

白掌种质资源主要观赏性状的表型多样性分析

周熠玮¹, 廖飞雄², 叶远俊¹, 刘小飞¹, 徐晔春¹, 谭健俊¹, 刘金梅^{1*}

1. 广东省农业科学院环境园艺研究所/广东省园林花卉种质创新综合利用重点实验室/广州市热带盆栽观赏植物工程技术研究中心, 广东广州 510640; 2. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东广州 510642

摘要: 白掌属植物 (*Spathiphyllum* Schott) 是天南星科多年生草本植物, 是重要的观叶植物。种质资源表型多样性是观赏植物育种与应用的基础。本研究以 20 份白掌种质资源为材料, 对 27 个重要的观赏性状进行观测, 结合变异分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析等多元统计方法解析白掌种质资源表型性状的多样性。结果表明: 16 个数量性状的变异系数范围为 27.2%~69.9%, 其中株高、分芽数、叶片数、叶宽、叶柄粗、花序长和小花数变异较大, 而株幅和花序粗变异较小。11 个描述型性状可以被划分为 2~4 个等级, 香农-维纳指数范围为 0.20~1.01, 其中叶形的香农-维纳指数最高, 而花被片是否分离和花被片颜色的香农-维纳指数最低。对 27 个性状进行聚类分析发现, 当距离为 3 时可以划分为 Group A 和 Group B 两组; Pearson 相关分析表明, 27 个性状两两之间的相关系数范围为-0.72~0.91。在 Group A 中, 性状之间大部分呈显著相关, 其中佛焰苞长分别与佛焰苞宽和花序长的相关系数高达 0.91, 而在 Group B 中性状大部分相关性不显著。聚类分析和主成分分析表明, 20 份白掌种质可以分为 Group I 和 Group II。Group I 包括阔叶白掌、绿苞白掌、克利夫兰迪、亮叶、皇后、中花和绿巨人共 7 份种质, 主要特征为植株较高大, 叶片较大, 佛焰苞较大, 花序巨大。Group II 包括多花绒白掌、天骄、水草、帕里斯、娇小、维客、美酒、泰勒、科丽丝、甜芝、甜糕、碧绿和阳光之梦, 主要特征为分芽数和叶片数较多, 更加矮化紧凑。该研究结果可为白掌的种质评价和品种培育提供参考。

关键词: 白掌; 种质资源; 观赏性状; 表型多样性

中图分类号: S682.31 文献标识码: A

Phenotypic Diversity Analysis of Main Ornamental Traits in the Germplasm Resources of *Spathiphyllum*

ZHOU Yiwei¹, LIAO Feixiong², YE Yuanjun¹, LIU Xiaofei¹, XU Yechun¹, TAN Jianjun¹, LIU Jinmei^{1*}

1. Environmental Horticulture Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Guangdong Key Lab of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization / Guangzhou Municipal Engineering and Technology Center for Potted Tropical Ornamental Plant, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. College of Forestry and Landscape Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China

Abstract: *Spathiphyllum* Schott is a perennial herb of Araceae, which is an important foliage plant for ornamental. Phenotypic diversity of germplasm resources is the basis of ornamental plants breeding and application. In the current study, 27 important ornamental traits of 20 *Spathiphyllum* germplasm resources were observed and the phenotypic diversity was analyzed by multivariate statistical analysis methods including variance analysis, correlation analysis, hierarchical cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA). The results of variance analysis showed that the coefficients of variation of the 16 quantitative traits ranged from 27.2% to 69.9%. The plant height, number of shoots, number of leaves, blade width, petiole diameter, spadix length and number of flowers were highly variable, while the plant width and spadix diameter had small variation. Eleven descriptive traits could be divided into 2~4 grades according to the observed characteristics. And the Shannon-Wiener indices of 11 descriptive traits ranged from 0.20 to 1.01, among which the Shannon-Wiener indices of leaf shape were the highest, whereas that of perianth separation and

收稿日期 2022-09-26; 修回日期 2022-11-02

基金项目 广州市科技计划项目 (No. 202002020025)。

作者简介 周熠玮 (1994—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 观赏植物遗传育种。*通信作者 (Corresponding author): 刘金梅 (LIU Jinmei), E-mail: jinmeiliu@qq.com。

perianth color were the lowest. The hierarchical cluster analysis tree of 27 traits supported that when the euclidean distance was 3, they could be divided into two groups: Group A and Group B. The result of Pearson correlation analysis revealed that the correlation coefficient between 27 traits ranged from -0.72 to 0.91 . In Group A, most of the traits were significantly correlated with each other, and the correlation coefficients between bud length and bud width, bud length and inflorescence length were 0.91 . In Group B, most of the traits pairs were not significantly correlated. Both hierarchical cluster analysis and principal component analysis supported that the 20 *Spathiphyllum* germplasm resources could be divided into 2 Groups (Group I and Group II) based on data of 27 traits. Group I contained 7 accessions including *S. cannifolium*, *S. ortgiesii*, *S. Clevelandii*, *S. Bright*, *S. Princess*, *S. Middle Flower* and *S. Sensation*, and they were taller and had larger leaves, larger spathes, and larger spadixes. Group II was consisted of *S. floribundum*, *S. Coddy Color*, *S. Water Grass*, *S. Parrish*, *S. Mini*, *S. Vicki Lynn*, *S. Mojo*, *S. Tyler Green*, *S. Crisis*, *S. Sweet Chico*, *S. Sweet Claudio*, *S. Dark Green* and *S. Sunshine Dream*. And the 13 accessions of Group II had more buds and leaves, and were smaller and more compact. The research results could provide a reference for evaluation and breeding of *Spathiphyllum* germplasm resources.

