

# 366 份长绒陆地棉种质资源遗传多样性分析

董占鹏<sup>1</sup>, 汪赛月<sup>2</sup>, 李柯鑫<sup>3</sup>, 关永虎<sup>1</sup>, 李长喜<sup>1</sup>, 梅拥军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>塔里木大学农学院, 新疆阿拉尔 843300; <sup>2</sup>塔里木大学生命科学与技术学院, 新疆阿拉尔 843300; <sup>3</sup>郑州航空工业管理学院电子信息学院, 郑州 450046)

**摘要:** 对 366 份长绒陆地棉种质资源 5 个品质性状和 5 个产量性状的 2 年资料采用基因型及基因与环境互作遗传模型进行遗传分析, 并对表型进行遗传多样性分析和对基因型值进行相关性分析、聚类分析、主成分分析和多元线性回归分析, 以明确各类种质资源的利用价值。研究结果显示, 366 份长绒陆地棉 2 年品质性状变异系数在 1.34%~11.80% 之间, 产量性状变异系数在 7.95%~54.09% 之间; 两年品质性状多样性指数在 1.67~2.03 之间, 平均遗传多样性为 1.879, 两年产量性状多样性指数在 1.42~1.99 之间, 平均遗传多样性为 1.782, 说明 366 份种质资源之间差异性较大, 种质类型丰富。聚类分析将 366 份中长绒陆地棉种质资源分为 5 类, 第 1 类包含 63 份种质, 属于铃重大、衣指高、整齐度好的一类材料; 第 2 类包括 41 份种质, 属于衣分高、单株铃数多、单株皮棉产量高的高产材料; 第 3 类包括 71 份种质, 属于绒长短、铃重低的一类材料; 第 4 类包括 84 份种质, 属于绒长较长、马克隆值较低、比强度较高的一类材料; 第 5 类包括 107 份种质, 属于绒长最长、马克隆值最低、比强度最高的优质材料。通过对各类种质资源计算综合得分 (F 值), 筛选出大于对照金刚 (0.87) 的有 9 份品种, 介于对照金刚和对照中棉-3 (0.80) 之间的有 4 份品种, 介于对照中棉-3 和对照新陆中 87 (0.74) 之间的有 5 份材料。对主要性状进行多元线性回归分析, 得到了绒长和单株皮棉产量的两个线性回归模型。综合说明 366 份长绒陆地棉种质资源的遗传多样性较丰富; 筛选到的 21 份优质种质资源, 可以作为优质亲本提高当地陆地棉纤维品质和为陆地棉种质创新和遗传育种提供参考与借鉴。

**关键词:** 长绒陆地棉; 种质资源筛选; 遗传多样性分析; 综合评价

## Genetic Diversity Analysis of 366 Long Staple Upland Cotton Germplasm Resources

DONG Zhanpeng<sup>1</sup>, WANG Saiyue<sup>2</sup>, LI Kexin<sup>3</sup>, GUAN Yonghu<sup>1</sup>, LI Changxi<sup>1</sup>, MEI Yongjun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Tarim University, Aral843300, Xinjiang; <sup>2</sup>College of Life Science and Technology, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang; <sup>3</sup>School of Electronic Information, Zhengzhou Aviation Industry Management College, Zhengzhou 450046)

**Abstract:** The 2-year data of 5 quality traits and 5 yield traits of 366 long-staple upland cotton germplasm resources were genetically analysed using genotype and gene-environment interaction genetic models, and genetic diversity analysis of phenotypes and correlation analysis, cluster analysis, principal component analysis and multiple linear regression analysis of

收稿日期: 2024-09-14

网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为陆地棉遗传育种, E-mail: dr115915@163.com; 汪赛月为共同第一作者

通信作者: 梅拥军, 研究方向为陆地棉遗传育种, Email: xnmeiyj@126.com

基金项目: 国家自然科学基金 (31560408)

Foundation project: National Natural Science Foundation of China(31560408).

genotypic values were performed to clarify the value of the use of various types of germplasm resources. The results showed that the coefficients of variation of 366 long-staple upland cotton varied from 1.34% to 11.80% for quality traits and 7.95% to 54.09% for yield traits in two years; the diversity indices of two-year quality traits ranged from 1.67 to 2.03, with an average of 1.879, and those of two-year yield traits ranged from 1.42 to 1.99, with an average of 1.782, indicating that the 366 germplasm resources were diverse and rich in types. Cluster analysis categorized the 366 medium and long-staple upland cotton germplasm resources into five groups: Group 1 (63 germplasms) had high boll weight, high lint index, and good uniformity; Group 2 (41 germplasms) were high-yielding with high lint percentage, boll number per plant, and lint yield per plant; Group 3 (71 germplasms) had short lint length and low boll weight; Group 4 (84 germplasms) had long lint length and low boll weight; Group 5 (107 germplasms) were high-quality with the longest lint length, lowest micronaire value, and highest specific strength. By calculating the composite score (F-value) for each category of germplasm resources, nine varieties were found to be superior to the control Jingang (0.87), four varieties were between the control Jingang and the control Chinese Cotton -3 (0.80), and five materials were between the control Chinese Cotton -3 and the control Xinluzhong 87 (0.74). Multiple linear regression analyses of the main traits yielded two linear regression models for lint length and lint yield per plant. The 366 long-staple upland cotton germplasm resources exhibit rich genetic diversity; the 21 high-quality germplasm resources identified can serve as superior parents to enhance the fiber quality of local upland cotton and offer references for upland cotton germplasm innovation and genetic breeding. **Key words:** Long staple upland cotton; germplasm screening; genetic diversity analysis; comprehensive evaluation

中国棉花产业不仅在国民经济中占有重要地位，而且对国际棉花市场以及世界棉花产业的发展亦有举足轻重的影响<sup>[1]</sup>。掌握核心种质资源，提升核心种源的自给率，一直是育种家追求的关键一环<sup>[2]</sup>。棉花种质资源的多样性可以为育种家提供更多亲本选择和更多育种可能。因此，关于棉花多样性种质资源的研究势在必行。王超越<sup>[3]</sup>对 283 份陆地棉机采农艺性状进行遗传多样性分析，筛选出了高产材料 1 份，短果枝材料 14 份，始节高大于 25cm 的材料 4 份。王海涛等<sup>[4]</sup>对 314 份陆地棉材料进行相关性分析、主成分分析和聚类分析，将 314 份种质资源划分为 6 大类，筛选出了一批可以改良品质和机采性状的种质资源。杨芳芳<sup>[5]</sup>对 396 份新疆陆地棉 5 个品质性状和 5 个产量性状做相关性分析得出皮棉产量与断裂比强度呈极显著负相关，与上半部平均长度、伸长率呈显著负相关；衣分与断裂比强度呈显著负相关，做主成分分析将 10 个主要性状提炼为 4 个主成分，并归类为纤维品质因子、产量因子和马克隆值因子，进行聚类分析将 396 份供试材料分为 5 类，并筛选出 19 个优异种质资源。张选<sup>[6]</sup>对 27 份中长绒陆地棉遗传多样性分析中筛选出了 15 份可作为育种亲本的高产优质材料。张磊磊<sup>[2]</sup>等利用 16 个描述性状和 16 个数量性状将来自中国等 14 个国家的 647 份海岛棉种质资源进行遗传分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析，得出前 5 个特征值累计贡献了 75.761%，并将种质资源划分为 6 个类群，第 II 类群综合表现较好。Shui<sup>[7]</sup>鉴定了与棉铃脱落性状连锁的 SSR 标记并对棉花种质资源进行筛选，鉴定出了 6 个具有与棉铃脱落、纤维品质和产量性状相关优异等位基因的典型品种。董承光<sup>[8]</sup>等基于表型性状对

429 陆地棉种质资源进行多样性分析, 得出各类群间性状存在明显差异, 类群划分与材料出处没有直接关系。此前, 已有的研究多是关于陆地棉、海岛棉种质资源遗传多样性的研究, 关于中长绒陆地棉的研究多为赵富强<sup>[9]</sup>、匡政成<sup>[10]</sup>和李保军<sup>[11]</sup>等关于中长绒陆地棉栽培技术、中长绒陆地棉新品种选育和中长绒陆地棉性状之间的相关性, 关于长绒陆地棉种质资源的研究却鲜有报道, 且前人的研究群体数量较少、研究年份少, 不能够准确全面的反映长绒陆地棉种质资源的现状。

