

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.01.004

几种忍冬属植物开花过程中花色和色素的变化

刘安成, 尉倩, 王峰伟, 柏国清,
王庆, 李淑娟, 李艳

陕西省西安植物园/陕西省植物研究所 陕西省植物资源保护与利用工程技术研究中心, 西安 710061

摘要: 以 5 种忍冬属藤本植物为试料, 研究其开花过程中花色及其有关色素的变化。试验结果表明, 在开花过程中, 各个种的花色变化明显, 花中有关色素的质量分数普遍发生明显的变化。忍冬花蕾初期叶绿素质量分数最高, 随着花朵发育, 叶绿素呈下降趋势; 各个种之间类胡萝卜素的变化无明显规律; 忍冬开花过程中在花朵中没有检测到花青苷, 火焰忍冬、贯月忍冬和台尔曼忍冬花朵红色主要是花青苷类物质的成色作用; 格雷姆忍冬的呈色主要为黄酮类物质的作用, 忍冬和火焰忍冬随着花蕾发育到开花过程中总黄酮和黄酮醇呈下降趋势, 贯月忍冬和台尔曼忍冬总黄酮和黄酮醇含量在开花过程中变化不明显。结果表明, 供试的 5 种忍冬属植物花中各色素组分的相对质量分数影响花的呈色。

关键词: 忍冬属; 花色; 叶绿素; 类胡萝卜素; 类黄酮

中图分类号: S685.99

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)01-0022-08

忍冬属(*Lonicera* Linn.)植物多为灌木、小乔木, 部分为藤本, 常绿或落叶, 约有 180 种, 主要分布在北非、亚洲、欧洲和北美地区。中国有忍冬属植物 57 种, 其中 23 种为中国特有种^[1]。在本属植物中, 忍冬(*L. japonica*)是中药金银花的药源植物; 灰毡毛忍冬(*L. macranthoides*)、菰腺忍冬(*L. rhytidophylla*)、华南忍冬(*L. confusa*)和黄褐毛忍冬(*L. fulvotomentosa*)是山银花的药源植物^[2]; 同时还有许多具有优良观赏价值的种类, 如贯月忍冬(*L. sempervirens*)和台尔曼忍冬(*L. ×tellmaniana*)等具有鲜艳的花色, 且花期较长, 可在园林绿化中广泛应用^[3]。

花色创新是花卉育种的重要内容^[4], 而色素分析和呈色机理研究是基础。Chavoanalikit 等^[5]和 Renáta 等^[6]测定蓝靛果忍冬(*L. caerulea* var. *kamtschatica*)果实类黄酮, 检测到 6 种花青素苷和 2 种黄酮醇; Jordheim 等^[7]在 7 种忍冬属植物的浆果中检测出 3 种花青苷; Yuan 等^[8]从红白忍冬(*L. japonica* var. *chinensis*)花蕾中检测到 8 种矢车菊素(Cyanidin)型花青苷; 付林江等^[9]测定了金银花(忍冬)花蕾与花朵中总黄酮、叶绿素和类胡萝卜素以及细胞液 pH 值, 并分析了花色变化的原因; 刘安成等^[10]对 5 种

