

基于表型的蝴蝶兰花色数量分类

王世尧, 张 果, 杨书才, 蒋拴丽, 王瑞华, 王 俊*

郑州市农林科学研究所, 河南郑州 450005

摘 要: 为精准界定蝴蝶兰的花色, 建立基于表型的蝴蝶兰花色数量分类体系。本研究利用分光测色仪和比色卡测定 146 份蝴蝶兰种质的花色表型, 通过聚类分析且结合 ISCC-NBS 色名表示法对各蝴蝶兰的花色命名, 并进行数量分类研究。结果表明: 蝴蝶兰花瓣和萼片颜色差异不大, 唇瓣相较二者颜色更暗, 彩度较大。基于侧花瓣的 L^* 、 a^* 、 b^* 值聚类分析的分类结果不能完全表征蝴蝶兰花色的分类特点; ISCC-NBS 色名表示法将蝴蝶兰花色分为黄、棕、红、紫罗兰、粉、紫、白 7 大色系, 各色系与 CIE Lab 表色系统的各参数具备较好的对应关系, 可实现对不同蝴蝶兰花色的定量描述, 色系分类合理; 蝴蝶兰花色丰富, 且其不同色系的花色存在显著差异, 缺乏蓝绿色系; 整体上蝴蝶兰花色明度和彩度呈负相关, 可分为 2 个类群, 第 1 类群包含黄、棕、紫罗兰、粉、紫、白色系, 第 2 类群为红色系。

关键词: 蝴蝶兰; 花色表型; 数量分类; 聚类分析; ISCC-NBS 色名表示法

中图分类号: S682.31 文献标识码: A

Numerical Classification of *Phalaenopsis* Flower Colour Based on Phenotype

WANG Shiyao, ZHANG Guo, YANG Shucui, JIANG Shuanli, WANG Ruihua, WANG Jun*

Zhengzhou Institute of Agriculture and Forestry Science, Zhengzhou, Henan 450005, China

Abstract: The study aimed to define the floral colour of *Phalaenopsis* precisely and establish a classification system of *Phalaenopsis* based on floral colour phenotypes. In this study, the floral colour phenotypes of 146 *Phalaenopsis* germplasm resources were determined using colourimeter and RHSCC, and the floral colours of each *Phalaenopsis* were named by cluster analysis and combined with ISCC-NBS system, and the quantitative classification was studied. The results showed that the colour of *Phalaenopsis* petals and sepals did not differ much, and the lip petals were darker and more colourful than petals and sepals. The classification results based on cluster analysis of L^* , a^* and b^* of petals could not fully characterize the classification of *Phalaenopsis* flower colours. The ISCC-NBS system divided *Phalaenopsis* flower colour into yellow, brown, red, violet, pink, purple and white groups. Each group had a preferable correspondence with L^* , a^* and b^* parameters of the CIE Lab system, which could realize the quantitative description of different *Phalaenopsis* flower colour and the colour group classification was reasonable. *Phalaenopsis* were rich and colourful, and there were significant differences between different colour groups of *Phalaenopsis*, but lacking blue-green colour. Overall the brightness and colouration of *Phalaenopsis* were negatively correlated, and could be divided into two groups, the first type containing yellow, brown, violet, pink, purple and white groups, the second type containing red colour groups.

Keywords: *Phalaenopsis*; flower colour phenotype; numerical classification; cluster analysis; ISCC-NBS method

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.11.011

蝴蝶兰 (*Phalaenopsis* spp.), 因花姿似蝴蝶飞舞而得名, 素有“兰之皇后”之美誉^[1]。当前,

全球已登录 38 963 个栽培蝴蝶兰品种, 长期的杂交育种使蝴蝶兰具有丰富绚丽的色彩^[2]。花色是

收稿日期 2023-06-30; 修回日期 2023-09-15

基金项目 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(No. 232102111101); 河南省林木种质资源建设项目(豫财环资[2023]60号)。

作者简介 王世尧(1996—), 男, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 蝴蝶兰栽培与育种。*通信作者(Corresponding author): 王 俊(WANG Jun), E-mail: wangjun.hnzz@163.com。

观赏植物的重要经济性状, 精准定义蝴蝶兰花色对其分类、品种鉴定及产业交流的规范性举足轻重^[3]。陈和明等^[4]基于 213 份蝴蝶兰资源的 18 个性状构建蝴蝶兰品质性状综合评价体系, 花色性状为品质评价的关键指标之一, 且变异程度较高。汤楷等^[5]对 17 份蝴蝶兰新品种(系)的 16 个性状运用加权主成分分析法进行商品性综合评价, 花色权重占 20.87%。近年来, 蝴蝶兰花色表型研究主要借助定性描述及比色卡来鉴别花色, 宋一岚等^[6]通过定性描述将蝴蝶兰分为白、黄、紫红、深紫、暗紫及 6 个复色镶嵌色系; 陈剑锋等^[7]利用比色卡对 127 份蝴蝶兰各花器官的主色进行了定义, 但 2 种方式皆易受环境和人为因素影响而造成较大误差。分光色差仪等精密仪器可有效消除上述影响, 具备稳定性高、可量化的特点, 目前已广泛应用于菊花^[8]、荷花^[9]、百合^[10]、月季^[11]等多种重要观赏植物的花色分类研究中, 使得花色表型的数量化得以实现。

