

引用格式:

王昭策, 关文灵. 8个帝王花品种表型性状遗传多样性分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(6): 78–87.

WANG Z C, GUAN W L. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of 8 cultivars of *Protea* spp.[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(6): 78–87.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 8个帝王花品种表型性状遗传多样性分析

王昭策, 关文灵\*

(云南农业大学园林园艺学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 以8个帝王花品种为材料, 对58个表型性状(23个数值型性状和35个描述性性状)数据进行调查, 采用多样性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法, 研究其遗传多样性。多样性分析结果表明, 35个描述性性状的遗传多样性指数为0.38~1.56, 平均遗传多样性指数为0.84, 其中叶片顶端形状的遗传多样性指数(1.56)最高; 23个数值型性状的遗传多样性指数为0.66~1.73, 变异系数为6.57%~79.03%, 平均变异系数为28.25%, 其中花序狭长基部长度的变异系数最大, 为79.03%, 叶宽、花枝长度、花序狭长基部长度的变异系数最大, 为79.03%。相关性分析结果表明, 花序直径与叶柄、花苞形状, 花序长宽比与内苞片形状、小花颜色, 内苞片形状与小花颜色呈极显著正相关( $P<0.01$ )。主成分分析中前4个主成分反映了58个性状的绝大部分信息, 累计贡献率达83.17%, 将主要性状归纳为花序特征性状因子、叶片特征性状因子、花枝特征性状因子和植株形态因子。在遗传距离 $M_1=20$ 时, Q型聚类将8个品种聚为2个类群。帝王花主要观赏性状的遗传多样性丰富, 受到花序特征、叶片特征、花枝特征和植株形态等因子的综合影响。

**关键词:** 帝王花; 表型性状; 遗传多样性分析; 相关性分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S685.99

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)06-0078-10

## Genetic diversity analysis of phenotypic traits of 8 cultivars of *Protea* spp.

WANG Zhaoce, GUAN Wenling\*

(College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

**Abstract:** This study selected 8 main *Protea* spp. cultivars planted in Yunnan as experimental materials, and collected data on 58 phenotypic traits (23 quantitative characters and 35 descriptive traits). Diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis were used to study their genetic diversity. The results of diversity analysis showed that the genetic diversity index of the 35 descriptive traits ranged from 0.38 to 1.56, with an average genetic diversity index of 0.84, and the diversity index of leaf tip shape was the highest, with a value of 1.56. The diversity index of 23 quantitative characters ranged from 0.66 to 1.73, with its coefficient of variation ranged from 6.57% to 79.03%, with an average coefficient of variation of 28.25%. Among them, the coefficient of variation of the narrow base length of the inflorescence was the highest, with a coefficient of variation of 79.03%. The six characteristics of leaf width, branch length, narrow base length of inflorescence, inflorescence diameter, style length, and pollen presenter length showed skewed distributions. Correlation analysis results showed that a highly significant positive correlation ( $P<0.01$ ) between the diameter of inflorescence and the shape of petiole and bud; between the ratio of inflorescence length to width and the shape of inner bracts, and the color of florets; as well as between the shape of inner bract and the color of floret. Principal component analysis was used four principal components to reflect the majority of information for 58 traits, with a cumulative contribution rate of 83.17%. The main traits were classified into inflorescence characteristic trait factors, leaf characteristic trait factors, flower branch characteristic trait factors, and plant morphology factors. At genetic distance of  $M_1=20$ , Q-type clustering grouped the 8 varieties into 2 clusters. The main ornamental trait

收稿日期: 2024-02-21

修回日期: 2024-12-05

基金项目: 云南省重大科技专项(202302AE090018)

作者简介: 王昭策(1998—), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事帝王花繁殖技术研究, 460083822@qq.com; \*通信作者, 关文灵, 博士, 教授, 主要从事园林植物种质资源利用与创新研究, 158066692@qq.com

of *Protea* spp. presented rich genetic diversity, which was influenced by factors such as inflorescence characteristics, leaf characteristics, flower branch characteristics, and plant morphology.

**Keywords:** *Protea* spp.; phenotypic traits; genetic diversity analysis; correlation analysis; principal component analysis; cluster analysis

帝王花(*Protea cynaroides*)属山龙眼科(Proteaceae)普洛蒂亚属(*Protea*), 为多年生常绿灌木或小乔木, 原产于南非, 是南非重要的出口花卉<sup>[1]</sup>。帝王花的花序巨大、奇特, 苞叶色彩艳丽, 花期长, 具有极高的观赏价值, 可用作切花、盆栽或庭院绿化等, 被誉为“花中之王”<sup>[2]</sup>。帝王花上市后便受到全球消费者喜爱, 成为国际切花市场中广受欢迎的高档木本切花和盆花, 经济效益高。由于市场需求量逐渐增加, 越来越多的国家与地区对帝王花进行引种栽培<sup>[3]</sup>。近些年云南、福建等地有一定种植规模, 但品种完全依赖进口, 来源复杂, 遗传背景不清, 不利于培育具有自主知识产权的新品种, 阻碍了国产帝王花产业发展。

表型遗传多样性研究对于深入挖掘控制重要表型的相关基因及育种实践有较大的参考价值。通过对表型性状进行调查分析, 可以了解植物的遗传变异情况, 有助于掌握植物种质资源的观赏性、抗性和适应性等特性, 便于植物品种分类及新品种选育<sup>[4-5]</sup>。目前国内外有关帝王花的研究多集中于引种栽培<sup>[1, 6-7]</sup>、种子休眠特性<sup>[8-10]</sup>、组培快繁<sup>[11-13]</sup>等方面, 在种质资源收集、评价、筛选及育种等方面的研究较少, 帝王花表型性状的研究也少见报道。本研究参考红山茶<sup>[14]</sup>、圆锥绣球<sup>[15]</sup>、观赏桃<sup>[16]</sup>、一串红<sup>[17]</sup>、芍药<sup>[18]</sup>等观赏植物表型性状分析方法, 在系统考查的基础上, 对 8 个帝王花品种的 58 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, 以获得各表型性状的变异性及遗传多样性分析结果, 揭示各性状遗传变异规律; 通过相关性分析以及主成分分析, 进一步筛选合理的帝王花品种评价指标; 通过聚类分析探究帝王花的品种分类及其遗传背景, 为帝王花种质资源遗传育种提供科学依据, 也为帝王花观赏性状综合评价体系的建立提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试帝王花为云南农业大学园林园艺学院引进的 8 个品种(表 1)。选择株龄为 4~5 a、长势健壮、

