

不同花色菊花品种花色素成分的初步分析

白新祥¹ 胡 可¹ 戴思兰¹ 王亮生²

(1 北京林业大学园林学院 2 中国科学院植物研究所北京植物园)

摘要:为了分析形成菊花花色的色素成分以搞清楚花色形成的机理,该文对17个菊花品种的花瓣进行了花色表型测定、特征显色反应和紫外-可见光谱扫描分析.结果发现:菊花不同花色(黄色、白色、红色、紫色和橙色)品种的色素由类黄酮和类胡萝卜素两大类组成.黄色花主要含有类胡萝卜素和黄酮类化合物;白色花仅含有黄酮类化合物;红色和紫色花主要由花色苷和黄酮类化合物组成;橙色花的色素包括类胡萝卜素、黄酮类化合物和花色苷.该项研究为菊花花色素成分的进一步分离和鉴定等工作奠定了基础,同时也为菊花花色的分子育种提供帮助.

关键词: 菊花, 花色素, 类胡萝卜素, 类黄酮, 花色苷

中图分类号: S682.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2006)05-0084-06

BAI Xin-xiang¹; HU Ke¹; DAI Si-lan¹; WANG Liang-sheng². **Components of flower pigments in the petals of different color *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cultivars.** *Journal of Beijing Forestry University* (2006)28(5) 84-89 [Ch, 23 ref.]

¹ College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

² Beijing Botanical Garden, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 100093, P. R. China.

Flower color is one of the most important ornamental characters. The study on flower pigments is significant in exploring the mechanism of flower coloration and molecular breeding of new cultivars. In this paper, the flower color of 17 chrysanthemum cultivars were measured and the specific color reactions and UV-visible spectra of flower pigments were performed. The results indicated that flower pigments of chrysanthemum (yellow, white, red, purple and orange) consist of flavonoids and carotenoids. The pigments of yellow flower consist of flavones and carotenoids; there is only flavones in white color flower; the red and purple flowers contain anthocyanins and other flavonoids; the orange is formed by carotenoids, anthocyanins and other flavonoids. This paper provides a reference for the identification of molecular structure of flower pigments and the breeding of flower color of chrysanthemum.

Key words *Chrysanthemum morifolium* Ramat., flower pigment, carotenoids, flavonoids, anthocyanins

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)原产于我国,是我国栽培历史最悠久的传统名花之一.它不仅色彩艳丽,而且具有不畏风寒、傲霜怒放的特点,自古以来深受广大人民群众喜爱^[1].花色(flower color)是菊花主要的观赏性状之一,人们在很早以前就注意到了菊花丰富的花色变异,并选育出了除蓝色系以外的七大色系,以及各种奇异的花色品种,比如双色花、间色花和复色花等^[2].花色素(flower pigments)是花色形成的物质基础,分析花瓣中色素的成分对于探讨菊花花色形成的机理和分子育种都

具有很重要的意义^[3].对菊花花瓣中色素成分的研究已有很长时间^[4-10],但是这些研究工作大多是以遗传背景相对简单的切花菊为研究对象,这些研究成果还不足以揭示中国传统菊花品种花色的复杂性.因此,以传统栽培菊花为材料,探讨不同花色形成的机理是很有必要.本研究是在这些研究工作的基础上,以不同花色菊花品种为材料,采用特征显色反应和紫外-可见光谱扫描等方法对色素成分进行系统调查,为菊花品种分类、色素化合物的分离和结构鉴定以及菊花品种的花色改良提供参考.

收稿日期:2005-07-28

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:教育部振兴行动计划项目、“948”国家林业局引进项目(2001-24).

第一作者:白新祥,博士生.主要研究方向:园林植物遗传育种.电话:010-62390272 Email: xinxianbai@126.com 地址:100083 北京林业大学园林学院.

