

长江流域棉区陆地棉品种的表型分析及综合评价

汪佳怡¹, 赵树琪^{1,2}, 常 辉¹, 刘瑞杰¹, 李黎贝¹, 颜梦圆¹, 冯 震¹, 喻树迅¹

(¹浙江农林大学现代农学院, 杭州 311300; ²黄冈市农业科学院, 湖北黄冈 438000)

摘要: 为了解长江流域棉区棉花品种的品种特性, 本研究收集了2001-2023年通过长江流域国家区试的100份棉花品种, 并对其生育期和株高、产量相关性状、纤维品质相关性状进行了鉴定, 发现长江流域棉区的品种选育总体呈现出生育期逐渐缩短、产量逐渐升高、纤维品质稳定改善的现象。采用聚类分析、相关性分析、主成分分析、综合评价的方法, 对12个性状进行研究。结果显示, 各性状的变异系数范围为3.06%~24.37%, 遗传多样性指数在0.42~2.05之间, 其中铃数的变异系数最大, 子指与铃重的遗传多样性指数最高; 聚类分析的结果表明, 供试品种被分为3大类群, 分别为产量与品质综合表现均较差的品种类群、低产优质的品种类群和高产低质的品种类群; 相关性分析结果显示, 生育期与大部分产量相关性状呈极显著正相关, 与纤维长度、整齐度呈负相关; 主成分分析结果表明, 前3个主成分的累计贡献率达到70.23%, 铃数、纤维强度与纤维长度是棉花出现表型变异的主要因素。对供试品种进行综合评价, 发现各供试品种的得分在0.48~2.29之间, 并筛选出综合得分前8以及2份早熟的综合表现优异的种质资源。本研究可为棉花的遗传改良提供一定参考, 具有重要的理论和实践意义。

关键词: 陆地棉; 长江流域棉区; 表型性状; 综合评价

Phenotypic Analysis and Comprehensive Evaluation of Upland Cotton in Yangtze River Region

WANG Jiayi¹, ZHAO Shuqi^{1,2}, CHANG Hui¹, LIU Ruijie¹, LI Libei¹, YAN Mengyuan¹, FENG Zhen¹, YU Shuxun¹

(¹College of Advanced Agricultural Sciences, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300;

²Huanggang Academy of Agricultural Sciences, Huanggang 438000, Hubei)

Abstract: To elucidate the varietal characteristics of cotton varieties in Yangtze river region, 100 upland cotton of the national registered varieties breeding from year of 2001 to 2023 were collected. Phenotypic identification was conducted for major agronomic traits, yield-related traits and fiber quality traits. It was found that the growth period was gradually shortened, the phenotypic values of yield-related traits were gradually increased, and the fiber quality was steadily improved in the cotton variety breeding in the Yangtze river region. Employing a suite of analytical methodologies, including clustering analysis, correlation analysis, principal component analysis (PCA), and comprehensive evaluation methods were employed to study 12 key traits. The results delineated a variation coefficient range from 3.06% to 24.37% across traits, alongside a genetic diversity index spanning 0.42 to 2.05. Notably, boll number exhibited the highest variation coefficient, while seed index and boll weight displayed the highest genetic diversity index. The results of cluster analysis showed that the tested varieties were divided into three groups, representing the varieties with poor yield and quality, the varieties with low yield but high fiber quality, and the varieties with high yield but low fiber quality. Correlation analysis indicated a significant positive correlation between the growth period and most yield-related traits, a negative correlation with fiber length and uniformity. PCA revealed that the cumulative contribution rate of the

收稿日期: 2024-01-29 网络出版日期: 2024-08-12

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240129001>

第一作者研究方向为棉花遗传育种, E-mail: wangjiayi@stu.zafu.edu.cn; 赵树琪为共同第一作者

通信作者: 喻树迅, 研究方向为棉花遗传育种, E-mail: yushuxun@zafu.edu.cn

冯 震, 研究方向为棉花遗传育种, E-mail: fengzhen@zafu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(32301747)

Foundation project: National Natural Science Foundation of China(32301747)

first three principal components at 70.23%, highlighting boll number, fiber strength, and fiber length as major factors contributing to phenotypic variation in cotton. Comprehensive evaluation scores ranged from 0.48 to 2.29, and the top 8 and 2 early maturing germplasm resources with excellent comprehensive performance were selected. The findings contribute valuable insights into the genetic improvement of cotton, offering both theoretical and practical significance.

Key words: upland cotton; Yangtze river region; phenotypic traits; comprehensive evaluation

棉花是世界上最重要的经济作物之一,在国民经济发展中具有重要意义。我国棉花主产区包括长江流域棉区、黄河流域棉区、西北内陆棉区和北部特早熟棉区。其中长江流域棉区是我国最早引种美棉的棉区,早在1865年外商首次将少量美国陆地棉品种引入并在上海种植,使得该棉区具有悠久的育种历史和相对丰富的遗传资源,同时也是我国重要的传统棉花种植区^[1]。然而,随着我国经济的迅速发展和农业产业结构的调整,长江流域棉区受劳动力成本急剧上升、植棉机械化程度低及国家政策调整等因素的影响,植棉面积出现断崖式滑坡^[2]。因此,培育出高产、优质、早熟且适宜机械化采收的棉花新品种,成为提高棉农植棉效益、满足市场需求的有效手段^[3]。

通过对棉花表型性状的研究,可以更好地探究棉花种质多样性,并为植棉业提供科学依据。前人根据引进时间和育成年限,将陆地棉分为了三期基础种质(第1期基础种质为1918-1950年间的优良品种;第2期基础种质为1951-1971年间的优良品种;第3期基础种质为1971-1990年间选出的优良品种),并基于其表型进行了遗传多样性分析,发现第2、3期基础种质比第1期种质的产量更高、品质更好、抗性更强,但随着时间的推移,国内棉花品种的遗传多样性逐渐下降^[4-5]。近年来,采用聚类分析、相关性分析、主成分分析等方法研究作物的遗传多样性得到广泛应用^[6-7]。王伟等^[8]基于表型对新疆棉花的产量与品质相关性状进行分析,发现产量与

品质性状之间存在复杂的相关性,受多种条件相互作用。贾晓昀等^[9]对114份陆地棉的表型进行分析,其主成分分析结果显示,前3个因子的累计贡献率达到83.91%,各因子内均有正向和负向的特征向量,再次说明性状之间存在复杂的互作关系。逯涛等^[10]通过主成分分析筛选出了综合得分排名前4的品种,为棉花品种的选育与推广提供了依据。何陈述等^[11]利用长江流域杂交棉的衍生株系来研究遗传多样性,发现育种选择大大降低了陆地棉的遗传多样性;但受品种来源以及育种年份的限制,供试品种对于长江流域棉区的代表性不足。因此,本研究在前人基础上扩大了品种来源,拓宽了品种育成年限的选择范围,选取长江流域棉区2001-2023年期间共100个国家审棉新品种,对其表型性状进行综合评价,旨在了解长江流域棉区育种发展历程和育种目标的变化,筛选综合表现优良的品种,为棉花新品种选育提供重要理论依据,为恢复长江流域棉区的植棉业奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为2001-2023年长江流域棉区100个国家审定的棉花品种(表1),数据资料来源于中国种业大数据平台(<http://202.127.42.47:6010/SDSite/Home/Index>)。由于2002年、2003年、2004年和2012年无国审棉品种,因此本研究排除了这几年的品种统计。

