



杨松敏, 吕复兵, 姜潇, 王顺顺, 肖文芳, 李佐, 蔡文杰, 朱根发, 陈和明, 彭东辉. 蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交 F₁ 代表型性状遗传变异分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(9): 64-77.

YANG Songmin, LV Fubing, JIANG Xiao, WANG Shunshun, XIAO Wenfang, LI Zuo, CAI Wenjie, ZHU Genfa, CHEN Heming, PENG Donghui. Genetic variation analysis of hybrids F₁ representative traits between *Phalaenopsis* Jiuhbao Red Rose and *Renanthera imschootiana*[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(9): 64-77.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.09.06

蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交 F₁ 代表型性状遗传变异分析

杨松敏^{1,2} 吕复兵² 姜潇¹ 王顺顺¹ 肖文芳² 李佐²
蔡文杰³ 朱根发² 陈和明^{2*} 彭东辉^{1*}

(1. 福建农林大学 风景园林与艺术学院/兰科植物保护与利用国家林草局重点实验室, 福州 350002;

2. 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 510640;

3. 台湾成功大学 热带植物与微生物科学研究所, 台南 701)

摘要 为探究火焰兰群体表型性状遗传变异规律及花色表型多样性, 以蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交 F₁ 代其中的 117 个单株为试验材料, 采用性状离散特征描述、Pearson 相关性分析及类平均聚类分析统计学等方法, 对 35 个表型性状及花色表型多样性进行分析。结果表明: 1) 35 个表型数量性状变异范围为 7.6%~239.1%, 变异程度大; 性状值分布于双亲的性状之间, 且都呈现明显的单峰分布, 整体呈现较好的连续正态分布趋势; 中亲优势率为 -94.54%~1336.98%, 其中叶片长度等 15 个性状表现为正向中亲优势, 株高等 20 个性状中亲优势值为负值。2) 35 个性状中分别有 281 对相关性状达到极显著水平 ($P < 0.01$), 有 74 对达到显著水平 ($P < 0.05$); 系统聚类将 117 个单株在遗传距离 16.10 处分为 I、II、III 这 3 大类群, 聚类结果反映出各类群的性状特征。3) 结合 RHSCC 和 CIELab 参数值将 F₁ 代花色分为浅紫色、紫红色、橙红色、橙色、橙黄色和黄色 6 色系, 各色系参数与 CIELab 表色空间的明度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*) 均有良好的对应关系。综上, 本研究为后续开展重要观赏性状的数量性状基因座定位等研究奠定基础, 为兰科植物杂交亲本的选配以及新品种的选育提供参考。

关键词 蝴蝶兰; 火焰兰; 属间杂交; 表型分析

中图分类号 S681

文章编号 1007-4333(2024)09-0064-14

文献标志码 A

Genetic variation analysis of hybrids F₁ representative traits between *Phalaenopsis* Jiuhbao Red Rose and *Renanthera imschootiana*

YANG Songmin^{1,2}, LV Fubing², JIANG Xiao¹, WANG Shunshun¹, XIAO Wenfang², LI Zuo²,
CAI Wenjie³, ZHU Genfa², CHEN Heming^{2*}, PENG Donghui^{1*}

(1. College of Landscape Architecture and Arts/Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration for Orchid Conservation and Utilization, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Environmental Horticulture Research Institute/Guangdong Provincial Key Laboratory of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

3. Institute of Tropical Plant Sciences and Microbiology, Cheng Kung University, Tainan 701, China)

收稿日期: 2023-11-08

基金项目: 福建省观赏植物种质资源创新与应用工程技术项目 (PTJH16005); 广东省园林花卉种质创新综合利用重点实验室开放课题项目 (粤农科环艺 [2023] 4 号); 高端外国专家引进计划项目 (G2022030025L); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设 (花卉) (2023KJ121); 广东省农业科学院学科团队建设 (202127TD)

第一作者: 杨松敏 (ORCID: 0009-0004-1007-7092), 硕士研究生, E-mail: songminyang@163.com

通讯作者: 陈和明 (ORCID: 0000-0001-5846-4527), 研究员, 主要从事兰花资源与遗传育种研究, E-mail: chenheming@163.com

彭东辉 (ORCID: 0000-0002-2694-5235), 教授, 主要从事园林植物与观赏园艺研究, E-mail: fjpdh@126.com

Abstract In order to explore the genetic variation of population phenotypic traits and the diversity of flower and color phenotypes, 117 individual plants of hybrid F₁ between *Phalaenopsis* Jiuobao Red Rose and *Renanthera imschootiana* Rolfe were used as experimental materials. Trait discrete character description, Pearson correlation analysis and class average cluster analysis were used. Thirty-five phenotypic traits and diversity of flower and color phenotypes were analyzed. The results showed that: 1) The variation of 35 phenotypic quantitative traits ranged from 7.6% to 239.1%, with a large degree of variation. The trait values were distributed between the traits of both parents with an obvious unimodal distribution, and the overall trend of continuous normal distribution was good. The ratio of mesophilic dominance ranged from -94.54% to 1336.98%. Among them, 15 traits such as leaf length showed positive mesophilic dominance, while 20 traits of plant height showed negative parental dominance. 2) There were 281 pairs of highly significant correlations ($P < 0.01$) and 74 pairs of significant correlations ($P < 0.05$) among the 35 traits. By systematic clustering, the 117 individual plants were divided into three groups, e. g. I, II and III, at the genetic distance of 16.10, and the clustering results reflected the character characteristics of each group. 3) Combining RHSCC and CIELab parameters, the colors of F₁ generation were divided into six color groups, which were light purple, fuchsia, orange red, orange, orange yellow and yellow. The parameters of each color group had a good correspondence with the lightness (L^*), redness (a^*) and yellow (b^*) of the CIELab surface color space. In summary, this study laid the foundation for further research on quantitative trait loci mapping of important ornamental traits, and provided a reference for the selection of hybrid parents and the breeding of new varieties of Orchidaceae.

Keywords *Phalaenopsis* spp.; *Renanthera*; intergeneric hybridization; trait analysis

蝴蝶兰(*Phalaenopsis* spp.)为兰科(Orchidaceae)蝴蝶兰属植物,是我国最重要的年宵花卉之一^[1-2],也是在全世界流行广泛的热带兰花,近年来一直受到国内外广大消费者的热爱^[3]。云南火焰兰(*Renanthera imschootiana* Rolfe)是兰科(Orchidaceae)火焰兰属的一个种,茎较长,其花色艳丽、花量大,植株抗性强^[4-6],也是一种珍稀热带濒危兰花^[7],具有较高的杂交亲和性和园林应用价值^[8-9]。火焰兰是蝴蝶兰的近缘属,目前在英国皇家园艺学会(RHS)上登录了火焰兰与蝴蝶兰属间杂交组合163个^[1]。其中蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’(Phal. Jiuobao Red Rose)×云南火焰兰杂交的F₁代群体,在RHS上登录名为*Renanthopsis* Frigdaas Hong Qingting^[10],即:火焰蝶兰(以下杂交F₁代群体统称火焰蝶兰),此群体既有蝴蝶兰花朵大、色彩明艳的特点,同时具有火焰兰抗性较强等特点。因此,火焰蝶兰扩大了蝴蝶兰的观赏范围,并提高了园林应用观赏价值。虽然陈和明等^[9]利用蝴蝶兰与火焰兰进行正反远缘杂交,共计杂交组合48个,获得441株杂交后代,但主要集中在杂交亲和性、种子无菌播种以及基本的性状分析,在表型遗传变异上尚未进行进一步研究。因此,为探究火焰蝶兰群体表型变异的遗传规律,本研究以117株火焰蝶兰及其亲本为研究对象,利用统计学方法对其35个表

型性状的遗传变异规律及群体花色数量分类进行研究,旨在为后续开展遗传连锁图谱构建、重要观赏性状的数量性状基因座(Quantitative trait locus, QTL)定位等研究及新品种选育奠定基础^[11]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2021—2022年,连续2年对广东省农业科学院环境园艺研究所白云基地兰花温室大棚内的蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’×云南火焰兰的杂交F₁代群体火焰蝶兰进行表型性状的相关测定。火焰蝶兰由单株杂交而成,经组织培养、种植观察获得186株,从中筛选出花色、花型和花斑等有差异且表型性状稳定的117株作为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 数量性状的测定