责任作者:戴思兰,教授,博士生导师.主要研究方向:园林植物遗传育种.电话:010-82376017-604 Email: silandai@sina.com.cn 地址:同上.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料于 2003 年 11 月 9 日采自北京双卉新

华园艺有限公司延庆基地(品种名称见表 1)。采后在-20℃冰箱中过夜,然后放在 50~60℃烘箱中烘干,研成粉末后放牛皮纸袋中避光干燥保存。

表 1 试验所选的菊花品种和花色测定数据									
TABLE 1 Data for petal color and UV-visible spectra of flower pigments of chrysanthemum cultivars									
品 种	特征吸收峰/nm		RHSCC	颜色的三刺激值					
	V(盐酸):V (甲醇)=1:99	V(石油醚):V (丙酮)=4:1		L [*]	a [*]	b [*]	C [*]	h	
‘棕红针’ <i>C. morifolium</i> ‘Zonghong Zhen’	532, 330, 270	419, 442, 465	20-B	78.0	16.6	56.8	59.5	73.71	
‘小黄鹦’ <i>C. morifolium</i> ‘Xiao Huangying’	333, 267	418, 440, 470	6-B	94.2	—8.6	73.2	73.8	—83.30	
‘玉堂金马’ <i>C. morifolium</i> ‘Yutang Jinma’	333, 267	418, 442, 470	6-C	84.0	—9.6	62.6	63.4	—81.28	
‘Golden Amber Linker’ <i>C. morifolium</i> ‘Golden Amber Linker’	330, 268	417, 442, 467	6-A	86.3	—6.7	75.5	75.8	—84.91	
‘金不换’ <i>C. morifolium</i> ‘Jinbuhuan’	334, 269	464, 435	3-B	87.2	—12.4	72.6	73.6	—80.28	
‘白芍药’ <i>C. morifolium</i> ‘Bai Shaoyao’	331, 269		Wt	91.3	—2.1	7.6	7.9	—74.55	
‘神马’ <i>C. morifolium</i> ‘Shenma’	331, 267		Wt	92.9	—1.5	5.9	6.1	—75.74	
‘Herby’ <i>C. morifolium</i> ‘Herby’	330, 289		Wt	88.5	—5.1	20.0	20.7	—75.69	
‘Dark Welden’ <i>C. morifolium</i> ‘Dark Welden’	327, 268		Wt	85.8	—2.2	19.6	19.7	—83.60	
‘红玫瑰’ <i>C. morifolium</i> ‘Hong Meigui’	524, 331, 286, 268		53-A	24.5	32.9	12.3	35.1	20.50	
‘新月弯弯’ <i>C. morifolium</i> ‘Xinyue Wanwan’	532, 335, 267		53-A	25.9	22.8	11.0	25.3	25.78	
‘北林红’ <i>C. morifolium</i> ‘Beiling Hong’	529, 330, 298		60-A	40.2	37.0	10.1	38.3	15.23	
‘紫勋章’ <i>C. morifolium</i> ‘Zi Xunzhang’	530, 333, 268, 253		78-A	58.3	23.7	—8.3	25.1	—19.35	
‘大紫雁’ <i>C. morifolium</i> ‘Da Ziyan’	553, 329, 267		77-C	60.8	20.0	—2.9	20.2	—8.36	
‘紫牡丹’ <i>C. morifolium</i> ‘Zi Mudan’	529, 334, 289, 268		78-A	52.4	26.7	—8.2	27.9	—17.07	
‘太真含笑’ <i>C. morifolium</i> ‘Taizhen Hanxiao’	530, 333, 268, 253		75-B	74.0	15.9	—3.7	16.4	—13.10	
‘精兴富贵’ <i>C. morifolium</i> ‘Jiangxing Fugui’	535, 337, 267		78-C	54.6	22.8	—2.8	23.0	—7.07	

注:RHSCC 为英国皇家园艺学会比色卡(Royal Horticultural Society Colour Chart, 简称 RHSCC), Wt 为白色(white colour)。