性状稳定的扦插苗于日光大棚进行设施栽培。

表 1 本研究中的 8 个帝王花品种

序号	名称	拉丁名
1	‘小王子’	<i>Protea cynaroides</i>
2	‘马迪巴’	<i>Protea cynaroides</i>
3	‘粉国王’	<i>Protea cynaroides</i>
4	‘白色王冠’	<i>Protea cynaroides</i> miniature f. white
5	‘迷你国王’	<i>Protea cynaroides</i>
6	‘格兰迪’	<i>Protea grandiceps</i> Tratt.
7	‘兰斯洛特’	<i>Protea</i> hybrid
8	‘粉冰’	<i>Protea</i> hybrid

### 1.2 表型性状的观测

在花期高峰期, 每个品种随机选择 3~5 株进行表型性状测定。观测花枝上 1/3 处的叶片和花枝的性状, 观测只有最外围小花开放的花序性状。参照《植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南 帝王花属》, 利用游标卡尺、卷尺以及人工计数法测定 23 项数值型性状, 通过目测法和英国皇家园艺学会比色卡(RHSCC)测定 35 项描述性性状。

### 1.3 数据分析

收集表型性状数据后, 使用 Excel 2019 计算平均值、最大值、最小值、变异系数等; 为了更直观地反映数量关系, 便于分析, 对调查的观赏性状进行分级, 根据总体平均值( $X$ )和标准差( $S$ )的计算结果将其划分为 10 级<sup>[16]</sup>; 采用 past 4.04 计算遗传多样性指数( $H$ ); 运用 SPSS 26.0 软件进行相关性分析、主成分分析和聚类分析; 采用 Origin 2021 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 帝王花品种描述性性状的遗传多样性

从表 2 可知, 8 个帝王花品种的 35 个描述性性状的遗传多样性指数为 0.38~1.56, 平均遗传多样性指数为 0.84, 其中遗传多样性指数大于 1 的性状有 8 个, 具有丰富的遗传多样性。叶片顶端形状(LSA)的遗传多样性指数最高(1.56), 分布频率显示

该性状的尖锐、钝形、钝到圆形表型占比最大,均为25.00%,略钝和圆形表型占比较小,均为12.50%,表明帝王花的叶片顶端形状性状具有较大的遗传变异。叶片基部形状(LSB)的遗传多样性指数较高

(1.49),其中锥形性状占比最大,为37.50%,尖锐、半圆形和心形占比较小,均为12.50%。多样性指数较小的是叶片最宽部分的位置(LPB)、叶片主脉清晰度(LMC)、叶片边缘波纹(LUM),均为0.38,表

表2 帝王花品种描述性性状分布频率及多样性指数

Table 2 Distribution frequencies and diversity indexes of different descriptive traits of *Protea* spp. cultivars

描述性性状	分布频率/%										$H'$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
生长习性				50.00				50.00				0.69
叶片密度			37.50				62.50					0.66
花枝侧枝				50.00				50.00				0.69
主茎颜色				50.00			37.50		12.50			0.97
叶片姿态				75.00					25.00			0.56
叶片最宽部分的位置					87.50					12.50		0.38
叶片顶端形状			25.00	12.50	25.00	25.00				12.50		1.56
叶片基部形状				37.50	12.50	25.00		12.50	12.50			1.49
叶色			25.00		37.50		12.50	25.00				1.32
叶片软毛				62.50				37.50				0.66
叶片主脉清晰度	12.50					87.50						0.38
叶片主脉颜色				75.00					25.00			0.56
叶片边缘波纹					87.50					12.50		0.38
叶片边缘颜色				62.50			12.50		25.00			0.90
叶柄			37.50				62.50					0.66
花枝硬度	12.50			25.00			62.50					0.90
花枝软毛				75.00					25.00			0.56
花枝软毛密度				75.00				12.50		12.50		0.74
花枝主色	12.50				37.50		50.00					0.97
花序狭长基部		25.00					75.00					0.56
花苞形状			37.50	12.50			25.00	25.00				1.32
花序主色		12.50		37.50		12.50		37.50				1.26
外苞片尖端形状			37.50			25.00		37.50				1.08
外苞片中间可见部分颜色	12.50					37.50	50.00					0.97
内苞片形状				62.50				37.50				0.66
内苞片尖端形状				62.50		25.00				12.50		0.90
内苞片顶端弯曲		25.00					75.00					0.56
内苞片尖部颜色	12.50				25.00	12.50	50.00					1.21
内苞片颜色			12.50	50.00			25.00		12.50			1.21
内苞片顶端绒毛				75.00					25.00			0.56
内苞片顶端绒毛颜色			12.50		75.00					12.50		0.74
小花相对于苞片的高度			50.00			37.50			12.50			0.97
小花尖端形状	12.50				50.00		37.50					0.97
小花颜色				62.50			25.00		12.50			0.90
花粉呈现者与花柱的结合点		25.00					75.00					0.56
平均值												0.84

表头中的数字1至10表示每个性状的不同表现,数字顺序所表示的性状与《植物物种特异性、一致性和稳定性测试指南帝王花属》性状表内记录的顺序一致。

明以上性状表型数量较少。叶片最宽部分的位置只有 2 种分化类型, 叶片最宽部位为中间的占比较大, 为 87.50%, 最宽部位为中上的占比较小, 为 12.50%。叶片主脉清晰度仅有 2 种分化类型, 其中主脉清楚的占比较大, 为 87.50%, 主脉不清楚的占比较小, 为 12.50%。叶片边缘波纹仅有 2 种分化类型, 叶片边缘没有波纹的占比较大, 为 87.50%, 边缘有波纹的占比较小, 为 12.50%。