本研究在前人的研究下, 由本课题组提供引进、保存及选育的 366 份长绒陆地棉种质资源 (其中有 3 个对照), 对 5 个品质性状和 5 个产量性状进行表型分解、遗传多样性分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析, 并对每份种质资源计算综合得分和对目标性状进行多元回归分析。相较于前人表型分析, 此研究都基于表型分解后的基因型效应值进行分析, 可以更深入更全面的了解中长绒陆地棉种质资源的特征, 更准确的为今后的长绒陆地棉亲本选配和品种选育提供更加多样的陆地棉种质资源。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

366 份长绒陆地棉种质资源材料均有本课题组提供, 其中大田推广品种 3 份 (对照), 分别为金刚 (纤维长度 28.67mm), 中棉-3 (纤维长度 29.94mm) 和新路中 87 (纤维长度 30.65mm), 其余种质资源分别为纤维长度 30~31mm 2 份, 31~32mm 8 份, 32~33mm 34 份, 33~34mm 88 份, 34~35mm 98 份, 35~36mm 92 份, 36~37mm 38 份, 37~38mm 3 份, 详情见附表 1。

### 1.2 试验设计

于 2022 年和 2023 年在新疆阿克苏地区阿瓦提县棉城种业塔木托格拉克镇试验基地进行 (4 月 20 号和 4 月 25 号播种)。试验采用随机区组设计, 每年均为 2 次重复, 采用膜间距 0.60m, 行间距 0.55m 地膜覆盖种植, 每小区 2 行种植, 行长 3m, 株距 0.1m, 管理同大田, 与郭宏等<sup>[12,13]</sup>田间试验设计类似。

产量性状调查: 10 月 1 号从每小区中部调查连续 10 株棉株的铃数并算得单株铃数。霜降前 1 周内 (10 月 20 号左右), 每小区连续收获 15 株中部吐絮正常的一朵籽棉, 对籽棉称重算出铃重。将收获的籽棉轧花后称的皮棉重, 用皮棉/籽棉×100%算出衣分。由单株铃数×铃重×衣分/100 算出单株皮棉重。称取 100 粒籽棉的重量算的籽指, 由 (籽指×衣分)/(1-衣分) 算出衣指。

品质性状测定: 每小区取 2 个皮棉样在库尔勒晶华种业品质检测室测定上半部平均长度 (mm)、整齐度指数(%)、断裂比强度(cN tex-1)、伸长率(%)、马克隆值。

### 1.3 遗传模型与统计分析方法

(1) 将 366 份长绒陆地棉品种 (系) 2 次重复测得的数据以小区平均值为单位采用包括基因型及其与环境互作的遗传模型分析。表型值可以分解为:

$$y=\mu+G+E+GE+\varepsilon$$

其中,  $\mu$ =群体均值,  $E$ =环境效应,  $E \sim N(0, VE)$ ;  $G$ =基因型效应,  $G \sim N(0, VG)$ ;  $GE$ =基因型×环境互作效应,  $GE \sim N(0, VGE)$ ;  $\varepsilon$ =剩余,  $\varepsilon \sim N(0, V\varepsilon)$ 。各项遗传参数(包括各遗传组分方差比例和遗传相关系数)采用朱军<sup>[4-16]</sup>的软件及分析方法进行计算, 运用 MINQUE(1)法估算方差分量, 用 Jackknife 抽样方法计算各遗传参数的估计值及其标准误, t 测验法对遗传参数做统计检验。

(2) 采用 Microsoft Excel 2016 软件对 366 份长绒陆地棉材料 10 个性状的数据进行描述性统计、变异系数、遗传多样性指数的计算。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, 产量和品质性状按照张磊磊<sup>[2]</sup>的极差分级公式划分 1~10 级。

(3) 聚类分析 (Clustering analysis): 用 Origin 2022 对朱军软件得出的基因型值标准化进行系统聚类分析, 采用系统聚类的 Ward 法, 度量标准选择欧氏距离, 用 Microsoft Excel 2016 对聚类后性状按不同类别计算平均值。

(4) 主成分分析 (PCA, principal component analysis) 和多元线性逐步回归分析 (Multivariate linear stepwise regression analysis): 利用 IBM SPSS Statistics 26 将朱军软件得出的基因型值做相关性矩阵, 再计算和提取足以代表 366 份长绒陆地棉品种 (系) 大部分变异的主成分特征值; 利用 IBM SPSS Statistics 26 对目标性状进行多元线性逐步回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 长绒陆地棉种质资源数量性状的遗传变异分析和遗传多样性分析

将 366 份长绒陆地棉 2 年 10 个性状的遗传变异系数和遗传多样性指数列于表 1, 结果显示, 2022 年变异系数在 1.34%~54.09% 之间, 2023 年变异系数在 1.44%~46.50%, 变异幅度较大, 其中衣指在 2 年间变异系数最大 (54.09、46.50), 整齐度在 2 年变异系数最小 (1.34、1.44)。变异系数不低于 10% 则说明品种之间差异性较大<sup>[17]</sup>。2022 年 10 个性状变异系数超过 10% 的性状占比为 60%, 2023 年变异系数超过 10% 的性状占比为 50%。2 年长绒陆地棉品种 (系) 10 个数量性状遗传多样性指数均大于 1.40, 其中 2022 年遗传多样性指数位于 1.42~1.98 之间, 且单株皮棉重遗传多样性指数最高 (1.98), 衣分遗传多样性指数最低 (1.42); 2023 年多样性指数位于 1.49~2.03 之间, 其中整齐度遗传多样指数最高 (2.03), 铃重遗传多样性指数最低 (1.49), 说明本研究 366 份中长绒陆地棉品种 (系) 数量性状间差异大, 种质资源类型丰富, 有利于开展长绒陆地棉特异性种质资源的比较、筛选和利用。

表 1 10 个性状 2 年遗传变异系数和遗传多样性分析

Table 1 Coefficient of genetic variation and genetic diversity analyses for 10 traits over 2 years

性状 Trait	2022				2023			
	极差 Range	平均值 Average	变异系数 (%)CV	多样性指数 H'	极差 Range	平均值 Average	变异系数 (%)CV	多样性指数 H'
绒长(mm) Lint length	8.99	34.42	4.21	1.88	11.05	34.45	4.24	1.67

整齐度(%)	6.75	85.95	1.34	1.93	6.60	86.06	1.44	2.03
Uniformity								
马克隆值	2.38	3.69	11.45	1.96	2.45	3.66	11.80	1.96
Micronaire								
比强度(cN tex <sup>-1</sup> )	23.90	38.62	10.39	1.94	20.40	37.24	9.58	1.95
Strength								
伸长率(%)	0.60	6.90	1.73	1.92	1.00	6.92	1.68	1.55
Elongation								
铃重(g)	5.31				5.75			
Boll weight		5.78	12.85	1.74		5.54	11.65	1.49
衣分(%)	31.18				16.76			
Lint percentage		40.61	8.44	1.42		38.39	7.95	1.99
单株铃数(个株 <sup>-1</sup> )	24.04	16.04	30.14	1.93	27.21	12.03	34.81	1.67
Boll number/plant								
单株皮棉重(g)	69.78	38.38	39.64	1.98	59.28	26.08	44.38	1.79
Lint yield/plant								
衣指(g)	9.43	6.95	54.09	1.90	9.06	6.20	46.50	1.91
Lint index								

## 2.2 长绒陆地棉种质资源主要性状的遗传效应分析

2.2.1 纤维品质和产量性状的遗传方差分析和遗传效应估计 将长绒陆地棉种质资源 10 个数量性状 2 年遗传组分方差占表型方差的比率及遗传率列于表 2。由表 2 结果表明, 基因型和基因型与环境互作对表现型总变异的贡献都达到了极显著水平。其中, 基因型对表现型贡献超过 50% 的性状占比达 30%, 低于 30% 的性状占比达到了 40%, 其中马克隆值的基因型对表现型的贡献最大 (73%), 单株皮棉重贡献最低 (11%); 基因型与环境互作对表现型贡献超过 50% 的性状占比达 20%, 低于 30% 的性状占比达到了 70%, 其中单株铃数的基因型与环境互作对表现型的贡献最大 (63%), 绒长贡献最低 (2%); 除马克隆值的剩余方差占表现型方差比率为 0 外, 其余 9 个性状剩余方差占表现型方差比率都达到了极显著水平; 普通狭义遗传力、普通广义遗传力、互作狭义遗传力和互作广义遗传力超过 50% 的性状占比分别为 30%、90%、20% 和 70%, 其中马克隆值的普通狭义遗传力 (73%) 和普通广义遗传力 (100%) 最大, 单株铃数的互作狭义遗传力 (63%) 和互作广义遗传力 (92%) 最大。