1.2 菊花花色的测定

花朵采集后取新鲜花瓣,将舌状花中间部分和 RHSCC(R·H·S., 2001) 进行对比^[11-12]。仪器测色采用色差仪(NF333 spectrophotometer, Nippon denshoku)(光源 C/2°)测量花瓣的颜色,每个品种取 5 个不同的单株,用头状花序中部的舌状花的中间部分对准色差仪的集光孔进行测量,最后取平均值。亮度(L^* value, 读作“L-star”, 下同)和两个色度成分,即 a^* 值(从绿色到红色)和 b^* 值(从蓝色到黄色),使用国际照明委员会(International Commission on Illumination, CIE)系统进行分析。当 L^* 值从 0 升至 100 时,亮度逐渐增加。而 a^* 值由小变大意味着绿色的减退,红色的增强。同样, b^* 值的增加代表了蓝色的逐渐消退,同时伴随着黄色的增强(CIE, 1986)。色度 C^* 和色度角 h 分别根据公式: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 和 $h = \arctan(b^*/a^*)$ 计算, C^* 表示了到亮度轴上的距离,即距离越远, C^* 越大(表 1)^[11-12]。

1.3 色素的定性分析

1.3.1 菊花花色色素类型的定性分析

取花瓣粉末 0.100 g 放入具塞试管中,分别加入石油醚、10.0% 盐酸和 30.0% 氨水约 5 mL, 观察颜

色变化并进行记录^[13-14]。

1.3.2 类黄酮的显色反应

取不同花色品种的花瓣粉末各 0.100 g, 分别用盐酸化甲醇溶液 $V(\text{HCl}):V(\text{MeOH}) = 1:99$ 提取 15 h, 过滤, 定容至 25 mL, 各取 2 mL 提取液, 进行下列显色反应^[13-15]。

- 1) 浓盐酸-镁粉反应:加入镁粉少量, 然后加入浓盐酸 5 滴, 摇匀, 静置 1 h。
- 2) 浓盐酸-锌粉反应:加入锌粉少量, 然后加入浓盐酸 10 滴, 摇匀, 静置 1 h。
- 3) 醋酸铅反应:加 1.0% $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 2 mL, 摇匀, 静置 2 h。
- 4) 三氯化铁反应:加 5.0% $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2 mL。
- 5) 三氯化铝反应:加 1.0% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 甲醇溶液 1 mL。
- 6) 浓硫酸反应:加 1.5 mL 浓 H_2SO_4 , 摇匀, 再置沸水浴 5 min。
- 7) 碱性试剂反应:加 5% Na_2CO_3 3 mL, 摇匀, 密闭静置 30 min, 通空气 10 min。
- 8) 氨性氯化锶反应:取甲醇 10 mL, 加氨水定容至 25 mL, 成为被氨水饱和的甲醇溶液;对样品液加

0.01 mol/L $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 甲醇液 10 滴,再加被氨水饱和的甲醇液 10 滴,摇匀,静置 1 h.

9) 硼酸反应:加 1.0% $\text{H}_2\text{O}_2\text{C}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10 滴,再加 2.0% H_3BO_3 3 mL.

1.4 紫外-可见光谱分析

1.4.1 花瓣中叶绿素的检测

取花瓣粉末 0.100 g,用 $V(\text{丙酮}):V(\text{乙醇})=9:1$ 提取,定容至 5 mL,用北京谱析通用公司生产的 TU-1901 型紫外-可见分光光度计在 400~700 nm 范围内扫描,比色皿光径为 1 cm^[13-14].

1.4.2 花瓣中类胡萝卜素的检测

取花瓣粉末 0.100 g,用 $V(\text{石油醚}):V(\text{丙酮})=1:1$ 提取,定容至 10 mL,在 200~700 nm 范围内扫描^[13-14].

