

124 份黄秋葵种质资源表型性状多样性分析

朱 丹, 刘子记, 秦于玲, 殷晓敏, 王现丽, 刘维侠*

中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101

摘 要: 为明确黄秋葵种质资源的遗传多样性及表型性状特征, 以期为黄秋葵资源的鉴定评价和创新利用提供参考依据, 对 124 份黄秋葵种质资源的 16 个数量性状和 13 个质量性状进行多样性、相关性、聚类分析和主成分分析。结果表明: 16 个数量性状变异系数介于 8.2%~59.8%之间, 平均变异系数为 18.7%; 遗传多样性指数范围为 1.51~2.07, 平均值为 1.94。质量性状多样性指数范围为 0.08~1.52, 果实颜色、叶片颜色及叶缘形态的多样性较高, 而花瓣颜色、萼片存留等性状高度保守。相关性分析表明, 黄秋葵的叶片形态(如叶长与叶宽)、植株结构(如株高与株幅)及果实特征(如果实纵径与重量)之间存在紧密协同关系, 而产量相关性状(单株果数与种子数)则存在拮抗关系。主成分分析将 16 个数量性状简化为 4 个主成分, 累计贡献率达到 99.25%, 其中第 1 主成分贡献率为 96.17%, 表明株高、株幅、商品果长、商品果宽、商品果质量和单果种子数对表型多样性的影响最大。基于欧式距离的聚类分析, 将黄秋葵种质资源划分为四大类群, 类群 I 资源数量占比 70.16%, 主要表现为早熟(开花期短)、开花节位低、株高较矮、株幅较小, 单株果数多, 该类群资源适合用于选育早熟、高产、密植新品种; 类群 II 资源数量占比 25.81%, 主要表现为果较大、单果质量较大和叶片较大, 可用于选育中熟品种; 类群 III 和类群 IV 种质资源主要表现为晚熟, 株高较高, 叶较大, 生物产量较高, 适于选育饲料用品种。通过对黄秋葵种质资源表型性状的数量性状、质量性状遗传多样性和主成分分析、聚类分析, 阐明了各性状间的遗传变异、相关性以及遗传多样性关系, 明确了与早熟、高产等相关的性状, 为黄秋葵种质资源的保护和高效利用, 以及早熟、高产新品种的选育奠定基础。

关键词: 黄秋葵; 表型性状; 遗传多样性; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: Q949.757.3

文献标志码: A

Diversity Analysis of Phenotypic Traits of 124 *Abelmoschus esculentus* Germplasm Resources

ZHU Dan, LIU Ziji, QIN Yuling, YIN Xiaomin, WANG Xianli, LIU Weixia*

Institute of Tropical Crops Genetic Resources, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: Diversity, correlation, cluster analysis and principal component analysis were conducted on 16 quantitative traits and 13 qualitative traits of 124 germplasm resources of *Abelmoschus esculentus* to clarify the genetic diversity and phenotypic traits of *A. esculentus* germplasm resources, and to provide a reference basis for the identification, evaluation, and innovative utilization of *A. esculentus* resources. The coefficient of variation of the 16 quantitative traits ranged from 8.2% to 59.8%, with an average coefficient of variation of 18.7%. The genetic diversity index ranged from 1.51 to 2.07, with an average of 1.94. The diversity index of qualitative traits ranged from 0.08 to 1.52. The diversity of fruit color, leaf color and leaf margin morphology was relatively high, while traits such as petal color and sepal retention were highly conservative. Correlation analysis showed that there was a close synergistic relationship among the leaf morphology (such as leaf length and leaf width), plant structure (such as plant height and plant width) and fruit characteristics (such as fruit longitudinal diameter and weight) of *A. esculentus*, while there was an antagonistic relationship

收稿日期 2025-03-21; 接受日期 2025-03-30

基金项目 海南省自然科学基金项目(No. 320RC719); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(No. 1630032017013); 2024 年三亚科技繁星专项(No. 2024KJFX028)。

作者简介 朱 丹(1987—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 蔬菜种质资源与遗传育种。*通信作者(Corresponding author): 刘维侠(LIU Weixia), E-mail: weixialiu@126.com。

among yield-related traits (number of fruits per plant and number of seeds). Principal component analysis simplified the 16 quantitative traits into 4 principal components, with a cumulative contribution rate of 99.25%. The contribution rate of the first principal component was 96.17%, indicating that plant height, plant width, commercial fruit length, commercial fruit width, fruit weight, and seed number per fruit had the greatest impact on phenotypic diversity. Based on the cluster analysis of Euclidean distance, the germplasm resources of *A. esculentus* were divided into four major groups. Group I accounted for 70.16% of the resources and was mainly characterized by early maturity (short flowering period), low flowering node, short plant height, small plant width, and a high number of fruits per plant. This group was suitable for breeding new varieties with early maturity, high yield, and dense planting. Group II accounted for 25.81% of the resources and was characterized by larger fruits, heavier single fruit weight, and larger leaves, which could be used for breeding mid-season varieties. Group III and Group IV were primarily characterized by late maturity, taller plant height, larger leaves, and higher biomass yield, making them suitable for breeding feed-purpose varieties. Through quantitative and qualitative trait analyses of genetic diversity in okra germplasm resources, as well as principal component analysis and cluster analysis, the genetic variation, correlations, and genetic diversity relationships among various traits were elucidated. This study identified traits associated with early maturity and high yield, laying a foundation for the conservation and efficient utilization of okra germplasm resources, as well as for breeding new early-maturing and high-yielding varieties.