随着蝴蝶兰种质资源愈加丰富, 蝴蝶兰在花色色素组成^[12]、花色功能基因鉴定^[13-14]及基于形态特征的系统分类学^[15-16]等方面开展了大量的研究工作, 但基于蝴蝶兰花色表型数量化的分类研究尚无相关报道。对观赏植物的花色进行精准评价亦是建立其与各组遗传标记之间联系的前提^[17], 因此, 亟须建立一套科学系统的基于表型的蝴蝶兰花色数量分类体系。本研究通过使用分光测色仪结合英国皇家园林协会 RHS 植物比色卡 (Royal Horticultural Society Colour Chart, RHSCC) 对 146 份蝴蝶兰种质进行花色测定, 采用聚类分析和 ISCC-NBS 色名表示法对其进行分类命名, 并对分布情况进行分析, 以期精准定义蝴蝶兰花色并科学分类, 为蝴蝶兰品种数量分类与鉴定、花色定向育种等工作提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料均为郑州市农林科学研究所蝴蝶兰种质资源圃所收集、保存的资源。2022 年 9—10 月对资源圃内资源利用降温设备进行催花处理, 2023 年 1—2 月进入盛花期。经初步鉴定和筛选, 选取长势良好, 花色表型稳定的 146 份蝴蝶兰种质(部分如图 1 所示), 于盛花期的晴朗上午进行取样测定。



图 1 供试部分蝴蝶兰种质

Fig. 1 Selected *Phalaenopsis* germplasm for testing

1.2 花色表型的测定

对每个品种选取具有典型颜色特征的 3 朵花, 分别利用 RHSCC 和分光测色仪 (三恩时 TS7036) 进行测定: 在室内自然光条件下用比色卡进行比色, 3 次重复后以出现频率最高的颜色为最终测定结果; 在光源 C/2°、测量口径 4 mm 的参数设置下使用测色仪, 置花被片平铺于白纸上, 将集光孔对准测定部位 (图 2), 测定 3 个重复, 取均值代表花被片颜色。

蝴蝶兰侧花瓣、萼片及唇瓣由斑点、条纹等图案导致的异色, 根据其是否能覆盖底色来判定, 若连成片状且颜色异于底色则认为是复色, 若不能将底色覆盖则定义为纯色。



1~3: 纯色测定部位; A(a)~C(c): 复色测定部位。

1-3: The measuring position of pure colour flower; A(a) -C(c): The measuring position of the bicolor flower.

图 2 蝴蝶兰花色测定部位

Fig. 2 Measuring position of *Phalaenopsis*

1.3 数据处理

使用 SQCX 软件获取分光测色仪测定的基于 CIE Lab 表色系统的明度值 (L^*)、红度值 (a^*)、黄度值 (b^*)、彩度值 (C)、色相角 (h) 和基于孟塞尔颜色系统的色相值 (Hue)、明度值 (Value) 和彩度值 (Chroma)；采用 Microsoft Excel 2007 软件对统计数据进行处理；利用 Origin 2023 软件，使用最远邻近法（欧式距离）对 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值进行系统聚类分析，分析其不同色系的差异并作图。

2 结果与分析

2.1 蝴蝶兰花瓣、萼片和唇瓣的花色表型差异分析

蝴蝶兰花朵由 3 枚萼片、2 枚侧花瓣和 1 枚高度特化的腹部花瓣——唇瓣构成，具有较高的观赏价值。对供试的 146 份蝴蝶兰种质资源的侧花瓣、萼片和唇瓣的颜色进行测定（存在部分复色材料，分别获得 172 组侧花瓣、萼片数据及 146 组唇瓣数据），取其均值分析整体花色表型差异。如表 1 所示，侧花瓣和萼片的颜色参数值均无显著差异，而唇瓣 L^* 值显著低于花瓣和萼片，其 a^* 值和 C 值则显著高于二者，表明唇瓣相对于花瓣和萼片的颜色亮度较暗，但彩度较大，更偏向于红色。

2.2 基于聚类分析的蝴蝶兰花色分类

因供试种质资源的花瓣和萼片的颜色差异不

表 1 蝴蝶兰花瓣、萼片与唇瓣的花色表型差异
Tab. 1 Flower colour difference of *Phalaenopsis* of petal, sepal and labellum

器官 Organ	L^*	a^*	b^*	C	h
花瓣	58.89	27.75	-2.27	27.84	-4.68
萼片	59.20	26.98	-1.59	27.03	-3.37
唇瓣	44.62**	35.23**	-2.50	35.32**	-4.06

注：**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

大，本研究主要以侧花瓣的色值作为分类依据。供试蝴蝶兰花色在 CIE Lab 表色系统各参数分布广泛（表 2）， L^* 值介于 20.20~93.00 之间； a^* 值和 b^* 值分别分布在 -13.76~74.10，-35.40~64.07 区间内。对其 L^* 、 a^* 、 b^* 值进行系统聚类分析，当欧式距离为 10 时，可将其分为 8 个类别（图 3）；参考 RHSCC 的命名规则进行命名，可分为 8 个色系（表 2）：紫色系、暗紫色系、浅紫色系、紫红色系、白色系、黄绿色系、粉色系和灰橙色系，其中紫红色系和白色系占比较大，但通过分析聚类样本发现，部分淡黄绿色、淡粉色等彩度偏低的品种被划在白色系，表明仅通过聚类分析不能对蝴蝶兰花色有效区分。

2.3 基于 ISCC-NBS 色名表示法的蝴蝶兰花色分类

2.3.1 蝴蝶兰花色分类 基于聚类分析结果，采用 ISCC-NBS 色名表示法对所测得的 172 个蝴蝶兰花色表型值重新进行命名及归类，共获得 44 个颜色名称（表 3）。通过简化饱和度和明度描述，