1.4.3 花瓣中类黄酮的检测

取花瓣粉末 0.100 g,黄色系和白色系加盐酸化甲醇($\text{pH}=3$)2 mL 置于 4℃ 冰箱中 24 h;红色系、紫色系、粉色系和橙色系加 $V(\text{HCl}):V(\text{MeOH})=1:99$ 2 mL 放在常温下(大约 25℃)避光提取 24 h.然后定容至 10 mL,在 220~600 nm 范围内扫描^[13-14,16-18].

2 结果与分析

2.1 菊花花色的确定

根据 RHSCC 对比可以将以上 17 个品种分成 5 个色系,分别是黄色系:‘金不换’、‘玉堂金马’、‘Golden Amber Linker’和‘小黄鹦’;橙色系:‘棕红针’;红色系:‘北林红’、‘红玫瑰’和‘新月弯弯’;紫色系:‘太真含笑’、‘大紫雁’、‘紫勋章’、‘精兴富贵’和‘紫牡丹’;白色系:‘白芍药’、‘Herby’、‘Dark Welden’和‘神马’.采用国际照明委员会表色系统(CIELAB)系统对花瓣的三刺激值的测定结果显示,

菊花 5 个色系的品种分别集中在黄色(Y)、白色(W)、橙色(O)、红色(R)和紫色(P)5 个区域(图 1).

2.2 石油醚、盐酸和氨水测试结果

从石油醚反应可以看出,黄色系 4 个品种都表现出了亮黄色,说明类胡萝卜素的含量很高;‘Herby’、‘紫牡丹’和‘棕红针’这几个品种表现出淡黄色,说明有类胡萝卜素的痕量存在.其余品种都是无色,说明不含类胡萝卜素.

盐酸测试表现了程度不同的黄色和红色,‘红玫瑰’、‘紫牡丹’和‘棕红针’品种出现红色说明含有花色苷,而其余品种出现黄色则说明有黄酮类化合物.

氨水测试中,‘Herby’、‘小黄鹦’、‘棕红针’和‘大紫雁’出现黄色意味着含有黄酮色素;‘太真含笑’、‘精兴富贵’、‘神马’、‘玉堂金马’和‘紫牡丹’出现铁锈黄和深黄色则意味着含有黄酮醇类化合物;‘红玫瑰’和‘新月弯弯’品种出现褐色,则可能含有查耳酮(表 2).

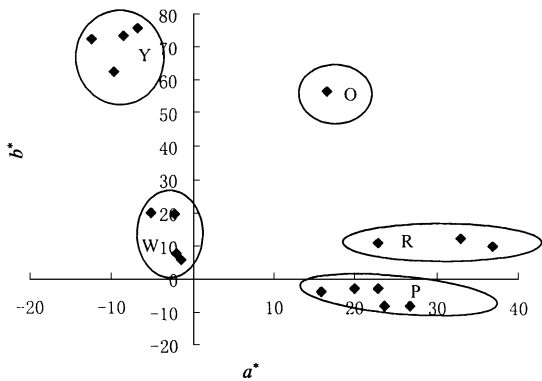


图 1 不同品种花色的“CIELAB”分布
FIGURE 1 Distribution of “CIELAB” of different flower colors

表 2 菊花色素类型测试的颜色反应
TABLE 2 Color reaction of pigment types of chrysanthemum

品种	石油醚	盐酸	氨水	品种	石油醚	盐酸	氨水
‘白芍药’	无色	淡黄色	橙黄色	‘棕红针’	淡黄色	淡红色	亮黄色
‘神马’	无色	暗黄色	铁锈黄	‘红玫瑰’	无色	红色	褐色
‘Herby’	极淡黄色	极淡黄色	黄色	‘新月弯弯’	无色	淡黄红色	褐色
‘Dark Welden’	无色	亮黄色	—	‘北林红’	无色	红色	褐色
‘精兴富贵’	无色	暗黄色	铁锈黄	‘小黄鹦’	亮黄色	极淡黄色	黄色
‘太真含笑’	无色	浅黄色	铁锈黄	‘玉堂金马’	亮黄色	浅黄色	深黄色
‘大紫雁’	无色	极淡黄色	黄色	‘Golden Amber Liner’	亮黄色	浅黄色	黄色
‘紫牡丹’	淡黄色	淡粉红色	深黄色	‘金不换’	亮黄色	黄色	黄色
‘紫勋章’	无色	浅黄色	黄色				

