

## 213 份海岛棉种质资源的遗传多样性分析

李江博<sup>1</sup>, 叶盛<sup>1</sup>, 常国斌<sup>3</sup>, 高曼<sup>1</sup>, 王霞<sup>1</sup>, 帕丽旦·艾海提<sup>2</sup>, 曲延英<sup>1</sup>, 郑凯<sup>1</sup>, 陈全家<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>新疆维吾尔自治区农业农村厅, 乌鲁木齐 830000; <sup>3</sup>

新疆金丰源种业有限公司, 阿克苏 843100)

**摘要:** 探索 2 年 3 个环境点 (2022 年两个点: 库尔勒市和阿瓦提县, 2023 年一个点: 阿瓦提县) 自然高温对海岛棉 4 个花性状的影响。利用一个环境点的海岛棉不同生育时期的 41 个性状指标 (26 个数量性状, 15 个质量性状) 对 213 份海岛棉资源进行综合评价。通过遗传多样性分析, 主成分分析, 相关性分析, 聚类分析, 多元回归分析, 最后利用综合评价值 (F) 鉴定出综合表型较优及高温耐性较好的材料。结果显示 4 个花性状均易收到环境影响, 花药对高温天气最为敏感。213 份海岛棉资源材料的变异系数变化范围在 2.70%~30.83% 之间, 遗传多样性指数的变化范围在 0.030~2.14 之间, 说明供试的海岛棉资源遗传类型较为丰富。26 个表型指标提取到了 9 个主成分, 累计贡献率 74.969%, 依据特点分为产量构成因子, 植株生长因子, 植株授粉因子等。通过多元回归分析我们发现试验用到的表型指标与花粉活力和蕾铃脱落率的相关性不高, 花粉活力与蕾铃脱落率之间的解释率也不高, 可能这两个指标有独特遗传机制, 受其他表型指标的影响较小。26 个表型指标综合聚类将 213 份海岛棉资源分为 5 类, 其中第一类包含 16 份综合性状优良的高产材料, 第二类包含 122 份花性状指标较为优良, 花大, 叶多的材料, 第三类包含 44 份植株较高, 蕾铃脱落率较低的材料, 第四类群包含 29 份营养器官生长较为优异的材料, 第五类包含 2 份花粉活力较强材料。两个耐高温指标聚类将 213 份海岛棉资源分为了 3 类, 其中第一类包含 102 份花粉活力低蕾铃脱落率的材料, 第二类包含 63 份中花粉活力中蕾铃脱落率的材料, 第三类包含 48 份低花粉活力高蕾铃脱落率的材料。两种聚类最优类群存在交集有 7 份材料。本研究结果可为海岛棉优异种质资源的挖掘及种质创新提供理论依据。

**关键词:** 海岛棉; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性; 高温

## Genetic Diversity Analysis of 213 *Gossypium barbadense* L. Germplasm Resources

收稿日期: 2024-02-23

网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为棉花遗传育种, E-mail: 760631995@qq.com;

通讯作者: 郑凯, 研究方向为棉花分子育种, E-mail: zhengkai555@126.com;

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

基金项目: 新疆长绒棉育种联合攻关项目(2022MH-01), “天山英才”培养计划项目(2023TSYCLJ0012)

Foundation project: Xinjiang Long-staple Cotton Breeding Joint Research Project(2022MH-01), "Tianshan Talents" Training Program Project(2023TSYCLJ0012)

LI Jiangbo<sup>1</sup> , YE Sheng<sup>1</sup> , CHANG Guobin<sup>3</sup>, GAO Man<sup>1</sup> , WANG Xia<sup>1</sup>, AIHAITI·Palidan<sup>2</sup>  
QU Yanying<sup>1</sup>, ZHEN Kai<sup>1</sup>, CHEN Quanjia<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University/Cotton Engineering Research Center, Ministry of Education, Urumqi

830052; <sup>2</sup>Department of Agriculture and Rural Affairs of Xinjiang, Urumqi 830000; <sup>3</sup>Xinjiang Jinfengyuan Seed Industry Co., Ltd. Aksu

843100)

**Abstract:**The effects of natural high temperature on four flower traits of *Gossypium barbadense* L. were studied at three environmental sites in two years (Korla and Awat County in 2022 and Awat County in 2022). The high temperature tolerance of 213 *Gossypium barbadense* L. resources was evaluated by using 41 traits (26 quantitative traits and 15 quality traits) at different growth stages in an environmental site. Through genetic diversity analysis, principal component analysis, correlation analysis, cluster analysis, multiple regression analysis, and finally use the comprehensive evaluation value (F) to identify the better comprehensive phenotype and high temperature resistance of materials. The results showed that all 4 flower traits were easily influenced by environment, and anthers were most sensitive to high temperature. The variation coefficient and genetic diversity index of 213 *Gossypium barbadense* L. resources ranged from 2.70% – 30.83% and from 0.030 – 2.14 respectively, which indicated that the tested *Gossypium barbadense* L. resources were rich in genetic types. Nine principal components were extracted from 26 phenotypic indexes, and their cumulative contribution rate was 74.969% . They were classified into yield components, plant growth factors, and plant pollination factors. Through the multiple regression analysis, we found that the correlation between the phenotypic indexes and the pollen vigor and the exfoliation rate was not high, and the explanation rate between the pollen vigor and the exfoliation rate was not high, other phenotypic parameters had less effect. 213 *Gossypium barbadense* L. resources were divided into 5 groups by 26 phenotypic indexes, the first group contained 16 high-yield materials with good comprehensive characters, the second group contained 122 high-yield materials with good flower characters and big flowers, among the materials with more leaves, the third group contained 44 materials with higher plant height and lower Buds shedding rate, the fourth group contained 29 materials with better vegetative organ growth, and the fifth group contained 2 materials with stronger pollen vigor. The 213 *Gossypium barbadense* L. resources were divided into three groups by two high temperature tolerance indexes: the first group contained 102 high pollen vigor and low pollen Buds shedding rate materials, the second group contained 63 high pollen vigor and low pollen Buds shedding rate materials, the third category contains 48 materials with low pollen viability and high Buds shedding rate. There are 7 materials in the intersection of the two optimal clusters. The results of this study can provide a theoretical basis for the exploitation and germplasm innovation of *Gossypium barbadense* L..

**Key Words:** *Gossypium barbadense* L.; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity; high temperature

海岛棉主要起源于美洲大西洋沿岸群岛，因产地而得名<sup>[1]</sup>。20 世纪末，中国新疆开始引进并推广种植海岛棉。新疆地区独特的干旱气候、充足的日照为海岛棉的生长提供了理想条件。现如今新疆种植的海岛棉展现出丝绸般的光泽感，以及在颜色、长度、弹力和蓬松度方面均表现出色，位居所有棉花品种之冠让新疆海岛棉在国际市场上成为备受追捧的“西域白色黄金”。

遗传多样性是育种的基础，海岛棉资源丰富的遗传多样性可以用于选育更具适应性、高产性、高品质和抗病虫害的新品种。同时也可以用于评估和保存基因资源。通过对遗传多样性的评估，可以了解海岛棉资源的遗传多样性水平和分布情况，有助于选择具有代表性和多样性的种质资源。通过对遗传多样性的分析，可以了解海岛棉资源在不同环境条件下的适应性和遗传基础，为研究其生态适应机制提供重要线索，也可以发现新的遗传变异和基因型，为遗传改良提供新的遗传资源<sup>[2-4]</sup>。

随着棉花种质资源收集与保存数量的日益增加，高效利用这些资源变得十分困难，因此对种质资源的评价显得越来越重要。目前，水稻<sup>[5]</sup>、小麦<sup>[6]</sup>、玉米<sup>[7]</sup>、绿豆<sup>[8-9]</sup>应用表型进行多样性分析及综合评价已有报道，但海岛棉种质资源遗传多样性分析及评价的报道较少。开展海岛棉种质资源的遗传多样性研究，有利于海岛棉优异种质资源的挖掘与创新，对海岛棉资源鉴定、性状评价等具有重要的意义。

高温胁迫是威胁世界作物安全的主要生态制约因素。近年来由于全球气候变化影响，夏季的极端高温天气频繁发生，对农业生产造成了巨大的经济损失。棉花是锦葵科棉属一年生或多年生草本植物，其最适宜生长的温度为 20 至 30℃<sup>[10]</sup>。海岛棉对高温胁迫十分敏感，高温胁迫会严重影响花粉的活力和花药不开裂，增加蕾铃脱落，从而导致显著的产量损失。同时，持续的高温胁迫还会导致纤维强度下降，纤维整齐度降低<sup>[11]</sup>。棉花在所有发育阶段对温度都非常敏感，棉花雄性生殖器官比雌性器官对温度升高更敏感<sup>[12]</sup>。棉花产量下降主要是因为高温（HT）增加了雄性不育的可能性<sup>[13]</sup>，有学者预测，如果不采取缓解措施，到本世纪末全球平均表面温度将上升（2.6℃~4.8℃），因此筛选耐高温种质任务迫在眉睫。

本研究对 213 份来源不同的海岛棉资源通过三个环境点下的 4 个花性状进行分析，以及一个环境点 41 种表型性状的分析与鉴定，筛选出一批综合性状优良的海岛棉种质。通过选取两种在高温极端天气中最具有代表性的指标花粉活力<sup>[14-15]</sup>和蕾铃脱落率<sup>[16-17]</sup>，探究其与不同表型性状之间的关系并综合筛选出较为优异的耐高温种质。本研究筛选出优异的种质资源为今后高效利用海岛棉资源提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验的 213 份棉花种质资源均由新疆农业大学农学院作物遗传改良与种质创新重点

