

陆地棉种质资源遗传多样性分析及优异种质筛选

张 文, 逯 涛, 曾庆涛, 王政洋, 杨 芮, 赵富强

(新疆生产建设兵团第七师农业科学研究所, 奎屯 833200)

摘要: 种质资源是农业科技原始创新与现代种业发展的物质基础, 优异种质为培育优良棉花品种提供了材料基础。本研究以 230 份棉花种质资源为材料, 利用遗传多样性、相关性分析、主成分分析以及聚类分析等方法对其 13 个表型性状指标进行分析。结果表明, 13 个性状的变异系数在 0.90%~22.43% 之间, 其中整齐度指数的变异系数最小, 单株结铃数的变异系数最大。各表型性状的遗传多样性指数在 1.92~2.07 之间, 马克隆值的遗传多样性指数最大, 单株结铃数的遗传多样性指数最小。主成分分析结果显示, 6 个主成分的累计贡献率可达 74.413%, 其中第 1 主成分、第 5 主成分和第 6 主成分可合并为纤维品质因子, 第 2 主成分、第 3 主成分可合并为棉花产量因子, 第 4 主成分为植株性状因子。聚类分析把 230 份棉花种质资源材料分成 3 类, 其中类群 II 是产量与纤维品质性状综合表现较好的类群。最后依据综合评价 *D* 值进行评价, 初步筛选出 29 份表现较好的棉花品种, 在育种工作中可根据育种目标对其进行针对性的改良。

关键词: 棉花; 表型性状; 种质资源; 遗传多样性; 筛选

Genetic Diversity Analysis and Screening of Excellent Germplasm of Upland Cotton Resources

ZHANG Wen, LU Tao, ZENG Qingtao, WANG Zhengyang, YANG Rui, ZHAO Fuqiang

(The 7th Division of Agricultural Sciences Institute, Xinjiang Production and Construction Crops, Kuitun 833200)

Abstract: Germplasm resources serve as the fundamental foundation for the original innovation of agricultural science and technology, as well as the advancement of the modern seed industry. Screening excellent germplasm provides a material basis for cultivating excellent cotton varieties. In this study, 13 phenotypic traits of 230 cotton germplasm resources were analyzed using genetic diversity, correlation, principal component and clustering methods. The results show that the variation coefficient of 13 characters between 0.90%-22.43%, the variation coefficient of uniformity index minimum, the maximum variation coefficient of boll number per plant. The genetic diversity index of each phenotypic trait ranged from 1.92-2.07. The genetic diversity index of micronucleus value was the highest, and the genetic diversity index of boll number per plant was the lowest. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the six principal components reached 74.413%. The first principal component, the fifth principal component and the sixth principal component could be combined into fiber quality factor, the second principal component and the third principal component could be combined into cotton yield factor, and the fourth principal component was plant trait factor. Cluster analysis divided 230 cotton germplasm materials into three categories, including group II is yield and fiber quality traits comprehensive performance better. Finally the evaluation on the basis of

收稿日期: 2023-12-06 网络出版日期: 2024-05-16

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231206003>

第一作者主要从事棉花栽培及育种研究, E-mail: 1433139206@qq.com

通信作者: 逯 涛, 主要从事棉花栽培及育种研究, E-mail: 380605364@qq.com

曾庆涛, 主要从事棉花栽培及育种研究, E-mail: 147611116@qq.com

基金项目: 棉花生物学国家重点实验室开放课题(CB2022A24); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-15-41); 新疆生产建设兵团第七师胡杨河市财政科技计划项目(2022C02)

Foundation projects: Open Project of State Key Laboratory of Cotton Biology (CB2022A24); The China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-15-41); Huyanghe Financial Science and Technology Project of the 7th Division of Xinjiang Production and Construction Crops(2022C02)

comprehensive *D* value, preliminary screening of 29 performance better cotton varieties, can according to the breeding goals in breeding work carries on the corresponding improvement.

Key words: cotton; phenotypic traits; germplasm resources; genetic diversity; screening

棉花是一种至关重要的经济作物和储备战略物资,在我国的社会经济中占据极其关键的位置^[1]。新疆地处我国西北边陲,充裕的光热资源为棉花产业的快速发展奠定了优越的基础,当前,新疆已发展成为国内最大的优质棉与唯一的长绒棉产区,可以说,棉花是新疆经济的特色与支柱产业,与新疆农业的发展息息相关^[2-3]。截至2022年,随着新疆植棉地位的不断提升,生产和市场对棉花育种工作也提出了更多更高的要求,而现有的品种与棉农的需求却不一致,也越来越不能适应生产与市场需求,因此,必须加大对高产优质抗逆棉花新品种的选育力度^[4-5]。有学者发现,作物产量的增加与品种息息相关,品种对提高作物产量的贡献率可达45%左右^[6]。因此,种质资源的开发及利用与作物育种水平的提升息息相关。

然而,长期以来种质资源的研究和重视程度不够,投入的资金与科研力量缺乏,导致棉花种质资源在研究内容与技术方法上相对滞后,这成为限制棉花品种选育效率提高的关键^[7-9]。特别是近些年来,由于育种进程的不断加快,棉花所用的种质资源基本集中在少数几个骨干亲本上,导致众多品种之间的亲缘相近,遗传基础狭窄^[10-11]。因此收集、鉴定与创新利用遗传基础丰富的棉花种质资源,为棉花新品种的选育提供充裕的种质材料就显得至关重要。

本研究以230份来自不同地区的棉花种质资源为研究对象,针对果枝节位、株高、始果节高、单株结铃数、果枝数、单铃重、衣分、短绒率、断裂比强度、伸长率、马克隆值、整齐度指数和纤维长度等13个性状指标进行遗传多样性、相关性、主成分和聚类分析,筛选出优质种质,为棉花育种工作奠定资源基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的棉花种质材料230份(详见<https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231206003>,附表1),其中89份来自中国西北内陆棉区,12份来自中国黄河流域棉区,9份来自中国长江流域棉区,1份来自美国,119份来自前苏联。2022年230份材料种植于新疆

