



汤肖玮, 衡燕, 刘晨, 邵和平, 曲晓慧, 夏明霞, 张宁宁. 基于22个表型性状的朱顶红种质多样性分析及综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(04): 137-151.
TANG Xiaowei, HENG Yan, LIU Chen, SHAO Heping, QU Xiaohui, XIA Mingxia, ZHANG Ningning. Diversity analysis and comprehensive evaluation of *Hippeastrum* germplasm based on 22 phenotypic traits[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(04): 137-151.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.04.11

基于22个表型性状的朱顶红种质多样性分析及综合评价

汤肖玮 衡燕 刘晨 邵和平 曲晓慧 夏明霞 张宁宁*

(江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 南京 210046)

摘要 为探究朱顶红种质资源的表型性状多样性,以149份朱顶红种质为试材测定22个表型性状,结合多样性指数、相关性分析、主成分分析及聚类分析等方法综合评价其观赏性状差异,揭示表型分化规律并筛选优良种质。结果表明:149份朱顶红种质质量性状和数量性状变异系数均值分别为:42.02%、24.30%,多样性指数范围分别为0.54~1.04、1.40~2.09;相关性分析表明,22个表型性状间存在不同程度的相关性,其中花茎宽度与8个性状呈极显著正相关,是所有性状中极显著相关性关联指标最多的性状;系统聚类将149份朱顶红种质分为6类,包括高壮型、细高型、小花瓣型、大花瓣型、细矮型和矮壮型;主成分分析表明,5个主成分累计贡献率为65.412%,这些主成分能够描述朱顶红表型的大部分信息;利用隶属函数法进行观赏性综合评价, F 值变化范围为-6.06~5.64,获得排名前10的综合性状优异的朱顶红种质资源,分别为‘可爱仙女’‘樱桃妮芙’‘贝尼托’‘达芙妮’‘玛丽莲’‘斯巴达克斯’‘天文学家’‘汝釉’‘翠凝红’‘娜佳’,其中自育种质有2个。本研究为系统解析种质资源的优势变异特征奠定基础,同时可依据各种质性状特征,筛选优良育种亲本,为种质创新提供理论依据。

关键词 朱顶红; 种质资源; 表型性状; 多样性; 综合评价

中图分类号 S682.2+9

文章编号 1007-4333(2026)04-0137-15

文献标志码 A

Diversity analysis and comprehensive evaluation of *Hippeastrum* germplasm based on 22 phenotypic traits

TANG Xiaowei, HENG Yan, LIU Chen, SHAO Heping, QU Xiaohui,
XIA Mingxia, ZHANG Ningning*

(Jiangsu Hilly Area Nanjing Institute of Agricultural Sciences, Nanjing 210046, China)

Abstract To explore the phenotypic trait diversity of *Hippeastrum* germplasm resources, 149 *Hippeastrum* germplasm accessions were used as experimental materials, 22 phenotypic traits were measured. Comprehensive evaluation was conducted using diversity index, correlation analysis, principal component analysis (PCA), and cluster analysis to systematically assess genetic diversity and ornamental trait variation, reveal phenotypic differentiation patterns, and identify superior germplasm. The results indicate that for the 149 *Hippeastrum* germplasm accessions, the mean coefficients of variation (CV) for qualitative and quantitative traits were 42.02% and 24.30%, respectively, while the Shannon diversity indices (H') ranged from 0.54 to 1.04 for qualitative traits and 1.40 to 2.09 for quantitative traits. Correlation analysis demonstrated varying degrees of association among the 22 phenotypic traits. Hierarchical clustering classified the germplasm into six distinct groups: tall-robust, slender-tall, small-petaled, large-petaled, slender-dwarf and dwarf-compact types. Principal component analysis revealed that the first five principal components cumulatively explained 65.412%

收稿日期: 2025-08-14; 接受日期: 2026-01-08

基金项目: 江苏省省级作物种质资源库(朱顶红)项目(JS-ZW-K17); 甘薯、草莓等品种资源保存与利用项目(宁农计[2025]9号)

第一作者: 汤肖玮(ORCID:0000-0002-4918-3608), 助理研究员, 主要从事观赏园艺植物品种选育及栽培繁育技术研究, E-mail:1601024794@qq.com

通讯作者: 张宁宁(ORCID:0009-0009-8211-0302), 副研究员, 主要从事观赏园艺植物品种引选及栽培繁育技术研究, E-mail:1648306670@qq.com

of the phenotypic variation, effectively capturing the majority of morphological diversity. Based on ornamental evaluation using the membership function method, the comprehensive evaluation scores (F -values) ranged from -6.06 to 5.64 , correspond to ‘Lovely Nymph’, ‘Cherry Nymph’, ‘Benito’, ‘Velvet Nymph’, ‘Marilyn’, ‘Spartacu’, ‘Stargazer’, ‘Ru You’, ‘Micui Ninghong’ and ‘Naranja’, including two elite breeding lines. This study lays a foundation for systematically analyzing the superior variation characteristics of germplasm resources, and can screen excellent candidate breeding parents based on various germplasm traits, thereby providing a theoretical basis for germplasm innovation.

Keywords *Hippeastrum*; germplasm resources; phenotypes traits; diversity; comprehensive evaluation

朱顶红(*Hippeastrum*)是石蒜科(*Amaryllidaceae*)多年生球根植物,原产于南美洲热带及亚热带地区,花型硕大、花色艳丽,具有丰富的种质资源,是高档切花、盆栽及园林景观中明星种质^[1]。朱顶红寓意美好,是赠送亲友表达祝福的佳品,也常见于艺术创作中,寄托着人们对美好生活的愿景^[2]。近年来,商业育种通过持续的种质创新,不断培育出契合市场需求的新优种质。开展种质资源评价分类与表型多样性研究,不仅是筛选优异种质、挖掘功能基因的重要途径,更对植物新种质选育及种质资源高效利用具有重要意义^[3]。该方法已在蝴蝶兰(*Phalaenopsis*)^[4]、芍药(*Paeonia lactiflora*)^[5]、菊花(*Chrysanthemum morifolium*)^[6-7]、月季(*Rosa hybrida*)^[8]等花卉物种中广泛应用。吕文涛等^[1]基于EST-SSR标记完成朱顶红种质遗传鉴定,明确了种质间亲缘关系;王黎等^[9]利用SCoT标记体系,分析了朱顶红品种的遗传多样性、亲缘关系及分子水平遗传变异;张林^[10]对56个朱顶红品种的形态指标进行多样性分析,将其划分为单瓣和重瓣等5类。然而,朱顶红种质资源评价与遗传育种研究仍较薄弱,制约了定向育种与性状改良的进程。表型性状是基因型与环境互作的直观体现,其多样性

可有效反映物种遗传结构异质性,是开展种质资源多样性研究的重要切入点。因此,开展朱顶红形态性状综合评价及多样性分析,对挖掘其育种潜力、优化杂交策略具有重要科学意义与应用价值。本研究拟对江苏省朱顶红种质资源库中149份朱顶红种质资源的22个典型表型性状,包括花朵、花茎和叶片等性状多样性进行分析,运用多样性指数、相关性、聚类 and 主成分分析(PCA)等多种分析方法进行综合比较评价,从形态学上研究朱顶红种质资源的表型多样性,为系统评价朱顶红的种质特性、促进种质资源的高效利用及新优种质培育提供支撑和方向,推动产业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2024—2025年在江苏丘陵地区南京农业科学研究所仙林基地“江苏省省级作物种质资源库(朱顶红)”进行。参试种质共149份,涵盖亚洲、欧洲、美洲和非洲等主要产区的栽培品种,且覆盖株高、花型和花瓣大小等核心表型的不同梯度。其中17份为自育朱顶红种质(133~149),来源详见表1。

表 1 149 份朱顶红种质资源及编号
Table 1 149 hippeastrum germplasm resources with unique identifiers

编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin	编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin
1	芭蕾舞女	重瓣	南非	76	多夫莱特	重瓣	荷兰
2	花瓶/格瓦斯	单瓣	荷兰	77	幸福妮芙	重瓣	荷兰
3	花边石竹	单瓣	荷兰	78	糖果仙女	重瓣	荷兰
4	粉色惊奇	单瓣	荷兰	79	明亮妮芙	重瓣	荷兰
5	黑天鹅	单瓣	荷兰	80	达芙妮	重瓣	荷兰
6	诱惑	单瓣	荷兰	81	粉色荣耀	重瓣	荷兰
7	紫雨	重瓣	荷兰	82	白黛丝	重瓣	荷兰
8	双重惊喜	重瓣	荷兰	83	迷世	单瓣	荷兰
9	双龙	重瓣	荷兰	84	杏色冰糕	单瓣	荷兰

表1(续)

