

王业举, 张 虎, 张 博, 等. 235 份陆地棉表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 636-644.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.003

235 份陆地棉表型性状遗传多样性分析

王业举¹, 张 虎¹, 张 博², 常玉杰¹, 高文举¹, 耿世伟¹, 陈 琴¹, 陈全家¹

(1. 新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 本研究利用 235 份陆地棉种质资源材料, 对棉花株型、生育期、产量性状展开研究。通过对 16 个表型性状进行遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析及隶属函数计算得到综合评价价值, 对陆地棉种质资源进行综合评价。结果表明, 235 份陆地棉群体具有丰富的遗传多样性, 性状遗传多样性指数为 1.969~2.107。不同农艺性状指标通过主成分分析得到 6 个独立的因子, 主因子贡献率为 6.20%~23.80%, 累计贡献率为 81.573%。依据特点分为产量相关因子、棉花生长结构因子、早熟相关性状因子等因子。聚类分析按照整体性状分为Ⅳ类, 第Ⅰ类群占比 15%, 株高较高, 株型松散; 第Ⅱ类群占比 27%, 株型较为紧凑, 生育期较短, 产量相对较高, 适合新疆地区的机械采收; 第Ⅲ类群占比 24%, 综合表现最差; 第Ⅳ类群占比 34%, 特点为生育期较长, 产量一般。通过计算综合评价价值并与表型性状进行相关性分析得出, 综合评价价值与株高、单铃质量、衣分、单铃皮棉质量和有效铃数等指标呈显著正相关。最后, 利用线性回归方程逐步回归得到株高、有效铃数、中部果枝长度、落叶等级、单铃质量、有效果枝数、第一果枝高度、全生育期和中部果枝夹角等 9 个表型性状, 这 9 个表型性状能够综合评价陆地棉的遗传多样性。本研究结果可为陆地棉种质资源的合理利用及亲本选育提供理论依据。

关键词: 陆地棉; 表型性状; 遗传多样性; 聚类分析; 相关性分析

中图分类号: S562 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)03-0636-09

Genetic diversity analysis of 235 upland cotton materials phenotypic traits

WANG Ye-ju¹, ZHANG Hu¹, ZHANG Bo², CHANG Yu-jie¹, GAO Wen-ju¹, GENG Shi-wei¹,
CHEN Qin¹, CHEN Quan jia¹

(1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University/Cotton Engineering Research Center of the Ministry of Education, Urumqi 830052, China; 2. School of Grass and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In this study, 235 upland cotton germplasm resources were used to study the plant type, growth period and yield traits. Genetic diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis, cluster analysis and membership function calculation of 16 phenotypic traits were conducted to get comprehensive evaluation value, which was used

to comprehensively evaluate the upland cotton germplasm resources. The results showed that 235 upland cotton populations had abundant genetic diversity, and the genetic diversity indexes of traits ranged from 1.969 to 2.107. Six independent factors were obtained by principal component analysis for different agronomic traits. The contribution rates of main factors were 6.20%~23.80%, and the cumulative contribution rate was 81.573%. The factors could be divided into yield related factors, cotton growth structure factors, early maturity related factors and other

收稿日期: 2022-08-08

基金项目: 中国博士后科学基金面上项目(地区专项支持计划)第 69 批(2021M693901); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01A92); 机采棉品种筛选及配套调控技术研发与推广应用(2020A01002-2)

作者简介: 王业举(1997-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向为棉花遗传育种。(E-mail) 1301608054@qq.com

通讯作者: 陈全家, (E-mail) chqjia@126.com; 陈 琴, (E-mail) cq0777@163.com

factors according to the characteristics. The overall traits could be divided into four categories by cluster analysis, the first group accounted for 15%, with relative high plant height and loose plant type. The second group accounted for 27%, with relative compact plant type and short growth period, and the yield was relatively high. The second group was suitable for mechanical harvesting in Xinjiang area. The third group accounted for 24%, and its overall performance was the worst. The fourth group accounted for 34%, which was characterized by relative long growth period and ordinary yield. By calculating the comprehensive evaluation value and making correlation analysis with phenotypic traits, it was concluded that comprehensive evaluation value was significantly positively correlated with indices such as plant height, single boll mass, lint percentage, single boll lint mass and effective boll number. Finally, nine phenotypic traits were obtained by stepwise regression of linear regression equation, such as the plant height, effective boll number, length of middle fruit branch, grade of fallen leaves, single boll mass, effective fruit branch number, the first fruit branch height, whole growth period and middle fruit branch angle. The above nine phenotypic traits could comprehensively evaluate the genetic diversity of upland cotton. The results can provide theoretical basis for rational utilization and parent selection of upland cotton germplasm resources.