收稿日期: 2019-01-07

基金项目: 陕西省农业科技创新与攻关项目(2016NY-022); 西安市农业科技创新工程项目(20193022YF010NS010)。

作者简介: 刘安成(1973-), 男, 副研究员, 主要从事观赏植物资源利用和育种研究。

忍冬属植物花朵中的花青苷成分进行了定性和定量分析,检测出4种花青苷。但对忍冬属植物的红色、黄色花朵的花色素组成和含量变化研究较少。本试验以忍冬属5种藤本植物为材料,研究其开花过程中的花色、色素组成及含量变化,探讨花色和色素组成在开花过程中的变化规律,为忍冬属植物花色育种及功能利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为忍冬(*L. japonica*)、火焰忍冬(*L. × heckrottii* Rehd. Huoyan)、贯月忍冬(*L. sempervirens*)、格雷姆忍冬(*L. periclymenum* L. Geleimu)和台尔曼忍冬(*L. × tellmanniana*)。采集不同材料不同开花阶段的花朵,分别进行花色测定和花色素的提取和测定。花期分为初蕾、中蕾、膨大、初花、末花5个阶段。其中,膨大期为花将开,白色花的蕾明显发白,红、黄色颜色发亮;初花期为花始开到完全开放,初花期很短,一般持续时间为2~3 d;当白色的忍冬花朵变为黄色,或其他颜色的花朵内瓣明显发生变化,即进入末花阶段,中间没有明显盛花表现症状。以忍冬为例,花冠白色为初花期,花冠黄色为末花期,不另分盛花期。

1.2 花色测定

取不同开花阶段的新鲜花蕾或花瓣,参照Li等^[11]方法,采用英国皇家园艺学会比色卡进行花色对比,并用分光色差仪进行明度 L^* 值、色相的 a^* 值、 b^* 值的测量。筒状花外瓣颜色测定花筒上部膨大部位或裂瓣的中部,内瓣花色测定裂瓣部位颜色。忍冬花初花期和末花期内外瓣颜色基本一致,故只测定其外瓣颜色。每个样本测5朵花,求平均值。彩度 C^* 值和色相角度 h 根据公式 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, $h = \arctan(b^* / a^*)$ 计算。花筒外侧颜色测定初蕾到末花5个阶段,内侧颜色测定初花和末花2个阶段,并分别进行 $p = 0.05$ 水平下的SNK检验。

1.3 类黄酮色素成分定量测定

1.3.1 色素成分提取

参考文献^[10, 12]进行色素成分提取,用移液器转出上清液后继续加入适量提取液重复浸提,混合浸提液,存于-20℃冰箱,供总花青苷、总黄酮的定性、定量分析。每个样本3次重复。

1.3.2 总花青苷(TA)含量的测定

将提取液经微孔滤膜(0.45 μm)过滤后进行测定。高效液相色谱系统和分析条件参照李崇辉等的方法^[12]。花青苷的检测波长为525 nm。流动相A为甲酸:水(10:90),B为甲醇:乙腈(85:15)。甲醇、乙腈为色谱级,水为双蒸水,甲酸为分析纯。线性梯度洗脱,通过跑样检测优化程序,最终确定洗脱程序为:0 min, 5%B; 20 min, 15%B; 25 min, 30%B; 35 min, 5%B。

采用标准品半定量法测定总花青苷的含量^[12-13]。标准品为锦葵素3,5-O-葡萄糖苷(malvidin-3,5-digluco-side, Mv3G5G),购于法国Extrasynthese公司。每个处理3个重复(下同)。

1.3.3 总黄酮、黄酮醇(TF)含量的测定

黄酮、黄酮醇的检测波长为350 nm。流动相A为甲酸:水(0.1:99.9),B为甲酸:乙腈(0.1:99.9)。线性梯度洗脱,程序如下:0 min, 8%B; 20 min, 30%B; 30 min, 8%B。其他色谱条件同1.3.2。标准品为芦丁(槲皮素-3-芸香糖苷),购自中国药品生物制品检定所。

1.3.4 辅助色素效应指数

辅助色素效应指数(CI)依据公式 $CI = TF/TA$ 计算^[12]。

1.4 叶绿素和类胡萝卜素含量的测定

1.4.1 提取方法

称取新鲜样本 0.5 g 左右,液氮研磨后加入 5 mL 配制的 80%丙酮水溶液,4 °C 避光浸提 24 h^[14],每隔 8 h 振荡 30 s,高速冷冻离心机离心 5 min(6 000 r/min, 4 °C),取上清液供分析用。

