



梁一博, 杨松敏, 肖文芳, 吕复兵, 彭东辉, 陈和明. 中华火焰兰与蝴蝶兰‘天天红’属间杂交 F_1 代主要观赏性状分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(04): 131-141.

LIANG Yibo, YANG Songmin, XIAO Wenfang, LYU Fubing, PENG Donghui, CHEN Heming. Analysis of the main ornamental traits in F_1 hybrids of *Renanthera citrina* and *Phalaenopsis* Chin-Lih Rose[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(04): 131-141.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.04.11

中华火焰兰与蝴蝶兰‘天天红’属间杂交 F_1 代主要观赏性状分析

梁一博^{1,2} 杨松敏^{1,2} 肖文芳¹ 吕复兵¹ 彭东辉^{2*} 陈和明^{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 510640;

2. 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)

摘要 为探究中华火焰兰(*Renanthera citrina*)与蝴蝶兰‘天天红’(*Phalaenopsis* Chin-Lih Rose)属间杂交 F_1 代的观赏性状遗传规律,以73株 F_1 代个体及父本为研究对象,采用性状离散特征描述、Pearson相关性分析等统计方法对21个数量性状进行变异和相关性分析,利用系统聚类法和RHSCC比色法进行花色分类,并以紫外-可见分光光度法分析色素含量。结果表明:1) F_1 代杂交群体变异程度较大,21个数量性状的变异系数为9.4%~41.0%;2)210对相关性状中,58对相关性状差异达到极显著水平($P<0.01$),27对达到显著水平($P<0.05$),多数呈现正相关;3) F_1 代群体按花色分为橙红色、橙紫色和浅紫色3类,其中浅紫色系的花色变化幅度相对较小,色系内颜色表达较为稳定;4)橙红色系、橙紫色系和亲本蝴蝶兰‘天天红’的主要色素成分是花青素和类胡萝卜素,浅紫色系的主要色素成分是叶绿素。研究结果为火焰兰花色组成成分、重要观赏性状遗传研究、杂交组合亲本选配和新品种选育等提供了参考依据。

关键词 兰科; 属间杂交; 花色; 色素含量

中图分类号 S681

文章编号 1007-4333(2025)04-0131-11

文献标志码 A

Analysis of the main ornamental traits in F_1 hybrids of *Renanthera citrina* and *Phalaenopsis* Chin-Lih Rose

LIANG Yibo^{1,2}, YANG Songmin^{1,2}, XIAO Wenfang¹, LYU Fubing¹, PENG Donghui^{2*},
CHEN Heming^{1*}

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

2. 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)

Abstract To investigate the genetic patterns of ornamental traits in the F_1 hybrid generation of *Renanthera citrina* and *Phalaenopsis* Chin-Lih Rose, a population consisting of 73 F_1 individuals and the parent plants was used in this study. Statistical methods such as discrete trait description and Pearson correlation analysis were employed to examine the variation and correlations of 21 quantitative traits. Systematic clustering and RHSCC colorimetry were used for flower color classification, while ultraviolet-visible spectrophotometry was applied to analyze pigment content. The results indicated that: 1) The F_1 hybrid

收稿日期: 2024-08-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2300904, 2019YFD1001003); 高端外国专家引进计划项目(G2022030025L); 2024年和2025年国家(广东)农业基础性长期性科技工作观察研究项目蝴蝶兰子项目; 广州市科技计划项目(202206010128, 2024E04J1267); 2023年广东省科技创新战略专项资金(农村科技与配套国家)项目(2023B0202010030); 兰花种质资源基地建设(2024B1212060012); 广东名优花卉种质资源库运行维护项目(2023-NBH-00-009)

第一作者: 梁一博(ORCID:0009-0001-9330-7524), 硕士研究生, E-mail: leunglbok@163.com

通讯作者: 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

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

population exhibits considerable variation, with coefficients of variation for the 21 quantitative traits ranging from 9.4% to 41.0%; 2) Out of 210 pairs of correlations, 58 pairs of correlations differed at an extremely significant level ($P < 0.01$), and 27 pairs were significant ($P < 0.05$), with the majority showing positive correlations; 3) The F_1 population was categorized into three color groups: orange-red, orange-purple, and light-purple, with the light-purple group exhibiting relatively stable color expression and less variation; 4) The primary pigment components of the orange-red and orange-purple groups, as well as the parent *Phalaenopsis* Chin-Lih Rose, were anthocyanins and carotenoids, while the light-purple group was predominantly composed of chlorophyll. These findings provide a reference for understanding the pigment composition of *Renanthera* and *Phalaenopsis* hybrids, the inheritance of key ornamental traits, the selection of parent plants and the breeding of new varieties.

Keywords Orchidaceae; intergeneric hybridization; flower color; pigment content

蝴蝶兰(*Phalaenopsis* spp.)为兰科(Orchidaceae)蝴蝶兰属植物,于1750年发现,因花形奇特、花色艳丽和花期长等优良特性,素有“洋兰皇后”的美称,深受全世界消费者喜爱^[1-2]。而原生种中华火焰兰(*Renanthera citrina*)产自云南和越南等地,与云南火焰兰(*R. imschooliana*)具有亲缘关系,但中华火焰兰叶较狭、宽9~11 mm、花黄色,具有紫红色的疏斑点,侧萼片较狭、宽4.5~5.5 mm,唇瓣的中裂片上半部呈现半球形囊状,与云南火焰兰区别明显^[3]。当前,在英国皇家园艺学会(RHS)上登录的以火焰兰为母本、蝴蝶兰为父本的杂交组合有155个,其杂交后代称为火焰蝶兰^[4-5]。

