

# 鸳鸯茉莉开花过程中花青素组成的变化

李敏, 罗宇婷, 卢小草, 孙月婷, 邱栋梁\*

(福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

**摘要:** 为了解鸳鸯茉莉(*Brunfelsia acuminata*)花色变化的机理, 采用高效液相色谱(HPLC)体系检测其开花过程中花青素组成的变化。结果表明, 优化的 HPLC 体系为: 流速为 0.8 mL min<sup>-1</sup>, 流动相 A 为 7.5% 甲酸乙腈, 流动相 B 为 7.5% 甲酸水, 洗脱程序为 0 min, 8% A; 15 min, 18% A; 25 min, 23% A; 45 min, 40% A; 50 min, 8% A。利用优化体系检测到鸳鸯茉莉花瓣中含有锦葵色素-3-O-葡萄糖苷、矮牵牛素葡萄糖苷和飞燕草素葡萄糖苷 3 种花青苷, 其中锦葵色素-3-O-葡萄糖苷的含量最高, 飞燕草素葡萄糖苷含量最低, 且在花色由深变浅的过程中 3 种花青苷的含量均降低。因此, 鸳鸯茉莉的呈色与这 3 种花青苷有关, 且锦葵色素-3-O-葡萄糖苷起主导作用。

**关键词:** 鸳鸯茉莉; 花青苷; 花色; 高效液相色谱

doi: 10.11926/jtsb.3878

## Changes in Composition of Anthocyanins in *Brunfelsia acuminata* Flowers

LI Min, LUO Yu-ting, LU Xiao-cao, SUN Yue-ting, QIU Dong-liang\*

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** In order to understand the mechanism of flower colour change of *Brunfelsia acuminata*, the changes in composition of anthocyanins in petals were studied by using high performance liquid chromatography (HPLC) system. The results showed that the optimized HPLC system was following: the flow rate was 0.8 mL min<sup>-1</sup>, 7.5% formic acid acetonitrile as mobile phase A and 7.5% formic acid as mobile phase B; the elution program was 0 min with 8% A; 15 min with 18% A; 25 min 23% A; 45 min with 40% A and 50 min with 8% A. There were three kinds of anthocyanins, such as malvidin-3-O-glucoside chloride, petunidin-3-glucoside and delphinidin-3-glucoside in petals of *B. acuminata* by using the optimized system. Among them, the content of malvidin-3-O-glucoside chloride was the highest, followed by petunidin-3-glucoside and the content of delphinidin 3-glucoside was the lowest. Moreover, the contents of three kinds of anthocyanin decreased with the petal color from dark to light. Therefore, it was indicated that the coloration of *B. acuminata* is related to these three anthocyanins, and the malvidin-3-O-glucoside chloride plays a dominant role.

**Key words:** *Brunfelsia acuminata*; Anthocyanins; Flower color; HPLC

鸳鸯茉莉(*Brunfelsia acuminata*)为茄科(Solanaceae)鸳鸯茉莉属常绿矮灌木, 原产于中美洲和南美洲热带。花期为 4-10 月, 花冠 5 裂, 花瓣有明显的锯齿, 每朵花开放 5 d 左右, 花刚开放时为蓝紫色, 渐变为浅紫色, 到最后变为白色<sup>[1]</sup>。因为单

花开放时间不同, 在同一株上能够见到蓝紫色和白色的花, 并且拥有茉莉花的芳香, 故又叫双色茉莉<sup>[2]</sup>。通常将其作为盆栽观赏花卉, 在走廊、庭台楼阁、门口等地方作美化装饰, 观赏价值极高<sup>[3]</sup>。

花色是观赏植物十分重要的一种观赏特性。植

收稿日期: 2018-01-12

接受日期: 2018-03-29

基金项目: 福建农林大学科技创新专项(CXZX2017182)资助

This work was supported by Special Projects for Science and Technology Innovation in Fujian Agriculture and Forestry University (Grant No. CXZX2017182).

