

## 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>2</sup>, 高 曼<sup>1</sup>, 王 霞<sup>1</sup>, 帕丽旦·艾海提<sup>3</sup>, 曲延英<sup>1</sup>, 陈全家<sup>1</sup>, 郑 凯<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>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, 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>新疆金丰源种业有限公司, 阿克苏 843100;

<sup>3</sup>新疆维吾尔自治区农业农村厅种业发展中心, 乌鲁木齐 830001)

**摘要:**以213份海岛棉种质为材料,测定了2年3个环境点(2022年库尔勒市、2022年阿瓦提县、2023阿瓦提县)4个花性  
状以及2023年阿瓦提县环境点的海岛棉不同生育时期的41个性状(26个数量性状和15个质量性状),分析自然高温对海  
岛棉的影响,并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、综合评价等方法对213份海岛  
棉种质资源进行综合评价。结果显示,4个花性状均易受到环境影响,其中花药对高温天气最为敏感。41个性状的遗传多  
样性指数在0.030~2.139之间,26个数量性状的变异系数在2.70%~30.83%之间,说明供试的海岛棉资源遗传类型较为丰富。  
26个数量性状提取到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  
过多元回归分析发现其他25个数量性状与花粉活力、蕾铃脱落率相关性均不高,花粉活力与蕾铃脱落率之间的解释率也不  
高。利用26个数量性状进行聚类分析,213份资源可划分为5类,包括16份综合性状优良的高产材料、122份以花大叶多为  
特征的花性状优良材料、44份纤维品质较优的材料、29份营养器官表现较突出的材料,以及2份拥有较高花粉活力的珍稀  
材料。基于两个耐高温性状(花粉活力、蕾铃脱落率)的聚类则将其分为3组:102份高花粉活力低蕾铃脱落率材料、63份中  
花粉活力中蕾铃脱落率材料以及48份低花粉活力高蕾铃脱落率材料。两种聚类最优类群(均为第I类群)存在交集的材料  
有7份(GB24、GB42、GB195、GB200、GB204、GB205和GB206)。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

LI Jiangbo<sup>1</sup>, YE Sheng<sup>1</sup>, CHANG Guobin<sup>2</sup>, GAO Man<sup>1</sup>, WANG Xia<sup>1</sup>, PARIDA Ahat<sup>3</sup>,

QU Yanying<sup>1</sup>, CHEN Quanjia<sup>1</sup>, ZHEN Kai<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University/Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Germplasm

Innovation, Urumqi 830052; <sup>2</sup>Xinjiang Jinfengyuan Seed Industry Co., Ltd., Aksu 843100; <sup>3</sup>Seed Industry

Development Center, Department of Agriculture and Rural Affairs of Xinjiang, Urumqi 830001)

**Abstract:** Using 213 samples of *Gossypium barbadense* L. as material, four floral traits in three environmental  
locations (Korla in 2022, Awati County in 2022, and Awati County in 2023) and 41 characters (26 quantitative  
traits and 15 quality traits) in different growth stages of *Gossypium barbadense* L. in 2023 environmental  
locations were determined. Genetic diversity analysis, principal component analysis, correlation analysis,  
cluster analysis, multiple regression analysis and comprehensive value evaluation were used to evaluate the  
germplasm resources of 213 *Gossypium barbadense* L.. These four floral traits were highly susceptible to  
environment influences, with the anther being particularly sensitive to high-temperature stress. The genetic

收稿日期: 2024-02-23 网络出版日期: 2024-05-23

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240223008>

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

通信作者: 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 projects:** Xinjiang Long-staple Cotton Breeding Joint Research Project (2022MH-01); "Tianshan Talents" Training Program Project  
(2023TSYCLJ0012)

diversity index of the 41 traits ranged from 0.030 to 2.139, and the variation coefficient of 26 quantitative traits ranged from 2.70% to 30.83%, indicating that the relatively rich genetic diversity. Nine principal components were extracted from the 26 quantitative traits, with a cumulative contribution rate of 74.969%, which were divided into yield component factors, plant growth factors, and plant pollination factors based on their attributes. Multiple regression analysis indicated that the correlation between the quantitative traits used in the test, if compared to pollen viability and the rate of boll shedding was not significant. Using 26 quantitative traits for cluster analysis, 213 resources can be divided into 5 categories: 16 high-yield genotypes with excellent overall characteristics, 122 genotypes with excellent floral traits characterized by large flower leaves, 44 materials with commendable fiber quality, 29 genotypes with prominent vegetative organs, and two genotypes with higher pollen activity. Based on the clustering of two high temperature tolerance traits (pollen viability and boll shedding rate), they were divided into three groups: 102 genotypes with high pollen viability and low boll shedding rate, 63 genotypes with medium pollen viability and 48 genotypes with low pollen viability and high boll shedding rate. There were seven genotypes in the intersection of the two optimal clustering groups. These results provided a theoretical basis for future exploration 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。新疆种植的海岛棉展现出丝绸般的光泽感,并在颜色、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,因此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>利用表型进行多样性分析及综合评价已有报道,针对海岛棉种质资源遗传多样性分析及评价的报道也日益增多。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,对海岛棉资源的鉴定、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,其最适宜生长温度为 20 °C~30 °C<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造成花药不开裂,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 21 世纪末全球平均表面温度将上升 2.6 °C~4.8 °C,因此筛选耐高温种质任务迫在眉睫。