Keywords: *Spathiphyllum*; germplasm resources; ornamental traits; phenotypic diversity

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.02.006

白掌属植物 (*Spathiphyllum* Schott) 隶属于天南星科 (Araceae), 分布于热带美洲、西印度群岛和马来群岛, 已报道有 41 个原生种^[1]。白掌具有耐荫性强、生产周期短、适应性广和兼具观叶观花的特点, 已成为生产和应用上最重要的观叶植物种类之一^[2-4]。

目前白掌的研究主要集中在倍性鉴定^[5]、高效繁殖体系的建立^[6]、栽培生理^[7]和杂交育种^[4, 8]等方面。在遗传多样性方面也有一些报道, 刘小飞等^[9]利用 30 对 SRAP 引物对 23 份白掌种质进行遗传多样性分析, 扩增出 214 个多态性位点, 聚类分析表明可以将 23 份种质分为 3 组。郭甜馨等^[10]筛选出 9 个多态性好的 ISSR 标记对 21 份白掌种质 (14 份栽培品种和 7 个杂交品系) 进行分析, 共扩增出 120 个多态性位点, 聚类分析表明, 可以将 14 份栽培品种划分为 3 组, 将 7 份杂交品系

划分为 2 组。但在观赏性状表型多样性方面仍鲜有报道, 岑彩嫻^[8]对 16 个白掌栽培品种的 15 个重要观赏性状进行观赏性评价, 但未对主要观赏性状的表型多样性进行分析, 这不利于白掌种质的表型评价和新品种选育。

本研究以收集的 20 份白掌种质资源为材料, 参考国际植物新品种保护公约 (UPOV) 的白掌 DUS 测试指南, 筛选出 27 个主要观赏性状并进行观测, 结合多元统计分析方法解析白掌种质资源主要观赏性状的表型多样性, 为今后开展白掌种质评价提供数据支持, 为白掌资源的开发利用和新品种的选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 20 份白掌种质资源(表 1, 图 1),

表 1 20 份白掌种质资源
Tab. 1 20 germplasm resources of *Spathiphyllum*

编号 No.	拉丁名 Latin name	中文名 Chinese name	编号 No.	拉丁名 Latin name	中文名 Chinese name
S1	<i>S. cannifolium</i>	阔叶白掌	S11	<i>S. Water Grass</i>	水草
S2	<i>S. floribundum</i>	多花绒白掌	S12	<i>S. Sweet Chico</i>	甜芝
S3	<i>S. ortgiesii</i>	绿苞白掌	S13	<i>S. Princess</i>	皇后
S4	<i>S. Coddy Color</i>	天骄	S14	<i>S. Sweet Claudio</i>	甜糕
S5	<i>S. Parrish</i>	帕里斯	S15	<i>S. Mojo</i>	美酒
S6	<i>S. Tyler Green</i>	泰勒	S16	<i>S. Clevelandii</i>	克利夫兰迪
S7	<i>S. Bright</i>	亮叶	S17	<i>S. Middle Flower</i>	中花
S8	<i>S. Sensation</i>	绿巨人	S18	<i>S. Dark Green</i>	碧绿
S9	<i>S. Crisis</i>	科丽丝	S19	<i>S. Sunshine Dream</i>	阳光之梦
S10	<i>S. Vicki Lynn</i>	维客	S20	<i>S. Mini</i>	娇小



图 1 20 份白掌种质植株
Fig. 1 20 germplasm resources of *Spathiphyllum*

均保存于广东省名优花卉资源圃。

1.2 方法

1.2.1 性状的选取 根据白掌的观赏特性，于 2013—2014 年对白掌种质资源形态指标进行观测和统计。确定对以下指标进行调查测定：株高、株幅、分芽数、叶片数、叶长、叶宽、叶形、叶色、佛焰苞开放形态、苞片长、苞片宽、苞片颜色、花序长、花序粗、小花数量/花序、雌蕊形态、胚珠数/子房、花梗长、花梗粗。测定工具有游标卡尺、直尺、卷尺。

每个品种随机选取 3 株成熟植株（生长周期 2 a 以上）进行连续 2 a 的调查，花部性状于盛花期观测，花色以花朵完全盛开时的颜色为准。每个品种测定 3 个样本，观测结果以平均值表示。

1.2.2 数量编码的方法 参考 UPOV 的白掌 DUS 测试指南选取 27 个性状，对 20 份白掌种质进行观测。在性状数量化过程中，采用以下 3 种编码方法：二元性状 5 个，以 0、1 表示；数量多态性状 16 个，取其平均值直接转入下一步数学运算；定性多态性状 6 个。27 个性状的信息和编码见表 2。

1.3 数据处理

采用 WPS 表格计算各性状最大值、最小值、

极差、平均值、标准差、变异系数、香农-维尔纳指数（Shannon-Wiener, H' ）和各描述型性状分级的频率。香农-维尔纳指数根据公式（1）进行计算。

$$H' = - \sum P_i \ln(P_i) \tag{1}$$

式中， P_i 为样品中属于第 i 种类型的个体数占样品总个体数的比例，如样品总个体数为 N ，第 i 种类型的个体数为 N_i ，则 $P_i = N_i / N$ 。