目前,蝴蝶兰与火焰兰(*Renanthera*)^[6]、蝴蝶兰与指甲兰(*Aerides*)^[7]、蝴蝶兰与钻喙兰(*Rhynchostylis*)^[8]、风兰(*Neofinetia*)与蝴蝶兰^[9]等兰花属间远缘杂交的研究较多,但主要集中于杂交后代的形态特征和栽培技术等方面,尚未对属间远缘杂交后代的观赏性状进行深入研究。虽然杨松敏等^[5]分析了蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交 F_1 代表型性状遗传变异,但对于观赏性和花色素并未详细研究。兰科植物的花色素主要有3个类群:类黄酮(Flavonoids)、类胡萝卜素(Carotenoids)和叶绿素(Chlorophyll),以类黄酮和类胡萝卜素为主^[10]。在兰科植物花色素研究方面,目前已对卡特兰^[11]、杂交兰^[12]和建兰^[13]等多种观赏性兰花进行了花色素成分分析。为探究火焰兰与蝴蝶兰属间杂交后代观赏性状的遗传规律,本研究首次将中华火焰兰与蝴蝶兰‘天天红’进行属间杂交,以 F_1 代及其父本为研究对象,开展观赏性状遗传规律、花色类型和花色素含量研究,旨在为火焰蝶兰花色素组成成分、重要观赏性状遗传研究、杂交组合亲本选配和新品种选育等提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2018年4月,在广东省农业科学院环境园艺研究所白云试验基地,以中华火焰兰(黄色具红斑点花)为母本、以蝴蝶兰‘天天红’(紫红花)为父本进行属间杂交。4个月后获得成熟果荚进行无菌播种,2021年3月实生苗出瓶种植,2024年1—3月开花,获得 F_1 代开花群体。在开花期间从 F_1 代群体中筛选出花色、花型等表型性状稳定且差异较大的73株作为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 数量性状的测定

由于火焰蝶兰整体植株和开花性状偏向蝴蝶兰^[6],因此根据《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 蝴蝶兰》^[2]对73株 F_1 代个体的21个数量性状进行测定、记录及拍照,并进行观赏性状遗传变异分析。

1.2.2 花色表型的测定

参考王琳^[14]的方法并进行适当改进,对 F_1 代进行花色表型测定。具体步骤如下:在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,自然光线充足的条件下,选择群体内花色差异较为明显的个体植株。在73株 F_1 代个体中,选择23株花色差异显著的个体,每个植株上随机采集3朵处于盛开花期的花朵,迅速将花朵放在白纸上,在温室大棚内的散射光源下将侧萼和唇瓣中着色最均匀且具有代表性的部分与英国皇家比色卡(RHSCC)进行对比,判断花色并记录结果。并在相同的环境下,将侧萼和唇瓣放在白纸上,使用色差仪(CS-10)测定各部分的色值参数 L^* (亮度)、 a^* (红绿度)和 b^* (蓝黄度)值,每个侧萼和唇瓣进行3次重复测量,最

终记录 3 次重复测量的平均值。根据色值参数进行聚类分析,依分类结果确定花色类型。

1.2.3 叶绿素、类胡萝卜素含量的测定

参考王小燕等^[15]的方法并进行适当改进,对 F₁ 代和父本蝴蝶兰‘天天红’进行叶绿素、类胡萝卜素含量的测定。具体步骤如下:在根据花色分类的 73 株 F₁ 代个体中,每个花色类型的火焰蝶兰及其父本蝴蝶兰‘天天红’均称取侧萼片 0.2 g,3 次生物学重复。用液氮研磨侧萼并把侧萼粉末置于 10 mL 离心管中,加入 6 mL 4 ℃预冷的 95% 乙醇溶液,置于 4 ℃冰箱中黑暗浸提 24 h,期间晃动多次。取出后于 5 000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,收集上清液。取上清液,将提取液置于孔板中,每份提取液做 3 次技术重复。使用 BioTek 多功能酶标仪分别测定提取液在 665、649 和 470 nm 波长下的吸光光度值,计算单位鲜重的叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)、总叶绿素(Chl)及类胡萝卜素(Car)含量。

1.2.4 花青素含量的测定

参考韦璐等^[16]的方法并进行适当改进,对 F₁ 代和父本蝴蝶兰‘天天红’进行花青素含量的测定。具体步骤如下:在根据花色分类的 73 株 F₁ 代个体中,对每个花色类型的火焰蝶兰及其父本蝴蝶兰‘天天红’均称取侧萼片 0.2 g,3 次生物学重复。用液氮研磨侧萼并把侧萼粉末置于 10 mL 离心管中,加入 6 mL 4 ℃预冷的提取剂(V(95% 乙醇):

V(1 mol/L 盐酸)=85:15),置于 4 ℃冰箱中黑暗浸提 24 h,期间晃动多次。取出后于 5 000 r/min、4 ℃条件下离心 10 min,收集上清液。取上清液,将提取液置于孔板中,每份提取液做 3 次技术重复。使用 BioTek 多功能酶标仪测定提取液在 535 nm 波长下的吸光光度值,计算单位鲜重的花青素含量。

1.3 统计分析

使用 Microsoft Excel 2021 对记录的数据进行初始处理,应用 IBM SPSS Statistics 27 软件进行描述性统计、聚类分析和显著性分析(显著水平 $P=0.05$,标记字母中凡有一个相同的即为差异不显著,标记字母中不含任何相同字母的即为差异显著),利用 OriginPro 2022 进行相关性分析、花色表型及色素含量分析。

2 结果与分析

2.1 F₁代数量性状的变异分析

对亲本和 F₁ 代的 21 个数量性状进行描述统计分析,得到 F₁ 代数量性状变异情况(表 1)。亲本间数量性状差异较大,母本的株高、株幅、最长叶长和叶数等 11 个数量性状大于或等于父本,但最长叶宽、最长叶厚、花序长和花梗粗度等 10 个数量性状小于父本;而 F₁ 代的观赏性状高于或低于亲本或介于亲本之间,表现出正向或负向的超亲优势或中亲优势。

表 1 F₁代数量性状变异情况
Table 1 Variation in quantitative traits in the F₁ generation

编号 Number	数量性状 Quantitative trait	亲本 Parent			F ₁			
		母本 Female	父本 Male	平均值 Mean value	平均值±标准差 Mean value±SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变幅 Range
1	株高/cm	36.00	14.00	25.00	10.91±2.82	−0.05	−1.59	6.00~14.80
2	株幅/cm	24.00	21.00	22.50	20.41±2.46	0.16	0.01	14.50~26.00
3	最长叶长/cm	13.50	12.20	12.85	12.76±1.33	−0.03	0.62	9.30~16.00
4	最长叶宽/cm	1.30	4.50	2.90	4.35±0.92	4.34	29.67	3.00~10.60
5	最长叶厚/mm	1.50	1.67	1.59	2.03±0.31	−0.89	1.19	0.94~2.65
6	叶数/片	31.00	5.00	18.00	7.45±1.56	−0.18	1.02	3.00~12.00
7	花序长/cm	13.00	20.10	16.55	12.98±4.04	−0.25	−0.42	2.60~20.50
8	花序梗长/cm	21.70	11.00	16.35	16.15±3.69	−0.01	0.06	7.00~24.60
9	整个花枝长/cm	34.70	31.10	32.90	29.14±4.89	0.14	1.01	16.60~42.60
10	花梗粗度/mm	2.50	3.80	3.15	2.95±0.47	−0.37	−0.65	1.84~4.00
11	花梗数/个	1.00	1.00	1.00	1.22±0.42	1.39	−0.08	1.00~2.00