Key words: upland cotton; phenotypic traits; genetic diversity; cluster analysis; correlation analysis

棉花(*Gossypium hirsutum* L.)是重要的纤维、油料、蛋白质饲料的原材料,也是十分重要的战略物资^[1]。新疆是中国最大的棉花种植区,种植面积占全国的80%以上^[2]。随着机械化的发展,新疆地区棉花机械采收率达到75%以上,合适的株型^[3]、短全生育期^[4]能够大幅提高并促进棉花的机械化采收^[5],达到农业增产增收的目的^[6]。棉花的遗传多样性^[7]是培育新品种的重要基础,而陆地棉种质资源较为丰富^[6],因此对陆地棉进行表型性状遗传多样性分析^[8],筛选出株型^[9]、产量和全生育期^[10]表现较优的材料,可为品种选育^[11]提供基础。研究者对棉花种质资源进行表型鉴定,多采用遗传多样性指数^[12-13]、描述性统计、相关性分析^[14]、主成分分析^[15]、聚类分析^[16]、计算综合评估值等方法综合评价材料。张泽良等^[17]通过研究30份种质资源的脱叶率与表型性状的相关性,明确脱叶性与株型性状之间的关系,筛选出脱叶性良好及表型性状优良的品种。李慧琴等^[18]对270份陆地棉种质资源的7个农艺性状和5个纤维品质性状进行分析,得到断裂比强度、产量构成、株型改良相关的优异材料。杨涛等^[12]对175份海岛棉12个表型性状进行研究,聚类分析将235份陆地棉资源分为4个类群,筛选到较优的2个品种,利用线性回归方程筛选到海岛棉的5个关键性指标(株高、始节高、果枝数、单铃皮棉质量和单株籽棉质量)。代攀虹等^[19]对陆地棉表型展开研究,计算综合评价价值(F),依据 F 值选出最优及最差材料,同时建立逐步回归方程计算得出具有代表性的陆地棉表型,综合评价陆地棉。戴茂华等^[20]针对黄河流域的陆地棉资源材料主要的12

个农艺性状进行了遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析。葛浩等^[21]利用聚类分析法将376份自然资源材料的棉铃分为大铃、中铃和小铃3个类群。前人的一些研究多数是针对纤维品质及其与产量指标之间的关系,缺乏针对棉花株型、生育期及产量的综合研究报道,本研究面向棉花产业发展趋势,针对株型、生育期、脱叶等级、产量等表型进行了遗传多样性分析^[22],从多方面对235份陆地棉种质资源的农艺性状进行评价,为今后的棉花种质资源评估及新品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试棉花种质材料共235份,由新疆农业大学农学院棉花育种团队收集并提供。根据材料的地理来源,将材料划分为6个生态区:黄河流域棉区(60份)、长江流域棉区(33份)、西北内陆棉区(109份)、北部地区棉区(10份)、美国(12份)以及其他国家(11份)。

1.2 试验设计

试验于2021年在新疆石河子市144团新疆农业大学棉花实验基地以及新疆奎屯市农业科学研究所实验田进行。试验设计:每小区设置2行,行长2.0 m,株距0.1 m,观测道为0.5 m,棉花生长管理同当地的常规大田栽培管理模式。

1.3 测定指标

试验共测定16个表型性状。表型性状测定方法参照杜雄明等^[23]的《棉花种质资源描述规范和数据标准》。测定指标包括:开花期、开花-吐絮期、全

生育期、中部果枝长度、中部果枝夹角、株高、果枝始节高、果枝数、有效果枝数、铃数、有效铃数、单铃质量、衣分、单铃皮棉质量、脱叶等级、单铃籽质量。脱叶等级在棉花吐絮期进行常规大田脱叶剂处理 7 d 后进行等级划分,评定方法参考 Zhao 等^[24]的报道。脱落等级为 0~3,0 级:75.0% 以上的叶片脱落,呈现广泛的枯萎、脱落;1 级:脱落叶片占叶片总量的 50.1%~75.0%;2 级:衰老脱落叶片占叶片总量的 25.1%~50.0%;3 级:衰老脱落叶不超过叶片总量的 25.0%。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2016 对数据进行整理,采用 IBM SPSS Statistics 26.0 对表型性状进行描述性统计,采用 Origin 2021 对表型进行相关性分析。采用 R 4.1.2 对早熟相关性状、产量相关性状以及株型相关性状进行聚类分析。采用 Excel 2016 计算 Shannon-Wiener 遗传多样性指数(H')、隶属函数值(U)、权重(W_i)、综合评价值(F)。

(1) 遗传多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$,其中, P_i 为某性状第 i 级别的种质份数占种质材料总量的百

分比, \ln 表示自然对数^[25]。

(2) 权重: $W_i = R_i / \sum_i (i=1, 2, \dots, n)$, R_i 代表第 i 个主成分因子的贡献率。

(3) 隶属函数值: $U(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) (i=1, 2, \dots, n)$,其中, X_i 是第 i 个主成分因子的值, X_{\min} 和 X_{\max} 分别代表第 i 个主成分因子的最小值和最大值。

(4) 表型综合值: $F = \sum (U_i \times W_i) (i=1, 2, \dots, n)$ ^[26]。

2 结果与分析

2.1 主要农艺性状的描述性统计

235 份陆地棉资源材料的表型性状的遗传变异系数范围为 1.35%~25.56%,平均值为 9.34%,其中有关产量性状的变异系数较大,变异系数在 10.00% 左右,而关于早熟性状的变异系数较小,变异系数均在 5.00% 以下。关于株型性状的最大变异系数是中部果枝长度(25.56%),最小的是果枝夹角(6.38%)。整体变异系数最小的是开花期(1.35%)(表 1)。

表 1 农艺性状描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of agronomic traits