8 个帝王花品种的叶片基部形状多为锥形(37.50%), 叶色多为黄绿色(37.50%), 花枝主色多为微红色(50.00%), 花苞形状以圆柱形(37.50%)为主, 花序主色以粉色(37.50%)和红色(37.50%)为多。

### 2.2 帝王花品种数值型性状的遗传多样性

对 8 个帝王花品种 23 个数值型性状进行统计分析, 结果(表 3)表明: 8 份帝王花品种的 23 个数值型性状差异明显, 变异系数为 6.57%~79.03%, 平均变异系数为 28.25%。其中叶宽、花序狭长基部长度、花序直径、叶片长宽比、花序长宽比的变异系数大于 40%; 直径、叶长、花序长度、外苞片

宽度、内苞片长度、花柱长度、花粉呈现者长度、花被长度的变异系数小于 20%; 其他 8 个性状(株高、主茎厚度、花枝长度、花枝厚度、小花团直径、外苞片可见部分长度、外苞片长度、内苞片宽度)的变异系数为 20%~40%; 花序狭长基部长度的变异系数最大, 为 79.03%, 说明花序狭长基部长度的变异性大, 容易产生变异; 花序长度的变异系数最小, 为 6.57%, 说明花序长度的变异性小, 不容易产生变异。8 份帝王花材料的叶宽、花序狭长基部长度、花序直径的变异范围大; 相比之下直径、叶长、花序长度、外苞片宽度、内苞片长度、花柱长度、花粉呈现者长度、花被长度的一致性较强, 变异范围小。此外, 23 个数值型性状的遗传多样性指数范围为 0.66~1.73, 平均遗传多样性指数为 1.47, 其中直径、叶长、小花团直径、外苞片可见部分长度的遗传多样性指数较高, 说明其遗传多样性更丰富。由此可见, 帝王花绝大部分性状之间拥有较大的变异, 表型可供选择多样, 有利于筛选出观赏价值高的品种。

表 3 帝王花品种数值型性状及其遗传多样性指数

Table 3 The quantitative characters of *Protea* spp. cultivars and their genetic diversity indexes

数值型性状	株高/cm	直径/cm	主茎厚度/mm	叶长/mm	叶宽/mm	叶片长宽比	花枝长度/cm	花枝厚度/mm	花序狭长基部长度/mm	花序长度/mm	花序直径/mm	花序长宽比
平均值	68.67	70.78	27.66	110.37	38.44	3.59	49.60	11.17	19.69	103.68	132.52	1.00
最大值	89.02	88.18	37.07	133.13	61.45	6.87	81.28	14.82	39.78	117.11	205.84	1.70
最小值	38.90	54.86	14.31	83.25	17.39	2.01	28.00	7.06	0.00	94.85	57.54	0.54
极差	50.12	33.32	22.76	49.88	44.07	4.87	53.28	7.75	39.78	22.26	148.31	1.16
标准差	18.72	9.82	8.06	15.97	17.06	1.85	14.36	2.72	15.56	6.81	58.00	0.50
变异系数/%	27.27	13.87	29.15	14.47	44.39	51.68	28.95	24.37	79.03	6.57	43.77	49.96
H'	1.32	1.73	1.67	1.73	1.32	1.39	1.56	1.49	1.49	1.67	1.26	0.66

数值型性状	小花团直径/mm	外苞片可见部分长度/mm	外苞片长度/mm	外苞片宽度/mm	内苞片长度/mm	内苞片宽度/mm	花柱长度/mm	花粉呈现者长度/mm	花被长度/mm	花期/月	花量/个
平均值	78.96	48.75	70.12	21.41	93.83	10.35	72.63	9.34	79.85	4.75	5.00
最大值	110.21	64.43	88.34	27.04	121.20	12.59	84.49	10.80	89.34	7.00	7.00
最小值	47.23	23.35	31.98	17.25	67.07	6.59	57.98	6.10	66.82	3.00	3.00
极差	62.98	41.08	56.36	9.79	54.13	6.00	26.52	4.70	22.52	4.00	4.00
标准差	21.27	13.84	17.84	3.12	17.97	2.20	9.57	1.47	8.27	1.56	1.41
变异系数/%	26.94	28.40	25.44	14.58	19.15	21.24	13.17	15.77	10.35	32.87	28.28
H'	1.73	1.73	1.67	1.49	1.49	1.39	1.67	1.49	1.67	1.08	1.04

23 个性状中有 6 个性状数据不符合正态分布(图 1), 分别是叶宽、花枝长度、花序狭长基部长度、花序直径、花柱长度、花粉呈现者长度。其中花柱长度分布最集中, 主要集中于 61.32~81.37 mm;

其次是花粉呈现者长度, 主要集中于 8.59~10.63 mm。花序狭长基部长度最离散, 变异系数为 79.03%; 其次是叶宽, 变异系数为 44.39%, 仅 3 个品种的叶宽大于 50 cm。花枝长度的变异系数为 28.95%,