实验室收集并提供。

1.2 试验方法

此实验于 2022-2023 年在新疆维吾尔自治区阿瓦提县（东经 80°39′，北纬 40°39′）与库尔勒市（东经 86°14′，北纬 41°75′）进行。2022 年测量了阿瓦提与库尔勒 2 点的 4 个花性状（花柱长度、柱头长度、雄蕊长度、单个花药长度），2023 年测量了阿瓦提环境下的 41 个性状。需强调的是 2 环境均为温带大陆性干旱气候，多晴少雨，霜期短,日照长,热量丰富，阿瓦提县与库尔勒市独特的光热资源，为海岛棉生长发育提供了有力的条件。

田间试验均采用随机区组试验设计，采用 1 膜 6 行(66+10) cm 种植模式，株距为 10 cm，膜幅 2.1 m，行长 3 m，试验设置两次重复。播种时间 2023 年 4 月 10 日，打顶时间 7 月 15 日，其他田间管理同当地大田生产。试验田 2023 年 6 月至 8 月温度情况如图 1 所示。

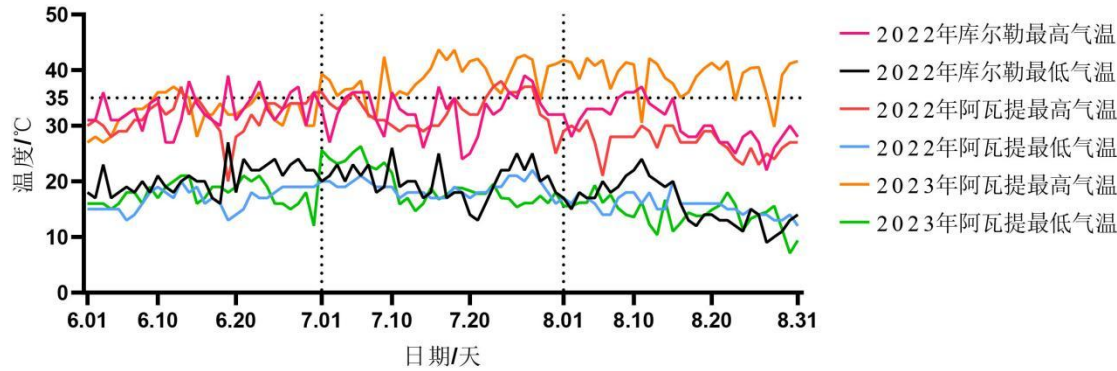


图 1 三个环境点 6-8 月温度变化情况

Fig. 1 Temperature changes at three environmental sites from June to August

1.3 调查性状

2022 年阿瓦提与库尔勒两点的 4 个花性状（花柱长度、柱头长度、雄蕊长度、单个花药长度）均于花期（七月中下旬）调查收集。

2023 年阿瓦提性状调查情况如下：

于花期调查（七月中下旬）：花柱长度，柱头长度，雄蕊长度，单个花药长度，花冠长度，Fv/Fm，叶面积指数，花粉活力，蕾铃脱落率（第一次观察），株型，植株腺体，主茎硬度，茎毛多少，茎毛长短，叶蜜腺，叶蜜腺数，叶毛多少，叶毛长短，花基斑色，苞外蜜腺;于吐絮期调查（10 月初）：株高，每铃室种子数，始节高，第一果枝节位，有效铃数，有效果枝数，叶枝数，籽棉(40 铃)，皮棉(40 铃)，衣分，单铃重，蕾铃脱落率（第二次观察），铃着生方式，铃形，铃尖，吐絮，短绒，马克隆值，上半部平均长度，整齐度指数，断裂比强度，伸长率。

花粉活力：采用 2.3.5-三苯基氯化四氮唑（TTC）染色法测定花粉活力(称取磷酸二氢钾 5.32 g 和磷酸氢二钾 14.03 g 溶于 1 L 蒸馏水中,pH=7,称取 TTC 粉末加入磷酸钾缓冲液中定容至终浓度约为 8 %，4℃避光保存）。取当天开放的花，放入 2 mL 离心管中加入 1 mL TTC 溶液，37℃培养箱反应 30 min 后取出在显微镜下观察拍照，以正常染色的花粉粒与花粉总数的比值来测定花粉活力。

蕾铃脱落率：在高温天气到来前（7 月中旬），分别统计每个单株上蕾铃总数 A，在最终吐絮收花时（10 月初）统计单株上最终的成铃数 B,按蕾铃脱落率=1-(A-B)/A 的公式计算单株蕾铃脱落率。

叶面积指数，最大光化学效率（FV/FM）分别用托普云农植物冠层分析仪（TOP-1300），北京雅欣叶绿素荧光仪（Yaxin-1162）测定。

从每个处理的两个重复中连续选择五株长势均匀的植株来进行研究测量，按照《棉花种质资源描述规范和数据标准》<sup>[18]</sup>（表 1）对 213 份种质的相关指标进行调查记录。

表 1 213 份海岛棉资源质量性状的测定标准  
Table 1 Standard for the determination of quality characters of 213 *Gossypium*  
*barbadense* L. resources

性状 Traits	赋值 Assignment
株型 PT	1:筒型；2:塔型
植株色素腺体 PPG	0:无；1:少；2:中；3:多
主茎硬度 MSH	1:软；2:中；3:硬
茎毛多少 SPA	0:无；1:少；2:中；3:多
茎毛长短 SPL	1:短；2:中；3:长
叶蜜腺有无 LN	0:无；1:有
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
花瓣基斑颜色 PBSC	1:乳白；2:黄色；3:淡粉；4:粉红；5:红；6:紫
苞外蜜腺 EN	0:无；1:有
铃着生方式 BST	1:单生；2:丛生
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
种子短绒 SF	1:光子；2:端毛；3:稀毛；4:毛子

1.4 数据处理

所有数据的统计和分析均在 Excel 2013，SPSS 25.0 和 R-4.1.1 完成。Excel 2013 进行最大值，最小值，标准差等描述性指标计算；SPSS 25.0 进行主成分分析；R-4.1.1 进行相关性分析、多元回归分析、聚类分析。表型遗传多样性采用 Shannon Weaver 遗传多样性指数  $H'$  来衡量。质量性状按照《棉花种质资源描述规范和数据标准》<sup>[18]</sup> 分级标准划分（表 1），

数量性状按照极差分级公式<sup>[19]</sup>划分 1~10 级。最后利用综合评价值  $F$ <sup>[20]</sup> 对海岛棉进行综合评价。

频率： $P_i=N_i/N$  (1)

多态性指数计算公式： $H'=-\sum P_i \times \ln P_i$  (2)

式中： $N_i$  为第  $i$  个表型性状的出现次数， $N$  为该性状所有表型性状出现次数之和， $P_i$  为某性状第  $i$  个级别出现的频率， $H$  为遗传多样性指数。

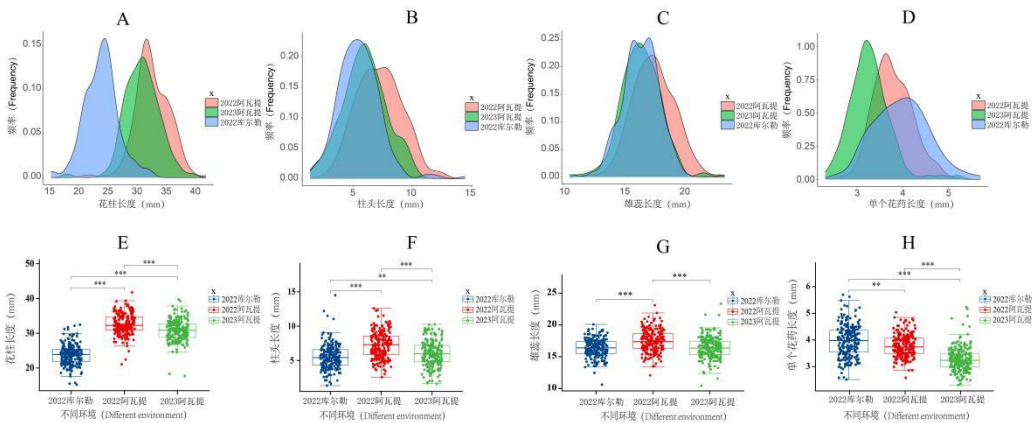
综合指标评价值： $F = \sum_{i=1}^n [\mu(X_i) \times \omega_i]$ ， $i=1,2,\dots,n$  (3)

式中： $\mu(X_i)$  为隶属函数值， $\mu(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ ， $i=1,2,\dots,n$ 。其中  $X_i$ 、 $X_{min}$ 、 $X_{max}$  分别指第  $i$  个综合指标以及第  $i$  个综合指标的最小值和最大值； $\omega_i$  为综合指标权重系数， $\omega_i=P_i/\sum_{i=1}^n P_i$ ， $i=1,2,\dots,n$ 。 $P_i$  为各品种第  $i$  个综合指标的贡献率。

2 结果与分析

2.1 三个环境点 4 个花性状差异分析

两年三个环境点下，四个花性状均为正态分布(图 2，A-D)。柱头长度在 3 个环境点中变异系数最大（29.78%），雄蕊长度在 3 个环境点中变异系数最小（9.73%）（表 2），不同环境相同性状间均具有显著性差异。2022 年阿瓦提环境点的 4 个花性状综合较优（3 个性状表型最优），2023 年阿瓦提环境点的 4 个花性状居中（3 个性状表型居中），2022 年库尔勒环境点的 4 个花性状综合较差（3 个性状表型最差）（图 2,E-H），可能由于不同环境下不同气候和土壤环境造成的。



注：A-D：3 个环境点 4 个花性状正太分布。E-H：3 个环境点 4 个花性状数据分布箱线图。（\* 表示不同处理间的差异在  $P<0.05$  水平具有统计学意义，\*\* 表示不同处理间的差异在  $P<0.01$  水平具有统计学意义，\*\*\* 表示不同处理间的差异在  $P<0.001$  水平

