

# 菊花品种花色表型数量分类研究

洪 艳<sup>1</sup>, 白新祥<sup>1,2</sup>, 孙 卫<sup>1,3</sup>, 贾锋炜<sup>4</sup>, 戴思兰<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>北京林业大学园林学院, 北京 100083; <sup>2</sup>贵州大学林学院, 贵阳 550025; <sup>3</sup>乌鲁木齐市植物园, 乌鲁木齐 830011;  
<sup>4</sup>北京航空航天大学生物与医学工程学院, 北京 100191)

**摘 要:** 为了精确定义菊花不同品种的花色, 以 811 个菊花品种为试验材料, 利用色差仪测色的方法对其花色表型值进行测定并进行数量分类研究。结果发现: 聚类分析方法得到的分类结果不能完全表征菊花花色的分类特点; ISCC-NBS 色名表示法对花色的定义更为准确, 使用该方法将菊花品种花色分为 9 类色系, 整理出了不同色系表型参数分布范围。在此基础上, 对菊花品种的花色表型分布特点进行了分析。

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

**中图分类号:** S 682.1<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2012) 07-1330-11

## The Numerical Classification of Chrysanthemum Flower Color Phenotype

HONG Yan<sup>1</sup>, BAI Xin-xiang<sup>1,2</sup>, SUN Wei<sup>1,3</sup>, JIA Feng-wei<sup>4</sup>, and DAI Si-lan<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; <sup>2</sup>College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; <sup>3</sup>Urumqi Botanical Garden, Urumqi 830011, China; <sup>4</sup>College of Biological Science and Medical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract:** In order to accurately define the different flower color phenotype of chrysanthemum, colorimeter was used to measure the various flower colors of 811 chrysanthemum cultivars. And the different methods of color classification (Q cluster analysis and ISCC-NBS color name chart) were compared. It was found that the results obtained from statistical methods couldn't fully describe the characteristics of plant color, while the definition of plant color from the color point of view was more accurate. According to the standard, all cultivars were divided into nine groups and the distribution range of flower color parameters of each color group was summed up. On this basis, the distribution analysis of the phenotypic color of chrysanthemum cultivars was completed.

**Key words:** chrysanthemum; flower color phenotype; numerical classification; ISCC-NBS Method of Designating Colors; cluster analysis

菊花 (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.) 品种群变异丰富, 至今世界范围内有 20 000 ~ 30 000 个品种, 仅中国记载的特有品种就多达 3 000 余个 (戴思兰 等, 2002)。由于其复杂的遗传背景,

收稿日期: 2012 - 03 - 16; 修回日期: 2012 - 05 - 28

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项项目 (200904050)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: silandai@gmail.com)

致谢: 特别感谢总参后勤保障部季玉山先生在菊花品种栽培和品种认定过程中提供的大力帮助。北京林业大学园林学院研究生孙翊, 唐杏姣, 胡可, 李崇晖, 王晨等同学参与了本研究部分工作, 在此一并致谢。

菊花品种分类一直是个难题(张莉俊和戴思兰, 2009)。

依据传统的表型分类方法, 前人进行过许多菊花品种分类研究, 建立了相应的分类系统(张树林, 1965; 李鸿渐和邵建文, 1990; 中国菊花研究会, 1993), 然而这些分类系统在解释众多的品种变异时存在一定的局限性。对表型性状定义的精确性, 不仅是建立表型性状和各种遗传标记之间联系的前提(刘倩倩, 2007; 朱明丽 等, 2011), 更可为菊花品种分类研究向更为精确的数量分类方向发展奠定基础(刘春迎和王莲英, 1995; 黄家平, 2002; 许莹修, 2005; 雒新艳 等, 2009; 雒新艳和戴思兰, 2010)。

花色是被子植物重要的表型性状, 也是品种分类的重要依据。很久以来, 观赏植物的花色表型都采用定性描述或借助于比色卡(Royal Horticultural Society Color Chart, R.H.S.C.C.)进行测量。随着仪器测色方法在观赏植物花色测量中的广泛应用, 花色表型的数量化得以实现(Voss, 1992)。与以往的定性描述相比, 花色表型的数量化表示更为精确, 也便于交流, 利用这一数值进行分类研究, 对于观赏植物品种分类和鉴定具有实际意义。近年来, 很多研究者以花色表型数量化值为基础, 对观赏植物花色形成机理开展了大量的研究工作(Gonnet & Fenet, 2000; Hashimoto et al., 2000, 2002; Uddin et al., 2001; Gonnet, 2003; Kazuma et al., 2003; Tatsuzawa et al., 2005a, 2005b; Torskangerpoll et al., 2005; 李崇晖 等, 2007; Boase et al., 2010)。而对花色表型数量化值进行分类的研究, 国内外虽有尝试(白新祥 等, 2006b; 葛雨萱 等, 2008; 张圆圆 等, 2008), 但仍未获得理想的分类系统。

仪器测色过程中一个重要的环节就是测色仪器使用的色空间(Color space)。在花色测量中, 目前最为常用的是 CIELab 颜色系统(白新祥 等, 2006a)。CIELab 三维色空间可以用  $L^*$ ,  $a^*$  和  $b^*$  空间直角坐标系来表示: 纵轴  $L^*$  测量颜色的明度, 两条正交水平轴  $a^*$ 、 $b^*$  平轴, 分别表征颜色的红度和黄度(Gonnet, 1993)。孟塞尔颜色系统(Munsell Color System)也是众所周知的表色系统, 其按照样品的明度(Munsell Value)、色调(Munsell Hue)和彩度(Munsell Chroma)三维坐标对大量的颜色样品进行排序, 并使相邻的颜色样品在这个三维坐标方向上具有视觉的等间隔(薛朝华, 2004)。ISCC-NBS 色名表示法是由美国国内色彩研究学会(Inter-Society Color Council)根据孟塞尔颜色系统提出的色名表示法, 由美国国家标准局(National Bureau of Standards)整理而成。它包括所有大众熟知的颜色序列系统和颜色定义的方法, 共使用 6 个水平对颜色体(color solid)进行划分, 能够满足科学、教育、艺术和工业化生产等各方面的需求。