表 2 蝴蝶兰花色表型数量聚类分析结果

Tab. 2 Results of cluster analysis of flower colour phenotype in *Phalaenopsis* examples

序号 Code	色系 Colour group	颜色描述 Colour description	供试样本 Examples		CIELab 表色系统 CIELab coordinate				
			数量 Number	占比 Percentage/%	L^*	a^*	b^*	C	h
I	紫色	紫偏灰、暗红偏紫	24	13.95	20.20~44.02	29.75~56.50	-14.89~8.28	29.86~58.43	-16.66~15.55
II	暗紫色	暗紫	3	1.74	22.90~28.71	8.86~22.81	-0.83~1.84	9.05~22.83	-2.08~11.73
III	浅紫色	浅紫、浅紫偏红、淡紫	29	16.86	42.63~68.24	34.31~55.70	-32.06~-17.04	40.76~64.11	-34.99~-20.76
IV	紫红色	红偏紫、紫偏红	30	17.44	26.54~46.16	53.44~74.10	-35.40~-16.25	58.10~81.02	-30.06~-14.42
V	白色	白、白偏绿、白偏黄、白偏粉	33	19.19	78.52~93.00	-13.76~5.03	-2.75~38.59	0.27~40.97	-2.05~28.12
VI	黄绿色	浅黄绿、强绿偏黄、强黄偏绿	15	8.72	59.66~84.89	-13.47~7.69	40.94~64.07	40.99~64.45	80.11~103.86
VII	粉色	浅粉、淡粉	21	12.21	64.36~84.78	10.05~31.39	-21.00~-4.47	12.25~37.71	-38.57~-12.65
VIII	灰橙系	浅黄、橙黄、淡黄、橙偏棕	17	9.88	48.76~71.83	4.52~30.14	2.87~34.48	22.41~40.13	6.75~78.36
总计			172		20.20~93.00	-13.76~74.10	-35.40~64.07	0.27~81.02	-38.57~103.86

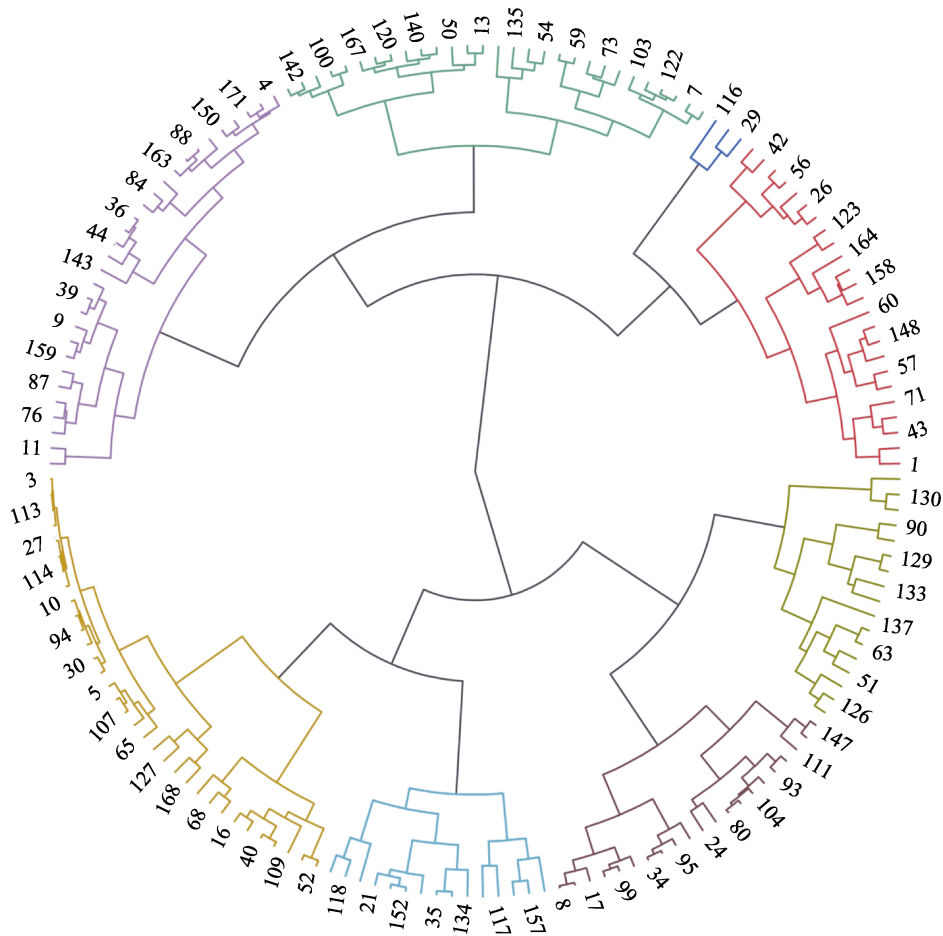


图 3 基于 L^* 、 a^* 、 b^* 值的 146 个蝴蝶兰花瓣的花色表型聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis results of 146 *Phalaenopsis* petal examples based on L^* , a^* , b^* values

可将供试蝴蝶兰花色划分为 7 大色系：黄色系、棕色系、红色系、紫罗兰色系、粉色系、紫色系和白色系。根据划分色系的色相、明度和彩度的参数范围（表 4），可发现紫罗兰色和紫色系的明度和彩度相当，红色系中存在品种的明度较低，表现为暗红色或暗红偏灰，接近于黑色。