表 2 纤维品质和产量性状的方差分析及遗传力估计值

Table 2 ANOVA and heritability estimates for fibre quality and yield traits

性状 Trait	绒长 Lint length	整齐度 Uniformity	马克隆值 Micronaire	比强度 Strength	伸长率 Elongation	铃重 Boll weight	衣分 Lint percentage	单株铃数 Boll number/plant	单株皮棉 产量 Lint yield/plant	衣指 Lint index
基因型方差/表型 方差 $V_G/V_P$	0.64**	0.28**	0.73**	0.49**	0.49**	0.29**	0.46**	0.08**	0.11**	0.64**
基因型×环境方差 /表型方差 $V_{GE}/V_P$	0.20**	0.17**	0.26**	0.48**	0.22**	0.23**	0.16**	0.63**	0.62**	0.18**
剩余方差/表型方 差 $V_e/V_P$	0.16**	0.55**	0.00	0.03**	0.28**	0.48**	0.37**	0.29**	0.28**	0.18**
普通狭义遗传力 $h^2_N$	0.64**	0.28**	0.73**	0.49**	0.49**	0.29**	0.46**	0.08**	0.11**	0.64**
普通广义遗传力 $h^2_B$	0.84**	0.45**	1.00**	0.97**	0.72**	0.52**	0.63**	0.71**	0.72**	0.82**
互作狭义遗传力 $h^2_{NE}$	0.20**	0.17**	0.26**	0.48**	0.22**	0.23**	0.16**	0.63**	0.62**	0.18**
互作广义遗传力 $h^2_{BE}$	0.36**	0.72**	0.27**	0.51**	0.51**	0.71**	0.54**	0.92**	0.89**	0.36**

\*代表达到 0.05 显著水平, \*\*代表达到 0.01 显著水平

\* represents reaching 0.05 significant level, \*\* represents reaching 0.01 significant level

### 2.2.2 部分种质资源品质和产量性状的基因型分析 对长绒陆地棉产量和品质性状进行基因型效应分

析有利于了解各种质资源的应用价值。从 366 份种质资源中随机选取了 25 份种质资源的 8 个性状的基因型效应估计值列于表 3。种质资源 10T629—1、21P393、22P29、22P189、22P190、22P195 和 22P164 的绒长、比强度和伸长率都具有较大的正向显著或极显著的基因型效应，且马克隆值具有较大的负向极显著基因型效应，在杂交育种中使其做亲本可以较容易获得马克隆值低，其他 3 个品质性状均高的后代。其中 22P164 除马克隆值 (-0.31\*\*) 和衣分 (1.78) 外，其余 6 个性状都达到了极大的正向极显著基因型效应，在杂交育种中可以用于改良当地陆地棉后代的产量和纤维品质。22P154 的铃数 (0.16\*\*) 和衣分 (1.9\*\*) 具有较高的极显著基因型效应，可以在杂交育种中作为提高后代铃数和衣分的亲本。

表 3 部分种质资源基因型效应

Table 3 Genotypic effects of selected germplasm resources

品种 Variety	绒长 Lint length	马克隆值 Micronaire	比强度 Strength	伸长率 Elongation	铃重 Boll weight	衣分 Lint percentage	单株铃数 Boll number/plant	单株皮棉产量 Lint yield/plant
10T629--1	1.62**	-0.63**	2.95**	0.10**	0.42	-2.37**	-0.13	0.30
21P393	1.79**	-0.45**	4.24**	0.19**	0.04	-1.43**	-0.59	-1.19
22P2	-2.96**	0.29**	-1.81	-0.14**	-0.43**	0.43	0.05	-1.83**
22P3	-2.24**	0.24**	-2.50**	-0.10*	0.40**	0.86	-0.82*	-0.12
22P29	2.11**	-0.61**	2.47**	0.14**	-0.21	-0.44	0.07	-1.21
22P31	1.13**	-0.06*	2.63**	0.06	0.11	-1.40*	-0.20	-0.89
22P36	2.18**	-0.56**	1.31	0.08*	-0.05	-1.21**	0.77	1.01
22P40	1.58**	-0.30**	0.21	0.01	-0.01	0.60	-0.15	-0.35
22P41	1.87**	-0.38**	-1.02*	0.08*	-0.53	-0.70	-0.06	-1.56
22P42	1.97**	-0.65**	-1.30	0.03**	0.10	-0.70	-0.31*	-0.83
22P44	1.03**	-0.27**	-2.29**	0.03	0.03	-0.24	-0.66**	-1.93**
22P46	0.74**	-0.21**	0.95	0.06	0.26	-0.12	-0.14	0.16
22P95	-0.69**	0.05*	3.08**	0.03**	0.36	0.19	0.74	3.98*
22P96	-0.94**	0.67**	2.84**	0.08**	-0.02	0.40	-1.49**	-3.83*
22P189	0.92**	-0.32**	3.14**	0.06*	0.03	-0.93*	0.97*	2.35*
22P190	1.63**	-0.24**	2.82**	0.03*	-0.06	-1.76*	-0.99**	-3.64**
22P191	1.08**	-0.47**	0.90	0.03**	-0.23*	-1.77**	-0.76**	-3.69**
22P194	0.58**	-0.17*	-0.20	-0.01**	0.08	-1.83**	1.17*	2.18
22P195	2.10**	-0.31**	1.89**	0.14*	-0.53**	-3.53**	-0.56*	-4.39**
22P151	-1.65**	0.61**	4.3**	-0.01	0.96	2.14	-0.66	1.58
22P154	0.46	-0.19**	-0.64**	-0.05*	0.16**	1.90**	0.94	3.60
22P160	-0.39**	-0.03	2.03*	-0.05	-0.5**	-0.52	0.10	-2.15
22P164	1.63**	-0.31**	5.05**	0.07**	0.40**	1.78	2.57**	9.56**
22P165	1.58**	0.03	2.94**	0.15**	-0.29*	-1.19	-1.47**	-5.19*
22P173	-0.52**	0.21**	3.62**	-0.01	-0.10	2.00**	0.33	1.02

\*代表达到 0.05 显著水平，\*\*代表达到 0.01 显著水平。

\* represents reaching 0.05 significant water level, \*\* represents reaching 0.01 significant level.

2.2.3 部分种质资源 9 个性状的基因型与环境互作效应分析 随机选取了部分陆地棉种质资源 9 个性状的基因型与环境互作效应值 (表 4)。大部分种质资源在 2 年性状表现上都表现出相反的基因型与环境互作效应，说明同一品种 (系) 在不同环境中所对应的性状会以不同的表现形式呈现。其中 22P13 在 2022 年纤维品质性状除马克隆之外，其余性状表现出正向显著或极显著基因型与环境互作效应，产量性状除铃重外，剩余 3 个性状表现出极显著的负向基因型与环境互作效应；22P13 在 2023 年纤维品质性状除马克隆值外，其余 4 个性状表现不显著或负向显著的基因与环境互作效应，产量性状除铃重外，其余性状表现出不显著或极显著的基因与环境互作效应。22P201 和 22P204 的 4 个产量性状在 2022 年和 2023 年表现出相反的显著或极显著的基因型与环境互作效应，说明这些种质资源在不同的年份里表现出明显差异。

表 4 部分种质资源基因型与环境互作效应

Table 4 Gene-environment interaction effects of some germplasm resources

年度	绒长	整齐度	马克隆值	比强度	伸长率	铃重	衣分	单株铃数	单株皮棉产量
----	----	-----	------	-----	-----	----	----	------	--------