本研究测定 213 份来源不同的海岛棉种质资源在 3 个环境点的 4 个花性状,以及 1 个环境点的 41 个表型性状,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、综合评价等方法筛选出一批综合性状优良的海岛棉种质。选取两种在高温天气中最具有代表性的性状,即花粉活力<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。本研究筛选出的优异种质资源可为今后高效利用海岛棉资源提供依据。

# 1 材料与amp;方法

## 1.1 试验材料

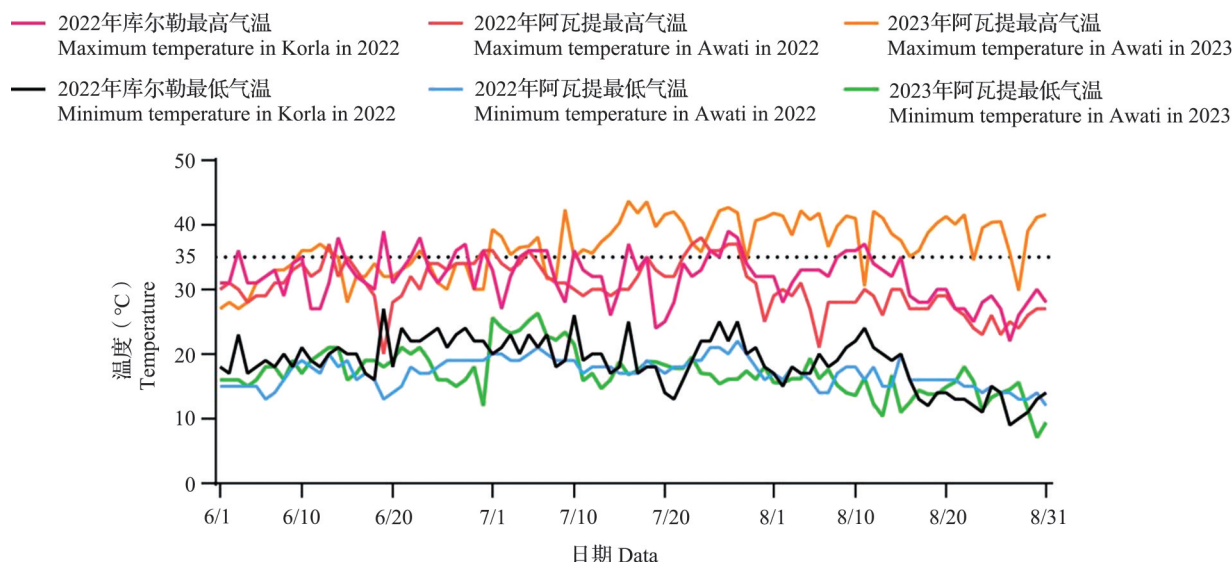
213 份海岛棉种质资源均由新疆农业大学农学院作物遗传改良与种质创新重点实验室收集并提供。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 田间种植** 2022 年在新疆维吾尔自治区库尔勒市(东经 86°14', 北纬 41°75')、阿瓦提县(东经 80°39', 北纬 40°39')以及 2023 年在阿瓦提县共 3 个环境点种植材料。阿瓦提县与库尔勒市均为温带

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利的条件。

田间试验均采用随机区组试验设计,采用 1 膜 6 行(66 cm+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 2022 年阿瓦提 4 月 12 日、2022 年库尔勒 4 月 15 日、2023 年阿瓦提 4 月 10 日,打顶时间均为 7 月 15 日,其他田间管理同当地大田生产。3 个环境点 6 月至 8 月温度情况如图 1 所示。



图中虚线表示温度为 35℃(日最高气温连续 3 d 大于 35℃可以认为达到高温胁迫的标准<sup>[18-19]</sup>)

The dotted line in the figure indicates that the temperature is 35℃ (the daily maximum temperature has exceeded 35℃ for 3 consecutive days, which can be considered to meet the standard of high temperature stress<sup>[18-19]</sup>)

图 1 3 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

**1.2.2 性状调查** 每份材料每个小区连续选择 5 株长势均匀的植株进行研究测量,按照《棉花种质资源描述规范和数据标准》<sup>[20]</sup>对 213 份海岛棉种质资源的相关性状进行调查(表 1)。

2022 年阿瓦提与库尔勒两点,均于花期(7 月中下旬)调查 4 个花性状(花柱长度、柱头长度、雄蕊长度、单个花药长度)。

2023 年阿瓦提性状调查。花期调查(7 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、最大光化学效率、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。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。

其中,花粉活力采用 2,3,5-三苯基氯化四氮唑(TTC, 2, 3, 5-Triphenyltetrazolium chloride)染色法测定。TTC 溶液: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 8 g 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(7 月 16 日)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。



表1 213份海岛棉种质资源15个质量性状的测定标准  
Table 1 Standard for determination of 15 quality characters of 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm 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

PT: Plant type; PPG: Plant pigment glands; MSH: Main stern hardness; SPA: Stem pubescence amount; SPL: Stem pubescence length; LN: Leaf nectar; LPA: Leaf pubescence amount; LPL: Leaf pubescence length; PBSC: Petal base spot color; EN: Extra-bract nectar; BST: Boll setting type; BS: Boll shape; BT: Boll tip; BOD: Boll opening degree; SF: Seed fuzz; The same as below

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,蕾铃脱落率=[1-(A-B)/A]×100%。

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

### 1.3 数据分析

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>[20]</sup> 分级标准划分(表1),数量性状按照极