表1（续）

编号 Number	数量性状 Quantitative trait	亲本 Parent			F ₁			
		母本 Female	父本 Male	平均值 Mean value	平均值±标准差 Mean value±SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变幅 Range
12	侧萼片长/cm	3.00	2.00	2.50	2.14±0.24	−0.25	0.67	1.50~2.80
13	侧萼片宽/cm	0.80	1.60	1.20	1.02±0.21	1.06	1.02	0.70~1.70
14	花瓣长度/cm	1.70	1.70	1.70	1.90±0.19	−0.24	−0.11	1.50~2.30
15	花瓣宽度/cm	0.30	1.70	1.00	0.82±0.23	3.06	12.80	0.55~2.00
16	花瓣厚度/mm	0.30	0.50	0.40	0.32±0.11	−0.24	−0.90	0.08~0.60
17	唇瓣长/cm	0.60	1.90	1.25	1.45±0.24	0.34	1.14	0.80~2.10
18	唇瓣宽/cm	0.40	1.30	0.85	0.90±0.14	−0.08	−0.73	0.60~1.20
19	花长度/cm	5.00	3.80	4.40	3.82±0.44	−1.30	1.89	2.20~4.50
20	花宽度/cm	3.50	3.50	3.50	3.85±0.36	−0.59	1.40	2.80~4.80
21	单株总花数/朵	16.00	23.00	19.50	14.78±6.07	−0.01	−0.97	2.00~27.00

F₁代中7个数量性状的偏度>0,是正偏态;14个数量性状的偏度<0,是负偏态。13个数量性状的峰度>0,分布的峰态比较陡峭;8个数量性状的峰度<0,分布的峰态比较平缓。在21个数量性状中,单株总花数的标准差最大,为6.07,其次是整个花枝长、花序长、花序梗长、株高和株幅,标准差的值均>2,说明F₁代群体中这6个数量性状在个体间

差异大。

21个数量性状的变异系数为9.4%~41.0%,反映出F₁代群体有不同程度的变异(表2)。其中单株总花数、花瓣厚度、花梗数和花序长的变异系数均>30.0%,显示出较大的变异程度;而株幅、最长叶长和最长叶宽等15个数量性状的变异系数在10.0%~30.0%;花宽度的变异系数最小,仅为9.4%。

表2 F₁代数量性状的变异系数

Table 2 Coefficient of variation of quantitative traits in F₁ generation %

编号 Number	数量性状 Quantitative trait	变异系数 Coefficient of variation	编号 Number	数量性状 Quantitative trait	变异系数 Coefficient of variation
1	株高	25.8	12	侧萼片长	11.4
2	株幅	12.0	13	侧萼片宽	20.6
3	最长叶长	10.4	14	花瓣长度	9.8
4	最长叶宽	21.1	15	花瓣宽度	27.9
5	最长叶厚	15.2	16	花瓣厚度	34.3
6	叶数	20.9	17	唇瓣长	16.6
7	花序长	31.1	18	唇瓣宽	16.0
8	花序梗长	22.8	19	花长度	11.5
9	整个花枝长	16.8	20	花宽度	9.4
10	花梗粗度	16.1	21	单株总花数	41.0
11	花梗数	34.2			

注:编号代表的数量性状详见表1。
Note: The quantitative traits represented by the numbers are detailed in Table 1.

2.2 数量性状的频率分布

将21个观赏性状的正态曲线作为参考依据进行正态性检验,可知F₁代介于2个亲本之间的中间

型。21个基本观赏性状全部呈单峰式分布,多数性状均可看作近似正态分布。最长叶宽、最长叶厚、花瓣宽度、花长度和花宽度这5个性状的偏度系数

与峰度系数的绝对值均 >1.96 ,其余16个性状的偏度系数或峰度系数绝对值 <1.96 ,证明大多数数量性状呈现近似正态分布。

除最长叶宽、最长叶厚、花梗数、侧萼片宽、花瓣宽度、花长度和花宽度外(表1),其余14个性状的偏度都近似为0,表明这些数量性状的分布

曲线基本对称;株幅、花序长、花序梗长、花梗数和花瓣长度的峰度都近似为0,表明这5个性状的峰态适宜,分布曲线近似正态。其中,株幅、花序长、花序梗长和花瓣长度的偏度和峰度均近似为0,表明这4个性状的分布曲线最接近正态分布曲线(图1)。

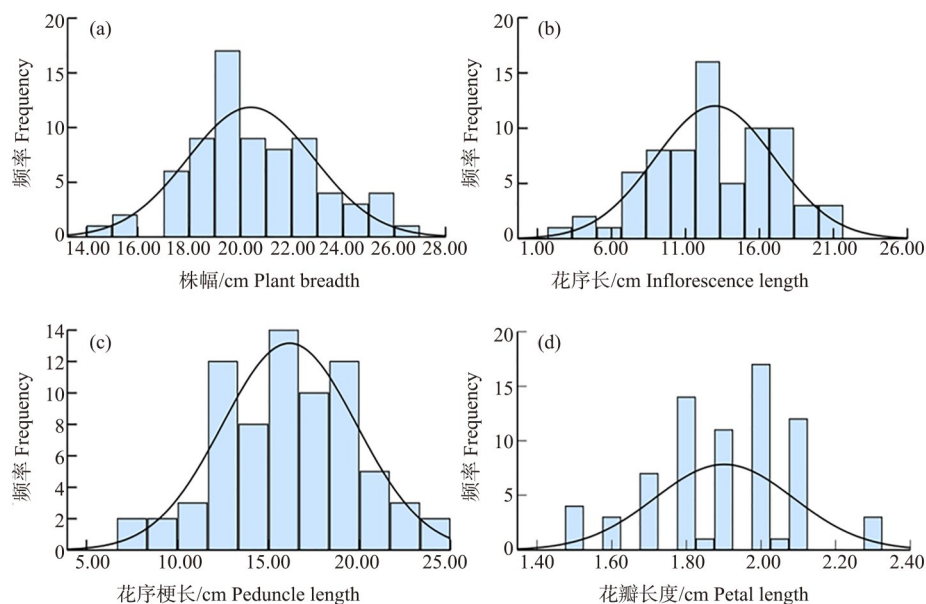


图1 F₁代部分数量性状频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of selected quantitative traits in the F₁ generation