用 R 4.1.2 软件进行相关性分析和热图绘制。用 Origin 软件进行系统聚类分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 数值型性状多样性分析

如表 3 所示，20 份白掌种质 16 个数量型性状变异整体较高，变异系数范围为 27.2%~69.9%，其中株高、分芽数、叶片数、叶宽、叶柄粗、花序长和小花数变异较大，变异系数均超过 50%，而株幅和花序粗变异较小，变异系数均低于 30%。

株高的平均值为 37.9 cm，其中最高的是绿巨人，最矮的是水草。株幅的平均值为 54.4 cm，株幅最大的是绿巨人，最小的是美酒。分芽数平均值为 4.3 个，其中最多的是水草。叶长、叶宽、叶柄长和叶柄粗的平均值分别为 24.2、9.6、19.3、

表 2 27 个性状信息及编码
Tab. 2 Information of 27 traits and coding

编号 No.	性状 Trait	编码类型 Type	性状描述和编码 Character description and coding
N1	株高	N	以植株从地面至最顶端叶片的高度为准
N2	株幅	N	俯视角度下, 植株叶片构成的最大圆的直径
N3	分芽数	N	成熟植株的出芽数
N4	叶片数	N	成熟植株的叶片数量
N5	叶长	N	支撑第一朵花的叶片的最大长度
N6	叶宽	N	支撑第一朵花的叶片的最大宽度
N7	叶柄长	N	叶柄基部至叶枕之间的距离
N8	叶柄粗	N	叶柄基部的直径长度
N9	佛焰苞长	N	佛焰苞基部至尾尖的长度
N10	佛焰苞宽	N	佛焰苞的最大宽度
N11	花梗长	N	花梗基部至佛焰苞基部的长度
N12	花梗粗	N	花梗基部的直径长度
N13	花序长	N	肉穗花序基部至顶部的长度
N14	花序粗	N	肉穗花序的直径长度
N15	胚珠数	N	单个子房内胚珠数目
N16	小花数	N	整个花序小花数目
O1	叶形	O	披针形, 1; 卵形, 2; 倒卵形, 3; 阔椭圆形, 4
B1	叶缘	B	全缘, 1; 波浪状, 2
O2	叶色	O	绿色, 1; 墨绿色, 2
O3	佛焰苞正面颜色	O	白色, 1; 浅绿色, 2; 绿色, 3
O4	佛焰苞背面颜色	O	白色, 1; 浅绿色, 2; 绿色, 3
O5	佛焰苞形状	O	阔卵形, 1; 卵形, 2; 披针形, 3
B2	佛焰苞开放形态	B	直立内扣, 0; 倾斜外扣 1
O6	雌蕊形态	O	扁平, 1; 圆突起, 2; 尖突起, 3
B3	花被片是否分离	B	合生, 0; 分离, 1
O7	花被片颜色	O	绿色, 0; 白色, 1
B4	花序与花梗的角度	B	不成直线, 0; 成直线, 1

注: O 表示有序多态性状; B 表示二元性状; N 表示数值性状。
Note: O means ordered multistate character; B means binary character; N means numerical character.

表 3 16 个数值型性状的变异特征
Tab. 3 Variation characteristics of 16 numerical traits

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高/cm	120.6	21.0	99.6	37.9	22.2	58.6
株幅/cm	101.1	38.0	63.1	54.4	16.3	29.9
分芽数/个	10.0	1.0	9.0	4.3	2.9	67.1
叶片数/片	130.0	12.0	118.0	54.6	38.2	69.9
叶长/cm	40.5	7.5	33.0	24.2	8.3	34.3
叶宽/cm	22.4	3.5	18.9	9.6	5.3	55.2
叶柄长/cm	30.0	9.1	20.9	19.3	6.2	32.0
叶柄粗/cm	1.1	0.2	0.9	0.4	0.2	66.3
佛焰苞长/cm	29.0	7.5	21.5	14.3	5.8	40.6
佛焰苞宽/cm	13.0	3.0	10.0	7.5	3.6	47.7
花梗长/cm	61.0	12.0	49.0	33.0	12.8	38.8
花梗粗/cm	0.7	0.3	0.4	0.4	0.1	30.9
花序长/cm	14.0	1.6	12.4	5.4	3.2	58.5
花序粗/cm	1.9	0.6	1.3	1.1	0.3	27.2
胚珠数/个	19.3	5.0	14.3	10.0	3.7	36.9
小花数/朵	364.0	42.5	321.5	122.1	70.4	57.6

0.4 cm。佛焰苞长和佛焰苞宽的平均值分别为 14.3 cm 和 7.5 cm，变异系数分别为 40.6%和 47.7%。花梗长和花梗粗的平均值分别为 33.0 cm 和 0.4 cm，变异系数分别为 38.8%和 30.9%。花序长和花序粗的平均值分别为 5.4 cm 和 1.1 cm，变异系数分别为 58.55%和 27.2%。胚珠数的平均值为 10.0 个，其中数量最多的是绿巨人，最少的是水草。小花数的平均值为 122.1 个，其中数量最多的是绿巨人，多达 364.0 朵，最小的是水草，仅有 42.5 朵。

