

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

丁玲², 赵莹², 冯可婧³, 杨春梅^{1,2}, 阮继伟^{1,2}, 瞿素萍^{1,2}, 吴丽芳^{1,2*}, 余蓉培^{1,2*}

1. 云南省农业科学院花卉研究所/国家观赏园艺工程技术研究中心/云南省花卉育种重点实验室, 云南昆明 650205;
2. 玉溪云星生物科技有限公司, 云南玉溪 653100; 3. 云南大学资源植物研究院, 云南昆明 650504

摘要: 为探究不同蝴蝶兰种质资源表型性状的遗传多样性特征, 提高种质资源利用效率, 本研究以 76 份蝴蝶兰种质资源为研究对象, 通过表型性状的差异性分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析进行表型遗传多样性研究, 并分别对大花型、中花型和小花型蝴蝶兰进行观赏性综合评价。结果显示: 蝴蝶兰品种间差异性最显著的是株高, 变异系数最大的是单株花朵数, 大部分性状之间呈现显著或极显著正相关, 花朵宽度和花朵长度是导致蝴蝶兰表型遗传多样性的主要因素。R 型聚类分析将 11 个表型性状分为 3 个大类, 其中花朵长度和花朵宽度在欧式距离为 1.1 时最先聚为 1 类, 表明其相关程度最高; Q 型聚类分析显示 76 份种质资源可划分大花型、中花型和小花型 3 个类别。在观赏性综合评价中, 大花型包括白花红心、幻影、V3, 中花型: 初恋、黄袍、吉祥、孟菲斯、79、阿玛等, 小花型包括吉祥如意、小梅花、宝贝、圣诞树、LL29、满天红等品种综合评分较高。本研究结果将为蝴蝶兰种质资源的高效利用以及杂交亲本选择提供参考依据。

关键词: 蝴蝶兰; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性; 综合评价

中图分类号: S682.31 文献标志码: A

Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of Phenotypes in 76 Germplasm Resources of *Phalaenopsis*

DING Ling², ZHAO Ying², FENG Kejing³, YANG Chunmei^{1,2}, RUAN Jiwei^{1,2}, QU Suping^{1,2}, WU Lifang^{1,2*}, YU Rongpei^{1,2*}

1. Flower Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / National Engineering Research Center for Ornamental Horticulture / Key Laboratory for Flower Breeding of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650205, China; 2. Yuxi Yunxing Biotech Co., Ltd., Yuxi, Yunnan 653100, China; 3. Resource Plant Research Institute, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650604, China

Abstract: In order to investigate the genetic diversity of phenotypes and improve the utilization efficiency of different germplasm resources in *Phalaenopsis*, 76 germplasm resources of *Phalaenopsis* were investigated on the phenotype diversity by differential analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis. The ornamental value of big-flower, medium-flower and small-flower cultivars were evaluated comprehensively. The results showed that plant height was the most significant difference among the cultivars, and the flower number per plant was the largest coefficient of variation. Most phenotypes showed significant or extremely significant positive correlation. Flower width and length were the main factors leading to the genetic diversity of phenotypes in *Phalaenopsis*. The 11 phenotypes were divided into three categories by the R-type cluster analysis, among which flower length and width were clustered firstly when the Euclidean distance was 1.1, indicating the highest degree of correlation between them. 76 germplasm resources could be divided into three categories by Q-type cluster analysis, big flower, medium flower and small flower cultivars. In the comprehensive evaluation of ornamental value, the big flower Baihuahonxin, Huanying and V3, the medium flower

收稿日期 2024-09-04; 接受日期 2024-11-20

基金项目 云南省种子种业联合实验室项目 (No. 202205AR070001-7); 云南省乡村振兴科技专项 (No. 202304BI090016)。

作者简介 丁玲 (1998—), 女, 硕士, 研究方向: 观赏植物研究。*通信作者 (Corresponding author): 吴丽芳 (WU Lifang), E-mail: wlf6601@163.com; 余蓉培 (YU Rongpei), E-mail: yrongpei@126.com。

Chulian, Huangpao, Jixiang, Memphis, 79, Ama and the small flower Auspicious, Xiaomeihua, Christmas Tree, LL29 and Queen Beer obtained higher scores. The results would provide a reference for the efficient utilization of germplasm resources and parent selection of crossbreeding in *Phalaenopsis*.

Keywords: *Phalaenopsis*; germplasm resources; phenotypes; genetic diversity; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.03.008

蝴蝶兰 (*Phalaenopsis* spp.) 为兰科 (Orchidaceae) 蝴蝶兰属 (*Phalaenopsis*) 附生常绿草本植物, 因花型奇特、花色繁多、花期较长, 故素有“洋兰王后”之称, 是中国销量最大的年宵花, 也是世界范围内销量第一的盆栽观赏植物^[1-2]。2022 年, 中国蝴蝶兰年产量达 1.3 亿株, 其中 8000 万株供应 2023 年的年宵花市场, 具有重要的经济价值。

表型性状多样性在一定程度上可反映遗传的异质性, 是遗传多样性的具体表现, 利用表型性状分析种质资源的遗传多样性直观易行, 有助于种质资源挖掘和利用^[3]。基于主成分分析法、聚类分析和层次分析法的表型性状遗传多样性评价已经应用于春兰 (*Cymbidium goeringii*)^[4]、文冠果 (*Xanthoceras sorbifolium*)^[5-6]、杜鹃 (*Rhododendron* spp.)^[7-8]、苹果 (*Malus pumila*)^[9]、朱槿 (*Hibiscus rosa-sinensis*)^[10]、火龙果 (*Hylocereus undulatus*)^[11]等物种中。

自 1887 年英国皇家园艺学会 (Royal Horticultural Society, RHS) 登录第 1 个蝴蝶兰属杂交品种, 蝴蝶兰经过长达 130 余年的育种形成了数量庞大的栽培品种^[3]。截至 2024 年 7 月, 据国际兰花新杂交种登录机构 RHS 统计, 蝴蝶兰杂交种数达 31 818 个^[12]。尽管部分蝴蝶兰品种已进行表型性状遗传多样性的相关研究^[13-16], 但涉及的品种较为有限, 尚有大量的蝴蝶兰品种未进行表型性状遗传多样性分析, 这极大阻碍了对蝴蝶兰种质资源的充分利用。