2.3 数量性状的相关性分析

对21个数量性状进行Pearson相关性分析(图2)。在210对数量性状相关性中,相关性达到极显著水平($P<0.01$)的有58对,其中极显著正相关有51对,极显著负相关有7对;相关性达到显著水平($P<0.05$)的有27对,其中显著正相关有25对,显著负相关有2对。总体上这些数量性状间普遍表现为正相关,其中花序长、花梗数、侧萼片宽和唇瓣宽与其他性状的相关性较低,而最长叶宽、最长叶厚、整个花枝长、花瓣厚度和花宽度与其他性状的相关性较高。

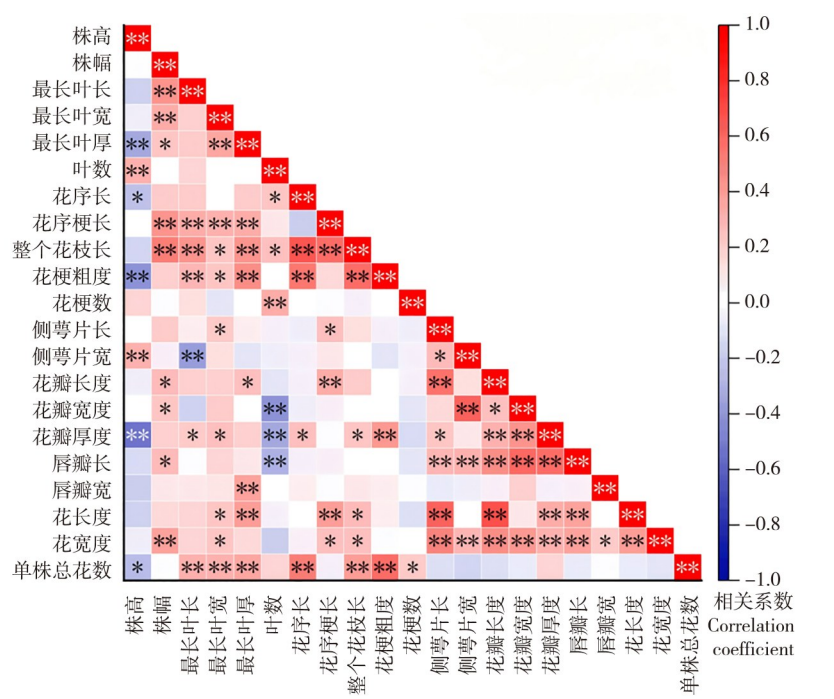
2.4 F₁代花色表型分析

选择23株花色差异显著的个体,每个植株上随机采集3朵处于盛开期的花朵,共选取68朵(其中1株仅开2朵花)进行 L^* 、 a^* 和 b^* 值的测定。利用IBM SPSS Statistics 27软件,基于测定的颜色值进行系统聚类分析,采用最远邻元素法。根据谱系图所示(图3),在欧氏距离12.5处,F₁代群体被初步划分为4个类群。结合谱系图的分类结果和RHSCC

比色的结果,最终将F₁代群体进一步划分为3个色系:橙红色、橙紫色和浅紫色(表3和图4)。

2.5 F₁代花色表型分布特点

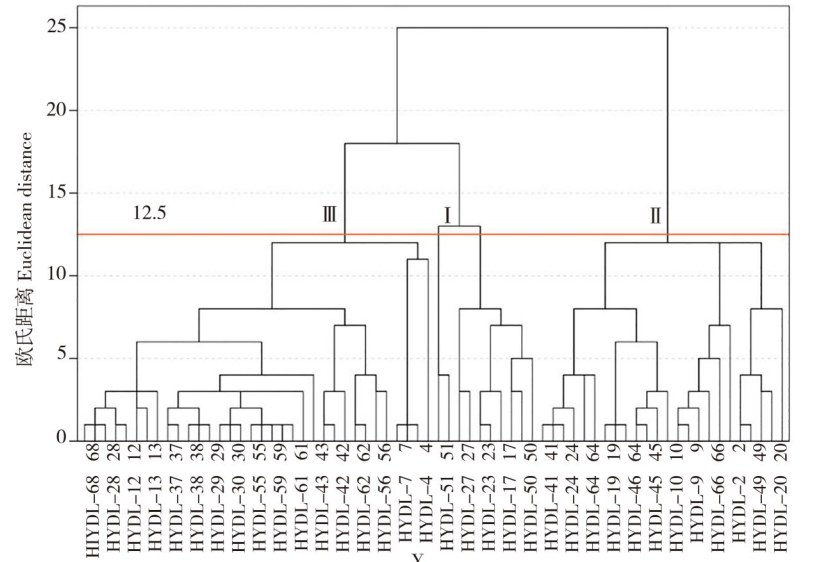
根据 L^* 、 a^* 和 b^* 值的箱线图(图5),可以观察到F₁代3个色系之间存在显著差异,各色系 L^* 值的分布区分明显,其中橙红色系的明度最高,橙紫色系的明度最低(图5(a))。在 a^* 值的分布中,橙紫色系显示出最高的红度,与浅紫色系有小部分重叠,而橙红色系的红度最低;值得注意的是,所有色系的 a^* 值均位于正值区域(图5(b))。对于 b^* 值,橙红色系和橙紫色系均为正值,且这2个色系之间存在较多的重叠,而浅紫色系位于负值区域(图5(c))。综合 L^* 、 a^* 和 b^* 值的箱线图分析,尽管橙红色系和橙紫色系在 b^* 值上的差异较小,但它们在 L^* 值和 a^* 值的差异较大,表明 L^* 值和 a^* 值是区分这2个色系的关键指标。除此之外,浅紫色系的数值分布最为集中,表明该色系的花色变化幅度相对较小,其色系内部的颜色表达较为稳定。



*表示在 0.05 水平上相关性显著,**表示在 0.01 水平上相关性显著。
* indicates significance at 0.05, ** indicates significance at 0.01 levels, respectively.