2.3 类黄酮的显色反应

1) 浓盐酸-镁粉反应:‘神马’、‘北林红’、‘紫勋章’和‘大紫雁’无色可能含有查耳酮和橙酮;

‘Golden Amber Linker’和‘精兴富贵’出现极淡紫红色则含有黄酮;‘紫牡丹’、‘棕红针’、‘红玫瑰’和‘新月弯弯’的粉红色可能含有花色苷.

- 2) 浓盐酸-锌粉反应:只有‘红玫瑰’和‘棕红针’出现粉红色,说明含有花色素苷类化合物,其余均无色或者黄色.
- 3) 三氯化铁反应:大部分品种出现黄色,说明色素分子中不含酚羟基;其他品种表现不同程度的绿色,意味着色素分子中含有酚羟基.
- 4) 三氯化铝反应:表现极淡黄色的品种意味着有黄酮.
- 5) 醋酸铅反应:大部分品种出现黄色沉淀,说明所含的黄酮类化合物具有邻二酚羟基或者兼有4-酮基、3-OH 或者 4-酮基、5-OH 结构,同时也表明不含查耳酮和橙酮.‘红玫瑰’、‘紫牡丹’、‘棕红针’

- 和‘新月弯弯’出现不同程度的绿色沉淀,说明含有花色素苷.
- 6) 氨性氯化锶反应:‘神马’、‘Herby’、‘玉堂金马’和‘金不换’4 个品种产生黄色沉淀,意味着色素分子中有 3',4'-二羟基.
- 7) 硼酸反应:均无色说明菊花花色素中的黄酮可能不含 C₅-OH.
- 8) 浓硫酸反应:‘红玫瑰’和‘北林红’出现橙黄色,说明含有花色素苷;其余品种均呈现不同程度的黄色,意味着含有黄酮或者黄酮醇化合物.
- 9) 碳酸钠反应:呈现淡黄色,通空气后颜色不变,说明不含二氢黄酮醇(表 3).

表 3 不同菊花品种类黄酮的显色反应									
TABLE 3 Color reaction of flavonoids in different cultivars of chrysanthemum									
品种	浓盐酸-镁粉	浓盐酸-锌粉	三氯化铁	醋酸铅	三氯化铝	浓硫酸	碳酸钠	氯化锶	硼酸
‘白芍药’	淡黄红色	无色	绿色	黄绿色沉淀	黄绿色	褐黄色	淡黄色	黄色	无色
‘神马’	无色	无色	黄色	浅黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色沉淀	无色
‘Herby’	极淡黄色	无色	黄色	浅黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色沉淀	无色
‘Dark Welden’	极淡黄色	无色	黄色	淡黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	浅黄色	无色
‘精兴富贵’	淡紫红色	无色	暗绿色	亮黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色	无色
‘太真含笑’	极淡黄色	无色	暗黄色	亮黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色	无色
‘大紫雁’	无色	无色	黄色	无色无沉淀	极淡黄色	深褐黄色	淡黄色	浅黄色	无色
‘紫牡丹’	淡粉红色	无色	黄绿色	浅绿色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色	无色
‘紫勋章’	无色	浅橙色	褐色	无色	极淡黄色	暗黄色	淡黄色	绿色	无色
‘棕红针’	淡粉红色	淡粉红色	绿色	黄绿色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色	无色
‘红玫瑰’	粉红色	淡粉红色	黑绿色	翠绿色沉淀	紫色	暗橙黄色	淡黄色	黄色	无色
‘新月弯弯’	淡粉红色	无色	绿色	浅绿色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色	无色
‘北林红’	无色	无色	黄色	青色	极淡黄色	橙黄色	淡黄色	绿色	无色
‘小黄鹦’	极淡黄色	无色	黄色	浅黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	浅黄色	无色
‘玉堂金马’	极淡黄色	淡黄色	淡黄色	浅黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	黄色沉淀	无色
‘Golden Amber Linler’	极淡紫红色	无色	淡黄色	浅黄色沉淀	极淡黄色	黄色	淡黄色	浅黄色	无色
‘金不换’	淡黄色	淡黄色	黄色	黄色沉淀	极淡黄色	暗黄色	淡黄色	黄色	无色