编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin	编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin
10	双迹	重瓣	荷兰	85	魅力四射	单瓣	荷兰
11	珍妮小姐	重瓣	荷兰	86	启示	单瓣	荷兰
12	贝尼托	重瓣	荷兰	87	红宝石之星	单瓣	荷兰
13	天后	重瓣	荷兰	88	糖果皇后	单瓣	荷兰
14	双梦	重瓣	荷兰	89	埃及艳后	单瓣	荷兰
15	玛丽莲	重瓣	荷兰	90	绿色山谷	单瓣	荷兰
16	仙女	重瓣	荷兰	91	卡门	单瓣	荷兰
17	美丽仙女	重瓣	荷兰	92	丁香挚爱	单瓣	荷兰
18	苏珊	单瓣	荷兰	93	波丽露	单瓣	荷兰
19	魔幻绿色	半重瓣	荷兰	94	合恩角	单瓣	秘鲁
20	苹果花	单瓣	荷兰	95	曝光	单瓣	荷兰
21	红狮	单瓣	荷兰	96	狂热安第斯	单瓣	荷兰
22	橙色赛维	单瓣	秘鲁	97	阳光安第斯	单瓣	荷兰
23	马赛	单瓣	南非	98	阿玛兰蒂	重瓣	荷兰
24	甜蜜莉莉安	单瓣	荷兰	99	可爱仙女	重瓣	荷兰
25	纽曼	单瓣	荷兰	100	赤灼	重瓣	荷兰
26	当红明星	单瓣	荷兰	101	大天后	单瓣	荷兰
27	桑巴舞	单瓣	荷兰	102	焦点	单瓣	荷兰
28	夏日时光	单瓣	荷兰	103	波哥大	单瓣	荷兰
29	阿弗雷	重瓣	南非	104	例外	单瓣	荷兰
30	爱神蝴蝶	重瓣	日本	105	巴巴多斯	单瓣	荷兰
31	花孔雀	重瓣	日本	106	小丑	单瓣	荷兰
32	樱桃妮芙	重瓣	荷兰	107	罗莎莉	单瓣	荷兰
33	舞后	重瓣	荷兰	108	娜佳	单瓣	荷兰
34	精灵	重瓣	荷兰	109	森林日落	单瓣	荷兰
35	异域仙女	重瓣	荷兰	110	海洋大道	单瓣	荷兰
36	异域孔雀	重瓣	荷兰	111	粉红豹	单瓣	荷兰
37	火焰孔雀	重瓣	荷兰	112	奇妙仙子	单瓣	以色列
38	帕萨迪纳	重瓣	美国	113	冰透粉	单瓣	以色列
39	红妮芙	重瓣	荷兰	114	戴伯去	单瓣	以色列
40	阳光仙女	重瓣	荷兰	115	翡翠黎明	单瓣	以色列
41	婚礼舞曲	单瓣	南非	116	红色天堂	单瓣	以色列
42	滑稽演员	重瓣	南非	117	平珂洛	单瓣	以色列
43	爵士乐	重瓣	南非	118	海洋之星	单瓣	以色列
44	白雪公主	重瓣	南非	119	条纹回音	重瓣	以色列
45	威瑞	单瓣	荷兰	120	斯巴达克斯	单瓣	秘鲁
46	卡里美柔	单瓣	荷兰	121	安第斯夫人	单瓣	秘鲁
47	纳兰贾	单瓣	荷兰	122	曼德拉	单瓣	秘鲁
48	天文学家	单瓣	荷兰	123	帝卡之舞	重瓣	秘鲁
49	托斯卡	单瓣	荷兰	124	帝卡蛟龙	重瓣	秘鲁
50	首映式	单瓣	荷兰	125	帝卡梦华	重瓣	秘鲁
51	秋子	重瓣	荷兰	126	帝卡梦幻	重瓣	秘鲁

表1(续)

编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin	编号 Code	品种资源 Cultivar	瓣型 Petal type	来源地 Origin
52	黛丝糖果	重瓣	荷兰	127	帝卡沙拉	重瓣	秘鲁
53	赛利卡	重瓣	荷兰	128	帝卡之星	重瓣	秘鲁
54	双皇	重瓣	荷兰	129	帝卡日出	重瓣	秘鲁
55	红光	重瓣	荷兰	130	123	重瓣	荷兰
56	爱慕	单瓣	荷兰	131	黛丝	重瓣	秘鲁
57	西伯利亚	单瓣	秘鲁	132	芙蓉王	重瓣	秘鲁
58	卡尔加里	单瓣	荷兰	133	绮霞	重瓣	中国
59	毕加索	单瓣	荷兰	134	瑞香	单瓣	中国
60	异域星	单瓣	荷兰	135	瑞丽	重瓣	中国
61	表演大师	单瓣	荷兰	136	午后阳光	重瓣	中国
62	星尘	半重瓣	荷兰	137	金陵橙韵	重瓣	中国
63	甜星	单瓣	荷兰	138	绿野仙踪	单瓣	中国
64	索菲亚	半重瓣	荷兰	139	汝釉	重瓣	中国
65	朝花夕秀	重瓣	中国	140	金陵红尘	重瓣	中国
66	贝莱多娜	单瓣	南非	141	暮翠凝红	重瓣	中国
67	奇迹	单瓣	南非	142	碧波胭红	重瓣	中国
68	童话故事	重瓣	荷兰	143	金陵粉翠	重瓣	中国
69	红色胜利	单瓣	秘鲁	144	金陵绯霞	重瓣	中国
70	露娜	单瓣	秘鲁	145	金陵粉黛	半重瓣	中国
71	樱花	单瓣	秘鲁	146	金陵粉鸢	单瓣	中国
72	长颈鹿	单瓣	南非	147	金陵紫婢	重瓣	中国
73	水彩画	重瓣	荷兰	148	金陵紫妍	单瓣	中国
74	莫斯科	单瓣	荷兰	149	金陵锦红	重瓣	中国
75	司芬	单瓣	荷兰				

1.2 表型性状观测及编号

结合朱顶红观赏特点,参考NY/T 3508—2019《植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南-朱顶红属》^[11],以花、茎、叶和株高为主要性状选取方向,筛选22个性状指标并进行编号。其中1~7号为质量性状、8~22号为数量性状(表2),于花朵盛开期对所有表型性状进行测定。试验采用完全随机设计,每个种质设置10次生物学重复,在测定各项指标时,从这10次重复中随机抽取3次进行测定。

1.3 数据统计及分析

利用Microsoft Excel 2022进行统计分析,并进一步计算变异系数(CV),CV值越小代表性状越稳定^[12]。对于质量性状和数量性状的遗传多样性,采用Shannon-Wiener遗传多样性指数(H')进行量化分析。对于质量性状,按照赋值标准计算频率分布

和 H' ;数量性状则进行10级分类划分,从第1级 $X_i < (\bar{x} - 2\delta)$ 到第10级 $X_i \geq (\bar{x} + 2\delta)$,每间隔0.5 δ 为一个级,计算每级的种质占比^[13]。

采用IBM SPSS Statistics 27进行多样性和主成分分析。在主成分分析中,先将各性状数据进行标准化处理,然后根据特征向量系数计算各主成分得分(F_n)^[14-15],最后以 V_n 为权重计算种质的综合得分。相关性、聚类分析及箱线图绘制则通过R 4.5.0实现。

$$CV = \delta / \bar{x} \times 100\%$$
 (1)

式中: $\bar{x}$ 为平均值, δ 为标准差。

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$
 (2)

式中: P_i 为某一性状第*i*级别中种质个数占总个数的百分比,%。

$$F_{\text{总}} = V_1 F_1 + V_2 F_2 + \cdots + V_n F_n$$
 (3)

式中: V_n 为方差贡献率, F_n 为各主成分得分。

表 2 朱顶红种质资源表型性状及测定标准

Table 2 Morphological and physiological traits and measurement standards in hippeastrum germplasm			
编号 Code	性状 Trait	性状缩写 Trait abbreviation	测定标准 Determination standard
1	叶片花青甙显色	APL	有=1,无=3
2	花茎基部花青甙显色	APS	有=1,无=3
3	花梗花青甙显色	APP	有=1,无=3
4	花冠正面形状	CS	圆形=1,三角=2,星型=3
5	花被片交叠程度	PI	弱=1,中=2,强=3
6	花姿态	FP	上=1,中=2,下=3
7	花型	FF	单瓣=1,半重瓣=2,重瓣=3
8	株高/cm	PH	用皮尺测量从植株基部到最顶端的高度
9	花茎长度/cm	FL	用皮尺测量
10	花茎宽度/cm	SW	用游标卡尺测量
11	花茎数量	NF	直接观察数出
12	单茎花朵数	NFS	直接观察数出
13	花直径/cm	FD	用皮尺测量单花直径
14	最大花被片长/cm	ML	用皮尺测量
15	最大花被片宽/cm	MW	用皮尺测量
16	花梗长度/cm	PCL	用皮尺测量
17	花梗宽度/cm	PW	用游标卡尺测量
18	单花花瓣数	PN	直接观察数出
19	叶片数量	LN	直接观察数出
20	基部叶宽/cm	LBW	用皮尺测量最长叶片基部叶宽
21	中部叶宽/cm	MLW	用皮尺测量最长叶片中间叶宽
22	叶长/cm	LL	用皮尺测量最长叶片叶长