根据《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南蝴蝶兰》^[12],对117株的35个数量性状进行测定(表1)。

1.2.2 火焰蝶兰花色表型测定方法

在火焰蝶兰自然花期1~5月进行花色的观察与测定。从试验材料117株中挑选出179朵花进行花色表型测定,按花序从上到下不同颜色进行测

表 1 表型数量性状在 F₁代群体分离的特征值

Table 1 Characteristic values of phenotypic quantitative traits in F₁ population segregation

编号 Number	数量性状 Quantitative trait	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	标准差 Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
1	株高/cm	7.00	19.00	12.26	2.55	0.39	−0.31
2	株幅/cm	16.00	38.00	26.38	4.38	−0.15	−0.17
3	最长叶长/cm	12.50	29.00	21.01	4.02	−0.16	−0.87
4	最长叶宽/cm	3.00	6.00	4.31	0.52	0.70	0.81
5	叶长宽比	2.50	7.13	4.95	1.13	−0.11	−0.88
6	叶厚/mm	1.50	2.80	2.14	0.28	0.28	0.00
7	叶片数	3.00	11.00	7.68	1.50	−0.21	0.76
8	花序梗长/cm	4.00	42.00	26.07	7.51	−0.28	0.14
9	整个花枝长/cm	17.80	84.00	45.11	13.85	0.42	−0.04
10	花梗粗度/mm	3.20	5.90	4.23	0.48	0.51	0.81
11	侧分枝数	0.00	2.00	0.23	0.55	2.32	4.34
12	花柄长度/cm	2.70	4.80	3.53	0.36	0.48	0.90
13	花柄粗度/mm	2.00	3.82	2.56	0.29	0.92	2.13
14	中萼片长/cm	2.50	4.20	3.53	0.31	−0.27	0.51
15	中萼片宽	1.00	2.20	1.65	0.23	−0.49	−0.35
16	中萼长宽比	1.32	3.15	2.18	0.31	0.66	0.44
17	侧萼片长/cm	2.80	4.70	3.63	0.33	0.12	0.54
18	侧萼片宽/cm	1.50	2.70	2.00	0.21	0.68	0.92
19	侧萼长宽比	1.22	2.41	1.83	0.20	0.01	0.58
20	花瓣长度/cm	2.50	3.80	3.10	0.27	0.05	−0.49
21	花瓣宽度/cm	1.00	2.00	1.41	0.25	−0.28	−0.81
22	花瓣长宽比	1.67	3.50	2.26	0.37	0.91	0.31
23	花瓣厚度/mm	0.36	0.72	0.45	0.06	1.49	4.15
24	唇瓣长/cm	1.30	2.20	1.88	0.30	−0.97	−0.59
25	唇瓣宽/cm	1.00	1.70	1.41	0.20	−0.94	−0.45
26	唇瓣长宽比	1.06	1.54	1.34	0.10	−0.45	0.19
27	唇瓣厚/mm	0.45	1.05	0.69	0.09	0.46	2.23
28	合蕊柱长/cm	0.50	0.80	0.61	0.06	0.23	−0.18
29	合蕊柱粗/mm	3.90	6.00	4.61	0.36	0.84	1.38
30	花长/cm	5.00	8.50	6.49	0.68	−0.03	−0.23
31	花宽/cm	4.30	7.70	6.01	0.61	−0.01	0.11
32	花长宽比	0.83	1.40	1.09	0.12	0.09	−0.11
33	主枝花数	3.00	17.00	8.38	2.56	0.68	0.88
34	单枝总花数	3.00	19.00	9.09	3.09	0.71	0.80
35	单株总花数	3.00	19.00	9.25	3.11	0.63	0.63

定,若呈现3种不同的颜色,则取样3朵;若呈现2种不同的颜色,则取样2朵;若整株花的颜色一致,则取样1朵,然后用比色卡和分光测色仪对每朵花上的中萼片进行测定并记录结果。在温室大棚内自然光条件下,用RHSCC(比色卡)进行比色,重复5次,取出现频率最高的颜色值为最终测定结果;并用分光测色仪测定:将花朵的中萼片平铺于A4白色上,中萼片正面朝上,使用分光测色计(CM-700d)校准仪器后,将集光孔对准测定部位测色^[13-14],使用SQC8软件进行 L^* (明度)、 a^* (红度)和 b^* (黄度)测定,对同一样品的5个数据取均值后作为最终参数值进行后续分析。

1.3 数据分析

用Microsoft Excel 2021对测量的数据进行初始处理与统计,用IBM SPSS Statistics 25软件对株高等35个数量性状进行描述性统计、遗传多样性分析和聚类分析^[15],用Origin Pro 2021对花色进行聚类分析及花色表型图像分析。

2 结果与分析

2.1 数量性状离散特征描述

以峰度=0,表示分布的峰态服从正态分布。火焰蝶兰群体35个数量性状离散特征(表1)显示,21个数量性状的峰度值大于0,表明这些表型性状的分布与正态分布相比较为陡峭;14个数量性状峰值小于0,表明这些表型性状的分布与正态分布相比较为平缓。35个性状中,整个花枝长的标准差最大,为13.85,其次是花序梗长、株幅、单枝总花数、单株总花数及株高,其标准差的值均大于2,表明这些性状的个体间差异大。35个数量性状的变异系数为7.6%~239.1%(表2),表明火焰蝶兰群体有较大的变异性。其中,主枝花数、单枝总花数、单株总花数和整个花枝长的变异系数较大,分别为30.6%、34.0%、33.6%和30.7%;叶片数的变异系数达到19.5%;株高、花瓣宽度和唇瓣长等14个性状的变异系数均>15.0%。

表2 F₁代群体表型数量性状变异系数

Table 2 Coefficient of variation of phenotypic quantitative traits in the F₁ generation population

编号 Number	数量性状 Quantitative trait	变异系数/% CV	编号 Number	数量性状 Quantitative trait	变异系数/% CV
1	株高	20.8	19	侧萼长宽比	10.8
2	株幅	16.6	20	花瓣长度	8.7
3	最长叶长	19.1	21	花瓣宽度	17.9
4	最长叶宽	12.1	22	花瓣长宽比	16.6
5	叶长宽比	22.7	23	花瓣厚度	13.2
6	叶厚	13.0	24	唇瓣长	16.0
7	叶片数	19.5	25	唇瓣宽	13.9
8	花序梗长	28.8	26	唇瓣长宽比	7.6
9	整个花枝长	30.7	27	唇瓣厚	12.7
10	花梗粗度	11.4	28	合蕊柱长	9.6
11	侧分枝数	239.1	29	合蕊柱粗	7.7
12	花柄长度	10.3	30	花长	10.5
13	花柄粗度	11.4	31	花宽	10.1
14	中萼片长	8.8	32	花长宽比	10.6
15	中萼片宽	14.1	33	主枝花数	30.6
16	中萼长宽比	14.4	34	单枝总花数	34.0
17	侧萼片长	9.1	35	单株总花数	33.6
18	侧萼片宽	10.7			

注:编号代表的数量性状见表1。下同。

Note: The quantitative traits represented by the numbers are detailed in Table 1. The same below.

