S R, Xu N Y, Yang W H, Wei S J, Zhou Z G. Ecological regionalization of cotton fiber quality in the Northwest Inland Region using GGE analysis. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(12): 1674-1682

- [16] 许乃银, 金石桥, 李健. 利用 GGE 双标图划分我国棉花纤维品质生态区[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 191-198
Xu N Y, Jin S Q, Li J. Ecological regionalization of national cotton fiber quality in China using GGE biplot analysis method. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(1): 191-198
- [17] 刘超, 赵书林. 棉花的主要品质指标与品级之间的关系[J]. 天津工业大学学报, 2009, 28(6): 45-48
Liu C, Zhao S L, Relationship between main quality indexes of cotton and its grade, Journal of tianjin polytechinc university, 2009, 28(6): 45-48