具有统计学意义)

Note: A-D: 4 flower traits were positively distributed in 3 environmental sites.E-H: The boxplot of the distribution of 4 flower traits in 3 environmental sites. (\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.05$  level, \*\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.01$  level, and \*\*\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.001$  level)

图 2 三个环境点四个花性状正态分布及差异分析

Fig. 2 Normal distribution and difference analysis of four flower traits in three environmental sites

表 2 三个环境点四个花性状统计分析

Table 2 Statistical analysis of four flower traits in three environmental sites

指标 Traits	平均数 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 (%) CV
2022 库尔勒花柱长度 2022 Korla style	23.86	2.90	15.19	32.44	0.12	0.74	12.15
2022 库尔勒柱头长度 2022 Korla Stigma	5.53	1.79	1.36	14.50	0.96	3.31	32.37
2022 库尔勒雄蕊长度 2022 Korla stamen	16.37	1.49	10.61	20.09	-0.34	0.39	9.10
2022 库尔勒花药长度 2022 Korla Anther	3.96	0.60	2.51	5.70	0.19	-0.16	15.15
2022 阿瓦提花柱长度 2022 Awat style	32.58	2.91	21.05	41.77	-0.20	1.17	8.93
2022 阿瓦提柱头长度 2022 Awat Stigma	7.26	1.91	2.58	12.60	0.18	-0.34	26.31
2022 阿瓦提雄蕊长度 2022 Awat stamen	17.46	1.73	12.08	23.09	0.12	0.08	9.91
2022 阿瓦提花药长度 2022 Awat Anther	3.79	0.42	2.58	5.04	0.31	-0.03	11.08
2023 阿瓦提花柱长度 2023 Awat style	30.81	3.01	17.72	39.73	-0.35	2.25	9.77
2023 阿瓦提柱头长度 2023 Awat Stigma	6.00	1.84	1.63	10.28	0.02	-0.32	30.67
2023 阿瓦提雄蕊长度 2023 Awat stamen	16.42	1.67	10.46	23.35	0.20	1.79	10.17
2023 阿瓦提花药长度 2023 Awat Anther	3.28	0.45	2.31	5.24	1.14	3.14	13.72

我们发现 2023 年阿瓦提环境点温度为 3 个环境下最高的，2023 年阿瓦提的四个花性状中只有花药长度为 4 个性状中最差的（在 3 个环境点中），可能高温对花药的影响最大，高温导致花药发育受阻，形成畸形花药，导致花药不开裂。

2. 2 海岛棉资源的统计分析及遗传多样性分析

15 个质量性状遗传多样性指数（表 3）范围 0.030-1.062 之间平均为 0.596，其中遗传多

样性指数最大的为种子短绒（1.062），其中遗传多样性指数最小的为叶蜜腺有无（0.030）。

表 3 213 份海岛棉资源质量性状的遗传多样性分析  
Table 3 Genetic diversity of 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm

性状 Traits	频率分布 Frequency distribution							多样性指数 H'
	0	1	2	3	4	5	6	
株型 PT	-	59.62%	40.38%	-	-	-	-	0.675
植株色素腺体 PPG	0	0.94%	0	99.06%	-	-	-	0.053
主茎硬度 MSH	-	11.27%	32.86%	55.87%	-	-	-	0.937
茎毛多少 SPA	70.89%	19.25%	7.51%	2.35%	-	-	-	0.844
茎毛长短 SPL	-	96.71%	1.88%	1.41%	-	-	-	0.728
叶蜜腺有无 LN	0.47%	99.53%	-	-	-	-	-	0.030
叶茸毛多少 LPA	0.47%	54.93%	38.03%	6.57%	-	-	-	0.901
叶茸毛长短 LPL	-	48.83%	38.50%	12.68%	-	-	-	0.979
花瓣基斑颜色 PBSC	-	2.82%	7.04%	2.35%	18.78%	69.01%	0	0.945
苞外蜜腺 EN	39.44%	60.56%	-	-	-	-	-	0.671
铃着生方式 BST	-	26.29%	73.71%	-	-	-	-	0.576
铃形 BS	-	0.47%	2.35%	97.18%	0	-	-	0.141
铃尖突起程度 BT	0	1.41%	98.59%	0	-	-	-	0.074
吐絮程度 BOD	-	0.47%	8.92%	90.61%	-	-	-	0.330
种子短绒 SF	-	0	46.48%	26.29%	27.23%	-	-	1.062

26 个数量性状（表 4）变异系数范围 2.70%-30.83%之间，平均为 14.09%，其中变异系数最大的为柱头长度（30.83%），变异系数最小的为整齐度指数（2.70%）。26 个表型性状遗传多样性指数范围 1.24 -2.14 平均为 1.74，其中遗传多样性指数最大的为柱头长度(2.14)，其中遗传多样性指数最小的为整齐度指数（1.24）。

表 4 213 份海岛棉资源 26 项指标统计分析  
Table 4 Statistical analysis on 26 indexes of 213 *Gossypium barbadense* L. resources

指标 Traits	平均数 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
每铃室种子数 SNPL	6.33	0.50	4.80	7.40	-0.54	0.38	7.90	1.720
株高 PN/cm	73.02	18.03	46.48	159.08	1.44	2.87	24.69	1.984
始节高 HFNFB/cm	10.48	3.20	4.18	18.93	0.08	-0.77	30.53	2.111
第一果枝节位 SBW	3.28	0.70	1.10	4.90	-0.17	-0.26	21.34	2.029
有效铃数 EBN	9.82	2.12	5.40	21.40	1.39	5.99	21.59	1.552
有效果枝台数 EB	8.32	1.86	4.20	14.00	0.57	-0.04	22.36	2.008
叶枝数 BN	14.12	1.10	11.60	17.00	0.00	-0.43	7.79	2.102
籽棉 CSY/g	149.45	14.93	67.55	190.2	-1.30	6.39	9.99	1.517
皮棉 CLY/g	49.97	7.10	12.84	69.43	-0.74	5.30	14.21	1.536
衣分 LP/%	0.33	0.03	0.19	0.41	-0.67	3.87	9.09	1.605
单铃重 SBW/g	3.74	0.37	1.69	4.76	-1.30	6.39	9.89	1.517
花柱长度 STYL/mm	30.8	3.01	17.72	39.85	-0.33	2.26	9.77	1.634



柱头长度 STIL/mm	6.00	1.85	1.63	10.28	0.03	-0.34	30.83	2.139
雄蕊长度 STAL/mm	16.41	1.66	10.46	23.35	0.20	1.85	10.12	1.625
单个花药长度 ANTL/mm	3.26	0.42	2.31	5.24	0.83	2.53	12.88	1.73
花冠长度 PS/mm	47.71	4.31	24.3	57.53	-1.23	5.23	9.03	1.601
蕾铃脱落率 SR/%	0.62	0.08	0.39	0.84	-0.22	-0.07	12.9	1.993
最大光化学效率 Fv/Fm	0.78	0.04	0.66	0.86	-1.07	1.02	5.13	1.938
叶面积指数 LAI	2.17	0.28	1.62	3.27	1.48	2.37	12.90	1.725
花粉活力 PV/%	0.64	0.18	0.05	0.94	-0.9	0.62	28.13	2.035
出苗率 SER/%	0.92	0.08	0.45	1.00	-1.83	4.96	8.70	1.368
马克隆值 MIC	4.67	0.41	3.50	6.95	1.51	7.09	8.78	1.474
上半部平均长度 FL/mm	34.14	2.34	20.05	39.26	-1.26	6.31	6.85	1.513
整齐度指数 LU/%	86.22	2.33	68.68	91.47	-2.94	18.12	2.70	1.241
断裂比强度 FS/cN/tex	38.39	4.46	22.95	52.06	0.63	0.49	11.62	1.722
伸长率 EL/%	9.08	1.50	6.37	12.98	0.21	-0.73	16.52	1.912

41 个表型性状其中 36 个性状的遗传多样性指数大于 0.5, 26 个数量性状其中 14 个数量性状变异系数大于 10%, 26 个数量性状遗传多样性指数均大于 1.2, 说明我们选取的试验材料表型差异较大, 遗传基础广泛, 适宜进行海岛棉种质资源的多样性分析及筛选。

2.3 海岛棉资源表型性状的主成分分析

对 213 份海岛棉资源的 26 个主要农艺性状进行了主成分分析（表 5）。由表可知，特征值大于 1 的 9 主成分解释的总方差达到 74.969%。第一主成分的特征值为 4.768，贡献率 18.337%，籽棉，单铃重为其主要指标，籽棉和单铃重特征向量绝对值最大（0.845），主要代表了与产量构成相关因子；第二主成分的特征值为 4.099，贡献率 15.765%，有效果枝台数特征向量绝对值最大（0.756），主要代表了与植株生长相关因子；第三主成分的特征值为 2.153，贡献率 8.280%，花柱长度特征向量绝对值最大（0.545），主要代表了与植株授粉相关因子；第四主成分的特征值为 2.054，贡献率 7.899%，叶枝数特征向量绝对值最大（0.677）；第五主成分的特征值为 1.766，贡献率 6.792%，柱头长度特征向量绝对值最大（0.520）；第六主成分的特征值为 1.356，贡献率 5.217%，出苗率特征向量绝对值最大（0.481）；第七主成分的特征值为 1.134，贡献率 4.361%，单个花药长度特征向量绝对值最大（0.568）；第八主成分的特征值为 1.101,贡献率 4.236%，每室种子数特征向量绝对值最大（0.613）。第九主成分的特征值为 1.061,贡献率 4.081%，Fv/Fm 特征向量绝对值最大（0.600）。