作者简介: 李敏(1989~), 女, 博士研究生, 研究方向为园艺植物生理与生化。E-mail: liminzyl@sina.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: qiudl1970@fafu.edu.cn

物的花色受众多因素协同作用,与花瓣内含有的色素种类及其含量、色素所处的环境、花瓣的物理结构等多种因子有关,但是起着最主要作用的是色素的种类及其含量<sup>[4]</sup>。在自然界中,最为常见的花青素有 6 种,分别是天竺葵色素(pelargonidin, Pg)、矢车菊色素(cyanidin, Cy)、飞燕草色素(delphinidin, Dp)、芍药花色素(peonidin, Pn)、矮牵牛色素(petunin, Pt)和锦葵色素(malvidin, Mv)。

目前对于鸳鸯茉莉的研究,主要有花瓣基因的克隆与生物信息学分析<sup>[5-7]</sup>、蛋白质研究<sup>[8]</sup>、组织培养<sup>[9]</sup>、修剪措施<sup>[3]</sup>等。Bar-Akiva<sup>[10]</sup>等采用高效液相色谱-质谱联用技术(HPLC-MS)分析了大花鸳鸯茉莉(*Brunfelsia calycina*)开花当天花瓣中花青苷的种

类。本研究以鸳鸯茉莉花瓣为材料,使用优化的高效液相色谱分析技术,检测开花过程中花瓣的花青苷种类和含量,为研究鸳鸯茉莉花色变化机理,延长紫色花瓣的花期奠定基础,同时也为培育蓝色鸳鸯茉莉提供支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

鸳鸯茉莉(*Brunfelsia acuminata*)于 2017 年 4 月采自福建农林大学,从植株的各个方向随机采取生长健康的花瓣,分别于开花的 0(花苞期)、1、2、3、4 和 5 d 采摘,花色如图 1,取鲜样提取花青素。



图 1 鸳鸯茉莉开花过程中花瓣颜色的变化

Fig. 1 Changes in petal color of *Brunfelsia acuminata* during blooming

### 1.2 试剂和仪器

主要试剂包括分析纯甲醇、甲酸、盐酸,色谱纯甲醇和乙腈(均购自福州南江生物技术有限公司);花青苷标准品购于福州南江生物技术有限公司 HPLC 分析级产品,锦葵色素-3-*O*-葡萄糖苷(Mv)为 Cerilliant 品牌,飞燕草素葡萄糖苷(Dp)、矮牵牛素葡萄糖苷(Pt)、矢车菊素-3-葡萄糖苷(Cy)、芍药素葡萄糖苷(Pn)和天竺葵素-3-氯化葡萄糖苷(Pg)为 Solarbio 品牌。主要仪器为超纯水机(湖南科尔顿水务有限公司);LC-100 液相色谱仪、LC-P100 高压恒流泵、LC-UV100 紫外检测器、色谱柱 C<sub>18</sub>、手动进样器(均购于上海伍丰科学仪器有限公司);台式高速冷冻离心机(Sigma 公司);溶剂抽滤机(天津市津腾实验设备有限公司);超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司)。

### 1.3 花青素的提取

参照 Simões 等<sup>[11]</sup>和 Weiss 等<sup>[12]</sup>方法,略有改动。将鸳鸯茉莉花瓣剪碎,准确称取新鲜花瓣 0.1 g 放入试管中,加入 5 mL 1% 盐酸甲醇提取液。在黑

暗处 4℃ 放置 1 h 后,将浸提液转入新的离心管中置于暗处,再往试管中加入 5 mL 提取液,黑暗处 4℃ 放置 1 h 后,再次将浸提液转入离心管中。在 10 000×g 下离心 10 min,收集上清液,用 0.22 μm 滤膜过滤,滤液存于 4℃ 冰箱中遮光保存待用。均重复 3 次。