2.2 数量性状频率分布图

分析火焰蝶兰 35 个表型性状的频率分布发现, 35 个表型性状差异介于双亲的性状之间, 都呈现明显的单峰分布, 整体呈现较好的连续正态分布趋势 (部分性状频率分布如图 1 所示)。结合表 1 中的偏度和峰度看, 除侧分枝数、花柄粗度、花瓣厚度和合蕊柱粗这 4 个性状的偏度值或峰度值的绝对值 > 1

外, 其他 31 个性状的偏度值和峰度值绝对值均 < 1, 这表明了绝大部分的性状都满足标准的正态分布。其中, 侧萼长宽比、花瓣长度、花长、花宽和花长宽比的偏度绝对值接近 0, 说明这几个表型性状的分布较均匀; 株幅、叶厚、整个花枝长、唇瓣长宽比、花宽及花长宽比的峰度绝对值较小, 几乎接近 0, 表明这几个性状与正态曲线拟合性更强。

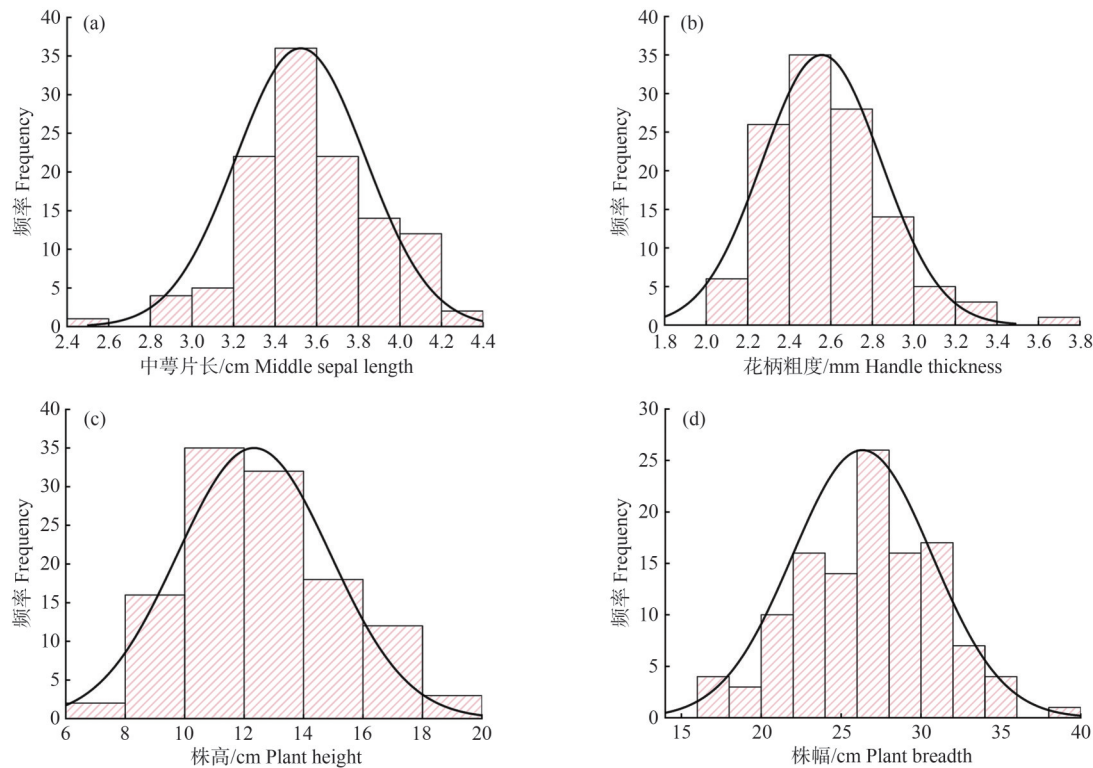


图 1 F₁代部分表型数量性状的频率分布图

Fig. 1 Frequency distribution diagram of partial phenotypic quantitative traits in F₁ generation

2.3 火焰蝶兰表型杂种优势

火焰蝶兰 35 个表型性状的中亲优势率为 -94.54%~1 336.98% (表 3), 其中株高、株幅、最长叶宽、叶长宽比、整个花枝长、花梗粗度、花柄长度、中萼片长、中萼长宽比、侧萼片长、侧萼片宽、侧萼长宽比、花瓣长度、花瓣宽度、花瓣长宽比、花长、花宽、主枝花数、单枝总花数与单株总花数等 20 个性状的中亲优势值和中亲优势率均为负值, 在 F₁ 代中呈下降趋势; 而最长叶长、叶厚、叶片数、花序梗长、侧分枝数、花柄粗度、中萼片宽、花瓣厚度、唇瓣长、唇瓣宽、唇瓣长宽比、唇瓣厚、合蕊柱长、合蕊柱粗和花长宽比等 15 个性状的中亲优势值为正值, 表现为正向中亲优势, 其中合蕊柱长的中亲优势率

最大。结合表 2 和 3 可以看出, 只有最长叶长、叶长宽比、叶厚及合蕊柱粗 4 个性状的平均值高于双亲, 超亲优势率较高的分别是合蕊柱长、叶厚、侧分枝数、唇瓣宽、唇瓣长宽比和唇瓣厚, 分别为 945.29%、220.16%、252.91%、149.64%、200.38% 和 458.97%; 花梗粗度的超亲优势最低, 为 -96.16%。

2.4 火焰蝶兰表型性状相关性分析

火焰蝶兰群体 35 个表型性状之间较复杂, 根据该群体 35 个表型性状的 Pearson 相关性分析结果 (图 2), 在 595 对相关性的中, 有 281 对相关性的达到极显著水平 ($P < 0.01$), 有 74 对达到显著水平 ($P < 0.05$); 其中极显著正相关 236 对, 极显著负相关 45 对, 显著正相关 56 对, 显著负相关 18 对, 总体表

表 3 火焰蝶兰群体表型性状的杂种优势表现

Table 3 Heterosis expression of phenotypic traits in population of *R. Frigdaas Hong Qingting*

性状 Trait	母本均值 Female plant average	父本均值 Male plant average	中亲值 MPV	中亲优势值 H_m	中亲优势率/% RH _m	高亲值 BPV	超亲优势值 H_b	超亲优势率/% RH _b
1	12.98±0.82	36.67±8.09	23.13±5.70	-10.87	-47.00	51.00	-38.74	-75.96
2	37.95±2.07	21.83±2.17	31.04±3.53	-4.67	-15.03	41.50	-15.12	-36.44
3	22.25±0.61	11.90±1.25	17.81±2.17	3.20	17.94	23.30	-2.29	-9.83
4	9.20±0.41	1.73±0.27	6.00±1.53	-1.69	-28.19	10.00	-5.69	-56.91
5	2.43±0.08	7.39±1.81	4.56±1.21	-2.41	-52.99	10.83	-8.69	-80.22
6	2.22±0.08	1.49±0.21	1.91±0.17	5.78	303.20	2.40	5.28	220.16
7	5.50±0.29	22.67±7.22	12.86±4.42	13.21	102.76	37.00	-10.93	-29.54
8	36.38±1.05	13.33±2.19	26.5±4.76	18.61	70.24	39.00	6.11	15.68
9	60.73±6.02	39.8±5.60	51.76±5.72	-47.53	-91.82	71.20	-66.97	-94.06
10	5.65±0.18	2.34±0.08	4.23±0.68	-4.00	-94.54	6.01	-5.78	-96.16
11	0.25±0.25	0.33±0.33	0.29±0.18	3.24	1 135.17	1.00	2.53	252.91
12	5.03±0.10	3.53±0.03	4.39±0.31	-1.83	-41.67	5.30	-2.74	-51.73
13	3.46±0.12	1.49±0.02	2.62±0.40	0.91	34.71	3.80	-0.27	-7.22
14	4.53±0.03	2.3±0.15	3.57±0.45	-1.92	-53.88	4.60	-2.95	-64.20
15	3.60±0.04	0.40±0.00	2.23±0.65	1.40	62.73	3.70	-0.07	-1.99
16	1.26±0.01	5.75±0.38	3.18±0.92	-1.19	-37.24	6.50	-4.50	-69.27
17	4.50±0.04	3.30±0.06	3.99±0.24	-0.89	-22.22	4.60	-1.50	-32.61
18	3.10±0.07	0.97±0.09	2.19±0.43	-0.78	-35.47	3.30	-1.89	-57.26
19	1.45±0.03	3.49±0.40	2.32±0.44	-1.88	-80.70	4.25	-3.80	-89.44
20	4.48±0.08	1.93±0.12	3.39±0.52	-1.50	-44.39	4.60	-2.72	-59.07
21	5.65±0.06	0.37±0.03	3.39±1.07	-1.98	-58.47	5.80	-4.39	-75.76
22	0.79±0.01	5.31±0.20	2.73±0.91	-2.04	-74.85	5.67	-4.98	-87.90
23	0.78±0.03	0.21±0.01	0.54±0.12	0.07	13.14	0.83	-0.22	-26.59
24	3.43±0.05	0.60±0.00	2.21±0.57	2.39	107.97	3.50	1.11	31.58
25	2.55±0.03	0.37±0.03	1.61±0.44	4.88	302.07	2.60	3.89	149.64
26	1.35±0.03	1.67±0.17	1.48±0.09	4.52	305.14	2.00	4.01	200.38
27	1.45±0.03	0.35±0.02	0.98±0.22	7.41	756.82	1.50	6.88	458.97
28	0.85±0.02	0.35±0.02	0.63±0.10	8.46	1 336.98	0.87	8.22	945.29
29	6.18±0.10	2.17±0.03	4.46±0.81	4.79	107.48	6.40	2.85	44.50
30	7.93±0.19	5.33±0.24	6.81±0.54	-5.73	-84.06	8.30	-7.21	-86.91
31	9.55±0.41	3.50±0.17	6.96±1.24	-4.78	-68.71	10.30	-8.12	-78.87
32	0.83±0.02	1.54±0.14	1.13±0.15	0.70	61.49	1.81	0.02	1.07
33	7.25±1.18	19.33±1.20	12.43±2.56	-10.17	-81.84	21.00	-18.74	-89.26
34	7.25±1.18	22.67±2.19	13.86±3.28	-12.52	-90.35	27.00	-25.66	-95.05
35	8.00±1.68	22.67±2.19	14.29±3.21	-9.33	-65.33	27.00	-38.74	-81.66