1.4.2 定量分析

UV-vis 双光束分光光度计(UV-4802, UNICO 公司),以 80%丙酮水溶液为空白,分别测定波长 663 nm、646 nm 和 470 nm 下吸光值。按照 Lichtenthaler^[15]方法计算叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的浓度(Ca、Cb、Cx·c, mg/L), Ca、Cb 之和为总叶绿素的浓度,最后根据下式分别求出花瓣中叶绿素和类胡萝卜素的总质量分数:色素的质量分数($\mu\text{g/g}$)=色素的浓度 \times 提取液体积 \times 1 000/样品鲜质量。

2 结果与分析

2.1 开花过程中的花色变化

试验结果看出,5 种忍冬属植物从蕾期到末花期花色变化明显。火焰忍冬由初蕾期的紫红色转为红色,明度 L^* 值增大,彩度 C^* 和色相 a^* 值变化保持一致;格雷姆忍冬初蕾期为绿色,随着花蕾膨大到开放由黄色变为金黄色,蕾期与花期,彩度 C^* 和色相 a^* 值、 b^* 值变化显著;贯月忍冬蕾期为紫色,开放后为红色,花瓣内部初花为黄色,到末花期转变为红色;忍冬初蕾绿色,随着花蕾膨大,绿色退掉而成白色,花后期由白色变为黄色;台尔曼忍冬花瓣外部各阶段彩度 C^* 和色相 b^* 值变化不显著,花初开时花瓣内部为橘黄色,到末期则颜色加深为橘红色,变化明显(表 1)。

表 1 不同忍冬在开花过程中的花色变化

品种	部位	花期	RHSCC	L^*	a^*	b^*	C^*	$h/0$		
火焰忍冬	花冠外侧	初蕾	59A	33.09 \pm 4.31a	4.06 \pm 4.39a	7.07 \pm 3.21bc	9.35 \pm 1.82a	1.06 \pm 0.57a		
		中蕾	61A	35.31 \pm 2.36a	14.75 \pm 4.95b	6.45 \pm 1.73a	16.10 \pm 4.36ab	0.41 \pm 0.19a		
		膨大	68A	46.52 \pm 4.86a	27.36 \pm 4.56c	3.63 \pm 1.73ab	27.60 \pm 4.43c	0.13 \pm 0.08a		
		初花	68B	55.22 \pm 3.99bc	18.37 \pm 7.88bc	9.48 \pm 3.48bc	20.67 \pm 5.50bc	0.48 \pm 0.31a		
		末花	68A	51.43 \pm 3.53c	20.70 \pm 6.99bc	12.50 \pm 2.58c	24.18 \pm 4.35c	0.54 \pm 0.26a		
	花冠内侧	初花	19B	70.08 \pm 0.84a	-7.48 \pm 0.66a	31.99 \pm 1.03a	32.85 \pm 0.96a	-1.34 \pm 0.02a		
		末花	13A	59.51 \pm 6.26b	-3.62 \pm 2.19b	38.64 \pm 4.61b	38.81 \pm 4.17b	-1.48 \pm 0.05b		
		格雷姆忍冬	花冠外侧	初蕾	142A	60.75 \pm 2.50a	-22.04 \pm 1.96a	40.14 \pm 2.14a	45.80 \pm 1.95ab	-1.07 \pm 0.05c
				中蕾	145B	66.36 \pm 1.26b	-13.57 \pm 6.01a	46.13 \pm 1.60b	48.08 \pm 2.99ab	-1.28 \pm 0.11b
				膨大	24A	71.70 \pm 4.14c	-1.90 \pm 1.43cd	51.50 \pm 4.98c	51.54 \pm 4.98b	-1.53 \pm 0.03a
初花	22A			70.23 \pm 3.25bc	2.08 \pm 1.48d	50.66 \pm 3.27c	50.70 \pm 3.21b	1.53 \pm 0.03d		
末花	15A			67.28 \pm 2.17bc	-4.55 \pm 1.52c	44.08 \pm 2.50ab	44.32 \pm 2.42a	-1.47 \pm 0.04a		
花冠内侧	初花	20A	68.63 \pm 1.26a	-3.28 \pm 0.46a	62.92 \pm 3.18a	63.01 \pm 3.15a	-1.52 \pm 0.01a			
	末花	13A	67.86 \pm 2.00a	-1.91 \pm 4.24a	59.54 \pm 1.42a	59.58 \pm 1.33a	-1.54 \pm 1.65a			
贯月忍冬	花冠外侧	初蕾	178B	36.97 \pm 3.31a	23.62 \pm 4.60a	12.57 \pm 2.75a	26.76 \pm 4.47a	0.49 \pm 0.11b		
		中蕾	179A	40.32 \pm 4.08a	35.09 \pm 4.69b	13.95 \pm 4.44a	37.77 \pm 5.64b	0.38 \pm 0.09a		