表 5 海岛棉种质资源的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of *Gossypium barbadense* L. germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
每铃室种子数 SNPL	0.055	-0.048	-0.228	-0.065	-0.212	0.420	-0.196	0.613	-0.273
株高 PN/cm	0.342	-0.436	-0.208	0.292	0.482	0.100	0.047	0.210	-0.185
始节高 HFNFB/cm	0.137	0.629	-0.234	0.406	0.150	-0.153	0.149	0.054	-0.010
第一果枝节位 SBW	0.240	0.476	-0.247	0.586	0.197	-0.180	0.027	0.026	0.143
有效铃数 EBN	-0.019	-0.533	0.528	0.328	-0.159	0.120	0.140	0.029	0.161
有效果枝台数 EB	0.016	-0.756	0.465	0.167	-0.058	0.201	0.054	0.125	0.150
叶枝数 BN	0.264	-0.377	-0.099	0.677	0.310	0.041	0.079	0.082	0.098
籽棉 CSY/g	0.845	0.183	-0.136	0.068	-0.303	0.243	0.027	0.002	-0.037
皮棉 CLY/g	0.764	0.245	0.124	0.230	-0.490	0.027	-0.079	-0.091	-0.104
衣分 LP/%	0.418	0.262	0.434	0.270	-0.432	-0.204	-0.098	-0.137	-0.126
单铃重 SBW/g	0.845	0.183	-0.136	0.068	-0.303	0.243	0.027	0.002	-0.037
花柱长度 STYL/mm	0.099	0.585	0.545	-0.014	0.387	0.321	-0.060	0.056	-0.085
柱头长度 STIL/mm	0.078	0.168	0.369	0.107	0.520	0.314	-0.078	-0.257	-0.412
雄蕊长度 STAL/mm	0.003	0.588	0.340	-0.140	0.163	0.163	-0.186	0.323	0.237
单个花药长度 ANTL/mm	0.143	0.366	0.172	-0.140	0.083	-0.126	-0.568	0.207	0.288
花冠长度 PS/mm	0.387	0.428	0.300	0.067	0.241	-0.088	0.152	-0.128	0.127
蕾铃脱落率 SR/%	-0.125	0.626	-0.501	-0.150	0.083	0.083	0.029	-0.105	-0.175
最大光化学效率 Fv/Fm	-0.241	0.250	0.128	0.057	-0.148	0.048	0.487	0.193	-0.185
叶面积指数 LAI	-0.090	0.250	-0.256	0.201	-0.017	0.245	0.093	0.032	0.600
花粉活力 PV/%	-0.025	-0.198	-0.330	0.011	-0.011	0.479	0.029	-0.079	0.162
出苗率 SER/%	-0.067	0.125	0.125	0.100	-0.023	-0.481	0.188	0.570	-0.133
马克隆值 MIC	-0.404	-0.249	-0.203	0.492	-0.065	-0.024	-0.440	-0.009	-0.187

上半部平均长度 FL/mm	0.658	-0.289	-0.059	-0.494	0.193	-0.079	0.205	0.077	0.078
整齐度指数 LU/%	0.796	-0.090	-0.036	-0.311	0.199	-0.009	0.170	0.084	0.036
断裂比强度 FS/cN/tex	0.673	-0.417	-0.147	-0.044	0.218	-0.173	-0.206	-0.027	-0.021
伸长率 EL/%	-0.599	0.397	0.063	0.104	-0.151	0.279	0.212	0.025	-0.009
特征值 Eigenvalue	4.768	4.099	2.153	2.054	1.766	1.356	1.134	1.101	1.061
贡献率 Contribute rate/%	18.337	15.765	8.280	7.899	6.792	5.217	4.361	4.236	4.081
累计贡献率 Cumulative contribute rate/%	18.337	34.102	42.382	50.281	57.074	62.291	66.652	70.888	74.969

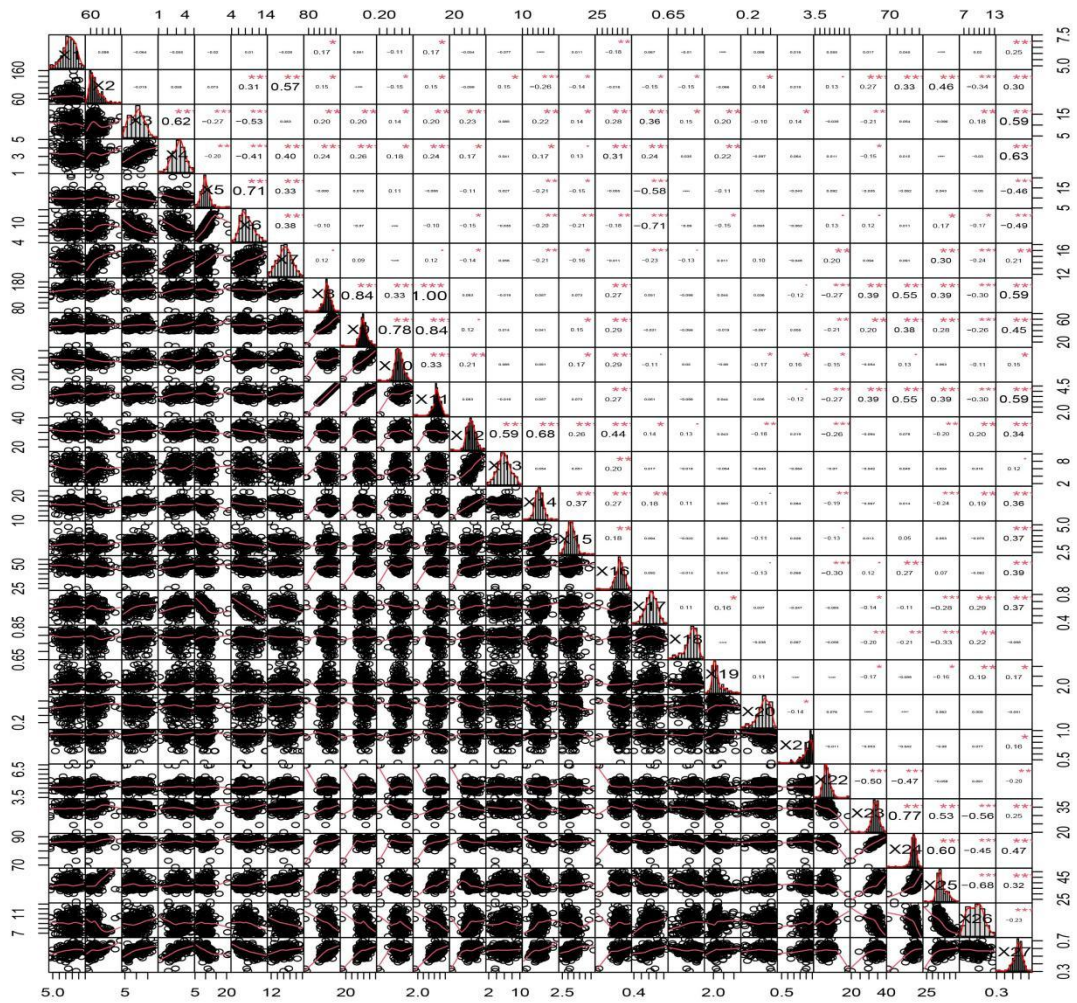
## 2.4 海岛棉资源表型性状的综合评价

棉花的表型受多种因素影响,靠单一的指标不能准确评价各材料间差异,有必要对每个种质资源进行综合评价。我们根据指标权重和隶属函数计算表型综合评价值(F),表型综合评价值 F 值越大表明其表型综合性状越优,反之说明其表型综合性状越差。结果表明,213 份海岛棉资源的表型综合评价值 F 值的变化范围为 0.31-0.72,综合评价排名前 10 的资源分别为 GB150, GB77, GB12, GB82, GB151, GB24, GB8, GB41, GB10, GB86 (附表 1) 为了进一步探究 26 个表型性状与综合评价值之间的关系,我们以综合评价值 F 为因变量,26 个表型性状为自变量利用逐步回归法构建了最优回归方程:  $F = -0.524 + 0.024X_1 + 0.001X_2 + 0.003X_3 + 0.017X_4 - 0.004X_5 - 0.004X_6 + 0.006X_7 - 0.104X_{10} + 0.033X_{11} + 0.002X_{12} + 0.006X_{14} + 0.024X_{15} + 0.001X_{16} + 0.073X_{17} - 0.049X_{18} + 0.013X_{19} - 0.003X_{20} + 0.1X_{21} + 0.003X_{22} + 0.001X_{23} + 0.003X_{24} + 0.001X_{25} - 0.003X_{26}$  ( $R^2=1$ ,  $P<0.05$ ) (注: X1:每铃室种子数, X2:株高, X3:始节高, X4:第一果枝节位, X5:有效铃数, X6:有效果枝台数, X7:叶枝数, X8:籽棉, X9:皮棉, X10:衣分, X11:单铃重, X12:花柱长度, X13:柱头长度, X14:雄蕊长度, X15:单个花药长度, X16:花冠长度, X17:蕾铃脱落率, X18:最大光化学效率, X19:叶面积指数, X20:花粉活力, X21:出苗率, X22:马克隆值, X23:上半部平均长度, X24:整齐度指数, X25:断裂比强度, X26:伸长率), 结果显示 26 个表型性状中 23 个表型性状与 F 值有显著性, 籽棉, 皮棉, 柱头长度在构建回归模型中被排除, 这 23 个指标解释了 F 值的 100%变异, 说明该回归方程可用于海岛棉种质综合评价。