2.3.2 蝴蝶兰花色表型分布特点 使用 CIE Lab 表色系统对基于 ISCC-NBS 体系分类下的蝴蝶兰 7 个色系的 L^* 、 a^* 、 b^* 参数进行分析，各色系的参数值分布规律较为明显（图 4）。白色系和黄色系的 L^* 值较大且分布集中，红色系的 L^* 值最小；粉色系、紫色系和棕色系的 L^* 值重叠，可通过 a^* 值和 b^* 值进行有效区分；白色系和黄色系的 a^* 值在负值范围内有分布，其他色系的 a^* 值均在正值范围；紫罗兰色系和紫色系 b^* 值集中分布在负值，二者在 a^* 、 b^* 值的分布相似，但前者 L^* 值明显低于后者。

供试蝴蝶兰花色在 a^* 、 b^* 色相坐标上，主要

集中在第 I、II、IV 象限，在呈现蓝色的第 III 象限中无分布（图 5A）。在第 I 象限主要分布棕色、粉色、红色 3 个色系的品种；黄色系主要分布在第 II 象限；第 IV 象限主要分布紫色、紫罗兰色 2 个色系，红色系亦有分布；白色系集中分布在接近原点的位置。在 L^* 、 a^* 、 b^* 值的三维散点图中花色数据多集中在一条主线附近，呈带状分布（图 5B）。

2.3.3 蝴蝶兰 L^* 值与 C 值相关性分析 彩度 C 值的变化会对明度 L^* 值产生影响，根据供试蝴蝶兰不同色系的 L^* 值与 C 值二维坐标的分布，可将其分为 2 个类群（图 6）。第一类群的 L^* 值随 C 值的增大而变小，包含白色、黄色、棕色、紫罗兰色、紫色和粉色等 6 个色系（图 7A），对其 L^* 值和 C 值进行线性拟合分析，绘制线性回归图，结果表明，拟合线性方程为 $y = -0.71749 + 93.17836x$ ，呈显著负相关（ $r = 0.689$ ）；第二类群仅包含红色系（图 7B）， L^* 值和 C 值间无显著相关性（ $r = 0.080$ ）。

表 3 基于 ISCC-NBS 系统对蝴蝶兰的花色命名结果
Tab. 3 Colour naming results of *Phalaenopsis* based on ISCC-NBS system

色系 Colour group	颜色名称 Colour name	数量 Number	色系 Colour group	颜色名称 Colour name	数量 Number
黄色	黄偏粉	2	紫罗兰	暗红偏灰	1
	淡黄	11		暗橙偏红	1
	中黄	1		强蓝紫	9
	强黄	1		浅蓝紫	2
	暗黄	1		淡蓝紫	2
	黄偏绿	11		艳蓝紫	4
棕色	淡绿偏黄	1	粉色	中蓝紫	1
	棕偏红	2		极淡蓝紫	1
	浅棕	5		粉偏灰紫	1
	强棕	1		暗粉	1
	棕偏黄	2		暗粉偏黄	1
	淡棕	1		紫色	浅紫
浅棕偏黄	1	极浅紫	7		
中棕偏红	1	强紫	5		
红色	红偏灰紫	2	淡紫		3
	极深红偏紫	2	亮紫		5
	中红偏紫	2	中紫偏红		19
	深红偏紫	3	强紫偏红	2	
	暗红偏紫	8	浅紫偏红	1	
	浅红偏灰紫	3	艳紫偏红	8	
	强红偏紫	5	深紫偏红	1	
	暗红	4	白色	白	18

表 4 基于 ISCC-NBS 系统的蝴蝶兰花色分类
Tab. 4 Classification of *Phalaenopsis* flower colour based on ISCC-NBS system

色系 Colour group	供试样本 Examples		孟塞尔系统 Munsell system		
	数量 Number	百分比 Percentage/%	色相 Hue	明度 Value	彩度 Chroma
白色	18	10.47	1.7P~4.0GY	8.48~9.01	0.03~0.79
黄色	28	16.28	7.9YR~9.4Y	5.67~8.58	1.26~9.24
棕色	13	7.56	10.0R~10.0YR	4.61~6.89	3.50~7.18
紫罗兰色	19	11.05	0.4P~1.7P	3.10~8.39	2.00~15.73
紫色	60	34.88	6.6P~3.9RP	2.75~8.18	2.00~13.96
粉色	3	1.74	3.0RP~7.5R	4.98~6.62	4.00~5.38
红色	31	18.02	4.1RP~9.2R	1.91~5.70	1.24~13.28