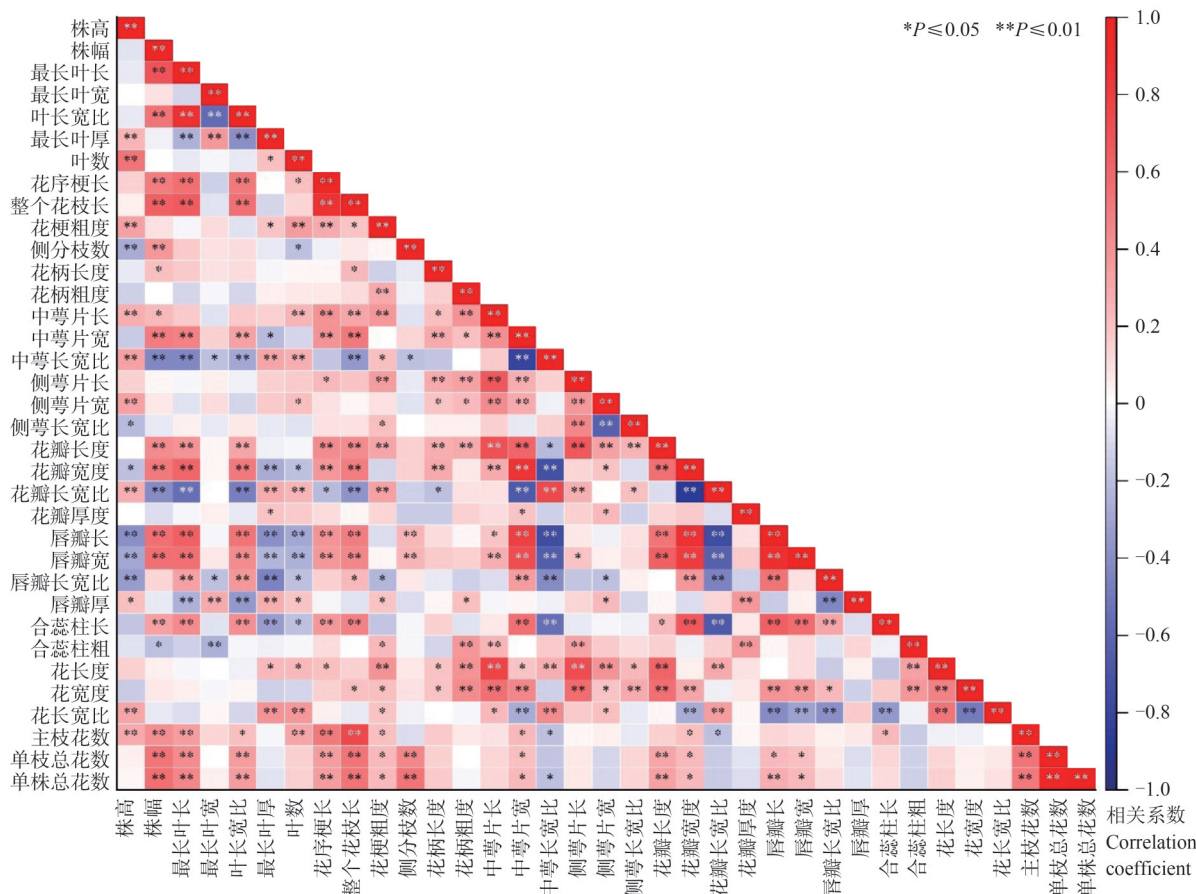


图2 火焰蝶兰群体表型性状的 Pearson 相关性分析

Fig. 2 Pearson correlation analysis of phenotypic traits in population of *R. Frigidaas Hong Qingting*

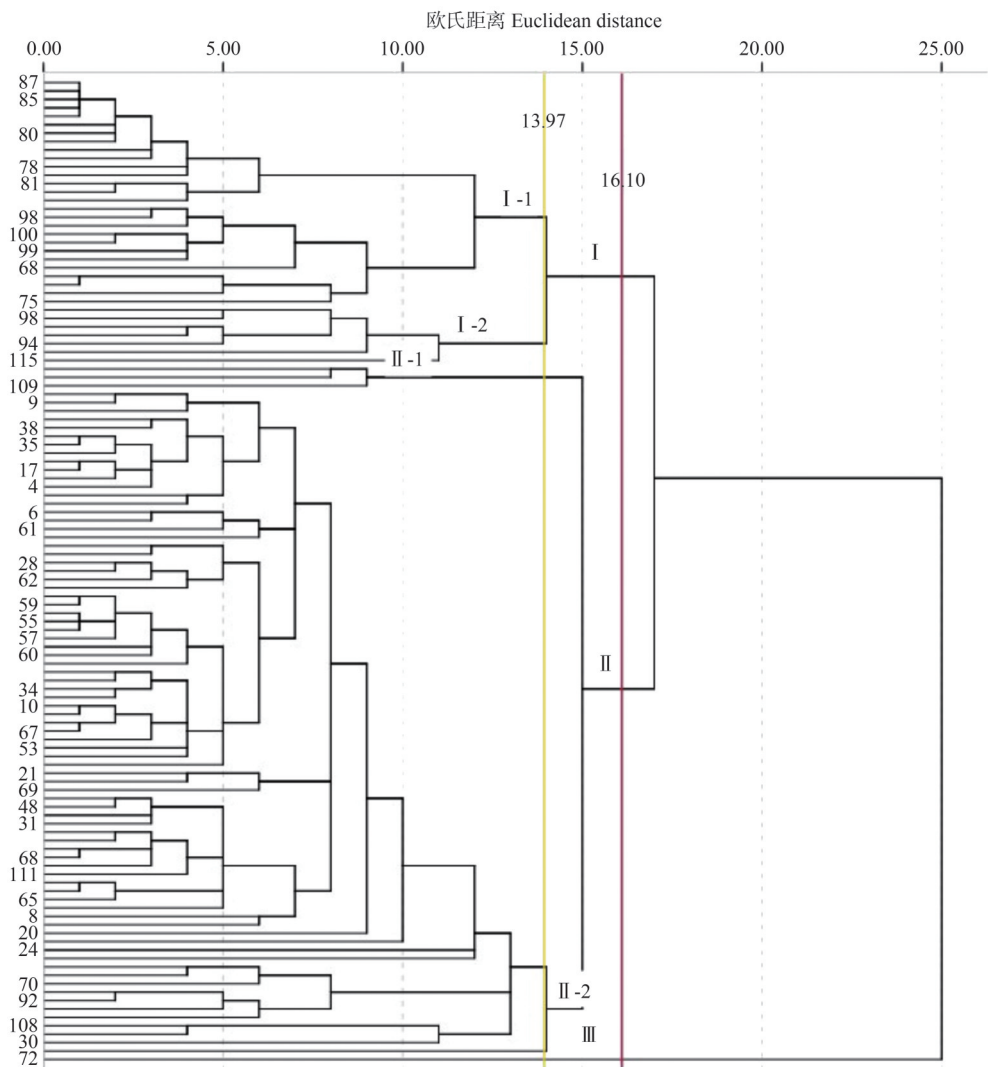
现以正向相关为主。其中,花瓣厚度、最长叶宽、侧分枝数及侧萼长宽比与其他性状的相关性比较低;中萼片宽度与花瓣宽度与其他性状的相关性最高,且主要呈现为极显著正相关;株幅与最长叶长、整个花枝长和花朵数等16个性状呈显著或极显著正相关,但与中萼片长宽比、花瓣长宽比呈极显著负相关,说明株幅越大,中萼片长宽比、花瓣长宽比的比值越小。