兵团第七师农科所试验田,完全随机区组设计,一膜(即一个区组)六行,行长2 m、行距0.8 m、株距12.4 cm,2次重复,常规田间管理。

1.2 性状调查

依照棉花种质资源描述规范和数据标准^[12]进行表型数据采集,每小区选取边行、中行各5株(共15株),测定株高、果枝数、果枝节位、始果节高、单株结铃数等5个性状,收获前每小区选择正常吐絮单株收取中部棉铃30个,用于测定单铃重、衣分、纤维长度、整齐度指数、马克隆值、断裂比强度、伸长率、短绒率等8个性状,每个性状测定2次重复。

1.3 数据处理

利用WPS office整理试验数据,计算13个表型性状的描述性统计量和遗传多样性指数^[13],利用SPSS20.0、R3.5.3语言软件进行性状相关性、主成分和系统聚类分析,结合隶属函数法对230份棉花种质材料进行综合评价^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 主要性状的遗传多样性分析

由表1可知,230份棉花种质资源不同性状间的变异范围在0.90%~22.43%之间,其中整齐度指数的变异系数最小;单株结铃数的变异系数最大。其他性状的变异系数依序为株高(19.23%)、始果节高(12.86%)、单铃重(10.00%)、果枝数(8.78%)、马克隆值(7.93%)、断裂比强度(6.63%)、果枝节位(5.21%)、衣分(5.08%)、短绒率(4.81%)、纤维长度(3.53%)、伸长率(2.56%)。棉花种质资源不同性状的遗传多样性指数在1.92~2.07之间,说明这230份棉花种质资源具有丰富的遗传多样性,遗传多样性指数从大到小依序为马克隆值(2.07)、始果节高(2.06)、纤维长度(2.05)、单铃重(2.04)、衣分(2.02%)、果枝数(2.02)、断裂比强度(2.01)、伸长率(2.01)、整齐度指数(2.01)、株高(1.98)、短绒率(1.95)、果枝节位(1.94)、单株结铃数(1.92)。变异系数与遗传多样性指数的计算结果并不完全相同,可能是因为变异系数强调的是性状的离散程度,而遗传多样性指数则强调的是不同层次分布的均匀度。

表1 供试种质资源性状的一般性描述及变异情况

Table 1 General description and variation of traits of tested germplasm resources

性状 Traits	极差 Range	极小值 Min.	极大值 Max.	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数(%) CV	遗传多样性指数 Genetic diversity index
株高(cm)PH	41.67	34.80	76.47	52.28	10.05	19.23	1.98
果枝数FBN	4.07	6.33	10.40	7.80	0.69	8.78	2.02
果枝节位SBN	1.87	4.07	5.93	5.05	0.26	5.21	1.94
始果节高(cm)IFNH	18.13	16.40	34.53	25.09	3.23	12.86	2.06
单株结铃数BN	13.00	2.87	15.87	7.71	1.73	22.43	1.92
单铃重(g)BW	2.86	4.57	7.43	5.65	0.57	10.00	2.04
衣分(%)LP	13.86	36.07	49.93	44.48	2.26	5.08	2.02
纤维长度(mm)FL	6.23	28.18	34.41	30.84	1.09	3.53	2.05
整齐度指数(%)UI	4.40	82.77	87.17	85.42	0.77	0.90	2.01
马克隆值MIC	2.00	3.46	5.45	4.50	0.36	7.93	2.07
断裂比强度(cN/tex)BS	11.97	25.43	37.40	31.98	2.12	6.63	2.01
伸长率(%)FE	1.20	6.40	7.60	6.91	0.18	2.56	2.01
短绒率(%)SFI	2.67	5.60	8.27	6.81	0.33	4.81	1.95

PH: Plant height; FBN: Fruit branch number; SBN: Sympodial brand node; IFNH: Initial fruit node height; BN: Boll number; BW: Boll weight; LP: Lint percentage; FL: Fibre length; UI: Uniformity index; MIC: Micronaire; BS: Breaking strength; FE: Fiber elongation; SFI: Short fiber index; The same as below