本研究以 76 份蝴蝶兰种质资源为研究对象, 对 11 个关键表型性状进行差异性分析、相关性分析、主成分分析以及聚类分析, 并分别对大花型、中花型和小花型蝴蝶兰进行观赏性评价, 进而探究蝴蝶兰不同表型性状的遗传多样性, 建立蝴蝶兰种质资源表型性状的综合评价体系, 研究结果将为蝴蝶兰种质资源的高效利用以及杂交亲本的选择提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为种植于云南省农业科学院花卉研

究所九溪基地的 76 份蝴蝶兰种质资源, 详见图 1。按照不同花型蝴蝶兰的划分标准^[17], 将 76 份蝴蝶兰品种划分为大花型 24 份, 中花型 30 份, 小花型 22 份。

1.2 方法

1.2.1 表型性状收集 76 份蝴蝶兰资源种植于云南省农业科学院花卉研究所九溪基地, 进行常规管理, 试验于 2021—2023 年连续 3 a 在资源圃内开展, 以《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 蝴蝶兰》(NY/T 2230—2012)^[18]为依据, 于盛花期对供试种质资源均随机选取 3 株植株进行株高、叶长、叶宽、叶片姿态、花梗数、花序梗长、花序长、花序梗粗、花朵长、花朵宽、单株花梗数和花香等性状测定, 其中花朵长、花朵宽和花香等性状每株选取 3 朵花进行测量, 并对花梗数和花香分别进行编码, 单梗 (1 分)、1~2 梗或双梗 (2 分)、3 梗 (3 分)、≥4 梗 (4 分), 有香 (2 分)、无香 (1 分), 详见图 2。

1.2.2 表型性状的遗传多样性分析 结合表型性状, 使用 Excel 2021 软件对数据初步整理, 并进行性状的最大值、最小值、平均值、标准差、方差及变异系数的计算, 对其株高、叶长、叶宽、花序梗数、花序梗长、花序长、花序梗粗、花朵长、花朵宽、单株花朵数和花香 11 个性状进行相关性分析, 并使用 Origin 2021 软件绘制相关性热图。运用 SPSS 27 软件进行主成分分析, 采用组内联接的聚类方法进行 11 个性状的 R 型聚类分析和 76 个品种间的 Q 型聚类分析, 最后输出聚类树形图。

1.2.3 观赏性综合评价 参考袁闯等^[19]的方法计算不同花型蝴蝶兰的 11 个性状的综合评价价值 (*D*), 并运用 K-Means 聚类进行分级。如表 1 所示, 按照层次分析法构造出 A (目标层)、C (约束层)、P (指标层) 3 个分层结构模型, 指标层 P 共有 11 个指标, 分别为: 株高 (P1)、叶长 (P2)、叶宽 (P3)、花梗数 (P4)、花序梗长 (P5)、花序梗粗 (P6)、花序长 (P7)、花朵长度 (P8)、花朵宽度 (P9)、单株花朵数 (P10)、



图 1 76 份蝴蝶兰种质资源
Fig. 1 76 germplasm resources of *Phalaenopsis*



图 2 76 份蝴蝶兰品种的表型性状统计
Fig. 2 Phenotype statistics of 76 germplasm resources in *Phalaenopsis*

表 1 蝴蝶兰评价因子的分层结构模型
Tab. 1 Hierarchical structural model of evaluation factors for *Phalaenopsis*

目标层 A Target layer A	约束层 C Binding layer C	指标层 P Indicator layer P
蝴蝶兰品种	C1 植株	P1
	C2 叶部性状	P2、P3
	C3 花梗性状	P4、P5、P6
	C4 花朵性状	P7、P8、P9、P10、P11

花香 (P11)。约束层 C 对指标层进行数据的分类 (植株 C1、叶部性状 C2、花梗性状 C3、花朵性状 C4)。

表 2 76 份蝴蝶兰种质资源表型性状差异性分析
Tab. 2 Differential analysis of phenotypic traits of 76 germplasm resources of *Phalaenopsis*

指标 Index	平均值 Average	标准差 Standard deviation	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	方差 Variance	变异系数 CV
株高/cm	53.18	14.95	90.00	26.00	223.44	0.28
叶长/cm	19.32	3.95	30.00	9.92	15.59	0.20
叶宽/cm	7.57	1.07	10.00	4.90	1.14	0.14
花梗数	1.99	0.73	4.00	1.00	0.54	0.37
花序梗长/cm	34.90	13.41	67.00	11.00	179.87	0.39
花序长/cm	27.95	9.13	49.00	9.50	83.34	0.33
花序梗粗/cm	0.56	0.13	0.88	0.30	0.02	0.23
花朵长度/cm	7.06	1.90	12.00	3.30	3.60	0.27
花朵宽度/cm	8.12	2.15	12.00	4.00	4.62	0.26
单株花朵数	19.36	10.95	58.00	8.00	119.86	0.57
花香等级	1.08	0.27	2.00	1.00	0.07	0.25

2.2.2 蝴蝶兰种质资源表型性状的相关性分析
76 份蝴蝶兰的 11 个表型性状的相关性分析显示, 大部分花部性状之间具有显著或者极显著相关性, 其中, 花朵长度和花朵宽度呈极显著正相关, 相关系数达到了 0.90。单株花朵数与花梗数呈显著正相关, 与花序梗长、花朵宽度和花朵长度呈极显著负相关, 与叶宽相关性不显著, 与其他性状呈负相关。花序梗长与株高、叶长、叶宽呈显著正相关, 与花梗数呈极显著负相关 (图 3)。

2.2.3 蝴蝶兰种质资源表型性状主成分分析 在

2 结果与分析

2.1 蝴蝶兰种质资源观赏性状

由 76 份蝴蝶兰种质资源盛花期植株的 11 个表型性状统计数据可知, 其中, 花朵宽度、花朵长度、花序长度、单株花朵数属于花部性状, 叶长和叶宽属于叶部性状, 花序梗长、花序梗粗、花梗数等梗部性状, 株高属于植株整体性状 (图 2)。