2.2 描述型性状多样性分析

20 份白掌种质的 11 个描述型性状多样性如表 4 所示，共有 28 种分级类型，每个性状可划分为 2~4 个等级，其中叶形可划分的等级最多。11 个描述型性状的香农-维纳指数范围为 0.20~1.01，其中叶形的香农-维纳指数最高，其次是雌蕊形态，而花被片是否分离和花被片颜色的香农-维纳指数

最低。叶形可以分为披针形、卵形、倒卵形和阔椭圆形等 4 种类型，其中披针形的频率最高，达 0.50。叶缘可以分为全缘和波浪状 2 种类型，2 种类型各占 50%。叶色可以分为绿色和墨绿色 2 种类型，其中绿色频率高达 0.85。佛焰苞片正面颜色和背面颜色均可以分为白色、浅绿色和绿色等 3 种类型，其中白色频率最高。佛焰苞形状可以分为阔卵形、卵形和披针形等 3 种类型，其中卵形的频率最高，达 0.75。佛焰苞开放形态可以分为直立内扣、倾斜外扣 2 种类型，其中直立内口的频率高达 0.85。雌蕊形态可以分为扁平、圆突起和尖突起等 3 种类型，其中尖突的频率最高，达 0.65。花被片是否分离可以分为合生和分离等 2 种类型，其中分离的频率高达 0.95。花被片颜色可以分为绿色和白色 2 种类型，其中白色的频率高达 0.95。花序与花梗是否呈直线可以分为不成直线和成直线 2 种类型，其中不成直线的频率较高，为 0.6。

表 4 11 个描述型性状的分级与多样性
Tab. 4 Classification and diversity of 11 descriptive traits

性状 Trait	分级（频率）Classification (frequency)				香农-维纳指数 H'
叶形	披针形（0.50）	卵形（0.40）	倒卵形（0.05）	阔椭圆形（0.05）	1.01
叶缘	全缘（0.50）	波浪状（0.50）			0.69
叶色	绿色（0.85）	墨绿色（0.15）			0.42
佛焰苞正面颜色	白色（0.90）	浅绿色（0.05）	绿色（0.05）		0.39
佛焰苞背面颜色	白色（0.85）	浅绿色（0.05）	绿色（0.10）		0.52
佛焰苞形状	阔卵形（0.10）	卵形（0.75）	披针形（0.15）		0.73
佛焰苞开放形态	直立内扣（0.85）	倾斜外扣（0.15）			0.42
雌蕊形态	扁平（0.10）	圆突起（0.25）	尖突起（0.65）		0.86
花被片是否分离	合生（0.05）	分离（0.95）			0.20
花被片颜色	绿色（0.05）	白色（0.95）			0.20
花序与花梗是否呈直线	不成直线（0.60）	成直线（0.40）			0.67