表1 长江流域棉区2001-2023年国家审定的棉花品种

Table 1 The national registered upland cotton varieties in Yangtze river region from 2001 to 2023

| 编号 No. | 审定名称 Approved name | 熟性 Maturity | 审定年份 Approved year | 编号 No. | 审定名称 Approved name | 熟性 Maturity | 审定年份 Approved year |
|-----------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | 湘杂棉2号 | 中早熟 | 2001 | 7 | 苏杂3号 | 中熟 | 2005 |
| 2 | 鄂抗棉9号 | 中熟 | 2001 | 8 | 鄂杂棉10号 | 中熟 | 2005 |
| 3 | 九杂四号 | 中熟 | 2005 | 9 | 鄂杂棉24 | 中熟 | 2006 |
| 4 | 湘杂棉8号 | 中熟 | 2005 | 10 | 湘杂棉11号 | 中熟 | 2006 |
| 5 | 慈抗杂3号 | 中熟 | 2005 | 11 | 中棉所63 | 中早熟 | 2007 |
| 6 | 南农6号 | 中熟 | 2005 | 12 | 国丰棉12 | 中早熟 | 2007 |

表 1 (续)

| 编号 No. | 审定名称 Approved name | 熟性 Maturity | 审定年份 Approved year | 编号 No. | 审定名称 Approved name | 熟性 Maturity | 审定年份 Approved year |
|-----------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| 13 | 宛棉 10 号 | 中熟 | 2007 | 57 | 国欣棉 18 号 | 中早熟 | 2019 |
| 14 | 皖杂 8 号 | 中早熟 | 2008 | 58 | 冈 0996 | 中早熟 | 2019 |
| 15 | 泗杂 3 号 | 中熟 | 2008 | 59 | 华惠 15 | 中早熟 | 2019 |
| 16 | 泗杂棉 6 号 | 中早熟 | 2008 | 60 | 华杂棉 H116 | 中早熟 | 2020 |
| 17 | 南农 10 号 | 中熟 | 2008 | 61 | 中生棉 10 号 | 中早熟 | 2020 |
| 18 | 中棉所 66 | 中早熟 | 2008 | 62 | 华田 10 号 | 中早熟 | 2020 |
| 19 | 鄂杂棉 28 | 中早熟 | 2008 | 63 | 湘 X1251 | 中早熟 | 2020 |
| 20 | 福棉 2 号 | 中早熟 | 2008 | 64 | 中生棉 11 号 | 中早熟 | 2020 |
| 21 | 苏杂 6 号 | 中早熟 | 2008 | 65 | 国欣棉 31 | 中早熟 | 2020 |
| 22 | 创杂棉 21 号 | 中早熟 | 2008 | 66 | 荆棉 91 | 早熟 | 2021 |
| 23 | C111 | 中早熟 | 2009 | 67 | 湘 XH50 | 早熟 | 2021 |
| 24 | 湘杂棉 7 号 | 中早熟 | 2009 | 68 | 冈棉 9 号 | 中早熟 | 2021 |
| 25 | 皖杂棉 9 号 | 中早熟 | 2009 | 69 | 冈棉 10 号 | 中早熟 | 2021 |
| 26 | 鄂杂棉 26 号 | 中早熟 | 2009 | 70 | 湘 FZ031 | 中早熟 | 2021 |
| 27 | 铜杂 411 | 中早熟 | 2009 | 71 | 华惠 20 | 中早熟 | 2021 |
| 28 | 华杂棉 H318 | 中早熟 | 2009 | 72 | 冈杂棉 10 号 | 中早熟 | 2021 |
| 29 | 创 075 | 中早熟 | 2010 | 73 | 湘 K28 | 中早熟 | 2021 |
| 30 | 创 072 | 中早熟 | 2010 | 74 | 中棉所 9C02 | 早熟 | 2022 |
| 31 | 诺华棉 1 号 | 中早熟 | 2010 | 75 | 中棉所 9B02 | 早熟 | 2022 |
| 32 | 荆杂棉 142 | 中早熟 | 2011 | 76 | 中棉所 99001 | 早熟 | 2022 |
| 33 | 华惠 4 号 | 中熟 | 2011 | 77 | 中棉所 144 | 早熟 | 2022 |
| 34 | 泗杂棉 8 号 | 中早熟 | 2011 | 78 | 中 MB1460 | 早熟 | 2022 |
| 35 | 荃银 2 号 | 中熟 | 2011 | 79 | 皖棉研 121 | 早熟 | 2022 |
| 36 | 金科棉 98 | 中早熟 | 2011 | 80 | 冈棉 11 号 | 早熟 | 2022 |
| 37 | 鄂杂棉 29 | 中熟 | 2011 | 81 | 创棉 11 号 | 早熟 | 2022 |
| 38 | 荆杂棉 88 | 中熟 | 2011 | 82 | ZD2040 | 早熟 | 2022 |
| 39 | 创 091 | 中熟 | 2013 | 83 | GS 华棉 2270 | 早熟 | 2022 |
| 40 | 屯丰棉 6 号 | 中熟 | 2014 | 84 | EZ9 | 早熟 | 2022 |
| 41 | 神农棉 0815 | 中熟 | 2014 | 85 | 中生棉 15 号 | 中早熟 | 2022 |
| 42 | 绿亿航天 1 号 | 中熟 | 2014 | 86 | 中棉所 138 | 中早熟 | 2022 |
| 43 | 华惠 2 号 | 中熟 | 2014 | 87 | 湘 X1107 | 中早熟 | 2022 |
| 44 | XG39K5 | 中熟 | 2015 | 88 | 华杂棉 H922 | 中早熟 | 2022 |
| 45 | 荃银棉 8 号 | 中早熟 | 2015 | 89 | 盐棉 39 | 中早熟 | 2022 |
| 46 | 鄂杂棉 30 | 中早熟 | 2015 | 90 | 皖棉研 1318 | 中熟 | 2022 |
| 47 | GK39 | 中熟 | 2015 | 91 | 赣棉 15 号 | 中早熟 | 2022 |
| 48 | 国欣棉 16 | 中熟 | 2016 | 92 | 中生棉 14 号 | 中早熟 | 2023 |
| 49 | 宁棉 2 号 | 中熟 | 2016 | 93 | 国欣棉 34 | 中早熟 | 2023 |
| 50 | 江农棉 2 号 | 中熟 | 2017 | 94 | H834 | 中早熟 | 2023 |
| 51 | 晶华棉 112 | 中熟 | 2017 | 95 | 湘 X0935 | 中早熟 | 2023 |
| 52 | 国欣棉 15 | 中熟 | 2017 | 96 | 皖棉研 65 | 中早熟 | 2023 |
| 53 | 航棉 12 | 中熟 | 2017 | 97 | 徽棉 1 号 | 中早熟 | 2023 |
| 54 | 湘杂 198 | 中早熟 | 2018 | 98 | 国欣棉 35 | 中早熟 | 2023 |
| 55 | 华惠 13 | 中熟 | 2018 | 99 | 中棉所 EM1706 | 早熟 | 2023 |
| 56 | ZHM19 | 中早熟 | 2019 | 100 | 湘棉 33 | 早熟 | 2023 |

1.2 数据收集

根据中国种业大数据平台提供的数据收集了试验材料的12个表型性状,包括生育期、株高、铃数、铃重、衣分、子指、皮棉产量、纤维长度、纤维强度、马克隆值、纤维整齐度和纤维伸长率,其数据来源于2年区试的平均值。

1.3 数据分析

利用Microsoft Excel 2016对表型数据进行描述性统计,并通过模糊隶属函数计算出每个表型性状的隶属函数值,将各个表型性状定义在 $[0, 1]$ 的闭区间^[12]。用Shannon-weaver信息多样性指数公式计算出遗传多样性指数 $H' = -\sum p_i \ln [p_i]$ ^[13],其中 p_i 表示某性状第 i 级的分布频率^[14], \ln 为自然对数。根据平均值(X)、标准差(δ)将材料分为10级,从第1级 $X_i < (X-2\delta)$ 到第10级 $X_i \geq (X+2\delta)$,每 0.5δ 划分为一级。遗传丰富度 $R = \sum j / \sum m$,即用某一组性状的级别总数 $\sum j$ 除以全部种质的某一性状的级别总数 $\sum m$ ^[13]。