2 结果与分析

2.1 朱顶红种质资源质量性状多样性分析

以朱顶红 149 份种质的 7 个质量性状进行多样性分析(表 3)。叶片花青甙和花梗花青甙均以不显色为主,频数分别为 0.56 和 0.77;花茎基部花青甙显色种质占比 0.60;花冠正面形状以三角形为主(0.54);花被片交叠程度为中等(0.49);花姿态主要集中在斜上和水平状态,占比 0.93;花型以单瓣为主(0.52)。7 个质量性状均呈不同程度的离散分布,变异系数介于 33.00%~54.58%,平均变异系数为 42.02%,说明这些性状具有丰富的变异性,但分布相对集中。多样性指数变化范围为 0.54~1.04,整体平均值为 0.79,其中花被片交叠程度多样性指数最高(1.04),而花梗花青甙显色的多样性最低(0.54)。

2.2 朱顶红种质资源数量性状多样性分析

149 份朱顶红种质的 15 个数量性状均呈现较大变异,变异系数范围为 12.24%~57.98%,平均为 24.30%,多样性指数(H')变化范围是 1.40~2.09,均值为 1.96(表 4)。表明这些种质资源在数量性状上具有丰富的遗传多样性,且不同性状间存在较大差异。单花花瓣数(57.98%)、花梗长度(40.28%)、叶长(31.91%)、花茎数量(25.87%)、最大花被片宽(23.77%)、单茎花朵数(21.27%)、叶片数量(21.02%)、花茎长度(20.73%)、中部叶宽(20.03%)变异系数均达到 20.00% 以上。其中单花花瓣数离散程度最高(57.98%),但多样性指数最低(1.40);株高(15.58%)和最大花被片长(12.24%)变异系数较低,说明这些性状相对稳定;除花茎数量(1.62)、单茎花朵数(1.85)和单花花瓣数(1.40)指标,其余性状多样性指数均 ≥ 2.00 ,表

表3 朱顶红种质资源7个质量性状多样性分析
Table 3 Genetic diversity analysis of 7 qualitative traits in hippeastrum germplasm resources

性状 Trait	性状缩写 Trait abbreviation	频数分布 Frequency distribution			标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient of variation	多样性指数 Shannon-Wiener diversity index
		1	2	3			
叶片花青甙显色 Anthocyanin pigmentation in leaves	APL	0.44	—	0.56	0.99	46.99	0.69
花茎基部花青甙显色 Anthocyanin pigmentation at the stem base	APS	0.60	—	0.40	0.98	54.58	0.67
花梗花青甙显色 Anthocyanin pigmentation in pedicels	APP	0.23	—	0.77	0.84	33.00	0.54
花冠正面形状 Corolla shape	CS	0.36	0.54	0.09	0.62	35.80	0.92
花被片交叠程度 Perianth lobe imbrication	PI	0.22	0.49	0.29	0.71	34.40	1.04
花姿态 Flower posture	FP	0.50	0.42	0.07	0.63	39.90	0.90
花型 Flower form	FF	0.52	0.03	0.46	0.98	50.76	0.80
平均 Average						42.02	0.79

明这些性状具有较高的遗传多态性,变异潜力较大。

2.3 朱顶红种质资源数量性状相关性分析

149份朱顶红种质的22个表型性状相关性分析结果显示(图1)。叶片花青甙显色、花茎基部花青甙显色与花梗花青甙显色呈极显著正相关;花冠正面形状与花姿态呈极显著正相关,与花被片交叠程度呈极显著负相关;花姿态、花型、株高与花茎长度呈极显著相关性;单花花瓣数与花冠正面形状、花姿态(PF)、花茎长度均呈极显著负相关,与花被片交叠程度、花型和花梗长度呈极显著正相关;叶长与株高、花梗长度、中部叶宽呈极显著正相关,与花茎数量呈极显著负相关;花茎宽度与8个数量性状呈极显著正相关,分别为单茎花朵数、花直径、最大花被片长、最大花被片宽、花梗长度、花梗宽度、基部叶宽和中部叶宽;花梗宽度(PW)与12个关键性状呈极显著相关,涵盖花部形态、花茎和叶部各项指标($P<0.001$)。

2.4 朱顶红种质资源数量性状系统聚类分析

通过对15个数量性状的系统聚类分析将149份朱顶红种质划分为6类(图2和图3)。其中,第I类包含3份朱顶红种质,均在株高与花梗宽度维度优势显著,并且花茎和花梗长度较长,植株整体呈现高大粗壮的株型。第II类包含32份种质,整体株高仅次于第I类,花茎较窄,花茎数量较少,叶片较

长,基部叶宽较窄,属于细高株型,植株茎干纤细但高度较高。第III类共有29份种质,主要表现为叶长较短中部叶宽较窄,最大花被片长和宽较小,重瓣为主,呈现出小花瓣型的特征。第IV类包含42份种质,主要以单瓣朱顶红为主,最大花被片较长,基部叶宽、中部叶宽和最大花被片宽较宽,呈现出大花瓣型特征。第V类包含10份种质,这一类植株整体比较矮小,花茎长度和花梗长度较短,花茎宽度和花梗宽度较小,单茎花朵数较高,呈现矮生细小但花盛的特征。第VI类包含33份种质,花梗较长、粗度较粗,花直径较宽,叶长整体仅次于第II类,花瓣数整体最高,株高和花茎整体较低,花茎较粗,花部性状较为突出,植株矮化且茎干粗壮,为矮壮株型,具有紧凑、敦实的外观。

2.5 朱顶红种质资源表型性状主成分分析

通过主成分分析对149份朱顶红种质的22个表型性状进行解析发现(表5),前5个主成分(特征值大于1)能够解释65.412%的总体变异,其中第1主成分贡献最为突出(24.058%),主要代表了花梗宽度、花直径和花茎宽度等指标。第2主成分贡献率为14.772%,其中单花花瓣数特征向量为负向最高,为-0.696;花茎长度特征向量正向最高,为0.555。第3主成分贡献率为10.122%,主要与株高、叶长等植株整体形态指标相关。第4主成分贡献率为9.389%,突出了植株不同部位花青甙显色

表 4 朱顶红种质资源 15 个数量性状多样性分析

Table 4 Genetic diversity analysis of 15 quantitative traits in hippeastrum germplasm resources