Keywords: *Abelmoschus esculentus*; phenotypic traits; genetic diversity; cluster analysis; principal component analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.07.010

黄秋葵 (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), 又名秋葵、咖啡黄葵、补肾果和羊角豆等, 为锦葵科秋葵属一年生或多年生草本植物, 原产于非洲热带地区^[1-3]。黄秋葵果实富含蛋白质、氨基酸、维生素和膳食纤维, 此外, 还含有多糖、果胶和黄酮类化合物, 具有丰富的营养价值、保健作用和药用价值^[4-6], 深受国内外消费者喜爱。

黄秋葵广泛分布于世界各地, 其中以热带和亚热带最为普遍, 种植面积较大的国家有印度、菲律宾、斯里兰卡、美国、科特迪瓦、尼日利亚、巴西等。据联合国粮食及农业组织统计, 黄秋葵主要生产国家拥有 2 万余份的种质资源, 其中以印度资源种类最为丰富, 保存资源 3434 份, 科特迪瓦保存 4185 份, 美国 2969 份, 法国 965 份, 菲律宾 968 份, 土耳其 563 份, 加纳 595 份, 其他国家 9500 余份^[7]。国内黄秋葵种质资源的收集保存起步较晚, 资源相对比较稀少, 遗传基础较狭窄。福建省农业科学院亚热带农业研究所收集保存黄秋葵种质资源 318 份^[7], 中国农业科学院麻类研究所收集保存 201 份种质资源^[8]。本研究团队收集保存 330 份种质资源, 并进行了初步的鉴定评价。

作物种质资源是新品种选育的重要物质基础, 种质资源的系统评价鉴定是作物研究的基础依据^[9-10]。目前, 种质资源的收集保存和系统鉴定评价是国内外育种工作者研究的热点, 而表型性状或农艺性状的鉴定评价, 依然是目前种质资源鉴定和筛选的最直接最有效的手段, 遗传变异

分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析是作物种质资源鉴定评价的主要方法和手段^[11-13]。黄秋葵种质资源鉴定评价工作主要体现在对种质资源表型性状、农艺性状和分子标记等方面。王小秋等^[14]对 150 份黄秋葵嫩果的 12 个质量性状和 9 个数量性状进行主成分分析、相关分析和聚类分析, 发现嫩果果实的表型性状具有丰富的遗传多样性, 各个性状之间存在一定的相关性。王维婷等^[15]对搜集的 41 份不同来源的黄秋葵种质结实特点进行聚类分析和主成分分析, 发现遗传多样性指数较大, 聚类分析可以明显区分果形、食用品质和产量等优势性状。洪建基等^[16]对 60 份黄秋葵种质资源的 31 个植物学特征和生物学特性进行遗传多样性分析和相关性分析发现, 黄秋葵种质资源植物学特征和生物学特性具有丰富的多样性, 利用性状间的相关性可以进行综合选择, 减少资源选择的盲目性。海南因地处热带气候条件下, 光热条件充足, 可常年种植黄秋葵, 生产的黄秋葵鲜果产量高、品质佳、果实浓绿顺直, 深受全国大中城市人们的青睐, 是海南冬季北运蔬菜、夏秋淡季蔬菜和出口创汇作物的重要组成部分。海南黄秋葵大部分实现了订单生产, 建立了稳定的生产-销售渠道, 在三亚已形成了规模种植, 并建立了自己的品牌“天涯秋葵”。目前, 黄秋葵大面积种植的品种大部分来自日本和中国台湾, 内地品种较少。因此, 系统鉴定黄秋葵种质资源、培育具有自主知识产权的新品种具有重

要的意义。

本研究对收集保存的 124 份黄秋葵种质资源 29 个表型性状进行遗传变异分析、聚类分析、相关性分析以及主成分分析，阐明各性状间的遗传变异、相关性以及遗传多样性关系，明确与早熟、高产等相关的性状，以期筛选出适宜在海南地区种植的早熟、高产优异资源，为黄秋葵种质资源保护和早熟、高产新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料 124 份供试黄秋葵材料分别来自中国、日本、美国、印度、泰国、坦桑尼亚等 9 个国家或地区。所有材料均由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所保存和提供(表 1)。

1.1.2 试验地概况 本研究于 2020—2021 年在中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所的试验基地进行，属典型的热带季风气候。年平均气温约为 24~25 ℃，全年无霜，温差较小。夏季高温可达 35 ℃以上，冬季较为温暖。分为明显的雨季（5—10 月）和旱季（11 月—次年 4 月）。年均降雨量约为 1200~1800 mm，年日照时数约 2000~2600 h。土壤为红壤和砖红壤，富含铁、铝氧化物，有机质含量相对较低。