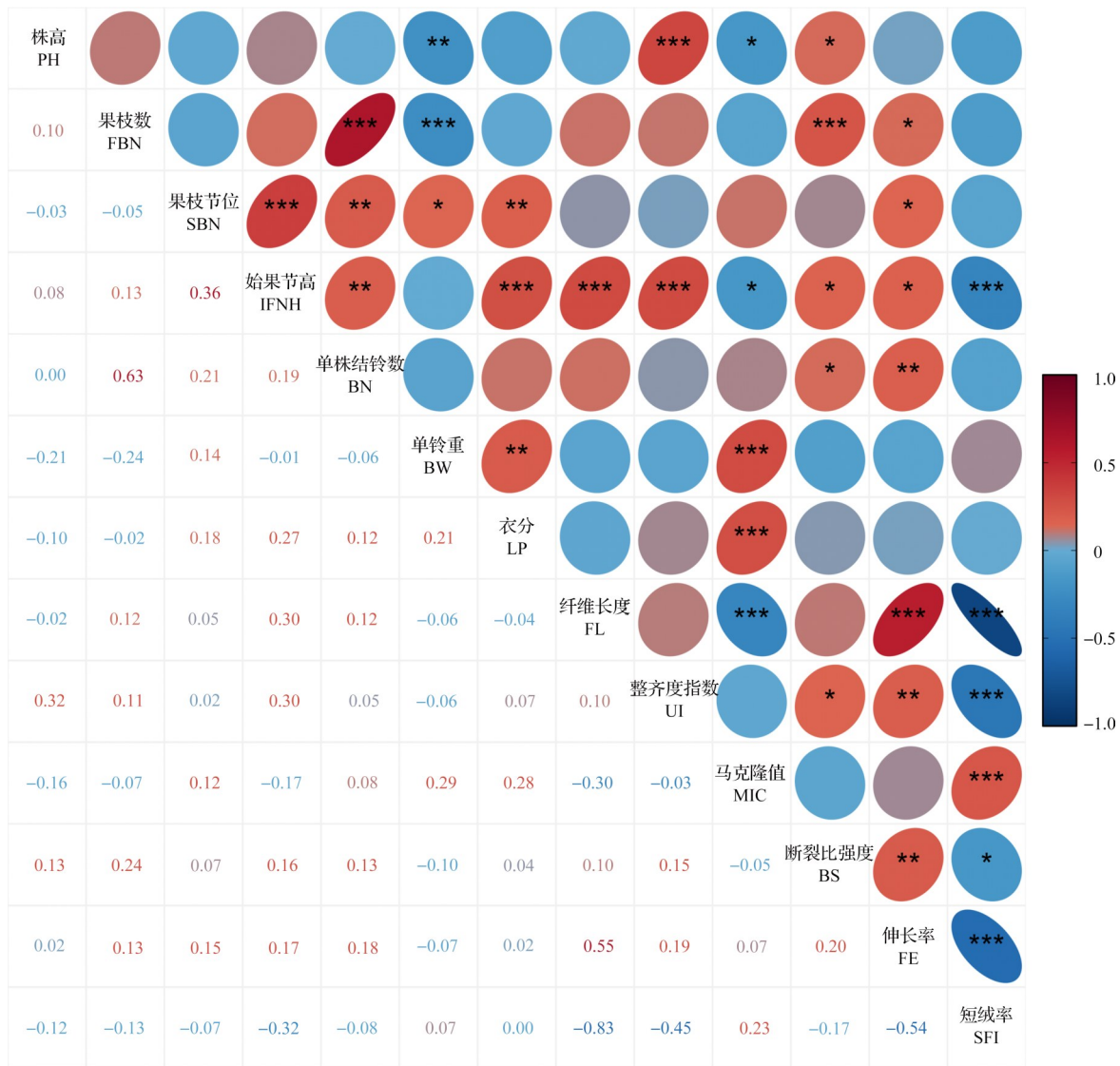
2.2 主要性状的相关性分析

230份棉花种质资源13个主要性状间存在复杂的相关关系(图1)。株高与单铃重呈极显著负相关,与马克隆值之间呈显著负相关,与整齐度指数呈极显著正相关,与断裂比强度呈显著正相关;果枝数与单株结铃数、断裂比强度呈极显著正相关,与伸长率呈显著正相关,与单铃重呈极显著负相关;果枝节位与始果节高、单株结铃数、衣分呈极显著正相关,与单铃重和伸长率呈显著正相关;始果节高与单株结铃数、衣分、纤维长度、整齐度指数呈极显著正相关,与断裂比强度和伸长率呈显著正相关,与短绒率呈极显著负相关,与马克隆值呈显著负相关;单株结铃数与伸长率呈极显著正相关,与断裂比强度呈显著正相关;单铃重与衣分、马克隆值呈极显著正相关;衣分与马克隆值呈极显著正相关;纤维长度与伸长率呈极显著正相关,与马克隆值、短绒率呈极显著负相关;整齐度指数与伸长率呈极显著正相关,与断裂比强度呈显著正相关,与短绒率呈极显著负相关;马克隆值与短绒率呈极显著正相关;断裂比强度与伸长率呈极显著正相关,与短绒率呈显著负相关;伸长率与短绒率呈极显著负相关。由此可见,棉花各性状间相关关系复杂,相互影响,相互制约,在进行棉花品种改良时,应充分考虑各性状间的相互关系,尤

其需要考虑对负相关性状的影响。

2.3 主成分分析

将230份棉花种质资源的13个性状进行主成分分析,前6个主成分的累计贡献率达到74.413%,涵盖了性状的绝大多数信息(表2)。第1主成分的特征值2.983,贡献率22.946%,其中短绒率的特征向量(绝对值)最大,表明短绒率对第1主成分的作用最大,其次是纤维长度和伸长率,这些性状与纤维品质有关,因此,可把第1主成分称为纤维品质因子;第2主成分的特征值1.827,贡献率14.053%,其中衣分的特征向量最大,表明衣分对第2主成分的作用最大,其次是马克隆值和果枝节位,因此,第2主成分可称为衣分因子;第3主成分的特征值1.612,贡献率12.399%,其中果枝数的特征向量最大,表明果枝数对第3主成分的作用最大,其次是单株结铃数,因此,第3主成分可称为果枝数因子;第4主成分的特征值1.307,贡献率10.053%,株高的特征向量最大,表明株高对第4主成分的作用最大;第5主成分的特征值1.063,贡献率8.177%,其中马克隆值的特征向量最大,表明马克隆值对第5主成分的作用最大;第6主成分的特征值0.882,贡献率6.786%,其中断裂比强度的特征向量最大,表明断裂比强度对第6主成分的作用最大。



*, **, *** 分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平下显著相关
 *, ** and *** indicated significant correlation at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively

图 1 供试种质资源性状的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis of traits of tested germplasm resources

2.4 综合评价

把 13 个表型性状进行标准化处理, 然后代入 6 个主成分, 可得到各品种的 6 个主成分得分 F , 6 个主成分的线性方程如公式(1)~(6)所示。

$$F_1 = 0.241Z_1 + 0.416Z_2 + 0.216Z_3 + 0.561Z_4 + 0.383Z_5 - 0.220Z_6 + 0.057Z_7 + 0.765Z_8 + 0.493Z_9 - 0.287Z_{10} + 0.380Z_{11} + 0.654Z_{12} - 0.842Z_{13} \quad (1)$$

$$F_2 = -0.353Z_1 - 0.028Z_2 + 0.571Z_3 + 0.325Z_4 + 0.315Z_5 + 0.560Z_6 + 0.672Z_7 - 0.097Z_8 - 0.018Z_9 + 0.610Z_{10} + 0.022Z_{11} + 0.125Z_{12} + 0.091Z_{13} \quad (2)$$

$$F_3 = 0.200Z_1 + 0.757Z_2 - 0.020Z_3 - 0.030Z_4 + 0.673Z_5 -$$

$$0.351Z_6 - 0.008Z_7 - 0.395Z_8 - 0.025Z_9 + 0.079Z_{10} + 0.279Z_{11} - 0.197Z_{12} + 0.377Z_{13} \quad (3)$$