本研究中选取 811 个常见菊花品种, 使用色差仪进行花色测量, 采用 ISCC-NBS 色名表示法(Kenneth & Deane, 1976)对所测定的菊花花色进行命名, 并对菊花花色表型进行定义和分类。这一研究不仅为菊花品种分类过程中定义花色提供了参考依据, 同时也填补了观赏植物花色表型数量分类研究的空白。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

2006 年, 项目组在北京地区进行菊花品种资源调查时, 通过进行实地测量获得了 154 个品种的花色表型值(白新祥, 2007); 2008 年和 2009 年连续两年在北京林业大学菊花资源圃进行测量, 从完成测量的 800 余个品种中选取花色表型稳定的 128 个品种的花色表型值(孙卫, 2010a); 2010 年对北京市大东流苗圃菊花品种资源圃集中栽培的 656 个菊花品种进行测定获得花色表型值。共计获得了 811 个菊花品种花色表型值。

1.2 测色方法

使用色差仪（NF333, Nippon Denshoku Industries Co. Ltd., Japan）以光源 C/2°为条件测量舌状花的颜色。每个品种取 5 个不同的单株，每个单株测量 5 次。取头状花序中部舌状花正面，平置于干净的白纸上，将集光口对准舌状花中部位置进行测量，最终取平均值代表头状花序颜色（孙卫 等，2010b）。使用 Color Mate 5 软件辅助色差仪，同时测定 CIELab 值和孟赛尔颜色系统的参数值进行分析。

1.3 数据分析方法

利用 PASW Statistics 18 软件，对使用色差仪测得的菊花舌状花的花色表型值进行 Hierarchical 聚类分析和判别分析。聚类分析方法选用最远邻近法（Furthest neighbor）。

1.4 颜色命名方法

采用 ISCC-NBS 色名表示法（Kenneth & Deane, 1976）对所测颜色进行命名。首先将不同色相角的颜色归为一类，然后以颜色明度为纵坐标，以彩度为横坐标对不同的颜色区域进行划分和命名。将色差仪测量的花色表型数据定位在该颜色坐标上，从而对每一个颜色的数据进行归类 and 命名。

2 结果与分析

2.1 使用聚类分析方法对菊花品种花色表型进行分类

利用 PASW Statistics 18 软件，对测量获得的 811 个菊花品种  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值进行聚类分析。在分类数为 10 处绘制跳变线，将花色表型分为 10 类：白色和浅粉色、黄色和黄绿色、紫红色、浅黄色和浅绿色、深黄色、橙红色、墨色、红色、橙色、棕色。

经散点图判别分析发现，第 2 和第 5 类比较接近，可将其合并为黄色类群；第 6 和第 8 类比较接近，可将其并为红色类群（表 1）。结果表明，将菊花花色表型进行聚类分析和判别分析后，菊花花色表型被分为 8 个类别：白色系（I，包括白色和浅粉色）、黄色系（II，包括黄色和黄绿色）、紫红色系（III）、浅黄色系（IV，包括浅黄色和浅绿色）、墨色系（V，包括颜色很深的紫红色和棕红色）、红色系（VI）、橙色系（VII）和棕色系（VIII）。

表 1 菊花花色表型值聚类分析结果  
Table 1 The clusters of flower color of chrysanthemum cultivars according to the flower color parameters

色系类别 Color group	颜色描述 Color description	品种数 Number of species	品种数量百分比/% Percentage of species
I	白色和浅粉色 White and pale pink	284	35.02
II	黄色和黄绿色 Yellow and yellow green	143	17.63
III	紫红色 Purplish red	138	17.02
IV	浅黄色和浅绿色 Light yellow and light green	74	9.12
V	墨色 Dark red	61	7.52
VI	红色 Red	58	7.15
VII	橙色 Orange	25	3.08
VIII	棕色 Brown	28	3.45
总计 Total		811	

2.2 使用 ISCC-NBS 色名表示方法对菊花品种花色表型进行分类

2.2.1 菊花品种花色表型分类结果

采用 ISCC-NBS 色名表示法对利用色差仪测定的 811 个菊花品种的花色表型值进行命名，并对上述颜色类别重新归类，共获得 66 种颜色名称（表 2）。

表 2 依据 ISCC-NBS 系统对 811 个菊花品种的花色命名  
Table 2 The color name of 811 chrysanthemum cultivars based on the ISCC-NBS system

序号 Number	颜色名称 Color name	品种数量 Number of species	序号 Number	颜色名称 Color name	品种数量 Number of species
1	Light brown	4	35	Deep red	4
2	Light reddish brown	1	36	Grayish purplish red	17
3	Light yellowish brown	5	37	Grayish red	13
4	Moderate reddish brown	1	38	Light grayish purplish red	9
5	Strong reddish brown	1	39	Light grayish red	4
6	Dark reddish orange	3	40	Moderate purplish red	25
7	Grayish reddish orange	11	41	Moderate red	14
8	Moderate orange	2	42	Greenish white	9
9	Moderate reddish orange	5	43	Pinkish white	13
10	Brownish pink	1	44	Purplish white	1
11	Dark pink	3	45	White	41
12	Dark purplish pink	8	46	Yellowish white	105
13	Dark yellowish pink	2	47	Pinkish white	14
14	Deep pink	2	48	Brilliant greenish yellow	16
15	Grayish pink	10	49	Brilliant yellow	20
16	Grayish purplish pink	44	50	Dark orange yellow	6
17	Grayish yellowish pink	9	51	Grayish greenish yellow	3
18	Light pink	2	52	Grayish yellow	6
19	Light purplish pink	1	53	Light greenish yellow	37
20	Moderate pink	4	54	Light yellow	48
21	Moderate purplish pink	9	55	Moderate greenish yellow	3
22	Moderate yellowish pink	5	56	Moderate orange yellow	2
23	Pale pink	6	57	Moderate yellow	28
24	Pale purplish pink	49	58	Pale greenish yellow	19
25	Pale yellowish pink	10	59	Pale orange yellow	3
26	Strong yellowish pink	1	60	Pale yellow	17
27	Pale purplish pink	2	61	Strong greenish yellow	2
28	Light purple	1	62	Strong yellow	10
29	Light reddish purple	24	63	Vivid yellow	4
30	Moderate reddish purple	12	64	Light yellow green	3
31	Pale reddish purple	4	65	Moderate yellow green	1
32	Dark purplish red	4	66	Pale yellow green	32
33	Dark red	34	总计品种数		811
34	Deep purplish red	2	Total		