性状	极差	最小值	最大值	均值	标准差	性状	偏度	峰度	变异系数(%)
中部果枝夹角(°)	24.600	46.640	71.240	56.600	3.611	中部果枝夹角	0.350	0.607	6.38
中部果枝长度(cm)	12.780	2.770	15.550	9.167	2.343	中部果枝长度	-0.267	0.132	25.56
株高(cm)	31.920	46.330	78.250	62.252	5.950	株高	-0.185	-0.133	9.56
果枝数	3.580	5.920	9.500	7.343	0.556	果枝数	0.335	0.728	7.57
有效果枝数	3.580	5.000	8.580	6.723	0.645	有效果枝数	0.079	0.040	9.60
铃数	4.830	5.250	10.080	7.475	0.921	铃数	0.171	-0.020	12.31
有效铃数	5.160	4.670	9.830	7.263	0.899	有效铃数	0.150	-0.052	12.38
第一果枝高度(cm)	14.080	13.670	27.750	20.718	2.560	第一果枝高度	-0.048	-0.312	12.35
开花期(d)	5.500	69.000	74.500	72.115	0.975	开花期	-0.302	0.014	1.35
开花-吐絮期(d)	12.000	58.000	70.000	63.257	2.291	开花-吐絮期	0.019	-0.463	3.62
全生育期(d)	11.500	130.000	141.500	135.372	2.458	全生育期	0.139	-0.618	1.82
衣分	0.190	0.240	0.430	0.363	0.031	衣分	-0.834	0.935	8.47
单铃质量(g)	2.900	3.450	6.350	5.307	0.430	单铃质量	-0.918	1.725	8.10
单铃籽质量(g)	1.550	2.510	4.060	3.378	0.278	单铃籽质量	-0.256	0.194	8.22
单铃皮棉质量(g)	1.560	0.990	2.550	1.929	0.247	单铃皮棉质量	-0.884	1.589	12.81

2.2 农艺性状的遗传多样性分析

通过对表型性状进行遗传多样性指数计算,得出 235 份陆地棉遗传多样性指数为 1.969~2.107

(图 1),其中最低的为单铃质量(1.969),最高的为第一果枝高度(2.107),遗传多样性指数平均值为 2.037。表明此群体遗传多样性丰富。

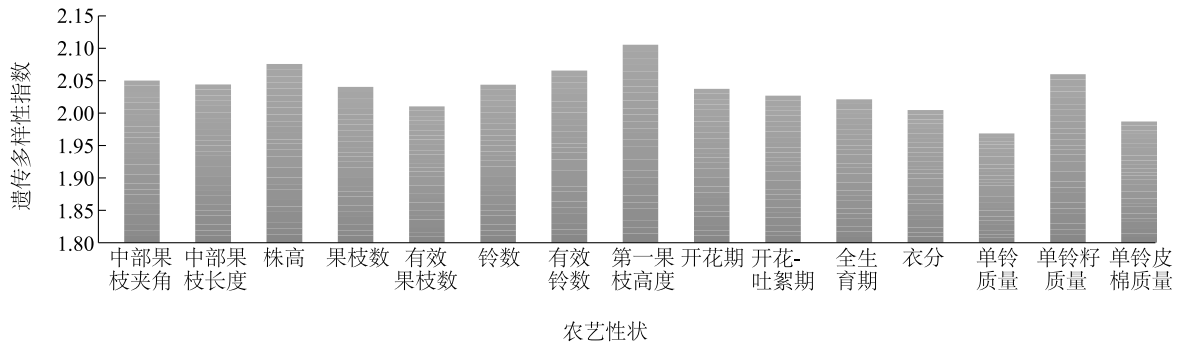


图1 表型性状的遗传多样性指数

Fig.1 Genetic diversity index of phenotypic traits

2.3 主要农艺性状的相关性分析

分析结果(表2)表明,中部果枝夹角与中部果枝长度、开花-吐絮期、全生育期、果枝数呈极显著正相关,与衣分、单铃皮棉质量呈极显著负相关。中部果枝长度与株高及早熟性状呈显著或极显著正相关。株高与果枝数、有效果枝数、铃数、有效铃数、第一果枝高度、衣分、单铃皮棉质量呈极显著正相关,与开花、落叶等级呈正相关。第一果枝高度与株高呈极显著正相关,与开花-吐絮期、全生育期呈极显

著负相关。果枝数、有效果枝数与早熟性状呈正相关,与单铃质量和单铃籽质量呈负相关。第一果枝高度与落叶等级、产量性状之间呈正相关,与开花-吐絮期和全生育期呈极显著负相关。落叶等级与全生育期呈显著正相关,与单铃籽质量呈极显著负相关,与单铃质量呈极显著正相关。棉花全生育期对棉花植株整体性状具有一定的影响。各个性状之间相互影响,今后研究改良某一性状时,则需要考虑对其他有相关性性状的影响。

表2 16个表型性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of 16 phenotypic traits