表 1 黄秋葵种质资源名称和来源
Tab. 1 Names and sources of *A. esculentus* germplasm resources

序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source
1	HK1	尼日利亚	31	HK38	斯里兰卡	61	HK72	中国上海
2	HK2	中国北京	32	HK39	中国海南儋州	62	HK73	中国上海
3	HK3	中国北京	33	HK40	中国海南儋州	63	HK74	中国上海
4	HK4	中国北京	34	HK41	中国海南儋州	64	HK75	中国上海
5	HK5	尼日利亚	35	HK42	中国海南儋州	65	HK76	中国上海
6	HK6	中国北京	36	HK43	中国海南儋州	66	HK77	中国上海
7	HK8	中国北京	37	HK44	中国海南儋州	67	HK78	中国上海
8	HK9	中国北京	38	HK49	泰国	68	HK80	中国广东珠海
9	HK10	美国	39	HK50	泰国	69	HK81	中国福建福州
10	HK13	美国	40	HK51	印度	70	HK82	中国山东莱阳
11	HK14	泰国	41	HK52	印度	71	HK83	中国山东莱阳
12	HK15	中国北京	42	HK53	英国	72	HK84	中国山东莱阳
13	HK17	中国北京	43	HK54	坦桑尼亚	73	HK85	中国福建福州
14	HK18	中国北京	44	HK55	刚果布	74	HK86	中国山东莱阳
15	HK19	中国北京	45	HK56	斯里兰卡	75	HK87	中国台湾
16	HK20	中国北京	46	HK57	美国	76	HK88	中国山东莱阳
17	HK21	中国海南儋州	47	HK59	日本	77	HK89	中国山东莱阳
18	HK22	中国海南儋州	48	HK60	日本	78	HK90	中国山东莱阳
19	HK24	中国海南儋州	49	HK61	日本	79	HK91	中国福建福州
20	HK26	中国海南儋州	50	HK62	日本	80	HK92	中国湖南
21	HK25	中国海南儋州	51	HK58	日本	81	HK93	中国上海
22	HK27	中国海南儋州	52	HK63	中国山东莱阳	82	HK94	中国湖南
23	HK28	中国海南儋州	53	HK64	中国山东莱阳	83	HK95	中国湖南
24	HK29	中国海南儋州	54	HK65	中国山东莱阳	84	HK96	中国广东
25	HK30	中国海南儋州	55	HK66	中国山东莱阳	85	HK97	中国广西
26	HK31	中国海南儋州	56	HK67	中国山东莱阳	86	HK98	中国海南保亭
27	HK33	泰国	57	HK68	中国山东莱阳	87	HK99	中国北京
28	HK34	泰国	58	HK69	中国山东莱阳	88	HK100	中国辽宁辽阳
29	HK36	斯里兰卡	59	HK70	中国上海	89	HK101	中国福建福州
30	HK37	斯里兰卡	60	HK71	中国上海	90	HK102	中国福建福州

续表 1 黄秋葵种质资源名称和来源

Tab. 1 Names and sources of *A. esculentus* germplasm resources (continued)

序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source
91	HK103	中国福建福州	103	HK115	中国福建漳州	114	HK132	中国山东莱阳
92	HK104	中国北京	104	HK116	中国福建漳州	115	HK133	中国山东莱阳
93	HK105	中国广东	105	HK117	中国福建漳州	116	HK134	中国山东莱阳
94	HK106	中国海南乐东	106	HK118	中国福建漳州	117	HK135	中国山东莱阳
95	HK107	中国海南儋州	107	HK119	中国福建漳州	118	HK136	中国山东莱阳
96	HK108	中国福建漳州	108	HK120	中国福建漳州	119	HK137	中国山东莱阳
97	HK109	中国福建漳州	109	HK123	中国海南儋州	120	HK138	中国山东莱阳
98	HK110	中国福建漳州	110	HK126	美国	121	HK139	中国山东莱阳
99	HK111	中国福建漳州	111	HK128	美国	122	HK140	中国山东莱阳
100	HK112	中国福建漳州	112	HK130	中国海南保亭	123	HK149	中国广东珠海
101	HK113	中国福建漳州	113	HK131	中国山东莱阳	124	HK150	中国广东珠海
102	HK114	中国福建漳州						

1.2 方法

1.2.1 试验设计 田间试验采用随机区组设计,3次重复。每个重复共 124 个小区。于 2020 年 5 月 17 日播种。双行种植,行距 60 cm、穴距 45 cm,每份材料播种 20 穴,每穴播 5~6 粒种子。幼苗 4~5 片真叶期去杂定苗,每穴 1 株,确保小区有效株数 20 株。黄秋葵出苗后及时追施齐苗肥,施尿素 6~8 kg/667 m²;第二次施提苗肥,在定苗或定植后开沟撒施,施复合肥 15~20 kg/667 m²;苗高 30 cm,进入结果期时,重施追肥,施复合肥 25~30 kg/667 m²;生长中、后期,酌情多次少量施追肥,防止植株早衰;秋葵幼苗出土或定植后,要避免幼苗与杂草争肥争水,及时中耕除草,每 7~10 d 进行 1 次中耕除草;黄秋葵不耐涝,雨季注意排水,防止死苗。

1.2.2 农艺性状考察标准和方法 根据《特种蔬菜种质资源描述规范》^[17]并稍作修改。共调查 16 个数量性状和 13 个质量性状。数量性状包括开花期(FD)、第一花节位(FFN)、盛果期株高(PH)、株幅(PW)、叶片长(LL)、叶片宽(LW)、叶柄长(PL)、叶柄粗(PT)、商品果长(CFL)、商品果宽(CFT)、商品果质量(CFW)、熟果长(MFL)、熟果宽(MFT)、熟果质量(MFW)、单株果数(FN)和单果种子数(SN)。质量性状包括叶缘(LE)、叶片形状(LS)、叶片颜色(LC)、茎颜色(SC)、茎茸毛(SF)、花瓣颜色(PC)、花基部红色(FBR)、萼片存留(SR)、果实姿态(FP)、果实颜色(FC)、果实形状(FS)、果实横截面(FTS)和果实茸毛(FF)。于结果盛期对

植株、叶片、花、果实和种子性状进行观测,采收末期对单株果数进行统计。每份材料随机选取 10 株,观察质量性状,测量数量性状并取其平均值。质量性状调查参考表 2。

1.3 数据处理

通过 R 软件对 124 份黄秋葵资源的表型性状进行汇总、变异分析、相关性分析、主成分分析,利用 Origin 2021 软件进行聚类分析。变异系数/%=(标准差/均值)×100%;根据平均值($\bar{X}$)和标准差(σ)将数量性状分为 10 级:第 1 级为 $X_i < \bar{X} - 2\sigma$,第 2 级为 $\bar{X} - 2\sigma \leq X_i < \bar{X} - 1.5\sigma$,第 3 级为 $\bar{X} - 1.5\sigma \leq X_i < \bar{X} - \sigma$,以此类推,中间每级相差 0.5 σ 。利用 Shannon-Weiner 软件计算各性状的多样性指数(H)。 $H = -\sum P_i \ln P_i$,式中 P_i 表示第 i 种变异出现的频率。