利用R包(corrplot)进行相关性分析,R包(ggtree)基于欧式距离采用最长距离法进行聚类分析,利用SPSS 24.0进行主成分分析,将标准化的各个性状的表型值乘以相应主成分因子的得分系数,

计算各个主成分的得分(Y_n);然后以各主成分因子的贡献率为权重(V_n),通过公式 $F = V_1 Y_1 + V_2 Y_2 + \dots + V_n Y_n$,计算出每个品种的综合得分(F 值),对各品种进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 主要性状的表型分析

对100个品种的12个性状进行描述性统计(表2),结果显示铃数的变异系数最大,为24.37%,其变幅为11.30~32.90个,均值为25.80个;皮棉产量的变异系数仅次于铃数,为11.45%,其变幅为1147.50~1872.00 kg/hm²,均值为1515.00 kg/hm²;衣分的变异系数最小,为3.06%,变幅为38.60%~43.70%,均值为41.41%。100个品种各性状的遗传多样性指数范围在0.42~2.05之间,遗传丰富度的范围在0.30~1.00之间;其中铃重和子指的遗传多样性指数和遗传丰富度最高,最低的为整齐度指数。按照马育华^[15]对变异系数的分类标准(变异系数0~10%,10%~20%,20%~30%分别代表遗传变异度较小、中等、较大),铃数的遗传变异度较大,容易受到环境的影响,具有较强的可塑性,而其他大多数性状则相对固化,表现稳定。

表2 表型性状的多样性分析

Table 2 Diversity analysis of phenotypic traits

| 性状 Traits | 平均值 Mean | 标准差 SD | 最小值 Min. | 最大值 Max. | 变异系数(%) CV | 遗传多样性指数 Genetic diversity | 遗传丰富度 Genetic richness |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------------|------------------------------|---------------------------|
| 生育期(d)WGP | 121.40 | 8.44 | 98.00 | 132.00 | 6.95 | 1.55 | 0.60 |
| 株高(cm)PH | 112.77 | 10.40 | 78.40 | 131.40 | 9.22 | 1.96 | 0.90 |
| 铃数BN | 25.80 | 6.29 | 11.30 | 32.90 | 24.37 | 1.60 | 0.70 |
| 铃重(g)BW | 5.87 | 0.44 | 4.70 | 6.80 | 7.57 | 2.05 | 1.00 |
| 衣分(%)LP | 41.41 | 1.27 | 38.60 | 43.70 | 3.06 | 2.03 | 0.90 |
| 子指(g)SI | 10.99 | 0.72 | 9.30 | 12.70 | 6.52 | 2.05 | 1.00 |
| 皮棉产量(kg/hm ²)LY | 1515.00 | 11.57 | 1147.50 | 1872.00 | 11.45 | 2.04 | 1.00 |
| 纤维长度(mm)FL | 29.97 | 0.98 | 27.50 | 35.10 | 3.27 | 1.91 | 1.00 |
| 纤维强度(cN/tex)FS | 30.44 | 2.04 | 20.30 | 35.00 | 6.69 | 1.85 | 0.90 |
| 马克隆值FM | 5.01 | 0.27 | 4.40 | 5.70 | 5.33 | 1.97 | 1.00 |
| 整齐度指数(%)FU | 84.56 | 4.80 | 51.10 | 86.80 | 5.67 | 0.42 | 0.30 |
| 伸长率(%)FE | 6.17 | 0.60 | 5.10 | 7.70 | 9.71 | 2.02 | 0.90 |

WGP: Whole growth period; PH: Plant height; BN: Boll number; BW: Boll weight; LP: Lint percentage; SI: Seed index; LY: Lint yield; FL: Fiber length; FS: Fiber strength; FM: Fiber micronaire; FU: Fiber uniformity; FE: Fiber elongation; The same as below

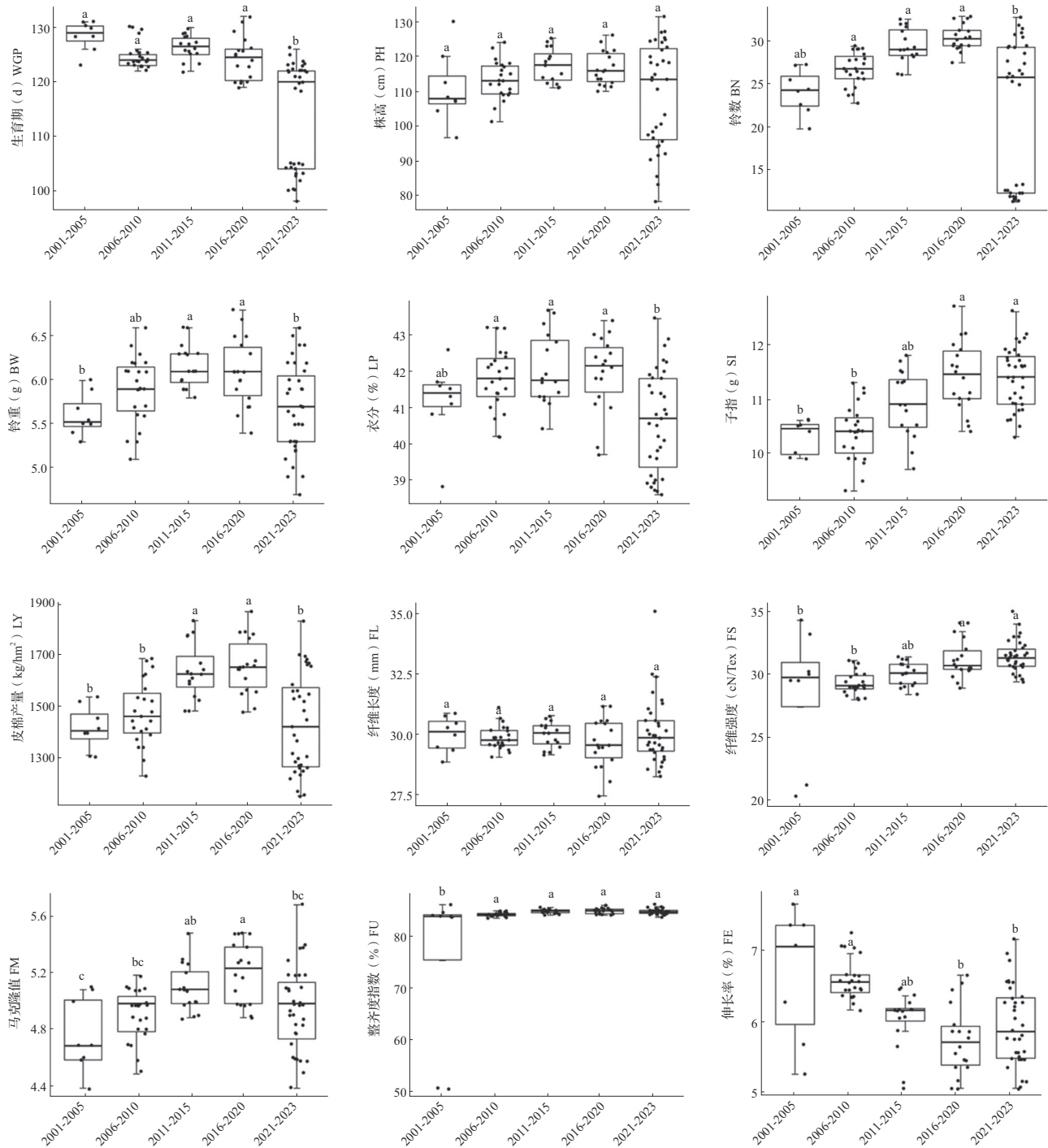
2.2 不同育种时期主要性状的演变

为了分析长江流域棉区审定品种主要性状的演变趋势,将100个棉花品种按照审定年份划分为5

个时期,分别为2001-2005年、2006-2010年、2011-2015年、2016-2020年和2021-2023年(图1)。结果显示,从生育期和株高来看,生育期越来越短,株高