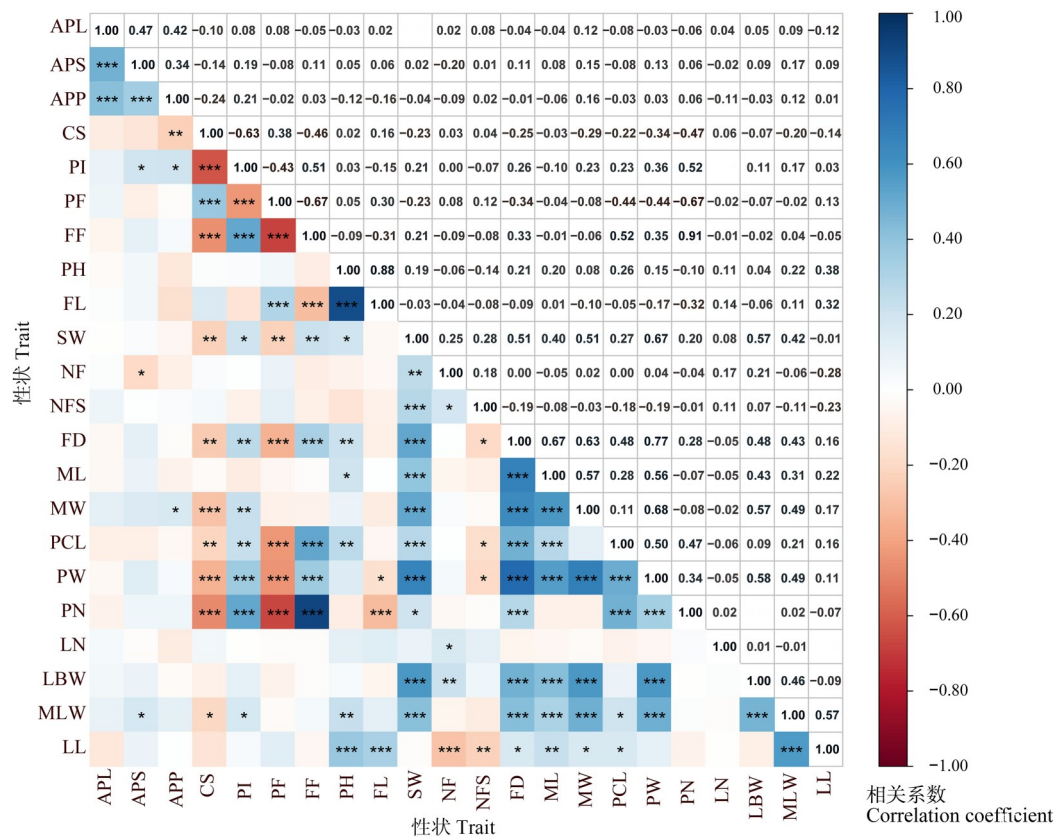
性状 Trait	性状缩写 Trait abbreviation	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	极差 Range	变异系数/% Coefficient of variation	多样性指数 Shannon-Wiener diversity index
株高/cm Plant height	PH	80.63	27.97	53.34	8.31	52.67	15.58	2.05
花茎长度/cm Flower stem length	FL	62.83	19.47	40.07	8.31	43.37	20.73	2.06
花茎宽度/cm Stem width	SW	3.53	1.31	2.18	0.41	2.22	18.68	2.02
花茎数量 Number of flower stems	NF	3.00	1.00	1.71	0.44	2.00	25.87	1.62
单茎花朵数 Number of flowers per stem	NFS	7.33	2.00	4.01	0.85	5.33	21.27	1.85
花直径/cm Flower diameter	FD	24.90	8.03	16.47	2.84	16.87	17.21	2.03
最大花被片长/cm Max. tepal length	ML	15.17	5.93	11.37	1.39	9.23	12.24	2.01
最大花被片宽/cm Max. tepal width	MW	11.00	2.17	7.16	1.70	8.83	23.77	2.05
花梗长度/cm Pedicel length	PCL	9.47	1.33	4.13	1.66	8.13	40.28	1.98
花梗宽度/cm Pedicel width	PW	1.13	0.37	0.71	0.14	0.76	19.12	2.08
单花花瓣数 Number of petals	PN	28.67	6.00	11.16	6.47	22.67	57.98	1.40
叶片数量 Leaf number	LN	9.00	2.00	5.16	1.08	7.00	21.02	2.02
基部叶宽/cm Leaf base width	LBW	4.63	1.43	3.27	0.62	3.20	18.88	2.08
中部叶宽/cm Mid-leaf width	MLW	7.77	2.63	4.93	0.99	5.13	20.03	2.07
叶长/cm Leaf length	LL	64.63	8.33	34.30	10.94	56.30	31.91	2.09
平均 Average							24.30	1.96

的变异特征。第 5 主成分贡献率为 7.070%，主要涉及叶片数量和花茎数量等因子，其中叶片数量（0.547）载荷最大。

2.6 朱顶红种质资源表型性状综合评价

基于提取出的 5 个主成分，以每个指标所对应的特征向量为权重系数，构建其线性组合模型，以第一主成分为例， $F_1=0.027X_1+0.198X_2+0.114X_3-0.546X_4+0.545X_5-0.573X_6+0.579X_7+0.157X_8-$

$0.185X_9+0.666X_{10}+0.0021X_{11}-0.131X_{12}+0.820X_{13}+0.532X_{14}+0.647X_{15}+0.591X_{16}+0.895X_{17}+0.553X_{18}-0.038X_{19}+0.540X_{20}+0.549X_{21}+0.190X_{22}$ ，式中 $X_1\sim X_{22}$ 分别对应表 2 中 22 个性状。再依据 5 个主成分的方差贡献率得到权重系数，综合得分（ $F_{\text{总}}$ ）= $0.368F_1+0.226F_2+0.155F_3+0.144F_4+0.108F_5$ 。根据 F 值对 149 份朱顶红进行表型性状的综合评价（表 6），综合得分范围在 -6.06~5.64，得分越高，综



*: 在 $P<0.05$ 水平显著相关; **: 在 $P<0.01$ 水平显著相关; ***: $P<0.001$ 水平上显著相关。各性状缩写的具体含义见表3。图3同。
*: Significant correlation at the $P<0.05$ level; **: Significant correlation at the $P<0.01$ level; ***: Significant correlation at the $P<0.001$ level.
The specific meanings of each trait abbreviation are shown in Table 3. The same as Figure 3.

图1 149份朱顶红种质资源表型性状相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of phenotypic traits in 149 accessions of hippeastrum germplasm resources

合表现越好。其中,排名前10(2.80~5.64)的种质为‘可爱仙女’‘樱桃妮芙’‘贝尼托’‘达芙妮’‘玛丽莲’‘斯巴达克斯’‘天文学家’‘汝釉’‘暮翠凝红’‘娜佳’。说明这些种质在综合性状方面比较突出,不同种质在特定表型性状上具有鲜明特性,可结合每个种质的性状特点,作为优良育种亲本。

3 讨论

本研究中,朱顶红质量性状和数量性状变异系数均值分别为42.02%、24.30%,质量性状遗传多样性指数为0.54~1.04,数量性状为1.40~2.09,表明数量性状遗传多样性更丰富。变异系数是衡量表型性状离散程度的标准化指标,其值越大,表明不同种质(或群体)间的性状变异越显著^[16]。本研究与前人对簕杜鹃和观赏桃表型性状遗传多样性的研究结果相同^[17-18]。其中,花直径、最大花被片长和最大花被片宽3个和花部观赏价值紧密相关的性状遗传多样性指数分别为2.03、2.01和2.05,说

明花部相关性状具有丰富的遗传信息和优化空间,可为后续改良育种提供方向。本研究中株高、花梗宽度和基部叶宽等性状变异系数较低,而遗传多样性指数相对较高,单花花瓣数离散程度最高,但多样性指数最低。苏群等^[19]在对49份睡莲资源的研究中发现,其表型变异系数介于15.67%~89.52%,且变异系数与多样性指数呈负相关。本研究结果与这一结论相似。这种组合可能暗示性状受强稳定选择,多数个体趋近均值,但存在多态性维持机制,或由少数基因调控,突变导致极端表型,表现为基因型单一、多样性低。植物表型多样性是遗传因素与环境因素的综合表现,表型差异反映种质资源基因型差异,对种质改良和种质创新具有重要意义^[20-21]。对朱顶红表型性状进行系统分析可揭示其遗传多样性,为种质资源评价、保护和利用奠定基础。在确定种质资源适应性、综合性状潜力、遗传研究及育种价值方面起关键作用^[22-24]。