花枝长度大于 40 cm 的品种有 7 个。花序直径的变异系数为 43.77%，5 个品种的花序直径大于 145 mm。

以上结果表明市场更偏好叶片较宽、花枝较长、花序较大的帝王花品种。

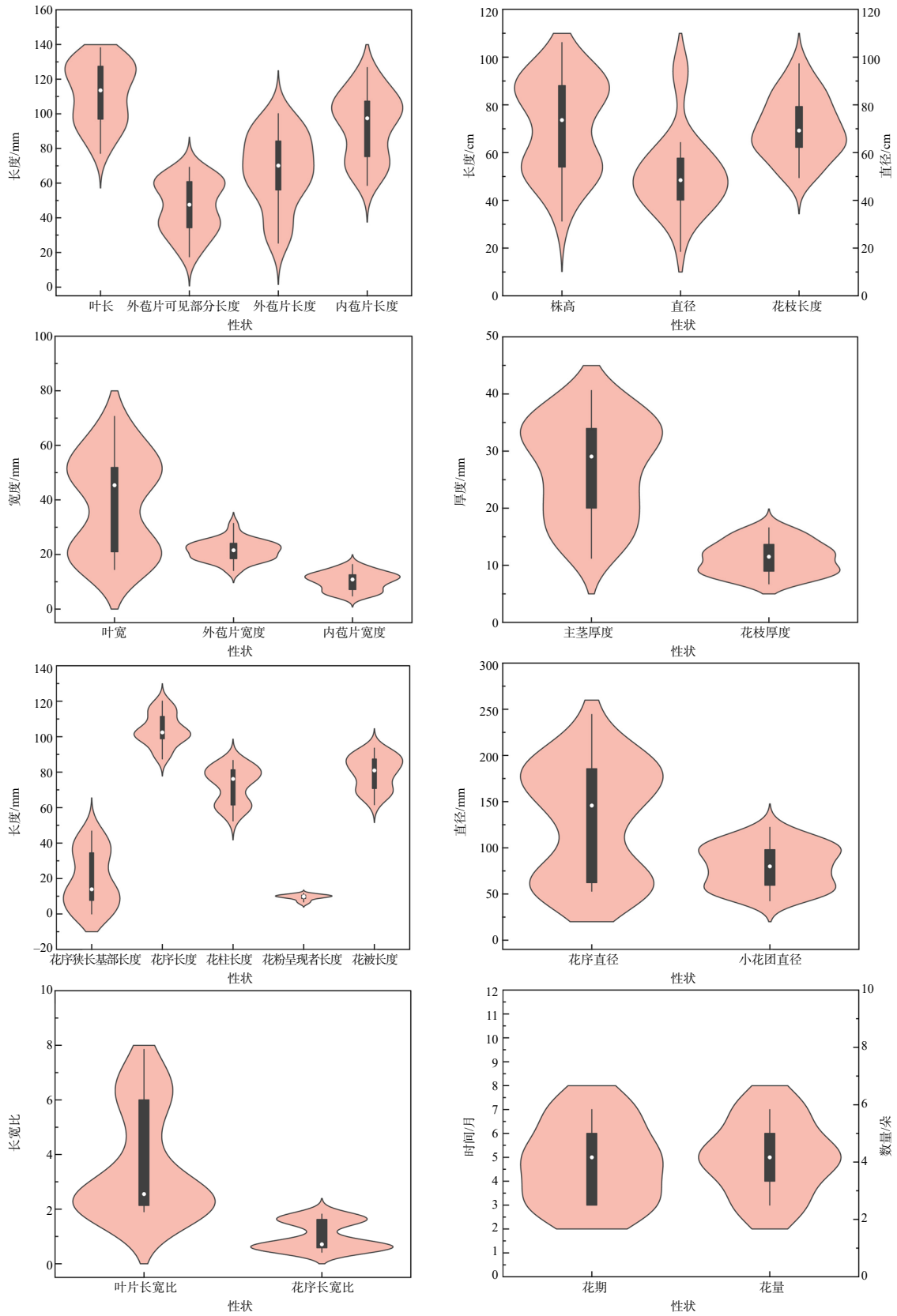


图 1 帝王花品种 23 个数值型性状的数据分布

Fig.1 Data range of 23 quantitative characters of *Protea* spp. cultivars

2.3 帝王花品种主要性状间相关性分析

选取 8 个帝王花品种的 32 个主要性状进行相关性分析, 结果如表 4 所示。花序直径(FHD)与叶柄(LP2)、花苞形状(FHSI), 花序长宽比(FHRLW)与内苞片形状(IFS)、小花颜色(FMC), 内苞片形状(IFS)与小花颜色(FMC)呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 相关系数均在 0.9 以上, 分别为 0.962、0.928、0.991、0.920、0.951。花序狭长基部长度(FNL)与叶色(LC), 花序直径(FHD)与花序长宽比(FHRLW)、外苞片尖端形状(OBSA)、内苞片形状(IFS)、小花颜色(FMC), 花期(FT)与叶色(LC), 花序长宽比(FHRLW)与叶柄

(LP2), 主茎颜色(MSC)与花序主色(FHPC), 叶色(LC)与叶柄(LP2), 叶柄(LP2)与小花颜色(FMC), 花苞形状(FHSI)与外苞片尖端形状(OBSA)呈显著负相关( $P < 0.01$ ), 相关系数均在-0.9 以下, 分别为-0.908、-0.979、-0.935、-0.962、-0.904、-0.955、-0.991、-0.948、-0.901、-0.951、-0.939。叶柄(LP2)与内苞片形状(IFS)和花序狭长基部(FHN)与内苞片顶端绒毛(IBAV)的相关系数为-1.000。以上结果说明 8 个帝王花品种的主要性状之间均存在不同程度的相关性。

表 4 帝王花品种表型性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient among phenotypic traits of *Protea* spp. cultivars