图2 F₁代数量性状 Pearson 相关性分析

Fig. 2 Pearson correlation analysis of quantitative traits of F₁ generation



该谱系图中下方数字代表不同植株的花。橙色线表示欧氏距离 12.5 处。I 代表橙红色类群; II 代表橙紫色类群; III 代表浅紫色类群。

The numbers at the bottom of this pedigree chart represent the flowers of different plants. The orange line indicates the Euclidean distance at 12.5. I represents orange-red group; II represents orange-purple group; III represents light-purple group.

图3 基于 L^{*}、a^{*}和 b^{*}值的系统聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of systems based on L^{*}, a^{*} and b^{*} values

在 F₁ 代 3 个色系的 a^{*}、b^{*} 值二维散点分布图 (图 6(a)) 中, 可以观察到橙红色系、浅紫色系均与橙紫色系存在部分重叠, 但橙红色系与浅紫色系之间无重叠, 其中橙红色系与橙紫色系主要分布在第

一象限, 而浅紫色系则主要分布在第四象限。在 95% 的置信区间内, 橙紫色系和浅紫色系均出现了个别偏离, 其中浅紫色系的偏离程度最为显著。并根据 F₁ 代花色的 L^{*}、a^{*}和 b^{*} 值三维空间坐标分布图

表 3 基于 68 个样本数据的花色表型分类

Table 3 Classification of flower color phenotypes based on data from 68 samples

类群 Group	色系 Color	数量/朵 Number	百分比/% Percentage
I	橙红色 Orange-red	10	14.71
II	橙紫色 Orange-purple	24	35.29
III	浅紫色 Light-purple	34	50.00



图 4 F₁代花色表型分类

Fig. 4 Classification of F₁ generation flower color phenotypes

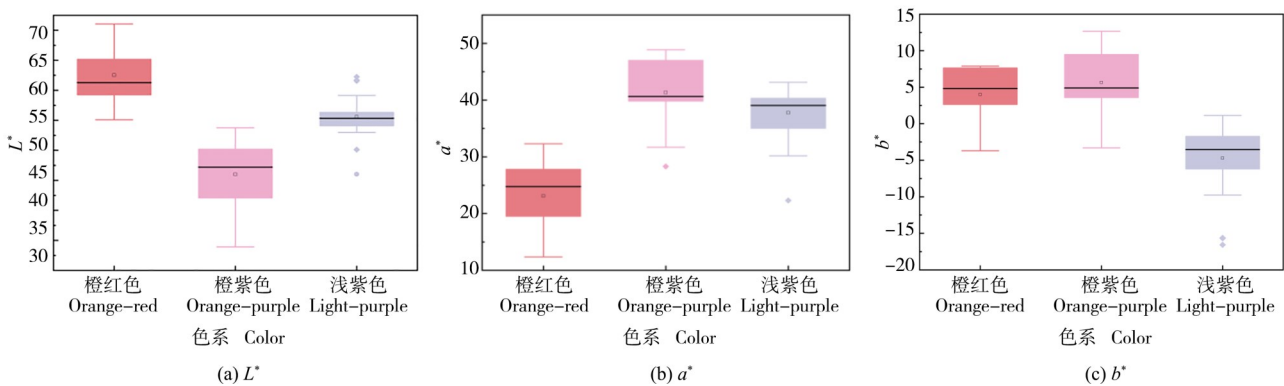


图 5 不同色系火焰兰花色参数分布的箱线图

Fig. 5 Box-plot of distribution of flower color parameters of different color groups of *Renanthis*

(图 6(b)), 花色参数的三维散点大致在一个区域内呈现条带状分布, 这与月季、水仙、蝴蝶兰和萱草的 L^* 、 a^* 和 b^* 值花色分布一致^[17-20]。3 个色系整体上的分布比较集中, 但在 b^* 值的轴上 3 个色系均表现出向正负两侧延伸的趋势, 推测影响 b^* 值的各种因素是导致不同色系内部颜色表型差异的原因。

2.6 F₁代及父本花色素鉴定

各色系及父本之间在不同色素含量上存在显著差异($P < 0.05$, 表 4)。蝴蝶兰‘天天红’与橙红色系在叶绿素 a 含量上具有显著差异; 在叶绿素 b 及总

叶绿素含量方面, 浅紫色系、橙紫色系和蝴蝶兰‘天天红’之间均存在显著差异, 但橙红色系和橙紫色系、浅紫色系及蝴蝶兰‘天天红’之间均无显著差异; 对于类胡萝卜素含量, 橙红色系和橙紫色系、浅紫色系和蝴蝶兰‘天天红’均无显著差异, 但橙红色系、橙紫色系均与浅紫色系、蝴蝶兰‘天天红’具有显著差异; 在花青素含量上, 浅紫色系和橙红色系、橙紫色系及蝴蝶兰‘天天红’之间均具有显著差异。

叶绿素 b 和总叶绿素含量的变化趋势相同 (表 4): 在叶绿素 a 含量上, 橙红色系最高, 为

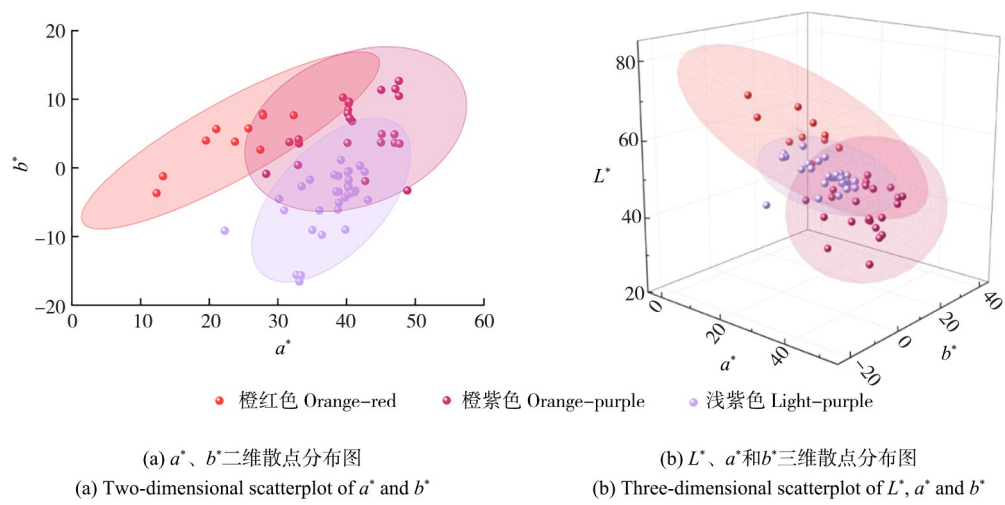


图6 F_1 代火焰蝶兰群体花色表型分布

Fig. 6 Phenotypic distribution of flower color in the F_1 generation of the *Renanthopsis* population