$$F_4 = 0.623Z_1 - 0.233Z_2 + 0.152Z_3 + 0.331Z_4 - 0.291Z_5 - 0.022Z_6 + 0.215Z_7 - 0.369Z_8 + 0.593Z_9 - 0.034Z_{10} + 0.147Z_{11} - 0.291Z_{12} + 0.074Z_{13} \quad (4)$$

$$F_5 = 0.159Z_1 + 0.046Z_2 - 0.414Z_3 - 0.477Z_4 - 0.061Z_5 + 0.134Z_6 + 0.009Z_7 - 0.067Z_8 + 0.327Z_9 + 0.575Z_{10} + 0.188Z_{11} + 0.347Z_{12} - 0.129Z_{13} \quad (5)$$

$$F_6 = 0.011Z_1 - 0.184Z_2 + 0.340Z_3 - 0.075Z_4 - 0.187Z_5 - 0.081Z_6 - 0.212Z_7 - 0.057Z_8 - 0.276Z_9 + 0.023Z_{10} + 0.712Z_{11} + 0.195Z_{12} + 0.123Z_{13} \quad (6)$$

表2 供试种质资源性状的主成分分析

Table 2 Principal component analysis of the traits of tested germplasm resources

性状 Traits	主成分 Principal components					
	1	2	3	4	5	6
株高 PH	0.241	-0.353	0.200	0.623	0.159	0.011
果枝数 FBN	0.416	-0.028	0.757	-0.233	0.046	-0.184
果枝节位 SBN	0.216	0.571	-0.020	0.152	-0.414	0.340
始果节高 IFNH	0.561	0.325	-0.030	0.331	-0.477	-0.075
单株结铃数 BN	0.383	0.315	0.673	-0.291	-0.061	-0.187
单铃重 BW	-0.220	0.560	-0.351	-0.022	0.134	-0.081
衣分 LP	0.057	0.672	-0.008	0.215	0.009	-0.212
纤维长度 FL	0.765	-0.097	-0.395	-0.369	-0.067	-0.057
整齐度指数 UI	0.493	-0.018	-0.025	0.593	0.327	-0.276
马克隆值 MIC	-0.287	0.610	0.079	-0.034	0.575	0.023
断裂比强度 BS	0.380	0.022	0.279	0.147	0.188	0.712
伸长率 FE	0.654	0.125	-0.197	-0.291	0.347	0.195
短绒率 SFI	-0.842	0.091	0.377	0.074	-0.129	0.123
特征值 Characteristic value	2.983	1.827	1.612	1.307	1.063	0.882
贡献率 Contributions rate	22.946	14.053	12.399	10.053	8.177	6.786
累计贡献率 Cumulative contributions rate	22.946	36.998	49.397	59.450	67.627	74.413

表3 230份棉花种质材料的综合评价及排序

Table 3 Comprehensive evaluation value and ranking of 230 cotton germplasm lines

序号 No.	品种名称 Variety	D值 D value	序号 No.	品种名称 Variety	D值 D value	序号 No.	品种名称 Variety	D值 D value	序号 No.	品种名称 Variety	D值 D value
1	金垦 1441	0.746	9	新石 K33	0.638	17	Z1112	0.618	25	新陆中 88 号	0.607
2	新陆早 80 号	0.708	10	惠远 162	0.634	18	庄稼汉 701	0.614	26	C4-16	0.606
3	新石 K18	0.683	11	新陆早 49 号	0.628	19	酒棉 10 号	0.614	27	新早棉 107	0.605
4	金垦 1402	0.679	12	子鼎 6 号	0.627	20	C-4757	0.613	28	新陆早 82 号	0.605
5	新陆早 13 号	0.679	13	新陆早 33 号	0.626	21	新陆中 80 号	0.612	29	苏联棉 34 系	0.602
6	新石 H16	0.671	14	新陆中 81 号	0.623	22	苏联棉 29 系	0.611			
7	新陆中 14 号	0.663	15	KK-1543	0.623	23	苏联 2302	0.610			
8	金垦 1565	0.640	16	新陆中 56 号	0.609	24	新陆早 65 号	0.621			

其余 201 份棉花种质材料的综合评价及排序详见 <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231206003>, 附表 1

The comprehensive evaluation value and ranking of the remaining 201 cotton germplasm materials see <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231206003>, Schedule 1 for details

式中 $Z_1 \sim Z_{13}$ 分别代表 13 个性状, 把 6 个主成分的方差贡献率分别除以其累计贡献率可得各主成分的权重, 分别为 0.308、0.189、0.167、0.135、0.110、0.091, 然后将主成分得分与其对应的权重值进行加权求和, 得到综合评价 D 值公式, $D=0.308 \times F_1 + 0.189 \times F_2 + 0.167 \times F_3 + 0.135 \times F_4 + 0.110 \times F_5 + 0.091 \times F_6$, 最终得出 230 份棉花种质材料的综合评价 D 值。结果显示(表 3), D 值大于 0.600 的棉花品种有 29 个, 排在前 6 位的分别是金垦 1441、新陆早 80 号、新石 K18、金垦 1402、新陆早 13 号、新石 H16。这些品种株高、果枝数、单株结铃数等植株和产量性状表现较好, 纤维品质表现较为突出。

2.5 主要性状的聚类分析

利用 R 语言对 230 份棉花种质资源进行系统聚类, 在欧氏距离 10.4 处将其分成 3 个类群(图 2), 同时统计每个类群的性状平均值(表 4)。第 I 类群包

括 62 份种质, 占种质资源的 26.96%, 其中西北内陆棉区种质资源 53 份, 黄河流域棉区种质资源 5 份, 长江流域棉区种质资源 4 份, 该类群种质株高较高, 果枝数较多, 衣分较低, 纤维长度相对较短, 整齐度指数和断裂比强度较好。第 II 类群包含 28 份种质, 占种质资源的 12.17%, 其中西北内陆棉区种质 19 份, 黄河流域棉区种质 2 份, 长江流域棉区种质 2 份, 美国棉花种质 1 份, 前苏联棉花种质 4 份, 该类群种质材料株高、果枝数、衣分、整齐度指数、断裂比强度表现中等, 单株结铃数最多, 纤维长度最长, 短绒率最低。第 III 类群包含 140 份种质, 是最大的一个类群, 占种质资源的 60.87%, 其中西北内陆棉区种质 17 份、黄河流域棉区种质 5 份、长江流域棉区种质 4 份、前苏联棉花种质 114 份, 该类群株高、果枝数、单株结铃数、整齐度指数、断裂比强度相对较低, 单铃重、衣分、短绒率相对较高。