2 结果与分析

2.1 黄秋葵种质资源主要数量性状的变异及多样性

本研究共对 124 份黄秋葵资源的 16 个数量性状进行测定,结果显示变异系数介于 8.2%~59.8%之间(表 3)。其中,第一花节位表现出最高的变异系数,达到 59.8%,表明该性状在不同种质资源间差异显著;而叶片长的变异系数最低,为 8.2%,说明其稳定性较高。在植株生长方面,株高的变异系数为 34.2%,变异幅度为 73.0~362.3 cm,平均值为 114.8 cm,表明植株高度差异显著。株幅的变异系数为 15.3%,变异幅度为 73.0~145.0 cm,平均值为 104.7 cm,植株冠幅较

表 2 黄秋葵质量性状调查项目及赋值情况
Tab. 2 Investigation items and assignment situations of the qualitative traits of *A. esculentus*

调查性状 Investigated trait	调查记载及赋值标准 Investigation record and assignment criteria
叶缘	1. 浅裂掌状；2. 半裂掌状；3. 深裂掌状；4. 羽状全裂
叶片形状	1. 近心脏五角；2. 心脏五角；3. 浅裂近掌状五角；4. 全裂掌状五角
叶片颜色	1. 黄绿色；2. 浅绿；3. 绿色；4. 深绿色；5. 绿色带红色叶脉
茎颜色	1. 绿色；2. 深绿色；3. 浅绿色；4. 红色；5. 紫红色
茎茸毛	1. 无毛；2. 少毛
花瓣颜色	1. 奶油色；2. 黄色
花基部红色	1. 只有里面存在；2. 两面存在
萼片存留	1. 开花后 7 d 不存留；2. 部分存留（超过 7 d）；3. 存留
果实颜色	1. 黄白；2. 黄绿色；3. 浅绿色；4. 绿色；5. 深绿色；6. 红色
果实形状	1. 长弯棒；2. 短棒；3. 短细棒；4. 长锥形；5. 粗短大锥形；6. 弯刀形
果实姿态	1. 直立；2. 微斜；3. 混生
果实茸毛	1. 多毛；2. 轻微粗毛；3. 多刺
果实横截面	1. 圆形；2. 五角型；3. 多角形

为稳定。开花期的变异系数为 18.4%，变异幅度为 46.0~102.0 d，平均值为 59.4 d，反映出不同资源开花时间的适度差异。与果实相关的性状中，商品果长的变异系数为 10.4%，变异幅度为 7.3~12.7 cm，平均值为 10.3 cm；商品果宽的变异系数为 10.9%，变异幅度为 12.8~21.2 mm，平均值为 16.4 mm，表明商品果实尺寸相对稳定。商品果质量的变异系数为 20.3%，变异幅度为 7.7~18.4 g，平均值为 12.1 g，显示果实质量在不同资源间差异较大。熟果质量的变异系数为 21.9%，变异幅度为 22.7~67.4 g，平均值为 39.0 g，进一步印证成熟果实质量的显著变异。叶片相关的性状中，叶长的变异系数为 8.2%，变异幅度为 27.0~40.3 cm，平均值为 32.6 cm；叶宽的变异系数为 9.2%，变异幅度为 26.5~45.0 cm，平均值为 35.5 cm，表明叶片尺寸较为一致。叶柄长的变异系数为 15.8%，变异幅度为 29.0~60.7 cm，平均值为 43.1 cm，显示叶柄长度存在一定差异。关于产量相关性状，单株果数的变异系数为 22.2%，变异幅度为 9.3~38.0，平均值为 23.6，说明单株产量潜力在不同资源间差异明显。单果种子数的变异系数为 18.6%，变异幅度为 27.0~114.3，平均值为 72.4，表明种子数量具有较高的多样性。

16 个数量性状的多样性指数范围为 1.51~2.07，平均值为 1.93。多样性指数较高的 4 个性

状为叶长（2.07）、熟果长（2.07）、熟果宽（2.06）和商品果宽（2.06），表明叶片和果实性状的遗传多样性较为丰富；而第一花节位（1.51）、开花期（1.53）和株高（1.63）的多样性指数较低，反映出植株生长性状变异有限。

综上，黄秋葵资源的数量性状中，果实质量、单株产量及第一花节位的变异程度较高，而叶片尺寸和商品果实形态的稳定性较强，这为早熟、高产种质资源的筛选提供重要依据。

2.2 黄秋葵质量性状多样性

本研究共调查了 124 份黄秋葵资源的 13 个质量性状，质量性状多样性指数范围为 0.08~1.52（表 4）。其中，果实颜色的多样性指数最高（1.52），叶片颜色（0.76）和叶缘（0.75），表明果实与叶片颜色及叶缘形态的遗传多样性较丰富；而花瓣颜色（0.08）和萼片存留（0.13）的多样性指数最低，说明这两类性状在种质资源中高度一致。关于花部性状，花瓣颜色中，98.4%的资源为等级 1（奶油色），仅 1.6%为等级 2（黄色），表明花瓣颜色高度保守。花基部红色中 30.7%为等级 1（只有里面存在），69.3%为等级 2（两面存在），显示花基部颜色具有显著分化。萼片存留中，98.4%为等级 2（部分存留），仅 1.6%为等级 1（开花后 7 d 不存留）或等级 3（存留），表明萼片脱落为优势特征。关于茎部性状，茎颜色中 80.6%

表 3 124 份黄秋葵资源数量性状的变异与多样性指数
Tab. 3 Diversity index and variation of quantitative traits in 124 *A. esculentu* resources