差分级公式<sup>[21]</sup>划分1~10级。最后利用综合评价价值(F值)<sup>[22]</sup>对海岛棉进行综合评价。

$$\text{频率: } P_i = N_i / N \quad (1)$$

$$\text{遗传多样性指数: } H' = -\sum P_i \times \ln P_i \quad (2)$$

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。

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

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 3个环境点4个花性状差异分析

3个环境点下,4个花性状均呈正态分布(图2A)。柱头长度在3个环境点的平均变异系数最大(29.78%),雄蕊长度在3个环境点的平均变异系数最小(9.73%)(表2),相同性状在不同环境间均呈显著性差异(图2B)。2022年阿瓦提环境点的4个花性状综合表现较优,2023年阿瓦提环境点的4个花性状综合表现居中,2022年库尔勒环境点的4个花性状综合表现较差,这可能是由于不同环境下不同气候和土壤环境造成的(图2B)。

2023年阿瓦提环境点最高气温在3个环境中总体最高(图1),但2023年阿瓦提的4个花性状中只有花药长度在4个性状中最差(3个环境点对比),可能是因为高温对花药的影响最大,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范围在0.030~1.062,平均为0.596,其中遗传多样性指数最大的为种子短绒,遗传多样性指数最小的为叶蜜腺有无(表3)。

26个数量性状的变异系数在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,变异系数最小的为整齐度指数。26个数量性状遗传多样性指数范围在1.241~2.139,平均为1.744,其中遗传多样性指数最大的为柱头长度,其中遗传多样性指数最小的为整齐度指数(表4)。

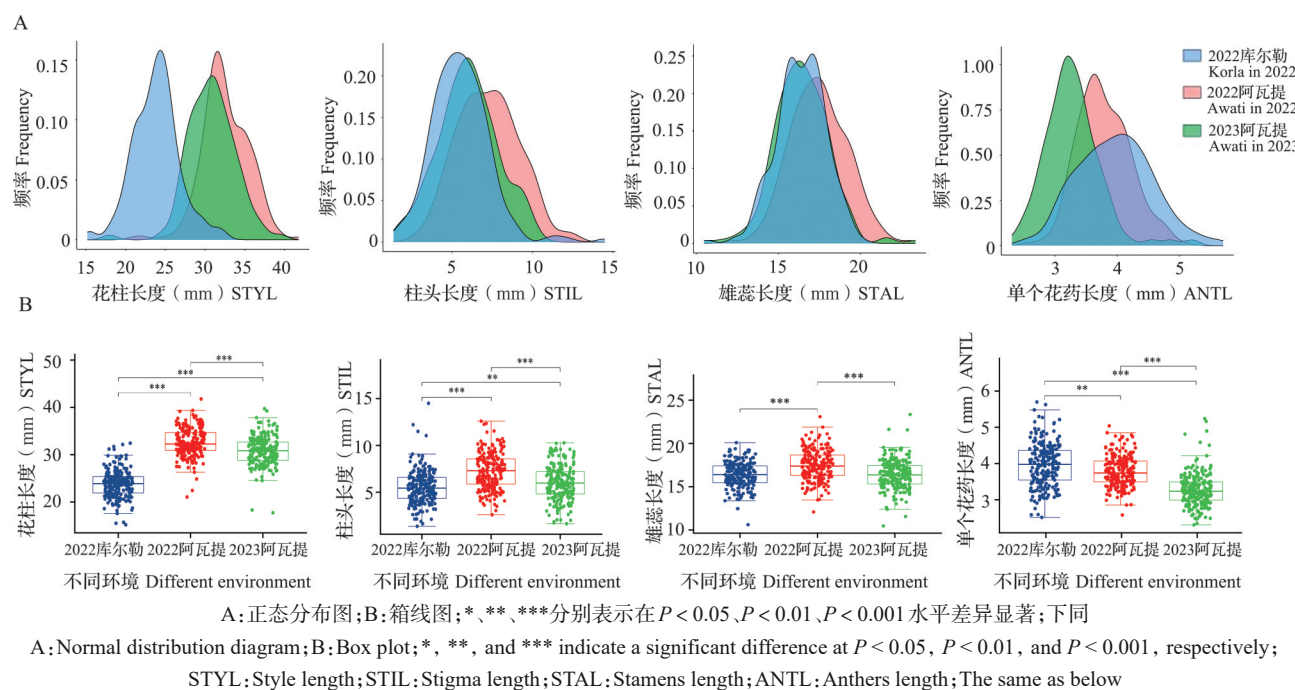


图2 3个环境点4个花性状正态分布及差异分析

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

表2 3个环境点4个花性状统计分析

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

地点 Sites	性状 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 Korla in 2022	花柱长度	23.86	2.90	15.19	32.44	0.12	0.74	12.15
	柱头长度	5.53	1.79	1.36	14.50	0.96	3.31	32.37
	雄蕊长度	16.37	1.49	10.61	20.09	-0.34	0.39	9.10
	单个花药长度	3.96	0.60	2.51	5.70	0.19	-0.16	15.15
2022 阿瓦提 Awati in 2022	花柱长度	32.58	2.91	21.05	41.77	-0.20	1.17	8.93
	柱头长度	7.26	1.91	2.58	12.60	0.18	-0.34	26.31
	雄蕊长度	17.46	1.73	12.08	23.09	0.12	0.08	9.91
	单个花药长度	3.79	0.42	2.58	5.04	0.31	-0.03	11.08
2023 阿瓦提 Awati in 2023	花柱长度	30.81	3.01	17.72	39.73	-0.35	2.25	9.77
	柱头长度	6.00	1.84	1.63	10.28	0.02	-0.32	30.67
	雄蕊长度	16.42	1.67	10.46	23.35	0.20	1.79	10.17
	单个花药长度	3.28	0.45	2.31	5.24	1.14	3.14	13.72