2.2 蝴蝶兰种质资源表型性状的遗传多样性分析

2.2.1 蝴蝶兰种质资源表型性状的差异分析 如表 2 所示, 76 份蝴蝶兰种质资源的株高、花序梗长、单株花朵数、花序长等性状的方差值较大, 不同品种的差异性较大, 其中, 株高的品种间差异最大, 其最小值为 26.00 cm, 最大值为 90.00 cm, 方差值为 223.44。11 个表型性状的变异系数在 0.14~0.57 之间, 平均变异系数为 0.30, 变异系数最大的是单株花朵数为 0.57, 其次是花序梗长为 0.39, 最小的是叶宽为 0.14。

11 个表型性状进行主成分分析中, 根据特征值大于 1 的原则筛选出 3 个主成分, 3 个主成分的累计贡献率为 72.89% (表 3)。主成分 1 的特征值为 5.85, 方差贡献率为 53.21%, 载荷值较大的是花朵宽度 (0.93)、花朵长度 (0.90)、花序梗长 (0.86) 和株高 (0.86); 主要成分 2 的特征值为 1.15, 方差贡献率为 10.46%, 载荷值较大的是花香 (0.75) 和花梗数 (0.47); 主要成分 3 的特征值为 1.01, 方差贡献率为 9.16%, 载荷值较大的是单株花朵数 (0.54) 和叶宽 (0.43)。11 个表型

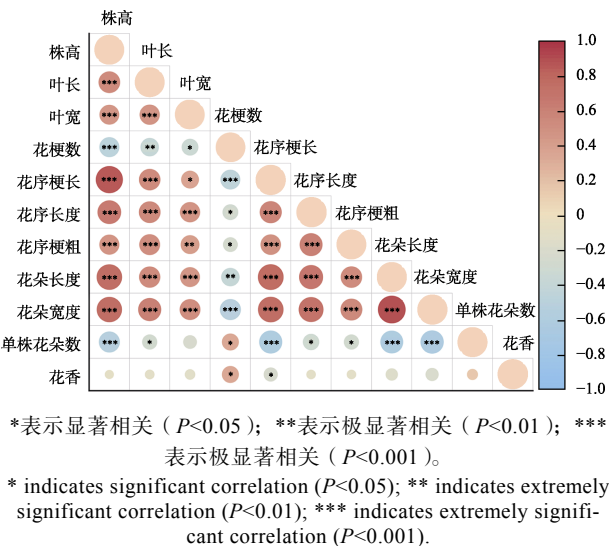


图 3 蝴蝶兰表型性状的相关性热图
Fig. 3 Correlation heat map of phenotype in *Phalaenopsis*

表 3 76 份蝴蝶兰种质资源表型性状主成分分析
Tab. 3 Principal component analysis of phenotypic traits of 76 germplasm resources of *Phalaenopsis*

项目 Item	主成分 Principal component		
	PC1	PC2	PC3
花朵宽度	0.93	-0.01	-0.10
花朵长度	0.90	0.02	-0.20
花序梗长	0.86	-0.13	-0.23
株高	0.86	0.03	-0.18
花序长度	0.78	0.31	0.13
叶长	0.71	0.20	0.30
花序梗粗	0.66	0.33	0.24
单株花朵数	-0.63	0.28	0.54
叶宽	0.60	0.20	0.43
花梗数	-0.57	0.47	-0.24
花香	-0.25	0.75	-0.43
特征值	5.85	1.15	1.01
方差贡献率/%	53.21	10.46	9.16
累计贡献率/%	53.27	63.73	72.89

性状中，花朵宽度（0.93）和花朵长度（0.90）的载荷值均在 0.90 及以上，是导致蝴蝶兰表型性状遗传多样性的主要因素。

2.2.4 蝴蝶兰种质资源表型性状的聚类分析 11 个表型性状的 R 型聚类结果显示，在欧氏距离为 10 时，11 个性状聚为 2 个大类，第 I 大类包含株高、花序梗长、单株花朵数和花序长 4 个性状，第 II 大类包含花朵长度、花朵宽度、叶长、花梗数、叶宽、花香和花序梗粗 7 种性状。在欧氏距离为 5 时，第 II 类又分为了 2 类，花朵长度、花

朵宽度、叶长和花梗数聚为 1 类；叶宽、花香和花梗粗聚为 1 类。第 II 大类中，花朵长度和花朵宽度 2 种性状在欧式距离为 1.1 时最先聚为 1 类（图 4），表明其相关程度最高，与相关性分析结果一致。在 R 型聚类结果中，大多数性状分布均比较分散，说明蝴蝶兰的表型性状是独自进化的，性状相似度较小。

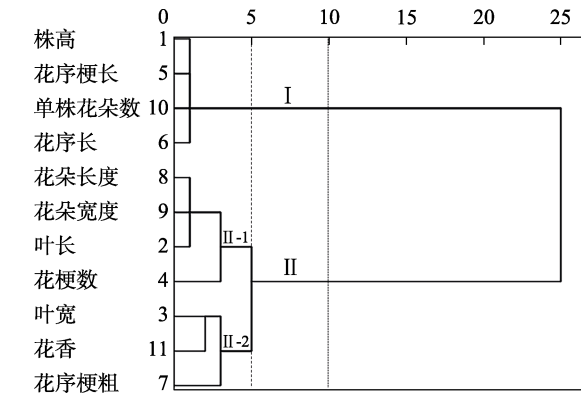


图 4 蝴蝶兰 11 个表型性状的 R 型聚类
Fig. 4 R-type cluster analysis of 11 phenotypes in *Phalaenopsis*