图 2 供试种质资源聚类图

Fig.2 Cluster analysis of tested germplasm resource

表4 不同类群13个性状表现

Table 4 The performance value of 13 traits in different groups

类群 Group	株高 (cm) PH	果枝数 FBN	果枝 节位 SBN	始果节 高(cm) IFNH	单株结 铃数 BN	单铃重 (g) BW	衣分 (%) LP	纤维长度 (mm) FL	整齐度 指数(%) UI	马克隆 值 MIC	断裂比 强度 (cN/tex) BS	伸长率 (%) FE	短绒率 (%) SFI
I	66.39	7.90	5.06	25.18	7.74	5.51	43.96	30.65	85.79	4.46	32.34	6.90	6.79
II	55.41	7.83	5.03	25.16	7.88	5.50	44.10	31.10	85.41	4.33	32.15	6.91	6.76
III	45.41	7.75	5.04	25.04	7.66	5.74	44.79	30.87	85.25	4.56	31.78	6.91	6.84

3 讨论

表型性状分析是探索作物遗传多样性最有效也是最直观的方法^[16]。其中,变异系数是评判作物种质资源遗传多样性的关键指标,变异系数越大,表征其变异程度越大,表明其遗传多样性越丰富,对于品种改良的潜能也就越大^[17-18]。对230份棉花种质资源的13个性状的变异系数进行分析,发现除了纤维长度、整齐度指数、伸长率和短绒率外,其他9个性状的变异系数均大于5%,其中单株结铃数、株高、始果节高、单铃重的变异系数大于10%,这与王秀秀等^[19]和李慧琴等^[20]的研究较为一致。各性状的遗传多样性指数在1.92~2.07之间,说明这230份棉花种质资源具有丰富的遗传多样性。

相关性分析结果表明,果枝数与单株结铃数、断裂比强度呈极显著正相关,与伸长率呈显著正相关,与单铃重呈极显著负相关,说明果枝数越多,单株结铃数增加,断裂比强度和伸长率等品质指标也相应提高,但单铃重会有所降低;单株结铃数增加,断裂比强度和伸长率的值也会相应增加;单铃重越高,衣分越高、马克隆值越大,棉纤维越粗,成熟度越高;纤维长度越长,伸长率越长,马克隆值和短绒率越小,棉花纤维品质越好。这与王燕等^[21]、王天友等^[22]和钱玉源等^[23]的部分结果一致。

鉴于陆地棉的表型性状较多,且性状之间具有复杂的相关关系,为了筛选出作物育种过程中较为关键的性状指标,可以通过主成分分析的方法把多个有相关关系的性状指标转化成彼此独立的综合指标^[24]。将230份种质资源的13个性状指标简化成6个主成分,累计贡献率达到74.413%,其中,第1主成分、第5主成分和第6主成分可合并为纤维品质因子,第2主成分、第3主成分可合并为棉花产量因子,第4主成分为植株性状因子。主成分分析结果体现了现阶段引种的主要关注点:首先是纤维品质(贡献率37.909%),其次是产量(贡献率26.452%),这与当

前棉花育种的主要关注点一致^[25]。

聚类分析是依据种质的性状特征,将性状相近的种质进行聚合,性状相差较大的种质则会划分到不同的类别。张磊磊等^[26]利用聚类分析将647份海岛棉划分成6个类群,其中类群II综合表现较好。热比耶等^[27]通过聚类分析将288份陆地棉种质划分为4类,其中类群I为马克隆值最好的材料,类群II为衣分最高的材料,类群III为综合表现较好的材料,类群IV为特殊种质。金宇豪等^[28]将390份陆地棉种质资源按纤维品质性状划分为4类,其中类群III的纤维品质最好;按农艺性状划分为3类,其中类群III的产量性状最好,结合农艺性状和纤维品质的聚类结果,挑选出10份综合表现较好的种质材料。董承光等^[29]通过田间性状、室内考种及纤维品质结果将429份陆地棉种质资源划分为10个类群,其中第I类群包含330份种质,占种质资源的76.9%。本研究通过聚类分析将230份种质材料分成3个类群,类群I种质材料株高、果枝数、整齐度指数和断裂比强度较好,但衣分较低,纤维长度相对较短,例如金垦1441、新陆早80号、新石K18等,该类群可作为提高株高、增加果枝数的亲本材料加以利用,也可选择衣分高、纤维长度长的优良品种来改良。类群II的种质在地域上分布较为广泛,其株高、果枝数、衣分、整齐度指数、断裂比强度表现中等,单株结铃数最多,纤维长度最长,短绒率最低,例如新陆早33号、新陆中81号、酒棉17、湘X16326等,该类群可作为单株结铃数多、纤维长度长和短绒率低的亲本材料加以利用,也可以选择株高、果枝数、衣分、整齐度指数、断裂比强度表现较好的种质材料进行改良。类群III的种质材料株高、果枝数、单株结铃数、整齐度指数、断裂比强度较低,单铃重、衣分、短绒率较高,例如子鼎6号、KK1543等,该类群可作为单铃重和衣分较高的亲本材料加以利用,也可以选择单株结铃数、整齐度指数、断裂比强度高和短绒率低的优良种质进行改良。