表3 213份海岛棉种质资源15个质量性状的遗传多样性分析

Table 3 Genetic diversity analysis of 15 quality traits in 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm resources

性状 Traits	频率分布(%) Frequency distribution							遗传多样性指数 $H'$
	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

表3 ( 续 )								
性状	频率分布(%) Frequency distribution							遗传多样性指数
Traits	0	1	2	3	4	5	6	H'
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

—:无数据

—:No data

表4 213份海岛棉种质资源26个数量性状统计分析

Table 4 Statistical analysis of 26 quantitative traits of 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm resources

性状	平均数	标准差	最小值	最大值	偏度	峰度	变异系数	遗传多样性
Traits	Mean	SD	Min.	Max.	Skewness	Kurtosis	(%) CV	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(cm)PH	73.02	18.03	46.48	159.08	1.44	2.87	24.69	1.984
始节高(cm)HFNFB	10.48	3.20	4.18	18.93	0.08	−0.77	30.53	2.111
第一果枝节位 SBN	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(台)EB	8.32	1.86	4.20	14.00	0.57	−0.04	22.36	2.008
叶枝数(台)BN	14.12	1.10	11.60	17.00	0	−0.43	7.79	2.102
籽棉(g)CSY	149.45	14.93	67.55	190.20	−1.30	6.39	9.99	1.517
皮棉(g)CLY	49.97	7.10	12.84	69.43	−0.74	5.30	14.21	1.536
衣分(%)LP	33.34	2.87	19.01	41.38	−0.67	3.87	9.09	1.605
单铃重(g)SBW	3.74	0.37	1.69	4.76	−1.30	6.39	9.89	1.517
花柱长度(mm)STYL	30.80	3.01	17.72	39.85	−0.33	2.26	9.77	1.634
柱头长度(mm)STIL	6.00	1.85	1.63	10.28	0.03	−0.34	30.83	2.139
雄蕊长度(mm)STAL	16.41	1.66	10.46	23.35	0.20	1.85	10.12	1.625
单个花药长度(mm)ANTL	3.26	0.42	2.31	5.24	0.83	2.53	12.88	1.730
花冠长度(mm)PS	47.71	4.31	24.30	57.53	−1.23	5.23	9.03	1.601
蕾铃脱落率(%)BSR	62.04	8.07	38.66	83.84	−0.22	−0.07	12.90	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	63.85	18.25	5.22	94.18	−0.90	0.62	28.13	2.035
出苗率(%)SER	91.92	8.44	45.00	100	−1.83	4.96	8.70	1.368

表 4 ( 续 )

性状 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	遗传多样 性指数 H'
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(mm)FL	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(cN/tex)FS	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

SNPL: Seed number per locule; PH: Plant height; HFNFB: Height of the frist node fruit branch; SBN: Sympodial branch node; EBN: Effective boll number; EB: Effective fruit branch number; BN: Monopodial branch number; CSY: Cotton seed yield; CLY: Cotton lint yield; LP: Lint percentage; SBW: Single boll weight; PS: Petal size; BSR: Buds shedding rate; Fv/Fm: Maximal photochemical efficiency of PSII; LAI: Leaf area index; PV: Pollen viability; SER: Seed emergence rate; MIC: Micronaire; FL: Fibre length; LU: Length uniformity; FS: Fiber strength; EL: Elongation; The same as below

41 个表型性状中有 36 个性状的遗传多样性指数大于 0.5,说明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 份海岛棉种质资源的 26 个数量性状进行主成分分析(表 5),特征值大于 1 的 9 个主成分的累计贡献率达到 74.969%。主成分 1 的特征值为 4.768,贡献率为 18.337%,籽棉和单铃重为其主要性状,特征向量最大(均为 0.845),主要代表了与产量构成相关的因子;主成分 2 的特征值为 4.099,贡献率为 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的因

子;主成分 3 的特征值为 2.153,贡献率为 8.280%,花柱长度特征向量最大(0.545),主要代表了与植株授粉相关的因子;主成分 4 的特征值为 2.054,贡献率为 7.899%,叶枝数特征向量最大(0.677);主成分 5 的特征值为 1.766,贡献率为 6.792%,柱头长度特征向量最大(0.520);主成分 6 的特征值为 1.356,贡献率为 5.217%,出苗率特征向量绝对值最大(0.481);主成分 7 的特征值为 1.134,贡献率为 4.361%,单个花药长度特征向量绝对值最大(0.568);主成分 8 的特征值为 1.101,贡献率为 4.236%,每铃室种子数特征向量最大(0.613)。主成分 9 的特征值为 1.061,贡献率 4.081%,叶面积指数特征向量最大(0.600)。

表 5 海岛棉种质资源 26 个数量性状的主成分分析 Table 5 Principal component analysis of 26 quantitative characters in *Gossypium barbadense* L. germplasm resources