如图 5 所示，以花朵长度和花朵宽度 2 个表型性状对 76 份蝴蝶兰种质资源绘制 Q 型聚类树状图。当欧式距离为 15 时，76 个蝴蝶兰品种聚成 2 大类，第 I 大类包含 55 个品种，主要包括小花型和中花型蝴蝶兰品种。第 II 大类有大辣椒、大如意、九五至尊、V3 等 23 个品种，为大花型蝴蝶兰品种。当欧式距离为 10 时，第 I 大类被分为 2 大类，第 I-1 类有杭州美女、安娜、阿玛、中国红等 33 个品种，主要为中花型蝴蝶兰品种；第 I-2 类有彼自豪、金蝶、满天红、吉祥如意等 20 个品种，均为小花型蝴蝶兰品种。

2.3 蝴蝶兰种质资源观赏性综合评价

2.3.1 构造判断矩阵与一致性检验 本研究分别对大花型、中花型和小花型的蝴蝶兰种质资源构建综合评价体系，通过专家对蝴蝶兰性状重要性进行问卷调查，赋予因子两两间比较关键性的评估，建立判断 4 个矩阵约束层相对于目标层的比较判断矩阵（A~C）和指标层相对于约束层的比较判断矩阵（C~P），并进行一致性检验。如表 4~表 6 所示，所有矩阵的一致性比率（CR）均低于 0.1，均通过一致性检验，说明本研究建立的 3 大花型蝴蝶兰品种观赏性状综合评价判断矩阵是合理的。

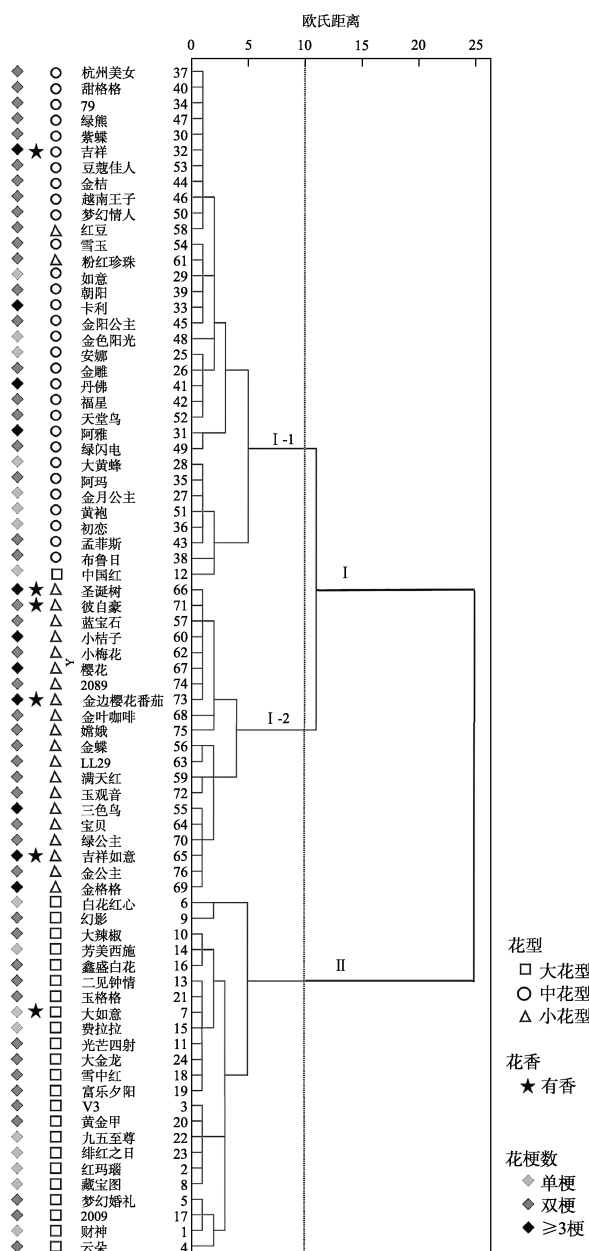


图 5 76 份蝴蝶兰品种的 Q 型聚类分析

Fig. 5 Q-type cluster analysis of 76 germplasm resources of *Phalaenopsis*

2.3.2 评价指标权重 将指标层中 P_i 权重 (W_i) 与对应约束层 C 的权重 (W_i) 相乘得到各指标层对于目标层的权值即为绝对权重。如图 6 所示, 在大花型、中花型以及小花型蝴蝶兰中, 花部性状均是权重值最高的约束层。

如表 7~表 9 所示, 大花型、中花型以及小花型的不同性状权重值排序存在差异。依据权重值从大到小排序, 大花型权重值排名前 3 的性状为花朵宽度 (P9)、花朵长度 (P8)、花序长 (P7), 权重值最小的为花梗数 (P4) (表 8); 中花型权

重值排名前 3 的性状为花序长 (P7)、单株花朵数 (P10)、花朵宽度 (P9), 权重最小值为叶宽 (P3) (表 9); 小花型权重排名前 3 的性状为花序长 (P7)、单株花朵数 (P10)、花梗数 (P4), 权重最小值为株高 (P1) (表 10)。

2.3.3 蝴蝶兰观赏性评价得分及等级 如表 10 所示, 22 份大花型蝴蝶兰品种的分值在 2.72~8.92 之间, 得分在 6.50 分以上的 I 级品种有 6 个, 分别为白花红心、幻影、V3、绯红之日、梦幻婚礼和 2009, 这些品种株型高大, 花型较大, 花朵长在 9.5~12.0 cm 之间, 花朵宽在 10.5~12.0 cm 之间, 花序梗较长, 在 48.0~65.0 cm 之间, 这些优良性状使得这 6 个品种综合得分靠前。

如表 11 所示, 30 份中花型蝴蝶兰品种的得分在 3.29~8.64 之间, 得分在 6.50 分以上的 I 级的品种有 8 个, 分别为初恋、黄袍、吉祥、孟菲斯、79、阿玛、福星和金雕, 这些品种相对于其他中花型品种而言, 株型较大, 花序长和花序梗长多在 30.0~55.0 cm 范围, 花型较大, 多为双梗, 这些优良性状使得这些品种综合得分靠前。

如表 12 所示, 22 份蝴蝶兰小花品种的分值分布在 1.11~9.31 之间, 得分 7.00 分以上的 I 级的品种有 6 个, 分别为吉祥如意、小梅花、宝贝、圣诞树、LL29 和满天红, 这些品种相对于其他小花型品种, 花序较长在 24.0~30.5 cm 之间, 花朵繁盛, 单株花朵数较多在 28~58 朵, 花梗数为双梗及以上, 整体比较丰满, 使得综合得分靠前。