- 2.4 菊花色素成分的紫外-可见光谱分析
- 2.4.1 菊花花朵中叶绿素的测定
- 所有品种的丙酮乙醇溶液在 662 和 644 nm 处均无吸收峰,意味着这些品种花瓣中不含叶绿素.
- 2.4.2 菊花花朵中类胡萝卜素的测定
- 菊花品种‘小黄鹦’、‘玉堂金马’、‘金不换’、‘Golden Amber Linler’和‘棕红针’的提取液在类胡萝卜素的特征吸收峰 440 和 470 nm 附近都有吸收,说明花瓣中含有类胡萝卜素(表 1).
- 2.4.3 菊花花朵中类黄酮的测定
- 菊花不同色系品种花色素的紫外光谱存在显著的差异.白色系品种所含的色素最为单一,只在 330 和 270 nm 附近出现吸收峰,这是黄酮类化合物的特征吸收峰;黄色系品种的颜色主要是由类胡萝卜素形成的,另外也含有黄酮类化合物;红色系和紫色系

- 的品种在 530、333、268、253 nm 附近均出现了吸收峰,这分别是花色素苷和黄酮类化合物的特征吸收峰;而橙色系品种‘棕红针’的色素成分是最为复杂的,除了含有类胡萝卜素外,还含有花色素苷和黄酮类化合物(表 1).
- 3 讨 论
- 3.1 RHSCC 比色、“CIELAB”系统与花色测量
- 花色是观赏植物品种分类的重要依据之一,而色素在花瓣中分布的不平衡或光线的影响是使人们对花色感觉不同的原因^[11].人们常常根据目测的方法将花色分类,但是由于颜色的分类标准不同,人们的视觉存在差异,因此对花色尤其是对交叉色系的判定比较困难.目前,较为客观的测色方法有比色卡比色和仪器测色^[12,18-19].在观赏植物界,RHSCC 是使

用最为广泛的一种比色色标,它的优点是使用方便、购置费用低和移动性强等,但是 RHSCC 的比色对试验者和环境的要求非常苛刻. 仪器测色的最大优势是精确度高、外界因素影响小和颜色的数字化输出等,对颜色的深入分析是很有帮助的. 现在,大多数仪器都使用“CIELAB”系统分析花色^[12,19,20-22]. 从本试验可以看出,在目测的基础上使用 RHSCC 比色卡比色之后,便能对菊花花色有一个比较全面的衡量,对于常规的花色分类和描述已经足够了. 但是如果要对花瓣颜色进行定量分析,仪器测色就是很必要的,“CIELAB”的三刺激值可以很好地和花瓣中所含的色素建立相关关系.

3.2 菊花花朵中的花色素

菊花作为一种重要的花卉,其花色素成分也是极其复杂的^[23]. Anderson 等^[7]1988 年使用薄层层析(Thin-layer chromatography, TLC)的方法定性推断出其中的主要色素成分;Kishimoto 等^[9]2004 年采用高效液相色谱(High performance liquid chromatography, HPLC)和核磁共振法(Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)对菊花中类胡萝卜素的成分进行了分离和鉴定,共从菊花花瓣中分离出叶黄素(lutein)的各种异构体和莖菜黄质(violaxanthin)等 16 种胡萝卜醇. 从本试验也可以得出类胡萝卜素是黄色菊花的主要呈色色素,此外类胡萝卜素在橙色菊花的花色形成过程中也充当了重要的角色.