性状 Traits	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 PH	0.342	-0.436	-0.208	0.292	0.482	0.100	0.047	0.210	-0.185
始节高 HFNFB	0.137	0.629	-0.234	0.406	0.150	-0.153	0.149	0.054	-0.010
第一果枝节位 SBN	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	0.845	0.183	-0.136	0.068	-0.303	0.243	0.027	0.002	-0.037
皮棉 CLY	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	0.845	0.183	-0.136	0.068	-0.303	0.243	0.027	0.002	-0.037
花柱长度 STYL	0.099	0.585	0.545	-0.014	0.387	0.321	-0.060	0.056	-0.085

表 5 ( 续 )

性状 Traits	主成分 Principal component								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
柱头长度 STIL	0.078	0.168	0.369	0.107	0.520	0.314	-0.078	-0.257	-0.412
雄蕊长度 STAL	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	0.143	0.366	0.172	-0.140	0.083	-0.126	-0.568	0.207	0.288
花冠长度 PS	0.387	0.428	0.300	0.067	0.241	-0.088	0.152	-0.128	0.127
蕾铃脱落率 BSR	-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	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	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,靠单一的性状不能准确评价各材料间差异,以及对每个种质资源进行综合评价。根据指标权重和隶属函数计算表型综合评价值(F值),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。以综合评价值(F值)为因变量,26个数量性状为自变量,利用逐步回归法构建了最优回归方程: $F=-0.524+0.024X_1+0.001X_2+0.003X_3+0.017X_4-0.004X_5-0.004X_6+0.006X_7-0.104X_{10}+0.033X_{11}+0.002X_{12}+0.006X_{14}+0.024X_{15}+0.001X_{16}+0.073X_{17}-0.049X_{18}+0.013X_{19}-0.003X_{20}+0.1X_{21}+0.003X_{22}+0.001X_{23}+0.003X_{24}+0.001X_{25}-0.003X_{26}$ ( $R^2=1$ ,  $P<0.05$ ),其中  $X_1\sim X_7$ 、 $X_{10}\sim X_{12}$ 、 $X_{14}\sim X_{26}$  分别是每铃室种子数、株高、始节高、第一果枝节位、有效铃数、有效果枝台数、叶枝数、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、最大光化学效率、叶面积指数、花粉活力、出苗率、马克隆值、上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、伸长率。26个数量性状中23个数量性状与综合评价值(F值)有相关性,籽棉、皮棉、柱头长度

在构建回归模型中被排除。该回归方程可解释F值100%的变异,说明可用于海岛棉种质综合评价。结果表明,213份海岛棉种质资源的表型综合评价值(F值)的变化范围为0.31~0.72(详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240223008>,附表1),综合评价排名前10的资源分别为GB150、GB77、GB12、GB82、GB151、GB24、GB8、GB41、GB10、GB86。

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之间的相关性。本研究将26个数量性状和综合评价值(F值)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或极显著正相关。株高、有效铃数、有效果枝台数、叶枝数与蕾铃脱落率呈显著或极显著负相关;株高与花粉活力呈显著正相关。衣分、花柱长度与花粉活力呈显著或极显著负相关;每铃室种子数、株高、始节高、第一果枝节位等15个性状与综合评价值(F值)呈显著或极显著正相关,有效铃数、有效果枝数、马克隆值、伸长率与综合综合评价值(F值)呈极显著负相关。