Year	Lint length	Uniformity	Micronaire	Strength	Elongation	Boll weight	Lint percentage	Boll number/plant	Lint yield/plant
22P3 <sup>in 2022</sup>	-1.75**	-0.55	-0.03	-4.22*	-0.11**	-0.55	0.86	-1.87	-8.71
22P3 <sup>in 2023</sup>	-0.86	0.21	-0.15**	2.88**	0.00	0.31	0.25	3.56	10.52*
22P5 <sup>in 2022</sup>	0.71**	-0.11	-0.04	5.12**	0.1**	-0.45	-0.14	-4.51*	-14.37**
22P5 <sup>in 2023</sup>	-0.07	0.58	-0.29**	0.43	0.03	0.14	-0.59*	9.06**	19.08**
22P13 <sup>in 2022</sup>	1.37**	1.13**	-0.38**	8.30**	0.13*	0.30**	-0.81	-5.04**	-10.20**
22P13 <sup>in 2023</sup>	0.33	-0.35*	0.20**	-1.47*	0.01	-0.14	0.45	8.34**	16.98**
22P14 <sup>in 2022</sup>	0.15	0.47**	-0.28**	6.57**	0.02	0.29	-0.52	-0.82	0.69
22P14 <sup>in 2023</sup>	0.03	-0.48**	0.18**	-3.20**	0.09**	-0.37	1.22	6.53*	11.15
22P15 <sup>in 2022</sup>	0.90*	0.36	-0.18**	4.14**	0.06*	-0.26*	0.84	-6.76*	-17.63*
22P15 <sup>in 2023</sup>	-0.28	0.56	0.07**	-3.62**	-0.01	0.29**	1.18	13.00*	34.74*
22P16 <sup>in 2022</sup>	-0.22**	-0.75	-0.26**	-0.47	-0.08	0.17	-0.02	0.44	0.90**
22P16 <sup>in 2023</sup>	0.24**	0.09	0.08**	0.65	-0.01	-0.31	-1.52*	-1.64	-6.46**
22P201 <sup>in 2022</sup>	0.51*	-0.27	-0.33**	0.87**	0.10**	0.93**	0.45**	0.55	10.22*
22P201 <sup>in 2023</sup>	-1.08**	0.30	0.33**	-0.95	0.03	-0.28*	-0.20*	-2.86**	-9.56**
22p202 <sup>in 2022</sup>	0.16	-0.57	0.16*	2.36**	0.01	-0.14	-0.93	5.04	9.79
22p202 <sup>in 2023</sup>	0.5*	0.49	0.00	-1.55**	-0.02**	0.26	-1.31	-3.86**	-8.51
22P204 <sup>in 2022</sup>	-1.32**	-0.49	0.25**	-0.91	-0.06	0.59**	0.76**	6.87**	24.61**
22P204 <sup>in 2023</sup>	0.76**	-0.06	-0.22**	0.38	0.01	-0.18**	-1.7*	-4.69**	-15.12**
22P367 <sup>in 2022</sup>	0.11	-0.44	-0.11	-2.78	0.02	-0.33	-0.73	-3.38	-11.71
22P367 <sup>in 2023</sup>	-0.02	1.05	-0.11	-2.54	-0.06	0.13	0.79	6.98	17.29
22P371 <sup>in 2022</sup>	-0.02	-0.16*	0.19	-0.90	-0.01	0.27	-0.70	-2.54	-5.11
22P371 <sup>in 2023</sup>	0.39	0.33	0.22	1.91	0.04	0.26	2.23	4.47	16.04
22P373 <sup>in 2022</sup>	-1.11	0.01	0.33	-2.02	-0.05	-0.25	0.27	-3.47	-10.20
22P373 <sup>in 2023</sup>	-0.78	-0.18	0.34	0.32	0.00	0.13	1.53	4.66	13.45

\*代表达到 0.05 显著水平, \*\*代表达到 0.01 显著水平。

\* represents reaching 0.05 significant level, \*\* represents reaching 0.01 significant level.

### 2.3 长绒陆地棉种质资源基因型相关性分析

对长绒陆地棉种质资源来说, 了解各性状之间的相关性, 有利于种质资源的改良及未来育种工作的应用。表 5 和表 6 结果显示, 366 份长绒陆地棉种质资源 10 个性状的表现型和基因型存在显著或极显著的相关性。表现型中相关性达到极显著正相关的组合有 27 组, 达到极显著负相关的组合有 10 组, 在相互作用的 90 对组合中, 相关性达到极显著的组合比例占所有组合的 41.11%; 基因型中相关性达极显著正相关的组合有 23 组, 达极显著负相关的组合有 13 组, 相关性达极显著的组合比例达 40%。其中, 表现型与基因型相关性中, 绒长与整齐度、比强度、伸长率之间均呈极显著的正相关, 与马克隆值、衣分、单株铃数、单株皮棉重和衣指之间均呈极显著的负相关。以上分析说明长绒陆地棉种质资源由多种因素共同控制, 同时也说明了各性状与绒长之间既有贡献作用, 又有制约作用, 因此在以该品种为基础改良某一目的性状时, 应当相互考量, 综合分析。

表 5 366 份长绒陆地棉种质资源表现型相关性分析

Table 5 Phenotypic correlation analysis of 366 long staple upland cotton germplasm resources

性状 Trait	绒长 Lint length	整齐度 Uniformity	马克隆值 Micronaire	比强度 Strength	伸长率 Elongation	铃重 Boll weight	衣分 Lint percentage	单株铃数 Boll number/plant	单株皮棉产量 Lint yield/plant	衣指 Lint index
绒长 Lint length	1.00									
整齐度 Uniformity	0.19**	1.00								
马克隆值 Micronaire	-0.49**	0.02	1.00							
比强度 Strength	0.42**	0.21**	-0.34**	1.00						
伸长率 Elongation	0.64**	0.42**	-0.18**	0.55**	1.00					
铃重 Boll weight	0.03**	0.12**	0.16**	0.09**	0.08**	1.00				
衣分 Lint percentage	-0.41**	-0.06*	0.42**	-0.12**	-0.22**	0.13**	1.00			
单株铃数 Boll number/plant	-0.13**	-0.04*	0.08**	0.04*	-0.10**	0.14**	0.36**	1.00		

单株皮棉重 Lint yield/plant	-0.17**	-0.01	0.19**	0.02	-0.11**	0.46**	0.51**	0.91**	1.00	
衣指 Lint index	-0.11**	-0.03	0.15**	0.04**	-0.05	0.38**	0.43**	0.16**	0.34**	1.00

\*代表达到 0.05 显著水平, \*\*代表达到 0.01 显著水平

\* represents reaching 0.05 significant level, \*\* represents reaching 0.01 significant level

表 6 366 份长绒陆地棉种质资源基因型相关性分析

Table 6 Genotypic correlation analysis of 366 long staple upland cotton germplasm resources

性状 Trait	绒长 Lint length	整齐度 Uniformity	马克隆值 Micronaire	比强度 Strength	伸长率 Elongation	铃重 Boll weight	衣分 Lint percentage	单株铃数 Boll number/plant	单株皮棉产量 Lint yield/plant	衣指 Lint index
绒长 Lint length	1.00									
整齐度 Uniformity	0.24**	1.00								
马克隆值 Micronaire	-0.54**	0.02	1.00							
比强度 Strength	0.47**	0.31**	-0.36**	1.00						
伸长率 Elongation	0.67**	0.63**	-0.22**	0.63**	1.00					
铃重 Boll weight	0.02	0.22**	0.23**	0.11**	0.07	1.00				
衣分 Lint percentage	-0.58**	-0.16**	0.53**	-0.17**	-0.34**	0.19**	1.00			
单株铃数 Boll number/plant	-0.18**	-0.09*	0.09**	0.03	-0.17**	0.22**	0.53**	1.00		
单株皮棉重 Lint yield/plant	-0.24**	-0.05	0.22**	0.01	-0.19**	0.48**	0.62**	0.95**	1.00	
衣指 Lint index	-0.14**	-0.05	0.17**	0.04**	-0.09**	0.33	0.40**	0.20**	0.32**	1.00

\*代表达到 0.05 显著水平, \*\*代表达到 0.01 显著水平

\* represents reaching 0.05 significant level, \*\* represents reaching 0.01 significant level