性状 Trait	最大值 Maximum	最小值 Minimum	均值 Mean value	标准差 SD	变异系数 CV/%	多样性指数 <i>H</i>
开花期/d	102.0	46.0	59.4	10.9	18.4	1.53
株高/cm	362.3	73.0	114.8	39.2	34.2	1.63
株幅/cm	145.0	73.0	104.7	16.0	15.3	1.98
第一花节位	36.6	5.2	10.8	6.5	59.8	1.51
叶片长/cm	40.3	27.0	32.6	2.7	8.2	2.07
叶片宽/cm	45.0	26.5	35.5	3.3	9.2	2.03
叶柄长/cm	60.7	29.0	43.1	6.8	15.8	2.02
叶柄粗/mm	9.6	5.5	7.6	0.7	9.6	2.04
商品果长/cm	12.7	7.3	10.3	1.1	10.4	2.05
商品果宽/mm	21.2	12.8	16.4	1.8	10.9	2.06
商品果质量/g	18.4	7.7	12.1	2.5	20.3	2.03
熟果长/cm	25.8	13.4	19.4	2.7	13.7	2.06
熟果宽/mm	32.0	18.1	24.6	2.8	11.5	2.07
熟果质量/g	67.4	22.7	39.0	8.6	21.9	2.03
单株果数	38.0	9.3	23.6	5.2	22.2	2.02
单果种子数	114.3	27.0	72.4	13.5	18.6	1.96

表 4 124 份黄秋葵资源质量性状的变异与多样性指数
Tab. 4 Diversity index and variation of quality traits in 124 *A. esculentus* germplasm accessions

性状 Trait	等级分布 Distribution of grade						多样性指数 <i>H</i>
	1	2	3	4	5	6	
花瓣颜色	122	2					0.08
花基部红色	38	86					0.62
萼片存留	2	121	1				0.13
茎颜色	100	14	8	1	1		0.67
茎茸毛	112	12					0.32
叶片颜色	2	6	96	18	2		0.76
叶缘	17	94	12	1			0.75
叶片形状	18	94	11	1			0.74
果实姿态	102	21	1				0.50
果实横截面	3	115	6				0.32
果实颜色	10	9	23	43	36	3	1.52
果实形状	43	31	16	1	1	32	1.41
果实茸毛	7	110	7				0.43

为等级 1 (绿色), 11.3%为等级 2 (深绿色), 6.5%为等级 3 (浅绿色), 其余等级占比不足 1%, 显示茎颜色以绿色为主, 少数具变异。茎茸毛 (SF) 90.3%为等级 1 (无茸毛), 9.7%为等级 2 (具茸毛), 表明茸毛性状较为单一。关于叶片性状, 叶片颜色中 77.4%为等级 3 (绿色), 14.5%为等级 4 (深绿色), 其余等级占比不足 5%, 显示叶片颜

色以绿色和深绿为主。叶缘中 75.8%为等级 2 (半裂掌状), 9.7%为等级 1 (浅裂掌状), 表明锯齿叶缘为常见特征。叶片形状中 75.8%为等级 2 (心脏五角), 14.5%为等级 1 (近心脏五角), 其余等级占比不足 10%, 说明心脏五角型叶片占主导地位。关于果实性状, 果实姿态中 82.3%为等级 1 (直立), 16.9%为等级 2 (微斜), 表明直立果实

姿态为优势表型。果实横截面中，92.7%为等级 2（五角型），4.8%为等级 1（多角形），显示五角型横截面占主导地位。果实颜色中 34.7%为等级 4（绿色），29.0%为等级 5（深绿色），23.4%为等级 3（浅绿色），其余等级占比较少，表明果实颜色呈现多样化分布。果实形状中，34.7%为等级 1（长弯棒），25.0%为等级 2（短棒），25.8%为等级 6（弯刀形），其余等级占比分散，反映果实形状存在显著差异。果实茸毛中 88.7%为等级 2（轻微粗毛），5.6%为等级 1（多毛），说明轻微粗毛果实占绝对优势。