类黄酮是最为重要的一类花色素,其中有形成黄色的黄酮、二氢黄酮和查耳酮等;有形成红色、紫色和蓝色等花色的花色素苷. 菊花的花色同样也和类黄酮有密切的关系. 早在 1916 年,Willstätter 等^[4]分离了一种菊花色素,命名为菊甙(chrysanthemin),并鉴定结构为矢车菊色素 3-O-β-葡配吡喃糖苷(Cyanidin-3-O-β-glucopyranoside). 接着 Robinson 等^[5]1932 年证实了一些紫红色菊花品种中含有酰化戊糖苷的矢车菊色素. Saito 等^[6]1988 年分离并鉴定了矢车菊色素 3-O-(6''-O-丙二酰-β-D-葡配吡喃糖苷)[Cyanidin-3-O-(6''-O-malonyl-β-D-glucopyranoside)]. Anderson 等^[7]1988 年选用了 17 个菊花品种对色素成分进行了研究,发现白色品种中含有黄酮;紫色品种的色素由类黄酮和矢车菊色素组成;褐色品种包含类黄酮和类胡萝卜素. Schwinn 等^[8]1994 年调查了 39 个菊花品种舌状花的类黄酮,定性分析了菊花中含有黄酮、黄酮醇、二氢黄酮和花色素苷等,并对不同色系品种所含的色素类型进行了总结. 通过本试验发现白色系仅由黄酮和黄酮醇组成;红色系和紫色系的色素是花色素苷、黄酮、黄酮醇等;橙色系色素比较复杂,除了含有类胡萝卜素

外,还含有黄酮和花色素苷.

3.3 特征显色反应和紫外-可见光谱在色素分析中的应用

特征显色反应和紫外-可见光谱都是色素成分初步分析的常用的方法,具有简单易行、结果直观的特点. 在本试验中,菊花色素的特征显色反应和紫外-可见光谱都出现了相应的结果,但是由于菊花色素成分的复杂性,以及该方法的直观性较强,尤其是特征显色反应,使色素成分的判断和鉴定更为困难. 所以,在特征显色反应和紫外-可见光谱试验结果的基础上结合其他分离鉴定方法更为必要,比如核磁共振、高效液相色谱和质谱等方法.

参 考 文 献

[1] 姚毓. 菊花[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1984:1-7.
YAO Y Q. *Chrysanthemum* [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1984:1-7.

[2] 程金水. 园林植物遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社,2001:23-32.
CHENG J S. *The genetics and breeding of garden plants* [M]. Beijing:China Forestry Publishing House, 2001:23-32.

[3] TANAKA Y, KATSUMOTO Y, BRUGLIERA F, et al. Genetic engineering in floriculture [J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2005,80(1):1-24.

[4] WILLSTÄTTER R, BOLTON E K. Über ein Anthocyanin der Winteraster (chrysanthemum) [J]. *Justus Liebig's Annals Chemistry*, 1916, 412:136-148.

[5] ROBINSON G M, ROBINSON R. A survey of anthocyanins II [J]. *Biochemical Journal*, 1932, 26(5):1 647-1 664.

[6] SAITO N, TOKI K, HONDA T, et al. Cyanidin 3-malonylglucuronylglucoside in *Bellis* and cyanidin 3-malonylglucoside in *dendranthem* [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27(9):2 963-2 966.

[7] ANDERSON N O, ASCHER P D, WIDMER R E, et al. Thin-layer chromatographic analysis of flower colour phenotypes in *Dendranthema grandiflorum* Ramatuelle inbreds and clonal cultivars [J]. *Euphytica*, 1988, 37(3):229-239.