## 2.4 366 份长绒陆地棉种质资源聚类分析及主成分分析

2.4.1 聚类分析 将 366 份长绒陆地棉种质资源的基因型值标准化后, 运用欧式距离、Ward 法进行系统聚类, 在欧式距离为 40 时, 将 366 份长绒陆地棉种质资源分成 5 类 (图 1 和表 7)。按不同类型分别计算了 10 个性状的平均值 (表 8)。第 1 类包含 63 份种质资源, 属于铃重最大、衣指最高、整齐度最好的一类材料; 第 2 类包含 41 份材料, 属于衣分最高、单株铃数最多、单株皮棉产量最高的一类高产材料; 第 3 类包含 71 份种质资源, 属于绒长短、铃重低的一类材料; 第 4 类包含 84 份材料, 属于绒长较长、马克隆值较低、比强度较高的一类材料; 第 5 类包含 107 份材料, 属于绒长最长、马克隆值最低、比强度最高的一类优质材料。在实际育种中, 应根据目的性状有针对性的进行选择 and 改良。

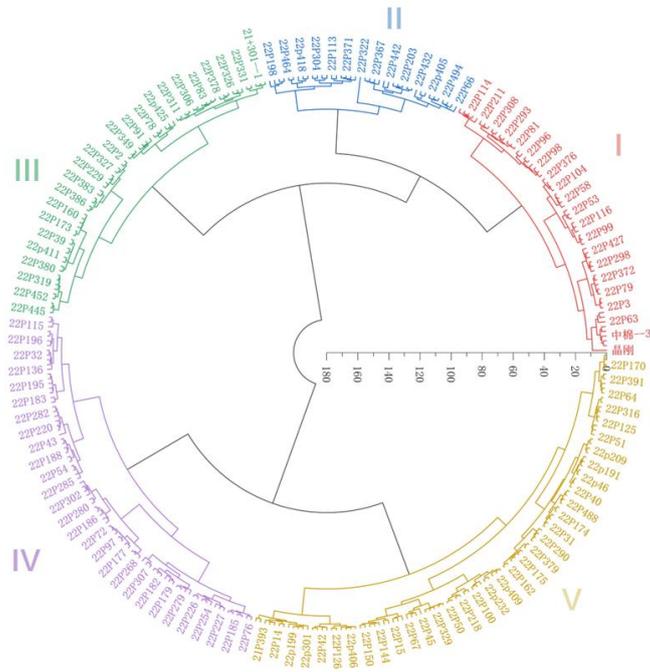


图 1 366 份长绒陆地棉种质资源 10 个性状系统聚类分析图

Fig. 1 Systematic cluster analysis of 10 traits in 366 long staple upland cotton germplasm resources

表 7 5 类种质构成

Table 7 5 types of germplasm composition

类别 Group	数量 Number	种质名称 Germplasm name
I	63	晶刚 (Jin gang)、新陆中 87(Xinluzhong87)、中棉—3(Zhongmian-3)、10T761--1、A1547--1、10T765-3、22P3、22P16、22P21、22P23、22P41、22P53、22P56、22P58、22P63、22P69、22P77、22P79、22P81、22P86、22P88、22P89、22P90、22P95、22P96、22P98、22P99、22P104、22P107、22P111、22P114、22P116、22P117、22P140、22P161、22P163、22P169、22P201、22P204、22P211、22P293、22P296、22P297、22P298、22P308、22P309、22P318、22P323、22P335、22P365、22P366、22P372、22P376、22P388、22P393、22p396、22P427、22p436、22P468、22P487、22P62、22P151、22+235
II	41	22P66、22P322、22P22、22P73、22P103、22P108、22P113、22P154、22P198、22P203、22P289、22P291、22P292、22P300、22P304、22P312、22P320、22P341、22P343、22P345、22P367、22P371、22p405、22p413、22p414、22p416、22p418、22P424、22P426、22P430、22P432、22P438、22P440、22P441、22P442、22P444、22P454、22P464、22P492、22P494、22P495
III	71	PB177--66、21+301--1、20P248、22P2、22P5、22P60、22P74、22P78、22P80、22P83、22P85、22P87、22P91、22P92、22P106、22p112、22P127、22P138、22P143、22P257、22P258、22P287、22P306、22P311、22P326、22P327、22P331、22P333、22P349、22P350、22P352、22P354、22P362、22P370、22P378、22p400、22p425、22P428、22P491、22P33、22P39、22P105、22P110、22P146、22P160、22P173、22P229、22+234、22+242、22P252、22P272、22P319、22P321、22P338、22P340、22P353、22P355、22P373、22P380、22P383、22P386、22p398、22p408、22p411、22p437、22P445、22P449、22P452、22P458、22P478、22P482
IV	84	21P349--3、21P393--1、22P55、22P115、22P121、22P122、22P168、22P172、22P195、22P196、22P282、22P299、22P10、22P11、22P18、22P19、22P24、22p25、22P30、22P32、22P34、22P35、22P37、22P38、22P43、22P54、22P61、22P68、22P71、22P72、22P75、22P76、22P93、22P97、22P102、22P124、22P130、22p131、22p132、22P134、22P136、22P139、22P147、22P148、22P165、22p176、22P177、22P178、22P179、22P180、22P181、22P182、22P183、22P184、22P185、22P186、22P187、22P188、22P208、22P220、22P221、22P222、22P223、22P224、22P225、22P226、22P227、22P231、20P248、22P254、22P259、22P263、22P268、22P269、22p271、22P277、22P279、22P280、22P285、22P286、22P288、22P302、22P307、22P477
V	107	10T629--1、21P393、22P13、22P14、22P15、22P20、22P26、22P27、22P29、22P31、22P36、22P40、22P42、22P44、22p46、22p47、22P49、22P50、22P51、22P52、22P59、22P64、22P65、22P67、22P70、22P101、22P118、22P119、22P123、22P125、22P126、22P129、22P133、22P141、22P150、22P152、22P153、22P155、22P156、22P157、22P158、22p159、22P162、22P166、22P167、22P170、22P174、22P175、22p189、22p190、22p191、22P194、22P197、22p199、22P200、22p202、22P205、22P206、22p209、22P212、22P215、22P260、22P262、22P264、22p274、22P290、22P294、22P295、22p301、22p303、22P310、22p315、22P316、22P317、22P328、22P329、22P332、22p364、22P379、22P390、22p406、22p410、22P488、22P45、22P57、22P100、22P109、22P120、22P144、22P164、22P192、22P215、22p216、22P218、22p232、22p275、22P360、22P391、22p409、22P433、22P439、22P448、22p450、22P451、22P455、22P489、22P497

表 8 长绒陆地棉种质资源 10 个性状不同类群平均值

Table 8 Mean values of different taxa for 10 traits of long staple upland cotton germplasm resources

性状 Trait	绒长 Lint length	整齐度 Uniformity	马克隆值 Micronaire	比强度 Strength	伸长率 Elongation	铃重 Boll weight	衣分 Lint percentage	单株铃数 Boll number/plant	单株皮棉产量 Lint yield/plant	衣指 Lint index
第 1 类 Category 1	-0.53	0.32	0.29	-0.45	0.01	0.39	1.01	-0.05	1.79	18.52
第 2 类 Category 2	-0.52	0.13	0.12	-0.49	-0.03	0.25	2.03	2.27	7.88	-8.61
第 3 类 Category 3	-0.94	-0.57	0.26	-1.95	-0.08	-0.24	1.78	-0.06	-0.45	1.84
第 4 类 Category 4	0.52	0.00	-0.18	0.02	0.02	-0.18	-2.66	-1.22	-4.82	-17.59
第 5 类 Category 5	0.73	0.15	-0.24	1.73	0.05	-0.02	-0.46	0.16	0.01	4.98

2.4.2 主成分分析 为了筛选出表现优异的陆地棉种质资源，同时提高优异种质资源筛选鉴定的准确性，将 366 份长绒陆地棉种质资源 10 个性状的基因型效应值进行降维处理，采用主成分分析法对 10 个性状进行主成分分析，分析结果列于表 9。分析结果表明，特征值大于 1 的有 5 个主成分因子，且 5 个主成分因子能够解释原有性状的 85.009%，第 1 主成分贡献率为 23.331%，载荷较高的为马克隆值，第 2 主成分贡献率为 21.390%，载荷较高的为单株铃数和单株皮棉重，第 3 主成分贡献率为 17.788%，载荷较高的为整齐度和伸长率，第 4 主成分贡献率为 11.679%，载荷较高的为衣指，第 5 主成分贡献率为 10.822%，载荷较高的为铃重。