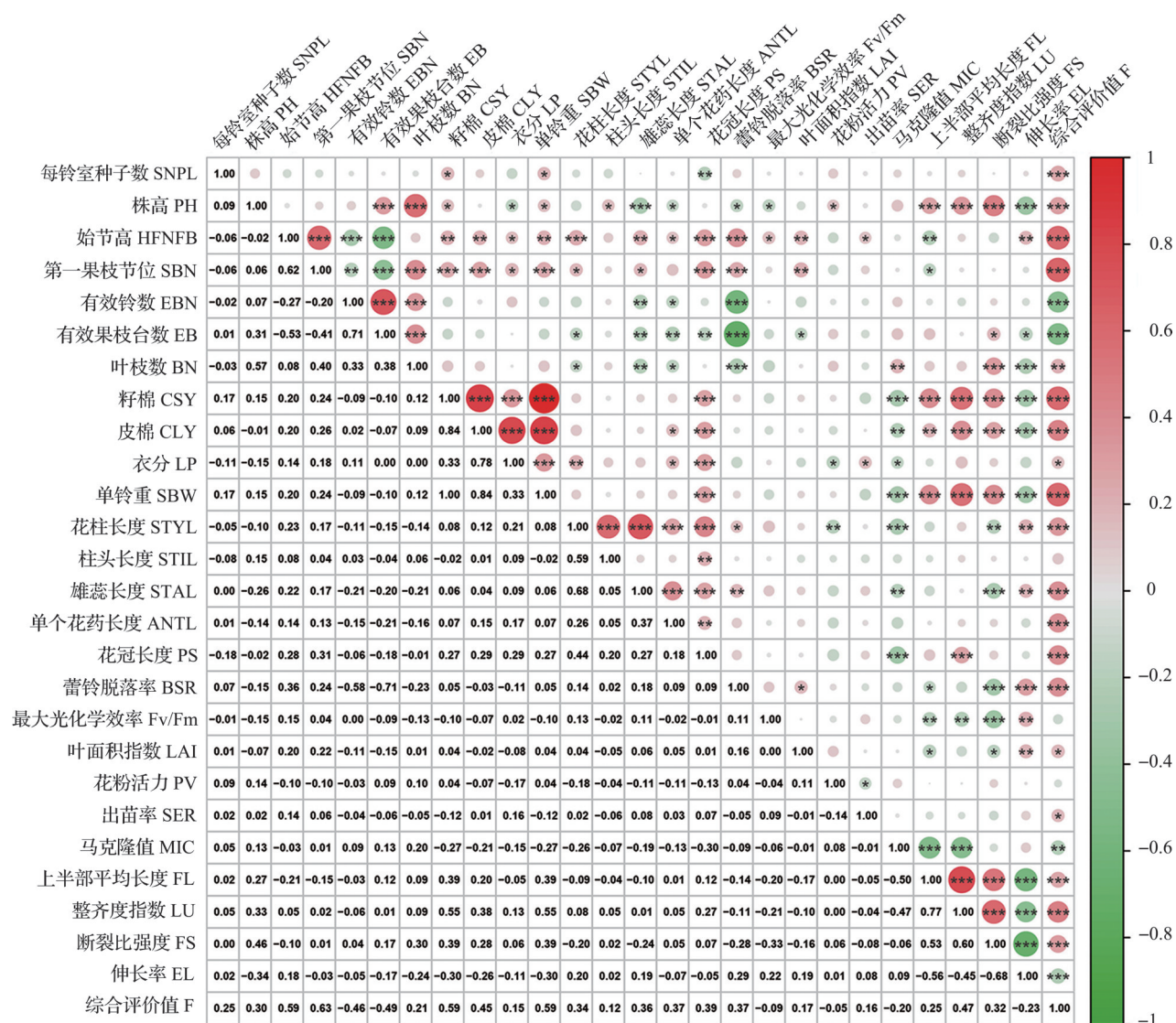


图3 26个数量性状及综合评价(F值)相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of 26 quantitative characters and F-value

## 2.6 花粉活力、蕾铃脱落率与表型性状及综合评价值的多元回归分析

为了探究花粉活力和蕾铃脱落率与数量性状之间的关系,以花粉活力为因变量,25个数量性状为自变量,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25个数量性状中只有花柱长度和出苗率与花粉活力具有相关性。在回归模型中,花柱长度和出苗率这两个性状对花粉活力的解释率为0.052,可见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。

以蕾铃脱落率为因变量,25个数量性状为自变量,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个数量性状中有效果枝数、伸长率、有效铃数、出苗率、株高、断裂比强度6个性状与蕾铃脱落率间具有相关性。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个性状对蕾铃脱落率的解释率为0.585,可见这6个性状在一定程度上对蕾铃脱落率具有一定的影响。

将花粉活力、综合评价值(F值)和蕾铃脱落率这3个性状两两间进行拟合回归分析,结果发现花粉活力和综合评价值(F值)间的解释率为 $R^2 < 0.01$ (图4A),蕾铃脱落率和综合评价值(F值)间的解释率为 $R^2 = 0.14$ (图4B),花粉活力和蕾铃脱落率间的解释率为 $R^2 < 0.01$ (图4C),3组指标间的解释率均不高,可能这两个性状有独特遗传机制,受其他数量性状的影响较小。