综上，黄秋葵资源的质量性状中，果实颜色、叶片颜色及叶缘形态等的多样性较高，而花瓣颜色、萼片存留等性状高度保守，这为品种分类和性状改良提供了关键依据。

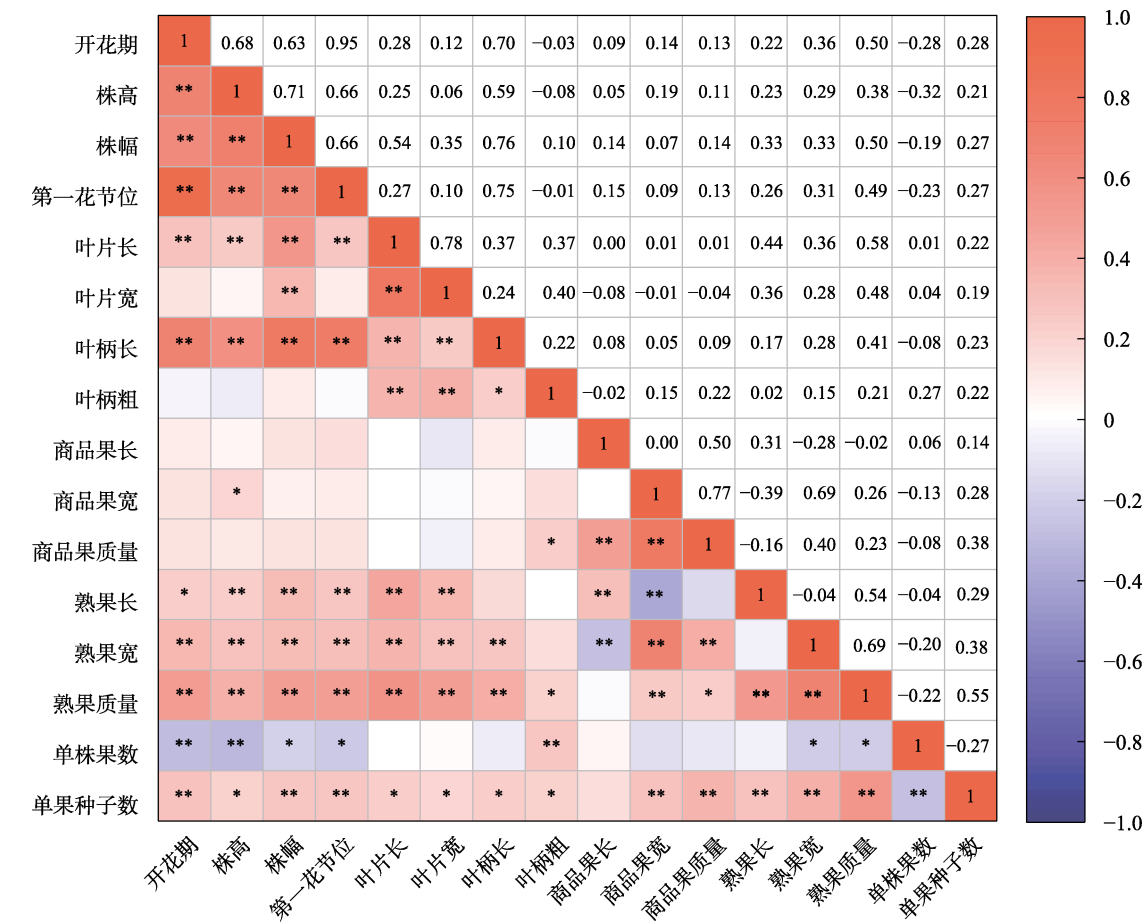
2.3 黄秋葵农艺性状间的相关分析

相关性分析结果显示，黄秋葵的表型性状之

间存在多组显著的相关关系（图 1）。生长性状之间呈极显著正相关性，包括开花期和第一花节位（0.95）、叶片长与叶片宽（0.78）、株幅与叶柄长（0.76）、叶柄长与第一花节位（0.75）。此外，商品果宽与商品果质量（0.77）、熟果质量与熟果宽（0.69）等果实性状之间也存在极显著正相关性。单株果数与单果种子数的相关系数为-0.27，表现出极显著负相关。此外，开花期与单株果数的相关系数为-0.28，也显示一定的负相关。以上结果表明，黄秋葵的叶片形态（如叶长与叶宽）、植株结构（如株高与株幅）及果实特征（如果实纵径与重量）之间存在紧密协同关系，而产量相关性状（单株果数与种子数）则存在拮抗关系，这为后续育种中性状协同改良提供重要参考。

2.4 黄秋葵种质资源农艺性状的主成分分析

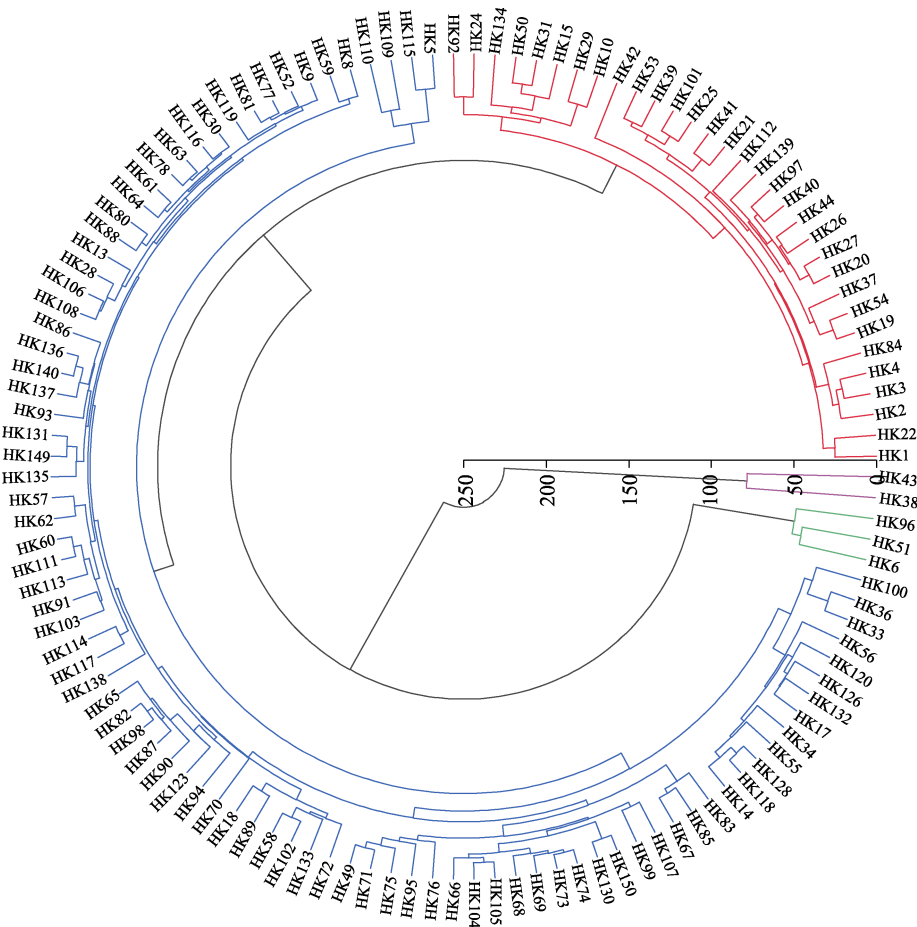
对 124 份黄秋葵资源数量性状进行标准化处理后，共提取 4 个主成分，累计贡献率达到



*表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)。
* indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

图 1 黄秋葵资源数量性状的相关性分析
Fig. 1 Correlation analysis of quantitative traits of *A. esculentus*

充分体现了黄秋葵种质对环境适应性与遗传变异的潜力。表型性状的多样性分析因其操作简便、成本较低,已成为植物遗传多样性研究的核心方法之一,本研究进一步验证了该方法在黄秋葵遗



蓝色框线为类群 I，红色框线为类群 II，粉色框线为类群 III，绿色框线为类群 IV。
The blue frame line represents group I, the red frame line represents group II, the pink frame line represents group III, and the green frame line represents group IV.