表4 F_1 代及父本花色素成分含量

Table 4 Flower pigment content of F_1 generation and male

编号 Number	类别 Group	叶绿素 a/ (mg/100 g) Chl a	叶绿素 b/ (mg/100 g) Chl b	总叶绿素/ (mg/100 g) Chl	类胡萝卜素/ (mg/100 g) Car	花青素/ (mg/100 g) Anthocyanin
1	橙红色 Orange-red	0.81±0.45a	0.74±0.32ab	1.55±0.42ab	2.91±0.96a	2.98±0.56a
2	橙紫色 Orange-purple	0.39±0.31ab	0.41±0.15b	0.80±0.44b	2.73±0.84a	2.44±0.40a
3	浅紫色 Light-purple	0.65±0.21ab	1.40±0.66a	2.05±0.87a	0.91±0.19b	1.39±0.13b
4	蝴蝶兰‘天天红’ Tiantianhong	0.18±0.05b	0.60±0.15b	0.79±0.16b	0.26±0.04b	2.51±0.28a

注:表中数据为平均值±标准差。同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: Data in the table are mean±standard deviation. Within the same column, different letters represent significant differences ($P<0.05$), while the same letters represent no significant differences($P>0.05$).

(0.81±0.45) mg/100 g,父本蝴蝶兰‘天天红’最低,为(0.18±0.05) mg/100 g。在叶绿素b和总叶绿素含量上,浅紫色系均为最高,分别为(1.40±0.66) mg/100 g和(2.05±0.87) mg/100 g;而橙紫色系的叶绿素b含量最低,为(0.41±0.15) mg/100 g;蝴蝶兰‘天天红’的总叶绿素含量最低,为(0.79±0.16) mg/100 g。类胡萝卜素含量整体上呈现下降趋势,橙红色系的类胡萝卜素含量最高,为(2.91±0.96) mg/100 g,而父本蝴蝶兰‘天天红’的类胡萝卜素含量最低,为(0.26±0.04) mg/100 g。结合 F_1 代火焰蝶兰的 b^* 值的箱线图(图5(c))分析,橙红色系和橙紫色系的 b^* 值均为正值,且类胡萝卜素含量较高,在花色上,橙红色系的颜色较橙紫色系更深,

与前人结论相符^[21]。 F_1 代及其父本的花青素含量变化趋势较为平缓,其中橙红色系、橙紫色系和父本蝴蝶兰‘天天红’的花青素含量均较高,分别为(2.98±0.56) mg/100 g、(2.44±0.40) mg/100 g和(2.51±0.28) mg/100 g;橙红色系、橙紫色系和蝴蝶兰‘天天红’的花青素含量测定结果与前人研究一致^[22],即花青素含量越多,花的颜色越红。

F_1 代及父本中主要色素占比存在显著差异(图7)。在橙红色系中,花青素与类胡萝卜素的含量近似相等,共占色素总量约80%;橙紫色系中,色素含量占比由大到小依次是类胡萝卜素、花青素和叶绿素;浅紫色系中,叶绿素含量占色素总量的47%;蝴蝶兰‘天天红’中,花青素含量占色素总量

的71%, 约为类胡萝卜素含量的10倍。除浅紫色系以叶绿素为主要色素成分外, 橙红色系、橙紫色系和父本蝴蝶兰‘天天红’均以花青素和类胡萝卜素为主要的色素成分, 这与前人对兰花花色的研究结论相符^[10]。表明花青素和类胡萝卜素可能是导致火焰兰花色偏向父本紫红色的一个主要原因。

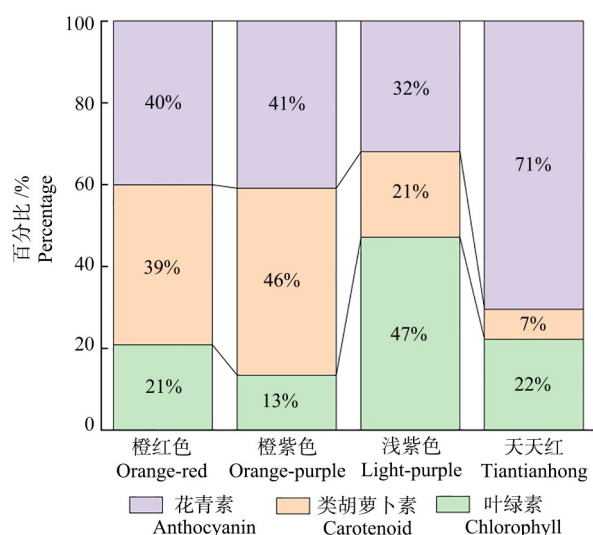


图7 色素含量百分比

Fig. 7 Percentage of pigment content

3 讨论

3.1 F₁代数量性状观赏性遗传变异分析

对主要数量性状进行研究, 便于明确育种方向, 并根据突出性状进行定向育种。本研究对中华火焰兰和蝴蝶兰‘天天红’的属间杂交F₁代21个数量性状进行分析, 其中单株总花数、整个花枝长、花序长、花序梗长、株高和株幅这6个数量性状差异较大, 变异系数为9.4%~41.0%。与蝴蝶兰‘聚宝红玫瑰’与云南火焰兰属间杂交F₁代相比^[5], 本研究群体的单株总花数变异系数增大7.4%, 且花梗数变异系数达到34.2%, 表现出单株多梗、多花的现象; 2个群体的表型性状均呈现单峰、连续性变异和正态分布趋势, 且表现出多基因系统控制数量性状遗传的特征。在性状相关性方面, 本研究中株高与叶数、侧萼片宽呈现极显著正相关, 推测控制株高、叶数和侧萼片形态的基因可能位于同一染色体上, 存在基因连锁现象; 株幅和整个花枝长的相关性最密切, 株幅的增大能够为植株提供更强的结构支持, 使得植物能够支撑更重花枝, 整个花枝增长的同