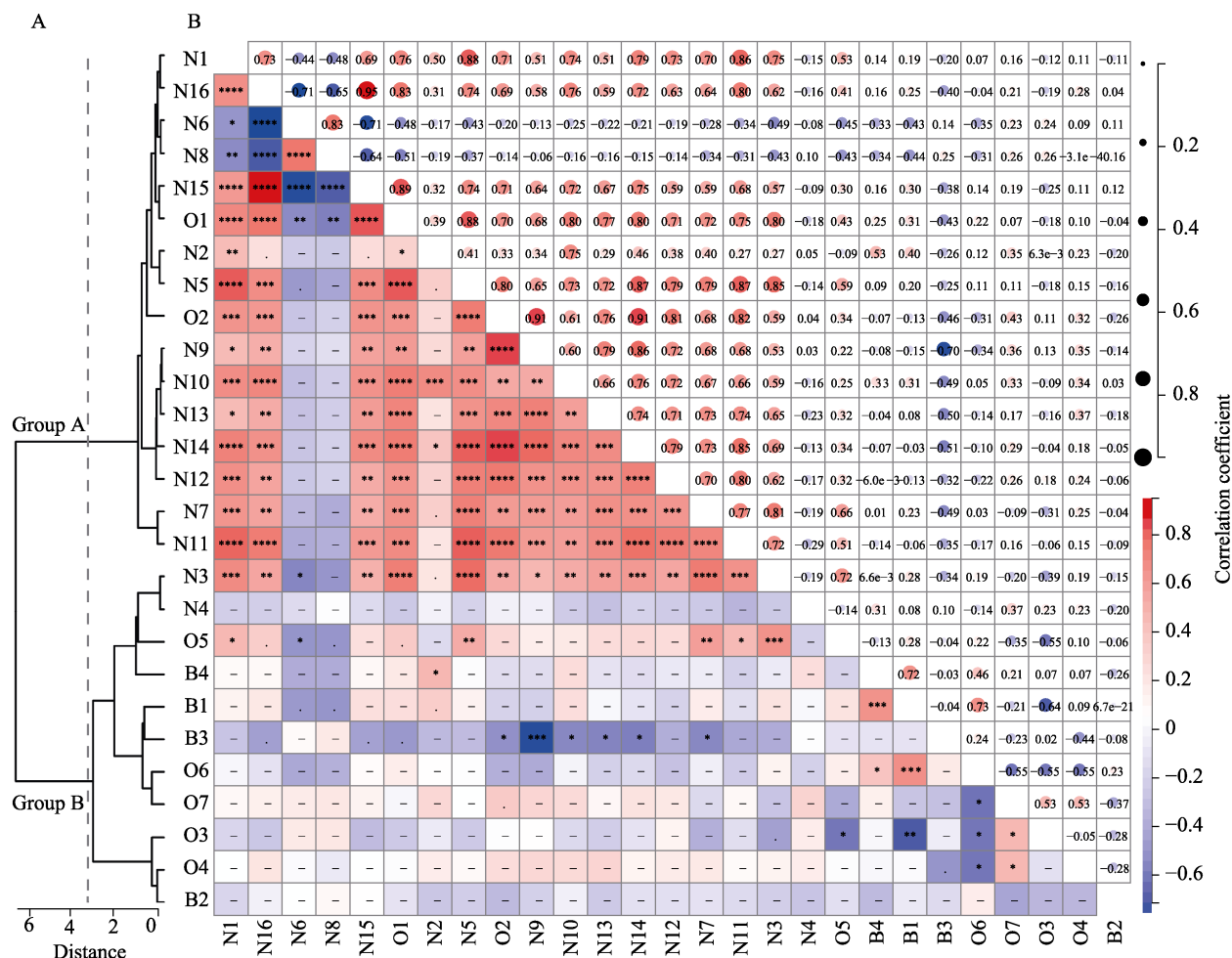
2.3 性状的聚类及相关性分析

对 27 个性状进行聚类分析发现，当距离为 3 时可以划分为 Group A 和 Group B 两组。Group A 包括株高、小花数、叶宽、叶柄粗、胚珠数、叶形、株幅、叶长、叶色、佛焰苞长、佛焰苞宽、花序长、花序粗、花梗粗共 16 个性状，Group B 包括分芽数、叶片数、佛焰苞形状、花序与花梗是否呈直线、叶缘、花被片是否分离、雌蕊形态、花被片颜色、佛焰苞正面颜色、佛焰苞背面颜色、佛焰苞开放形态共 11 个性状。Pearson 相关矩阵如图 2 所示，相关系数范围为-0.72~0.91。在 Group A 中，性状之间大部分呈显著相关，其中佛焰苞

长分别与佛焰苞宽和花序长的相关系数高达 0.91，而在 Group B 中性状大部分相关性不显著，仅有分芽数、叶片数、佛焰苞形状、花被片是否分离、雌蕊形态、花被片颜色、佛焰苞正面颜色、佛焰苞背面颜色、佛焰苞形态分别与 3、1、6、1、1、1、1、2、5 个性状呈显著相关。

2.4 种质间的聚类分析

基于 27 个性状数据，计算欧式距离并使用 Ward 法对 20 份白掌种质进行系统聚类分析（图 3）。在距离等于 14 时可以明显划分为两大类。Group I 包括阔叶白掌、绿苞白掌、克利夫兰迪、亮叶、皇后、中花和绿巨人共 7 份种质，主要特



A: 基于相关性和 Ward 法系统聚类树; B: 27 个性状的 Person 相关矩阵。*表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.01$), ***表示极显著相关 ($P<0.001$), ****表示极显著相关 ($P<0.0001$)。

A: Ward's systematic clustering tree based on correlation; B Person correlation matrix of 27 traits. * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$), *** indicates extremely significant correlation ($P<0.001$), **** indicates extremely significant correlation ($P<0.0001$).

图 2 27 个性状的系统聚类和相关性分析

Fig. 2 Hierarchical clustering and correlation analysis of 27 traits

征为植株较高大, 叶片较大, 佛焰苞较大, 花序巨大, 但分芽数和叶片数均较少。Group II 包括多花绒白掌、天骄、水草、帕里斯、娇小、维客、美酒、泰勒、科丽丝、甜芝、甜糕、碧绿和阳光之梦共 13 份种质, 主要特征为分芽数和叶片数较多, 更加矮化紧凑。

2.5 主成分分析

对 27 个性状进行主成分分析, 提取特征值大于 1 的 6 个主成分进行分析, 6 个主成分累计贡献率达 84.98%, 代表了原始变量的大部分信息 (图 4)。PC1 的贡献率为 43.26%, 其中株高、叶柄粗、花序长、花序粗、佛焰苞长、小花数、株幅、叶长、叶宽、佛焰苞宽、花梗长、花梗宽、胚珠数、叶形等 14 个性状具有较大的特征向量

值, 反映的是植株和器官大小的因子。PC2 的贡献率为 15.55%, 其中佛焰苞开放形态、佛焰苞背面颜色、花被片是否分离、雌蕊形态起主要作用, 反映的是佛焰苞和花序形态的因子。PC3 的贡献率为 9.95%, 其中佛焰苞正面颜色、佛焰苞背面颜色、叶柄长起主要作用, 反映的是佛焰苞颜色的因子。PC4 的贡献率为 6.36%, 其中花梗是否呈直线、分芽数和叶片数起主要作用。PC5 的贡献率为 5.47%, 其中花序与花被片颜色、佛焰苞形态、花被片是否分离起主要作用。PC6 的贡献率为 4.39%, 其中佛焰苞形态、分芽数和叶片数起主要作用。提取前 2 个主成分, 对 20 份种质进行二维分值图分析, 如图 4B 所示, 20 份种质差异明显, 结合系统聚类结果 (图 4C), Group I