从花型性状看,中萼片长宽比、侧萼长宽比、花瓣长宽比均与花长性状呈极显著正相关,但只有侧萼长宽比与花宽呈极显著正相关,中萼片长宽比、花瓣长宽比与花宽无明显相关性;花瓣长宽比与株幅、最长叶长、叶长宽比、整个花枝长、中萼片宽及花瓣宽呈极显著负相关;花长宽比与株幅、叶厚、叶数、中萼片长宽比、萼片宽、花瓣长宽比及花长呈极显著负相关,与中萼片宽、花瓣长度、唇瓣长、唇瓣宽、合蕊柱长及花宽度呈显著负相关,表明花朵的大小受到这些性状的影响。

2.5 火焰蝶兰表型遗传距离与聚类分析

从图3可以看出,火焰蝶兰群体117个单株在遗传距离16.10处可分为3大类群,第Ⅰ类群包括34个单株,占火焰蝶兰群体的29.1%;第Ⅱ类群体包括82个单株,占火焰蝶兰群体的70.1%;第Ⅲ类群体包括1个单株,占火焰蝶兰群体的0.8%。当遗传距离为13.97时,第Ⅰ类群和第Ⅱ类群又各自划分为2个亚群,Ⅰ-1亚群和Ⅰ-2亚群分别包含27和7个单株;Ⅱ-1亚群和Ⅱ-2亚群分别包含3和79个单株。

根据聚类结果,统计各个类群中所包含的火焰蝶兰群体单株35个数量性状的平均值(表4)。其中第Ⅲ类群仅包括1个单株,可供各类群性状平均值进行比较时参考,不具有统计学意义。结合表1~4可以看出,第Ⅲ类群单株大部分性状值都处在极端值,株高、整个花枝长、花柄长度、唇瓣长宽比、主枝花总数、单枝总花数和单株总花数7个性状值均小于其他类群及父母本的平均值,而叶厚、花柄粗度、



左侧数字序号代表不同植株。黄色线表示遗传距离为 13.97,红色线表示遗传距离为 16.10。

The numbers on the left side represent the different plants. Yellow lines indicate at genetic distance 13.97 and red lines at genetic distance 16.10.

图 3 基于 35 个表型性状的杂交 F₁ 代(火焰蝶兰)单株聚类图

Fig. 3 Cluster diagram of individual plants of the hybrid F₁ generation (*R. Frigdaas Hong Qingting*) based on 35 phenotypic traits

花瓣厚度、唇瓣宽、唇瓣厚与合蕊柱粗 6 个性状值均大于其他类群及父母本的平均值,侧面反映了该单株 35 个表型性状独特的观赏性。

对第 I 类群和第 II 类群中火焰蝶兰群体 35 个性状平均值进行比较发现,第 I 类群株高、株幅、叶长和叶宽等 26 个性状均值与父母本均值更接近;结合父本、母本的性状平均值及聚类结果分析,第 I 类群中子代性状值与父本更为接近,第 II 类群中子代性状值与母本更为接近。第 I 类群子代在株高、株幅、花序梗长、叶长、叶长宽比、中萼片长宽比及花瓣长宽比等 9 个性状与第 II 类群差异较大。进一步分析第 I 类群和第 II 类群各 2 个亚群的子代

性状平均值发现,第 I 类 2 个亚群子代在花序梗、花梗粗度、花瓣长宽比、唇瓣长、唇瓣宽、花长和花宽等 9 个性状上差异大,其余 26 个性状差异不明显,说明 I -1 和 I -2 这 2 个亚群的区别主要体现在花的大小上,且 I -2 亚群子代的花整体比 I -1 的大;第 II 类群 2 个亚群 II -1 与 II -2 除了在花朵大小上有差异外,还在株高、株幅、叶片数和叶长宽比等性状上有明显差异,整体表现为 II -1 亚群子代的花朵大些、株高较高、株幅较小、叶片数较多和花朵数较少等差异。

2.6 火焰蝶兰花色表型性状分析

火焰蝶兰花芽抽出时间最早在 9 月,最晚于 12

表 4 火焰蝶兰不同类群表型性状均值

Table 4 Mean value of phenotypic traits among different groups in *R. Frigdaas Hong Qingting*

性状 Trait	类群 Group						
	I	I -1	I -2	II	II -1	II -2	III
1	13.62	13.64	13.54	11.74	15.33	11.60	9.00
2	22.13	22.18	21.93	28.17	23.67	28.34	23.80
3	16.74	16.96	15.91	22.86	19.67	22.98	14.50
4	4.29	4.20	4.66	4.32	4.77	4.30	4.00
5	3.95	4.08	3.43	5.38	4.12	5.43	3.63
6	2.30	2.30	2.29	2.07	2.07	2.07	2.70
7	8.29	8.22	8.57	7.44	8.67	7.39	7.00
8	21.67	20.39	26.63	27.96	16.83	28.38	20.50
9	33.65	33.42	34.53	50.05	31.33	50.76	30.00
10	4.36	4.15	5.17	4.17	3.73	4.19	4.90
11	0.03	0.04	0.00	0.32	0.00	0.33	0.00
12	3.42	3.46	3.27	3.58	4.20	3.56	3.20
13	2.57	2.51	2.78	2.54	2.62	2.54	3.73
14	3.49	3.40	3.84	3.54	4.00	3.52	3.80
15	1.36	1.34	1.47	1.76	2.03	1.75	1.80
16	2.57	2.55	2.62	2.02	1.97	2.02	2.11
17	3.68	3.54	4.23	3.61	4.07	3.59	3.50
18	2.02	1.99	2.13	1.98	2.43	1.97	2.20
19	1.83	1.79	2.00	1.83	1.69	1.84	1.59
20	2.93	2.81	3.36	3.17	3.43	3.16	3.20
21	1.06	1.05	1.11	1.55	1.87	1.54	1.60
22	2.75	2.68	3.03	2.05	1.85	2.06	2.00
23	0.45	0.44	0.48	0.45	0.45	0.45	0.72
24	1.44	1.39	1.67	2.06	2.10	2.06	2.00
25	1.15	1.09	1.40	1.51	1.57	1.51	1.70
26	1.26	1.28	1.21	1.37	1.34	1.37	1.18
27	0.70	0.69	0.76	0.68	0.76	0.67	1.05
28	0.55	0.55	0.55	0.63	0.65	0.63	0.62
29	4.67	4.57	5.04	4.56	4.60	4.56	6.00
30	6.62	6.41	7.41	6.43	7.63	6.38	7.20
31	5.82	5.59	6.69	6.08	6.80	6.05	6.70
32	1.15	1.16	1.12	1.06	1.12	1.06	1.07
33	7.53	7.85	6.29	8.77	7.00	8.84	6.00
34	7.65	7.81	7.00	9.73	7.00	9.84	6.00
35	7.71	7.89	7.00	9.93	7.00	10.04	6.00

月到次年 1 月,花芽抽出期的集中时间在 12 月到次年 1 月;火焰蝶兰开花时间最早于 12 月,最晚于次年 5 月份,开花盛期集中在次年的 3~4 月份,整个花期时间长达 6 个月(表 5),观赏周期长。火焰蝶兰的花色从始花期到衰败期,总体呈现为从颜色饱和艳丽到变浅变淡的趋势。

表 5 火焰蝶兰群体在不同月份的花芽抽出株数和始花期株数
Table 5 The number of flower bud pulling out and the number of first flowering plants in different months of *R. Frigdaas Hong Qingting*

月份 Month	花芽抽出数/株 Number of flower bud extraction period	始花期开花数/株 Number of blooms at the beginning of flowering
9 月 Sept.	1	0
10 月 Oct.	1	0
11 月 Nov.	37	0
12 月 Dec.	26	1
次年 1 月 Jan. of the following year	53	14
次年 2 月 Feb. of the following year	0	30
次年 3 月 Mar. of the following year	0	54
次年 4 月 Apr. of the following year	0	18
次年 5 月 May of the following year	0	1

2.6.1 火焰蝶兰花色表型数量分类

用 OriginPro 2021 对 179 朵样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 的参数值进行系统聚类分析。在欧氏距离为 7.5 处初步聚类为 8 类,在聚类分析划分 8 个组别的基