### 1.4 HPLC 体系的优化

色谱柱 C<sub>18</sub> (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 色谱条件:柱温 30℃,进样体积 20 μL,波长 525 nm。流动相的选择, E1: 流动相 A, 乙腈:水:甲酸[500:450:50, (V/V/V, 下同)]; 流动相 B, 甲酸:水(50:950)。 E2: 流动相 A, 乙腈:甲酸(925:75); 流动相 B, 甲酸:水(75:925)。洗脱梯度的筛选, G1: 流速为 0.8 mL min<sup>-1</sup>, 洗脱程序为: 0 min, 8%A; 15 min, 18%A; 25 min, 23%A; 45 min, 40%A; 50 min, 8%A。 G2: 流速 1.0 mL min<sup>-1</sup>, 洗脱程序为: 1 min, 3%A; 12 min, 15%A; 24 min, 25%A; 28 min, 30%A; 35 min, 30%A; 40 min, 3%A。在 525 nm 下检测鸳鸯茉莉花瓣中花青苷的种类并根

据峰面积法计算花青苷的含量。

### 1.5 数据统计分析

应用 LC-WS100 色谱工作站软件进行 HPLC 图谱绘制; 采用 Excel 2003 进行数据整理和作图, SPSS 19 软件的 Duncan's 多重比较法进行数据的差异显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 HPLC 的优化

选用鸳鸯茉莉花苞期(0 d)的花瓣为试材, 通过设置不同的溶剂体系和洗脱程序进行 HPLC 体系

优化。当选用乙腈浓度较低的溶剂体系 E1 时, 不管洗脱梯度如何(图 2: A, B), 获得的图谱效果均不理想, 出色谱峰所需要的时间较长, 在 36 min 以后才会有色谱峰出现。当选用溶剂体系 E2 时, 乙腈浓度大幅度提高后(图 2: C, D), 出现色谱峰的时间相对缩短, 最早的 1 个色谱峰在 21 min 左右出现, 而且色谱峰型明显, 能准确分辨出不同的花青苷。当溶剂体系为 E2, 洗脱梯度为 G1 时(图 2: C) 的出峰时间较早, 花青苷的浓度较高, 能够明确分辨不同花青苷所形成的色谱峰, 且获得更稳定的图谱。故最后选择乙腈含量高的溶剂体系和时间较长、梯度较大的洗脱程序进行 HPLC 分析, 即 E2G1 体系。