## 2.5 海岛棉资源表型性状的相关性分析

花粉活力<sup>[14-15]</sup>和蕾铃脱落率<sup>[16-17]</sup>是评价海岛棉高温耐性的重要因素,应重点关注其与其他性状指标之间的相关性。本试验将 26 个数量性状和综合评价值 F 共 27 个指标进行了相关性分析 (图 3), 结果显示, 始节高, 第一果枝节位, 花柱长度, 雄蕊长度与蕾铃脱落率呈显著正相关。株高, 有效铃数, 有效果枝台数, 叶枝数与蕾铃脱落率呈显著负相关; 株高与花粉活力呈显著正相关。衣分与花柱长度与花粉活力呈显著负相关; 每铃室种子数, 株高, 始节高, 第一果枝节位, 叶枝数, 籽棉, 皮棉, 衣分, 单铃重, 花柱长度, 雄蕊长度, 单个花药长度, 花冠长度, 蕾铃脱落率, 叶面积指数, 出苗率, 上半部平均长度, 整齐度指数, 断裂比强度与综合平均值 F 呈显著正相关, 有效铃数, 有效果枝数, 马克隆值, 伸长率与综合平均值 F 呈显著负相关。

各性状之间相互影响,在进行种质资源评价及种质资源改良时应充分考虑性状之间相关性,进行综合评价与选育。



注: X1:每铃室种子数, X2:株高, X3:始节高, X4:第一果枝节位, X5:有效铃数, X6:有效果枝台数, X7:叶枝数, X8:籽棉, X9:皮棉, X10:衣分, X11:单铃重, X12:花柱长度, X13:柱头长度, X14:雄蕊长度, X15:单个花药长度, X16:花冠长度, X17:蕾铃脱落率, X18:最大光化学效率, X19:叶面积指数, X20:花粉活力, X21:出苗率, X22:马克隆值, X23:上半部平均长度, X24:整齐度指数, X25:断裂比强度, X26:伸长率, X27:F. (\* 表示不同处理间的差异在  $P < 0.05$  水平具有统计学意义, \*\* 表示不同处理间的差异在  $P < 0.01$  水平具有统计学意义, \*\*\* 表示不同处理间的差异在  $P < 0.001$  水平具有统计学意义)

Note: X 1: seed number per boll chamber, x 2: plant height, x 3: initial node height, x 4: node of first fruit branch, X 5: Effective Boll number, X 6: Effective Branch number, x 7: Leaf branch number, x 8: seed cotton, x 9: Lint Cotton, x 10: lint percentage, X 11: Single Boll Weight, x 12: style length, x13: stigma length, X14: Stamen length, X15: single anther length, X16: Corolla length, X17: abscission rate, X18: maximal photochemical efficiency, X19: Leaf area index, X20: pollen viability, X21: emergence rate, X22: Macrooom, X23: average length of upper half, x23: Evenness Index, X25: breaking strength, X26: elongation, X27:F. (\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.05$  level, \*\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.01$  level, and \*\*\* indicates that the difference between the different treatments is statistically significant at the  $P < 0.001$  level)

图 3 213 份海岛棉资源 26 个表型性状及 F 相关性分析

Fig. 3 26 phenotypic traits and F correlation analysis of 213 *Gossypium barbadense* L. resources

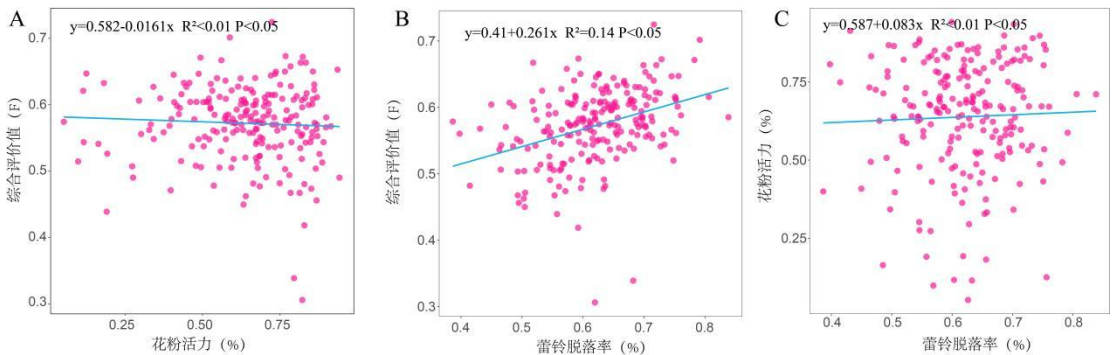
## 2.6 花粉活力和蕾铃脱落率与表型性状及综合评价值的多元回归分析

为了探究两个在高温极端天气中具有代表性的指标花粉活力和蕾铃脱落率与表型性状之间关系,我们以花粉活力为因变量,25 个表型性状为自变量利用逐步回归法构建了最优

回归方程： $F_{\text{花粉活力}}=1.246-0.011X_{12}-0.291X_{21}$  ( $R^2=0.052$ ,  $P<0.05$ )，结果显示 20 个表型性状中只有花柱长度和出苗率与花粉活力间具有显著性，其余 23 个性状在构建回归模型中均被排除。在回归模型中花柱长度和出苗率 2 个指标对花粉活力的解释率为 0.052，可知这两个性状虽然对花粉活力有影响，但不是决定性的影响因素。

我们以蕾铃脱落率为因变量，25 个表型性状为自变量利用逐步回归法构建了最优回归方程： $F_{\text{蕾铃脱落率}}=1.013+0.001X_2-0.006X_5-0.026X_6-0.113X_{21}-0.003X_{25}+0.006X_{26}$  ( $R^2=0.585$ ,  $P<0.05$ )，结果显示 25 个表型性状中有效果枝数，伸长率、有效铃数、出苗率、株高、断裂比强度与蕾铃脱落率间具有显著性，其余 19 个性状在构建回归模型中均被排除。在回归模型中有效果枝数，伸长率、有效铃数、出苗率、株高、断裂比强度 6 个指标对蕾铃脱落率的解释率为 0.585，可知这六个性状在一定程度上对蕾铃脱落率具有一定的影响。

为进一步探究两个在高温天气中具有代表性的指标（花粉活力和蕾铃脱落率）与棉花表型性状之间的关系，我们将花粉活力和 F 值，蕾铃脱落率和 F 值，花粉活力和蕾铃脱落率 3 组指标两两间进行了拟合回归分析，结果发现花粉活力和 F 值间的解释率为  $R^2<0.01$ (图 4, A)，蕾铃脱落率和 F 值间的解释率为  $R^2=0.14$ (图 4, B)，花粉活力和蕾铃脱落率间的解释率为  $R^2<0.01$ (图 4, C)。



注:A: 综合评价值和花粉活力回归拟合; B: 综合评价值和蕾铃脱落率回归拟合; C: 花粉活力和蕾铃脱落率回归拟合  
 Note: A: comprehensive evaluation value and pollen vigor regression fitting; B: comprehensive evaluation value and pollen Buds shedding rate regression fitting; C: pollen vigor and Buds shedding rate regression fitting

图 4 花粉活力，蕾铃脱落率，综合评价值 (F) 拟合回归曲线

Fig. 4 Pollen viability, exfoliation rate, comprehensive evaluation value (F) fitting regression curve

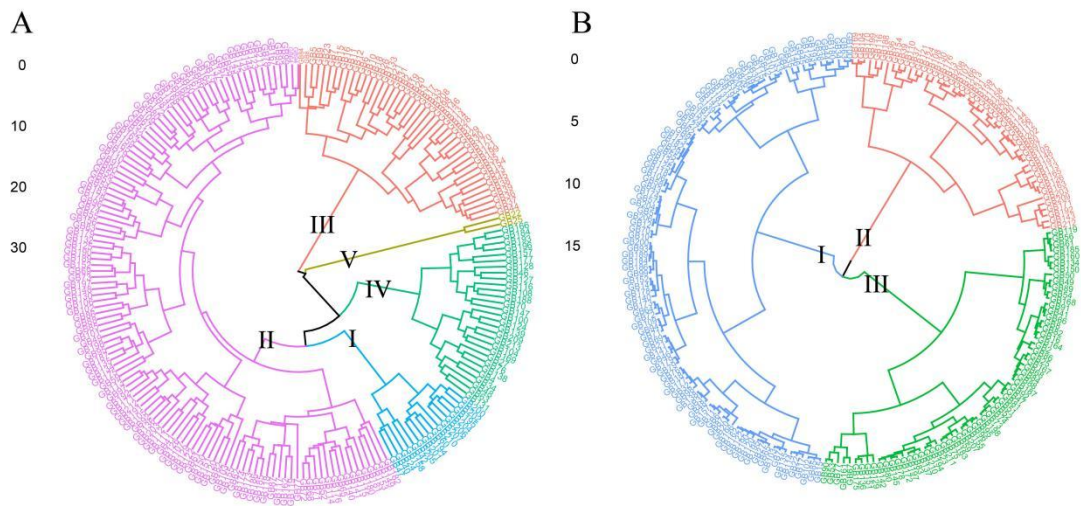
### 2.7 聚类分析

基于海岛棉资源材料 26 个表型性状聚类(图 5, A)，共分为 5 个类群进行统计分析(附表 2)。第一类包含 16 份材料，占有种质资源的 7.51%，主要特征为综合性状优良的高产材料。第二类包含 122 分材料，占有种质资源的 57.28%，主要特征为花性状指标较为优良，花大，叶多的材料。第三类包含 44 份材料，占有种质资源的 20.66%，主要特征为



纤维品质较优的材料。第四类群包含 29 份材料，占有种质资源的 13.62%，主要特征为营养器官生长较为优异的材料。第五类包含 2 份材料，占有种质资源的 0.94%，主要特征为花粉活力较强材料。

根据前面的研究结果我们发现，25 个表型性状对花粉活力和蕾铃脱落率两个指标的释率不高，可能这两个指标有独立的遗传机制，因此我们使用花粉活力和蕾铃脱落率来进行聚类分析（图 5，B），结果显示，213 份材料被分为 3 类，第一类群包含 102 份材料，占有种质资源的 47.89%，主要特征为高花粉活力低蕾铃脱落率的材料；第二类群包含 63 份材料，占有种质资源的 29.58%，主要特征为中花粉活力中蕾铃脱落率的材料；第三类群包含 48 份材料，占有种质资源的 22.54%，主要特征为低花粉活力高蕾铃脱落率的材料（附表 3）。