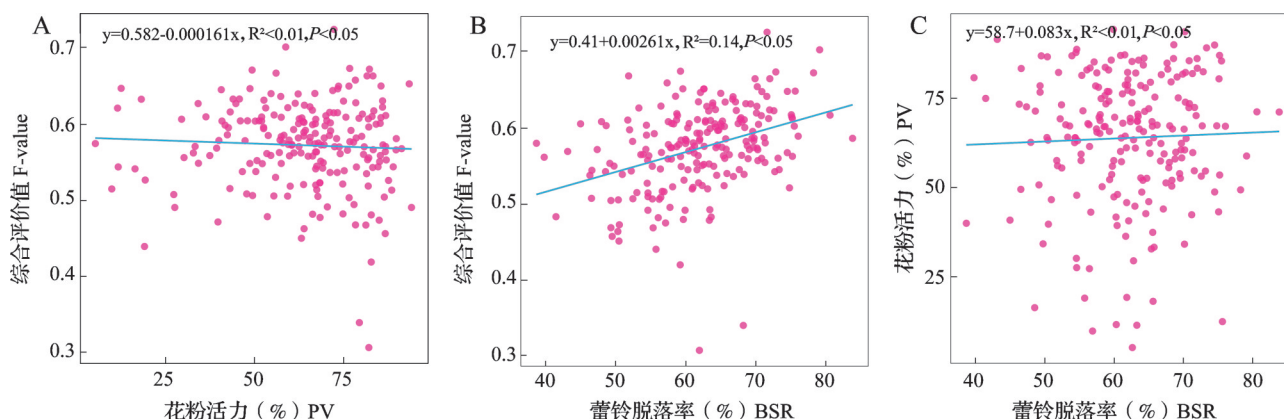


图4 花粉活力、蕾铃脱落率和综合评价(F值)拟合回归曲线

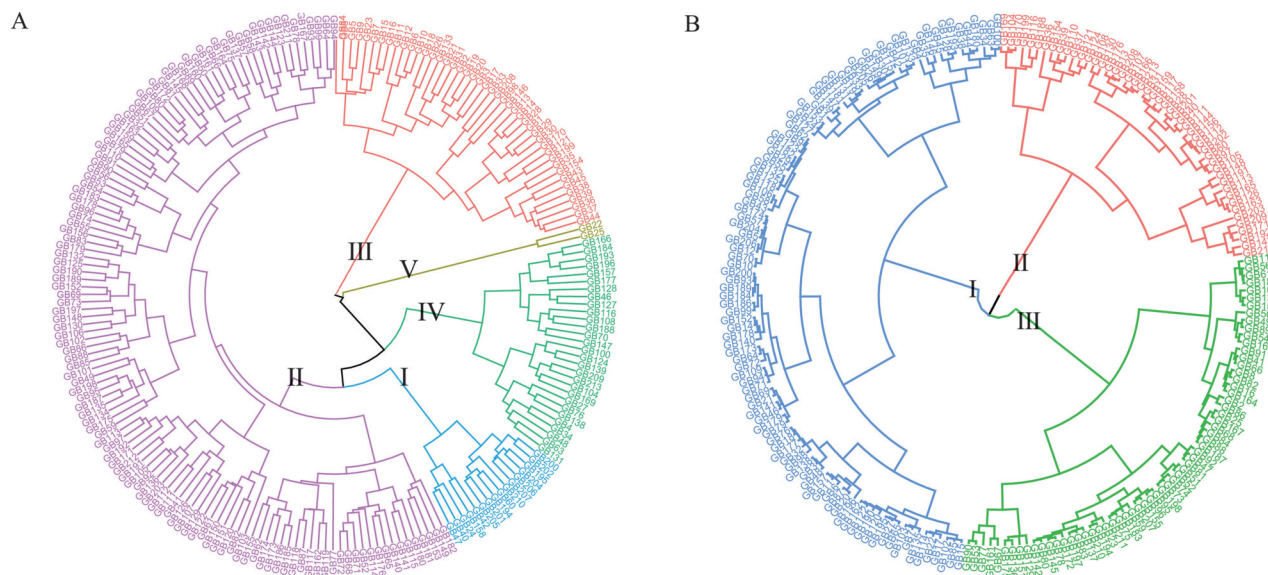
Fig. 4 Pollen viability, buds shedding rate and comprehensive evaluation (F-value) fitted regression curves

## 2.7 聚类分析

基于海岛棉资源的26个数量性状聚类,共分为5个类群(图5A),并对5个类群的26个数量性状进行统计分析(详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240223008>,附表2)。类群I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、高产。类群II包含122份材料,占有种质资源的57.28%,主要特征为花性状较为优良,花大、叶多。类群III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。类群IV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。类群V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。

根据上文研究结果发现,其他25个数量性状对花粉活力、蕾铃脱落率两个性状的解释率不高,可能这两个性状有独立的遗传机制,因此使用花粉活力和蕾铃脱落率进行聚类分析(图5B),结果显示,213份海岛棉种质资源被分为3类,类群I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;类群II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;类群III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(详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240223008>,附表3)。



A: 26个数量性状聚类图; B: 2个耐热性状聚类图(花粉活力和蕾铃脱落率); 图中左侧数字代表距离刻度, 表示不同样本之间的相对距离  
A: Cluster map of 26 quantitative traits; B: Cluster maps of 2 heat-resistant traits (pollen viability and buds shedding rate); The number on the left side of the figure denotes the distance scale, which illustrates the relative distances among various samples

图5 26个数量性状聚类和2个耐热指标的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of 26 quantitative traits and 2 heat-resistant traits



通过分析发现,两种聚类分析的最优类群(均为类群I)存在 7 个品种的交集,分别为 GB24、GB42、GB195、GB200、GB204、GB205 和 GB206,这 7 个品种综合表型优异,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材料基础。

表 6 7 份材料的综合评价值(F 值)和 2 个耐热性状基本描述

Table 6 Basic description of 7 materials F value and 2 heat resistance traits

材料 Materials	综合评价值 F	蕾铃脱落率 (%) BSR	花粉活力(%) PV
GB24	0.67	51.83	56.07
GB42	0.63	56.45	61.46
GB195	0.58	61.95	78.61
GB200	0.60	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

### 3 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 等<sup>[18]</sup>、Reddy 等<sup>[19]</sup>的定义,日最高气温连续 3 d 大于 35℃可以认为达到高温胁迫的标准。本研究收集了 3 个环境点 6-8 月共 92 d 的气温数据,发现 3 个环境点均有连续 3 d 大于 35℃的时期(2022 库尔勒 18 d,2022 年阿瓦提 10 d,2023 年阿瓦提 55 d),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 份海岛棉种质资源 2 年共 3 个环境点的 4 个花性状进行了全面的研究与分析,结果显示,4 个花性状均易受环境影响,在不同环境点,相同性状表型具有明显差异。在温度最高的 2023 年阿瓦提环境下,本研究发现花药长度相较于其他两个环境下的花药长度表现最差(平均为 3.28 mm),而其余 3 个性状在 3 个环境点

表现居中,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,2022 年库尔勒环境下的 4 个花性状综合表型最差,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的影响,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 份综合评价值(F 值)较高的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 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<sup>[26-28]</sup>,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 份海岛棉种质资源进行综合鉴定。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,说明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,因此本研究选用 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;并计算各个材料的加权隶属函数值(综合评价值(F 值)),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 个数量性状进行聚类分析,可将 213 份海岛棉种质资源分为 5 类,类群 I 包含 16 份综合性状优良、高产的材料,类群 II 包含 122 份花性状较为优良,花大、叶多的材料,类群 III 包含 44 份纤维品质较优的材料,类群 IV 包含 29 份营养器官生长较为优异的材料,类群 V 包含 2 份花粉活力较强的材料,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,这可能是由于评价性状的选择、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>。本研究为了探究数量性状对两个高温代表性性状(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其他25个数量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个性状(花柱长度与出苗率)被保留,解释率为 $R^2=0.052$ ,以蕾铃脱落率为因变量,6个性状(有效果枝数、有效铃数、伸长率、出苗率、株高与断裂比强度)被保留,解释率为 $R^2=0.585$ 。因此本研究进一步利用两个高温代表性性状(花粉活力与蕾铃脱落率)进行耐高温种质综合评价与筛选,两个高温性状的聚类分析将213份海岛棉种质资源分为3类,类群I包含102份高花粉活力、低蕾铃脱落率的材料,类群II包含63份中花粉活力、中蕾铃脱落率的材料,类群III包含48份低花粉活力高、蕾铃脱落率的材料。本研究结果为海岛棉育种提供了可参考的资源,可为今后海岛棉资源研究提供参考建议。