变化不大;对于铃数、铃重、衣分、子指、皮棉产量 5 个产量相关性状,除 2021~2023 年这一时期外,各性状的表型值均随着年份的推移而增加;在纤维品质相关性状方面,纤维长度、纤维强度与整齐度指数均呈现出稳步上升的趋势,马克隆值和伸长率除 2021~2023 年这一时期外,分别呈现出逐年上升和

下降的趋势。在 2021-2023 这一时期,多数性状分布较散甚至出现两极分化的情况,如生育期、株高、铃数、铃重、衣分等性状,这主要与该时期培育的 16 个早熟棉有关,这些早熟棉品种占该时期审定品种总数的 44.4%。早熟棉较短的生育期使得铃重、株高、铃数、衣分等性状的表型值降低;中早熟和中熟



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;下同

Different lowercase letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level; The same as below

图1 不同育种时期品种性状演变图

Fig.1 Phenotypic traits of the upland cotton varieties in different breeding stage

品种的大部分性状(如铃重、株高、铃数等)表型值则处于一个稳步上升的状态,从而导致这些性状的表型值出现分布较广的情况。综上结果表明,长江流域棉区棉花品种在演化过程中,相同熟性品种的产量相关性状总体呈现出递增趋势,生育期呈现逐

渐缩短的趋势,株高逐渐降低,纤维品质稳定改善。

2.3 不同熟性品种主要性状的差异比较

对早熟、中早熟、中熟3种不同熟性品种的12个性状进行表型差异比较(图2),在生育期和株高方面,早熟棉的表型值显著低于其他熟性品种;在

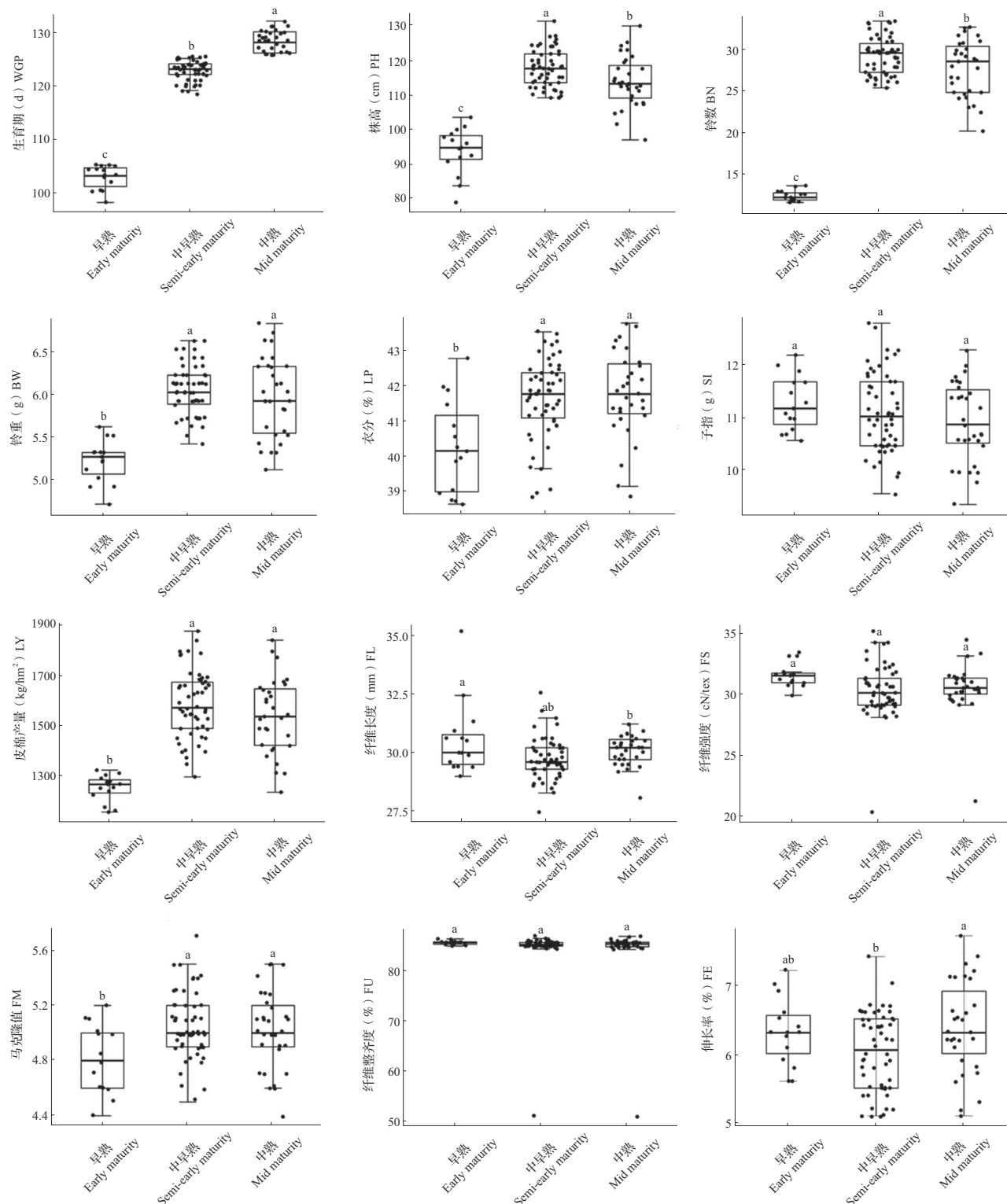


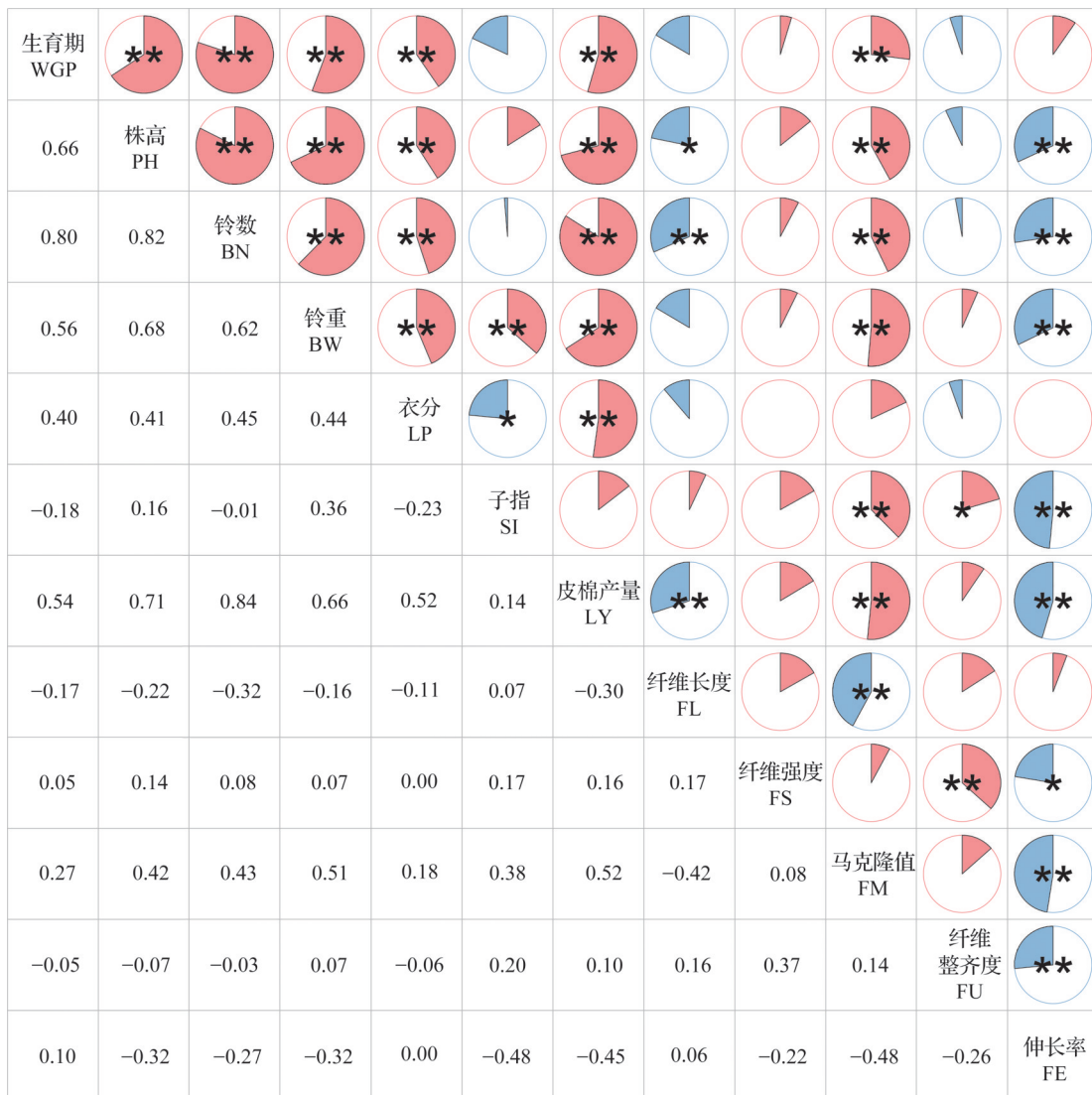
图2 不同熟性品种性状比较

Fig.2 Comparing phenotypic traits of different maturity varieties

产量相关性状方面,早熟棉的铃数、铃重、衣分、皮棉产量均显著低于其他熟性品种,子指略高于其他熟性品种,但未达显著水平;在纤维品质性状方面,早熟棉的纤维长度、纤维强度、纤维整齐度、伸长率与其他熟性品种均无显著差异,但马克隆值显著低于其他熟性品种。结果表明,相较于其他熟性品种,早熟品种植株相对矮小、单株铃数较少、铃重低、衣分低,从而导致皮棉产量显著低于中早熟、中熟品种,但是不同熟性品种之间的纤维品质性状并无明显差异。综合可知,在长江流域棉区的演化过程中,早熟成为重要的育种目标,但是早熟与高产之间矛盾突出,导致早熟品种的产量较低,而早熟与优质之间的矛盾得到了有效缓解。

2.4 表型相关性分析