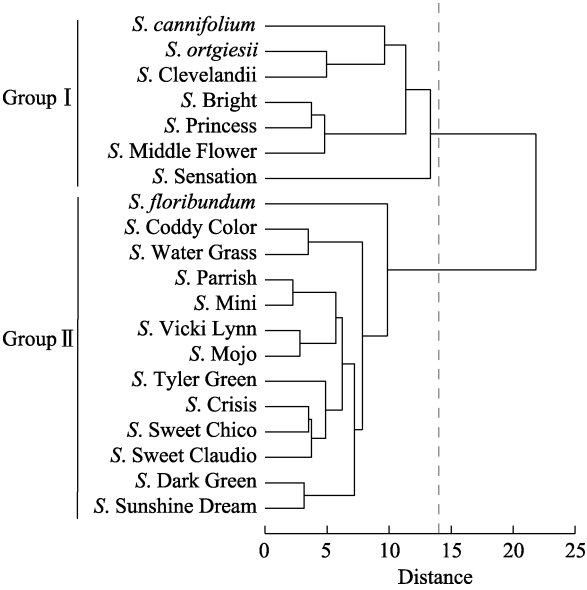


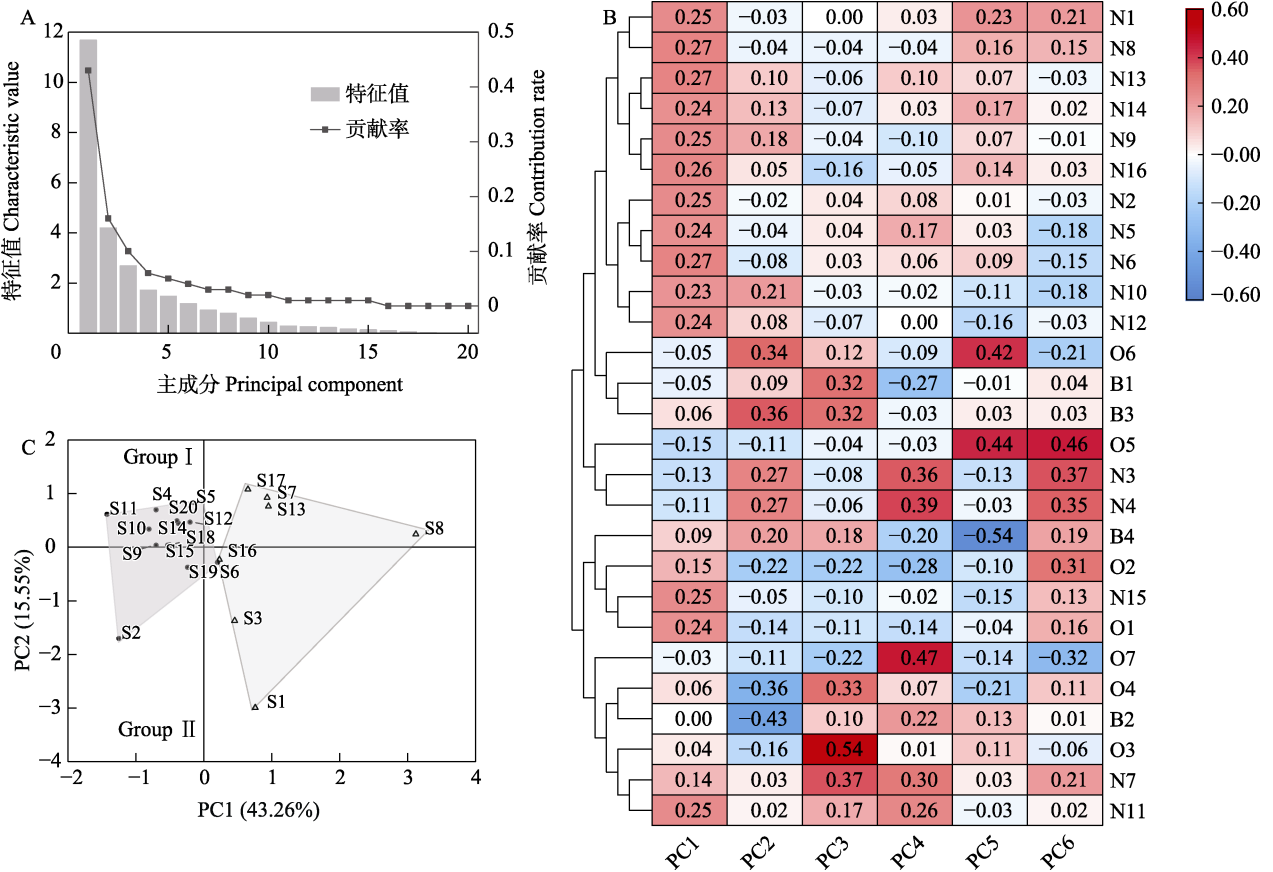
图 3 基于欧式距离和 Ward 法的 20 份白掌种质系统聚类分析

Fig. 3 Hierarchical cluster analysis of 20 *Spathiphyllum* accessions based on European distance and Ward method