[8] SCHWINN K E, MARKHAM T K R, GIVEN N K. Floral flavonoids and the potential for pelargonidin biosynthesis in commercial chrysanthemum cultivars [J]. *Phytochemistry*, 1994, 35(1):145-150.

[9] KISHIMOTO S, MAOKA T, NAKAYAMA M, et al. Carotenoid composition in petals of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura) [J]. *Phytochemistry*, 2004, 65(12):2 781-2 787.

[10] BENINGER C, ABOU-ZAID M, KISTNER A E, et al. A flavanone and two phenolic acids from *Chrysanthemum morifolium* with phytotoxic and insect growth regulating activity [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30(3):589-606.

[11] VOSS D H. Relating colourimeter measurement of plant colour to the Royal Horticultural Society Colour Chart [J]. *HortScience*, 1992, 27(12):1 256-1 260.

[12] WANG L S, HASHIMOTO F, SHIRAISHI A, *et al*. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by floral pigmentation [J]. *Journal of Plant Research*, 2004, 117(1): 47-55.

[13] 安田齐. 花色的生理生物化学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989; 15-54.

AN T Q. *Flower colour physiology, biochemistry* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989; 15-54.

[14] 赵昶灵, 郭维明, 陈俊愉. 梅花花色色素种类和含量的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(2): 68-73.

ZHAO C L, GUO W M, CHEN J Y. Preliminary study on the categories and contents of the flower colour pigment of *Prunus mume* Sieb. et Zucc. [J]. *Journal of Beijing Forestry Univesity*, 2004, 26(2): 68-73.

[15] 陈孝泉. 植物化学分类学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990; 55-63.

CHEN X Q. *Phytochemotaxonomy* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1990; 55-63.

[16] 马卡姆. 黄酮类化合物结构鉴定技术[M]. 北京: 科学出版社, 1990; 42-58.

MARKHAM K R. *Techniques of flavonoid identification* [M]. Beijing: Science Press, 1990; 42-58.

[17] 哈本. 黄酮类化合物[M]. 北京: 科学出版社, 1983; 51-87.

HARBORNE J B. *Flavonoids* [M]. Beijing: Science Press, 1983; 51-87.

[18] 高锦明. 植物化学[M]. 北京: 科学出版社, 2003; 156-169.

GAO J M. *Phytochemistry* [M]. Beijing: Science Press, 2003; 156-169.

[19] HASHIMOTO F, TANAKA M, MARDA H, *et al*. Characterization of cyanic flower colour of delphinium cultivars[J]. *J Jpn Soc Hortic Sci*, 2000, 69(4): 428-434.

[20] HASHIMOTO F, TANAKA M, MARDA H, *et al*. Changes in flower colouration and sepal anthocyanins of cyanic delphinium cultivars during flowering [J]. *Bioscience, Biotechnology, Biochemistry*, 2002, 66(8): 1 652-1 659.

[21] TORSKANGERPOLL K, ANDERSON Ø M. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values[J]. *Food Chemistry*, 2005, 89(3): 427-440.

[22] SAKATA Y, AOKI N, TSUNEMATSU S, *et al*. Petal colouration and pigmentation of tree peony bred and selected in Daikon Island (Shimane Prefecture) [J]. *J Jpn Soc Hortic Sci*, 1995, 64(2): 351-357.

[23] 白新祥, 戴思兰. 菊花花色研究进展[C]// 中国园艺学会观赏园艺专业委员会. 中国观赏园艺研究进展 2004. 北京: 中国林业出版社, 2004; 131-137.

BAI X X, DAI S L. Review of researches on flower colour of *Dendranthema × grandiflorum* [C]// Ornamental Horticulture Committee of Chinese Society for Horticultural Science. Advances in ornamental horticulture of China 2004. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004; 131-137.

(责任编辑 董晓燕)