为了研究各性状之间的关系,对 12 个表型性状进行相关性分析。结果表明,各个性状之间都存在着不同程度的相关性(图 3)。对于生育期和株高这两个农艺性状,生育期与株高、铃数、铃重、衣分、皮棉产量、马克隆值均呈极显著正相关;株高与铃数、铃重、衣分、皮棉产量、马克隆值均呈极显著正相关,与纤维长度和伸长率分别呈显著或极显著负相关。对于 5 个产量相关性状,子指与衣分呈显著负相关;铃数、铃重、衣分、皮棉产量两两之间均呈极显著正相关;皮棉产量与纤维长度呈极显著负相关。在纤维品质性状方面,纤维长度与铃数、皮棉产量、马克隆值均呈极显著负相关;纤维强度与纤



扇形大小代表不同性状间线性相关系数,蓝色代表正相关,红色代表负相关;*和**分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平下显著相关
The sector size represents the linear correlation coefficient between different traits, blue indicates a positive correlation, while red represents a negative correlation; * and ** indicate significant correlation at the levels of $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

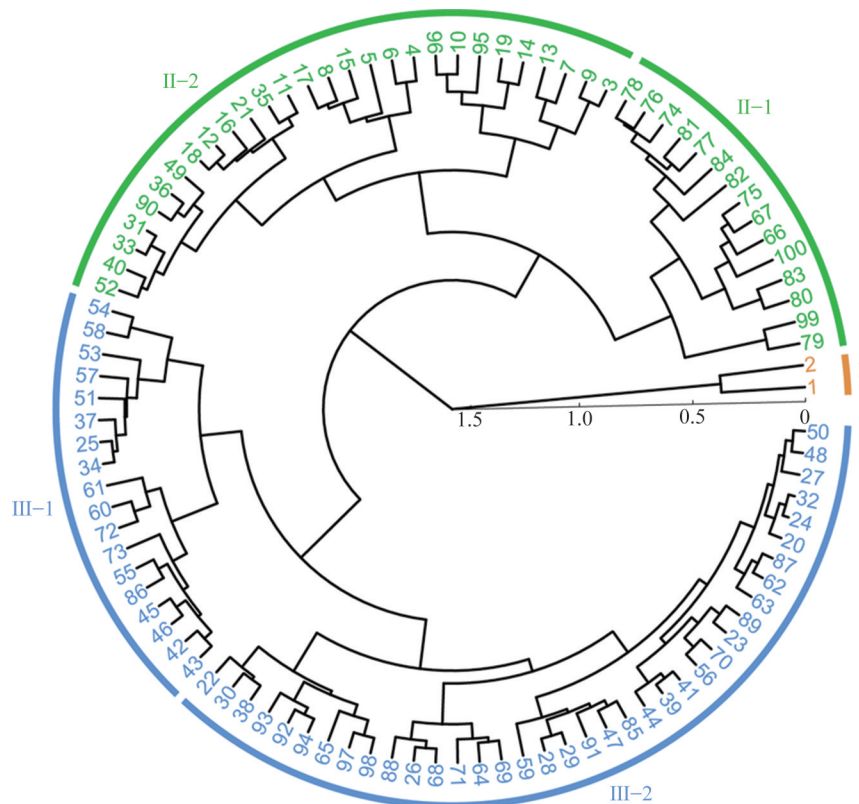
图3 12个表型性状之间的相关性分析
Fig.3 Correlation analysis for 12 phenotypic traits

维整齐度呈极显著正相关;马克隆值与各产量性状呈不同程度的正相关,与纤维长度、伸长率呈极显著负相关。综上可见,品种越早熟,皮棉产量越低,马克隆值越小。此外还发现,生育期与大部分品质性状之间的相关系数较低。

2.5 聚类分析

基于12个性状的表型数值,对100个品种进行聚类分析(图4),结果显示供试材料可分为3大类:第I类包含两个早期品种湘杂棉2号和鄂抗棉9号,这两个品种的各项性状表现均较差,属于本研究中2001-2005年的品种。第II类群共43个品种,其产量较低,但纤维品质表现优异,可进一步分为两个亚群,II-1亚群品种的生育期平均值为102.73 d,皮棉产量平均值为1244 kg/hm²,纤维长度平均值为

30.54 mm,纤维强度平均值为31.44 cN/tex,包含了荆棉91、冈棉11号、创棉11号、湘棉33等15个早熟优质品种;II-2亚群品种的生育期平均值为126.64 d,皮棉产量平均值为1435.79 kg/hm²,纤维长度平均值为30.23 mm,纤维强度平均值为30.48 cN/tex,包含了九杂四号、湘杂棉8号、南农6号、华惠4号等28个中早熟和中熟、优质的品种。第III类包含55个品种,其产量最高,纤维品质较差;根据皮棉产量的差异可进一步分为两个亚群,III-1亚群包含皖杂棉9号、泗杂棉8号、鄂杂棉29、华惠2号等18个品种,其皮棉产量较高(平均为1738.92 kg/hm²);III-2亚群包括湘杂棉7号、冈棉9号、华惠15、盐棉39等37个品种,其皮棉产量相对较低(平均为1584.69 kg/hm²)。