础上,结合 RHSCC 比色,对火焰蝶兰花色进行重新归类命名,划分为 6 个色系(表 6),分别是:黄色、黄橙色、紫红色、橙红色、橙色和浅紫色(图 4)。

表 6 基于 179 个样本数据的火焰蝶兰花色表型数量分类结果
Table 6 Quantitative classification results of flower color phenotypes in *R. Frigdaas Hong Qingting* based on 179 sample data

类群 Group	色系 Color	数量/株 Number	百分比/% Percentage
I	黄色 Yellow	41	22.9
II	黄橙色 Yellow-orange	50	27.9
III	紫红色 Purple-red	11	6.1
IV	橙红色 Orange-red	38	21.2
V	橙色 Orange	25	14.0
VI	浅紫色 Light-purple	14	7.8

2.6.2 火焰蝶兰花色表型参数分布特点

根据箱线图(图 5)可以看出,各色系的 L^* 、 a^* 和 b^* 值的区分较为明显。 L^* 值的分布中,从紫红色系到黄色系的明度逐渐升高,虽然橙红色系和橙色系

之间存在部分的重叠,但二者的 a^* 和 b^* 值差异较明显; a^* 值的分布中,除紫色系外,其他色系从紫红色系到黄色系的红度逐渐降低,且各色系的 a^* 值均分布在负值区域; b^* 值的分布中,黄色系的黄度最高,

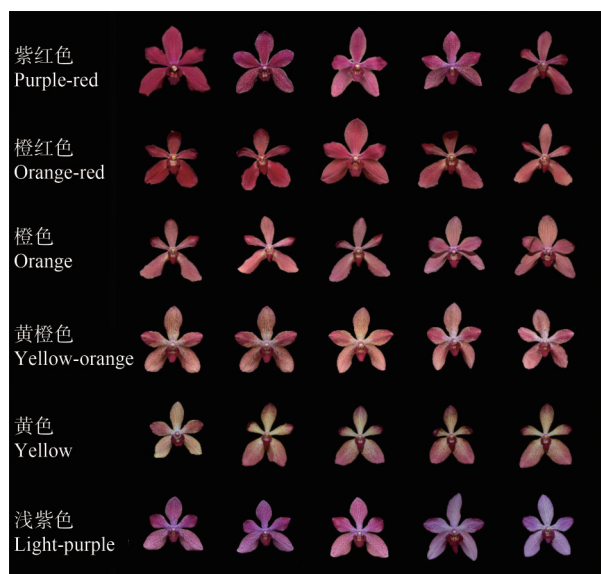


图4 火焰蝶兰群体花色多样性

Fig. 4 *R. Frigdaas Hong Qingting* flower color phenotype diversity

紫色系的黄度最低,且橙红色系、橙色系和橙黄色系之间均存在部分重叠。各色系中,紫红色系的数值分布最为集中,即紫红色系的变化幅度相对较小。

火焰蝶兰各色 a^* 和 b^* 二维散点分布图(图6(a))中,各色系均分布在第二象限,分布的区域范围较大,其中黄橙色系、橙红色系均与其他5种色系有重叠。研究发现,例如紫斑牡丹(*P. rockii* hybrids)^[16]等的花色表型参数值在三维散点图分析中呈现带状的分布趋势,可以看出有些观赏植物的表型数据在三维散点图中主要集中在一条主线上。而从图6(b)看,火焰蝶兰花色的 L^* 、 a^* 和 b^* 参数在三维散点图中的分布整体上有向斜轴集中的趋势,但在这趋势上,又呈现两侧扩散分布,即相对广泛分布,这说明了火焰蝶兰花色变异幅度较大且颜色较为丰富的特点。

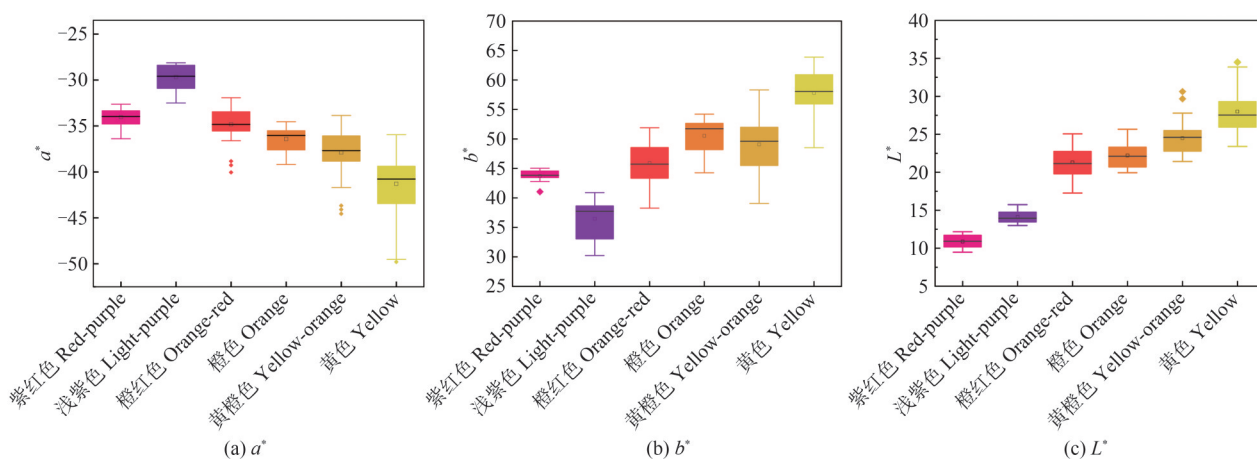
图5 火焰蝶兰群体各色系 L^* 、 a^* 和 b^* 箱线图

Fig. 5 The box plot of different color group of *R. Frigdaas Hong Qingting* according to L^* , a^* and b^*

3 讨论

近年来,属间远缘杂交技术在兰花方面取得了一些进展,分别在国兰与蝴蝶兰^[17],兰属(*Cymbidium*)、蝴蝶兰属(*Phalaenopsis*)、贝母兰属(*Coelogyne*)、鹤顶兰属(*Phaius*)、坛花兰属(*Acanthephippium*)、兜兰属(*Paphiopedilum*)和槽舌兰属(*Holcoglossum*)等^[18-19],风兰(*Neofinetia falcata*)与蝴蝶兰^[20],火焰兰(*Renanthera*)与万代兰(*Vanda*)^[21]之间进行了属间杂交及后代分析,但在杂交后代遗传规律上研究不多^[9]。本研究对蝴蝶

兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交 F_1 代的表型性状进行了遗传规律分析。35个数量性状变异系数范围在7.6%~239.1%,其中主枝花数、单枝总花数、单株总花数和整个花枝长的变异系数较大,均在30.0%以上,株高、花瓣宽度和唇瓣长等14个性状的变异系数均大于15.0%,表明这些性状在火焰蝶兰群体中存在广泛遗传变异。根据李娟娟等^[22]对遗传变异程度判定的标准划分,本研究中花朵数量和花瓣长度等18个性状变异较大;同时35个表型性状都呈现明显的单峰分布,呈现较好的连续正态分布趋势,表现出多基因控制的数量性状遗传特