和 Group II 可以明显区分开。

3 讨论

种质资源表型多样性是种质评价和育种利用的重要内容。近年研究者已经对月季^[11-12]、切花菊^[13-14]、萱草^[15-16]等多种观赏植物的表型多样性进行了分析,并获得了良好的效果。在天南星科观赏植物中,红掌种质资源的表型多样性也有报道。尚伟等^[17]对 46 个红掌种质的 36 个形态性状进行了分析,发现佛焰苞颜色具有最大的遗传多样性指数,而佛焰苞长的变异系数最大。易双双等^[18]对 64 份红掌种质的 29 个观赏性状进行了观测和分析,聚类分析发现可以将 64 份红掌种质依据大小、形态、颜色和来源划分为 6 组。在白掌研究中前人主要集中在使用分子标记进行遗传多样性分析^[9-10],并未进行表型多样性分析。本研究对 20 份白掌种质的 27 个重要观赏性状进行了测定分析,其中 16 个数值型性状变异系数范围为



A: 主成分特征值和贡献率; B: 前 6 个主成分的特征向量聚类热图; C: 20 份白掌种质前 2 个主成分的分值图。

A: Principal component characteristic value and contribution rate; B: Eigenvector value heat map of the first six principal components;

C: Score plot of the first two principal components of 20 *Spathiphyllum* accessions.

图 4 基于 27 个性状的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis based on 27 traits

27.2%~69.9%，11 个描述型性状的香农-维纳指数范围为 0.20~1.01，说明白掌的数值型性状特别是株高、分芽数、叶片数、叶宽、叶柄粗、花序长和小花数等变异系数超过 50% 的性状多样性非常丰富，为研究白掌种质资源的遗传变异提供了数据支撑。

相关性分析可以反映性状间的相关程度，从而剔除相关性程度极高的性状以简化种质评价和表型观测流程。本研究对 27 个性状进行了相关性分析，结果发现多个性状之间存在显著的相关性，其中佛焰苞长与佛焰苞宽和花序长的相关系数高达 0.91，而且性状的聚类分析也表明佛焰苞长、佛焰苞宽和花序长聚在一小类，后续进行表型观测时可以考虑剔除佛焰苞宽和花序长，直接测定佛焰苞长以提升白掌的表型性状获取效率。

刘小飞等^[19]用 19 对 SSR 引物对 12 份白掌资源进行了遗传多样性分析，UPGMA 分析发现可以将其划分为 3 组，其中绿巨人与绿苞白掌聚在一类，帕里斯、美酒和泰勒聚在一类，这与本研究基于表型数据的聚类分析结果一致。但在刘小飞等^[19]的 SSR 分析中，亮叶是与绿巨人分别聚类在不同分支，而本研究的结果显示它们聚类在同一类。这说明分子标记与表型数据既有相关性也有差异性。本研究基于 27 个主要观赏性状数据对 20 份白掌种质进行了聚类分析，发现可以将 20 份种质划分为 2 类，主成分分枝图也支持这一结果。其中 Group I 包括 7 份种质，主要特征为植株较高大，叶片较大，佛焰苞较大，花序较大。Group II 包括 13 份种质，主要特征为植株和器官均较小，分芽数和叶片数较多，更加矮化紧凑。鉴于前人只集中在白掌资源的遗传多样性分析，本研究对白掌资源进行了表型多样性分析，为白掌的遗传育种提供了数据支持。后续在杂交育种时，应该综合考虑白掌资源的遗传多样性和表型多样性分析的分组信息进行亲本选择和选配，才能更有效地获得变异广泛的杂交新种质。

参考文献

- [1] AYO S J, BOGNER J, BOYCE P C. The genera of Araceae[M]. Kew: Royal Botanic Gardens. 1997: 110.
- [2] CHEN J J, MCCONNELL D B, HENNY R J, NORMAN D J. The foliage plant industry[J]. Horticultural Reviews, 2005, 31: 45-110.
- [3] 廖飞雄, 柯宣东, 于波, 刘晓荣, 刘金梅. 观叶植物白掌产业化生产现状与发展对策[J]. 广东园艺, 2011, 12(4): 16-18.
- [4] LIAO F X, KE X D, YU B, LIU X R, LIU J M. Current situation and development countermeasures of industrialized production of foliage viewing plant *Spathiphyllum*[J]. Horticulture of Guangdong, 2011, 12(4): 16-18. (in Chinese)
- [5] 刘金梅, 刘小飞, 于波, DENG Z N, CHEN J J, 廖飞雄. 不同白掌组合授粉结实和种子特性研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(7): 1213-1219.
- [6] LIU J M, LIU X F, YU B, DENG Z N, CHEN J J, LIAO F X. Fruit-setting and seed characteristics of *Spathiphyllum* with different pollination combinations[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(7): 1213-1219. (in Chinese)
- [7] 刘金梅, 刘小飞, 刘晓荣, 于波, 廖飞雄. 白鹤芋属植物的染色体新观察[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会, 国家花卉工程技术研究中心. 中国观赏园艺研究进展 (2013). 北京: 中国林业出版社, 2013: 133-137.
- [8] LIN J M, LIU X F, LIU X R, YU B, LIAO F X. Supplementary reports on the chromosome of plants in *Spathiphyllum*[C]//The Professional Committee of Ornamental Horticulture of the Chinese Horticultural Society, National Flower Engineering Technology Research Center. Advances in ornamental horticulture of China (2013). Beijing: China Forestry Publishing House, 2013: 133-137. (in Chinese)
- [9] 刘晓青, 朱世东, 张克永, 梁丽建, 余建明, 叶晓青. 白掌组培技术研究进展[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 207-210.
- [10] LIU X Q, ZHU S D, ZHANG K Y, LIANG L J, SHE J M, YE X Q. Research progress of tissue culture technology of *Spathiphyllum floribundum*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(3): 207-210. (in Chinese)
- [11] 刘晓荣, 廖飞雄, 王建新, 刘小飞, 刘金梅. 白鹤芋的光合特性和水分利用效率[J]. 西北农业学报, 2015, 24(2): 142-145.
- [12] LIU X R, LIAO F X, WANG J X, LIU X F, LIU J M. Photosynthetic character and water use efficiency in *Spathiphyllum*[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2015, 24(2): 142-145. (in Chinese)
- [13] 岑彩娴. 白掌品种的观赏特性评价和杂交技术研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [14] CEN C X. Ornamental characteristics evaluation and hybridization technique s study of *Spathiphyllum floribundum*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [15] 刘小飞, 廖飞雄, 李冬梅, 刘晓荣. 基于 SRAP 标记的白鹤芋属资源鉴定与亲缘关系分析[J]. 广东农业科学, 2017, 44(11): 26-31.
- [16] LIU X F, LIAO F X, LI D M, LIU X R. Genetic relationship analysis and cultivar identification of *Spathiphyllum* using SRAP marker[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2017,