材料编号同表1

The codes of varieties are the same as table 1

图4 100份材料基于12个表型性状的聚类分析

Fig.4 Clusters analysis of 100 varieties based on 12 phenotypic traits

进一步分析发现,聚在同一类群的品种,除了在表型性状上表现出相近的特点外,还可能具有相似的遗传背景。例如,在II-1类群中,拥有相同亲本冈0804-1的品种冈0996(58号)与冈杂棉10号(72号)聚在一起,这与系谱来源吻合。神农棉0815(41号)和创091(39号)的位置较近,两者均含GK19的

血统,在抗逆性方面都表现良好。此外,聚类结果显示不同省份的品种被聚在一起,表明聚类无法完全体现材料的地域来源,可能与长江流域棉区内各省份之间存在相互引种的现象有关。

2.6 主成分分析

相关性分析结果表明各性状之间关系错综复

杂,为了消除性状间相关性对品种评价产生的影响,利用主成分分析简化数据,降低数据维度。在特征值大于1的条件下,确定3个主成分因子(表3)。第1主成分的特征值为4.66,贡献率最大,为38.82%,可以解释最多的表型性状信息,其中特征向量最大的性状为铃数,其特征向量为0.91,其次为皮棉产量(0.89)、株高(0.87)、铃重(0.82),说明第1主成分主要是产量相关性状因子,其特征向量之间的关系表明,产量较高的品种,一般其生育期较长,且伴随着纤维品质较差。第2主成分的特征值为2.51,贡献率为20.93%,其中特征向量最大的是纤维强度(0.80),说明第2主成分主要是纤维品质相关的因子,其特征向量之间的关系表明,纤维品质好的品种一般生育期较短、衣分较低。第3主成分的特征值为1.26,贡献率为10.49%,其中特征向量最大的是纤维长度(0.64),其余的特征向量值都较低,说明这一主成分主要是与纤维长度相关。

2.7 综合评价

以3个主成分中每个性状指标的特征向量为权重,构建各个材料的3个主成分的函数表达式分别为 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 。

$$Y_1=0.73x_1+0.87x_2+0.91x_3+0.82x_4+0.56x_5+0.18x_6+0.89x_7-0.38x_8-0.13x_9+0.64x_{10}+0.02x_{11}-0.41x_{12}$$

$$Y_2=-0.35x_1-0.05x_2-0.15x_3+0.12x_4-0.35x_5+0.74x_6+0.09x_7+0.21x_8+0.8x_9+0.32x_{10}+0.64x_{11}-0.69x_{12}$$

$$Y_3=0.33x_1+0.07x_2+0.14x_3+0.03x_4+0.29x_5-0.28x_6+0.07x_7+0.64x_8+0.34x_9-0.43x_{10}+0.46x_{11}+0.19x_{12}$$

以各主成分的贡献率为权重,通过各材料的主成分得分和对应的权重线性加权求和得到主成分的综合得分模型 $F=0.3882Y_1+0.2093Y_2+0.1049Y_3$ 。根据F值对100个审定品种进行表型综合评价,100个审定品种的F值范围在0.48~2.29之间,分数越高

则代表其综合表现越好,从中筛选出了10份优良物质(表4),包含综合得分排名前8的品种和2个早熟品种。供试品种中综合得分排名前8的品种依次是绿亿航天1号、中生棉10号、华惠2号、华惠20、国欣棉16、冈杂棉10、国欣棉18号、华杂棉H922,其产量高且品质好。而早熟品种的F值普遍较低,这与其生育期短、产量偏低有关。因此在早熟棉内部单独比较后,从中选择了2个表现最优的品种中MB1460、EZ9,这两个品种可以为早熟棉的研究和利用提供资源。

表3 100份棉花种质表型性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of phenotypic traits of 100 cotton varieties

| 性状 Traits | 主成分 Principal component | | |
|------------------------------|-------------------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 生育期 WGP | 0.73 | -0.35 | 0.33 |
| 株高 PH | 0.87 | -0.05 | 0.07 |
| 铃数 BN | 0.91 | -0.15 | 0.14 |
| 铃重 BW | 0.82 | 0.12 | 0.03 |
| 衣分 LP | 0.56 | -0.35 | 0.29 |
| 子指 SI | 0.18 | 0.74 | -0.28 |
| 皮棉产量 LY | 0.89 | 0.09 | 0.07 |
| 纤维长度 FL | -0.38 | 0.21 | 0.64 |
| 纤维强度 FS | -0.13 | 0.80 | 0.34 |
| 马克隆值 FM | 0.64 | 0.32 | -0.43 |
| 整齐度指数 FU | 0.02 | 0.64 | 0.46 |
| 伸长率 FE | -0.41 | -0.69 | 0.19 |
| 特征值 Eigenvalues | 4.66 | 2.51 | 1.26 |
| 贡献率 (%) | 38.82 | 20.93 | 10.49 |
| Contribution rate | | | |
| 累计贡献率 (%) | 38.82 | 59.75 | 70.23 |
| Cumulative contribution rate | | | |

表4 10份综合表现优异品种的性状比较

Table 4 Comparison of traits of 10 varieties with excellent overall performance

| 序号 No. | 品种 Variety | 评分 Score | 生育期 (d) WGP | 株高 (cm) PH | 铃数 BN | 铃重 (g) BW | 衣分 (%) LP | 子指 (g) SI | 皮棉 产量 (kg/hm ²) LY | 纤维 长度 (mm) FL | 纤维 强度 (cN/tex) FS | 马克 隆值 FM | 整齐度 指数 (%) FU | 伸长率 (%) FE |
|-----------|---------------|-------------|-------------------|------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|---|------------------------|----------------------------|----------------|------------------------|------------------|
| 1 | 绿亿航天1号 | 2.29 | 127.00 | 125.20 | 31.70 | 6.60 | 43.00 | 11.80 | 122.40 | 29.30 | 30.10 | 5.50 | 85.50 | 5.10 |
| 2 | 中生棉10号 | 2.15 | 120.00 | 119.80 | 30.40 | 6.50 | 42.70 | 12.20 | 124.80 | 30.60 | 32.00 | 5.40 | 86.00 | 5.50 |
| 3 | 华惠2号 | 2.12 | 126.00 | 123.00 | 32.10 | 6.30 | 43.70 | 10.80 | 119.40 | 30.80 | 31.20 | 5.30 | 85.80 | 5.20 |
| 4 | 华惠20 | 2.04 | 122.00 | 131.40 | 31.00 | 5.90 | 42.30 | 11.60 | 111.70 | 28.70 | 29.60 | 5.70 | 84.70 | 5.50 |
| 5 | 国欣棉16 | 1.99 | 126.00 | 116.00 | 29.60 | 6.70 | 42.20 | 12.20 | 111.00 | 31.20 | 31.50 | 5.20 | 85.90 | 5.70 |
| 6 | 冈杂棉10号 | 1.97 | 120.00 | 126.90 | 31.90 | 6.00 | 41.40 | 10.80 | 122.30 | 30.40 | 34.00 | 5.00 | 86.30 | 5.10 |

表4(续)

| 序号 No. | 品种 Variety | 评分 Score | 生育期 (d) WGP | 株高 (cm) PH | 铃数 BN | 铃重 (g) BW | 衣分 (%) LP | 子指 (g) SI | 皮棉 产量 (kg/hm ²) LY | 纤维 长度 (mm) FL | 纤维 强度 (cN/tex) FS | 马克 隆值 FM | 整齐度 指数 (%) FU | 伸长率 (%) FE |
|-----------|---------------|-------------|-------------------|------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|---|------------------------|----------------------------|----------------|------------------------|------------------|
| 7 | 国欣棉18号 | 1.95 | 125.00 | 113.50 | 29.70 | 6.50 | 41.80 | 12.70 | 110.20 | 30.50 | 33.40 | 5.20 | 85.90 | 5.90 |
| 8 | 华杂棉H922 | 1.95 | 122.00 | 122.60 | 28.60 | 6.40 | 42.25 | 11.60 | 111.30 | 29.00 | 32.30 | 5.20 | 85.00 | 5.50 |
| 9 | 中MB1460 | 0.98 | 105.00 | 100.60 | 11.40 | 5.50 | 39.90 | 11.80 | 83.10 | 30.50 | 33.00 | 5.20 | 85.50 | 5.60 |
| 10 | EZ9 | 0.88 | 105.00 | 103.30 | 12.30 | 5.50 | 40.10 | 11.60 | 86.90 | 29.40 | 30.60 | 5.00 | 85.10 | 6.40 |