性状	PH	PD	MST	LL	LW	FBL	FBT	FNL	FHL	FHD	FMD	FT	IN	LRLW	FHRLW	MSC
PD	-0.011															
MST	-0.364	0.070														
LL	0.684	0.442	-0.122													
LW	-0.035	-0.076	0.638	0.297												
FBL	0.788*	0.352	-0.034	0.646	0.175											
FBT	0.539	-0.400	0.122	0.540	0.471	0.339										
FNL	-0.582	-0.239	0.360	-0.862**	-0.087	-0.421	-0.632									
FHL	0.330	0.259	0.434	0.226	0.460	0.706	0.153	0.010								
FHD	-0.221	-0.135	0.547	-0.522	0.267	0.039	-0.297	0.729*	0.641							
FMD	0.054	-0.198	0.607	-0.171	0.622	0.307	0.057	0.499	0.721*	0.847**						
FT	-0.532	-0.123	0.312	-0.674	0.185	-0.291	-0.631	0.887**	0.173	0.752*	0.637					
IN	-0.746*	0.387	0.142	-0.394	0.052	-0.397	-0.777*	0.523	-0.167	0.177	0.050	0.679				
LRLW	0.383	0.188	-0.719*	0.187	-0.871**	0.070	-0.132	-0.360	-0.452	-0.588	-0.759*	-0.575	-0.322			
FHRLW	0.331	0.129	-0.561	0.588	-0.286	0.025	0.381	-0.815*	-0.560	-0.979**	-0.849**	-0.853**	-0.333	0.643		
MSC	0.064	-0.152	0.070	-0.025	0.219	-0.200	-0.131	0.222	0.100	0.401	0.381	0.374	0.000	-0.211	-0.342	
LPB	0.300	0.670	-0.457	0.539	-0.422	0.150	-0.255	-0.478	-0.182	-0.479	-0.564	-0.424	0.000	0.670	0.535	0.204
LSA	0.551	-0.566	-0.399	0.371	-0.020	0.062	0.723*	-0.525	-0.428	-0.611	-0.310	-0.601	-0.675	0.325	0.644	-0.061
LSB	0.190	-0.470	-0.085	0.294	0.352	0.032	0.833*	-0.593	-0.123	-0.460	-0.207	-0.561	-0.495	-0.138	0.487	-0.377
LC	0.375	0.299	-0.255	0.726*	-0.104	0.184	0.518	-0.908**	-0.227	-0.802*	-0.699	-0.955**	-0.477	0.508	0.884**	-0.303
LP2	-0.276	-0.071	0.511	-0.547	0.259	0.051	-0.424	0.811*	0.576	0.962**	0.854**	0.868**	0.365	-0.606	-0.991**	0.325
FBPC	0.443	0.206	0.336	0.711*	0.376	0.332	0.519	-0.439	0.042	-0.314	0.038	-0.455	-0.365	0.022	0.345	0.139
FHN	-0.003	-0.547	0.093	-0.648	-0.066	0.052	-0.192	0.731*	0.270	0.702	0.644	0.647	0.000	-0.266	-0.730*	0.104
FHSI	0.008	-0.066	0.400	-0.326	0.266	0.300	-0.144	0.476	0.826*	0.928**	0.807*	0.556	0.000	-0.512	-0.868**	0.279
FHPC	0.116	0.022	-0.130	0.197	-0.039	0.313	0.382	-0.410	-0.039	-0.472	-0.323	-0.478	-0.162	0.129	0.430	-0.948**
OBSA	-0.016	0.008	-0.576	0.309	-0.268	-0.347	0.142	-0.560	-0.810*	-0.935**	-0.858**	-0.555	0.000	0.498	0.894**	-0.207
OBCE	0.559	0.124	0.263	0.585	0.150	0.585	0.618	-0.443	0.179	-0.310	-0.001	-0.601	-0.558	0.169	0.345	-0.414
IFS	0.276	0.071	-0.511	0.547	-0.259	-0.051	0.424	-0.811*	-0.576	-0.962**	-0.854**	-0.868**	-0.365	0.606	0.991**	-0.325
IBAV	0.003	0.547	-0.093	0.648	0.066	-0.052	0.192	-0.731*	-0.270	-0.702	-0.644	-0.647	0.000	0.266	0.730*	-0.104
IBAVC	-0.395	-0.055	0.302	0.180	0.376	-0.452	0.428	-0.383	-0.382	-0.467	-0.382	-0.404	0.000	-0.221	0.449	-0.206
FMH	0.336	0.255	-0.538	0.185	-0.127	0.526	-0.269	-0.074	0.192	-0.082	0.064	0.182	0.267	0.131	0.014	-0.204
FMSA	0.608	0.101	-0.622	0.074	-0.578	0.505	-0.281	0.027	0.148	0.047	0.003	0.022	-0.191	0.576	-0.010	0.073
FMC	0.110	0.072	-0.279	0.535	-0.021	-0.117	0.509	-0.800*	-0.509	-0.904**	-0.763*	-0.826*	-0.284	0.357	0.920**	-0.373

表 4(续)

性状	LPB	LSA	LSB	LC	LP2	FBPC	FHN	FHSI	FHPC	OBSA	OBCE	IBS	IBAV	IBAVC	FMH	FMSA
LSA	-0.026															
LSB	-0.370	0.659														
LC	0.553	0.468	0.488													
LP2	-0.488	-0.652	-0.542	-0.901**												
FBPC	0.293	0.405	0.108	0.494	-0.333											
FHN	-0.655	-0.118	-0.243	-0.844**	0.745*	-0.447										
FHSI	-0.419	-0.560	-0.300	-0.640	0.859**	-0.363	0.640									
FHPC	-0.260	0.266	0.610	0.387	-0.415	-0.059	-0.132	-0.288								
OBSA	0.436	0.551	0.404	0.650	-0.894**	0.149	-0.667	-0.939**	0.265							
OBCE	0.025	0.435	0.286	0.496	-0.323	0.764*	-0.190	-0.238	0.468	0.000						
IBS	0.488	0.652	0.542	0.901**	-1.000**	0.333	-0.745*	-0.859**	0.415	0.894**	0.323					
IBAV	0.655	0.118	0.243	0.844**	-0.745*	0.447	-1.000**	-0.640	0.132	0.667	0.190	0.745*				
IBAVC	-0.087	0.235	0.610	0.542	-0.533	0.296	-0.662	-0.526	0.263	0.530	0.136	0.533	0.662			
FMH	0.143	-0.077	-0.159	-0.213	0.098	-0.293	0.218	0.084	0.260	0.000	-0.124	-0.098	-0.218	-0.607		
FMSA	0.357	0.064	-0.434	-0.167	0.104	-0.174	0.389	0.169	-0.093	-0.156	0.009	-0.104	-0.389	-0.897**	0.663	
FMC	0.329	0.571	0.666	0.897**	-0.951**	0.363	-0.812*	-0.817*	0.476	0.851**	0.330	0.951**	0.812*	0.753*	-0.228	-0.388