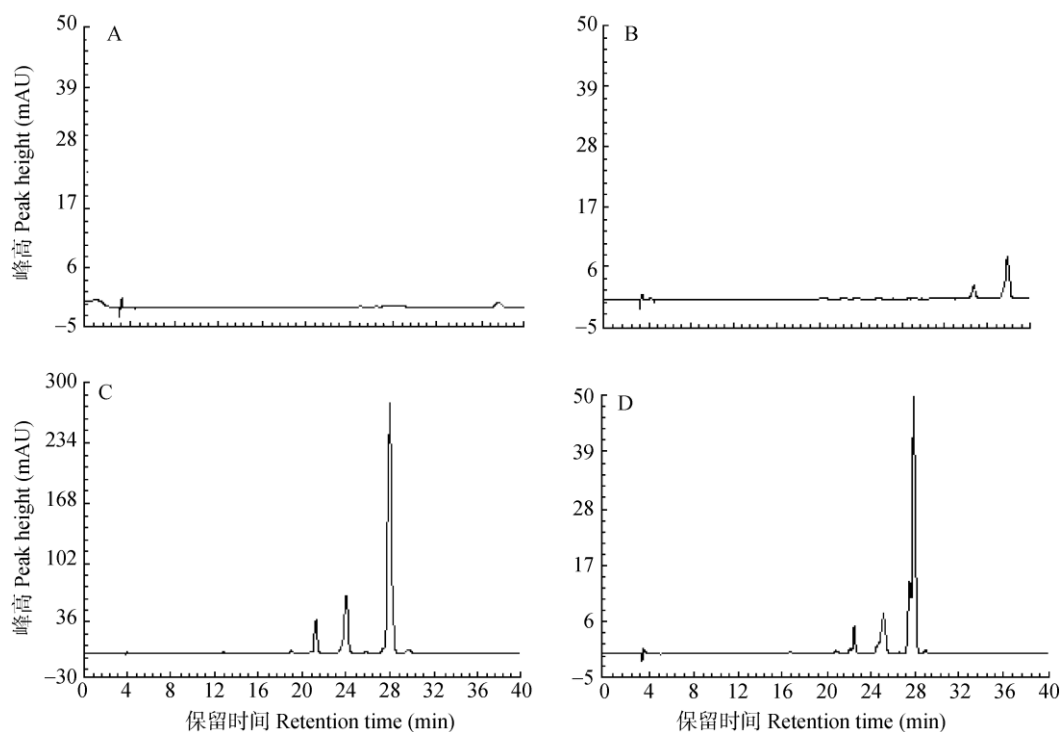


图2 鸳鸯茉莉花瓣的 HPLC 图谱。A: E1G1; B: E1G2; C: E2G1; D: E2G2。

Fig. 2 HPLC chromatogram of *Brunfelsia acuminata* petals. A: E1G1; B: E1G2; C: E2G1; D: E2G2.

利用优化的色谱体系 E2G1 对鸳鸯茉莉 6 个开花时期的花瓣进行分析。从图 3 可见, 开花 0、1、2 和 3 d 的花瓣中检测出 3 种花青苷, 在开花 4 和 5 d 的花瓣中仅检测出 2 种花青苷。依据花青苷标样出峰的保留时间确定花青苷的种类, 保留时间 23.348 min 为飞燕草色素葡萄糖苷(Dp), 保留时间 26.140 min 为矮牵牛素葡萄糖苷(Pt), 保留时间 28.490 min 为

锦葵色素 3-O-葡萄糖苷(Mv)。所以, 开花 0、1、2 和 3 d 的花瓣中花青苷为 Dp、Pt 和 Mv (图 3: A~D)。开花 4 和 5 d 的为 Pt 和 Mv (图 3: E, F), 基本上没有 Dp。