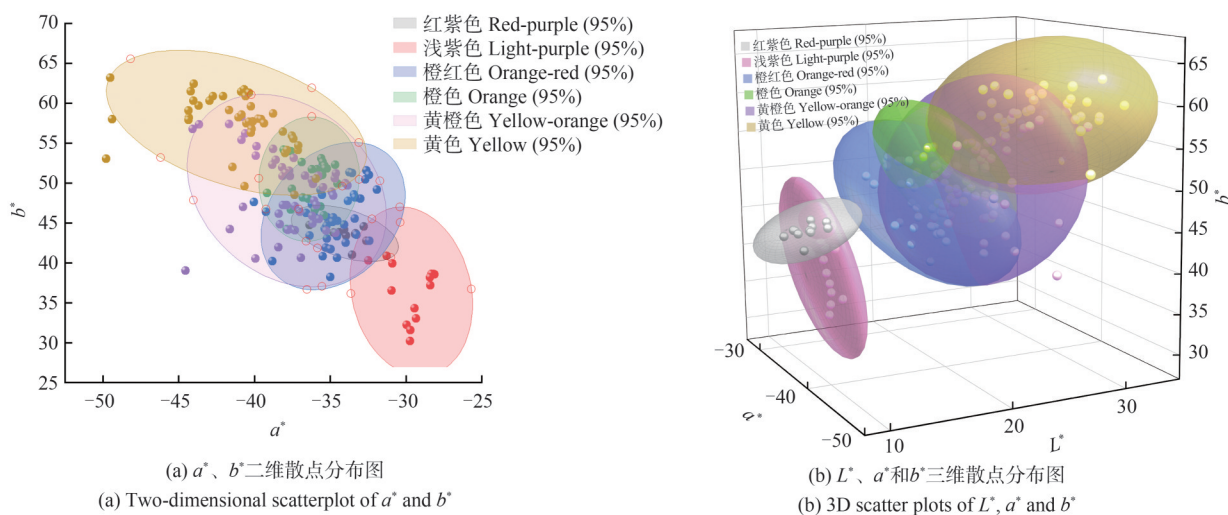


图6 火焰蝶兰群体各色系表型分布图

Fig. 6 Flower color distribution of *R. Frigdaas Hong Qingting* cultivars

征,这与月季(*Rosa* spp.)^[23]、柿(*Diospyros kaki*)^[24]等的研究结果基本一致。

杂种优势作为一种重要的遗传改良手段,在提高植物的观赏价值方面被广泛应用。火焰蝶兰35个表型性状的中亲优势率为-94.54%~1 336.98%,其中株高、株幅、最长叶宽、叶长宽比、整个花枝长、花梗粗度、花柄长度、中萼片长、中萼长宽比、侧萼片长、侧萼片宽、侧萼长宽比、花瓣长度、花瓣宽度、花瓣长宽比、花长、花宽、主枝花数、单枝总花数和单株总花数20个性状的中亲优势值和中亲优势率均为负值,呈现出显性遗传效应的杂种优势,这与唐海强等^[25]在菊花(*Chrysanthemum* × *morifolium*)^[25]中和苏鸣等^[26]在杜鹃花(*Rhododendron* spp.)上的研究结果一致。本研究聚类分析在遗传距离16.10处将117个单株分为3大类,结合117个个体的表型性状参数发现,花型偏大的聚在同一亚类,从侧面反映出花型与聚类分枝具有一定相关性^[27]。

王静等^[28]根据花色表型 L^* 、 a^* 和 b^* 参数进行聚类分析,结果表明不能完全获得体现植物花色的分布特点,需要结合RHSCC色名表示法进一步对花色定义及分类。本研究在对火焰蝶兰花色的初步聚类基础上,依据RHSCC对火焰蝶兰花色进行命名,将全部样品划分为黄色、黄橙色、紫红色、橙红色、橙色和浅紫色6个色系;黄色系、橙黄色系和橙红色系分布较均匀,均占总色系的20%以上;浅紫色系和紫红色系的相对较少,颜色整体从浅紫色到黄色逐渐过渡。虽然各相邻色系之间偶有重叠,但

火焰蝶兰花色的 L^* 、 a^* 和 b^* 参数在三维散点图中集中于某一区域的趋势并不明显,其色系分布相对较广泛,这与紫斑牡丹^[16]等的花色表型参数在三维散点图中呈现带状的分布趋势不一样,进一步表明火焰蝶兰花色变异幅度较大且颜色较为丰富的特点。

4 结 论

本研究初步解析了火焰兰与蝴蝶兰杂交后代火焰蝶兰表型性状的差异性与多样性。群体存在广泛的遗传变异,火焰蝶兰数量性状变异系数在7.6%~239.1%;群体花色丰富,从黄色、黄橙色过渡到紫红色、浅紫色、橙红色、橙色等,其中以黄色、橙黄色及橙红色为主,且火焰蝶兰花色的 L^* 、 a^* 和 b^* 参数在三维散点图中分布广泛,进一步说明群体花色丰富;同时花部表型性状大部分介于双亲之间,但也有明显的杂种优势。因此,本研究为火焰蝶兰新品种选育提供了重要的理论基础。

参考文献 References

- [1] Zhang Y J, Nie C R, Guo W J, Zhang J W, Lv Y M, Ding P S, Sun J X. Exploring flowering genes in *Phalaenopsis* through transcriptome analysis and critical gene validation of hormone signal transduction pathway [J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2023, 70(3):25
- [2] 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
Chen H M, Lv 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)
- [3] Li Z, Xiao W F, Chen H M, Zhu G F, Lv F B. Transcriptome analysis