ISCC-NBS 色名表示系统对颜色的命名分为 6 个等级，随等级的升高，划分的更为详细，颜色名称的数量也随之增加。第 1 等级根据最原始的色相角名称将颜色归为 13 个色系；第 2 等级将颜色球划分为 29 个色系，因为将原始的色相角又进一步划分了中间色相角；第 3 等级由于对颜色增加了其明度和饱和度的描述，因此划分为 267 个颜色。而在第 6 等级，对颜色的描述就和采用仪器测色中常用的数字化表示完全相同了。根据这个逻辑规律，本试验中首先将数字化表示的颜色名称转化为 ISCC-NBS 色名表示系统中第 3 等级的颜色描述方法，再简化饱和度描述和明度描述，最终合并为 8 大色系：棕色系（brown group）、橙色系（orange group）、粉色系（pink group）、紫色系（purple group）、红色系（red group）、白色系（white group）、黄色系（yellow group）、黄绿色系（yellow green group）。在对测量值进行分类中发现，有一个类群颜色明度显著低于其他色系，其色相角在红色色相角范围内，颜色彩度值很大，这与孙卫（2010a）划定的墨色系品种相似。据此，将颜色明度 Hue < 3.5 的颜色单独归为一类，命名为墨色系（dark red group）（表 3 中序号为 9 的色系），这也是菊花品

种中较为珍贵和特殊的一类花色品种。因此，在这个分类系统中菊花品种被划分为 9 大色系（表 3）。

表 3 依据 ISCC-NBS 系统进行菊花品种花色分类  
Table 3 The classification of chrysanthemum flower coloration based on the ISCC-NBS system

序号 Number	色系 Color group	品种数量 Number of species	品种数量百 分比/% Percentage	孟塞尔颜色体系 Munsell color system		
				色调 Hue	明度 Value	彩度 Chroma
1	棕色系 Brown group	11	1.36	9.15R ~ 0.98Y	3.63 ~ 7.45	3.62 ~ 6.25
2	橙色系 Orange group	21	2.59	7.57R ~ 6.02YR	3.94 ~ 6.92	5.13 ~ 10.03
3	粉色系 Pink group	168	20.72	0.05RP ~ 7.04YR	4.25 ~ 8.73	1.53 ~ 9.23
4	紫色系 Purple group	41	5.06	8.42P ~ 2.74RP	4.38 ~ 7.43	3.78 ~ 8.50
5	红色系 Red group	83	10.23	0.64RP ~ 7.80R	3.52 ~ 7.49	2.82 ~ 10.13
6	白色系 White group	183	22.56	2.68R ~ 5.96GY	3.98 ~ 9.79	0 ~ 1.40
7	黄色系 Yellow group	224	27.62	0.02Y ~ 9.89Y	5.60 ~ 9.41	1.64 ~ 12.90
8	黄绿色系 Yellow green group	36	4.44	9.05Y ~ 4.25GY	7.21 ~ 9.13	1.02 ~ 4.96
9	墨色系 Dark red group	44	5.43	5.90RP ~ 9.40R	2.04 ~ 3.47	6.45 ~ 11.20
总计 Total		811		8.42P ~ 5.96GY	2.04 ~ 9.79	0 ~ 12.90

2.2.2 CIELab 颜色体系对 ISCC-NBS 色名表示法所划分色系的评价

CIELab 颜色体系是观赏植物领域更为常用的颜色体系，利用这一方法可以获得菊花品种各色系花色参数分布范围(表 4)。为方便两种分类方法的比较，本研究中使用 CIELab 颜色体系对 ISCC-NBS 色名表示法获得的菊花品种花色分类结果进行评价。对各色系的 CIELab 颜色系统参数 ( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值) 进行分析发现，各系系的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值特征非常明显 (图 1)，能很好将不同色系区分开。