性状	中部果枝夹角	中部果枝长度	株高	果枝数	有效果枝数	铃数	有效铃数	第一果枝高度	落叶等级	开花期	开花-吐絮期	全生育期	衣分	单铃质量	单铃籽质量	单铃皮棉质量
中部果枝夹角	1.000 00	**		**							**	**	**			**
中部果枝长度	0.393 08	1.000 00	**						**	**	*	**				
株高	-0.046 91	0.205 19	1.000 00	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**			**
果枝数	0.198 39	0.101 74	0.217 67	1.000 00	**	**	**				**	**		**	**	
有效果枝数	0.131 24	0.139 30	0.344 36	0.872 25	1.000 00	**	**						*		**	
铃数	0.081 86	0.098 14	0.269 53	0.781 46	0.897 73	1.000 00	**			**	**	**		**	**	
有效铃数	0.080 72	0.088 18	0.270 04	0.772 35	0.899 91	0.961 10	1.000 00				**	**		*	**	
第一果枝高度	-0.110 16	0.117 89	0.608 03	-0.073 44	0.078 34	0.034 59	0.063 11	1.000 00	**		**	**	**	**		
落叶等级	0.007 92	0.195 02	0.169 84	-0.035 29	0.031 75	0.015 20	0.025 53	0.195 17	1.000 00			*				
开花期	0.063 59	0.384 68	0.135 75	0.068 44	0.125 11	0.162 13	0.104 03	0.083 86	0.122 74	1.000 00		**				
开花-吐絮期	0.220 63	0.142 93	-0.298 68	0.199 12	0.165 56	0.176 63	0.187 89	-0.291 87	0.116 06	-0.035 78	1.000 00	**	*			*
全生育期	0.230 91	0.285 83	-0.224 60	0.212 78	0.203 97	0.228 97	0.216 43	-0.238 84	0.156 88	0.363 28	0.918 09	1.000 00				
衣分	-0.279 74	0.021 42	0.390 19	0.043 22	0.136 87	0.106 62	0.111 15	0.352 32	0.040 45	0.111 67	-0.148 32	-0.093 98	1.000 00	**	**	**
单铃质量	-0.114 06	-0.017 84	0.108 94	-0.270 54	-0.167 37	-0.176 99	-0.148 01	0.227 47	0.059 48	0.023 82	-0.055 77	-0.042 55	0.297 06	1.000 00	**	**
单铃籽质量	0.033 13	-0.040 09	-0.123 15	-0.304 52	-0.254 39	-0.246 82	-0.221 72	0.014 14	0.029 09	-0.053 81	0.033 86	0.010 23	-0.275 23	0.832 60	1.000 00	**
单铃皮棉质量	-0.227 30	0.014 73	0.329 08	-0.117 58	0.000 70	-0.026 77	-0.004 71	0.372 19	0.065 26	0.099 64	-0.139 69	-0.090 71	0.817 26	0.786 52	0.314 46	1.000 00

* 表示在 0.05 水平相关性显著; ** 表示在 0.01 水平相关性显著。

2.4 主成分分析

通过主成分分析,将 16 个表型性状提取为 6 个特征向量(表 3),贡献率分别为 23.798%、19.585%、13.826%、10.217%、7.948%、6.199%,累计贡献率 81.573%,可将 16 个表型性状信息用 6 个特征向量代替。其中 PC1 中特征向量最大值为铃数(0.458),其次为有效铃数(0.450)及果枝数(0.444);PC2 中特征向量最大值为单铃皮棉质量

(0.468),其次为衣分(0.427);PC5 中特征向量最大值为单铃籽质量(0.455)。因此 PC1、PC2、PC5 可设为产量因子。PC4 中特征向量最大值为中部果枝长度(0.487),因此 PC4 为棉花生长结构因子。PC3 中特征向量最大值为全生育期(0.489),PC6 中特征向量最大值为落叶等级(0.742),因此 PC3、PC6 为早熟相关性状因子。

表 3 16 个农艺性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of 16 agronomic traits

性状	特征向量 1 (PC1)	特征向量 2 (PC2)	特征向量 3 (PC3)	特征向量 4 (PC4)	特征向量 5 (PC5)	特征向量 6 (PC6)
中部果枝夹角	0.133	-0.173	0.193	0.204	0.453	-0.211
中部果枝长度	0.129	0.022	0.292	0.487	0.180	-0.224
株高	0.127	0.396	-0.090	0.258	0.166	0.134
果枝数	0.444	0.031	-0.069	-0.141	0.099	-0.042
有效果枝数	0.373	0.147	-0.062	-0.205	0.119	0.009
铃数	0.458	0.107	-0.033	-0.162	0.075	0.009
有效铃数	0.450	0.116	-0.029	-0.184	0.089	0.050
第一果枝高度	-0.014	0.386	-0.035	0.255	0.135	0.258
落叶等级	0.029	0.076	0.202	0.294	-0.033	0.742
开花期	0.111	0.077	0.244	0.370	-0.109	-0.399
开花-吐絮期	0.185	-0.245	0.421	-0.149	-0.274	0.212
全生育期	0.217	-0.198	0.489	0.008	-0.298	0.040
衣分	0.025	0.427	0.013	0.011	-0.477	-0.177
单铃质量	-0.208	0.315	0.381	-0.303	0.188	-0.047
单铃籽质量	-0.228	0.066	0.373	-0.320	0.455	0.056
单铃皮棉质量	-0.101	0.468	0.235	-0.164	-0.178	-0.150

PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6 的特征值分别为 3.808、3.134、2.212、1.635、1.272、0.992;PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6 的方差贡献率分别为 23.798%、19.585%、13.826%、10.217%、7.948%、6.199%;PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6 的累计贡献率为 81.573%。

2.5 表型性状的聚类分析

对 16 个表型性状进行聚类分析,将 235 份陆地棉种质资源材料分类,分为 4 个类群 8 个亚类(图 2、表 4),第 I 类群由 35 份材料组成,占总数的 15%,主要特征为中部果枝长度>10 cm,中部果枝夹角较大,株高平均 67.62 cm,第一果枝高度(21.79 cm)较高,有效铃数(7.59)高于其他类群。第 I 类群的陆地棉种质资源材料突出特点为株型较松散。第 II 类群由 64 份材料组成,占总材料的 27%,表现为株型较紧凑,中部果枝夹角(53.57°)小于其他 3 个类群,中部果枝长度(8.60 cm)低于第 I、III、IV 类群,衣分(0.38)大于其他 3 个类群,全生育期

(133.38 d)低于其他 3 个类群。针对新疆的机械采收环境,第 II 类群陆地棉材料株型紧凑,生育期低于其他类群,衣分较高,较适合机械采收。第 III 类群由 57 份材料组成,占总材料的 24%。特点为果枝夹角较小,株高(55.40 cm)低于其他类群,衣分(0.35)、有效铃数(6.61)低于其他类群,整体表现最差。第 IV 类群由 79 份材料组成,占总材料的 34%,特点为全生育期(137.41 d)较长。其他性状相比第 I、第 II 类群无明显优势,表现一般。

2.6 陆地棉表型综合评价

主成分分析得到 6 个主成分,通过计算权重(W_i),PC1~PC6 的隶属函数值(U),代入表型综合

评价公式,计算出可代替 16 个表型性状的综合评价价值(表 5),首先对综合评价价值进行排序,然后分别选取综合评价价值高和低的材料各 10 份,计算其 16 个农艺性状的均值,综合评价价值较低的材料有八农 212、滇丽江县巨甸乡苗花、MAR-7A-3、邯鄯 284、北京 432、超鸡脚德字棉等,主要表现为株高较矮(53.79 cm)、第一果枝高度(17.82 cm)较低、结铃数(5.86)较小、衣分(0.33)较低、单铃质量(5.12

g)小。综合评价价值高的材料有沪棉 204、鲁棉研 16、农大棉 7 号、苏抗 310、望江长绒棉、新陆早 41、新陆中 34、中远 0114 等,主要表现为株高较高(68.36 cm)、结铃数较大(8.17)、衣分较高(37%)、单铃质量(5.58 g)和单铃皮棉质量(2.08 g)较大。说明,综合评价价值可作为对陆地棉进行多性状评价的一个评估指标。