- reveals endogenous hormone changes during spike development in *Phalaenopsis* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(18):10461
- [4] Xiao T, He L F, Yue L L, Zhang Y H, Lee S Y. Comparative phylogenetic analysis of complete plastid genomes of *Renanthera* (Orchidaceae) [J]. *Frontiers in Genetics*, 2022, 13:998575
- [5] 曾宋君. 火焰兰属研究及新品种介绍[J]. 花卉, 2015(3):29-30
Zeng S J. Study on the genus *Eupatorium* and introduction of new varieties [J]. *Flowers*, 2015(3): 29-30 (in Chinese)
- [6] 罗剑鹏, 吴坤林, 翁殊斐. 火焰兰属植物研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(10):69-72
Luo J P, Wu K L, Weng S F. Research progress on *Renanthera* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(10): 69-72 (in Chinese)
- [7] 李娟, 石明, 吕亚媚, 杨锦超, 杜凡. 极危植物云南火焰兰的发现及种群现状[J]. 林业科学研究, 2018, 31(3): 9-14
Li J, Shi M, Lv Y M, Yang J C, Du F. Discovery of an extremely endangered species *Renanthera imschootiana* and its population situation [J]. *Forest Research*, 2018, 31(3): 9-14 (in Chinese)
- [8] 薛凯, 李敏. 国家重点保护野生植物介绍: 火焰兰属[J]. 生命世界, 2023(1): 94-95
Xue K, Li M. Introduction of national key protected wild plants: *Flammulina* [J]. *Life World*, 2023(1): 94-95 (in Chinese)
- [9] 陈和明, 吕复兵, 肖文芳, 李佐, 蒋明殿. 蝴蝶兰与火焰兰远缘杂交育种初探[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(8):60-71
Chen H M, Lv F B, Xiao W F, Li Z, Jiang M D. Preliminary study on the intergeneric hybridization breeding between *Phalaenopsis* and *Renanthera* [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(8): 60-71 (in Chinese)
- [10] Royal Horticultural Society. The International Orchids Register [EB/OL]. [2020-12-31]. <http://apps.rhs.org.uk/horticulturaldatabase/orchidregister/orchidregister.asp#>
- [11] 周小琴, 陈桂珍, 孙佳婷, 刘舒雅, 刘钰颖, 张燕萍, 周育真, 艾叶, 饶小琼, 彭东辉. 春兰和蕙兰种间杂交 F_1 代表型性状遗传变异分析[J/OL]. 分子植物育种, 1-19 [2024-01-26]. <https://kns-cnki-net.webvpn.fafu.edu.cn:880/kcms/detail/46.1068.S.20211102.1134.002.html>
Zhou X Q, Chen G Z, Sun J T, Liu S Y, Liu Y Y, Zhang Y P, Zhou Y Z, Ai Y, Rao X Q, Peng D H. Genetic variation analysis of phenotypic traits in F_1 progeny of interspecific cross between *Cymbidium goeringii* and *C. faberi* [J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 1-19 [2024-01-26]. <https://kns-cnki-net.webvpn.fafu.edu.cn:880/kcms/detail/46.1068.S.20211102.1134.002.html> (in Chinese)
- [12] NY/T 2230—2012. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 蝴蝶兰[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013
NY/T 2230—2012. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. *Phalaenopsis* (*Phalaenopsis* Blume and *Doritaenopsis hort*) [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013 (in Chinese)
- [13] 王思宇, 黄旻, 颜昌翔. 手持式分光测色仪设计[J]. 发光学报, 2019, 40(10):1295-1302
Wang S Y, Huang M, Yan C X. Hand-held spectrophotometer design [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2019, 40(10): 1295-1302 (in Chinese)
- [14] Wang L S, Hashimoto F, Shiraishi A, Aoki N, Li J J, Sakata Y. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by floral pigmentation [J]. *Journal of plant research*, 2004, 117(1):47-55
- [15] 吴贵进, 陈龙清, 韦秋雨, 胡云冲, 徐剑, 栗冬雪, 陈盛通, 王仲朗, 耿芳. 滇山茶登录品种统计及表型性状分析[J]. 园艺学报, 2023, 50(10): 2157-2170
Wu G J, Chen L Q, Wei Q Y, Hu Y C, Xu J, Li D X, Chen S T, Wang Z L, Geng F. Statistics and phenotypic traits analysis of *Camellia reticulata* registered cultivars [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2023, 50(10): 2157-2170 (in Chinese)
- [16] 郭鑫, 成仿云, 钟原, 成信云, 陶熙文. 紫斑牡丹花色表型数量分类研究[J]. 园艺学报, 2022, 49(1):86-99
Guo X, Cheng F Y, Zhong Y, Cheng X Y, Tao X W. The quantitative classification of flower color phenotype in *Paeonia rockii* (Flare Tree Peony) [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2022, 49(1): 86-99 (in Chinese)
- [17] 张志胜, 何琼英, 傅雪琳, 欧秀娟, 林伟强, 蒋俊岳. 中国兰花远缘杂交及杂交种子萌发的研究[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(2): 62-65
Zhang Z S, He Q Y, Fu X L, Ou X J, Lin W Q, Jiang J Y. Studies on the wide cross of Chinese Orchids and the germination of their hybrid seeds [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2001, 22(2): 62-65 (in Chinese)
- [18] 李枝林, 王玉英, 王卜琼, 余朝秀, 程利霞. 兰花远缘杂交育种技术研究[J]. 中国野生植物资源, 2007, 26(4):52-56
Li Z L, Wang Y Y, Wang B Q, Yu C X, Cheng L X. Studies on the wide cross breeding techniques of orchids [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2007, 26(4): 52-56 (in Chinese)
- [19] 周丽, 胡春根. 几种兰花远缘杂交育种技术研究[J]. 黔东南民族师范高等专科学校学报, 2009, (1): 113-115, 118
Zhou L, Hu C G. Study on distant hybridization breeding techniques of several orchids [J]. *Journal of Southwest Guizhou Teachers College for Nationalities*, 2009(1): 113-115, 118 (in Chinese)
- [20] Kim D G, Kim K K, Been C G. Development of intergeneric hybrids between wind orchids (*Sedirea japonica* and *Neofinetia falcata*) and moth orchids (*Phalaenopsis* alliances) [J]. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2015, 56(1): 67-78
- [21] Kishor R, Sharma G J. Intergeneric hybrid of two rare and endangered orchids, *Renanthera imschootiana* Rolfe and *Vanda coerulea* Griff ex L (Orchidaceae): Synthesis and characterization [J]. *Euphytica*, 2009, 165(2): 247-256
- [22] 李娟娟, 陈洪伟, 王红利, 刘克锋, 石爱平. 一串红若干观赏性状在 F_1 的遗传表现[J]. 华北农学报, 2014, 29(6):113-120
Li J J, Chen H W, Wang H L, Liu K F, Shi A P. Genetic performance of several traits in F_1 hybrids of different cross combinations in *Salvia splendens* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2014, 29(6): 113-120 (in Chinese)
- [23] 周利君, 于超, 常笑, 万会花, 罗乐, 潘会堂, 张启翔. 月季 F_1 代群体表型性状变异分析[J]. 植物研究, 2019, 39(1):131-138
Zhou L J, Yu C, Chang X, Wan H H, Luo L, Pan H T, Zhang Q X. Variation analysis of phenotypic traits in F_1 population of *Rosa* spp [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2019, 39(1): 131-138 (in Chinese)
- [24] 刁松峰, 李芳东, 段伟, 韩卫娟, 孙鹏, 傅建敏. 柿杂交 F_1 代叶表型遗传多样性研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2):32-44
Diao S F, Li F D, Duan W, Han W J, Sun P, Fu J M. Genetic diversity of phenotypic traits of leaves in F_1 progeny of persimmon [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(2): 32-44 (in Chinese)
- [25] 唐海强, 张飞, 陈发棣, 房伟民, 王楚楚, 陈素梅. 托桂型菊花花器性状杂种优势与混合遗传分析[J]. 园艺学报, 2015, 42(5):907-916
Tang H Q, Zhang F, Chen F D, Fang W M, Wang C C, Chen S M. Heterosis and mixed genetic analysis of inflorescence traits of anemone typed *Chrysanthemum* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(5): 907-916 (in Chinese)
- [26] 苏鸣, 夏溪, 张春英, 奉树成, 倪穗. 杜鹃花品种间杂交 F_1 代主要形态性

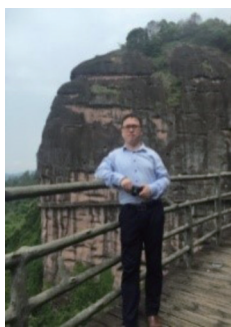
- 状变异[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(5): 6-11
- Su M, Xia X, Zhang C Y, Feng S C, Ni S. Variation of main morphological characters in F₁ generation of Azalea varieties[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2021, 49(5): 6-11 (in Chinese)
- [27] 王钦, 黄捷, 涂松, 康阳, 王菲, 陈秀铭, 彭东辉. 蝴蝶兰不同品种表型性状遗传多样性分析[J]. 西南林业大学学报: 自然科学版, 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)
- [28] 王静, 徐雷锋, 王令, 祁先宇, 宋蒙, 曹雨薇, 何国仁, 唐玉超, 杨盼盼, 明军. 百合花色表型数量分类研究[J]. 园艺学报, 2022, 49(3): 571-580
- Wang J, Xu L F, Wang L, Qi X Y, Song M, Cao Y W, He G R, Tang Y C, Yang P P, Ming J. The numerical classification of flower color phenotype in lily[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2022, 49(3): 571-580 (in Chinese)
- 责任编辑: 董金波



第一作者简介: 杨松敏, 在读硕士研究生。2021年9月至今, 在福建农林大学就读硕士研究生, 专业为风景园林, 研究方向为园林植物与观赏应用。研究生阶段在广东省农业科学环境园艺研究所实习。在读期间, 曾荣获研究生学业一等奖学金、校三好学生、优秀共青团员、科技小院联盟2022年度优秀研究生及全国林草局科普解说大赛优秀奖等荣誉。



通讯作者简介: 陈和明, 广东省农业科学院环境园艺研究所研究员, 硕士研究生导师。主要从事兰花资源与遗传育种研究, 作为主要完成人获得神农中华农业科技奖优秀创新团队奖1项, 获得广东省科技进步一等奖1项、二等奖1项、三等奖1项, 福建省科技进步一等奖1项; 作为第一完成人获得广东省农业技术推广奖二等奖1项; 作为主要完成人获得广东省农业技术推广奖二等奖5项、三等奖1项; 作为主要完成人制定中华人民共和国农业行业标准“蝴蝶兰DUS测试指南”1个, 获得兰花植物新品种权30个, 审定或评定省级兰花新品种51个, 国际登录113个兰花新杂交种; 获得国家发明专利20件, 并以第一作者发表学术论文51篇。



通讯作者简介: 彭东辉, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现任福建农林大学风景园林与艺术学院副院长(主持工作)。全国风景园林专业学位研究生教育指导委员会委员, 园林专业负责人, 福建省专业学位研究生导师团队-园林植物与应用科技创新团队带头人, 中国植物学会兰花分会秘书长、中国林学会园林分会常务委员、福建省观赏植物种质资源创新与应用工程技术研究中心主任, 国家林业和草原局新品种权保护实审专家、福建省农村专业技术协会园林花卉研究中心专家, 福建省花卉协会常务理事, 福建省乡村振兴局、福建省科协周宁县、清流县产业顾问组成员, 校黄大年团队负责人。主要从事园林植物种质资源保育与开发利用、植物造景、木拱廊桥和传统村落的保护与开发等研究。近年来主持国家自然科学基金、国家重点研发项目、国家星火计划、中央支持地方财政项目、博士后科学基金和福建省自然科学基金等项目; 参与国家科技支撑、国家林业行业公益性项目等各类科研项目30余项, 发表论文150多篇; 获得国家科技进步二等奖1项, 福建省科技进步奖一等奖2项、二等奖2项、三等奖2项, 中国风景园林学会科技奖、梁希科技奖各1项, 福建省教学成果一等奖1项。出版专著、教材、编著16部, 授权专利6件, 获新品种权20个, 发布地方标准5项。