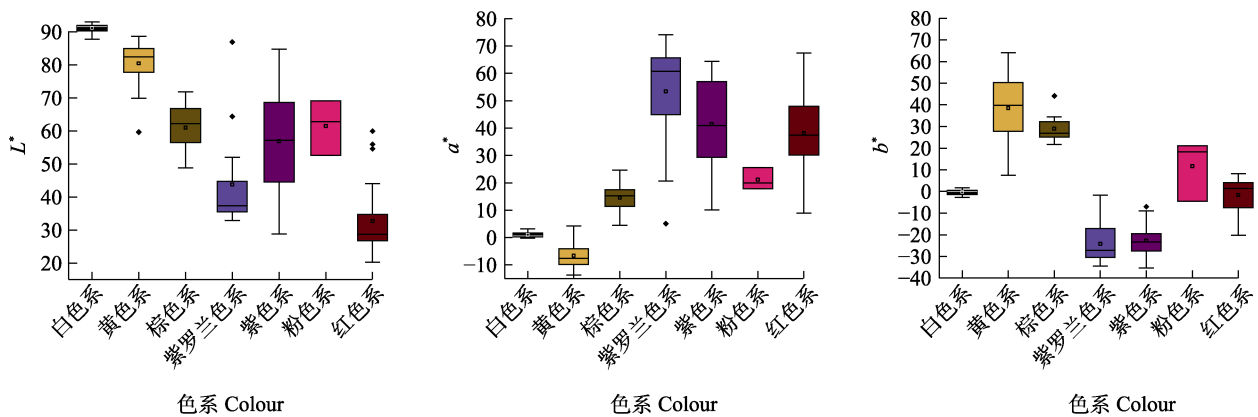


图 4 基于 ISCC-NBS 系统蝴蝶兰各系 L^* 、 a^* 、 b^* 值箱线图

Fig. 4 Box plot of different colour group of *Phalaenopsis* according to L^* 、 a^* 、 b^* based on ISCC-NBS system

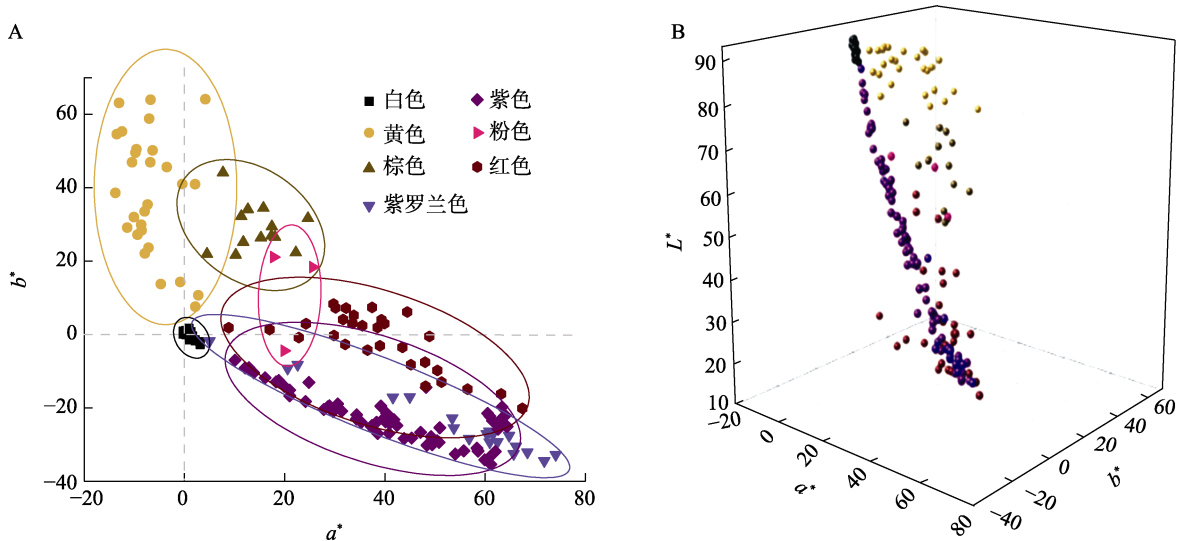


图 5 蝴蝶兰花色表型分布图
Fig. 5 Flower colour distribution of *Phalaenopsis*

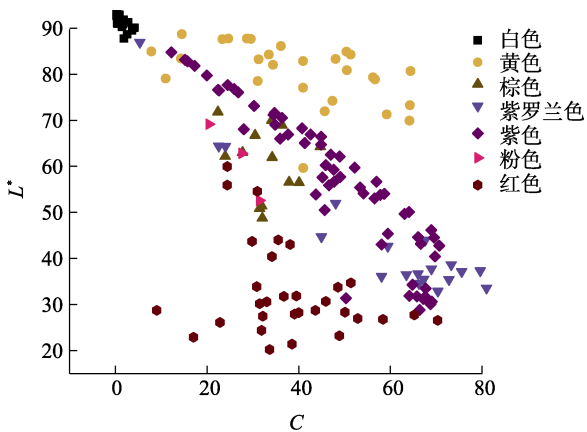


图 6 蝴蝶兰 L^* 值与 C 值的二维分布图
Fig. 6 Scatterplot according to L^* and C among *Phalaenopsis*

3 讨论

蝴蝶兰新品种 DUS 测试指南中^[18], 利用

RHSCC 以群体目测的方式定义花瓣主色, 将蝴蝶兰分为白色、黄色、绿色、橙色、粉红色、紫红色和褐色等 7 种类型, 该种方式存在一定的主观性, 在实际应用中不能保证定义结果具有良好的便捷性和精确度。而比色卡与测色仪相结合可保留视觉的直观性和精密仪器的客观性, 可实现对花色的量化和精确描述。本研究中, 基于侧花瓣的 L^* 、 a^* 、 b^* 值进行聚类分析方法将蝴蝶兰划分为 8 个类别, 经分析发现并不能将白色与浅粉色、浅黄色和浅绿色等花色进行有效区分。殷涵泰等^[19] 利用测色仪测定 107 份秋石斛品种花瓣和唇瓣的颜色并进行聚类分析, 将其分为白、粉、黄绿、紫红、浅紫、紫、深紫、复色等 8 个色系, 但存在黄色和绿色资源不能分开的情况; 王玉蛟等^[20] 在对芍药的花色分类中也出现了此类情况, 白色与黄绿色系中的浅色品种聚为一类, 表明仅使用