参考文献

- [1] 李先东,米巧,余国新.中国棉花种植成本收益的演变.中国农业资源与区划,2016,37(3):5-10,68
Li X D, Mi Q, Yu G X. Evolvement of Chinese cotton cost-benefit. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(3): 5-10, 68
- [2] 黄璐,宋玉兰.新疆棉花生产效率发展现状分析.山西农业科学,2017,45(6):1020-1023
Huang L, Song Y L. Analysis on development status of cotton production efficiency in Xinjiang. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(6): 1020-1023
- [3] 辛明华,王占彪,韩迎春,范正义,冯璐,杨北方,李小飞,王国平,雷亚平,邢芳芳,熊世武,李亚兵.新疆机采棉发展回顾、现状分析及措施建议.中国农业科技导报,2021,23(7):11-20
Xin M H, Wang Z B, Han Y C, Fan Z Y, Feng L, Yang B F, Li X F, Wang G P, Lei Y P, Xing F F, Xiong S W, Li Y B. Review, status and measures of Xinjiang machine-picked cotton. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(7): 11-20
- [4] 王俊铎,梁亚军,龚照龙,艾先涛,郭江平,买买提·莫明,李雪源,赵素琴,郑巨云.新疆植棉区2019年棉花种业报告.棉花科学,2021,43(1):3-10
Wang J D, Liang Y J, Gong Z L, Ai X T, Guo J P, Maimaiti M M, Li X Y, Zhao S Q, Zheng J Y. Cotton seed industry report in Xinjiang cotton planting area in 2019. Cotton Sciences, 2021, 43(1): 3-10
- [5] 于雅雯,魏敬周.农业供给侧改革对中国棉花生产品质变化的影响分析.中国农业资源与区划,2022,43(4):150-162
Yu Y W, Wei J Z. Analysis on the impact of agricultural supply side reform on the change of cotton production quality in China. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(4): 150-162
- [6] 王兰.山东省小麦玉米产量差及影响因素研究.泰安:山东农业大学,2019
Wang L. Study on yield gap of wheat and maize and its influencing factors in Shandong province. Taian: Shandong Agricultural University, 2019
- [7] 贾子昉,赵海红,李成奇,王清连.棉花种质资源遗传多样性研究进展.贵州农业科学,2014,42(1):16-20
Jia Z F, Zhao H H, Li C Q, Wang Q L. Advances on genetic diversity of cotton germplasm resources. Guizhou Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 16-20
- [8] 董承光,李保成,李生秀,周小凤,马晓梅,肖光顺.新疆北疆早熟棉育种进展现状及存在的问题.中国棉花,2011,38(12):8-10
Dong C G, Li B C, Li S X, Zhou X F, Ma X M, Xiao G S. Progress and problems of early-maturity upland cotton breeding in North Xinjiang area. China Cotton, 2011, 38(12): 8-10
- [9] 程郁,叶兴庆,宁夏,殷浩栋,伍振军,陈凯华.中国实现种业科技自立自强面临的主要“卡点”与政策思路.中国农村经济,2022(8):35-51
Cheng Y, Ye X Q, Ning X, Yin H D, Wu Z J, Chen K H. The main “stumbling blocks” and policy suggestions for China's seed industry to achieve self-reliance and self-improvement in science and technology. Chinese Rural Economy, 2022(8): 35-51
- [10] 吴迷,汪念,沈超,黄聪,温天旺,林忠旭.基于重测序的陆地棉InDel标记开发与评价.作物学报,2019,45(2):196-203
Wu M, Wang N, Shen C, Huang C, Wen T W, Lin Z X. Development and evaluation of InDel markers in cotton based on whole-genome re-sequencing data. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(2): 196-203
- [11] 翟书伟,邓婷婷,曹云泉,陈奇,汤盈盈,袁宝童,汪保华.基于SSR标记的26份棉花材料的遗传多样性分析.种子,2020,39(10):67-72
Zhai S W, Deng T T, Cao Y Q, Chen Q, Tang Y Y, Yuan B T, Wang B H. Genetic diversity analysis of 26 cotton cultivars based on SSR markers. Seed, 2020, 39(10): 67-72
- [12] 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,2005:53-65
Du X M, Zhou Z L. Cotton germplasm resources description specifications and data standards. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 53-65
- [13] 吕伟,韩俊梅,文飞,任果香,王若鹏,刘文萍.不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析.植物遗传资源学报,2020,21(1):234-242,251
Lv W, Han J M, Wen F, Ren G X, Wang R P, Liu W P. Phenotypic diversity analysis of sesame germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(1): 234-242, 251
- [14] 丁丁,郑伶俐,王红宝,郑丽锦,郭艳超.滨海地区不同茶菊品种农艺性状及有效成分综合评价.中国农业科技导报,2023,25(10):45-53
Ding D, Zheng L J, Wang H B, Zheng L J, Guo Y C. Agronomic traits and effective components of different tea *Chrysanthemum* varieties in coastal area. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(10): 45-53
- [15] 王业举,张虎,张博,常玉杰,高文举,耿世伟,陈琴,陈全家.235份陆地棉表型性状遗传多样性分析.江苏农业学报,2023,39(3):636-644
Wang Y J, Zhang H, Zhang B, Chang Y J, Gao W J, Geng S W, Chen Q, Chen Q J. Genetic diversity analysis of 235 upland cotton materials phenotypic traits. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2023, 39(3): 636-644
- [16] 郭学斌.山西省中国沙棘天然种群优树表型变异研究.林业科学研究,2021,34(4):111-119
Guo X B. Study on phenotypic variations of elite trees in natural populations of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* Rousi in Shanxi. Forest Research, 2021, 34(4): 111-119
- [17] 董方,李小飞,沈思言,杨非颖,金玲莉,涂娟,吴月坤,董越,陈罗君,谢枫.江西茶树资源的遗传多样性分析及优异种质