3 讨论

遗传和环境共同决定了植物表型性状, 植物表型性状具有直观、易调查等特点, 可以直观地确定种质多样性的丰富度, 并较快地揭示遗传变异的程度, 因此研究种质资源的遗传多样性在育种中至关重要, 是种质资源鉴定、评价和利用的关键^[20-21]。

植物表型性状的离散程度和种质间的变异程度可由变异系数体现^[22], 变异系数越高植物的遗传变异越丰富。本研究中, 76 份蝴蝶兰种质资源 11 个性状的变异系数在 0.14~0.57 之间, 该结果与陈剑锋等^[15]对 135 份蝴蝶兰种质资源 12 个性状的变异系数分析结果相近 (0.19~0.52), 说明蝴蝶兰不同种质资源表型性状的遗传变异程度相近。与蝴蝶兰不同, 朱槿 (*Hibiscus rosa-sinensis*)

表 4 大花型蝴蝶兰判断矩阵及一致性检验
Tab. 4 Matrix judgment and identical test for big flower *Phalaenopsis*

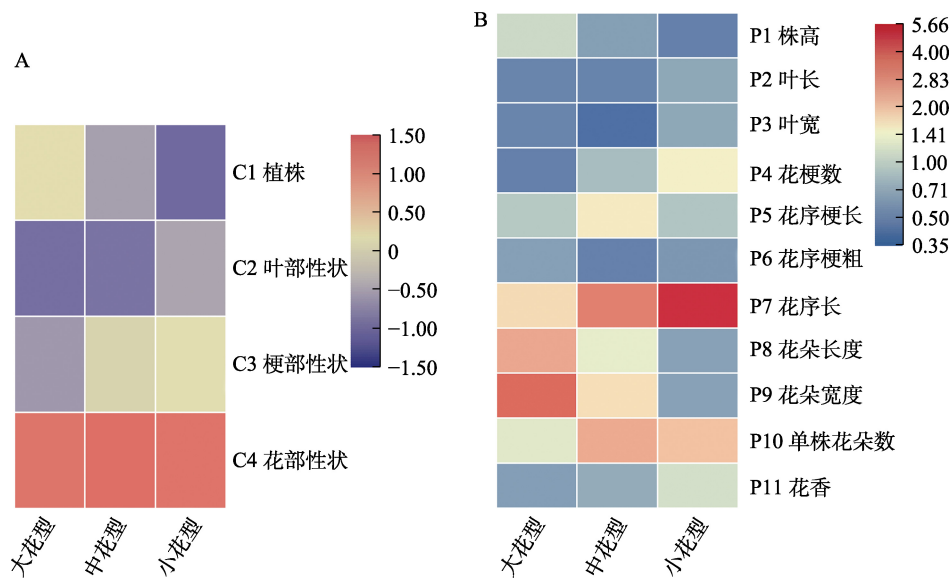
层次模型 Hierarchical model	判断矩阵 Judgment matrix						Wi	一致性检验 Identical test
A~C	A	C1	C2	C3	C4			$\lambda_{\max}=4.071$
	C1	1	3	2	1/2		1.13	CI=0.024
	C2	1/3	1	1/2	1/3		0.43	RI=0.89
	C3	1/2	2	1	1/3		0.66	CR=0.027<0.1
	C4	2	3	3	1		1.78	
C2~Pi	C2	P2	P3					$\lambda_{\max}=2.000$
	P2	1	1				1.00	CI=0.000
	P3	1	1				1.00	RI=0.00
C3~Pi	C3	P4	P5	P6				$\lambda_{\max}=3.053$
	P4	1	1/2	1/2			0.59	CI=0.026
	P5	2	1	2			1.47	RI=0.52
	P6	2	1/2	1			0.94	CR=0.052<0.1
C4~Pi	C4	P7	P8	P9	P10	P11		$\lambda_{\max}=5.157$
	P7	1	1/2	1/2	2	3	0.96	CI=0.039
	P8	2	1	1/2	2	3	1.24	RI=1.12
	P9	2	2	1	2	4	1.73	CR=0.035<0.1
	P10	1/2	1/2	1/2	1	3	0.73	
	P11	1/3	1/3	1/4	1/3	1	0.34	

表 5 中花型蝴蝶兰判断矩阵及一致性检验
Tab. 5 Matrix judgment and identical test for medium flower *Phalaenopsis*

层次模型 Hierarchical model	判断矩阵 Judgment matrix						Wi	一致性检验 Identical test
A~C	A	C1	C2	C3	C4			$\lambda_{\max}=4.087$
	C1	1	3	1/2	1/4		0.56	CI=0.029
	C2	1/3	1	1/6	1/7		0.22	RI=0.89
	C3	2	6	1	1/3		1.03	CR=0.032<0.1
	C4	3	7	3	1		2.18	
C2~Pi	C2	P2	P3					$\lambda_{\max}=2.00$
	P2	1	2				1.33	CI=0.000
	P3	1/2	1				0.67	RI=0.00
C3~Pi	C3	P4	P5	P6				$\lambda_{\max}=3.010$
	P4	1	1/3	4			0.86	CI=0.005
	P5	3	1	6			1.87	RI=0.52
	P6	1/4	1/6	1			0.27	CR=0.010<0.1
C4~Pi	C4	P7	P8	P9	P10	P11		$\lambda_{\max}=5.144$
	P7	1	2	2	2	4	1.72	CI=0.036
	P8	1/2	1	1/2	1/2	3	0.72	RI=1.12
	P9	1/2	2	1	1/2	3	0.94	CR=0.032<0.1
	P10	1/2	2	2	1	4	1.30	
	P11	1/4	1/3	1/3	1/4	1	0.32	

表 6 小花型蝴蝶兰判断矩阵及一致性检验
Tab. 6 Matrix judgment and identical test for small flower *Phalaenopsis*