注：A：26 个性状聚类分析，B：2 个个耐热指标聚类分析（花粉活力和蕾铃脱落率）

Note:A: cluster analysis of 26 traits, B: cluster analysis of 2 heat tolerance indexes (pollen vigor and Buds shedding rate)

图 5 26 个性状聚类分析，花粉活力与蕾铃脱落率的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of 26 characters, pollen vigor and the rate of Bud and Boll abscission

通过分析我们发现，两种聚类分析中的最优类群存在交集（图 6）GB24，GB42，GB195，GB200，GB204，GB205，GB206 这 7 个品种表现为综合表型优异，花粉活力高，蕾铃脱落率低（表 6），这些材料可为海岛棉资源耐高温育种改良提供理论参考。

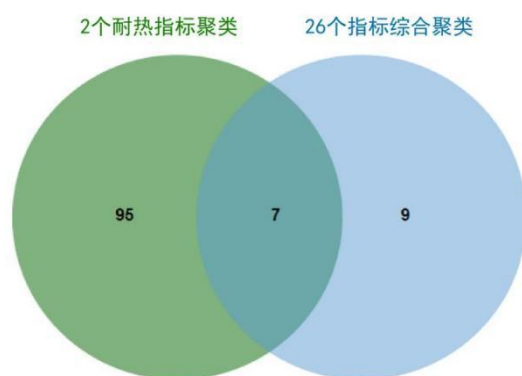


图 6 两种聚类最优类群维恩图

Fig. 6 Venn diagram of two optimal clusters

表 6 7 份材料表型

Table 6 The phenotype of 7 materials

材料	综合评价值	蕾铃脱落率	花粉活力
Materials	F	Buds shedding rate	Pollen viability
GB24	0.67	51.83%	56.07%
GB42	0.63	56.45%	61.46%
GB195	0.58	61.95%	78.61%
GB200	0.6	63.47%	69.84%
GB204	0.56	59.25%	74.11%
GB205	0.62	53.30%	64.04%
GB206	0.58	59.01%	76.84%

### 三 讨论

种质资源作为农业领域中至关重要的基础性元素，在作物遗传改良、提高生产力以及适应环境变化等方面发挥着关键作用。加快种质资源的创新，首要任务就是发掘利用优异种质资源。目前我国种质资源收集较多，但对种质资源的了解与利用不足。因此种质资源的筛选与鉴定，对推动我国种业发展有着重要意义。

根据 Shah F 等<sup>[21-22]</sup>的定义日最高气温连续 3 天大于 35℃可以认为达到高温胁迫的标准。本试验收集了 3 个环境点 6-8 月共 92 天气温数据，可以发现 3 个环境点均有大于 35℃的天数（2022 库尔勒 18 天，2022 年阿瓦提 10 天，2023 年阿瓦提 55 天），说明 3 个环境点的气温对棉花生长造成了一定的高温危害。夏季极端高温天气中，植物生殖器官容易受到影响<sup>[13]</sup>，因此本研究对 213 份海岛棉资源 2 年 3 个环境点的 4 个花器官性状进行了更全面的研



究与分析,结果显示,4个花性状均易受环境影响,在不同环境点,其相同性状表型也具有明显差异。在温度最高的2023年阿瓦提环境下我们发现花药长度相较于其他两个环境下的花药长度表型最差(平均为3.28mm),在相同环境下,其余的三个性状表现在三个环境点居中,说明高温对花药影响较为严重,对花柱长度,柱头长度与雄蕊长度的影响较小。结果也显示,3个环境点中,库尔勒环境下的4个花性状综合表型最差(3个性状表型最差,花柱长度:23.86mm,柱头长度:5.53mm,雄蕊长度:16.37mm),说明相较于库尔勒,阿瓦提环境更适合长绒棉的生长,优越的地理环境可以弥补高温天气带来影响,阿瓦提符合“中国长绒棉之乡”的称号。

单一的指标和单一的评价方法只能反映某一性状的表现,而不能有效反映自然条件下作物的综合表现。近年来,国内外学者普遍认为结合多种指标、多种方法的综合性评价比较可靠,也研究和提出了基于主成分分析和权重分析的加权隶属函数法来进行作物的综合评价,这种综合评价方法已在多种作物中应用。张一中等<sup>[23]</sup>利用加权隶属函数法对263份高粱资源进行评价,鉴定出33份F值较高可作为材料创新的优异种质。李欢等<sup>[24]</sup>利用加权隶属函数法对286份地方稻种香禾糯资源进行评价,鉴定出5份综合性状优异的种质,崔翠等<sup>[25]</sup>利用加权隶属函数法对97份菜用豌豆进行评价,筛选出的35份优异种质。

本研究基于前人对海岛棉资源的鉴定与筛选,选取了41种表型性状,运用多种分析方法,最终利用加权隶属函数法对213份海岛棉资源进行综合鉴定。41种性状包含26种数量性状与15种质量性状。结果显示,26个数量性状多样性指数范围为1.24-2.14,平均多样性指数为1.74,15个质量性状多样性指数范围为0.030-1.062,平均多样性指数为0.596,可以发现数量性状的遗传多样性更丰富,遗传基础更广泛。将质量性状赋值带入公式的计算方法是否可靠有待考究,因此本文后续皆选用26个数量性状进行分析。本研究对26个数量性状进行主成分分析,提取到9个主成分,解释了74.969%的变异率。接着计算出各个材料的加权隶属函数值(综合评价值F),F值大小表示综合性状优劣,F值越大则综合性状越优。通过26个数量性状对213份海岛棉资源进行综合性的聚类分析,将213份海岛棉资源分为了5类,第一类包含16份综合性状优良的高产材料,第二类包含122份花性状指标较为优良,花大,叶多的材料,第三类包含44份植株较高,蕾铃脱落率较低的材料,第四类包含44份营养器官生长较为优异的材料,第五类包含2份花粉活力较强材料,分类结果与F值鉴定的结果一致。综合评价的结果与张磊磊等<sup>[26]</sup>,杨涛等<sup>[27]</sup>,路普等<sup>[28]</sup>鉴定结果相比,中间材料存在较多交集,极端材料存在较少交集,这可能是由于评价指标的选择,试验环境,试验设计不同造成的。

近年来由于全球气候变化影响,夏季的极端高温天气频繁发生,对农业生产造成了巨大的经济损失。有研究报道指出,棉花在受到持续高温(35℃以上)会出现雄性不育<sup>[29]</sup>,蕾铃脱落<sup>[30]</sup>等现象,引起减产<sup>[31]</sup>。本研究为了探究植株表型指标对两个高温代表性指标(花粉活力与蕾铃脱落率)的影响,进行了相关性,多元回归和聚类分析。结果显示,花粉活力和蕾铃脱落率与25种表型性状之间相关性不强,在构建逐步回归模型中,以花粉活力为因变量,2个指标被保留(花柱长度,出苗率)解释率为 $R^2=0.052$ ,以蕾铃脱落率为因变量,6个指标被保留(有效果枝数,有效铃数,伸长率,出苗率,株高,断裂比强度)解释率为 $R^2=0.585$ 。因此本研究只利用两个高温代表性指标(花粉活力与蕾铃脱落率)进行耐高温种质综合评价与筛选,两个高温指标的聚类分析将213份海岛棉资源分为了3类,第一类包含102份高花粉活力低蕾铃脱落率的材料,第二类包含63份中花粉活力中蕾铃脱落率的材料,第三类包含48份低花粉活力高蕾铃脱落率的材料。这些发现为海岛棉育种提供了可参考的资源,为今后海岛棉资源研究提供一些可参考建议。

## 参考文献

[1] 陈顺理,马环.世界海岛棉纤维品质现状、发展趋向及塔里木海岛棉的育种目标.新疆农业科学,1987,(3):8-9.

Chen S L, Ma H. Present Situation and Development Trend of Cotton Fiber Quality in The World Island and Breeding Target of Tarim *Gossypium barbadense* L. Xinjiang Agricultural Sciences, 1987, (3): 8-9.

[2] Salgotra R K, Chauhan B S. Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. Genes, 2023, 14(1): 174.

[3] Hoisington D, Khairallah M, Reeves T, Warburton M. Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity?. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1999, 96(11): 5937-5943.

[4] Booy G, Hendriks R J J, Smulders M J M, Vangroenendael J M, Vosman B. Genetic diversity and the survival of populations. Plant biology, 2000, 2(4): 379-395.

[5] 陈越,陈玲,李春花,张敦宇,付坚,程在全.中国南方地区水稻资源 SSR 指纹数据库的构建及遗传多样性分析.分子植物育种,2020,18(19):6502-6517.

Chen Y, Chen L, Li C H, Zhang D Y, Fu J, Cheng Z Q. Construction of SSR Fingerprint Database and Genetic Diversity Analysis of Rice Resources in Southern China. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(19): 6502-6517.

[6] 吴儒刚,裴艳婷,张超,范业泉,靳义荣,刘鹏,贾德新,戴忠民.基于盐胁迫的小麦农艺性状多样性分析及评价.麦类作物学报,2019,39(9):1029-1037.

Wu R G, Pei Y T, Zhang C, Fan Y Q, Jin Y R, Liu P, Jia D X, Dai Z M. Analysis and Evaluation of Agronomic Character Diversity of Wheat Based on Salt Stress. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(9): 1029-1037.

[7] 刘海忠,宋炜,王宝强,王江浩,张全国,张动敏,李兴华,魏剑锋,李荣改.120 份欧美玉米自交系的遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2018,19(4):676-684.