表 9 366 份长绒陆地棉种质资源 10 个性状的主成分分析

Table 9 Principal component analysis of 10 traits in 366 long staple upland cotton germplasm resources

性状 Trait	主成分 1 Main component 1	主成分 2 Main component 2	主成分 3 Main component 3	主成分 4 Main component 4	主成分 5 Main component 5
绒长 Lint length	-0.789	-0.163	0.346	-0.076	0.064
整齐度 Uniformity	0.102	-0.030	0.854	-0.145	0.153
马克隆值 Micronaire	0.851	0.046	0.086	0.098	0.150
比强度 Strength	-0.597	0.095	0.546	0.210	-0.067
伸长率 Elongation	-0.467	-0.076	0.775	0.060	0.026
铃重 Boll weight	0.049	0.168	0.135	0.191	0.936
衣分 Lint percentage	0.605	0.504	-0.007	0.423	-0.150
单株铃数 Boll number/plant	0.017	0.975	-0.050	-0.023	-0.004
单株皮棉重 Lint yield/plant	0.159	0.926	-0.011	0.147	0.293
衣指 Lint index	0.087	0.070	-0.052	0.920	0.207
特征值 Eigenvalue	2.333	2.139	1.779	1.168	1.082
贡献率 Contribution rate	23.331	21.390	17.788	11.678	10.822
累计贡献率 Cumulative contribution rate	23.331	44.721	62.509	74.187	85.009

2.4.3 综合得分 由于 5 个公因子从不同方面反映了中长绒陆地棉种质资源特征，单独使用某一个公因子很难做出准确综合的评价，因此通过将标准化后的 10 个性状指标值代入 5 个主成分中，得到 5 个主成分得分公式 $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ 、 $\eta_4$ 、 $\eta_5$ 。依据 $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$ 、 $\eta_4$ 、 $\eta_5$ 值，选择以各公因子所对应的贡献率比率为权重计算综合得分，选择李清超<sup>[24]</sup>计算权重的公式计算：权重=贡献率/累计贡献率。依据权重系数计

算 366 份长绒陆地棉种质资源的综合得分（F 值）， $F=(0.233/0.850)\times\eta_1+(0.214/0.850)\times\eta_2+(0.178/0.850)\times\eta_3+(0.117/0.850)\times\eta_4+(0.108/0.850)\times\eta_5$ 。F 值越大代表种质资源表现越好。以对照中综合评分最低的为标准，最终筛选出 21 份（包括对照）综合表现优异（F 值>0.74）的种质资源，种质资源详情见表 10。

表 10 21 份优异长绒陆地棉种质资源的综合评价和排名

Table 10 Comprehensive evaluation value and ranking of 21 excellent long staple upland cotton germplasm resources

排序 Order	聚类类别 Clustering results	品种名称 Variety name	综合得分 Aggregate score	排序 Order	聚类类别 Clustering results	品种名称 Variety name	综合得分 Aggregate score
1	2	22P322	1.70	12	1	22P365	0.87
2	1	22P309	1.30	13	2	22P426	0.85
3	2	22P312	1.25	14	2	22p418	0.83
4	2	22p416	1.20	15	1	中棉-3	0.80
5	2	22P464	1.12	16	2	22p414	0.80
6	1	22P63	1.07	17	2	22P320	0.78
7	2	22P304	0.97	18	5	22P451	0.78
8	2	22P440	0.92	19	1	22P298	0.76
9	1	22P323	0.88	20	1	22P16	0.75
10	1	晶刚	0.87	21	1	新陆中 87	0.74
11	1	22P77	0.87				

将产量品质的基因型值与综合得分进行相关性分析（表 11）发现，整齐度、马克隆值、铃重、衣分、单株铃数、单株皮棉重、衣指与综合得分呈极显著正相关，绒长与综合得分呈极显著负相关，说明 F 值可以作为种质资源综合评价指标。

表 11 10 个性状与综合得分的相关性分析

Table 11 Correlation analysis of 10 traits with Aggregate score

性状 Traits	综合得分 Aggregate score
绒长Lint length	-0.402**
整齐度Uniformity	0.426**
马克隆值 Micronaire	0.634**
比强度 Strength	-0.012
伸长率Elongation	0.058
铃重 Boll weight	0.492**
衣分 Lint percentage	0.708**
单株铃数 Boll number/plant	0.506**
单株皮棉重 Lint yield/plant	0.712**
衣指 Lint index	0.393**

\*代表达到 0.05 显著水平，\*\*代表达到 0.01 显著水平。

\* represents reaching 0.05 significant level, \*\* represents reaching 0.01 significant level.

## 2.5 多元线性逐步回归分析

分别以绒长（ $X_1$ ）、单株皮棉重（ $X_9$ ）为因变量，其余性状基因型值为自变量，对数据进行标准化后进行多元线性逐步回归分析（表 12），由于常量对回归方程的影响较小，忽略常量对回归方程的影响。整齐度、马克隆值、伸长率和衣分组成了关于绒长的回归方程，其调整后  $R^2$  值为 0.668，代表这 4

个变量可以解释 66.8%的因变量。铃重、衣分、单株铃数组成了关于单株皮棉重的回归方程，其调整后 R<sup>2</sup> 值为 0.974，代表这 3 个变量可以解释 97.4%的因变量。F 值分别为 184.939 和 4608.676，2 个回归方程显著性均达到极显著水平。说明这两个多元回归方程可分别作为长绒陆地棉绒长和单株皮棉重的综合评价指标。

表 12 绒长和单株皮棉产量与其他性状间的逐步回归分析

Table12 Stepwise regression analysis between lint length and lint yield per plant and other traits

模型 Model	调整后 R <sup>2</sup> After adjustment R <sup>2</sup>	F 值 F-value	P 值 P-value
$X_1 = -0.2X_2 - 0.949X_3 + 8.314X_5 - 0.118X_7$	0.668	184.939	<0.00
$X_9 = 3.931X_6 + 0.425X_7 + 2.631X_8$	0.974	4608.676	<0.00

### 3 讨论

前人的研究<sup>[18-20]</sup>实践证明，优异多样的棉花种质资源是育种家亲本选配和棉花品种改良至关重要的环节。客观、准确地评价中长绒陆地棉种质资源的实际价值，可以在今后为陆地棉遗传改良和分子机制揭示提供更加多样丰富的亲本，对促进陆地棉新品种选育及遗传研究具有非常重要的推动作用。

#### 3.1 长绒陆地棉种质资源遗传多样性分析

丰富多样的棉花种质资源对棉花新品种选育和亲本选配有着非常重要的应用价值，遗传多样性分析可以使种质资源的特征更加具象化，在很多研究上都有应用<sup>[21,22]</sup>。本研究发现，两年品质性状变异系数在 1.34%~11.80%之间，产量性状变异系数在 7.95%~54.09%之间；两年品质性状多样性指数在 1.67~2.03 之间，平均遗传多样性为 1.879，而两年产量性状多样性指数在 1.42~1.99 之间，平均遗传多样性为 1.782，说明 366 份长绒陆地棉种质资源性状之间具有明显差异，且种质资源丰富多样，以这些材料作为亲本可以有效提高当地陆地棉纤维品质。

#### 3.2 长绒陆地棉种质资源遗传效应分析

棉花产量和品质性状同时受基因型效应和基因与环境互作效应控制,与前人研究结果一样<sup>[12,13]</sup>。本研究发现，10 个性状的基因型效应和基因与环境互作效应都达到了极显著水平，说明纤维品质性状和产量性状的遗传研究需要在不同的环境中进行。绒长、马克隆值、比强度、伸长率、衣分、单株铃数、单株皮棉重和衣指的广义遗传力较大，说明他们受非遗传影响较小，且绒长、马克隆值 ( $h^2_G=0.73$ ) 和衣指的狭义遗传力均高达 60%以上，说明这三个性状遗传变异主要受基因型效应控制，在早代对这三个性状进行遗传改良会取得不错的效果。10 个性状的狭义遗传力和互作狭义遗传力都达到了极显著水平，因此异地选择或穿梭育种对这些性状的提高也可取得不错的效果，与张文英<sup>[23]</sup>研究结果类似。