续表 1

品种	部位	花期	RHSCC	L^*	a^*	b^*	C^*	$h/0$
	膨大	初花	57A	48.41±2.79b	35.63±3.62b	22.98±1.73b	42.40±3.33b	0.57±0.05b
		初花	32A	46.01±2.75b	37.36±5.44b	21.65±2.50b	43.18±5.34b	0.53±0.06b
		末花	43A	39.43±2.41a	33.74±4.37a	15.92±1.38a	37.31±4.19b	0.44±0.05a
	花冠内侧	初花	23A	63.88±0.81a	7.18±3.92a	44.14±2.39a	44.72±2.25a	1.41±0.09a
		末花	33A	46.62±5.26b	24.07±7.61b	24.06±3.81b	34.03±6.00b	0.79±0.19b
忍冬	花冠外侧	初蕾	145A	43.30±3.37a	-9.84±2.00a	21.01±1.95a	23.20±2.47b	-1.13±0.05b
		中蕾	145C	46.91±3.82a	-10.16±3.54a	21.61±4.72a	23.88±5.55b	-1.13±0.08b
	膨大	145D	57.26±6.14b	-1.80±0.79b	14.78±2.13a	14.89±2.20a	-1.45±0.04a	
	初花	145D	77.08±1.98c	-9.80±1.36a	23.58±3.52b	25.54±3.73b	-1.18±0.02b	
	末花	11A	65.73±9.01d	-3.93±2.96b	37.30±6.75c	37.51±6.80c	-1.47±0.08a	
台尔曼忍冬	花冠外侧	初蕾	144B	45.48±10.07a	-2.64±4.66a	24.18±7.41a	24.32±7.63ab	-1.46±1.25a
		中蕾	171A	42.33±5.96a	7.07±3.50b	20.06±5.65a	21.27±5.53a	1.23±0.19b
		膨大	169A	46.92±6.26a	24.62±4.82c	22.95±6.48a	33.66±2.00b	0.75±0.23b
		初花	168A	43.25±4.43a	21.29±8.51c	16.97±1.80a	27.23±7.02ab	0.67±0.19b
		末花	23A	44.20±2.37a	23.88±3.89c	18.61±2.70a	30.28±4.19ab	0.66±0.08b
	花冠内侧	初花	170A	62.34±5.58a	1.26±2.09a	46.88±6.47a	46.90±6.43a	1.54±1.37a
		末花	25A	55.35±8.01b	7.87±5.48b	40.34±6.44b	41.10±5.98b	1.38±0.15a

注: RHSCC 表示皇家园艺比色卡比值, L^* 表示明度, a^* 表示色相 a^* 值, b^* 表示色相 b^* 值, C^* 表示彩度, $h/0$ 表示色相角。同一部位数据后不同大写字母表示差异在 1% 水平有统计学意义, 不同小写字母表示差异在 5% 水平有统计学意义。