- 筛选. 江西农业大学学报, 2022, 44(6):1466-1477
Dong F, Li X F, Shen S Y, Yang F Y, Jin L L, Tu J, Wu Y K, Dong Y, Chen L J, Xie F. Genetic diversity analysis and screening of excellent germplasm of tea plant resources in Jiangxi. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2022, 44(6):1466-1477
- [18] 黄璐. 栽培花生种质资源遗传多样性研究. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019
Huang L. Genetic diversity of cultivated peanut germplasm resources. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019
- [19] 王秀秀, 邢爱双, 杨茹, 何守朴, 贾银华, 潘兆娥, 王立如, 杜雄明, 宋宪亮. 陆地棉种质资源表型性状综合评价. 中国农业科学, 2022, 55(6):1082-1094
Wang X X, Xing A S, Yang R, He S P, Jia Y H, Pan Z E, Wang L R, Du X M, Song X L. Comprehensive evaluation of phenotypic characters of nature population in upland cotton. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(6):1082-1094
- [20] 李慧琴, 于娅, 王鹏, 刘记, 胡伟, 鲁丽丽, 秦文强. 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. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4):903-910
Li H Q, Yu Y, Wang P, Liu J, Hu W, Lu L L, Qin W Q. Genetic diversity analysis of the main agronomic and fiber quality characteristics in 270 upland cotton germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(4):903-910
- [21] 王燕, 王树林, 张谦, 冯国艺, 雷晓鹏, 梁青龙, 祁虹. 机采棉主要农艺性状与密度相关性分析. 作物杂志, 2019(6):66-70
Wang Y, Wang S L, Zhang Q, Feng G Y, Lei X P, Liang Q L, Qi H. Correlation analysis between main agronomic traits and density in mechanical harvest cotton. *Crops*, 2019(6):66-70
- [22] 王天友, 王有武, 曹新川, 刘春艳, 秦宁, 何良荣. 新疆陆地棉种质资源表型性状遗传多样性分析. 种子, 2020, 39(4):5-11
Wang T Y, Wang Y W, Cao X C, Liu C Y, Qin N, He L R. Genetic diversity analysis based on phenotypic traits of upland cotton germplasms in southern Xinjiang region. *Seed*, 2020, 39(4):5-11
- [23] 钱玉源, 刘祎, 崔淑芳, 王广恩, 张曦, 金卫平, 李俊兰. 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. 华北农学报, 2019, 34(S1):29-35
Qian Y Y, Liu Y, Cui S F, Wang G E, Zhang X, Jin W P, Li J L. Analysis of genetic diversity of cotton germplasm resources and extraction of core germplasm based on phenotypic traits. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(S1):29-35
- [24] Shakeel A, Talib I, Rashid M, Saeed Asif, Ziaf K, Saleem M. Farrukh. Genetic diversity among upland cotton genotypes for quality and yield related traits. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 52(1):73-77
- [25] 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 germplasms. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(6):1105-1115
- [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 H. Genetic diversity analysis of 647 sea island cotton germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(1):307-324
- [27] 热比耶·玉荪, 吾买尔·库尔班, 张哲, 买买提·莫明, 艾先涛. 288份陆地棉种质资源主要性状遗传多样性分析. 新疆农业科学, 2022, 59(12):2879-2887
Rebiya Y S, Wumaier K E B, Zhang Z, Maimaiti M M, Ai X T. Analysis of genetic diversity of main characters in 288 upland cotton germplasm resources. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(12):2879-2887
- [28] 金宇豪, 阳会兵, 高倩文, 王峰, 周仲华, 马肖, 文双雅, 胡海燕. 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. 东北农业大学学报, 2022, 53(2):1-12
Jin Y H, Yang H B, Gao Q W, Wang F, Zhou Z H, Ma X, Wen S Y, Hu H Y. Genetic diversity analysis of fiber quality and agronomic traits and identification of superior materials in upland cotton. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2022, 53(2):1-12
- [29] 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 Y, Li B C. Evaluation on genetic diversity of cotton germplasm resources (*Gossypium hirsutum* L.) on morphological characters. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(3):438-446

附表 1 230 份棉花种质材料的综合评价值及排序

Table S1 Comprehensive evaluation value and ranking of 230 cotton germplasm lines

品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值
Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value
新陆早 51 号	0.599	KK-1800	0.560	苏联 1306	0.529	苏联 2287-2	0.509	新陆中 87 号	0.481	144-Φ	0.435
Xinluzao 51				Sulian 1306		Sulian 2287-2		Xinluzhong 87			
苏联 2421-2	0.598	新陆早 61 号	0.559	苏联棉 20 系	0.528	惠远 1502	0.509	苏联棉 1 系	0.480	C-8517	0.433
Sulian 2421-2		Xinluzao 61		Sulianmian 20		Huiyuan 1502		Sulianmian 1			
C-3543	0.597	苏联棉 47 系	0.558	皖棉 LHM9	0.528	苏联 2306	0.507	C4-18	0.479	新陆中 67 号	0.432
		Sulianmian 47		Wanmian LHM9		Sulian 2306				Xinluzhong 67	
C-3392	0.595	新陆早 46 号	0.556	新陆中 38 号	0.527	华中 4108	0.507	153-Φ	0.479	鲁棉 303	0.428
		Xinluzao 46		Xinluzhong 38		Huazhong 4108				Lumian 303	
湘 K25	0.595	C-464	0.555	苏联棉 114 系	0.526	苏联 2755	0.506	Si 转基因 kra287B	0.478	新陆中 51	0.422
Xiang K25				Sulianmian 114		Sulian 2755		Si zhuanyiyin kra287B		Xinluzhong 51	
中植棉 6 号	0.595	C-460	0.554	酒棉 17	0.526	新陆早 47 号	0.505	HGT197	0.478	金垦 1161	0.418
Zhongzhimian 6				Jiumian 17		Xinluzao 47				Jinken 1161	
苏联棉 19 系	0.593	五师 16-13	0.549	苏联 2347	0.525	新陆早 21 号	0.505	KK-615	0.475	苏联 1363	0.417
Sulianmian 19		Wushi 16-13		Sulian 2347		Xinluzao 21				Sulian 1363	
中棉所 125	0.592	Карши-2	0.548	C-1833	0.525	新陆中 83 号	0.504	新陆中 73 号	0.475	C-4769	0.417
Zhongmiansuo 125						Xinluzhong 83		Xinluzhong 73			
苏联棉 101 系	0.591	新陆早 24 号	0.548	苏联 3152	0.525	新陆中 60 号	0.504	C-1519	0.474	苏联棉 63 系	0.412
Sulianmian 101		Xinluzao 24		Sulian 3152		Xinluzhong 60				Sulianmian 63	
新石 H12	0.588	苏联 2421	0.548	新陆早 25 号	0.525	苏联棉 83 系	0.503	C-3424	0.471	C-4744	0.410
Xinshi H12		Sulian 2421		Xinluzao 25		Sulianmian 83					
新陆中 48 号	0.587	C-1622	0.548	新陆早 60 号	0.523	KK-1083	0.503	新陆中 84 号	0.469	C-9018	0.407
Xinluzhong 48				Xinluzao 60				Xinluzhong 84			