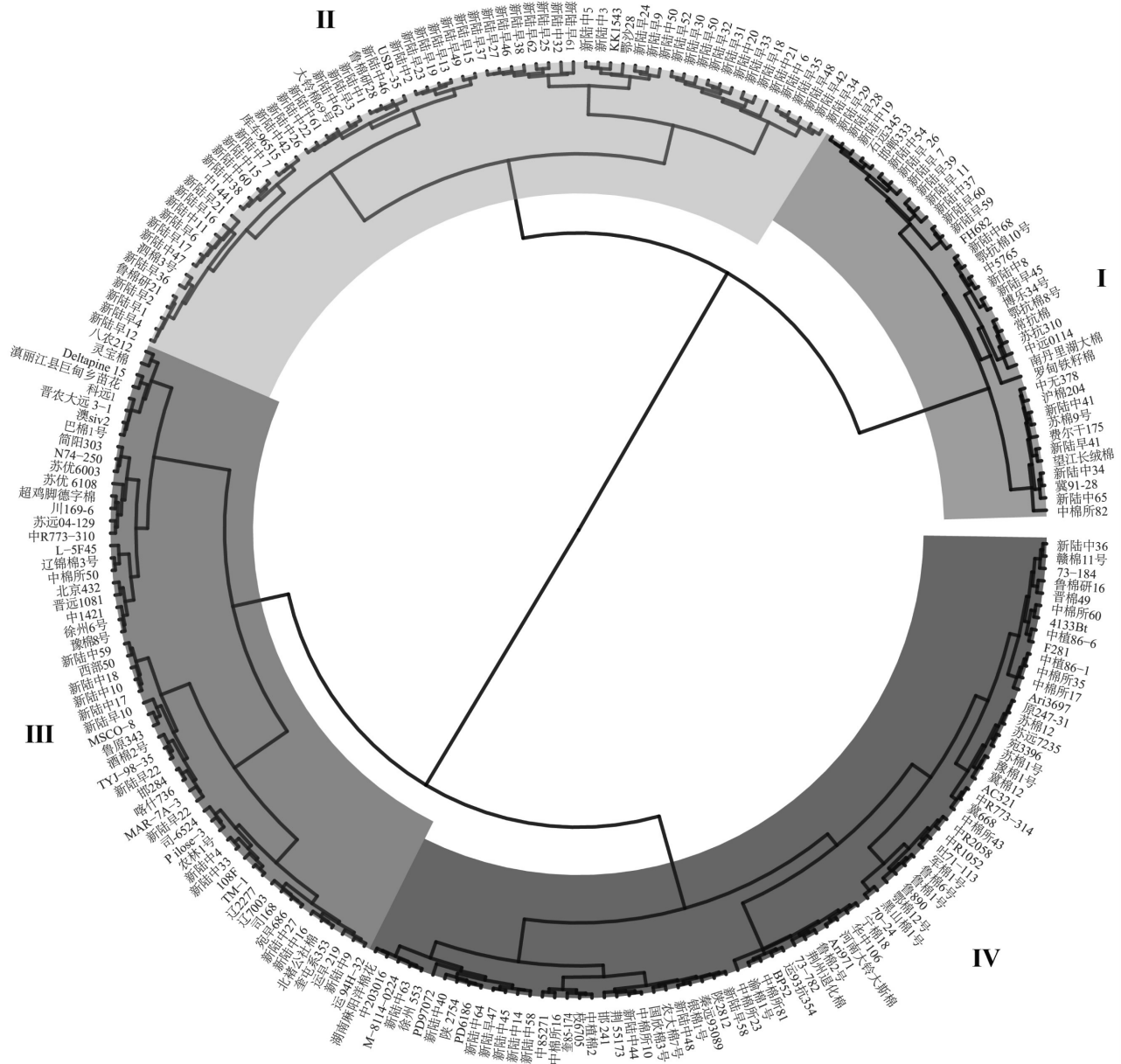


图2 235 份陆地棉表型性状聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of phenotypic traits of 235 upland cotton materials

表 4 235 份陆地棉的 4 个类群 8 个亚群的表型特征

Table 4 Phenotypic characteristics of eight subgroups of four taxa in 235 upland cotton samples

性状	I 类			II 类			III 类			IV 类		
	I 1	I 2	平均	II 1	II 2	平均	III 1	III 2	平均	IV 1	IV 2	平均
中部果枝夹角(°)	61.22	59.94	60.86	53.28	53.81	53.57	57.99	55.96	56.81	57.30	56.87	57.01
中部果枝长度(cm)	10.27	11.77	10.70	7.39	9.54	8.60	8.61	7.72	8.09	9.50	9.82	9.72
株高(cm)	67.18	68.71	67.62	70.34	64.17	66.87	51.74	58.05	55.40	62.49	60.43	61.08
果枝数	7.62	7.44	7.57	7.43	7.16	7.28	7.18	6.96	7.05	7.60	7.46	7.51
有效果枝数	7.04	7.04	7.04	6.95	6.58	6.77	6.26	6.22	6.24	6.99	6.88	6.91
铃数	7.75	8.04	7.83	7.70	7.34	7.50	6.89	6.80	6.83	7.80	7.74	7.76
有效铃数	7.53	7.74	7.59	7.49	7.08	7.26	6.61	6.60	6.61	7.64	7.56	7.59
第一果枝高度(cm)	21.40	22.79	21.79	22.63	22.31	22.45	17.44	19.77	18.79	22.32	19.27	20.23
落叶等级	1.71	1.68	1.70	1.71	1.57	1.63	1.52	1.36	1.43	1.60	1.59	1.59
开花期(d)	71.96	72.90	72.23	71.66	72.40	72.08	72.00	71.62	71.78	72.16	72.42	72.34
开花-吐絮期(d)	62.36	65.05	63.13	61.64	61.04	61.30	64.73	61.77	63.02	64.68	65.25	65.07
全生育期(d)	134.32	137.95	135.36	133.30	133.44	133.38	136.73	133.39	134.80	136.84	137.67	137.41
衣分	0.36	0.37	0.37	0.38	0.37	0.38	0.34	0.35	0.35	0.37	0.35	0.36
单铃质量(g)	5.32	5.40	5.34	5.30	5.39	5.35	5.20	5.30	5.25	5.35	5.26	5.29
单铃籽质量(g)	3.37	3.39	3.38	3.28	3.37	3.34	3.42	3.43	3.42	3.36	3.39	3.38
单铃皮棉质量(g)	1.95	2.01	1.97	2.02	2.02	2.02	1.78	1.87	1.83	1.99	1.87	1.91

表 5 综合评价值与表型相关性分析及高综合评价(10 份)、低综合评价(10 份)材料表型均值

Table 5 Correlation analysis of comprehensive evaluation value (F value) and phenotype and mean phenotype value of high F value (10 copy), low F value (10 copy) materials

性状	高 F 材料	低 F 材料	性状	综合评价值与各性状的相关系数
中部果枝夹角(°)	58.75	55.71	中部果枝夹角	0.254 83 *
中部果枝长度(cm)	11.80	6.00	中部果枝长度	0.509 03 *
株高(cm)	68.36	53.79	株高	0.649 05 *
果枝数	7.74	6.68	果枝数	0.528 36 *
有效果枝数	7.36	5.63	有效果枝数	0.550 02 *
铃数	8.45	6.00	铃数	0.634 64 *
有效铃数	8.17	5.86	有效铃数	0.639 44 *
第一果枝高度(cm)	21.23	17.82	第一果枝高度	0.502 55 *
落叶等级	2.23	1.13	落叶等级	0.421 46 *
开花期(d)	72.75	71.00	开花期	0.371 06 *
开花-吐絮期(d)	65.20	62.75	开花-吐絮期	0.129 04 *
全生育期(d)	137.95	133.75	全生育期	0.267 48 *
衣分	0.37	0.33	衣分	0.304 34 *
单铃质量(g)	5.58	5.12	单铃质量	0.199 11 *
单铃籽质量(g)	3.49	3.43	单铃籽质量	0.007 81
单铃皮棉质量(g)	2.08	1.69	单铃皮棉质量	0.334 79 *