#### 3.3 长绒陆地棉种质资源基因型效应聚类分析

基因型是不受外在环境影响，一直存在生物中，且能时时影响着生物的外在表现。聚类分析是根据

不同性状相似程度对一类群体进行划分，在棉花种质资源筛选中已得到广泛运用<sup>[2-6]</sup>。选择产量性状和品质性状互补的两类进行杂交，可以提高综合性状优良的后代几率。本研究在对 366 份长绒陆地棉种质资源基因型值聚类中发现，第 1 类的种质资源可以作为改良当地品种铃重和衣指的亲本；第 2 类的种质资源属于 5 类中衣分最高、单株铃数最多和单株皮棉产量最高的高产材料；第 4 类和第 5 类都属于绒长长、马克隆值低、比强度高的优质材料，其中第五类品质最优，分别占全部种质资源的 22.95% 和 29.23%，从这两类品种间进行亲本选配可以得到品质优异的后代，而从第 2 类和第 5 类品种间进行亲本选配可以获得性状综合良好的后代。

### 3.4 长绒陆地棉种质资源综合评价

主成分分析是通过将多个互不相关的指标进行降维处理，使多个指标转化为少数几个综合指标<sup>[24]</sup>，这种方法已被广泛运用于各种作物研究中<sup>[4,6,21]</sup>。利用主成分分析对长绒陆地棉种质的 10 个性状的基因型值进行分析，提取能够解释原有性状的 85.009% 信息的前五个主成分因子。利用主成分中的权重系数计算综合得分，筛选出 21 份优异种质资源（包括对照）中，其中有 9 份品种的综合得分大于对照金刚，有 4 份品种的综合得分介于对照金刚（0.87）和对照中棉—3（0.80）之间，有 5 份品种介于对照中棉—3（0.80）和对照新陆中 87（0.74）之间。利用主成分分析可以更有针对性、更有准确性的筛选出优异种质资源，大大的降低了误选的可能性。

### 3.5 长绒陆地棉种质资源综合利用

纤维长度超过 30mm 即为长绒，在实际应用中其具有更优良的物理特性和加工特性，在纺织中更是具有重要地位<sup>[25,26]</sup>。研究中的 366 份长绒陆地棉种质资源均来自新疆本土，且基本都来自南疆，这些资源在作为棉花生产主要地的南疆来说可以更好的适应当地的气候，且具更强的抗逆性、更丰富的遗传变异，对提高当地陆地棉纤维品质可以起到非常重要的作用，同时也可以极大的丰富陆地棉育种基因库。为了更加充分的利用长绒陆地棉种质资源，在保持和增强其优良性状的情况下，可以利用分子标记辅助选择等现代生物技术手段加速育种进程，培育出更加适合当地气候条件的高产优质新品种。

## 参考文献

- [1] 喻树迅. 中国棉花产业百年发展历程. 农学学报, 2018, 8(1): 85-91.  
Yu S X. A century of development of China's cotton industry. Journal of Agronomy, 2018, 8(1): 85-91.
- [2] 张磊磊, 范阿棋, 洪梅, 马志华, 陈晋瑞, 赵双印, 郑凯, 吐尔洪吐尔逊. 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, T R H Tursun. Analysis of genetic diversity of 647 island cotton germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(1): 307-324.
- [3] 王超越, 罗静, 邓晓娟, 蔡永生, 周强, 周涛, 郭栋财, 曲延英, 陈全家, 郑凯. 283 份陆地棉机采相关农艺性状的遗传多样性分析. 种子, 2024, 43(2): 44-52.

- Wang C X, Luo J, Deng Xi J, Cai Y S, Zhou Q, Zhou T, Guo DC, Qu Yanying, Chen QJ, Zheng. Genetic diversity analysis of 283 agronomic traits related to machine picking in land cotton. *Seed*, 2024, 43(2): 44-52.
- [4] 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. *山东农业科学*, 2022, 54(5): 16-23.
- Wang H T, Li X H, Cai X, Tang LY, Zhang Suj J, Liu C J, Zhang Xiang Y, Zhang J H. Genetic diversity analysis of agronomic and quality traits in 314 land cotton germplasm resources. *Shandong Agricultural Science*, 2022, 54(5): 16-23.
- [5] 杨芳芳. 396 份新疆陆地棉种质资源鉴定及评价. 石河子大学, 2024.
- Yang F F. Identification and evaluation of 396 Xinjiang land cotton germplasm resources. Shihezi University, 2024.
- [6] 张选, 彭小峰, 彭延, 黑里力·艾尼玩尔, 黎蓉, 刘素华, 魏传井. 27 份中长绒陆地棉种质资源的遗传多样性分析[M/OL]. *种子*, 2023, 42(1): 128-134.
- Zhang X, Peng X F, Peng Y, H L L Ainiwaner, Li R, Liu S H, Wei C J. Genetic diversity analysis of 27 medium and long staple land cotton germplasm resources. *Seed*, 2023, 42(1): 128-134.
- [7] Shui G, Lin H, Ma X, Zhu B, Han P, Aini N, Gou C, Wu Y, Pan Z, You C, Song G, Nie X. Identification of SSR markers linked to the abscission of cotton boll traits and mining germplasm in Cotton[M/OL]. *Journal of Cotton Research*, 2024, 7(1): 20.
- [8] 董承光, 王娟, 周小凤, 马晓梅, 李生秀, 余渝, 李保成. 基于表型性状的陆地棉种质资源遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(3): 438-446.
- Dong C G, Wang J, Zhou X F, Ma X M, Li S X, Yu Yu, Li B C. Genetic diversity analysis of land cotton germplasm resources based on phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(3): 438-446.
- [9] 赵富强, 曾庆涛, 刘铨义, 王国平, 郭天凤, 蔡晓莉, 冯杨. 早熟中长绒陆地棉新陆早 47 号的选育及栽培技术[M]. *农业科技通讯*, 2012(3): 144-145.
- Zhao F Q, Zeng Q T, Liu Q Y, Guo W P, Guo T F, Cai X I, Feng Y. Selection and cultivation technology of early-maturing medium-length staple upland cotton Xin Lu Early 47. *Agricultural Science and Technology Newsletter*, 2012(3): 144-145.
- [10] 匡政成, 李育强, 李玉军, 郭利双, 陈浩东. 长绒陆地棉新品种——湘 C176. *中国棉花*, 2020, 47(8): 33-34.
- Kuang Z C, Li Y Q, Li Y J, Guo L S, Chen H D. New long-staple land cotton variety--Xiang C176. *China Cotton*, 2020, 47(8): 33-34.
- [11] 李保军. 中长绒棉主要性状的相关性分析. *中国棉花*, 2012, 39(12): 23-24.
- Li B J. Correlation analysis of major traits in medium and long staple cotton. *China Cotton*, 2012, 39(12): 23-24.
- [12] 李长喜, 董占鹏, 关永虎, 刘金伟, 李航, 梅拥军. 新疆陆地棉农艺性状与皮棉产量性状的遗传贡献及决策系数分析. *作物学报*: 1-17.
- LI C Xi, Dong Z P, Guan YY H, Liu J W, Li H, Mei yongjun. Genetic contributions and decision coefficients of agronomic and lint yield traits of land cotton in Southern Xinjiang. *Journal of Crops*: 1-17.
- [13] 郭宏, 于霁雯, 裴文锋, 关永虎, 李航, 李长喜, 刘金伟, 王伟, 王宝全, 梅拥军. 新疆陆地棉杂种 F2 的遗传分析及遗传主效聚类. *作物学报*, 2023, 49(3): 608-621.
- Guo H, Yu J W, Pei W F, Guan Y H, Li H, Li C X, Liu J W, Wang W, Wang B Q, Mei Y J. Genetic analysis and genetic main effect clustering of F2 hybrids of land cotton in southern Xinjiang[M]. *Journal of Crops*, 2023, 49(3): 608-621.
- [14] 朱军. 广义遗传模型与数量遗传分析新方法. *浙江农业大学学报*, 1994(6): 551-559.
- Zhu J. Generalised genetic models and new methods of quantitative genetic analysis[M]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1994(6): 551-559.