“\*” “\*\*” 分别示 0.05、0.01 水平显著相关。PH 示株高; PD 示直径; MST 示主茎厚度; LL 示叶长; LW 示叶宽; FBL 示花枝长度; FBT 示花枝厚度; FNL 示花序狭长基部长度; FHL 示花序长度; FHD 示花序直径; FMD 示小花团直径; FT 示花期; IN 示花量; LRLW 示叶片长宽比; FHRLW 示花序长宽比; MSC 示主茎颜色; LPB 示叶片最宽部分的位置; LSA 示叶片顶端形状; LSB 示叶片基部形状; LC 示叶色; LP2 示叶柄; FBPC 示花枝主色; FHN 示花序狭长基部; FHSI 示花苞形状; FHPC 示花序主色; OBSA 示外苞片尖端形状; OBCE 示外苞片中间可见部分颜色; IBS 示内苞片形状; IBAV 示内苞片顶端绒毛; IBAVC 示内苞片顶端绒毛颜色; FMH 示小花相对于苞片的高度; FMSA 示小花尖端形状; FMC 示小花颜色。

2.4 帝王花品种表型性状的主成分分析

对 8 个帝王花品种的 58 个表型性状进行主成分分析, 结果如表 5 所示。前 4 个主成分累计贡献率达 83.17%, 表明这 4 个主成分所包含的信息量可代表帝王花 58 个性状所提供的大部分信息, 表现出帝王花品种的特征, 可用于对帝王花进行综合评价。第一主成分贡献率最大, 为 42.05%, 其特征向量中载荷较高且符号为正的性状有叶片软毛(LP)、内苞片形状(IBS)、花序长宽比(FHRLW)、小花颜色(FMC)、内苞片外侧顶部下方颜色(IBC)。这类性状在第一主成分中起着正向决定作用, 主要反映出

帝王花花序特征性状, 对各变量的方差贡献率达到 42.05%。在第二主成分的特征向量中, 载荷较高且符号为正的性状有叶片边缘波纹(LUM)、叶宽(LW), 此类性状主要反映帝王花叶片特征性状, 对各变量的方差贡献率达到 16.80%。在第三主成分的特征向量中, 载荷较高且符号为正的性状有花枝长度(FBL)、花枝硬度(FBR)、花枝厚度(FBT), 此类性状主要反映帝王花花枝特征性状, 对各变量的方差贡献率达到 15.22%。第四主成分对各变量的方差贡献率达 7.24%, 起决定作用的是直径(PD), 主要反映的是帝王花的植株形态。

表 5 帝王花品种表型性状主成分分析结果

Table 5 Principal component analysis results of among phenotypic traits of *Protea* spp. cultivars

性状	载荷				性状	载荷			
	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分		第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
LP	0.991	-0.003	-0.074	0.040	JPPS	-0.092	-0.728	0.529	0.088
IBS	0.991	-0.003	-0.074	0.040	OBLE	-0.503	0.720	-0.199	0.172
LP2	-0.991	0.003	0.074	-0.040	LRLW	0.587	-0.688	-0.241	0.081
FHRLW	0.988	-0.090	-0.058	0.079	LW	-0.232	0.675	0.517	0.102
FHD	-0.969	0.060	0.136	-0.041	MST	-0.467	0.653	0.325	0.131
SL	-0.956	-0.036	0.185	0.163	PPL	-0.597	-0.642	0.206	0.393

表 5(续)

性状	载荷				性状	载荷			
	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分		第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
FMC	0.948	0.302	-0.041	0.048	IBCA	0.387	0.035	0.786	-0.028
IBCB	0.942	0.234	0.193	0.092	FBL	0.007	-0.345	0.779	0.327
PL	-0.937	-0.105	0.211	0.233	FBR	0.590	-0.079	0.773	0.182
LC	0.894	0.112	0.159	0.315	OBCE	0.422	-0.024	0.742	0.058
IBL	-0.887	-0.010	0.231	-0.236	FBT	0.468	0.301	0.739	-0.275
FT	-0.879	0.023	-0.303	-0.116	PH	0.304	-0.564	0.721	0.088
OBSA	0.870	0.016	-0.397	-0.037	GH	0.191	0.363	-0.667	0.404
FHSI	-0.867	0.006	0.296	0.018	DLS	0.216	-0.539	-0.648	-0.135
FMD	-0.821	0.122	0.517	-0.066	IN	-0.382	0.203	-0.646	0.256
FNL	-0.805	-0.048	-0.352	-0.299	FD	0.555	0.078	-0.640	-0.079
LMC2	0.782	0.325	0.091	-0.518	FHL	-0.557	0.065	0.640	0.341
IBSA	0.751	0.656	0.009	0.051	FBPC	0.380	0.086	0.583	0.349
FBP	0.726	-0.661	-0.119	0.008	LL	0.562	-0.039	0.563	0.550
IBIA	-0.726	0.661	0.119	-0.008	PD	0.060	-0.044	-0.099	0.915
FBDP	0.725	-0.649	-0.080	-0.174	LPB	0.427	-0.430	-0.227	0.736
FHN	-0.709	-0.329	0.137	-0.599	IBW	-0.118	0.367	-0.298	0.559
IBAV	0.709	0.329	-0.137	0.599	LMC	0.259	-0.025	0.088	0.011
LSA	0.682	-0.170	0.351	-0.496	MSC	-0.406	-0.131	-0.036	0.212
OBL	-0.675	0.448	0.021	0.397	OBW	-0.537	0.378	0.402	0.093
LCM	0.648	0.258	0.355	-0.406	FMH	-0.075	-0.530	0.043	0.102
LSB	0.570	0.465	0.338	-0.462	FHPC	0.497	0.176	0.221	-0.280
LPA	-0.541	0.111	-0.193	-0.153	特征值	24.39	9.75	8.83	4.20
FMSA	-0.103	-0.966	0.100	0.043	贡献率/%	42.05	16.80	15.22	7.24
LUM	0.500	0.860	0.048	0.048	累计贡献率/%	42.05	58.85	74.08	83.17
IBAVC	0.528	0.820	-0.118	-0.018					