附表3 (续)

品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值
Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value
C-8220	0.586	新陆中 52 号 Xinluzhong 52	0.545	中 7700 Zhong 7700	0.523	吐 86-184 Tu 86-184	0.503	苏联棉 120 系 Sulianmian 120	0.466	C-1579	0.405
金科 21 Jinke 21	0.583	酒棉 16 Jiumian 16	0.543	KK-604	0.523	NB-666	0.501	C-1470	0.465	苏联棉 22 系 Sulianmian 22	0.405
新陆早 62 号 Xinluzao 62	0.583	石大棉 192 Shidamian 192	0.541	新陆早 45 号 Xinluzao 45	0.522	C-4534	0.500	苏联 3555 Sulian 3555	0.463	149-Φ	0.404
新陆早 16 号 Xinluzao 16	0.581	苏联棉 28 系 Sulianmian 28	0.540	晋棉 44 Jinmian 44	0.522	中 1007 Zhong 1007	0.500	新陆早 31 号 Xinluzao 31	0.461	苏联棉 132 系 Sulianmian 132	0.403
C-3381	0.581	C-1472	0.539	C-1317	0.522	苏联棉 95 系 Sulianmian 95	0.499	苏联棉 17 系 Sulianmian 17	0.461	新陆中 74 Xinluzhong 74	0.397
新陆早 36 号 Xinluzao 36	0.580	C-8214	0.539	C-8230	0.521	新陆中 71 号 Xinluzhong 71	0.499	苏联棉 82 系 Sulianmian 82	0.460	C-8202	0.395
苏联 1388 Sulian 1388	0.580	C-4751	0.538	苏联棉 14 系 Sulianmian 14	0.521	苏联新引 901 Sulianxinyin 901	0.499	新陆中 75 号 Xinluzhong 75	0.460	R8166	0.391
耕野 2186 Gengye 2186	0.579	惠远 1615 Huiyuan 1615	0.537	湘 X16326 Xiang X16326	0.521	新陆早 63 号 Xinluzao 63	0.498	苏联 2287-1 Sulian 2287-1	0.460	新陆中 78 号 Xinluzhong 78	0.389
塔吉克 201501 Tajike 201501	0.575	苏联 7631 Sulian 7631	0.536	苏联棉 87 系 Sulianmian 87	0.520	C-5497	0.498	苏联棉 46 系 Sulianmian 46	0.460	新陆中 37 号 Xinluzhong 37	0.382
C-450-555	0.574	C-3362	0.535	苏联棉 110 系 Sulianmian 110	0.520	苏联棉 23 系 Sulianmian 23	0.496	152-Φ	0.457	新陆早 79 号 Xinluzao 79	0.372
塔吉克 201502 Tajike 201502	0.572	PK-719	0.535	苏联 1298 Sulian 1298	0.519	新石 K26 Xinshi K26	0.495	C-9022	0.457	金垦 1442 Jinken 1442	0.371

附表3 (续)

品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值	品种名称	D 值
Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value	Variety	D value
新石 K24	0.572	18819	0.534	惠远 720	0.518	苏联棉 4 系	0.494	新陆中 66 号	0.453	KK-1188	0.358
Xinshi K24				Huiyuan 720		Sulianmian 4		Xinluzhong 66			
新陆早 7 号	0.571	苏联 2173	0.534	新陆早 12 号	0.518	苏联棉 62 系	0.493	苏联 2580	0.453	C-1759	0.347
Xinluzao 7		Sulian 2173		Xinluzao 12		Sulianmian 62		Sulian 2580			
五师 16-15	0.568	苏联棉 130 系	0.534	C-3173	0.518	新陆早 58 号	0.493	新陆早 50 号	0.452	美 G38gt	0.345
Wushi 16-15		Sulianmian 130				Xinluzao 58		Xinluzao 50		Mei G38gt	
苏联棉 108 系	0.567	新陆中 85 号	0.533	C-1780	0.517	新石 K21	0.491	C-3445	0.445	苏联 713	0.342
Sulianmian 108		Xinluzhong 85				Xinshi K21				Sulian 713	
147-Φ	0.567	C-4507	0.533	新陆中 77 号	0.517	150-Φ	0.489	新陆早 64 号	0.444	鲁棉 319	0.320
				Xinluzhong 77				Xinluzao 64		Lumian 319	
A38	0.565	塔河 2 号	0.532	苏联棉 109 系	0.516	C-3521	0.487	苏联棉 5 系	0.444	新陆早 75 号	0.286
		Tahe 2		Sulianmian 109				Sulianmian 5		Xinluzao 75	
138-Φ	0.565	新石 K28	0.532	鲁棉 343	0.515	新陆中 82 号	0.486	C-3398	0.442	新陆早 53 号	0.262
		Xinshi K28		Lumian 343		Xinluzhong 82				Xinluzao 53	
139-Φ	0.564	新石 K25	0.531	新陆早 69 号	0.514	C-1211	0.486	苏联 2287	0.439	C-1470	0.228
		Xinshi K25		Xinluzao 69				Sulian 2287			
阿德里 4 号	0.564	C-1581	0.531	KK-1407	0.513	C-339	0.486	鲁棉 394	0.439		
Adeli 4								Lumian 394			
华棉 702	0.563	142-Φ	0.530	苏联棉 30 系	0.512	新陆早 40 号	0.485	KK-351	0.437		
Huamian 702				Sulianmian 30		Xinluzao 40					
金垦 1643	0.560	苏联 2034	0.529	司-6524 (2)	0.511	C-2441	0.484	新陆早 74 号	0.436		
		Sulian 2034		Si-6524 (2)				Xinluzao 74			