层次模型 Hierarchical model	判断矩阵 Judgment matrix						Wi	一致性检验 Identical test
A~C	A	C1	C2	C3	C4			$\lambda_{\max}=4.071$
		C1	1	1/2	1/2	1/3	0.48	CI=0.024
		C2	2	1	1/2	1/2	0.77	RI=0.89
		C3	2	2	1	1/2	1.08	CR=0.027<0.1
		C4	3	2	2	1	1.67	
C2~Pi	C2	P2	P3					$\lambda_{\max}=2.000$
		P2	1	1			1.00	CI=0.000
		P3	1	1			1.00	RI=0.000
C3~Pi	C3	P4	P5	P6				$\lambda_{\max}=3.050$
		P4	1	2	2		1.47	CI=0.030
		P5	1/2	1	2		0.94	RI=0.52
		P6	1/2	1/2	1		0.59	CR=0.052<0.1
C4~Pi	C4	P7	P8	P9	P10	P11		$\lambda_{\max}=5.093$
		P7	1	4	4	3	2.20	CI=0.023
		P8	1/4	1	1	1/3	0.43	RI=1.12
		P9	1/4	1	1	1/3	0.43	CR=0.021<0.1
		P10	1/3	3	3	1	1.18	
		P11	1/3	2	2	1/2	0.76	



A: 约束层相对权重; B: 指标层绝对权重。
A: Relative weights at the constraint level; B: Absolute weights at the indicator level.

图 6 不同花型蝴蝶兰观赏性状评价指标权重热图

Fig. 6 Heat map of index weight of ornamental traits for different flower types in *Phalaenopsis*

各表型性状的变异系数在 9.49~31.05 之间，遗传变异更加丰富^[10]。此外，在已有的蝴蝶兰种质资源表型遗传多样性分析中均显示单株花朵数的变异系数最大^[14-15]，本研究结果亦显示单株花朵数的变异系数最大（0.57），说明在蝴蝶兰的众多表

型性状中，单株花朵数的遗传变异性最为丰富。

本研究发现花部性状之间大多数性状存在显著或极显著相关性，其中花朵宽度和花朵长度呈极显著正相关。与之相似，王世尧等^[16]对 57 份蝴蝶兰种质资源表型性状相关性分析显示 17 个性

表 7 大花型蝴蝶兰观赏性状评价指标权重
Tab. 7 Index weight of ornamental traits for big flower *Phalaenopsis*

约束层 Binding layer	相对权重 Relative weight	指标层 Indicator layer	相对权重 Relative weight	绝对权重 Absolute weight	排序 Ranking
C1 植株	1.13	株高（P1）	1.00	1.13	5
C2 叶部性状	0.43	叶长（P2）	1.00	0.43	9
		叶宽（P3）	1.00	0.43	9
C3 梗部性状	0.66	花梗数（P4）	0.59	0.39	10
		花序梗长（P5）	1.47	0.97	6
		花序梗粗（P6）	0.94	0.62	7
C4 花部性状	1.78	花序长（P7）	0.96	1.70	3
		花朵长度（P8）	1.24	2.21	2
		花朵宽度（P9）	1.73	3.07	1
		单株花朵数（P10）	0.73	1.30	4
		花香（P11）	0.34	0.61	8

表 8 中花型蝴蝶兰观赏性状评价指标权重
Tab. 8 Index weight of ornamental traits for medium flower *Phalaenopsis*

约束层 Binding layer	相对权重 Relative weight	指标层 Indicator layer	相对权重 Relative weight	绝对权重 Absolute weight	排序 Ranking
C1 植株	0.56	株高（P1）	1.00	0.56	8
C2 叶部性状	0.22	叶长（P2）	1.33	0.30	9
		叶宽（P3）	0.67	0.15	11
C3 梗部性状	1.03	花梗数（P4）	0.86	0.89	6
		花序梗长（P5）	1.87	1.93	4
		花序梗粗（P6）	0.27	0.28	10
C4 花部性状	2.18	花序长（P7）	1.72	3.74	1
		花朵长度（P8）	0.72	1.57	5
		花朵宽度（P9）	0.94	2.06	3
		单株花朵数（P10）	1.30	2.83	2
		花香（P11）	0.32	0.70	7

表 9 小花型蝴蝶兰观赏性状评价指标权重
Tab. 9 Index weight of ornamental traits for small flower *Phalaenopsis*

约束层 Binding layer	相对权重 Relative weight	指标层 Indicator layer	相对权重 Relative weight	绝对权重 Absolute weight	排序 Ranking
C1 植株	0.48	株高（P1）	1.00	0.48	9
C2 叶部性状	0.77	叶长（P2）	1.00	0.77	6
		叶宽（P3）	1.00	0.77	6
C3 梗部性状	1.08	花梗数（P4）	1.47	1.59	3
		花序梗长（P5）	0.94	1.01	5
		花序梗粗（P6）	0.59	0.64	8
C4 花部性状	1.67	花序长（P7）	2.20	3.66	1
		花朵长度（P8）	0.43	0.72	7
		花朵宽度（P9）	0.43	0.72	7
		单株花朵数（P10）	1.18	1.96	2
		花香（P11）	0.76	1.26	4

表 10 大花型蝴蝶兰的综合得分和等级

Tab. 10 Integrative scores and grades of big flower *Phalaenopsis*

品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade	品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade
白花红心	8.92	I	鑫盛白花	5.67	II
幻影	8.03	I	财神	5.26	II
V3	7.17	I	芳美西施	5.22	II
绯红之日	7.07	I	雪中红	5.04	II
梦幻婚礼	6.74	I	大金龙	5.03	II
2009	6.70	I	九五至尊	4.74	II
大如意	6.16	II	光芒四射	4.60	II
云朵	6.15	II	富乐夕阳	4.42	III
藏宝图	5.93	II	二见钟情	3.80	III
黄金甲	5.86	II	费拉拉	3.58	III
红玛瑙	5.85	II	玉格格	2.73	III
大辣椒	5.80	II	中国红	2.72	III