- [15] 朱军. 数量性状遗传分析的新方法及其在育种中的应用. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2000(1): 3-8.
- Zhu J. A new method for genetic analysis of quantitative traits and its application in breeding[M]. Journal of Zhejiang University (Agricultural and Life Sciences), 2000(1): 3-8.
- [16] Zhu J. Mixed model approaches for estimating genetic variances and covariances. 生物数学学报, 1992(1): 1-11.
- [17] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 655-662.
- Sun M, Fu K X, Fan Y, Zhang X Q, Zhang C L, Guo Z H, Wang X, Ma X. Phenotypic variation analysis of 15 excellent introduced germplasm of multiflora ryegrass. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 655-662.
- [18] 马清倩, 杨红兰, 魏鑫, 张大伟, A. Abdullaev A, 程利华, 张道远. 18份国外棉花种质黄萎病抗性鉴定与筛选. 新疆农业科学, 2023, 60(2): 286-294.
- Ma Q Q, Yang H L, Wei X, Zhang D W, A. Abdullaev A, Cheng L H, Zhang D Y. Identification and screening of 18 foreign cotton germplasm for yellow wilt resistance. Xinjiang Agricultural Science, 2023, 60(2): 286-294.
- [19] 赵双印, 王为然, 闫雪雪, 阿不都·艾海提比买热木, 董洁, 吐尔洪·吐尔逊, 艾尔西·阿里甫. 120份棉花种质资源品质性状与遗传多样性分析. 新疆农业科学, 2023, 60(1): 17-24.
- Zhao S Y, Wang W R, Yan X X, Abudu Aihaiti Bimaizhemu, Dong J, Tuerhong Tursun, Elst Alifu. Quality traits and genetic diversity analysis of 120 cotton germplasm resources. Xinjiang Agricultural Science, 2023, 60(1): 17-24.
- [20] 杨延龙, 马君, 库尔班·吾买尔江, 汪鹏龙, 师维军. 189份国外引进陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析//中国农学会棉花分会2021年年会论文汇编. 中国农学会棉花分会, 2021: 2.
- Yang Y L, Ma J, Kurban WBEJ, Wang P L, Shi W J. Genetic diversity analysis of 189 foreign introduced land cotton germplasm resources for agronomic and quality traits//Compilation of papers from the Annual Meeting of Cotton Branch of the Chinese Society of Agriculture 2021. Cotton Branch of the Chinese Society of Agriculture, 2021: 2.
- [21] 李清超, 杨珊, 张登峰, 刘建新, 孙开利, 吴迅. 四百八十七份玉米地方种质资源穗部性状的表型多样性. 浙江农业学报: 1-12.
- Li Q C, Yang S, Zhang D F, Liu J X, Sun K L, Wu X. Phenotypic diversity of four hundred and eighty-seven maize local germplasm resources for ear traits. Zhejiang Agricultural Journal: 1-12.
- [22] 张芳, 陈海芬, 陈彪, 石燕金, 韩世玉. 5种种质桑葚香气成分的比较. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2024(12): 1-13.
- Zhang F, Chen H F, Chen B, Shi Y J, Han S Y. Comparison of aroma components of five species of mulberry. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2024(12): 1-13.
- [23] 张文英, 梅拥军. 陆地棉铃形和纤维品质的遗传和相关研究. 作物学报, 2004(8): 816-820.
- Zhang W Y, Mei Y J. Genetic and correlation studies on boll shape and fibre quality of land cotton. Journal of Crops, 2004(8): 816-820.
- [24] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Yuan Z F, Zhou J J. Multivariate statistical analysis. Beijing: Science Press, 2002.
- [25] 王峰, 牛一搏, 罗新宁. 新疆阿克苏地区长绒棉生产现状与发展建议. 2022, 49(2): 43-46.
- Wang F, Niu Y B, Luo X N. Status quo of long-staple cotton production and development suggestions in Aksu region of Xinjiang. 2022, 49(2): 43-46.
- [26] 洪梅, 张磊磊, 陈晋瑞, 卢振兴, 范阿棋, 吐尔逊·吐尔洪, 马志华, 谢利. 新疆长绒棉机采的实践与思考. 中国棉花, 2020, 47(11): 8-10.
- Hong M, Zhang L L, Chen J R, Lu Z X, Fan A Q, T X Tuerong, Ma Z H, Xie L. Practice and thinking of machine picking of long-staple cotton in Xinjiang. China Cotton, 2020, 47(11): 8-10.

附表 1 品种信息

Schedule1 Information of varieties

纤维长度等级 Lint length class	数量 Quantities	材料来源 Material sources	品种名称 Variety name
对照 CK	3	审定品种	晶刚 (28.67mm)、中棉-3 (29.94mm)、新陆中 87 (30.65mm)
30~31mm	2	课题组自育	22P432、22P322
31~32mm	8	北疆品种	22P5、22P2
32~33mm	34	课题组自育	22P355、22p131、22P373、22P343、22P491、22P341
		北疆品种	22P3
33~34mm	88	课题组自育	22P63、22P127、22p425、22P146、22P492、22P449、22P77、22P93、22P345、22P458、22P151、22+235、22P309、22P161、22P66、22P494、22P350、22P438、22P304、22P254、22p437、22P445、22P163、22P76、22P90、22P482、22P405、22P468、22P184、22P353、22P495、22p436、22P106
		课题组自育	22P308、22P105、22P24、22P226、22P424、22P349、22P327、22P388、22P383、22P321、22P318、22P92、22P79、22P372、22P386、22P252、22P227、22P289、22P319、22P464、22P478、22P306、22P80、22P452、22P378、22P354、22P182、22P140、22p411、20P248、22P221、22P60、22P335、22P39、22P124、22P428、22P85、22P96、22P89、22P298、22P20、22P272、22P87、22P279、22P229、22P326、22P333、22P292、22P427、22P257、22P291、22P148、22P78、22P370、22p416、22P201、22P360、22P204、22P58、22P95、22P162、22P91、22P21、22P33、22p450、22P136、22p400、22P173、22P225、22P129、22P51、22P293、22P323、22P352、21+301--1、22P441、22P311、22p232、22P74、22P38、22P362、22P138、22P316、22P160、22P152、22P179、22P338、22P497
34~35mm	98	课题组自育	PB177--66、22p25、22P185、22P260、22P379、22p303、22P455、22P116、22P430、22P264、22p159、22P125、22p408、22P340、22+242、A1547--1、22+234、22P72、22P110、22P487、22P290、10T765-3、22P433、22P139、22P320、22P451、22P231、22P488、22P269、22P426、22p112、22p396、22P61、22P86、22P200、22P81、22P297、22P287、22P172、22P454、22P317、22P206、22P102、22P181、22P367、22P440、22P115、22P22、22P156、22p209、22P208、22P157、22p132、22P192、22P15、22P442、22P300、22P170、22P101、22P117、22P203、22P35、22P59、22P73、22P167、22P296、22P153、22P439、22P489、22P310、22p398、22P109、22P390、22P98、22p418、22P70、22P108、22p315、22p301、22P259、22P143、22P121、22P212、22P175、22P141、22P186、22P166、22P50
35~36mm	92	北疆品种	22P10
		课题组自育	22P154、22P286、22P371、22P119、22P169、22P376、22P88、22P194、22P133、22P64、22P104、22P113、22P126、22P277、22P100、22P27、22P41、22P168、10T761--1、22P178、22P280、22P147、22P52、22p47、22P16、22p414、22P218、22P13、22P312、22P391、22p202、22P111、22P155、22P331、22P34、22P107、22P262、22p189、22P282、22p409、22P65、22P328、22P32、22P188、22P71、22P187、22P329、22p176、22P23、22P174、22P365、22P196、22p46、22P54、22P366、22P114、22P477、22P75、22P268、22P215、22p191、22P177、22P49、22P56、22p216、22P68、22P31、22P62、22P444、22P307、22P53、22P123、22P224、22p275、22P103、22P30、22P134、22P43、22P294、22P150、22P99、22P144、22P11、22P120、22P223、22P205、22P448、22P158、22P332、22P118、22P285
36~37mm	38	课题组自育	22P26、22P57、22P198、22P122、22P197、22P40、10T629--1、22P299、22P302、22p190、22P180、22P18、21P393、22P165、22p406、22P164、22P42、22p410、22P67、22P44、22p199、22p271、22P19、21P393--1、22P14、22P195、22P29、21P349--3、22P288、22P45、22P36、22P183、22p274、22P220、22P215、22P295、22P55、22p364
37~38mm	3	课题组自育	22P222、20P248、22P263