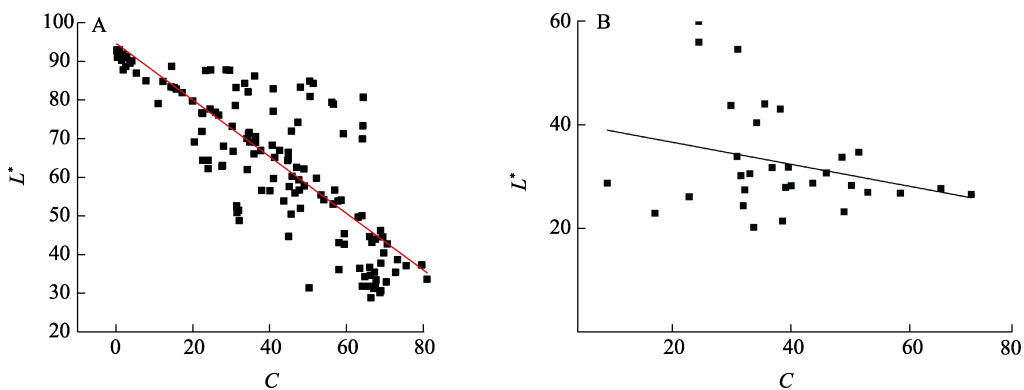


图 7 蝴蝶兰 L^* 值与 C 值相关性分析
Fig. 7 Correlation analysis among L^* and C of *Phalaenopsis*

聚类分析对颜色较接近的花色进行分类易导致偏差。ISCC-NBS 色名表示法是基于孟塞尔颜色系统由美国色彩协会 (Inter Society Colour Council, ISCC) 和美国国家标准局 (National Bureau of Standards, NBS) 共同确定并颁布了 267 个适用于非发光物质的标准颜色名称, 可从 6 个维度对颜色进行准确的分类和定义^[21]。吴静等^[22]基于 466 个紫斑牡丹单株花色的表型值, 使用 ISCC-NBS 色名表示法将紫斑牡丹的花色分为 8 大色系, 可有效区分相近的色系, 取得了较合理的分类结果。本研究基于聚类分析结果并利用 ISCC-NBS 色名表示法将蝴蝶兰花色分为 7 个色系, 不同色系与 CIE Lab 系统的 L^* 、 a^* 和 b^* 参数具有合理的对应关系, 即可归纳各色系的参数分布范围, 实现对不同蝴蝶兰花色的定量描述, 如目测易混淆为同一色系的紫罗兰色和紫色可通过 L^* 值进行有效区分, 实际应用中被定性为粉色的品种如小梅花 (*P. Xiaomeihua*)、安娜 (*P. Anna*) 等被正确划分为紫色系, 表明 ISCC-NBS 色名表示法的色系划分具备可量化的客观性。但本研究中存在种质资源样本较少的问题, 如划分为粉色系的供试种质仅有 3 种, 对应参数范围的准确性仍需进一步完善; 此外, 受限于分光测色仪的通光孔孔径的尺寸, 蝴蝶兰的纹路、斑点、斑块等颜色分布类型难以实现对其量化和精确描述。因此, 须加强蝴蝶兰种质资源的收集力度, 同时进一步优化测色方法, 通过聚类分析结合 ISCC-NBS 色名表示法及实际生产应用进而综合得到更科学、适用且精确的蝴蝶兰品种分类体系。

花朵呈色主要与其组织结构和组织细胞中的色素种类、含量密切相关^[23]。蝴蝶兰花色多彩, 供试种质在 a^* 、 b^* 参数坐标上除蓝绿色区间外广泛分布, 缺乏纯正的蓝色品种。飞燕草素 (delphinidin) 及其衍生物对蓝色花形成至关重要, $F3'5'H$ 被称为蓝色基因, 其时空表达和表达强度决定了飞燕草素的分布和积累量^[24]。蝴蝶兰中的 $F3'5'H$ 基因与其他植物 $F3'5'H$ 基因同源性仅为 50%, 可能在进化过程中丢失了原有的功能是导致其无法呈蓝色的潜在原因^[25-26]。LIANG 等^[27]将大花飞燕草 (*Delphinium grandiflorum*) 的 $DgF3'5'H$ 和蝴蝶兰 $PeMYB2$ 在 *P. Sogo Yukidian* 'V3' 瞬时共表达, 产生一种新奇的蓝紫色, 其液泡的 pH 及金属离子 (Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+}) 与花青素的摩尔比均与紫色蝴蝶兰存在显著差异。日本

学者将鸭跖草的基因转入蝴蝶兰中, 培育出转基因蓝紫色蝴蝶兰新品种 Blue Gene, 但后代繁殖困难及栽培过程中需添加外源物质才能使其花色稳定^[28-29]。随着多组学和生物信息学技术日渐成熟, 基于蓝色蝴蝶兰呈色机制的复杂性, 开展多维度的交叉融合研究是培育蓝色蝴蝶兰新品种的必由之路。