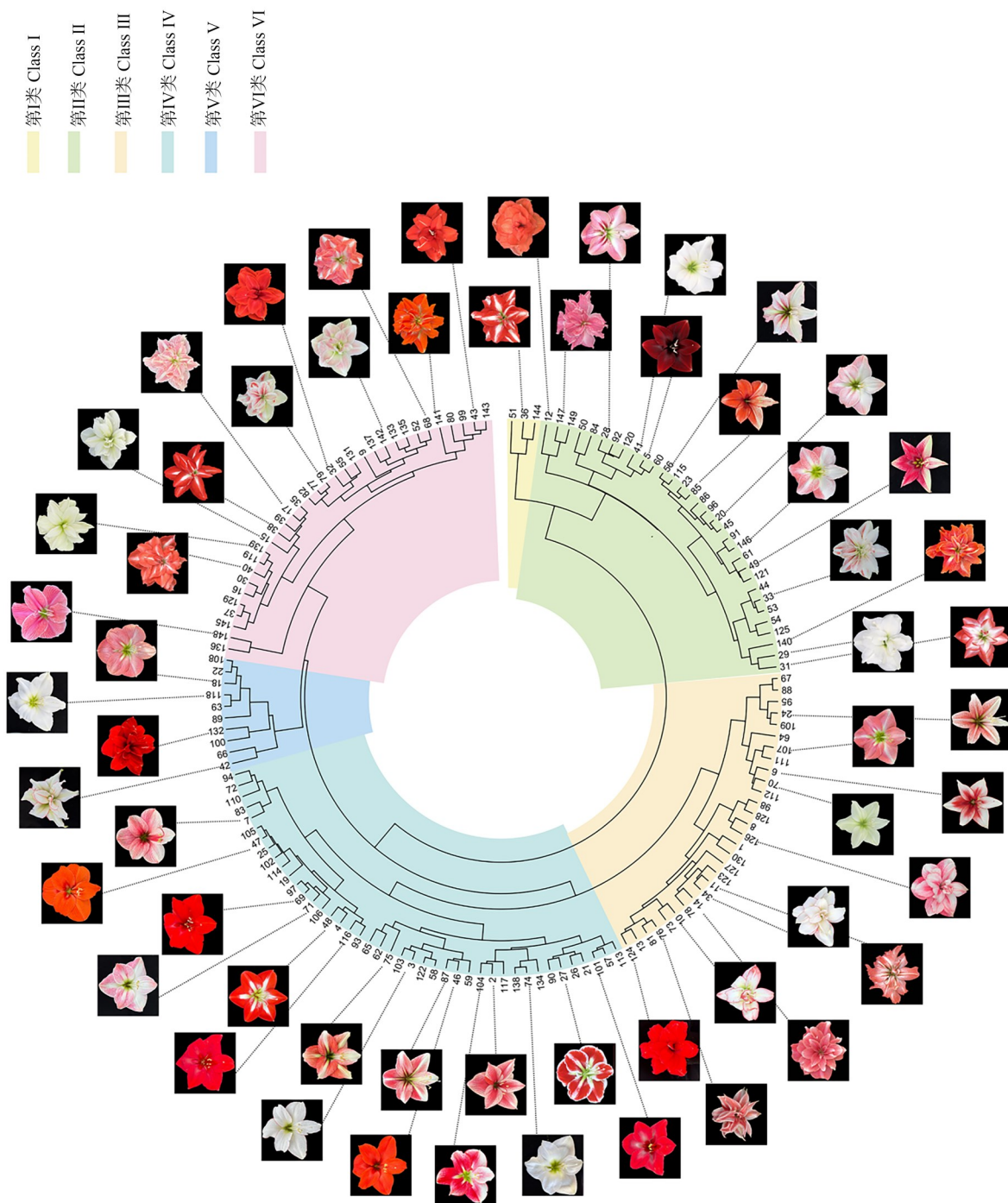


图 2 149 份朱顶红种质资源表型性状系统聚类分析及核心种质
Fig. 2 Systematic cluster analysis and core collection construction of phenotypic traits in 149 hippeastrum germplasm resources

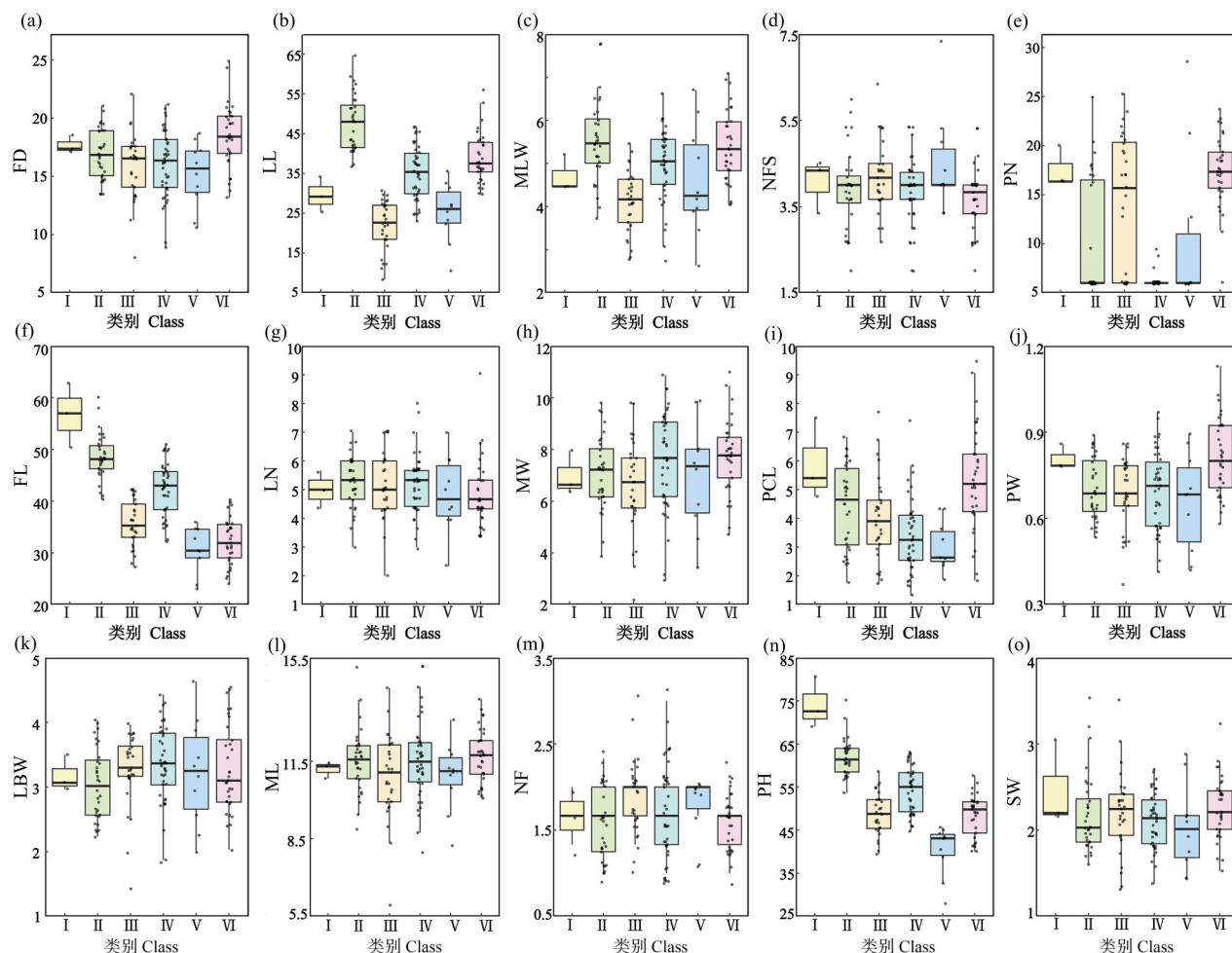


图3 149份朱顶红种质资源15个数量性状箱线图

Fig. 3 Box plot of 15 quantitative traits for 149 *hippeastrum* germplasm resources

相关性分析表明,花茎长度与花姿态呈极显著正相关,花茎过长的朱顶红种质花朵更易斜向下生长,降低其切花商用价值。叶长与株高和花梗长度呈极显著正相关,而与花茎数量呈极显著负相关,可见叶片和植株的旺盛生长可能抑制花茎发育,进而影响整体观赏性。单花花瓣数与花朵花型呈极显著相关,叶长与基部叶宽和中部叶宽相关性较弱,该结果与过聪等^[25]关于月季和冯立娟等^[26]关于大丽花的表型变异研究结果相反。花茎宽度与单茎花朵数、花直径和基部叶宽等8个数量性状呈极显著正相关,涵盖生殖性状和营养性状,说明花茎宽度可能是朱顶红生殖生长与营养生长协同进化的关键枢纽性状,花茎是连接营养器官与生殖器官的关键器官,本研究中花茎宽度与多个性状的显著关联,反映了花茎在支撑生殖器官和营养运输中的核心作用。这些关联特征可为定向改良朱顶红观

赏性与商用价值提供性状选择依据。

本研究基于表型性状将149份朱顶红种质分为六类,第I类为高壮型植株,包含‘异域孔雀’‘秋子’‘金陵绯霞’3份种质。从遗传学角度,其高大粗壮的性状可能由多基因控制^[27-28],这类植株是培育较大株型和花型的理想亲本,其高生物量积累潜力可用于杂交改良,增强后代植株的生长势与产量。第II类包含32份种质,属于细高叶长类型,例如‘黑天鹅’‘贝尼托’‘异域星’等,长叶特性可能关联叶片极性发育基因,可作为高光效育种的核心材料,其较大的叶面积与潜在光合效率,有利于培育光能转化、碳同化能力强的朱顶红种质。第III类包含29份种质,例如‘芭蕾舞女’‘帝卡之星’‘糖果皇后’等,呈现出以重瓣为主、细小花瓣型的特征,主要表现为叶长较短、中部叶宽较窄,最大花被片长和宽较小。第IV类呈现出单瓣为主的大花瓣型,例如‘花