同时, 在鸳鸯茉莉整个开花过程中均未检测到鸳鸯茉莉花瓣矢车菊素-3-葡萄糖苷、天竺葵素-3-氯化葡萄糖苷和芍药素葡萄糖苷。

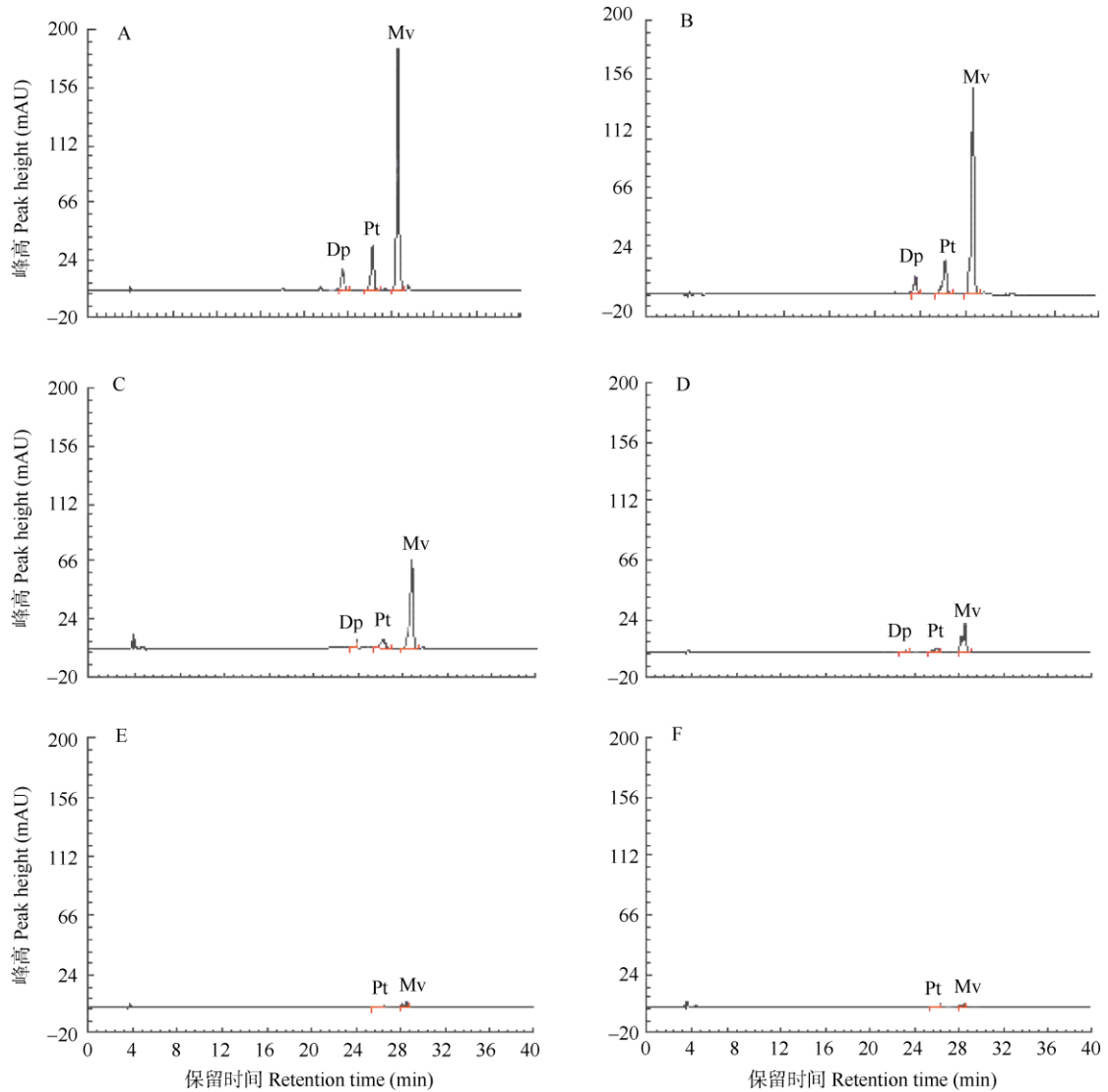


图 3 鸳鸯茉莉花瓣不同开花时期的 HPLC 图谱。A: 0 d; B: 1 d; C: 2 d; D: 3 d; E: 4 d; F: 5 d; Mv: 锦葵色素-3-O-葡萄糖苷; Pt: 矮牵牛素葡萄糖苷; Dp: 飞燕草素葡萄糖苷。以下图表同。

Fig. 3 HPLC chromatogram of *Brunfelsia acuminata* petals at different days of blooming. A: 0 d; B: 1 d; C: 2 d; D: 3 d; E: 4 d; F: 5 d; Mv: Malvidin-3-O-glucoside chloride; Pt: Petunidin-3-glucoside; Dp: Delphinidin-3-glucoside. The same is following Table and Figure.

2.2 花青苷含量的分析

随着鸳鸯茉莉花的开放，花色由深紫色变为白色。花瓣在开花 0~5 d 的开放过程中，花青素总含量呈现下降的变化趋势(图 4)。开花 0 与 1 d 的花青素含量无显著差异，但显著高于后期的( $P < 0.05$ )。鸳鸯茉莉花瓣中主要含有 3 种花青苷(表 1)，其中 Mv 的含量最高，Dp 的最低，并且 Mv、Pt 和 Dp 含量随着开花进程逐渐减少。开花 0 与 1 d 的花青苷含量变化不大，开花 1~2 d 花瓣从紫色变为浅紫色，Dp 含量急剧下降，开花 4~5 d 的花瓣中只含少量的 Mv 和 Pt。

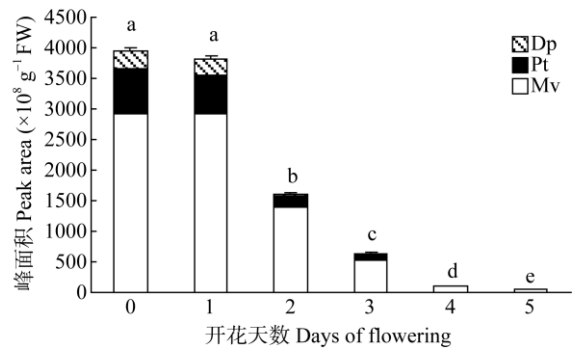


图 4 鸳鸯茉莉花瓣中花青素含量变化  
Fig. 4 Changes in anthocyanin contents in *Brunfelsia acuminata* petals