LP 示叶片软毛; IBS 示内苞片形状; LP2 示叶柄; FHRLW 示花序长宽比; FHD 示花序直径; SL 示花柱长度; FMC 示小花颜色; IBCB 示内苞片外侧顶部下方颜色; PL 示花被长度; LC 示叶色; IBL 示内苞片长度; FT 示花期; OBSA 示外苞片尖端形状; FHSI 示花苞形状; FMD 示小花团直径; FNL 示花序狭长基部长度; LMC2 示叶片主脉颜色; IBSA 示内苞片尖端形状; FBP 示花枝软毛; IBIA 示内苞片顶端弯曲; FBDP 示花枝软毛密度; FHN 示花序狭长基部; IBAV 示内苞片顶端绒毛; LSA 示叶片顶端形状; OBL 示外总苞片长度; LCM 示叶片边缘颜色; LSB 示叶片基部形状; LPA 示叶片与枝条相关的主要姿态; FMSA 示小花尖端形状; LUM 示叶片边缘波纹; IBAVC 示内苞片顶端绒毛颜色; JPPS 示花粉呈现者与花柱的结合点; OBLE 示外苞片可见部分的长度; LRLW 示叶片长宽比; LW 示叶宽; MST 示主茎厚度; PPL 示花粉呈现者长度; IBCA 示内苞片外侧上部颜色; FBL 示花枝长度; FBR 示花枝硬度; OBCE 示外苞片中间可见部分颜色; FBT 示花枝厚度; PH 示株高; GH 示生长习性; DLS 示花序正下方侧枝的发育; IN 示花量; FD 示叶片密度; FHL 示花序长度; FBPC 示花枝主色; LL 示叶长; PD 示直径; LPB 示叶片最宽部分的位置; IBW 示内苞片宽度; LMC 示叶片主脉清晰度; MSC 示主茎颜色; OBW 示外总苞片宽度; FMH 示小花相对于苞片的高度; FHPC 示花序主色。

2.5 帝王花品种的聚类分析

对 8 个帝王花品种以主成分分析确定的 58 个性状为变量进行 Q 型聚类, 采用平方欧式距离, 在遗传距离  $M_1=20$  时, 可将供试品种分为 2 个类群(图 2)。类群 I 包含 5 个帝王花品种, 分别为 ‘马迪巴’ ‘粉国王’ ‘小王子’ ‘迷你国王’ ‘白色王冠’, 其特征表现为花序展开, 花型较大, 内苞片顶端无绒毛, 花枝表面无毛, 叶片光滑, 花期较长。类群 II 包含 3 个帝王花品种, 分别为 ‘粉冰’ ‘兰斯洛特’ ‘格兰迪’, 其特征表现为花序形状为圆柱形, 花型较小, 内苞片顶端有绒毛, 花枝和叶片表面有

软毛, 花期较短。

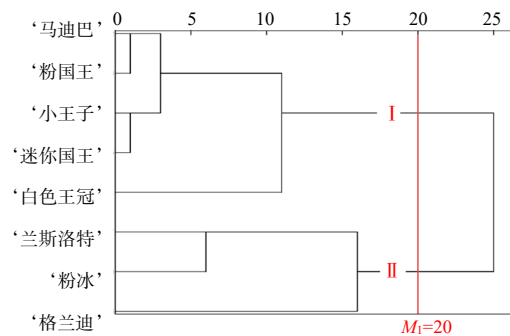


图 2 8 个帝王花品种的聚类分析结果

Fig.2 The cluster analysis results of 8 *Protea* spp. cultivars



### 3 结论与讨论

遗传多样性是生物物种多样性的基础,每个物种都具有其独特的基因库和遗传组织形式,物种的多样性显示了基因遗传的多样性<sup>[19]</sup>。表型性状作为植物遗传多样性研究的考量标准,其变异系数和多样性指数作为种质资源间遗传差异的主要指标,反映了种质间性状的离散程度和多样性,二者值越大说明品种间差异越大,品种改良潜力越大<sup>[20]</sup>。通过对云南主要引种植的8个帝王花品种的58个表型性状进行遗传多样性分析,结果显示35个描述性性状的多样性指数为0.38~1.56,平均值为0.84,23个数值型性状的多样性指数为0.66~1.73,平均值为1.47。2类性状相比,数值型性状的多样性高于描述性性状的,说明数值型性状更容易受到种质或环境的影响,而描述性性状则更稳定,这与前人对紫薇<sup>[21]</sup>、芍药<sup>[22]</sup>等观赏植物的研究结果一致。叶形、花序颜色等8个主要观赏性状(叶片顶端形状、叶片基部形状、叶色、花苞形状、花序主色、外苞片尖端形状、内苞片尖部颜色、内苞片颜色)的多样性指数大于1,说明帝王花的观赏性状具有丰富的遗传多样性,开发潜力巨大,有利于选育观赏价值高的品种。

本研究基于帝王花表型性状,采用相关性、主成分和聚类分析的方法,对帝王花品种进行综合分析。花序直径与叶柄、花苞形状,花序长宽比与内苞片形状、小花颜色,内苞片形状与小花颜色呈极显著正相关,相关系数在0.9以上。王红梅等<sup>[15]</sup>认为相关系数大于0.707或者小于-0.707才具有生理意义,说明帝王花性状之间的相关性较强且存在相互影响。因此,选育优良帝王花品种时,要综合考虑各性状之间的联系,根据相关规律来确定育种目标,充分考虑针对某些性状的改良是否会引起其他性状的变化。在育种过程中,可以在花苞形成之前通过主茎颜色预测花序主色,利用花序狭长基部长度预测花序直径。

帝王花表型性状指标较多且存在相关性,利用主成分分析筛选出4个主成分,分别是花序特征性状因子、叶片特征性状因子、花枝特征性状因子和植株形态因子,其累计方差贡献率达83.17%,能够反映性状的大部分信息,有利于对帝王花种质资源

进行系统评价与分类,可作为帝王花种质创新和亲本选择的主要性状指标。叶片软毛、内苞片形状、花序长宽比、小花颜色、内苞片外侧顶部下方颜色、叶片边缘波纹、叶宽、花枝长度、花枝硬度、花枝厚度、直径等11个指标对主成分的贡献率较大,说明这11个指标是影响帝王花品种选育的主要性状,能帮助育种者简化育种工作<sup>[23]</sup>。