F:综合评价值。* 表示在 0.05 水平上显著相关。

2.7 表型性状回归模型的建立及指标筛选

为评估陆地棉种质资源,通过建立多元线性逐步回归方程筛选出具有代表性的陆地棉种质资源的农艺性状,并筛选代表性指标。本研究以综合评价值为因变量,实际测量的 16 个农艺性状为自变量,建立多元线性回归方程。 $F = -1.355 + 0.004x_1 + 0.034x_2 + 0.008x_3 + 0.033x_4 + 0.038x_5 + 0.017x_6 + 0.006x_7 + 0.005x_8 + 0.003x_9$ 。 $x_1 \sim x_9$ 分别代表株高、有效铃数、中部果枝长度、落叶等级、单铃质量、有效果枝数、第一果枝高度、全生育期和中部果枝夹角这 9 个显著影响陆地棉表型的性状, R^2 为 0.984,这与主成分分析结果也相对应。因此在育种中可以重点关注以上 9 个性状。利用方程将以上 9 个性状代入建立的多元线性回归方程,通过对 F 值筛选得到苏抗棉 310、农大棉 7 号、费尔干 175、新陆早 41 等优异材料。因此可以利用该方程快速评价陆地棉种质资源表型性状的综合情况。

3 讨论与结论

棉花的表型性状之间的差异受基因型差异、生长环境影响,研究棉花种质资源的遗传多样性、遗传变异度及资源材料的丰富度是育种工作的基础^[27]。钱玉源等^[28]通过分析国内外大量棉花种质资源材料的表型性状得出,表型性状平均变异系数为 10.00% 以下,产量相关性性状变异系数最大为 20.14%,纤维整齐度的变异系数最小为 1.81%,遗传多样性指数为 1.71~2.06,结铃数的遗传多样性指数最高,生育期的遗传多样性指数最低。本研究中变异系数的结论与其研究结论一致。郑巨云等^[2]对陆地棉资源材料株型与产量之间的相关性进行分析,结果表明,籽棉产量与株高、果枝数、果节数等存在正相关。株高与果枝始节高呈显著正相关,与主茎节间长度呈极显著相关。本研究相关性分析结果显示,结铃数与株高、全生育期呈极显著正相关,与单铃质量呈极显著负相关;株高与中部果枝长度、第一果枝高度呈极显著正相关,与生育期呈极显著负相关。本研究结果与前人研究结论相一致。王海涛等^[29]对 314 份陆地棉资源材料进行主成分分析,发现前 4 个主成分累计贡献率达到 68.39%,4 个主成分分属于棉花纤维品质因子、植株性状因子、棉花产量因子。本研究主成分分析提取了 6 个主成分,累积贡献率为 81.573%,分属于产量相关因子、

生长结构因子、早熟相关性状因子,这与王海涛等^[29]的研究结果是相似的。聚类分析将 235 份陆地棉种质资源分为 4 大类,第 I 类特征为株型较松散,产量较优,衣分较高,整体表现较好。第 II 类特征为株型较为紧凑,结铃数高,株型高挑,生育期较短,衣分、单铃质量及单铃皮棉质量较高,为高产且较适合机械采收的品种。第 III 类为较差材料,结铃数小,株高较低,衣分较低,整体表现较差。第 IV 类株高、结铃数、衣分、全生育期较长。为了综合评价表型性状,利用隶属函数计算出综合评估表型的 F 值^[12,19,26]。 F 值与 15 个表型性状均显著相关。利用线性回归方程逐步回归得到株高、有效铃数、中部果枝长度、落叶等级、单铃质量、有效果枝数、第一果枝高度、全生育期和中部果枝夹角 9 个能够综合评估陆地棉表型的农艺性状,这与王秀秀等^[26]的研究结果相似。 F 值的差异能够明显反映表型性状之间的差异。因表型之间具有相关性^[30],在筛选优异材料进行良种培养时需要注意表型之间的影响,表型性状中数量性状测定受环境影响较大,需要多年多点进行评价,可借助分子标记技术对自然群体进行遗传多样性分析^[31-32]。

本研究以 235 份来自黄河流域^[33-34]、长江流域、西北内陆、北方地区以及国外的资源材料为基础展开研究。参试材料遗传多样性丰富,聚类分析结果表明,第 II 类群中的材料最适合机械采收。通过隶属函数得到的 F 值可作为综合评价陆地棉表型性状的综合指标,通过主成分分析与建立逐步回归方程筛选出株高、有效果枝数、中部果枝长度、落叶等级、单铃质量、有效果枝数、第一果枝高度、全生育期和中部果枝夹角等 9 个农艺性状,这 9 个农艺性状可综合评价陆地棉的表型情况。本研究结果对陆地棉种质资源的合理利用和指导陆地棉的生产实践具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 喻树迅,魏晓文,赵新华. 中国棉花生产与科技发展[J]. 棉花学报,2000,12(6): 327-329.
- [2] 郑巨云,王俊铎,张泽坤,等. 新疆南疆机采棉品种株型结构与产量性状的相关性[J]. 新疆农业科学,2020,57(4): 722-728.
- [3] 宋敏. 新疆棉花主栽品种机采特性的分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学,2015.
- [4] 王俊铎,郑巨云,龚照龙,等. 基于生育期和农艺性状的棉花品