表 5 149 份朱顶红种质资源表型性状主成分分析

Table 5 PC analysis of phenotypic traits in 149 hippeastrum germplasm resources

性状 Trait	主成分特征向量 Principal component eigenvector				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
叶片花青甙显色 Anthocyanin pigmentation in leaves	0.027	0.022	0.228	0.692	0.243
花茎基部花青甙显色 Anthocyanin pigmentation at the stem base	0.198	0.023	0.012	0.704	0.095
花梗花青甙显色 Anthocyanin pigmentation in pedicels	0.114	−0.133	0.160	0.710	−0.031
花冠正面形状 Corolla shape	−0.546	0.338	0.093	−0.291	−0.126
花被片交叠程度 Perianth lobe imbrication	0.545	−0.408	−0.106	0.261	0.228
花姿态 Flower posture	−0.573	0.542	0.126	0.135	−0.025
花型 Flower form	0.579	−0.672	−0.225	−0.088	0.077
株高 Plant height	0.157	0.513	−0.634	−0.037	0.429
花茎长度 Flower stem length	−0.185	0.555	−0.576	0.041	0.464
花茎宽度 Stem width	0.666	0.248	0.307	−0.202	0.333
花茎数量 Number of flower stems	0.002	0.046	0.431	−0.313	0.460
单茎花朵数 Number of flowers per stem	−0.131	−0.035	0.464	−0.031	0.455
花直径 Flower diameter	0.820	0.236	0.009	−0.129	−0.161
最大花被片长 Max. tepal length	0.532	0.507	0.095	−0.139	−0.279
最大花被片宽 Max. tepal width	0.647	0.448	0.317	0.153	−0.138
花梗长度 Pedicel length	0.591	−0.143	−0.342	−0.266	−0.011
花梗宽度 Pedicel width	0.895	0.167	0.103	−0.106	−0.089
单花花瓣数 Number of petals	0.553	−0.696	−0.183	−0.095	0.141
叶片数量 Leaf number	−0.038	0.060	0.006	−0.12	0.547
基部叶宽 Leaf base width	0.540	0.396	0.454	−0.091	0.068
中部叶宽 Mid-leaf width	0.549	0.452	−0.097	0.229	−0.043
叶长 Leaf length	0.190	0.396	−0.589	0.201	−0.164
特征值 Characteristic value	5.293	3.250	2.227	2.066	1.555
方差贡献率/% Variance contribution rate	24.058	14.772	10.122	9.389	7.070
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	24.058	38.830	48.952	58.341	65.412

表 6 149 份朱顶红种质资源综合得分

Table 6 Comprehensive scores of 149 hippeastrum variety resources

品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank	品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank	品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank
可爱仙女	5.64	1	水彩画	0.91	51	杏色冰糕	−0.63	101
樱桃妮芙	4.74	2	天后	0.91	52	金陵橙韵	−0.66	102
贝尼托	4.59	3	花瓶/格瓦斯	0.89	53	赤灼	−0.69	103
达芙妮	4.49	4	西伯利亚	0.88	54	威瑞	−0.77	104
玛丽莲	4.41	5	仙女	0.85	55	紫雨	−0.81	105
斯巴达克斯	3.32	6	朝花夕秀	0.81	56	帕萨迪纳	−0.99	106
天文学家	3.04	7	奇迹	0.76	57	阿弗雷	−1.08	107
汝釉	2.89	8	金陵红尘	0.72	58	双梦	−1.18	108
暮翠凝红	2.83	9	小丑	0.68	59	曼德拉	−1.28	109
娜佳	2.80	10	异域仙女	0.64	60	诱惑	−1.32	110

表6(续)

品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank	品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank	品种资源 Cultivar	综合得分($F_{总}$) Composite score	排名 Rank
纳兰贾	2.76	11	冰透粉	0.61	61	司芬	-1.43	111
幸福妮芙	2.76	12	帝卡梦华	0.59	62	花孔雀	-1.47	112
橙色赛维	2.75	13	粉色荣耀	0.58	63	启示	-1.59	113
红光	2.66	14	碧波胭红	0.51	64	帝卡日出	-1.60	114
双皇	2.65	15	阳光安第斯	0.42	65	波哥大	-1.64	115
美丽仙女	2.60	16	表演大师	0.37	66	婚礼舞曲	-1.69	116
首映式	2.56	17	戴伯去	0.37	67	苹果花	-1.71	117
莫斯科	2.47	18	爱神蝴蝶	0.35	68	曝光	-1.71	118
帝卡梦幻	2.43	19	糖果皇后	0.34	69	狂热安第斯	-1.73	119
索菲亚	2.42	20	爱慕	0.26	70	平珂洛	-1.74	120
红妮芙	2.26	21	魔幻绿色	0.26	71	毕加索	-1.76	121
明亮妮芙	2.12	22	甜星	0.25	72	金陵紫妍	-1.82	122
金陵紫婵	2.09	23	金陵粉翠	0.22	73	阳光仙女	-1.87	123
波丽露	2.08	24	金陵锦红	0.18	74	当红明星	-1.90	124
粉色惊奇	1.99	25	赛利卡	0.16	75	魅力四射	-1.93	125
安第斯夫人	1.99	26	双重惊喜	0.15	76	花边石竹	-2.00	126
红色胜利	1.83	27	红色天堂	0.14	77	帝卡之星	-2.10	127
帝卡之舞	1.70	28	金陵粉黛	0.12	78	卡里美柔	-2.14	128
丁香挚爱	1.67	29	童话故事	0.08	79	多夫莱特	-2.26	129
秋子	1.65	30	双迹	0.03	80	红狮	-2.28	130
舞后	1.57	31	黛丝糖果	-0.05	81	马赛	-2.33	131
午后阳光	1.56	32	大天后	-0.06	82	森林日落	-2.42	132
爵士乐	1.49	33	海洋之星	-0.10	83	黑天鹅	-2.50	133
托斯卡	1.48	34	例外	-0.12	84	芙蓉王	-2.55	134
绮霞	1.42	35	金陵粉鸢	-0.16	85	异域星	-2.58	135
樱花	1.36	36	卡尔加里	-0.21	86	绿色山谷	-2.68	136
桑巴舞	1.36	37	焦点	-0.23	87	红宝石之星	-2.76	137
绿野仙踪	1.32	38	纽曼	-0.25	88	双龙	-3.00	138
珍妮小姐	1.27	39	瑞俪	-0.26	89	奇妙仙子	-3.13	139
糖果仙女	1.23	40	翡翠黎明	-0.28	90	海洋大道	-3.36	140
金陵绯霞	1.22	41	合恩角	-0.29	91	粉红豹	-3.48	141
夏日时光	1.22	42	星尘	-0.31	92	贝莱多娜	-4.00	142
白黛丝	1.16	43	卡门	-0.37	93	迷世	-4.14	143
精灵	1.12	44	白雪公主	-0.52	94	滑稽演员	-4.46	144
条纹回音	1.08	45	阿玛兰蒂	-0.53	95	甜蜜莉莉安	-4.69	145
异域孔雀	1.00	46	帝卡蛟龙	-0.55	96	芭蕾舞女	-4.80	146
黛丝	0.98	47	火焰孔雀	-0.58	97	埃及艳后	-5.76	147
瑞香	0.97	48	苏珊	-0.58	98	123	-5.85	148
巴巴多斯	0.96	49	露娜	-0.58	99	长颈鹿	-6.06	149
帝卡沙拉	0.92	50	罗莎莉	-0.61	100			

边石竹’‘瑞香’‘绿野仙踪’等。孙佩等^[29]通过聚类分析,将119份月季资源分为四类,其中第Ⅱ类群(少瓣型)与本研究第Ⅳ类群单瓣为主的特征相似。第Ⅴ类包含10份种质,这一类为细小株型,植株整体比较矮小,例如‘贝莱多娜’‘赤灼’‘滑稽演员’等。花茎长度和花梗长度较短,花茎宽度和花梗宽度较小,单茎花朵数较高,呈现矮生细小但花朵数较多的特征。第Ⅵ类包含33份种质,为矮壮株型,例如‘汝釉’‘金陵紫妍’‘金陵粉翠’等。矮生性状常与激素响应或细胞周期调控基因突变相关^[30-32],粗壮茎干也利于养分储存与运输^[33],此类植株是抗逆育种的优质种质,有助于提升新种质的抗风、抗压能力,该方向可在后续育种实践中进一步尝试验证。聚类分析已成为植物育种、亲缘关系及起源研究、资源利用和分类的常用方法之一^[34],本研究通过聚类整合相似性状种质,助力育种者筛选潜力亲本组合,优化育种方案与目标性状改良。

本研究中在22个朱顶红表型性状中提取出5个主成分,累计贡献率达到65.412%,能够相对完整地解释朱顶红表型的特征和变异。根据主成分的权重计算各种质综合得分,排名前10种质包括:‘可爱仙女’‘樱桃妮芙’‘贝尼托’‘达芙妮’‘玛丽莲’‘斯巴达克斯’‘天文学家’‘汝釉’‘暮翠凝红’‘娜佳’,其中‘汝釉’‘暮翠凝红’为自育种质。于波等^[35]对朱顶红盆栽主要园艺性状的调查显示,‘斯巴达克斯’在株高、花径及叶片长度上表现突出,与本研究中的评价结果相似。主成分分析可将多个原始变量转化为互不关联的综合指标,因此也被广泛用作综合评价的有效方法^[36]。结合综合得分既能筛选权重重大、代表性强的典型评价指标,又能综合评价每份种质资源的表现,其筛选出的综合得分靠前的种质,可作为定向育种与产业化利用的核心材料^[37]。