表 11 中花型蝴蝶兰的综合得分和等级

Tab. 11 Integrative scores and grades of medium flower *Phalaenopsis*

品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade	品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade
初恋	8.64	I	杭州美女	5.33	II
黄袍	8.14	I	甜格格	4.94	III
吉祥	7.44	I	越南王子	4.63	III
孟菲斯	7.38	I	雪玉	4.61	III
79	7.18	I	豆蔻佳人	4.56	III
阿玛	6.89	I	梦幻情人	4.53	III
福星	6.79	I	布鲁日	4.50	III
金雕	6.60	I	金阳公主	4.48	III
安娜	6.46	II	天堂鸟	4.40	III
大黄蜂	6.35	II	卡利	4.29	III
朝日	6.28	II	金桔	4.28	III
金月公主	6.21	II	紫蝶	4.02	III
丹佛	6.15	II	绿熊	3.95	III
阿雅	5.66	II	绿闪电	3.32	III
金色阳光	5.45	II	如意	3.29	III

表 12 小花型蝴蝶兰的综合得分和等级

Tab. 12 Integrative scores and grades of small flower *Phalaenopsis*

品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade	品种 Variety	得分 Composite score	等级 Grade
吉祥如意	9.31	I	三色鸟	6.07	II
小梅花	8.47	I	小桔子	5.71	II
宝贝	7.80	I	2089	5.42	II
圣诞树	7.74	I	绿公主	5.38	II
LL29	7.20	I	金公主	5.25	II
满天红	7.17	I	金边樱桃番茄	4.64	II
樱花	6.54	II	171 (金蝶)	4.53	II
294 粉红珍珠	6.47	II	彼自豪	4.50	II
嫦娥	6.44	II	蓝宝石	3.55	III
红豆	6.33	II	玉观音	2.91	III
金格格	6.10	II	金叶咖啡	1.11	III

状间存在不同程度的相关性,且花部性状两两之间呈现极显著相关。此外,本研究对蝴蝶兰表型性状的主成分分析显示,花朵宽度和花朵长度是导致76份蝴蝶兰种质资源表型性状遗传多样性的关键性状,这与王钦等^[23]对蝴蝶兰表型性状遗传多样性的分析结果一致。

本研究以花朵长度和花朵宽度等花部性状采用组内联接的方法,进行品种间Q型聚类分析,将76份蝴蝶兰种质资源分为大花型、中花型和小花型3大类群。然而,王钦等^[23]采用Q型聚类分析将72份蝴蝶兰品种聚为四大类群,陈和明等^[13]通过Q型聚类分析将213份蝴蝶兰品种聚为杂交种和原生种两大类群,这可能与聚类分析时使用的参数和关注的主要性状存在差异有关。

在蝴蝶兰生产销售中,通常根据花型大小,分为大花型、中花型和小花型品种^[17]。但在已有蝴蝶兰观赏性综合评价中,通常是对所有花型蝴蝶兰品种一起进行评价,尚未见针对不同花型蝴蝶兰分别建立的评价标准^[13-16]。本研究对76份蝴蝶兰种质资源分不同花型(大花型、中花型和小花型)进行了观赏性综合评价,得出大花型蝴蝶兰白花红心、幻影、V3等综合得分较高,中花型初恋、吉祥、阿玛等的综合得分较高,小花型吉祥如意、宝贝、满天红等综合得分较高。相对而言,本研究对不同花型蝴蝶兰进行观赏性综合评价更具有针对性。

本研究对76份蝴蝶兰进行表型性状遗传多样性分析,并分不同花型(大花型、中花型和小花型)进行观赏性综合评价,为蝴蝶兰新品种选育提供重要依据,对蝴蝶兰种质资源的高效利用和杂交亲本的选择均具有重要意义。

参考文献

- [1] GOW W, CHEN J, CHUANG W. Effects of genotype, light regime, explant position and orientation on direct somatic embryogenesis from leaf explants of *Phalaenopsis* orchids[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2008, 31: 364-369.
- [2] SOSA V, CAMERON K M, ANGULO D F, HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ T. Life form evolution in epidendroid orchids: ecological consequences of the shift from epiphytism to terrestrial habit in *Hexalectris*[J]. *TAXON*, 2016, 65(2): 235-248.
- [3] 陈和明, 吕复兵, 李佐, 肖文芳. 蝴蝶兰属间杂交育种研究进展[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(9): 125-135.
- [4] CHEN H M, LYU F B, LI Z, XIAO W F. Research progress on the intergeneric hybridization breeding of *Phalaenopsis* spp[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 125-135. (in Chinese)
- [5] 魏晓羽, 刘红, 瞿辉, 李凤童, 袁媛, 刘春贵, 马辉, 张甜, 包建忠, 孙叶. 158份春兰种质资源的表型多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(2): 398-411.
- [6] WEI X Y, LIU H, QU H, LI F T, YUAN Y, LIU C G, MA H, ZHANG T, BAO J Z, SUN Y. Phenotypic diversity analysis of 158 *Cymbidium goeringii* germplasm resources[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(2): 398-411. (in Chinese)
- [7] ZHOU C, WU H, SHENG Q, CAO F, ZHU Z. Study on the phenotypic diversity of 33 ornamental *Xanthoceras sorbifolium* cultivars[J]. *Plants*, 2023, 12(13): 2448.
- [8] 戚亚, 王改萍, 郑保砦, 彭大庆, 李硕民, 曹福亮. 文冠果无性系花表型性状遗传变异分析[J]. *经济林研究*, 2024, 42(1): 29-38.
- [9] QI Y, WANG G P, ZHENG B T, PENG D Q, LI S M, CAO F L. Analysis of genetic variation of flower phenotype characteristics in *Xanthoceras sorbifolia* clones[J]. *Non-wood Forest Research*, 2024, 42(1): 29-38. (in Chinese)
- [10] 齐晶, 王俐, 李伟, 宋杰, 李世峰, 关文灵. 9个安酷杜鹃品种表型性状分析与综合评价[J/OL]. *分子植物育种*, 1-17. (2024-05-07)[2024-09-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20240506.1538.010.html>.
- [11] QI J, WANG L, LI W, SONG J, LI S F, GUAN W L. Phenotypic character analysis and comprehensive evaluation of 9 Encore[®] azalea varieties[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 1-17(2024-05-07)[2024-09-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20240506.1538.010.html>. (in Chinese)
- [12] LIANG J, CHEN Y, TANG X, LU Y, YU J, WANG Z, ZHANG Z, JI H, LI Y, WU P, LIU Y, WANG L, HUANG C, HE B, LIN W, GUO L. Comprehensive evaluation of appreciation of *Rhododendron* based on analytic hierarchy process[J]. *Plants*, 2024, 13(4): 558.
- [13] TIAN W, LI Z, WANG L, SUN S, WANG D, WANG K, WANG G, LIU Z, LU X, FENG J, GAO Y. Comprehensive evaluation of apple germplasm genetic diversity on the basis of 26 phenotypic traits[J]. *Agronomy*, 2024, 14(6): 1264.
- [14] 杨思霞, 黄旭光, 陆炎松, 黄爱玲, 黄宇寒, 霍行, 廖堂贵. 39份朱槿品种资源表型多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2024, 45(4): 722-733.
- [15] YANG S X, HUANG X G, LU Y S, HUANG A L, HUANG Y H, HUO X, LIAO T G. Phenotypic diversity analysis of 39 *Hibiscus rosa-sinensis* cultivar resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2024, 45(4): 722-733. (in Chinese)
- [16] 张亚琦, 何云, 李洪立, 洪青梅, 濮文辉, 李琼, 胡文斌, 刘平武. 33份火龙果种质果实性状主成分分析及综合评价