3 讨论

3.1 棉花种质资源表型遗传多样性

本研究对100个长江流域棉区的棉花品种进行表型鉴定,结果表明铃数、皮棉产量、株高的变异系数较大,容易受到环境的影响,具有较强的可塑性;而纤维长度、马克隆值等纤维品质性状的变异系数较低。产量相关性状的变异系数总体上大于纤维品质相关性状的变异系数,这与前人的研究结果基本一致^[16]。遗传多样性分析表明,铃重和子指的遗传多样性指数和遗传丰富度较大,说明供试品种的铃重和子指均具有丰富的表型差异和遗传变异,可以从中筛选出大铃(>6.5 g)的种质资源进行品种改良(如国欣棉16、晶华棉112),发挥其潜在的生产能力。

3.2 长江流域棉区棉花主要性状在育种过程中的演变趋势

对100个棉花品种的阶段性演变分析表明,生育期随着年代的推移越来越短,产量与品质相关性状稳步变好,这与刘文欣^[17]的研究结果基本一致,与我国育种目标导向相符。在20世纪80年代以前育种家们重点关注品种的丰产性,20世纪80年代到21世纪开始培育抗病抗虫的品种,近现代的品种则注重产量、抗性和品质等综合性状的协同改良。近些年来,棉花早熟性研究日益受到关注,早熟棉品种的选育逐渐增加,大大促进了棉花机械化生产,缓解了粮棉争地矛盾。但是多项研究表明早熟棉存在早衰现象,早熟性与产量、早熟性与品质均存在负相关^[18-20],因此同步实现早熟、丰产、优质是一个比较难的目标。本研究比较分析不同熟性的品种发现,相比于其他熟性的品种,早熟棉产量相关性状的表现较差。尽管早熟棉的株型紧密、种植密度较大,但由于受到光照、温度以及生长时长等影响,其皮棉产量仍难超过春棉。通过比较不同生育期品种的产量,发现近年来培育出的中早熟新品种

产量较高,皮棉产量达1700 kg/hm²及以上,因此有望结合生产实践手段,在缩短生育期的基础上提高皮棉产量。在纤维品质相关性状方面,早熟棉与中早熟、中熟品种的表现差异不大,甚至超过了中早熟和中熟品种,说明近期育成的品种可能在一定程度上打破了棉花熟性与纤维品质之间负相关的矛盾,实现了缩短生育期与培育“长、强、细”纤维的目标。追溯其亲本来源发现,打破拮抗关系可能与亲本的选择密切相关,例如以早熟、丰产的中945为母本和早熟、优质的中964为父本,其配置杂交组合产生的中棉所9B02具有早熟优质的特性;该品种夏播生育期为103 d,纤维品质达到国家棉花品种审定的II型品种标准。相关性分析发现,生育期与铃数、衣分、皮棉产量、马克隆值之间均呈极显著正相关,衣分与子指呈显著负相关,这与前人的研究结果基本一致,即品种的生育期越长,其相应的铃数就会增多、衣分升高,从而使得皮棉产量增多^[21-23];与此同时,纤维变粗,纤维品质下降。因此,在品种选育过程中关注品种早熟性同时,要注意协调早熟性与产量、早熟性与纤维品质及产量与纤维品质之间的矛盾,培育综合性状优良的品种。

3.3 长江流域棉区优异棉花品种筛选及其应用前景

聚类分析将100个棉花品种分为了3大类群,3个类群各有其鲜明的特点,可根据不同的育种目标选择相应特点的材料。另外通过追溯品种来源,发现来自于同一育种单位的品种往往聚在一起,例如中棉所9C02、中棉所9B02、中棉所99001、中棉所144等中棉所系列材料都是由中国农业科学院棉花研究所选育的;有相同亲本的材料也多聚在一起,例如冈0996与冈杂棉10号均拥有相同的亲本冈0804-1;来自不同省份的材料被聚在同一类群,说明各省份以及育种单位的育种材料来源相近或其基因交流较频繁,导致品种间遗传多样性较小,遗传背景趋同化严重。遗传背景狭窄严重阻碍了育种

工作的进行,因此育种单位应加大对棉花种质资源的收集,通过复合杂交、回交、辐射诱变、化学诱变、体细胞诱变等技术,创造出具有多种优良性状的棉花新种质,促进种质资源的创新和利用,以丰富陆地棉的遗传多样性。

为了筛选出棉花育种中较为重要的性状指标,消除性状间相关性对品种评价产生的影响,利用主成分分析进行数据降维进而筛选优良品种^[24-25]。本研究利用主成分分析将12个性状简化为3个主成分,累计贡献率达到70.23%,第1主成分主要是产量相关性状,其贡献率达到38.82%,后续可重点针对铃数、铃重等产量相关性状进行改良。根据各性状贡献率的权重,利用综合评价筛选出了10份综合表现较好的品种,对其性状综合比较发现,评分靠前的品种的单个性状表现也优秀。以排名第二的中生棉10号为例,其皮棉产量是100个棉花品种中皮棉产量最高的品种,纤维长度与纤维强度均超“双30”标准,说明该品种接近于早熟、丰产、优质的选育目标,可为育种改良工作中亲本的选择提供宝贵的遗传资源。

4 结论

本研究通过分析12个表型性状,系统地阐述了长江流域棉区2001-2023年审定的100个棉花品种的遗传变异和育种潜力,发现在近些年来长江流域棉花的育种改良过程中,品种总体呈现出向早熟、高产、优质的演变趋势。优质早熟棉的选育打破了棉花熟性与纤维品质相拮抗的矛盾,但是长期的人工选择造成了各品种的遗传基础狭窄。因此,在今后的育种工作中要拓宽种质来源,通过现有种质资源创造新的变异,充分利用单株铃数可塑性强的特点,结合现代分子生物学手段创新种质,协调早熟、高产、优质之间的关系,同时结合基因型数据,筛选发掘优异特色基因资源,为棉花产业带来更为可持续发展。