具有稳定遗传性的描述型性状和一定样本量的数值型性状能够较好地揭示物种遗传特性和变异规律^[38]。本研究表明朱顶红种质资源具有显著的表型分化特征,不同种质在特定表型性状上具有鲜明特性,可结合每个种质的性状特点,指导核心亲本筛选及杂交配组方案的制定。然而表型性状易受环境和遗传双重影响^[39],后续可结合现代生物技术如分子标记技术等手段,建立分子设计育种体系,进而实现目标性状的精准改良。

4 结 论

本研究中149份朱顶红种质资源在质量性状和数量性状上均呈现出丰富的多样性,其中单花花瓣数变异系数最大;聚类分析法将供试种质资源划分为6类,筛选出各类群特异的朱顶红种质;隶属函数法结合主成分分析法计算表型综合值可量化朱顶红种质资源的综合性状,其中花梗宽度、花直径和最大花被片宽等关键性状均隶属于第一主成分,可作为育种目标性状;基于综合评价筛选出排名前10的种质,可结合每个种质的性状特点,将其作为朱顶红优良育种的候选亲本材料,助力种质资源创新。

参考文献 References

- [1] 吕文涛, 姜文睿, 姜晓鸣, 宣继萍. 基于EST-SSR标记的朱顶红种质资源鉴定[J]. 分子植物育种, 2024, 22(4): 1123-1132
Lü W T, Lou W R, Lou X M, Xuan J P. Identification of *Hippeastrum* spp germplasm resources based on EST-SSR marker[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2024, 22(4): 1123-1132 (in Chinese)
- [2] 王中雷. 朱顶红高温胁迫生理响应及种质资源耐热性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2024
Wang Z L. Physiological responses to heat stress and heat tolerance evaluation of *Hippeastrum* germplasm resources[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2024 (in Chinese)
- [3] Peng L, Ru M, Wang B Q, Wang Y, Li B, Yu J, Liang Z S. Genetic diversity assessment of a germplasm collection of *Salvia miltiorrhiza* Bunge based on morphology, ISSR and SRAP markers[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 55: 84-92
- [4] 丁玲, 赵莹, 冯可婧, 杨春梅, 阮继伟, 瞿素萍, 吴丽芳, 余蓉培. 76份蝴蝶兰种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 热带作物学报, 2025, 46(3): 585-596
Ding L, Zhao Y, Feng K J, Yang C M, Ruan J W, Qu S P, Wu L F, Yu R P. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypes in 76 germplasm resources of *Phalaenopsis*[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2025, 46(3): 585-596 (in Chinese)
- [5] 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 herbaceous peony cultivar resources[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2025, 52(2): 349-364 (in Chinese)
- [6] 李嘉伟, 苏江硕, 张飞, 房伟民, 管志勇, 陈素梅, 陈发棣. 基于表型性状构建传统菊花核心种质[J]. 中国农业科学, 2021, 54(16): 3514-3526
Li J W, Su J S, Zhang F, Fang W M, Guan Z Y, Chen S M, Chen F D. Construction of core collection of traditional *Chrysanthemum morifolium* based on phenotypic traits[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(16): 3514-3526 (in Chinese)
- [7] 许兰杰, 梁慧珍, 余永亮, 谭政委, 杨青, 李磊. 菊花种质综合评价体系构建及优异种质筛选[J]. 北方园艺, 2022(12): 55-63
Xu L J, Liang H Z, Yu Y L, Tan Z W, Yang Q, Li L. Establishment of comprehensive evaluation of *Chrysanthemum* germplasm and selection of elite resource[J]. *Northern Horticulture*, 2022(12): 55-63 (in Chinese)

- [8] 韩丹丹, 阮芳, 赵小慧, 李振涛, 李成俊, 马策. 102份切花月季品种资源表型多样性分析与综合评价[J]. 分子植物育种, 2024(4): 1-7
Han D D, Ruan F, Zhao X H, Li Z T, Li C J, Ma C. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 102 cut rose cultivars[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2024(4): 1-7 (in Chinese)
- [9] 王黎, 徐郝, 俞云栋, 张海珍, 高燕会, 沈笑, 金晨莺, 陈轶敏. 基于SCoT标记的朱顶红品种遗传多样性分析[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(5): 930-938
Wang L, Xu H, Yu Y D, Zhang H Z, Gao Y H, Shen X, Jin C Y, Chen Y M. Genetic diversity analysis of *Hippeastrum rutilum* cultivars based on SCoT markers[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2020, 37(5): 930-938 (in Chinese)
- [10] 张林. 基于形态性状和 ISSR 标记的朱顶红品种遗传多样性分析及 ISSR 指纹图谱构建[D]. 南京: 南京农业大学, 2012
Zhang L. Genetic diversity analysis and issr fingerprint construction of *Hippeastrum* based on morphological characters and issr markers [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [11] NY/T 3508—2019. 植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南朱顶红属[S]. 北京: 中国农业出版社, 2019
NY/T 3508—2019. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability-Hippeastrum (*Hippeastrum* Herb)[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2019 (in Chinese)
- [12] 任秀霞, 张盈, 薛璟祺, 朱富勇, 石丰瑞, 王顺利, 张秀新. 滇牡丹天然居群的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(4): 772-780
Ren X X, Zhang Y, Xue J Q, Zhu F Y, Shi F R, Wang S L, Zhang X X. Genetic diversity analysis of natural populations in *Paeonia delavayi*[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(4): 772-780 (in Chinese)
- [13] 黄月琴, 方荣, 陈学军, 周坤华, 袁欣捷, 雷刚. 茄子种质资源表型性状分析与遗传多样性评价[J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1896-1904
Huang Y Q, Fang R, Chen X J, Zhou K H, Yuan X J, Lei G. Analysis of phenotypic traits and evaluation genetic diversity of eggplant germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(7): 1896-1904 (in Chinese)
- [14] 郇战宁, 杨永乾, 王树杰, 冯辉, 薛正刚. 143份大麦种质资源的综合评价[J]. 作物杂志, 2023(5): 59-65
Gao Z N, Yang Y Q, Wang S J, Feng H, Xue Z G. Comprehensive evaluation of 143 barley germplasm resources[J]. *Crops*, 2023(5): 59-65 (in Chinese)
- [15] 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 狄佳春, 朱银, 杨欣, 邹淑琼, 杨雪, 覃翠华, 颜伟. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(2): 419-436
Meng S, Xu T T, Zhu X P, Di J C, Zhu Y, Yang X, Zou S Q, Yang X, Qin C H, Yan W. Phenotypic diversity analysis of soybean germplasm resources in Jiangsu Province[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(2): 419-436 (in Chinese)
- [16] 白史旦, 苟文龙, 张新全, 张新跃, 高荣, 刘世贵. 假俭草种群变异与生态特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 97-101
Bai S Q, Gou W L, Zhang X Q, Zhang X Y, Gao R, Liu S G. Ecological characteristics and morphological variations of centipedegrass in different populations[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 97-101 (in Chinese)
- [17] 沈甲诚, 焦越佳, 张可可, 何穗华, 金雨晴. 筋杜鹃种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(9): 1801-1811
Shen J C, Jiao Y J, Zhang K K, He S H, Jin Y Q. Analysis of genetic diversity of phenotypic traits of *Bougainvillea* germplasm resources [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(9): 1801-1811 (in Chinese)
- [18] 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 严娟, 马瑞娟, 俞明亮. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J]. 中国农业科学, 2021, 54(11): 2406-2420
Zhang B B, Cai Z X, Shen Z J, Yan J, Ma R J, Yu M L. Diversity analysis of phenotypic characters in germplasm resources of ornamental peaches[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(11): 2406-2420 (in Chinese)
- [19] 苏群, 杨亚涵, 田敏, 张进忠, 毛立彦, 唐毓玮, 卜朝阳, 卢家仕. 49份睡莲资源表型多样性分析及综合评价[J]. 西南农业学报, 2019, 32(11): 2670-2681
Su Q, Yang Y H, Tian M, Zhang J Z, Mao L Y, Tang Y W, Bu Z Y, Lu J S. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 49 waterlily resources[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(11): 2670-2681 (in Chinese)
- [20] Campbell D R. Using phenotypic manipulations to study multivariate selection of floral trait associations[J]. *Annals of Botany*, 2009, 103(9): 1557-1566
- [21] 李悦煌, 黄雪琦, 白小明, 辛霞. 329份冰草材料种子表型性状遗传多样性分析与综合评价[J]. 中国草地学报, 2025, 47(5): 34-45
Li Y X, Huang X Q, Bai X M, Xin X. Genetic diversity and phenotypic traits evaluation of 329 *Agropyron cristatum* germplasm resources [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2025, 47(5): 34-45 (in Chinese)
- [22] 李玉珊, 肖菁, 马越, 田超, 赵连佳, 王帆, 宋羽, 蒋程瑶. 169份番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2024, 57(18): 3671-3687
Li Y S, Xiao J, Ma Y, Tian C, Zhao L J, Wang F, Song Y, Jiang C Y. Identification and evaluation of phenotypic characters and genetic diversity analysis of 169 tomato germplasm resources[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(18): 3671-3687 (in Chinese)
- [23] 魏仕伟, 杨华, 张前荣, 陈海荣, 罗利军, 龙萍. 基于表型性状的叶用莴苣资源多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(5): 871-876
Wei S W, Yang H, Zhang Q R, Chen H R, Luo L J, Long P. The diversity of lettuce resource based on the analysis of phenotypic traits[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(5): 871-876 (in Chinese)
- [24] 刘胤, 陈涛, 张静, 王珏, 王浩, 汤浩茹, 王小蓉. 中国樱桃地方种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报, 2016, 43(11): 2119-2132
Liu Y, Chen T, Zhang J, Wang J, Wang H, Tang H R, Wang X R. Genetic diversity analysis of Chinese cherry landraces (*Prunus pseudocerasus*) based on phenotypic traits[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(11): 2119-2132 (in Chinese)
- [25] 过晓, 关伟, 曾祥国, 张庆华, 向发云, 宋粤君, 韩永超. 现代月季品种表型性状分析与评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(24): 4632-4646
Guo C, Guan W, Zeng X G, Zhang Q H, Xiang F Y, Song Y J, Han Y C. Phenotype character analysis and evaluation of modern rose cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(24): 4632-4646 (in Chinese)
- [26] 冯立娟, 苑兆和, 尹燕雷, 招雪晴, 王晓慧, 张承安, 刘路. 大丽花型群体表型性状遗传多样性研究[J]. 山东农业科学, 2010, 42(7): 12-16
Feng L J, Yuan Z H, Yin Y L, Zhao X Q, Wang X H, Zhang C A, Liu L. Study on genetic diversity of phenotype traits of different *Dahlia* flower type populations[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010, 42(7): 12-16 (in Chinese)
- [27] 袁储聪, 苏江硕, 蒋甲福, 邓波, 张飞, 管志勇, 房伟民, 陈发棣. 切花菊F1代光反应周期的遗传表现[J]. 园艺学报, 2023, 50(10): 2104-2116
Yuan C C, Su J S, Jiang J F, Deng B, Zhang F, Guan Z Y, Fang W M, Chen F D. Genetic performance of photoreaction cycle in F1 generation of cut *Chrysanthemum* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2023, 50(10): 2104-2116 (in Chinese)
- [28] 郭淑青, 宋慧, 杨清华, 高金锋, 高小丽, 冯佰利, 杨璞. 谷子株高及穗部性状主基因+多基因混合遗传模型分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(24): 5177-5193
Guo S Q, Song H, Yang Q H, Gao J F, Gao X L, Feng B L, Yang P.