蝴蝶兰花色表型的明度和彩度整体呈负相关关系, 可分为两类: 第一类群包括白色、黄色、棕色、紫罗兰色、紫色和粉色 6 个色系, 第二类群仅包含红色系, 这可能与决定各色系的多种类别色素有关。蝴蝶石斛兰中明度 L^* 值与总花青苷含量和总黄酮含量均呈极显著负相关^[30]。郭鑫等^[31]对 190 个紫斑牡丹品种为材料分析 L^* 与 C 值, 进行相关性分析发现亦分为 2 个类群, 紫红色和黑红色系明度和彩度呈正相关, 与本研究中红色系蝴蝶兰的表征趋近。大部分植物的萼片为绿色, 而兰科植物中萼片和花瓣特化的唇瓣均有丰富的颜色^[32]。李崇辉等^[30]对 24 份蝴蝶石斛兰种质的花色表型进行测定, 发现唇瓣颜色比花瓣和萼片暗, 但色彩更浓郁, 与蝴蝶兰的花色特征相同。在未来的蝴蝶兰花色育种工作中, 须进一步明确外源基因导入对蝴蝶兰色素合成途径和呈色的作用, 亦可结合花型育种培育“三唇瓣”品种^[33]; 此外, 还可通过引入蝴蝶兰近缘属特殊的花色种质资源与其进行远缘杂交, 以期创制出新奇特异的蝴蝶兰花色新种质, 如蝴蝶兰与万代兰属 (*Vanda*) 中的蓝色或火焰兰属 (*Renanthera*) 的亮橙色种质资源进行属间杂交, 获得的杂种群体均可充分遗传双亲的特点^[34-35]。

4 结论

通过对 146 份蝴蝶兰种质资源花色表型值进行测定, 发现蝴蝶兰花色较为丰富, 缺乏蓝色系; 花瓣和萼片颜色整体差异不大, 唇瓣相较二者颜色更暗, 彩度较大。基于侧花瓣的 L^* 、 a^* 、 b^* 值进行聚类分析的分类结果不能完全表征蝴蝶兰花色的分布特点; 利用 ISCC-NBS 色名表示法可将供试种质资源分为黄色系、棕色系、红色系、紫罗兰色系、粉色系、紫色系和白色系共 7 个色系, 对于蝴蝶兰花色表型分类更为准确, 整理出不同色系花色参数范围; 整体上蝴蝶兰花色明度和彩度呈负相关, 可分为红色系和其余色系 2 个类群。本研究初步建立基于表型的蝴蝶兰花色数量分类