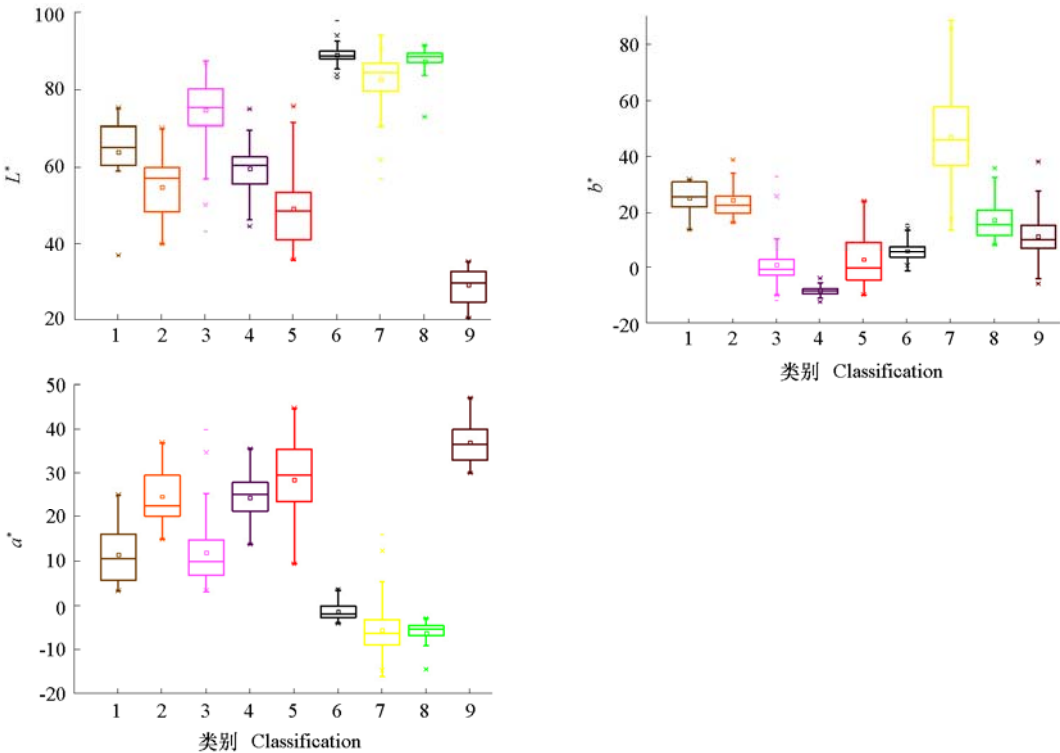


图 1 菊花品种各色系  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值箱线图

1: 棕色系; 2: 橙色系; 3: 粉色系; 4: 紫色系; 5: 红色系; 6: 白色系; 7: 黄色系; 8: 黄绿色系; 9: 墨色系。

Fig. 1 The box plot of different color group of chrysanthemum cultivars according to  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$

1: Brown group; 2: Orange group; 3: Pink group; 4: Purple group; 5: Red group; 6: White group; 7: Yellow group; 8: Yellow green group; 9: Dark red group.

表 4 ISCC-NBS 色名表示法定义的菊花品种各色系花色表型  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值分布范围  
Table 4 The distribution range of flower color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  parameters of each color group of chrysanthemum cultivars based on the ISCC-NBS method

序号 Number	色系 Color group	CIELab 颜色系统 CIELab coordinate				
		明度 $L^*$	红度 $a^*$	黄度 $b^*$	彩度 $C$	色相角/ $^\circ$ $h_{ab}$
1	棕色系 Brown group	36.94 ~ 75.23	3.01 ~ 25.13	13.93 ~ 32.03	20.89 ~ 33.49	41.34 ~ 83.11
2	橙色系 Orange group	40.08 ~ 70.07	14.92 ~ 37.01	16.44 ~ 38.91	25.12 ~ 53.7	34.88 ~ 66.44
3	粉色系 Pink group	43.36 ~ 87.52	3.23 ~ 39.93	- 11.76 ~ 33.01	4.34 ~ 46.76	0.43 ~ 359.36
4	紫色系 Purple group	44.68 ~ 75.01	13.80 ~ 35.60	- 12.17 ~ - 3.78	14.32 ~ 37.23	- 30.92 ~ - 14.42
5	红色系 Red group	35.75 ~ 75.62	9.34 ~ 44.79	- 9.65 ~ 24.2	9.38 ~ 46.24	- 22.23 ~ 2.92
6	白色系 White group	82.92 ~ 97.88	- 4.11 ~ 3.83	- 0.99 ~ 15.85	1.32 ~ 16.09	- 48.37 ~ 125.91
7	黄色系 Yellow group	57.02 ~ 94.2	- 16.11 ~ 15.91	13.74 ~ 88.67	13.83 ~ 88.69	70.37 ~ 11.45
8	黄绿色系 Yellow green group	72.92 ~ 91.47	- 14.40 ~ - 2.90	8.75 ~ 36.14	9.22 ~ 38.5	105.73 ~ 115.76
9	墨色系 Dark red group	30.11 ~ 47.17	3.23 ~ 25.21	- 5.58 ~ 38.39	31.83 ~ 59.16	- 7.01 ~ 40.46

(1) 白色系、黄色系、黄绿色系的  $L^*$  值较大, 且分布集中, 而墨色系  $L^*$  值集中分布在较低的位置。其他色系分布在趋中的位置;

(2) 白色系、黄色系、黄绿色系的  $a^*$  值分布在负值范围, 其他色系的  $a^*$  值分布在正值范围内。其中, 墨色系的  $a^*$  值最大;

(3) 紫色系的  $b^*$  值集中分布在负值范围。粉色系和红色系的  $b^*$  值在正负值范围都有分布。其他色系的  $b^*$  值分布在正值范围内;

(4) 棕色系与橙色系之间, 棕色系的  $a^*$  值较橙色系小,  $b^*$  值较橙色系大;

(5) 粉色系与紫色系之间, 粉色系的  $a^*$  值较紫色系小,  $b^*$  值较紫色系大;

(6) 黄色系与黄绿色系的  $L^*$  值与  $a^*$  值的分布相似, 但黄色系  $b^*$  值明显大于黄绿色系  $b^*$  值。

上述分析结果进一步证明, ISCC-NBS 色名表示法和 CIELab 颜色体系之间具有较好的对应关系, 可以将不同色系进行客观区分, 所划分的色系是合理的, 也符合菊花花色表型特点。

### 2.3 菊花品种花色表型分布特点

从利用 CIELab 颜色体系测定的结果可以看出, 菊花品种的花色非常丰富。

811 个菊花品种花色在  $a^*$ 、 $b^*$  色相坐标上, 主要集中分布在 I、II、IV 象限, 在第 III 象限 (蓝色) 没有分布 (图 2, A)。在第 I 象限主要分布红色、墨色、橙色和棕色 4 个色系的品种; 第 II 象限主要分布黄色和黄绿色 2 个色系的品种; 第 IV 象限主要分布紫色系品种; 接近原点的位置主要分布白色和粉色 2 个色系的品种。 $a^*$  值分布范围为: - 16.11 ~ 47.17;  $b^*$  值分布范围为: - 12.17 ~ 88.67;  $h_{ab}$  值分布范围为:  $0.47^\circ \sim 359.68^\circ$ 。

各品种花色在  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值三维坐标的分布成三维带状分布 (图 2, B)。其  $L^*$  值分布范围为: 20.66 ~ 94.20;  $C$  值分布范围为: 1.33 ~ 88.69。