2.2 不同忍冬开花过程中花色素的变化

2.2.1 叶绿素

试验结果看出, 所检 5 种忍冬属植物在开花过程中叶绿素 a、b 及总叶绿素质量分数都呈下降趋势。花蕾初期都含有较高的叶绿素, 忍冬总叶绿素质量分数最高, 为 101.84 $\mu\text{g/g}$, 火焰忍冬、格雷姆忍冬、贯月忍冬、台尔曼忍冬分别为 91.04 $\mu\text{g/g}$, 62.23 $\mu\text{g/g}$, 44.19 $\mu\text{g/g}$, 74.42 $\mu\text{g/g}$ 。忍冬初蕾明显呈现绿色, 火焰忍冬花蕾下半部呈现绿色, 而其他 3 种绿色不明显。随着花蕾膨大, 绿色消退, 转化为白色、黄色或者红色。蕾期各品种的叶绿素质量分数变化显著, 蕾膨大期和开花期基本保持稳定, 总叶绿素的质量分数与花蕾的绿色表现明显相关(图 1、图 2)。

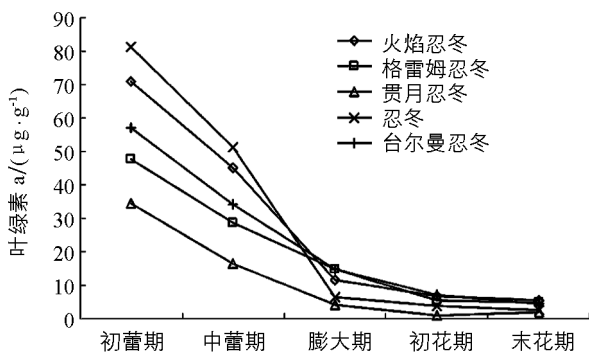


图 1 不同开花阶段叶绿素 a 质量分数变化

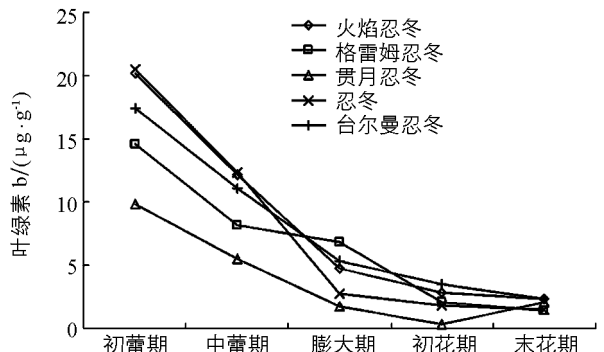


图 2 不同开花阶段叶绿素 b 质量分数变化

2.2.2 类胡萝卜素

忍冬和火焰忍冬初蕾期类胡萝卜素质量分数较高,分别为 26.10 $\mu\text{g/g}$ 和 19.33 $\mu\text{g/g}$,随着花蕾膨大到开花过程中呈先下降再增高趋势;贯月忍冬从蕾期到开花类胡萝卜素呈增加趋势,末花期达 37.43 $\mu\text{g/g}$;格雷姆忍冬花蕾和开放花朵中类胡萝卜素变化不显著;台尔曼忍冬初蕾期质量分数(23.25 $\mu\text{g/g}$)比其他阶段高.各个种之间的类胡萝卜素变化没有明显的规律(图 3).

2.2.3 总花青苷

贯月忍冬和火焰忍冬花都是红色,花青苷质量分数相对高于其他几种(图 4).贯月忍冬总花青苷从初蕾期到开花末期呈增加趋势,开花后期花冠筒内部及裂瓣内侧也呈现红色,花青苷质量分数达 0.57 mg/g ;火焰忍冬在中蕾期质量分数最高,为 0.36 mg/g ,该阶段花朵明显呈现紫红色,随着花朵开放,花青苷质量分数降低,花朵变为鲜艳红色;格雷姆忍冬总花青苷质量分数较低,与其在蕾膨大期带有明显红晕的变化趋势一致;忍冬花朵的各个开花阶段都未检出花青苷成分,与 Yuan 等^[11]的检测结果一致,总花青苷的质量分数变化趋势与前期检测^[10]一致.