参考文献

- [1] 黄滋康. 中国棉花品种及其系谱. 北京: 中国农业出版社, 1996
Huang Z K. Cotton varieties and their genealogy in China revised and enlarged edition. Beijing: China Agriculture Press, 1996
- [2] 张毅. 我国主产棉区国审棉花品种产量和纤维品质性状的区域特征. 棉花科学, 2018, 40(1): 2-7
Zhang Y. Regional characteristics of nationally approved cotton varieties, yield, and fiber quality traits in China's main cotton-producing regions. Cotton Science, 2018, 40 (1): 2-7
- [3] 戴茂华, 刘丽英, 郑书宏, 王瑞清, 吴振良. 陆地棉主要农艺性状的相关性及聚类分析. 中国农学通报, 2015, 31(12): 139-144
Dai M H, Liu L Y, Zheng S H, Wang R Q, Wu Z L. Correlation and cluster analysis for main agronomic characters of upland cotton. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31 (12): 139-144
- [4] 杜雄明, 刘国强, 陈光. 论我国棉花育种的基础种质. 植物遗传资源学报, 2004, 5(1): 69-74
Du X M, Liu G Q, Chen G. Basic germplasm for cotton breeding in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5 (1): 69-74
- [5] 陈光. 我国陆地棉基础种质及其衍生品种的遗传多样性. 北京: 中国农业科学院, 2005
Cheng G. Genetic diversity of basic germplasm and offsprings of upland cotton in China. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005
- [6] 牛雪婧, 王新栋, 王金萍, 孙娟, 郟彦敏, 王丽娜, 耿立格. 高粱地方种质资源表型多样性分析及综合评价. 植物遗传资源学报, 2024, 25(4): 562-575
Niu X J, Wang X D, Wang J P, Sun J, Qie Y M, Wang L N, Geng L G. Genetic diversity and comprehensive evaluation of sorghum germplasm based on phenotypic traits. Journal of Plant Genetic Resource, 2023, 25 (4): 562-575
- [7] 王凤宇, 梁国玲, 刘文辉. 590份燕麦种质资源营养器官表型性状遗传多样性分析. 草地学报, 2024, 32(1): 1-16
Wang F Y, Liang G L, Liu W H. Phenotypic diversity analysis of nutritional organs in 590 oats germplasm. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(1): 1-16
- [8] 王伟, 梅拥军. 新疆优质陆地棉材料产量与纤维品质性状的多样性分析. 农业与技术, 2023, 43(8): 6-11
Wang W, Mei Y J. Diversity analysis of yield and fiber quality traits in high-quality upland cotton materials from Southern Xinjiang. Agriculture and Technology, 2023, 43(8): 6-11
- [9] 贾晓昀, 赵红霞, 朱继杰, 王国印, 李妙, 王士杰. 陆地棉资源主要产量和纤维品质性状的遗传多样性分析研究. 中国农学通报, 2023, 39(6): 35-40
Jia X Y, Zhao H X, Zhu J J, Wang G Y, Li M, Wang S J. Upland cotton germplasms: Genetic diversity analysis of main yield and fiber quality traits. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39 (6): 35-40
- [10] 逯涛, 曾庆涛, 张文, 王文博, 王政洋, 杨芮, 孙玉岩. 主成分分析及灰色关联度分析综合评价棉花产量与品质. 新疆农业科学, 2023, 60(5): 1099-1109
Lu T, Zeng Q T, Zhang W, Wang W B, Wang Z Y, Yang R, Sun Y Y. Comprehensive evaluation of cotton yield and quality by principal component analysis and grey correlation analysis. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60 (5): 1099-1109
- [11] 何陈述, 郭小平. 长江流域棉花综合群体株系的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 385-388
He C S, Guo X P. Genetic diversity analysis of the lines

- derived from cotton comprehensive population in Yangtze river basin. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16 (2): 385-388
- [12] Rana M K, Bhat K V. A comparison of AFLP and RAPD markers for genetic diversity and cultivar identification in cotton. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 2004, 13:19-24
- [13] 刘志斋, 郭荣华, 石云素, 蔡一林, 曹墨菊, 宋燕春, 王天宇, 黎裕. 中国玉米地方品种核心种质花期相关性状的表型多样性研究. *中国农业科学*, 2008(6):1591-1602
Liu Z Z, Guo R H, Shi Y S, Cai Y L, Cao M J, Song Y C, Wang T Y, Li Y. Phenotypic diversity of flowering-related traits of maize landraces from the core collection preserved in China National Genebank. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008 (6):1591-1602
- [14] 董玉琛, 曹永生, 张学勇, 刘三才, 王兰芬, 游光霞, 庞斌双, 李立会, 贾继增. 中国普通小麦初选核心种质的产生. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(1):1-8
Dong Y C, Cao Y S, Zhang X Y, Liu S C, Wang L F, You G X, Pang B S, Li L H, Jia J Z. Establishment of candidate core collections in Chinese common wheat germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2003, 4(1):1-8
- [15] 马育华. 植物育种的量变遗传学基础. 南京: 江苏科学技术出版社, 1980:1-6
Ma Y H. Quantitative genetics in plant breeding. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1980:1-6
- [16] 徐滩喜, 王旭文, 田琴, 孔宪辉, 刘丽, 司爱军, 王娟, 余渝. 新疆早熟陆地棉种质资源遗传多样性及纤维品质性状 SSR 关联分析. *棉花学报*, 2020, 32(3):233-246
Xu S X, Wang X W, Tian Q, Kong X H, Liu L, Si A J, Wang J, Yu Y. Genetic diversity and association analysis of fiber quality traits with SSR markers in germplasm resources of early maturity upland cotton in Xinjiang. *Cotton Science*, 2020, 32 (3):233-246
- [17] 刘文欣. 建国以来我国棉花品种遗传改良研究. 北京: 中国农业大学, 2004
Liu W X. Study on genetic improvement in cotton planted in China since 1949. Beijing: China Agricultural University, 2004
- [18] 姜瑞云, 王宏, 黄祯茂, 喻树迅, 原日红. 浅谈棉花早衰. *中国棉花*, 1996(3):7-8
Jiang R Y, Wang H, Huang Z M, Yu S X, Yuan R H. A brief discussion on premature senescence of cotton. *China Cotton*, 1996 (3):7-8
- [19] 宋美珍, 喻树迅, 范术丽, 原日红, 黄祯茂. 短季棉主要农艺性状的遗传分析. *棉花学报*, 2005(2):94-98
Song M Z, Yu S X, Fan S L, Ruan R H, Huang Z M. Genetic analysis of main agronomic traits in short season upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Cotton Science*, 2005(2):94-98
- [20] 范术丽, 喻树迅, 宋美珍. 中国短季棉遗传改良研究进展及发展方向. *中国农学通报*, 2008(6):164-167
Fan S L, Yu S X, Song M Z. Research progress and direction of genetic improvement of short-season cotton in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008(6):164-167
- [21] 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 L Y, Zhang S J, Liu C J, Zhang X Y, Zhang J H. Genetic diversity analysis of agronomy and fiber quality characters in 314 upland cotton germplasm resources. *Shandong Agricultural Sciences*, 2022, 54 (5):16-23
- [22] 尹会会, 李秋芝, 李海涛, 王士红, 李彤, 商娜, 张晗, 杨中旭. 134份国外陆地棉种质主要农艺性状与纤维品质性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(6):1105-1115
Yin H H, Li Q Z, Li H T, Wang S H, Li T, Shang N, Zhang H, Yang Z X. Analysis of genetic diversity of the main agronomic and fibre quality characters of 134 foreign upland cotton germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18 (6):1105-1115
- [23] 李武, 谢德意, 赵付安, 杨晓杰, 赵远明, 吕淑萍, 聂利红, 房卫平. 黄河流域棉花品种农艺性状的主成分及聚类分析. *江苏农业科学*, 2015, 43(8):82-85
Li W, Xie D Y, Zhao F A, Yang X J, Zhao Y M, Lv S P, Nie L H, Fang W P. Principal component and cluster analysis of agronomic traits of cotton varieties in the Yellow river basin. *Jiangsu Agriculture Sciences*, 2015, 43 (8):82-85
- [24] 胡德玉, 张条平, 郭志明, 何庆虎. 抗草甘膦棉花杂交组合筛选及优势分析. *安徽农业科学*, 2018, 46(27):32-34, 49
Hu D Y, Zhang T P, Guo Z M, He Q H. Screening and advantage analysis cross combination of glyphosate-resistant cotton. *Anhui Agricultural Science*, 2018, 46 (27):32-34, 49
- [25] 崔淑芳, 金卫平, 王广恩, 钱玉源, 张海娜, 刘祎, 车亮, 李俊兰. 抗虫棉兼抗枯抗黄萎病新品种的选育. *农学学报*, 2017, 7 (1):12-18
Cui S F, Jin W P, Wang G E, Qian Y Y, Zhang H N, Liu Y, Che L, Li J L. Cotton variety breeding with *Fusarium* wilt and *Verticillium* wilt resistance. *Journal of Agriculture*, 2017, 7 (1):12-18