在二维色相  $a^*$ 、 $b^*$  坐标上, 菊花品种的花色表型值总体上沿着拟合曲线  $b^* = 15.2415 - 2.1829a^* + 0.0978a^{*2} - 0.0012a^{*3}$  ( $r = 0.7164$ ) 两侧分布。 $F$  检验值为 283。

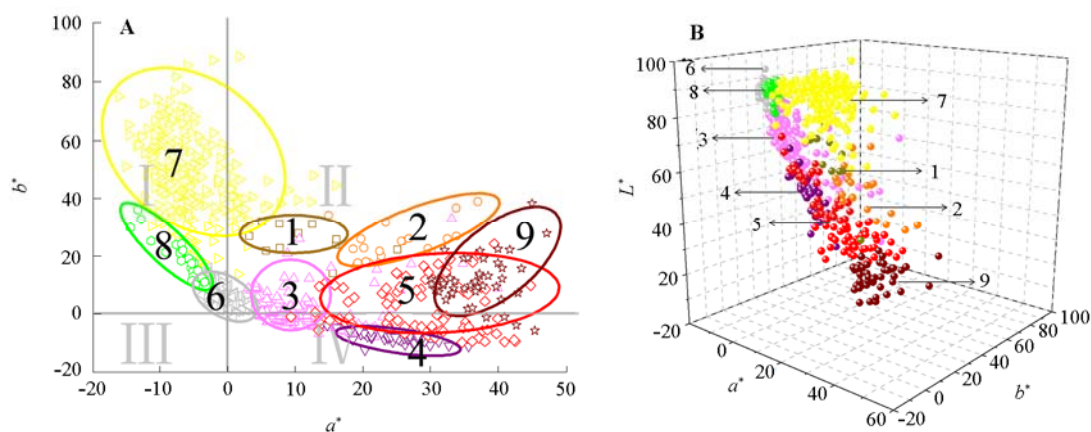


图 2 菊花品种花色表型分布图

A:  $a^*$ 、 $b^*$ 分布图; B:  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 分布图。

1: 棕色系; 2: 橙色系; 3: 粉色系; 4: 紫色系; 5: 红色系; 6: 白色系;  
7: 黄色系; 8: 黄绿色系; 9: 墨色系。

Fig. 2 Flower color distribution of chrysanthemum cultivars

A: coordinate systems of  $a^*$ ,  $b^*$ ; B: coordinate systems of  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .

1: Brown group; 2: Orange group; 3: Pink group; 4: Purple group; 5: Red group;  
6: White group; 7: Yellow group; 8: Yellow green group;  
9: Dark red group.

菊花品种不同色系明度 $L^*$ 与彩度 $C$ 之间的关系不同。根据 811 个被测菊花品种 $L^*$ 值和 $C$ 值在二维坐标的分布,可将其分为两个类群(图 3)。

第一类群 $L^*$ 值随 $C$ 值增大变小,但斜率较小,散点几乎平行于 $x$ 轴分布;第二类群 $L^*$ 值随 $C$ 值增大显著变小。

第一类群包括白色、黄色和黄绿色 3 个色系。对其 $L^*$ 值与 $C$ 值进行线性回归拟合显著性检验,绘制线性回归图(图 4, A),分析可知,明度 $L^*$ 值与彩度 $C$ 值的线性回归拟合水平并不显著( $r^2 = 0.25$ )。

第二类群包括粉色、红色、紫色、墨色、橙色和棕色 6 个系。对这 6 个色系的明度 $L^*$ 值与彩度 $C$ 值进行相关性分析(图 4, B),呈现显著的负相关关系,明度 $L^*$ 值与彩度 $C$ 值之间线性回归拟合水平极显著( $r^2 = 0.77$ ),线性回归图显示随彩度值增大,亮度线性降低。

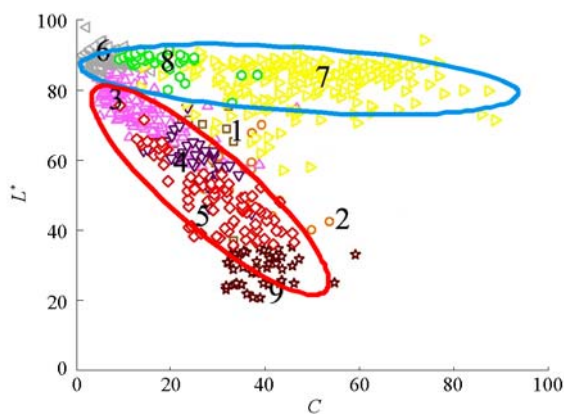


图 3 菊花品种 $L^*$ 值与 $C$ 值二维散点图

1: 棕色系; 2: 橙色系; 3: 粉色系; 4: 紫色系; 5: 红色系;  
6: 白色系; 7: 黄色系; 8: 黄绿色系; 9: 墨色系。

Fig. 3 The scatterplot according to  $L^*$  and  $C$  among chrysanthemum cultivars

1: Brown group; 2: Orange group; 3: Pink group;  
4: Purple group; 5: Red group; 6: White group;  
7: Yellow group; 8: Yellow green group;  
9: Dark red group.