Liu H Z,Song W,Whang B Q,Whang J H,Zhang Q G,Zhang D M,Li X H,Wei J F,Li R G.Genetic Diversity Analysis of 120 European and American Maize Inbred Lines.Journal of Plant Genetic Resources,2018,19(4):676-684.

[8] 陈红霖,胡亮亮,杨勇,郝曦煜,李姝彤,王素华,王丽侠,程须珍.481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2020,21(3):549-559.

Chen H L,Hu L L,Yang Y,Hao X Y,Li S T,Whang S H,Wang L X,Cheng X Z.Evaluation and Genetic Diversity Analysis of Agronomic Traits and Bruchid Resistance Using 481 Worldwide Mungbean Germplasms.Journal of Plant Genetic Resources,2020,21(3):549-559.

[9] 王丽侠,程须珍,王素华,朱旭,刘振兴.中国绿豆核心种质资源在不同环境下的表型变异及生态适应性评价.作物学报,2014,40(4):739-744.

Wang L X,Cheng X Z,Whang S H,Zhu X,Liu Z X.Adaptability and Phenotypic Variation of Agronomic Traits in Mungbean Core Collection under Different Environments in China.Acta Agronomica Sinica,2014,40(4):739-744.

[10] Reddy K R, Hodges H F, McCarty W H,Mckinion J M.Weather and cotton growth: present and future.Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station,1996.

[11] Pettigrew W T.The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality.Crop Science,2008,48(1):278-285.

[12] Peet M M, Sato S, Gardner R G.Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. Plant Cell and Environment,1998,21(2): 225-231.

[13] Hedhly A, Hormaza J I, Herrero M.Global warming and sexual plant reproduction.Trends In Plant Science,2009,14(1): 30-36.

[14] Ma Y Z,Min L,Wang J D,Li Y Y,Wu Y L,Hu Q,Ding Y H,Wang M J,Liang Y J,Gong Z L,Xie S,Su X J,Wang C Z,Zhang Y L,Fang Q D,Li Y L,Chi H B,Chen M,Khan A H,Lindsed K,Zhu L F,Li X Y,Zhang X L.A combination of genome-wide and transcriptome-wide association studies reveals genetic elements leading to male sterility during high temperature stress in cotton.New Phytologist,2021,231(1):165-181.

[15] 张雪莲,罗德旭,刘欣,刁卫平,汪国莲,王玮玮,孙玉东,白甜,刘璐,王林闯,黄大跃. 高温胁迫下不同辣椒耐热性鉴定及生理生化特性研究.江西农业学报,2023,35(1):70-75.

Zhang X L,Luo D X,Liu X, Diao W P,Wang G L,Wang W W,Sun Y D,Bai T,Liu L,Wang L C,Huang D Y. Identification of Heat Tolerance and Physiological and Biochemical Characteristics of Different Peppers under High Temperature Stress. Acta Agriculturae Jiangxi,2023,35(1):70-75.

[16] 马益赞.基于群体解析棉花高温雄性不育机理.湖北:华中农业大学,2022:1-50.

Ma Y Z.Mechanism of High Temperature Caused Male Sterility Revealed by Analysis of Natural Cotton Germplasm

Accessions.Hubei: Huazhong Agricultural University, 2022:1-50.

- [17] 陈振,张巨松,陈平,张玮涛,阿不都卡地尔·库尔班,崔建平.花铃期高温胁迫对海岛棉不同部位果枝成铃质量的影响.中国农业气象, 2019,40(11):692-701.

Chen Z,Zhang J S,Chen P,Zhang W T,Abudukadier K E B,Cui J P.Effect of Heat Stress on the Boll Setting Quality of *Gossypium barbadense* L. on Different Fruiting Branches.Chinese Journal of Agrometeorology, 2019,40(11):692-701.

- [18] 杜雄明,周忠丽.棉花种质资源描述规范和数据标准.北京:中国农业出版社,2005:1-89.

Du X M,Zhou Z L.Descriptors and Data Standard for cotton.Bei Jing:China Agriculture Press,2005:1-89.

- [19] 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.植物遗传资源学报,2016,17(2):197-208.

Fan L P,Wu P H,Whang L P,Chen Q J,Qu Y Y.Analysis of Genetic Diversity in *Gossypium barbadense* L. Based on Genetic and Penotypic Traits.Journal of Plant Genetic Resources,2016,17(2):197-208.

- [20] 胡标林,万勇,李霞,雷建国,罗向东,严文贵,谢建坤.水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价.作物学报,2012,38(5):829-839.

Hu B L,Wan Y,Li X,Lei J G,Luo X D,Yan W G,Xie J K.Analysis on Genetic Diversity of Phenotypic Traits in Rice(*Oryza sativa*)Core Collection and Its Comprehensive Assessment.Acta Agronomica Sinica,2012,38(5):829-839.

- [21] Shah F, Huang J, Cui K, Nie L, Shan T, Chen C, Wang K. Impact of high-temperature stress on rice plant and its traits related to tolerance. The Journal of Agricultural Science, 2011, 149(5): 545-556.

- [22] Reddy K R, Hodges H F, McKinion J M. A temperature model for cotton phenology. 1993,22,47-59.

- [23] 张一中,张晓娟,梁笃,郭琦,范听琦,聂萌恩,王绘艳,赵文博,杜维俊,柳青山.基于表型性状的高粱育种材料遗传多样性分析及综合评价.中国农业科学,2023,56(15):2837-2857.

Zhang Y Z,Zhang X J,Liang D,Guo Q,Fan X Q,Nie M N,Wang H Y,Zhao W B,Du W J,Liu Q S.Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of Sorghum Breeding Materials Based on Phenotypic Traits.Scientia Agricultura Sinica,2023,56(15):2837-2857.

- [24] 李欢,鄢小青,杨占烈,谭金玉,黎小冰,陈能刚,吴荣菊,陈惠查,阮仁超.贵州香禾糯地方稻种资源表型遗传多样性分析与综合评价.中国农业科学,2023,56(11):2035-2046.

Zhang Y Z,Zhang X J,Liang D,Guo Q,Fan X Q,Nie M N,Wang H Y,Zhao W B,Du W J,Liu Q S.Analysis and Comprehensive Evaluation of Phenotype Genetic Diversity in Kam Sweet Rice Germplasm Resources in Guizhou.Scientia Agricultura Sinica,2023,56(11):2035-2046.

- [25] 崔翠,孙建蓉,赵愉风,郜欢欢,程闯,王瑞莉,王刘艳,周清元.豌豆嫩尖几个营养品质性状的遗传多样性分析及其综合评价.植物遗传资源学报, 2019,20(4): 932-948.

Cui C,Sun J R,Zhao Y F,Gao H H,Cheng C,Wang R L,Wang L Y,Zhou Q Y.Genetic Diversity Analysis and Comprehensive

Evaluation of Several Nutritional Quality Traits in Pea Sprouts. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (4): 932-948.

- [26] 张磊磊,范阿棋,洪梅,马志华,陈晋瑞,赵双印,郑凯,吐尔逊·吐尔洪. 647 份海岛棉种质资源遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24 (1): 307-324.

Zhang L L, Fan A Q, Hong M, Ma Z H, Chen J R, Zhao S Y, Zheng K, Tu E X · T E H. Genetic Diversity Analysis of 647 *Gossypium barbadense* L. Germplasm Resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24 (1): 307-324.

- [27] 杨涛,黄雅婕,李生梅,任丹,崔进鑫,庞博,于爽,高文伟. 海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价. *中国农业科学*, 2021, 54(12): 2499-2509.

Yang T, Hang Y J, Li S M, Ren D, Cui J X, Pang B, Yu S, Gao W W. Genetic Diversity and Comprehensive Evaluation of Phenotypic Traits in *Gossypium barbadense* L. Germplasm Resources. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54 (12): 2499-2509.

- [28] 路普,周忠丽,蔡小彦,王星星,王玉红,张振梅,王坤波,刘方. 不同地域海岛棉基于表型的遗传多样性研究. *分子植物育种*, 2018, 16(9): 3039-3057.

Lu P, Zhou Z L, Cai X Z, Wang X X, Wang Y H, Zhang Z M, Wang K B, Liu F. Genetic Diversity of G. Genetic Diversity of G. *barbadense* from Different Regions Based on Phenotype. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16 (9): 3039-3057.

- [29] 胡启瑞,宋桂成,王雪姣,吉春容,唐灿明. 高温对陆地棉花粉萌发及棉铃发育的影响. *新疆农业大学学报*, 2017, 40(1): 1-7.

Hu Q R, Song G C, Wang X J, Ji C R, Tang C M, Zhang Z M, Wang K B, Liu F. Effects of High Temperature on Pollen Germination and Boll Development in Upland Cotton. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2017, 40(1): 1-7.

- [30] 刘群,陈振,张巨松,贺宏伟,崔建平,陈平. 高温胁迫对海岛棉光合生理及棉铃发育的影响. *西北植物学报*, 2020, 40(9): 1574-1581.

Liu Q, Chen Z, Zhang J S, Jia H W, Cui J P, Chen P. Effect of High Temperature Stress on Photosynthetic Physiology and Boll Development of *Gossypium barbadense* L. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40(9): 1574-1581.

- [31] Cottee N S, Tan D K Y, Bange M P, Cothren J T, Campbell L C. Multi-level determination of heat tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under field conditions. *Crop Science*, 2010, 50(6): 2553-2564.

附表 1 213 份海岛棉 F 值排序

Table S1 F value of 213 samples of *Gossypium barbadense* L.