## 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, Vangroenendaal 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, Wang B Q, Wang 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, Wang 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, Wang 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, 48: 261-282
- [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, Lindsd 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. 武汉: 华中农业大学, 2022
- Ma Y Z. Mechanism of high temperature caused male sterility revealed by analysis of natural cotton germplasm accessions. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022
- [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, Abudukadir K, 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] 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
- [19] Reddy K R, Hodges H F, McKinion J M. A temperature model for cotton phenology. *Biotronics*, 1993, 22: 47-59
- [20] 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. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 1-89
- [21] 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, Wang L P, Chen Q J, Qu Y Y. Analysis of genetic diversity in *Gossypium barbadense* L. based on genetic and phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(2): 197-208
- [22] 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
- [23] 张一中, 张晓娟, 梁笃, 郭琦, 范昕琦, 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
- Li H, Yan X Q, Yang Z L, Tan J Y, Li X B, Chen N G, Wu R J, Chen H C, Ruan R C. 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, Tuerxun T. 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 Y, Wang X X, Wang Y H, Zhang Z M, Wang K B, Liu F. 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. 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, He 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 份海岛棉种质资源 F 值排序

Table S1 F value ranking of 213 *Gossypium barbadense* L. germplasm resources

排名 Ranking	材料名称 Name of material	F 值 F value	排名 Ranking	材料名称 Name of material	F 值 F value	排名 Ranking	材料名称 Name of material	F 值 F value
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 不同类群海岛棉的 26 个数量性状均值分布

Table S2 Mean distribution of 26 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			类群五 Group 5		
	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	最小值	平均值	最大值	最小值
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
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	4.80	6.50	6.80	6.20
株高（cm）PH	62.62	80.68	53.33	68.99	159.08	46.48	94.71	127.30	52.93	64.36	91.58	50.25	50.33	52.59	48.06
始节高（cm）HFNFB	12.34	14.99	6.85	11.86	18.93	5.85	8.60	15.23	4.65	6.86	12.64	4.18	5.12	5.75	4.48
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	1.10	2.50	2.90	2.10
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	8.60	11.65	12.20	11.10
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	8.40	8.55	8.70	8.40
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	11.70	14.40	14.80	14.00
籽棉（g）CSY	164.92	180.77	150.5	149.60	187.77	122.44	153.61	190.20	131.49	139.51	163.55	113.43	69.95	72.35	67.55
皮棉（g）CLY	62.25	69.43	51.57	49.45	65.90	38.72	49.99	63.10	38.88	47.84	58.49	38.51	13.83	14.82	12.84
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	0.30	0.20	0.20	0.19
单铃重（g）SBW	4.12	4.52	3.76	3.74	4.69	3.06	3.84	4.76	3.29	3.49	4.09	2.84	1.75	1.81	1.69
花柱长（mm）STYL	28.27	31.75	26.47	31.99	39.85	25.32	29.16	34.05	24.53	30.60	34.87	25.88	18.01	18.31	17.72
柱头长（mm）STIL	4.37	5.71	2.03	6.34	10.28	1.63	6.24	9.70	1.83	5.30	8.85	2.00	3.67	3.67	3.67
雄蕊长（mm）STAL	15.62	17.50	14.28	16.95	23.35	13.02	15.23	18.79	12.38	16.74	18.75	14.90	11.01	11.56	10.47
单个花药长（mm） ANTL	3.51	4.50	2.70	3.28	5.24	2.47	3.17	3.94	2.35	3.19	3.90	2.31	3.08	3.14	3.02
花冠长（mm）PS	49.78	54.28	45.51	48.63	57.53	38.79	46.69	55.07	39.62	45.81	50.44	39.17	25.52	26.74	24.30
脱落率（%）BSR	62.38	72.59	51.83	65.74	83.84	47.35	56.32	72.01	38.66	54.77	63.38	43.13	65.09	68.23	61.95
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	0.69	0.77	0.78	0.76
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	1.86	2.17	2.21	2.14



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	9.84	80.84	82.18	79.51
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	0.80	0.89	0.90	0.88
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	4.02	6.92	6.95	6.90
上半部平均长度 (mm) FL	34.36	36.39	32.03	33.60	37.39	24.33	36.51	39.26	33.54	33.33	36.83	28.91	24.86	29.67	20.05
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	80.60	70.85	73.02	68.68
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	31.85	26.38	29.82	22.95
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	7.23	11.44	12.94	9.94
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	0.42	0.32	0.34	0.31

附表 3 不同类群海岛棉花粉活力和蕾铃脱落率均值分布

Table S3 Mean distribution of Pollen viability and buds shedding rate in different groups of *Gossypium barbadense* L.

类群 Group		脱落率 Buds 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%