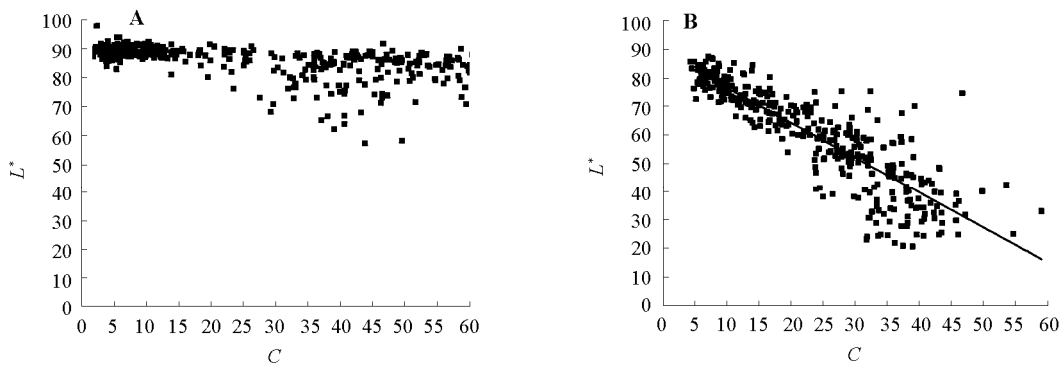


图4 菊花品种  $L^*$  值与  $C$  值关系

A: 白色系、黄色系和黄绿色菊花品种  $L^*$  值与  $C$  值关系; B: 粉色系、红色系、紫色系、墨色系、橙色系和棕色系菊花品种  $L^*$  值与  $C$  值关系。

Fig. 4 Relationships between  $L^*$  and  $C$  among chrysanthemum cultivars

A: Relationships between  $L^*$  and  $C$  among chrysanthemum cultivars in white, yellow and yellow green group;

B: Relationships between  $L^*$  and  $C$  among chrysanthemum cultivars in pink, red, purple, dark red, orange and brown group.

### 3 讨论

研究发现, 对花色表型  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值进行聚类分析得到的结果不能完全表征植物花色的分布特点; ISCC-NBS 色名表示法对花色的定义更为准确。使用该方法将菊花品种依花色表型  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值分为 9 类色系, 并整理出了不同色系花色参数分布范围。在此基础上, 对菊花品种花色表型的分布特点进行了分析。这些研究结果为观赏植物花色表型测定数量化及其分类研究提供了新思路, 解决了花色表型的数字描述与文字描述不能对应的问题, 从而为不同花色品种鉴定和分类、花色形成机理研究、新异花色品种培育以及田间栽培试验等研究工作提供了有力工具。

#### 3.1 对观赏植物花色表型进行数量分类的方法

以往的研究者多使用聚类分析的方法对花色表型进行分类, 但也发现了类似不能将白色系和粉色系等浅色系进行区分的问题。李崇晖 (2010) 使用聚类分析和判别分析结合 R.H.S.C.C. 比色的方法进行了数量分类研究, 结果将牡丹栽培品种花色表型划分为 8 类色系: 白色系 (其中包括白色、淡黄色、浅红和红紫色)、紫色系 [包括淡紫红色 (偏紫) 和淡紫色、紫红色、淡紫红色 (偏红)、红色和黄色], 可见该研究没能很好区分彩度偏低的色系。白新祥 (2007) 对 281 个菊花栽培品种的花色表型进行数量分类, 得到的结果为: 黄色、橙色、白色、粉色、紫色、红色和复色 7 大色系。其中, 绿色品种没有被单独聚为一类, 而分散在黄色或者白色组中, 灰色系也分散在白色组中。本文作者使用聚类分析和判别分析的方法将菊花品种分为 8 类: 白色系 (包括白色和浅粉色)、黄色系 (包括黄色和黄绿色)、紫红色系、浅黄色系 (包括浅黄色和浅绿色)、墨色系 (包括颜色很深的紫红色和棕红色)、红色系、橙色系和褐色系。经分析发现, 其结果同样不能完全准确表征菊花品种花色的特点。因此认为聚类分析方法存在不能将颜色较接近的花色进行分类的弊病 (如白色和粉色、白色和绿色)。

使用 ISCC-NBS 色名表示法进行分类可以从色彩学角度对不同特征的颜色进行区分, 有效地区分了白色和粉色、黄色和黄绿色等色系, 避免了上述问题。但这种方法也存在操作繁琐, 费时费力的不足之处。通过应用算法编写花色表型数量分类系统, 实现 ISCC-NBS 色名表示法颜色查询系统



的软件应用可以有效地解决这一问题。

### 3.2 菊花品种花色表型的分布特点

通过对 811 个常见菊花品种花色表型  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值进行测量发现, 菊花品种花色非常丰富, 基本涵盖了所有色系, 但唯独缺少蓝色系。蓝色花形成的一个主要原因是花瓣中积累蓝紫色的飞燕草素苷。通过对色素成分进行发现, 菊花中没有飞燕草素苷的积累 (孙卫, 2011a)。通过深入的基因研究发现, 菊花中没有合成飞燕草素苷的关键酶基因  $F3'5'H$  的表达信号。因此, 在菊花花色改良的育种工作中, 进一步丰富菊花中花青素苷合成途径的基因资源, 重建飞燕草素苷生物合成途径, 从而培育出蓝色菊花将是非常重要而有意义的。

### 3.3 菊花花色表型参数的相关性

菊花花色表型的明度和彩度表现负相关关系, 即随彩度的增加明度降低。Hashimoto 等 (2000) 对 21 个白色、粉色、紫色和蓝色等色系的飞燕草品种花色表型的  $L^*$  值与  $C$  值进行相关性分析也发现, 二者亦呈现负相关 ( $r^2 = 0.980$ )。以往的研究还发现, 菊花花朵中的总花青素苷含量和总类胡萝卜素含量以及总黄酮含量与花色明度均呈负相关 (白新祥, 2007; 孙卫, 2010a; 李崇晖, 2010)。而彩度值的大小是由关键色素的含量决定的 (白新祥, 2007)。

我们还发现一些非常有趣的现象, 虽然整体上菊花品种花色的明度和彩度呈负相关关系, 但是在明度和彩度二维坐标上明显可以分为两个类群: 第一类群包括白色、黄色和黄绿色 3 个色系; 第二类群包括粉色、红色、紫色、墨色、橙色和棕色 6 个色系。这可能与决定各色系的色素种类不同有关。菊花中决定红粉类色系的色素群主要是花青素苷类中的矢车菊素苷, 由于随其含量升高, 花色明度降低, 因此菊花缺少鲜艳的红色系品种 (Nakayama et al., 1997; 孙卫 等, 2010c); 而决定白黄类色系的色素群是类胡萝卜素一类的色素, 极少部分是黄酮类 (白新祥 等, 2006b), 因此菊花黄色系品种表现得更为明快, 亦即明度和彩度呈现正相关。更为精确的结论还需通过精准的色素成分检测才能进一步得出。