表 1 鸳鸯茉莉不同开花期花瓣中花青苷的含量( $\times 10^8$  g<sup>-1</sup> FW)Table 1 Contents of anthocyanins ( $\times 10^8$  g<sup>-1</sup> FW) in *Brunfelsia acuminata* petals at different blooming stage

天数 Day	Mv	Pt	Dp
0	2 933.02±49.83a	713.95±10.45a	311.59±21.17a
1	2 910.63±39.33a	652.05±18.43a	262.51±10.74a
2	1 394.14±7.57b	195.94±6.70b	21.71±0.80b
3	534.29±9.63c	95.45±12.60c	13.32±1.96b
4	94.47±3.90d	16.93±2.43d	1.32±0.93b
5	46.85±3.04e	9.03±1.59d	0.11±0.04b

同列数据后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level.

### 3 讨论

#### 3.1 HPLC 的优化

不同的植物材料所需的 HPLC 色谱条件不同。Machado 等<sup>[13]</sup>测定蓝莓(*Vaccinium myrtillus*)的花青苷种类时,使用的色谱体系为流速 0.7 mL min<sup>-1</sup>,流动相 A 为 5%甲酸,流动相 B 为 100%甲醇,洗脱梯度为 0 min, 5%B; 1.50 min, 5%B; 3.50 min, 15%B; 5.00 min, 25%B; 5.50 min, 40%B; 6.50 min, 45%B; 7.00 min, 100%B; 9.30 min, 100%B; 10 min, 10%B,与测定黑莓(*Rubus fruticosus*)花青苷时使用的洗脱梯度不同。王峰<sup>[14]</sup>在测定月季(*Rose germ-plasm*)花青苷种类时,使用的流动相 A 为 0.1%甲酸,固定相 B 为含有 0.1%甲酸的乙腈溶液。王琳<sup>[15]</sup>以葡萄风信子(*Muscari latifolium*)为材料,建立高效液相色谱技术的花青素苷分析方法,以 0.1%甲酸水溶液,80%乙腈为流动相可获得良好的洗脱效果。为了得到高效、稳定的色谱体系,需要对色谱条件进行优化,最终缩短保留时间并且能够更好地分离色谱峰。本研究结果表明,流动相 A 中乙腈浓度较高,洗脱梯度较大,流速稍慢且时间稍长,可以快速稳定分离鸳鸯茉莉的花青苷。流速小有助于使连在一起的两个色谱峰分开,便于进行定性分析;若设置分析时间稍长可以使色谱图更稳定。

HPLC 溶剂体系是影响色谱分离中很重要的因素,常用的溶剂中极性最大的为水,其次为甲酰胺和乙腈。本试验中,当选用溶剂体系 E1 时,流动相 A 中水的体积比为 45%、乙腈的体积比为 50%,溶剂极性较大,不易分离色谱峰,组分保留时间短;当选用溶剂体系 E2 时,流动相 A 中乙腈的体积比为 92.5%,溶剂极性降低,色谱峰易分离且出峰时间缩

短,所以最终选定溶剂体系 E2 洗脱程序 G1:流动相 A, 7.5%甲酸乙腈(V/V);流动相 B, 7.5%甲酸水(V/V);线性洗脱程序: 0 min, 8%A; 15 min, 18%A; 25 min, 23%A; 45 min, 40%A; 50 min, 8%A,建立了高效、稳定分析鸳鸯茉莉花青苷成分的 HPLC 色谱体系。