- Analyzing genetic effects for plant height and panicle traits by means of the mixed inheritance model of major gene plus polygene in foxtail millet[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(24): 5177-5193 (in Chinese)
- [29] 孙佩, 刘佳琴, 杨媛, 王华, 李茂福, 范又维, 朱婷婷, 金万梅. 119月份季品种表型性状多样性及评价[J]. 分子植物育种, 2025, 23(20): 6875-6889
- Sun P, Liu J C, Yang Y, Wang H, Li M F, Fan Y W, Zhu T T, Jin W M. Phenotypic traits diversity and evaluation of 119 rose cultivars[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2025, 23(20): 6875-6889 (in Chinese)
- [30] 吝茹雪, 王斐, 张艳杰, 马力, 刘肖峰, 李舒然, 刘亚龙, 王晨, 姜淑苓, 欧春青. 梨矮生相关基因转录组筛选与功能分析[J]. 园艺学报, 2025, 52(3): 545-560
- Lin R X, Wang F, Zhang Y J, Ma L, Liu X F, Li S R, Liu Y L, Wang C, Jiang S L, Ou C Q. Transcriptome screening and functional analysis of dwarf related genes in pear[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2025, 52(3): 545-560 (in Chinese)
- [31] 张丰勇, 应晓平, 张健, 杨隆维, 应杰政. 半矮秆基因*sd1*调控水稻重要农艺性状的研究进展[J]. 中国水稻科学, 2025, 39(1): 24-32
- Zhang F Y, Ying X P, Zhang J, Yang L W, Ying J Z. Progress in regulation of important agronomic traits by semi-dwarf gene *sd1* in rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2025, 39(1): 24-32 (in Chinese)
- [32] 鲁振华, 李钰婷, 王志强, 牛良, 崔国朝, 王玉兰. 半矮生型桃节间长度相关基因的筛选和鉴定[J]. 园艺学报, 2013, 40(5): 943-952
- Lu Z H, Li Y T, Wang Z Q, Niu L, Cui G C, Wang Y L. Screening and identification of genes involved in regulating internode length for semi-dwarf peach[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(5): 943-952 (in Chinese)
- [33] 周迎雪, 李沛瞳, 苏江硕, 王海滨, 房伟民, 陈发棣, 张飞. 37份菊花近缘种的抗旱性评价[J]. 南京农业大学学报, 2023, 46(6): 1060-1068
- Zhou Y X, Li P T, Su J S, Wang H B, Fang W M, Chen F D, Zhang F. Evaluation of drought resistance in 37 accessions of *Chrysanthemum* related species[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2023, 46(6): 1060-1068 (in Chinese)
- [34] 张小利, 朱灵龙, 李付振, 唐秀梅, 夏友霖, 游宇, 钟瑞春. 115份花生种质资源农艺与品质性状鉴定及分析[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(9): 2033-2044
- Zhang X L, Zhu L L, Li F Z, Tang X M, Xia Y L, You Y, Zhong R C. Evaluation and analysis of agronomic and quality traits of 115 peanut germplasm resources[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(9): 2033-2044 (in Chinese)
- [35] 于波, 朱根发, 操君喜. 广州地区朱顶红冬季盆栽主要园艺性状调查[J]. 中国农学通报, 2014, 30(10): 276-282
- Yu B, Zhu G F, Cao J X. A comparative study of the main horticultural traits of potted *Hippeastrum vittatum* in Guangzhou in winter [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(10): 276-282 (in Chinese)
- [36] 辛明, 张娥珍, 何全光, 阳仁桂, 罗慧馨, 黄振勇, 苏燕竹, 黄茂康. 芒果果实品质评价因子的选择[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10): 1818-1824
- Xin M, Zhang E Z, He Q G, Yang R G, Luo H X, Huang Z Y, Su Y Z, Huang M K. Selection of evaluation factors for mango fruit quality [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(10): 1818-1824 (in Chinese)
- [37] 张馨方, 郭燕, 张树航, 李颖, 刘金雨, 范丽颖, 王广鹏. 210份板栗种质资源坚果表型性状多样性分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(1): 90-103
- Zhang X F, Guo Y, Zhang S H, Li Y, Liu J Y, Fan L Y, Wang G P. Diversity analysis of nut phenotypic traits of 210 Chinese chestnut germplasm resources[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(1): 90-103 (in Chinese)
- [38] 江锡兵, 龚榜初, 刘庆忠, 陈新, 吴开云, 邓全恩, 汤丹. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性[J]. 园艺学报, 2014, 41(4): 641-652
- Jiang X B, Gong B C, Liu Q Z, Chen X, Wu K Y, Deng Q E, Tang D. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese chestnut [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2014, 41(4): 641-652 (in Chinese)
- [39] Wei J L, Guo T T, Mu Q, Alladassi B M E, Mural R V, Boyles R E, Hoffmann L, Hayes C M, Sigmon B, Thompson A M, Salas-Fernandez M G, Rooney W L, Kresovich S, Schnable J C, Li X R, Yu J M. Genetic and environmental patterns underlying phenotypic plasticity in flowering time and plant height in sorghum[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2025, 48(4): 2727-2738

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 汤肖玮, 江苏丘陵地区南京农业科学研究所助理研究员。主要从事观赏园艺植物品种选育及栽培繁育技术研究工作。参与江苏省、市级项目10余项; 以第一作者在核心期刊发表论文5篇, 参与发表SCI论文2篇; 授权实用新型专利6项, 授权国家植物新品种权3项; 参与制定T_JAASS 133—2024《朱顶红蜡封球生产技术规程》。



通讯作者简介: 张宁宁, 江苏丘陵地区南京农业科学研究所副研究员。主要从事朱顶红等特色观赏植物新品种选育、栽培繁育技术研究和推广工作。主持参与省市各类科研项目40余项; 获得市科技进步二等奖2项、三等奖1项, 省农学会科技创新三等奖1项; 发表论文20余篇; 授权朱顶红新品种权3项、国家发明及实用新型专利10项; 主持制定市地方标准3项; 参编出版专著1部, 实施成果转化5项。