体系,为蝴蝶兰新品种和花色选育提供理论基础。

参考文献

- [1] ZHANG D Y, ZHAO X W, LI Y Y, KE S J, YIN W L, LAN S R, LIU Z J. Advances and prospects of orchid research and industrialization[J]. Horticulture Research, 2022, 9: uhac220.
- [2] The International Orchids Register[EB/OL]. [2023-08-07]. <http://apps.rhs.org.uk/horticulturaldatabase/orchidregister/orchidregister.asp#>.
- [3] HOPKINS R, RAUSHER M. Pollinator-mediated selection on flower color allele drives reinforcement[J]. Science, 2012, 335(6072): 1090-1092.
- [4] 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)
- [5] 汤楷, 江秀娜, 刘燕榕, 陈俊生, 李敏, 黄锦潮, 王春丹, 徐暘, 邱革. 基于加权主成分分析的蝴蝶兰商品性综合评价[J]. 热带农业科学, 2020, 40(7): 103-107.
TANG K, JIANG X N, LIU Y R, CHEN J S, LI M, HUANG J C, WANG C D, XU Y, QIU G. Comprehensive evaluation of *Phalaenopsis* commodity based on weighted principal component analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2020, 40(7): 103-107. (in Chinese)
- [6] 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)
- [7] 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)
- [8] 洪艳, 白新祥, 孙卫, 贾锋炜, 戴思兰. 菊花品种花色表型数量分类研究[J]. 园艺学报, 2012, 39(7): 1330-1340.
HONG Y, BAI X X, SUN W, JIA F W, DAI S L. The numerical classification of *Chrysanthemum* flower color phenotype[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(7): 1330-1340. (in Chinese)
- [9] 刘艺平, 吴芳芳, 贺丹, 庄苑, 孔德政. 基于花色表型的荷花品种数量分类[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(3): 319-326.
LIU Y P, WU F F, HE D, ZHUANG Y, KONG D Z. Numerical classification of lotus cultivars based on flower color phenotype[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2020, 46(3): 319-326. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] 王峰, 杨树华, 常智慧, 贾瑞冬, 赵鑫, 葛红. 月季种质资源花色基础研究[J]. 草原与草坪, 2017, 37(2): 82-88.
WANG F, YANG S H, CHANG Z H, JIA R D, ZHAO X, GE H. Study on the petal color of rose germplasm[J]. Grassland and Turf, 2017, 37(2): 82-88. (in Chinese)
- [12] 许传俊, 黄珺梅, 黄雯, 曾碧玉. 不同花色品种蝴蝶兰花色苷含量分析及相关基因表达研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2015, 47(3): 93-99.
XU C J, HUANG J M, HUANG W, ZENG B Y. Studies on the anthocyanin content and related gene expression in different floral colours cultivars of *Phalaenopsis*[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2015, 47(3): 93-99. (in Chinese)
- [13] HSU C C, CHEN Y Y, TSAI W C, CHEN W H, CHEN H H. Three R2R3-MYB transcription factors regulate distinct floral pigmentation patterning in *Phalaenopsis* spp.[J]. Plant Physiology, 2015, 168(1): 175-191.
- [14] HSU C C, SU C J, JENG M F, CHEN W H, CHEN H H. A HORT1 retrotransposon insertion in the PeMYB11 promoter causes harlequin / black flowers in *Phalaenopsis* orchids[J]. Plant Physiology, 2019, 180(3): 1535-1548.
- [15] TSAI C C, CHIANG Y C, HUANG S C, CHEN C H, CHOU C H. Molecular phylogeny of *Phalaenopsis* Blume (Orchidaceae) on the basis of plastid and nuclear DNA[J]. Plant Systematics and Evolution, 2010, 288(1/2): 77-98.
- [16] CRIBB P, SCHUITEMAN A. *Phalaenopsis*: classification[J]. Renziana, 2012, 2: 14-40.
- [17] 戴思兰, 洪艳. 基于花青素苷合成和呈色机理的观赏植物花色改良分子育种[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 529-542.
DAI S L, HONG Y. Molecular breeding for flower colors modification on ornamental plants based on the mechanism of anthocyanins biosynthesis and coloration[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(3): 529-542. (in Chinese)
- [18] 全国植物新品种测试标准化技术委员会. 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: 中国标准出版社, 2012.
- National Technical Committee on Testing for New Varieties of Plants of Standardization Administration of China. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability *Phalaenopsis* (*Phalaenopsis* Blume and *Doritaenopsis* hort.): NY/T 2230—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012. (in Chinese)
- [19] 殷涵泰, 尹俊梅, 廖易, 陆顺教, 李崇辉. 基于秋石斛花朵颜色、色素分布及表皮细胞形态的表型分类[J]. 园艺学报, 2021, 48(10): 1907-1920.
- YIN H T, YIN J M, LIAO Y, LU S J, LI C H. Phenotype classification based on flower color, pigment distribution and epidermal cell shape of *Dendrobium* hybrids[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(10): 1907-1920. (in Chinese)
- [20] 王玉蛟, 高岚, 杨勇, 于晓南. 基于花色表型的芍药品种数量分类研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(7): 96-103.
- WANG Y J, GAO L, YANG Y, YU X N. Numerical classification of peony cultivars based on flower color phenotype[J]. Journal of Beijing Forestry university, 2018, 40(7): 96-103. (in Chinese)
- [21] RAZA A, BOISSARD S J, DUBAIL M, DUMORTIER D. Automatic colour segmentation and colour palette identification of complex images[J]. Journal of the International Colour Association, 2021, 26: 11-21.
- [22] 吴静, 成仿云, 钟原. 紫斑牡丹花色表型数量分类研究[J]. 园艺学报, 2016, 43(5): 947-956.
- WU J, CHENG F Y, ZHONG Y. The numerical classification of flower color phenotype in flare tree peony[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43(5): 947-956. (in Chinese)
- [23] ZHAO D Q, TAO J. Recent advances on the development and regulation of flower colour in ornamental plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 261.
- [24] TANAKA Y, BRUGLIERA F. Flower colour and cytochromes P450[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences, 2013, 368(1612): 1-14.
- [25] WANG L M, ZHANG J, DONG X Y, FU Z Z, JIANG H, ZHANG H C. Identification and functional analysis of anthocyanin biosynthesis genes in *Phalaenopsis* hybrids[J]. Biologia Plantarum, 2017, 62(1): 1-10.
- [26] LOU Y X, ZHANG Q Y, XU Q Y, YU X Y, WANG W X, GAI R N, MING F. *PhCHS5* and *PhF3'5'H* genes over-expression in *Petunia* (*Petunia hybrida*) and *Phalaenopsis* (*Phalaenopsis aphrodite*) regulate flower color and branch number[J]. Plants, 2023, 12(11): 2204.
- [27] LIANG C Y, RENGASAMY K P, HUANG L M, HSU C C, JENG M F, CHEN W H, CHEN H H. Assessment of violet-blue color formation in *Phalaenopsis* orchids[J]. BMC Plant Biology, 2020, 20(1): 212.
- [28] MII M. Ornamental plant breeding through interspecific hybridization, somatic hybridization and genetic transformation[J]. Acta Horticulturae, 2012, 953: 43-54.
- [29] 韩晨静, 依杨. 2023 东京世界兰展美轮美奂 兜兰“绿妖”获大奖[J]. 中国花卉园艺, 2023(3): 68-71.
- HAN C J, YI Y. JGP international orchid and flower show 2023 is beautiful, *Paph.* Emerald Future ‘Green Monster’ wins award[J]. China Flowers & Horticulture, 2023(3): 68-71.
- [30] 李崇晖, 任羽, 黄素荣, 黄少华, 杨光穗. 蝴蝶石斛兰花色表型及类黄酮成分分析[J]. 园艺学报, 2013, 40(1): 107-116.
- LI C H, REN Y, HUANG S R, HUANG S H, YANG G S. Floral colors of *Phalaenopsis* type dendrobium and their flavonoid composition[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(1): 107-116. (in Chinese)
- [31] 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)
- [32] LI B J, ZHENG B Q, WANG J Y, TASI W C, LU H C, ZOU L H, WAN X, ZHANG D Y, QIAO H J, LIU Z J, WANG Y. New insight into the molecular mechanism of colour differentiation among floral segments in orchids[J]. Communications Biology, 2020, 3(1): 89.
- [33] HSU W H, HSU H F, LEE Y I, MAO W T, YANG J Y, LI J Y, YANG C H. Model for perianth formation in orchids[J]. Nature Plants, 2015, 1(5): 15046.
- [34] 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, LYU F B, LI Z, XIAO W F. Reasearch progress on the intergeneric hybridization breeding of *Phalaenopsis* spp.[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(9): 125-135. (in Chinese)
- [35] 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, LYU 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)