- 种(系)适应性评价[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(8): 1393-1403.
- [5] 辛明华,王占彪,韩迎春,等. 新疆机采棉发展回顾、现状分析及措施建议[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(7): 11-20.
- [6] 袁有禄,魏晓文,毛树春,等. 棉花育种行业创新与进展[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 455-463.
- [7] 杨延龙,马君,师维军. 引进陆地棉种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(2): 310-319.
- [8] ELLEGREN H, GALTIER N. Determinants of genetic diversity [J]. Nat Rev Genet, 2016, 17(7): 422-433.
- [9] 付远志,薛惠云,胡根海,等. 我国棉花株型性状遗传育种研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(5): 16-19.
- [10] 陈莉,李继军,权月伟,等. 对以棉花生育期判断其早熟性的讨论[J]. 棉花科学, 2014, 36(3): 35-36.
- [11] 李娟,周小凤,刘文豪,等. 42个早熟陆地棉产量与品质性状的多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(2): 73-78.
- [12] 杨涛,黄雅婕,李生梅,等. 海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2021, 54(12): 2499-2509.
- [13] 尹会会,李秋芝,李海涛,等. 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[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1105-1115.
- [14] 刘剑光,赵君,徐剑文,等. 200份陆地棉种质资源的遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 66-69.
- [15] 陈光,杜雄明. 我国陆地棉基础种质表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北植物学报, 2006(8): 1649-1656.
- [16] 田艺心,曹鹏鹏,高凤菊. 基于主成分、隶属函数和聚类分析的大豆耐盐性综合评价[J]. 山东农业科学, 2020, 52(4): 16-22.
- [17] 张泽良,梁亚军,郑巨云,等. 不同陆地棉品种脱叶性与农艺性状相关性分析[J]. 分子植物育种, 2021; <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211123.1818.010.html>.
- [18] 李慧琴,于娅,王鹏,等. 270份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 903-910.
- [19] 代攀虹,孙君灵,何守朴,等. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708.
- [20] 戴茂华,刘丽英,郑书宏,等. 陆地棉主要农艺性状的相关性及聚类分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(12): 139-144.
- [21] 葛浩,胡道武,何守朴,等. 376份陆地棉棉铃早期性状的多态性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(12): 5846-5854.
- [22] DE CARVALHO L P, FARIAS F J, RODRIGUES J I, et al. Genetic diversity among exotic cotton accessions as for qualitative and quantitative traits [J]. Genet Mol Res, 2017, 16(1). DOI: 10.4238/gmr16019590.
- [23] 杜雄明,周忠丽. 棉花种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [24] ZHAO J G, JIANG T F, LIU Z, et al. Dominant gene *cplsr1* corresponding to premature leaf senescence resistance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2012, 54(8): 577-583.
- [25] 马麒,宿俊吉,宁新柱,等. 新疆海岛棉种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(2): 197-206.
- [26] 王秀秀,邢爱双,杨茹,等. 陆地棉种质资源表型性状综合评价[J]. 中国农业科学, 2022, 55(6): 1082-1094.
- [27] 钱能. 陆地棉遗传多样性与育种目标性状基因(QTL)的关联分析[D]. 南京:南京农业大学, 2009.
- [28] 钱玉源,刘伟,崔淑芳,等. 基于表型的棉花种质资源遗传多样性分析及核心种质的抽提[J]. 华北农学报, 2019, 34(S1): 29-35.
- [29] 王海涛,李兴河,蔡肖,等. 314份陆地棉种质资源农艺性状与品质性状的遗传多样性分析[J]. 山东农业科学, 2022, 54(5): 16-23.
- [30] 金宇豪,阳会兵,高倩文,等. 陆地棉纤维品质和农艺性状遗传多样性分析及优良材料鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2022, 53(2): 1-12.
- [31] 马麒,宁新柱,李吉莲,等. 基于表型和SSR标记筛选海岛棉优异种质资源[J]. 棉花学报, 2020, 32(2): 91-101.
- [32] KUSHANOV F N, TURAEV O S, ERNAZAROVA D K, et al. Genetic diversity, QTL mapping, and marker-assisted selection technology in cotton (*Gossypium* spp.) [J]. Front Plant Sci, 2021, 12: 779386.
- [33] 路正营,齐海坤,孙璐,等. 黄河流域冀南棉区无膜种植下播期对棉花产量及株型性状的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 58-64.
- [34] 李朋波,吴翠翠,曹美莲,等. 黄河流域陆地棉种质资源重要农艺性状的关联分析[C]//中国棉花学会. 中国棉花学会2012年年会暨第八次代表大会论文汇编. 运城:中国棉花学会, 2012.

(责任编辑:陈海霞)