聚类分析对综合评价亲本、合理利用种质资源等具有重要的参考价值。本研究将8个帝王花品种根据表型性状进行Q型聚类,结果表明其在平方欧式距离 $M_1=20$ 时划分为2类。类群I的特征表现为花序展开,花型较大,内苞片顶端无绒毛,花枝表面无毛,叶片光滑,花期较长;类群II的特征表现为花序形状为圆柱形,花型较小,内苞片顶端有绒毛,花枝和叶片表面有软毛,花期较短。类群I和类群II的亲缘关系较远,最大的区别就是花序形状及内苞片顶端有无绒毛。市场上人们将类群I称为“帝王系列”,类群II称为“公主系列”。进一步分析这种聚类与植物学分类的相关性,发现类群I均来源于同一个种 *Protea cynaroides*;类群II来源于其他种或种间杂交。

在本研究的8个帝王花品种中,大花型品种占多数,如‘马迪巴’‘粉国王’‘小王子’‘迷你国王’‘白色王冠’;小花型品种占比较少,如‘兰斯洛特’‘粉冰’‘格兰迪’。通过表型现状分析发现,‘马迪巴’‘粉国王’‘小王子’‘兰斯洛特’‘粉冰’品种株高偏高,茎秆粗壮,适宜做切花;‘迷你国王’‘白色王冠’‘格兰迪’品种单株花量大,花期长,枝叶繁多,植株矮小,适宜于盆栽观赏。

作为南半球最古老的开花植物之一,帝王花在长期的演化过程中形成了适应性强、花色丰富等诸多特性,但是由于人工种植时间短,对帝王花品种开发利用程度较低,大多数品种都是人工驯化而来。因此,如何挖掘帝王花优异基因,培育更多观赏价值高的新品种,成为未来帝王花研究的重点方向。亲缘关系的远近是育种成败的关键。本研究利用表型性状具有稳定性和保守性的特点来确定植物种内变种或品种之间的亲缘关系具有一定的合理性,但由于表型性状的鉴定易受鉴定人员的主观判断、标准选择及环境条件等因素影响,导致基于

种质资源的表型性状开展遗传多样性分析具有一定的局限性,单纯依靠表型性状不能提供足够的能反映内在遗传关系的信息<sup>[24]</sup>。因此,以后可以从孢粉学、分子生物学与细胞学的角度来分析品种间差异,鉴定品种亲缘关系,以印证和补充形态学分类结果,深入对帝王花品种的系统分类及亲缘关系的鉴定,更加准确地掌握帝王花品种资源的遗传信息。

#### 参考文献:

- [1] 姜岩,石超,姜巍,等.帝王花引种栽培技术[J].现代农业科技,2010(24):193,202.
- [2] MATTHEWS L J. The protea book : a guide to cultivated proteaceae[M]. Christchurch, New Zealand: Canterbury University Press, 2002.
- [3] 代色平,朱纯,黄花枝.南非山龙眼科(Proteaceae)植物介绍[J].广东园林,2007,29(6):66.
- [4] SUN W H, YUAN X Y, LIU Z J, et al. Multivariate analysis reveals phenotypic diversity of *Euscaphis japonica* population[J]. PLoS One, 2019, 14(7): e0219046.
- [5] 李嘉伟,苏江硕,张飞,等.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.
- [6] 王少峰,蓝炎阳,林金璇.不同帝王花品种引种培育对比[J].现代园艺,2017(22):12.
- [7] 王少峰,蓝炎阳,林金璇.不同无土栽培基质对帝王花种苗生长的影响[J].现代园艺,2017(20):14.
- [8] 武怀燕,郭志铭,山金凤,等.皇后帝王花种子休眠及解除方法研究[J].热带作物学报,2021,42(9):2631-2637.
- [9] 山金凤,刘子嘉,曾莹,等.皇后帝王花种皮特性对种子休眠的影响[J].热带作物学报,2019,40(1):67-72.
- [10] 郭志铭,武怀燕,山金凤,等.变温层积过程中皇后帝王花种子内源激素含量的变化[J].分子植物育种,2023,21(4):1306-1312.
- [11] WU H C. *In vitro* culture of *Protea cynaroides* L. microshoots in a temporary immersion system[J]. Acta Horticulturae, 2016(1113): 67-72.
- [12] WU H C, TOIT E S D. *In vitro* multiplication of *Protea cynaroides* L. microshoots and the effects of high phosphorous concentration on explant growth[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(63): 12630-12633.
- [13] 陈权,陈慧兰,李文剑.帝王花种子无菌播种和快速繁殖研究[J].安徽农业科学,2020,48(2):67-69.
- [14] 关玉梅,谢云,金锡勤,等.浙江红山茶观赏性状的主成分分析[J].浙江农业学报,2013,25(2):252-258.
- [15] 王红梅,杨森,黄海睿,等.圆锥绣球品种的观赏性状及聚类分析[J].福建农业学报,2020,35(3):286-294.
- [16] 张斌斌,蔡志翔,沈志军,等.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):2406-2418.
- [17] 赵正楠,李子敬,辛海波,等.不同花色一串红品种观赏性状的相关性及聚类分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(1):111-118.
- [18] 郭英姿,贾文庆,刘会超,等.三十二个品种芍药观赏性状的主成分分析[J].北方园艺,2018(4):110-116.
- [19] 中国科学院生物多样性委员会.生物遗传多样性研究的原理及方法[M].北京:科学出版社,1994.
- [20] 沈甲诚,焦越佳,张可可,等.箭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.
- [21] 王业社,侯伯鑫,索志立,等.紫薇品种表型多样性分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(1):71-79.
- [22] 万映伶,朱梦婷,刘爱青,等.中国观赏芍药表型多样性解析与资源评价[J].中国农业科学,2022,55(18):3629-3639.
- [23] 连子豪,黄少华,陈艳艳,等.红掌种质资源重要观赏性状遗传多样性分析[J].热带作物学报,2020,41(12):2413-2419.
- [24] 罗会英,赵琼玲,代建菊,等.云南罗望子种质资源植物学性状比较研究[J].热带作物学报,2015,36(6):1067-1077.

责任编辑:毛友纯  
英文编辑:柳正