- 价[J]. 热带作物学报, 2024, 45(8): 1560-1571.
- ZHANG Y Q, HE Y, LI H L, HONG Q M, PU W H, LI Q, HU W B, LIU P W. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit traits of 33 *Pitaya* germplasmss[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(8): 1560-1571. (in Chinese)
- [12] The Royal Horticultural Society. The Royal Horticultural Society[EB/OL] (2024-04-23)[2024-09-01]. <https://www.rhs.org.uk/plants/plantsmanship/plant-registration/orchid-hybrids>.
- [13] 陈和明, 吕复兵, 李佐, 肖文芳, 朱根发. 蝴蝶兰品质性状综合评价体系的构建[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(8): 83-94.
- CHEN H M, LYU F B, LI Z, XIAO W F, ZHU G F. Establishment of comprehensive evaluation system on quality traits in *Phalaenopsis*[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(8): 83-94. (in Chinese)
- [14] 宋一岚, 张英杰, 孙纪霞, 张京伟, 郭文姣, 王镭, 刘学庆. 蝴蝶兰 70 份资源观赏性状综合评价[J]. 热带作物学报, 2020, 41(1):43-48.
- SONG Y L, ZHANG Y J, SUN J X, ZHANG J W, GUO W J, WANG L, LIU X Q. Comprehensive evaluation of 70 ornamental characters of *Phalaenopsis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(1): 43-48. (in Chinese)
- [15] 陈剑锋, 钟声远, 陈宇华, 钟海丰, 张荟, 刘中华. 基于花表型性状的蝴蝶兰品种资源多样性研究[J]. 热带作物学报, 2023, 44(3): 494-505.
- CHEN J F, ZHONG S Y, CHEN Y H, ZHONG H F, ZHANG H, LIU Z H. Research on diversity of *Phalaenopsis* germplasm resources based on flowers phenotype traits[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(3): 494-505. (in Chinese)
- [16] 王世尧, 杨书才, 蒋拴丽, 张果, 赵玉安, 王瑞华, 冯建, 杨录军, 王俊. 57 份蝴蝶兰种质资源表型多样性分析及评价[J]. 种子, 2023, 42(10): 70-76.
- WANG S Y, YANG S C, JIANG S L, ZHANG G, ZHAO Y A, WANG R H, FENG J, YANG L J, WANG J. Phenotypic diversity analysis and evaluation on 57 *Phalaenopsis* germplasm resources[J]. Seed, 2023, 42(10): 70-76. (in Chinese)
- [17] 汕头市农业科学研究所. 蝴蝶兰盆花质量: DB44/T 347—2006[S]. 广东: 广东省质量技术监督局, 2006.
- Guangdong Shantou Agricultural Sciences Research Institute. Pot flower quality of *Phalaenopsis*: DB44/T 347—2006[S]. Guangdong: Guangdong Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2006. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 蝴蝶兰: NY/T 2230—2012[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. *Phalaenopsis*: NY/T 2230—2012[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2012. (in Chinese)
- [19] 袁闯, 陆安桥, 朱林, 许兴. 孕穗期甜高粱耐盐性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 49-56.
- YUAN C, LU A Q, ZHU L, XU X. Comprehensive evaluation of salt tolerance of sweet sorghum at booting stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(6): 49-56. (in Chinese)
- [20] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 任贵兴, 李英慧, 李春辉, 秦培友, 谷勇哲, 李龙. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12-20.
- WANG X M, QIU L J, JING R L, REN G X, LI Y H, LI C H, QIN P Y, GU Y Z, LI L. Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: status and development[J]. Journal of Genetic Resources, 2022, 23(1): 12-20. (in Chinese)
- [21] 刘浩, 周闲容, 于晓娜, 杨修仕, 刘三才, 么杨, 任贵兴. 作物种质资源品质性状鉴定评价现状与展望[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 215-221.
- LIU H, ZHOU X R, YU X N, YANG X S, LIU S C, YAO Y, REN G X. Current situation and prospect of identification and evaluation of quality traits in crop germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(1): 215-221. (in Chinese)
- [22] KESTEVEN G L. The coefficient of variation[J]. Nature, 1946, 158: 520-521.
- [23] 王钦, 黄捷, 涂松, 康阳, 王菲, 陈秀铭, 彭东辉. 蝴蝶兰不同品种表型性状遗传多样性分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2023, 43(6): 8-18.
- WANG Q, HUANG J, TU S, KANG Y, WANG F, CHEN X M, PENG D H. Analysis of phenotypic genetic diversity of various *Phalaenopsis* varieties[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2023, 43(6): 8-18. (in Chinese)