图 3 基于 16 个数量性状的 124 份黄秋葵种质资源聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of 124 *A. esculentus* germplasm resources based on 16 quantitative traits

传资源研究中的适用性。

本研究中，黄秋葵数量性状的变异系数范围为 8.2%~59.8%，其中第一花节位（59.8%）、单果种子数（18.6%）和单株果数（22.2%）等性状表现出较高的变异系数，表明这些性状在不同种质间存在显著的遗传差异，为高产、抗逆等目标性状的筛选提供了丰富的遗传基础。YILDIZ 等^[18]对 66 份不同地理来源的黄秋葵种质进行了评价，所有性状同样在种质间存在显著的变异。本研究中 16 个数量性状，第一花节位是变异系数最大的，与王小秋等^[14]研究的单果质量变异系数最大（25.97%）的结论不一致，其原因可能是供试材料不同。相关性分析揭示了黄秋葵农艺性状间的协同与拮抗关系。叶长与叶宽（ $r=0.78$ ）、株幅与叶柄长（ $r=0.76$ ）的极显著正相关表明叶片形态与植株结构的协同进化；商品果宽与商品果质量

（0.77）、熟果质量与熟果宽（0.69）等果实性状之间存在极显著正相关，这与康泽培等^[8]研究的蒴果宽度与单果质量存在相关性的结论一致，表明果实的质量与果实大小有一定的关系，如若选育高产的品种可以通过果实较大或单果质量较大的亲本来实现。

主成分分析是一种降维统计方法，广泛应用于作物种质资源研究，可有效揭示多个性状间的内在关系，识别影响表型多样性的关键因素。本研究将 16 个表型性状简化为 4 个主成分，选出株高、株幅、商品果长、商品果宽、商品果质量和单果种子数为第一主成分的主要影响因素，累计贡献率为 96.17%，这与蒋瑶等^[19]黔东南地区 21 个黄秋葵品种主成分分析结果基本一致，说明上述用于主成分分析的因子能够对黄秋葵资源进行综合评价。

聚类分析可以直观明了地展示植物种质资源之间的亲缘关系^[20], 可有效揭示群体结构, 指导品种选育和遗传资源管理。本研究采用 Origin 2021 软件对 124 份黄秋葵种质资源 16 个数量性状进行聚类, 将 124 份种质资源分为 4 个类群。从种质资源聚类结果来看, 聚类类别与地域来源无直接相关性, 即不同类群中均包含有多个来源地的资源, 这与 YILDIZ 等^[18]的研究结果不一致, 推测其原因是由于世界范围内研究机构交流频繁, 相互交换资源, 不同地域的种质资源之间可能存在基因流动和杂交现象, 导致遗传背景的混合, 从而模糊了地域差异。从聚类分析结果来看, 类群 I 中的种质比较早熟, 第一开花节位低, 植株较矮、株型紧凑、单株产量高, 适合用于选育早熟、高产的品种; 类群 III 和类群 IV 中的种质非常晚熟, 第一开花节位高, 株高较高, 生物量大, 可以用于选育饲料用品种^[21]。

综上, 本研究系统评价了黄秋葵种质资源的遗传多样性, 揭示了关键性状的变异模式与关联规律, 为精准育种和种质创新提供科学依据。然而, 研究仍存在一定局限性, 例如未深入探讨环境因子(如海南热带气候)对性状表达的影响, 且样本地理覆盖范围有待扩展。未来可结合分子标记技术, 验证表型多样性背后的遗传机制, 并开展多环境试验以筛选广适应性种质, 进一步推动黄秋葵育种工作的提质增效。

参考文献

- [1] 邓爱华, 王云, 谢鹏, 彭友林, 易梦媛, 刘康珂. 黄秋葵营养价值研究进展[J]. 农产品加工, 2020(7): 81-84.
DENG A H, WANG Y, XIE P, PENG Y L, YI M Y, LIU K K. Research progress on nutritional value of okra[J]. Farm Products Processing, 2020(7): 81-84. (in Chinese)
- [2] 刘维侠, 曹振木, 党选民, 杨衍. 保健蔬菜黄秋葵遗传育种研究进展[J]. 热带农业工程, 2012, 36(6): 26-29.
LIU W X, CAO Z M, DANG X M, YANG Y. Research progress on genetics and breeding of okra: a vegetable for health maintenance[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2012, 36(6): 26-29. (in Chinese)
- [3] 彭君, 朱德彬, 王小凤, 李湘秋. 黄秋葵研究现状及萍乡市黄秋葵研究进展[J]. 长江蔬菜, 2021(16): 31-35.
PENG J, ZHU D B, WANG X F, LI X Q. Research status of okra and research progress of okra in Pingxiang city[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2021(16): 31-35. (in Chinese)
- [4] GAO H, ZHANG W C, WANG B S, HUI A L, DU B, WANG T T, MENG L, BIAN H X, WU Z Y. Purification, characterization and anti-fatigue activity of polysaccharide fractions from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)[J]. Food and Function, 2018, 9(2): 1088-1101.
- [5] ISLAM M T. Phytochemical information and pharmacological activities of okra (*Abelmoschus esculentus*): a literature-based review[J]. Phytotherapy Research, 2018, 33(1): 72-80.
- [6] DALIU P, ANMUNZIATA G, TENORE G C, SANTINI A. Abscissic acid identification in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench): perspective nutraceutical use for the treatment of diabetes[J]. Natural Product Letters, 2020, 34(1): 3-9.
- [7] 余文权, 郑开斌, 周红玲. 黄秋葵种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016.
YU W Q, ZHENG K B, ZHOU H L. Descriptive specification and data standard of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) germplasm resources[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016. (in Chinese)
- [8] 康泽培, 孙健, 张小雨, 赵大伟, 陈基权, 杨泽茂, 谢冬微, 唐婧, 许英, 邓灿辉, 程超华, 粟建光, 戴志刚. 黄秋葵种质资源主要农艺性状的综合评价[J]. 种子, 2024, 43(1): 43-51, 75.
KANG Z P, SUN J, ZHANG X Y, ZHAO D W, CHEN J Q, YANG Z M, XIE D W, TANG Q, XU Y, DENG C H, CHENG C H, SU J G, DAI Z G. Comprehensive evaluation of main agronomic traits of *Abelmoschus esculentus* L. Moench germplasm resources[J]. Seed, 2024, 43(1): 43-51. (in Chinese)
- [9] 王现丽, 党选民, 贺滢, 詹园凤. 小型黄皮西瓜种质资源表型多样性分析与综合评价[J]. 长江蔬菜, 2024(18): 35-41.
WANG X L, DANG X M, HE H, ZHAN Y F. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of mini yellow-rind watermelon germplasm resources[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2024(18): 35-41. (in Chinese)
- [10] 全成哲, 李淑芳, 李鹤南, 于维, 金京华. 吉林省 73 份审定水稻品种的表型性状遗传多样性研究[J]. 作物杂志, 2024(3): 64-75.
QUAN C Z, LI S F, LI H N, YU W, JIN J H. Genetic diversity study of phenotypic traits of 73 rice varieties by approved in Jinlin province[J]. Crops, 2024(3): 64-75. (in Chinese)
- [11] 钱景扬, 卢莉莉, 李芹, 汤寓涵, 陶俊, 赵大球. 中国芍药品种资源表型性状多样性分析[J]. 园艺学报, 2025, 52(2): 349-364.
QIAN J Y, LU L L, LI Q, TANG Y H, TAO J, ZHAO D Q. Diversity analysis of phenotypic traits for Chinese herba-