- 44(11): 26-31. (in Chinese)
- [10] 郭甜馨, MUHAMMAD M A, 颜喜玺, 李雪, 简丽观, 彭金彬, 陈歆妍, 赵锦河, 彭俊贤, 陈发兴. 基于 ISSR 分子标记的白鹤芋遗传多样性分析[J]. 福建农业学报, 2022, 37(5): 632-640.
- GUO T X, MUHAMMAD M A, YAN X X, LI X, JIAN L G, PENG J B, CHEN X Y, ZHAO J H, PENG J X, CHEN F X. Genetic diversity analysis based on ISSR molecular markers in *Spathiphyllum*[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37(5): 632-640. (in Chinese)
- [11] 马策, 阮芳, 叶福民, 赵小慧, 李振涛, 李成俊. 中国古老月季的形态多样性分析[J]. 辽宁农业科学, 2022(3): 1-5.
- MA C, YUAN F, YE F M, ZHAO X H, LI Z T, LI C J. Analysis of morphological diversity of ancient Chinese roses[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2022(3): 1-5. (in Chinese)
- [12] 尹世华, 李传林, 黄晓霞, 李淑斌, 程小毛. 月季花部性状表型多样性研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(4): 38-47.
- YIN S H, LI C L, HUANG X X, LI S B, CHENG X M. Study on phenotypic diversity of related characters in flower of *Rosa hybrida*[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2022, 42(4): 38-47. (in Chinese)
- [13] 戴希刚, 刘科雄, 张振, 曾长立. 多头切花菊品质性状遗传多样性分析[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(4): 508-512.
- DAI X G, LIU K X, ZHANG Z, ZENG Z L. Genetic diversity analysis in spray cut chrysanthemum based on quality character[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2017, 51(4): 508-512. (in Chinese)
- [14] 钟声远, 罗宇婷, 赵勇, 王振兴, 管志勇, 房伟民, 陈发棣, 王海滨. 切花菊品种资源表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(5): 22-33.
- ZHONG S Y, LUO Y T, ZHAO Y, WANG Z X, GUAN Z Y, FANG W M, CHEN F D, WANG H B. Analysis on phenotypic diversity of cut chrysanthemum cultivar resources[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2021, 30(5): 22-33. (in Chinese)
- [15] 李森, 史青青, 侯非凡, 陈志峰, 冀芳芳, 党换梅, 亢秀萍. 萱草属种质资源主要观赏性状的多样性分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, 36(9): 619-627.
- LI S, SHI Q Q, HOU F F, CHEN Z F, JI F F, DANG H M, KANG X P. Diversity of the main ornamental traits for *Heimerocallis* spp. Accessions[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2016, 36(9): 619-627. (in Chinese)
- [16] 段九菊, 梁峥, 贾民隆, 宋卓琴, 张超, 曹冬梅. 山西省萱草属野生资源的表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(6): 29-38.
- DUAN J J, LIANG Z, JIA M L, SONG Z Q, ZHANG C, CAO D M. Phenotypic diversity analysis of wild resources of *Heimerocallis* in Shanxi province[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2021, 30(6): 29-38. (in Chinese)
- [17] 尚伟, 江秋萍, 陈昌铭, 周辉明, 林发壮. 红掌种质资源表型性状的遗传多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(33): 1-4.
- SHANG W, JIANG Q P, CHEN C M, ZHOU H M, LIN F Z. Study on the genetic diversity of phenotypic traits in *Anthurium andraeanum* germplasm resources[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(33): 1-4. (in Chinese)
- [18] 易双双, 杨光穗, 尹俊梅, 李崇晖, 黄素荣, 牛俊海. 红掌主要观赏性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2206-2214.
- YI S S, YANG G S, YIN J M, LI C H, HUANG S R, NIU J H. Genetic diversity analysis of the major ornamental Morphological characters for *Anthurium andraeanum*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(12): 2206-2214. (in Chinese)
- [19] 刘小飞, 孙映波, 黄丽丽, 于波. 白掌 SSR 引物筛选及 12 份种质资源亲缘关系分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(20): 6802-6810.
- LIU X F, SUN Y B, HUANG L L, YU B. Screening of SSR primer of *Spathiphyllum* and analysis of genetic relationship of 12 germplasm resources[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(20): 6802-6810. (in Chinese)