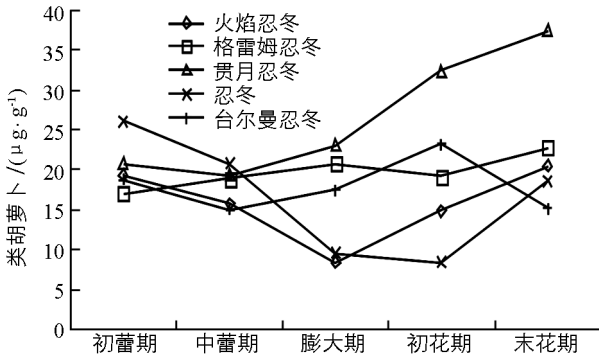
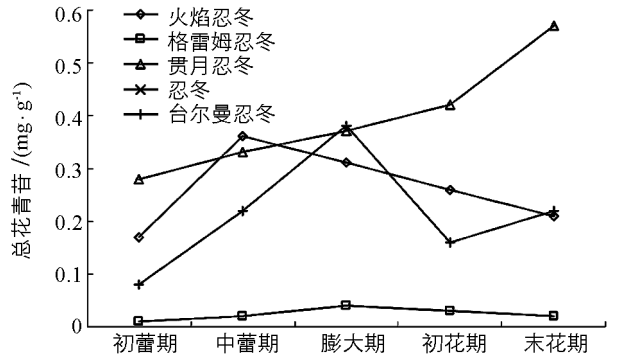


图 3 不同开花阶段类胡萝卜素质量分数变化



忍冬花朵中未检测到花青苷成分,故图中无其变化曲线.

图 4 不同开花阶段总花青苷质量分数变化

2.2.4 总黄酮、黄酮醇

忍冬和火焰忍冬随着花蕾发育到开花过程中总黄酮、黄酮醇(TF)含量呈下降趋势,贯月忍冬和台尔曼忍冬 TF 质量分数在开花过程中变化不明显,忍冬和台尔曼忍冬在初蕾期质量分数高,分别为 2.64 mg/g 和 2.36 mg/g ;格雷姆忍冬 TF 质量分数呈先升后降变化,在花蕾膨大期最高,为 3.09 mg/g (图 5).

2.2.5 辅助效应指数

辅助色素效应即花青苷与辅助色素结合而呈现的增色效应及红移^[16].在本试验中,火焰忍冬、格雷姆忍冬和台尔曼忍冬不同阶段花色辅助效应指数都大于 5,特别是格雷姆忍冬辅助色素效应指数明显高于其他种类,表明其呈色起决定性作用.忍冬因不含花青苷成分,故无辅助色素效应指数比值(图 6).

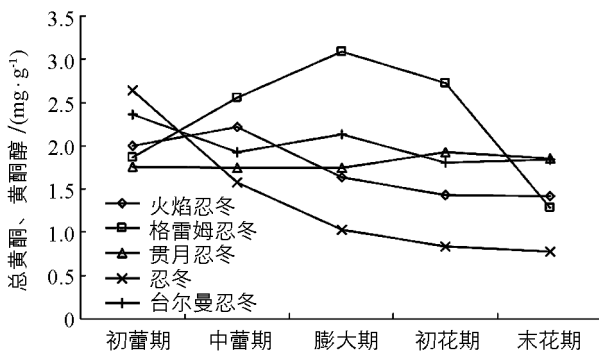
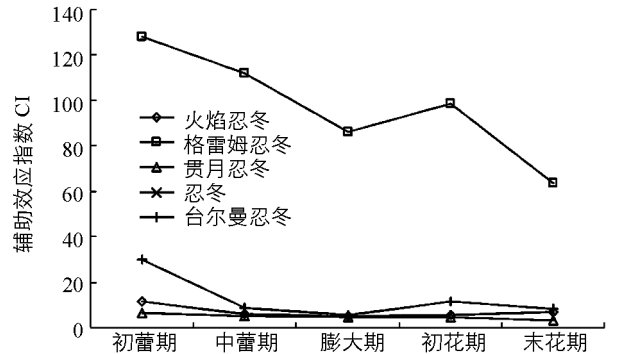


图 5 不同开花阶段总黄酮、黄酮醇质量分数变化



忍冬花朵中未检测到花青苷成分,故图中无辅助色素效应变化曲线.