- ceous peony cultivar resources[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2025, 52(2): 349-364. (in Chinese)
- [12] 谢雪果, 彭晓云, 李云驹, 张白鸽, 唐俊瑜, 施延达, 冯元姣, 常静静, 许玲, 于冬冬. 115 份设施番茄表型性状遗传多样性分析[J]. *江苏农业学报*, 2024, 40(8): 1361-1370.
XIE X G, PENG X Y, LI Y J, ZHANG B G, TANG J Y, SHI Y D, FENG Y J, CHANG J J, XU L, YU D D. Genetic diversity and analysis of phenotypic traits in 115 facility tomatoes[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 40(8): 1361-1370. (in Chinese)
- [13] 郑雅璐, 李祥羽, 孙广全, 李志江, 马金丰, 董晓杰. 黑龙江省农家菜豆遗传多样性分析及综合评价[J]. *北方园艺*, 2024(23): 1-8.
ZHENG Y L, LI X Y, SUN G Q, LI Z J, MA J F, DONG X J. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of rural kidney bean in Heilongjiang province[J]. *Northern Horticulture*, 2024(23): 1-8. (in Chinese)
- [14] 王小秋, 葛礼姣, 仇亮, 翟彩娇, 程玉静, 赵剑华, 孙健, 谢冬薇, 戴志刚. 黄秋葵种质资源的嫩果表型性状多样性分析[J]. *南方农业学报*, 2023, 54(2): 444-453.
WANG X Q, GE L J, QIU L, ZHAI C J, CHENG Y J, ZHAO J H, SUN J, XIE D W, DAI Z G. Diversity analysis of phenotypic traits of okra young fruit[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54(2): 444-453. (in Chinese)
- [15] 王维婷, 郭淑, 刘超, 程安玮, 孙金月. 黄秋葵种质资源结实特点遗传多样性评价[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(2): 26-29, 35.
WANG W T, GUO X, LIU C, CHENG A W, SUN J Y. Genetic diversity evaluation on fruiting characteristics of okra germplasms[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(2): 26-29, 35. (in Chinese)
- [16] 洪建基, 曾日秋, 姚运法, 李和平, 练冬梅. 黄秋葵种质资源遗传多样性及相关性分析[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(28): 79-84.
HONG J J, ZENG R Q, YAO Y F, LI H P, LIAN D M. Genetic diversity and correlation analysis of okra germplasm resources[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(28): 79-84. (in Chinese)
- [17] 党选民, 李建国, 刘维侠. 特种蔬菜种质资源描述规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
DANG X M, LI J G, LIU W X. Specification for description of germplasm resources of special vegetables[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. (in Chinese)
- [18] YILDIZ M, SIRKE S T, KOCAK M, MANCAK I, ÖZKAYA A A, ABAK K, ÖZKAYA O, CAVAGNARO P F. Characterization of a diverse okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) germplasm collection based on fruit quality traits[J]. *Plants*, 2025, 14(4): 1-17.
- [19] 蒋瑶, 陈文波, 陈仙君, 罗家雄. 黄秋葵种质资源引种鉴定评价[J]. *种子*, 2025, 44(2): 150-161.
JIANG Y, CHEN W B, CHEN X J, LUO J X. Identification and evaluation on the introduction of *Abelmoschus esculentus* germplasm resources[J]. *Seed*, 2025, 44(2): 150-161. (in Chinese)
- [20] 任婧, 杜小平, 王迎宾, 司鲁俊, 薛志霞, 王雅楠. 番茄主要农艺性状的相关性研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2021(5): 42-45.
REN J, DU X P, WANG Y B, SI L J, XUE Z X, WANG Y N. Correlation of main agronomic traits in tomato[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2021(5): 42-45. (in Chinese)
- [21] 罗燕春, 张绪元, 刘国道. 论黄秋葵的育种前景[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(20): 8539-8540, 8545.
LUO Y C, ZHANG X Y, LIU G D. Prospect of the breeding of okra[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(20): 8539-8540, 8545. (in Chinese)