#### 3.2 开花过程中花青苷的定性定量分析

花色是花卉的观赏性状和价值的体现,花色变化与花青苷的种类和含量有很大关系。通常天竺葵色素(Pg)呈现出的颜色为砖红色,飞燕草色素(Dp)、矮牵牛色素(Pt)和锦葵色素(Mv)呈现出蓝紫色,矢车菊色素(Cy)和芍药花色素(Pn)则呈现出紫红色<sup>[16]</sup>。因此,主要含有 Mv、Pg、Dp、Pt 等花青苷的花瓣一般为蓝紫色。孙卫<sup>[17]</sup>报道蓝色瓜叶菊(*Senecio cruentus*)花瓣主要含有 Dp,紫色瓜叶菊主要含有 Dp 和 Cy。在本研究中,鸳鸯茉莉花瓣中共检测出 3 种花青苷,分别为锦葵色素-3-O-葡萄糖苷(Mv)、飞燕草素葡萄糖苷(Dp)和矮牵牛素葡萄糖苷(Pt),且主要成分为 Mv,它们都表现为蓝紫色,是鸳鸯茉莉花瓣呈紫色的原因。这与 Bar-Akiva 等<sup>[10]</sup>对大花鸳鸯茉莉紫色花瓣研究结果一致。

从鸳鸯茉莉花瓣中均未检测到鸳鸯茉莉花瓣矢车菊素-3-葡萄糖苷、天竺葵素-3-氯化葡萄糖苷和芍药素葡萄糖苷。在开花初期,花瓣为紫色,含有 3 种花青苷,即锦葵色素-3-O-葡萄糖苷、矮牵牛素葡萄糖苷和飞燕草素葡萄糖苷,随着开花进程,紫色渐渐褪去,后期花瓣几乎退为白色,色谱图中只显示 Pt 和 Mv 两种花青苷,且整个过程中以 Mv 含量最多。因此鸳鸯茉莉花的呈色与 Mv、Pt 和 Dp 有关,且 Mv 起主导作用。

#### 参考文献

- [1] VAKNIN H, BAR-AKIVA A, OVADIA R, et al. Active anthocyanin degradation in *Brunfelsia calycina* (yesterday-today-tomorrow) flowers [J]. *Planta*, 2005, 222(1): 19–26. doi: 10.1007/s00425-005-1509-5.
- [2] CHEN X Q, GUO Z X, LIN L, et al. POD isozyme system optimization of *Brunfelsia acuminata* (Solanaceae) in different development stages [J]. *Chin J Trop Crops*, 2014, 35(8): 1510–1516. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2014.08.011.  
陈小琴, 郭志雄, 林琳, 等. 鸳鸯茉莉不同发育时期 POD 同工酶体系优化 [J]. *热带作物学报*, 2014, 35(8): 1510–1516. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2014.08.011.
- [3] ZHAI S H, ZOU X J, DING L, et al. Effect of different pruning