时株幅增大的这种结构变化可能是杂交F₁代为保持稳定性和功能性而进化出的特征; 花长度、花宽度均与侧萼片长、花瓣长度呈现较强的极显著正相关, 可能侧萼片和花瓣这2个部分在发育早期共享某些信号分子和调控机制, 因此它们的大小可能会协同变化, 具体机制还需进一步研究。在试验期间, 本研究所用的杂交群体开花植株较少, 因此研究的F₁代的数量仅有73株, 且暂时未做F₁代自交及杂交后代, 这也是本研究的局限之处。

3.2 F₁代群体花色表型分类

在进行花色分类时应采用多种分析方法, 以实现最准确的分类结果, 在建兰^[13]和蝴蝶兰^[19]的研究中均是以聚类分析结合其他方法来确定花色分类。本研究由于F₁代的个体颜色细微差异, 导致花色参数分类的结果较为复杂, 结合RHSCC比色的结果将F₁代群体按花色分为橙红色、橙紫色和浅紫色3类。本研究分类结果表明, F₁代遗传了母本中华火焰兰黄色和父本蝴蝶兰‘天天红’紫红色的优良特性, 且F₁代群体相邻色系中存在偶有重叠的现象, 表明杂交F₁代在颜色特征上不是完全离散, 存在一定的连续性, 研究结果与杨松敏等^[5]的结果一致。本研究中F₁代花色的L*、a*和b*参数的三维散点大致呈现条带状分布, 3个色系分布较为集中, 表明本研究所测杂交F₁代的颜色具有较高的一致性; 通过L*值和a*值的差异, 可以将橙红色系和橙紫色系区分开, 而浅紫色系的L*、a*和b*值分布更为集中, 色系类群内的个体间色差较小。相比之下, 杨松敏^[5]测定的火焰蝶兰群体L*、a*和b*参数的三维散点集中的趋势不明显。

3.3 F₁代群体及亲本花色素含量分析

本研究中F₁代群体中橙红色系和橙紫色系具有较高的类胡萝卜素含量, 整体表现为橙色, 部分个体呈现出明显的黄色边缘, 能使花色呈现黄色的主要花色素是类胡萝卜素^[23], 表明这2个色系主要遗传了母本中华火焰兰的黄花特性。由于试验期间母本中华火焰兰植株长势较弱且未开花, 因此母本未测花色素含量, 这也是本研究的不足之处, 但不影响F₁代群体花色的表现。同时F₁代橙红色系、橙紫色系、浅紫色系和父本‘天天红’均含有花青素, 其中橙红色系的含量较高, 但与橙紫色系及父本‘天天红’相比差异并不显著; 而浅紫色系花青素含量最低, 表明花青素含量的增加与花色中红色或紫色的占比呈正相关, 这一结果与蝴蝶石斛兰^[24]和牡

丹^[22]中的花青素含量与花色关系的研究结论相符。

4 结 论

本研究对中华火焰兰与蝴蝶兰‘天天红’属间杂交F₁代的观赏性状遗传、花色类型及花色素成分进行了初步分析。结果表明,F₁代杂交群体的观赏性状变异程度较大,21个数量性状的变异系数为9.4%~41.0%,多数性状呈现正相关。因此,可根据性状之间的变异系数及相关程度进行观赏性状定向育种。F₁代花色分为橙红色、橙紫色和浅紫色3类,色系分布比较集中,*L**值和*a**值是区分橙红色系和橙紫色系的主要依据。色素含量分析显示,浅紫色系的叶绿素含量最高,橙红色系的类胡萝卜素含量和花青素含量最高;而色素成分分析结果与花色表型分类相符,表现在橙红色系、橙紫色系和蝴蝶兰‘天天红’的主要色素成分是花青素和类胡萝卜素,浅紫色系的主要色素成分是叶绿素。因此,可根据不同色系表现及其花色素含量,选育出观赏价值高的F₁代新品种。