## References

- Bai Xin-xiang. 2007. Phenotypy analysis of flower coloration of *Chrysanthemum* × *morifolium* Ramat [Ph. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 白新祥. 2007. 菊花花色形成的表型分析 [博士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Bai Xin-xiang, Hu Ke, Dai Si-lan. 2006a. Comparison of different methods in flower color measurement of ornamental plants//Zhang Qi-xiang. Advances in ornamental horticulture of China. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- 白新祥, 胡 可, 戴思兰. 2006a. 不同测色方法在观赏植物花色测定上的比较//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社.
- Bai Xin-xiang, Hu Ke, Dai Si-lan, Wang Liang-sheng. 2006b. Components of flower pigments in the petals of different color *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cultivars. Journal of Beijing Forestry University, 28 (5): 84 - 89. (in Chinese)
- 白新祥, 胡 可, 戴思兰, 王亮生. 2006b. 不同花色菊花品种花色色素成分的初步分析. 北京林业大学学报, 28 (5): 84 - 89.
- Boase R M, Lewis H D, Davies M K, Marshall B G, Patel D, Schwinn E K, Deroles C S. 2010. Isolation and antisense suppression of *flavonoid 3', 5'-hydroxylase* modifies flower pigments and colour in cyclamen. BMC Plant Biology, 10: 107.
- Chinese Chrysanthemum Association. 1993. Classification of chrysanthemum in China//Wang Ju-yuan. Thesis compilation of chrysanthemum research in China (1990—1992). Beijing: (s.n.): 58 - 60. (in Chinese)
- 中国菊花研究会. 1993. 全国菊花分类//汪菊渊. 中国菊花研究论文集 (1990—1992). 北京: [出版社不详]: 58 - 60.
- Dai Si-lan, Wang Wen-kui, Huang Jia-ping. 2002. Advances of researches on phylogeny of *Dendranthema* and origin of chrysanthemum. Journal of Beijing Forestry University, 24 (5/6): 230 - 234. (in Chinese)

- 戴思兰, 王文奎, 黄家平. 2002. 菊属系统学及菊花起源的研究进展. 北京林业大学学报, 24 (5/6): 230 - 234.
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Xu Yan-jun, Liu Zheng-an, Li Chong-hui, Jia Ni. 2008. Flower color, pigment composition and their changes during flowering in *Chimonanthus praecox* Link. Acta Horticulturae Sinica, 35 (9): 1331 - 1338. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 徐彦军, 刘政安, 李崇晖, 贾 妮. 2008. 蜡梅的花色和花色素组成及其在开花过程中的变化. 园艺学报, 35 (9): 1331 - 1338.
- Gonnet J F. 1993. CIElab measurement, a precies communication in flower colour: An example with carnation (*Dianthus caryophyllus*) cultivars. Journal of Horticultural Science, 68 (4): 499 - 510.
- Gonnet J F. 2003. Origin of the color of cv. Rhapsody in blue rose and some other so-called "blue" roses. J Agric Food Chem, 51: 4990 - 4994.
- Gonnet J F, Fenet B. 2000. "Cyclamen Red" colors based on a macrocyclic anthocyanin in carnation flowers. J Agric Food Chem, 48: 22 - 26.
- Hashimoto F, Tanaka M, Maeda H, Shimizu K, Sakata Y. 2000. Characterization of cyanic flower color of *Delphinium* cultivars. Soc Hort Sci, 69 (4): 428 - 434.
- Hashimoto F, Tanaka M, Maeda H, Fukuda S, Shimizu K, Sakata Y. 2002. Changes in flower coloration and sepal anthocyanins of cyanic *Delphinium* cultivars during flowering. Biosci Biotechnol Biochem, 66 (8): 1652 - 1659.
- Huang Jia-ping. 2002. Studies on numerical taxonomy of cultivated mini-chrysanthemum[M. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 黄家平. 2002. 栽培小菊部分品种的数量分类研究[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Jia Ni. 2008. Studies on petal coloration mechanism and chemotaxonomy of herbaceous peony[M. D. Dissertation]. Beijing: Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- 贾 妮. 2008. 芍药花色形成的化学机制及其化学分类研究[硕士论文]. 北京: 中国科学院植物研究所.
- Kazuma K, Noda N, Suzuki M. 2003. Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. Phytochemistry, 64: 1133 - 1139.
- Kenneth L K, Deane B J. 1976. Color: Universal language and dictionary of names. Nat Bur Stand (U.S.), Spec Publ.
- Li Chong-hui, Wang Liang-sheng, Shu Qing-yan. 2007. Pigments composition of petals and floral color change during the blooming period in *Rhododendron mucronulatum*. Acta Horticulturae Sinica, 35 (7): 1023 - 1030. (in Chinese)
- 李崇晖, 王亮生, 舒庆艳. 2007. 迎红杜鹃花色色素组成及花色在开花中的变化. 园艺学报, 35 (7): 1023 - 1030.
- Li Chong-hui. 2010. The flavonoid composition in tree peony petals and their effects on the coloration[Ph. D. Dissertation]. Beijing: Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- 李崇晖. 2010. 牡丹花瓣类黄酮成分分析及其对花色的影响[博士论文]. 北京: 中国科学院植物研究所.
- Li Hong-jian, Shao Jian-wen. 1990. Investigation, collection and classification of chrysanthemum cultivars in China. Journal of Nanjing Agricultural University, 13 (1): 30 - 36. (in Chinese)
- 李鸿渐, 邵建文. 1990. 中国菊花品种资源的调查收集与分类. 南京农业大学学报, 13 (1): 30 - 36.
- Liu Chun-ying, Wang Lian-ying. 1995. The numerical classification of some cultivars of florist's chrysanthemum. Journal of Beijing Forestry University, 17 (2): 79 - 87. (in Chinese)
- 刘春迎, 王莲英. 1995. 菊花品种的数量分类研究 ( I ). 北京林业大学学报, 17 (2): 79 - 87.
- Liu Qian-qian. 2007. Studies on morphological classification and cytological characters of Chinese large-flowered chrysanthemum[M. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 刘倩倩. 2007. 中国大菊品种形态分类及细胞学研究[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Luo Xin-yan, Liu Qian-qian, Bai Xin-xiang, Zhu Jun, Lu Jie, Li Bao-qin, Dai Si-lan. 2009. Flower type and color distribution of single-stem chrysanthemum cultivars in Beijing area. Northern Horticulture, (7): 183 - 188. (in Chinese)
- 雒新艳, 刘倩倩, 白新祥, 朱 珺, 卢 洁, 李宝琴, 戴思兰. 2009. 北京地区独本菊品种资源及花型和花色分布研究. 北方园艺, (7): 183 - 188.
- Luo Xin-yan, Dai Si-lan. 2010. Taxonomic analysis of morphological characters of large-flowered chrysanthemum cultivars. Journal of Beijing Forestry University, 32 (3): 135 - 140. (in Chinese)
- 雒新艳, 戴思兰. 2010. 大菊品种表型性状的分类学价值. 北京林业大学学报, 32 (3): 135 - 140.