- treatments on florescence of *Brunfelsia latifolia* [J]. J Kunming Univ, 2014, 36(3): 61–63. doi: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2014.03.024.
- 翟书华, 邹晓菊, 丁丽, 等. 不同修剪措施对鸳鸯茉莉花期的影响 [J]. 昆明学院学报, 2014, 36(3): 61–63. doi: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2014.03.024.
- [4] de ROSAS I, PONCE M T, MALOVINI E, et al. Loss of anthocyanins and modification of the anthocyanin profiles in grape berries of Malbec and Bonarda grown under high temperature conditions [J]. Plant Sci, 2017, 258: 137–145. doi: 10.1016/j.plantsci.2017.01.015.
- [5] CAO Y T. Cloning the full length cDNA of anthocyanins biosynthesis key genes and *CHS* gene promoter from *Brunfelsia acuminata* flowers [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012: 1–82.
- 曹玉婷. 鸳鸯茉莉花瓣色素合成关键酶基因 cDNA 及 *CHS* 基因启动子的克隆 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 1–82.
- [6] CAO Y T, QIU D L. Cloning and sequence analysis of chalcone isomerase gene (*CHI*) from *Brunfelsia acuminata* flowers [J]. J Trop Subtrop Bot, 2012, 20(5): 475–481. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.05.008.
- 曹玉婷, 邱栋梁. 鸳鸯茉莉查尔酮异构酶基因(*CHI*) cDNA 的克隆与生物信息学分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(5): 475–481. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.05.008.
- [7] LI M, CAO Y T, YE S R, et al. Isolation of *CHS* gene from *Brunfelsia acuminata* flowers and its regulation in anthocyanin biosynthesis [J]. Molecules, 2017, 22(1): 44–53. doi: 10.3390/molecules22010044.
- [8] LI M, YE S R, QIU D L. Optimization of two-dimensional electrophoresis technology for *Brunfelsia acuminata* petals [J]. Subtrop Agric Res, 2015, 11(4): 262–266. doi: 10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2015.04.009.
- 李敏, 叶丝蕊, 邱栋梁. 鸳鸯茉莉花瓣蛋白质双向电泳技术的优化 [J]. 亚热带农业研究, 2015, 11(4): 262–266. doi:10.13321/j.cnki.subtrop.agric.res.2015.04.009.
- [9] YUAN Y, LIAN F Q. A preliminary study on the callus of *Brunfelsia latifolia* induced by different explants [J]. N Hort, 2010(1): 168–171.
- 袁媛, 连芳青. 鸳鸯茉莉不同外植体诱导愈伤组织研究初探 [J]. 北方园艺, 2010(1): 168–171.
- [10] BAR-AKIVA A, OVADIA R, ROGACHEV I, et al. Metabolic networking in *Brunfelsia calycina* petals after flower opening [J]. J Exp Bot, 2010, 61(5): 1393–1403. doi: 10.1093/jxb/erq008.
- [11] SIMÕES C, BIZARRI C H B, DA SILVA CORDEIRO L, et al. Anthocyanin production in callus cultures of *Cleome rosea*: Modulation by culture conditions and characterization of pigments by means of HPLC-DAD/ESIMS [J]. Plant Physiol Biochem, 2009, 47(10): 895–903. doi: 10.1016/j.plaphy.2009.06.005.
- [12] WEISS D, HALEVY A H. Stamens and gibberellin in the regulation of corolla pigmentation and growth in *Petunia hybrida* [J]. Planta, 1989, 179(1): 89–96. doi: 10.1007/BF00395775.
- [13] da FONSECA MACHADO A P, PEREIRA A L D, BARBERO G F, et al. Recovery of anthocyanins from residues of *Rubus fruticosus*, *Vaccinium myrtillus* and *Eugenia brasiliensis* by ultrasound assisted extraction, pressurized liquid extraction and their combination [J]. Food Chem, 2017, 231: 1–10. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.060.
- [14] WANG F, YANG S H, LIU X Y, et al. The diversity of petal colors and its relation to anthocyanins in *Rose germplasm*s [J]. Acta Hort Sin, 2017, 44(6): 1125–1134. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2016-0789.
- 王峰, 杨树华, 刘新艳, 等. 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. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2016-0789.
- [15] WANG L, LIU Y L, LOU Q, et al. Method development for the identification of anthocyanins in *Muscari latifolium* flower [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2017, 37(5): 1031–1037. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.05.1031.
- 王琳, 刘雅莉, 娄倩, 等. 葡萄风信子花青素苷分析方法建立及成分鉴定 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(5): 1031–1037. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.05.1031.
- [16] ZHANG J, WANG L S, GAO J M, et al. Identification of anthocyanins involving in petal coloration in *Chaenomeles speciosa* cultivars [J]. Acta Hort Sin, 2011, 38(3): 527–534.
- 张洁, 王亮生, 高锦明, 等. 贴梗海棠花青苷组成及其与花色的关系 [J]. 园艺学报, 2011, 38(3): 527–534.
- [17] SUN W, Li C H, WANG L S, et al. Anthocyanins present in flowers of *Senecio cruentus* with different colors [J]. Acta Hort Sin, 2009, 36(12): 1775–1782. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2009.12.011.
- 孙卫, 李崇晖, 王亮生, 等. 花青苷成分对瓜叶菊花色的影响 [J]. 园艺学报, 2009, 36(12): 1775–1782. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2009.12.011.