参考文献 References

- [1] 陈和明,朱根发,吕复兵,肖文芳,尤毅,李佐,李冬梅. 蝴蝶兰新品种DUS测试指南的研制[J]. 中国农学通报, 2014, 30(10):182-185
Chen H M, Zhu G F, Lv F B, Xiao W F, You Y, Li Z, Li D M. Study on test guideline of distinctness, uniformity and stability for *Phalaenopsis* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(10): 182-185 (in Chinese)
- [2] 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* short) [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013 (in Chinese)
- [3] 刘仲健,陈心启,张建勇. 云南兰科一新种:中华火焰兰(英文)[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(1): 37-39
Liu Z J, Chen X Q, Zhang J Y. *Renanthera sinica*, a new species of Orchidaceae from Yunnan [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2003, 21(1): 37-39 (in Chinese)
- [4] 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)
- [5] 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 S M, Lv F B, Jiang X, Wang S S, Xiao W F, Li Z, Cai W J, Zhu G F, Chen H M, Peng D H. Genetic variation analysis of hybrids F₁ representative traits between *Phalaenopsis* Jinhao Red Rose and *Renanthera imschottiana* [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(9): 64-77 (in Chinese)
- [6] 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)
- [7] 谢振兴,钟敬贤,於艳萍,谭奕为,陆祖正,丁丽琼. 蝴蝶兰与指甲兰远缘杂交坐果率分析[J]. 农业研究与应用, 2022, 35(2): 25-28
Xie Z X, Zhong J X, Yu Y P, Tan Y W, Lu Z Z, Ding L Q. Analysis of fruit setting rates of distant hybrids between *Phalaenopsis* and *Aerides* [J]. *Agricultural Research and Application*, 2022, 35(2): 25-28 (in Chinese)
- [8] 陈和明,吕复兵,李佐,肖文芳. 蝴蝶兰(*Phalaenopsis* spp)与钻喙兰(*Rhynchostylis retusa*)远缘杂交种子无菌播种及后代表型分析[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(3): 28-37
Chen H M, Lv F B, Li Z, Xiao W F. Aseptic seeding and F₁ phenotypic analysis of intergeneric hybrid between *Phalaenopsis* spp and *Rhynchostylis retusa* [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(3): 28-37 (in Chinese)
- [9] 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
- [10] 郑清冬,王艺,欧悦,柯玉洁,姚亚合,王梦洁,陈嘉忆,艾叶. 兰科植物花色相关基因研究进展[J]. 园艺学报, 2021, 48(10): 2057-2072
Zheng Q D, Wang Y, Ou Y, Ke Y J, Yao Y H, Wang M J, Chen J Y, Ai Y. Research advances of genes responsible for flower colors in Orchidaceae [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, 48(10): 2057-2072 (in Chinese)
- [11] 王紫珊. 卡特兰花色基因克隆、表达分析及花色素成分分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015
Wang Z S. Isolation and expression of floral color genes in *Cattleya* and their anthocyanins composition [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2015 (in Chinese)
- [12] 孔兰,林榕燕,樊荣辉,林兵,方能炎,钟淮钦. 杂交兰花瓣类黄酮成分分析及其对花色的影响[J]. 西北植物学报, 2022, 42(10): 1711-1719
Kong L, Lin R Y, Fan R H, Lin B, Fang N Y, Zhong H Q. Flavonoids component analysis in *Cymbidium* hybrid petals and its effects on flower coloration [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, 42(10): 1711-1719 (in Chinese)
- [13] 郑清冬,汪艳,王艺,马山虎,艾叶. 建兰萼片色素成分初步分析[J]. 热带作物学报, 2021, 42(11): 3227-3235
Zheng Q D, Wang Y, Wang Y, Ma S H, Ai Y. Pigment composition of sepals in *Cymbidium ensifolium* [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(11): 3227-3235 (in Chinese)
- [14] 王琳. 蝴蝶兰花色成因分析及适宜转蓝色基因的品种选择[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017
Wang L. Flower pigment analysis of *Phalaenopsis* and selection of transformation varieties with the blue genes [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017 (in Chinese)
- [15] 王小燕,张成,张敏,麻璨璨,严继萍,段一凡. ‘籽银桂’果实花青苷成分与果皮颜色分析[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 677-687
Wang X Y, Zhang C, Zhang M, Ma C C, Yan J P, Duan Y F. Study of anthocyanin composition and fruit color in *Osmanthus fragrans* ‘Zi Yingui’ [J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(5): 677-687 (in Chinese)
- [16] 韦璐,陈悦,顾晶晶,高路. 复合干燥对紫薯全粉细胞破损及花青素含量的影响[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(3): 160-166
Wei L, Chen Y, Gu J J, Gao L. Effect of combined drying on cell

- breakage and anthocyanin content of purple sweet potato granules [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39 (3): 160-166 (in Chinese)
- [17] 王峰, 杨树华, 刘新艳, 崔娇鹏, 常智慧, 葛红. 月季种质资源花色多样性及其与花青苷的关系[J]. 园艺学报, 2017, 44(6): 1125-1134
Wang F, Yang S H, Liu X Y, Cui J P, Chang Z H, Ge H. The diversity of petal colors and its relation to anthocyanins in rose germplasms [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, 44(6): 1125-1134 (in Chinese)
- [18] 李欣. 水仙花色成分分析及花色差异的分子机制研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016
Li X. Study on flower pigment composition and molecular mechanism of color difference in *Narcissus* [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2016 (in Chinese)
- [19] 王世尧, 张果, 杨书才, 蒋拴丽, 王瑞华, 王俊. 基于表型的蝴蝶兰花色数量分类[J]. 热带作物学报, 2023, 44(11):2227-2235
Wang S Y, Zhang G, Yang S C, Jiang S L, Wang R H, Wang J. Numerical classification of *Phalaenopsis* flower colour based on phenotype [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2023, 44 (11): 2227-2235 (in Chinese)
- [20] Cui H L, Zhang Y N, Shi X L, Gong F F, Xiong X, Kang X P, Xing G M, Li S. The numerical classification and grading standards of daylily (*Emerocallis*) flower color[J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): e0216460
- [21] 李玺, 岳志强. 观赏植物类胡萝卜素多样性及调控花色研究进展[J]. 农学报, 2023, 13(11):60-66
Li X, Yue Z Q. Diversity and color regulation of carotenoids composition in ornamental plants [J]. *Journal of Agriculture*, 2023, 13 (11): 60-66 (in Chinese)
- [22] 张红磊. 牡丹花期、花色及花香的变异研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011
Zhang H L. The researches on variation of florescence, color and aromatic components in *Paeonia suffruticosa* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011 (in Chinese)
- [23] 刘红, 魏晓羽, 马辉, 瞿辉, 孙叶. 几种兰属地生种花瓣花色色素组成分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(6):1657-1677
Liu H, Wei X Y, Ma H, Qu H, Sun Y. Analysis on pigment composition of petals of several native *Cymbidium* Sw species [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 38(6): 1657-1677 (in Chinese)
- [24] 丁灵. 蝴蝶石斛兰花色和花香形成相关基因的表达与分析[D]. 海口: 海南大学, 2016
Ding L. The relative expression and the analysis of key genes associated with the formation of floral color and scent in *Phalaenopsis* type dendrobium [D]. Haikou: Hainan University, 2016 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 梁一博, 华中农业大学在读硕士研究生。2024年9月至今在华中农业大学就读硕士研究生, 专业为观赏园艺学。本科生阶段曾在广东省农业科学院环境园艺研究所学习。本科在读期间, 分别以第三作者、第八作者、第八作者的身份申请发明专利3项, 曾获国家奖学金、学业一等奖学金、校优秀毕业生、校三好学生、校优秀共青团干部和校优秀学生干部等荣誉。



通讯作者简介: 彭东辉, 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副理事长, 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等职务。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、二等奖和三等奖各2项, 中国风景园林学会科技奖和梁希科技奖各1项, 福建省教学成果一等奖1项。出版专著、教材和编著共16部, 授权专利6件, 获新品种权20个, 发布地方标准5项。



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。期间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、二等奖和三等奖各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40个, 审定或评定省级兰花新品种55个, 国际登录113个兰花新杂交种; 获得国家发明专利20件, 并以第一作者及通讯作者发表学术论文55篇。