排名 Ranking	材料名称 Name of material	综合评价值 (F)	排名 Ranking	材料名称 Name of material	综合评价值 (F)	排名 Ranking	材料名称 Name of material	综合评价值 (F)
1	GB150	0.72	72	GB75	0.60	143	GB182	0.56
2	GB77	0.70	73	GB109	0.60	144	GB55	0.56
3	GB12	0.67	74	GB15	0.60	145	GB104	0.56
4	GB82	0.67	75	GB210	0.60	146	GB66	0.56
5	GB151	0.67	76	GB31	0.60	147	GB91	0.55
6	GB24	0.67	77	GB200	0.60	148	GB20	0.55
7	GB8	0.66	78	GB45	0.60	149	GB39	0.55
8	GB41	0.66	79	GB156	0.60	150	GB189	0.55
9	GB10	0.66	80	GB97	0.60	151	GB17	0.55
10	GB86	0.65	81	GB52	0.59	152	GB14	0.55
11	GB6	0.65	82	GB179	0.59	153	GB121	0.55
12	GB122	0.65	83	GB141	0.59	154	GB144	0.55
13	GB120	0.65	84	GB162	0.59	155	GB101	0.55
14	GB203	0.65	85	GB43	0.59	156	GB213	0.55
15	GB136	0.65	86	GB149	0.59	157	GB106	0.54
16	GB61	0.65	87	GB90	0.59	158	GB88	0.54
17	GB158	0.65	88	GB148	0.59	159	GB54	0.54
18	GB173	0.64	89	GB137	0.59	160	GB209	0.54
19	GB9	0.64	90	GB161	0.58	161	GB27	0.54
20	GB92	0.64	91	GB51	0.58	162	GB34	0.54
21	GB183	0.64	92	GB211	0.58	163	GB131	0.54
22	GB155	0.64	93	GB65	0.58	164	GB199	0.54
23	GB111	0.63	94	GB13	0.58	165	GB160	0.54
24	GB60	0.63	95	GB123	0.58	166	GB72	0.54
25	GB212	0.63	96	GB142	0.58	167	GB73	0.54
26	GB202	0.63	97	GB140	0.58	168	GB110	0.54
27	GB84	0.63	98	GB195	0.58	169	GB64	0.54
28	GB119	0.63	99	GB181	0.58	170	GB44	0.54
29	GB7	0.63	100	GB2	0.58	171	GB68	0.53
30	GB42	0.63	101	GB176	0.58	172	GB208	0.53
31	GB191	0.63	102	GB172	0.58	173	GB143	0.53
32	GB40	0.63	103	GB36	0.58	174	GB3	0.53
33	GB205	0.62	104	GB28	0.58	175	GB152	0.52
34	GB186	0.62	105	GB206	0.58	176	GB94	0.52
35	GB16	0.62	106	GB29	0.58	177	GB57	0.52
36	GB207	0.62	107	GB103	0.58	178	GB46	0.52
37	GB47	0.62	108	GB197	0.58	179	GB53	0.52
38	GB171	0.62	109	GB178	0.58	180	GB114	0.52
39	GB23	0.62	110	GB192	0.57	181	GB69	0.52

40	GB11	0.62	111	GB62	0.57	182	GB108	0.52
41	GB129	0.62	112	GB59	0.57	183	GB116	0.51
42	GB67	0.62	113	GB145	0.57	184	GB33	0.51
43	GB5	0.61	114	GB85	0.57	185	GB138	0.51
44	GB185	0.61	115	GB125	0.57	186	GB130	0.51
45	GB50	0.61	116	GB118	0.57	187	GB169	0.51
46	GB95	0.61	117	GB78	0.57	188	GB154	0.51
47	GB89	0.61	118	GB163	0.57	189	GB127	0.51
48	GB134	0.61	119	GB87	0.57	190	GB133	0.51
49	GB187	0.61	120	GB30	0.57	191	GB58	0.50
50	GB117	0.61	121	GB180	0.57	192	GB193	0.50
51	GB198	0.61	122	GB167	0.57	193	GB63	0.50
52	GB174	0.61	123	GB56	0.57	194	GB70	0.49
53	GB153	0.61	124	GB159	0.57	195	GB93	0.49
54	GB102	0.61	125	GB4	0.57	196	GB170	0.49
55	GB79	0.61	126	GB18	0.57	197	GB196	0.49
56	GB135	0.61	127	GB168	0.57	198	GB35	0.48
57	GB1	0.61	128	GB190	0.57	199	GB99	0.48
58	GB32	0.61	129	GB48	0.56	200	GB76	0.48
59	GB113	0.61	130	GB19	0.56	201	GB166	0.48
60	GB194	0.61	131	GB71	0.56	202	GB184	0.48
61	GB132	0.60	132	GB96	0.56	203	GB177	0.47
62	GB201	0.60	133	GB21	0.56	204	GB124	0.47
63	GB74	0.60	134	GB115	0.56	205	GB100	0.47
64	GB105	0.60	135	GB126	0.56	206	GB98	0.47
65	GB112	0.60	136	GB175	0.56	207	GB139	0.46
66	GB37	0.60	137	GB204	0.56	208	GB128	0.46
67	GB107	0.60	138	GB146	0.56	209	GB147	0.45
68	GB80	0.60	139	GB81	0.56	210	GB188	0.44
69	GB26	0.60	140	GB164	0.56	211	GB157	0.42
70	GB38	0.60	141	GB165	0.56	212	GB25	0.34
71	GB49	0.60	142	GB83	0.56	213	GB22	0.31

---

附表 2 26 指标不同类群海岛棉数量性状均值分布

Table S2 26 mean distribution of quantitative traits in different groups of *Gossypium barbadense* L.

性状 Trait	类群一 Group 1			类群二 Group 2			类群三 Group 3			类群四 Group 4	
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
每铃室种子数 SNPL	6.40	7.00	6.00	6.34	7.40	4.80	6.29	7.40	5.20	6.28	7.40
株高 PN/cm	62.62	80.68	53.33	68.99	159.08	46.48	94.71	127.30	52.93	64.36	91.58
始节高 HFNFB/cm	12.34	14.99	6.85	11.86	18.93	5.85	8.60	15.23	4.65	6.86	12.64
第一果枝节位 SBW	3.85	4.80	3.20	3.47	4.90	1.80	3.06	4.20	2.00	2.54	3.70
有效铃数 EBN	9.69	11.60	7.90	9.26	16.50	5.40	10.61	21.40	5.70	10.94	14.40
有效果枝台数 EB	7.33	8.40	6.30	7.50	12.10	4.20	9.67	14.00	5.60	10.24	12.90
叶枝数 BN	14.39	15.20	13.60	13.92	16.60	11.60	14.93	17.00	12.60	13.55	16.10
籽棉 CSY/g	164.92	180.77	150.5	149.60	187.77	122.44	153.61	190.20	131.49	139.51	163.55
皮棉 CLY/g	62.25	69.43	51.57	49.45	65.90	38.72	49.99	63.10	38.88	47.84	58.49
衣分 LP/%	0.38	0.41	0.32	0.33	0.39	0.28	0.32	0.39	0.26	0.34	0.37
单铃重 SBW/g	4.12	4.52	3.76	3.74	4.69	3.06	3.84	4.76	3.29	3.49	4.09
花柱长 STYL/mm	28.27	31.75	26.47	31.99	39.85	25.32	29.16	34.05	24.53	30.60	34.87
柱头长 STIL/mm	4.37	5.71	2.03	6.34	10.28	1.63	6.24	9.70	1.83	5.30	8.85
雄蕊长 STAL/mm	15.62	17.50	14.28	16.95	23.35	13.02	15.23	18.79	12.38	16.74	18.75
单个花药长 ANTL/mm	3.51	4.50	2.70	3.28	5.24	2.47	3.17	3.94	2.35	3.19	3.90
花冠长 PS/mm	49.78	54.28	45.51	48.63	57.53	38.79	46.69	55.07	39.62	45.81	50.44
脱落率 SR/%	62.38	72.59	51.83	65.74	83.84	47.35	56.32	72.01	38.66	54.77	63.38
最大光化学效率 Fv/Fm	0.76	0.82	0.67	0.79	0.86	0.68	0.77	0.83	0.66	0.79	0.85
叶面积指数 LAI	2.22	3.13	1.96	2.21	3.27	1.63	2.04	2.57	1.71	2.17	2.69
花粉活力 PV/%	59.82	78.61	40.65	62.88	93.54	5.22	67.23	89.90	16.38	63.82	94.18
出苗率 SER/%	0.96	1.00	0.83	0.91	1.00	0.45	0.91	1.00	0.65	0.94	1.00
马克隆 MIC	4.65	5.32	4.11	4.62	5.75	3.50	4.71	5.14	3.68	4.68	5.35
上半部平均长度 FL/mm	34.36	36.39	32.03	33.60	37.39	24.33	36.51	39.26	33.54	33.33	36.83
整齐度指数 LU/%	86.75	88.79	84.64	85.98	88.50	79.76	88.27	91.47	85.51	84.87	88.69
断裂比强度 FS/cN/tex	41.09	45.50	37.27	36.51	44.20	30.07	44.78	52.06	36.07	35.96	39.98
伸长率 EL/%	7.76	8.52	6.77	9.71	12.98	6.56	7.36	9.15	6.37	9.61	12.61
综合平均值/F	0.61	0.67	0.56	0.59	0.72	0.48	0.58	0.67	0.47	0.50	0.57



附表 3 花粉活力和脱落率不同类群海岛棉均值分布

Table S3 the mean distribution of pollen vigor and shedding rate in different groups of *Gossypium barbadense* L.

类群 Group		脱落率 Shedding rate	花粉活力 Pollen viability
类群一 Group 1	平均值 Mean	57.66%	73.23%
	最大值 Max	66.22%	94.18%
	最小值 Min	39.77%	55.45%
类群二 Group 2	平均值 Mean	71.01%	68.42%
	最大值 Max	83.84%	93.54%
	最小值 Min	65.05%	43.17%
类群三 Group 3	平均值 Mean	59.58%	37.91%
	最大值 Max	75.64%	57.51%
	最小值 Min	38.66%	5.22%