- Nakayama M, Koshioka M, Shibata M, Hiradate S, Sugie H, Yamaguchi M. 1997. Identification of cyanidin 3-O-(3", 6"-O-dimalonyl-beta-glucopyranoside) as a flower pigment of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). Biosci Biotech Biochem, 61 (9): 1607 - 1608.
- Sun Wei. 2010a. Mechanism analysis of flower color based on anthocyanins for *Senecio cruentus* DC. and *Chrysanthemum morifolium* Ramat. [Ph. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 孙 卫. 2010a. 瓜叶菊和菊花花青素呈色机理分析[博士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Sun Wei, Li Chong-hui, Wang Liang-sheng, Dai Si-lan. 2010b. Analysis on measuremental position of ligulate floret color of chrysanthemum. Acta Horticulturae Sinica, 37 (5): 777 - 784. (in Chinese)
- 孙 卫, 李崇晖, 王亮生, 戴思兰. 2010b. 菊花舌状花花色测定部位的探讨. 园艺学报, 37 (5): 777 - 784.
- Sun Wei, Li Chong-hui, Wang Liang-sheng, Dai Si-lan. 2010c. Analysis of anthocyanins and flavones in different-colored flowers of chrysanthemum. Chinese Bulletin of Botany, 45 (3): 327 - 336. (in Chinese)
- 孙 卫, 李崇晖, 王亮生, 戴思兰. 2010c. 菊花不同花色品种中花青素苷代谢分析. 植物学报, 45 (3): 327 - 336.
- Tatsuzawa F, Mikanagi Y, Saito N, Shinoda K, Shigihara A, Honda T. 2005a. Cyanidin glycosides in flowers of genus *Corydalis* (Fumariaceae). Biochemical Systematics and Ecology, 33: 789 - 798.
- Tatsuzawa F, Yukawa T, Shinoda K, Saito N. 2005b. Acylated anthocyanins in the flowers of genus *Dendrobium* section Phalaenanth Orchidaceae. Biochemical Systematics and Ecology, 33: 625 - 629.
- Torskangerpoll K, N  b   R, Nodland E,   vstedal D O, Andersen    M. 2005. Anthocyanin content of tulipa species and cultivars and its impact on petal colours. Biochemical Systematics and Ecology, 33: 499 - 510.
- Uddin A F M J, Hashimoto F, Miwa T, Kaketani M, Shimizu K, Sakata Y. 2001. Analysis of light and sucrose potencies on petal coloration and pigmentation of lisianthus cultivars (*in vitro*). Scientia Horticulturae, 89: 73 - 82.
- Voss D H. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the Royal Horticultural Society Colour Chart. HortScience, 27: 1256 - 1260.
- Xu Ying-xiu. 2005. Anyalsison morphological diversity and classification of chrysanthemum[M. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 许莹修. 2005. 菊花形态性状多样性和品种分类的研究[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Xue Chao-hua. 2004. Color science and computer color matching practical technology. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 薛朝华. 2004. 颜色科学与计算机测色配色实用技术. 北京: 化学工业出版社.
- Zhang Shu-lin. 1965. Studies on the classification of garden varieties of florists' chrysanthemum. Acta Horticulturae Sinica, 4 (1): 35 - 46. (in Chinese)
- 张树林. 1965. 菊花品种分类的研究. 园艺学报, 4 (1): 35 - 46.
- Zhang Li-jun, Dai Si-lan. 2009. Research advance on germplasm resources of *Chrysanthemum*  $\times$  *morifolium*. Chinese Bulletin of Botany, 44 (5): 526 - 535. (in Chinese)
- 张莉俊, 戴思兰. 2009. 菊花种质资源研究进展. 植物学报, 44 (5): 526 - 535.
- Zhang Yuan-yuan, Qi Dong-mei, Liu Hui, Zhang Ji-chong, Li Chong-hui, Zhang Jie, Wang Liang-sheng, Liu Gong-she. 2008. The diversity of flower color of the ornamental sun flower and the relation to anthocyanins. Acta Horticulturae Sinica, 35 (6): 863 - 868. (in Chinese)
- 张圆圆, 齐冬梅, 刘 辉, 张继冲, 李崇晖, 张 洁, 王亮生, 刘公社. 2008. 观赏向日葵的花色多样性及其与花青素的关系. 园艺学报, 35 (6): 863 - 868.
- Zhu Ming-li, Liu Qian-qian, Dai Si-lan. 2011. Karyotype analysis of 38 large-flowered chrysanthemum cultivars from China. Chinese Bulletin of Botany, 44 (5): 447 - 455. (in Chinese)
- 朱明丽, 刘倩倩, 戴思兰. 2011. 38 个大菊品种染色体核型参数的统计分析. 植物学报, 44 (5): 447 - 455.