图 6 不同开花阶段辅助效应指数变化

上述分析表明, 在开花过程中, 5 种忍冬属植物花色变化明显, 花中有关色素的质量分数普遍发生着明显变化, 说明花中各色素组分的相对含量影响花的呈色。

2.3 花色素与花色的关系

花瓣中的色素组成和含量是影响花色形成的基本因素。以叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、总黄酮、总花青苷的含量, 以花色的 L^* , a^* , b^* 和 C^* 等几个参数作为因变量, 通过多元线性逐步回归建立花色与各色素之间的回归方程, 探讨花色呈现的主要控制因子。

$$L^* = -0.0557TA - 0.326Ca + 69.454 \quad r = 0.877, p = 0$$

$$a^* = 0.084TA - 0.690Cb - 1.433 \quad r = 0.933, p < 0.01$$

$$b^* = -0.067TA + 0.652Cx \cdot c - 0.331Ca + 12.320TF \quad r = 0.875, p < 0.05$$

$$C^* = -0.325Ca + 12.213TF + 16.223 \quad r = 0.671, p < 0.01$$

由以上花色参数与色素组成之间的多元线性回归方程可以看出, 明度 L^* 与花青苷总含量和叶绿素 a 的含量呈负相关, 即这些组分含量越高, 花瓣的颜色越暗; 色相 a^* 值表示颜色由绿到红的变化, 花青苷含量增加, 颜色向红色相偏移, 叶绿素 b 的含量增加颜色向绿色相增加; 色相 b^* 表示颜色由蓝向黄的变化, 色相 b^* 值与总花青苷、叶绿素 a 负相关, 与类胡萝卜素和总黄酮和黄酮醇正相关; 彩度 C^* 表示颜色的艳丽程度, 与叶绿素 a 负相关, 与总黄酮和黄酮醇正相关。

3 讨 论

3.1 花色变化的主要原因

不同色素种类及其含量的时空组合最终决定花色, 但花色与花瓣所含色素的颜色并不完全相同。花色除了受花色素种类和含量影响外, 还受液泡的 pH 值、辅助着色、金属离子络合作用及花瓣表皮细胞的性状等共同作用^[17]。红色、蓝色、淡紫色主要由花青素决定, 花瓣的橙-红色系的呈色主要取决于花青素和类胡萝卜素的组成及比例^[18]。在本试验中, 5 种忍冬属植物在开花过程中, 色素含量在不同阶段发生了明显变化。叶绿素在初蕾期对花色起决定作用, 忍冬和格雷姆忍冬花蕾的绿色主要是叶绿素呈色, 随着花蕾膨大, 叶绿素含量迅速下降, 导致绿色减退。付林江等^[9]认为, 忍冬花朵开放后由白色转变为黄色主要是类胡萝卜素的含量增加, 本试验检测的忍冬初花期和末花期类胡萝卜素变化与此结论一致, 由此可以推定格雷姆忍冬盛花期、忍冬末花期类胡萝卜素对呈色贡献较大。贯月忍冬和火焰忍冬等红色系花朵中花青苷含量高, 也是呈现红色的主要物质基础。贯月忍冬总黄酮在盛花期含量最高, 忍冬和台尔曼忍冬在初花期含量高, 火焰忍冬的蕾期比开花后高, 而格雷姆忍冬总黄酮在蕾膨大期最高, 但随着花瓣的张开逐渐下降。格雷姆忍冬和台尔曼忍冬花色辅助效应指数都高于 5, 说明黄酮、黄酮醇的辅助色素效应显著^[12]。黄色花色素组成一般为类黄酮和类胡萝卜素^[19-20], 本试验中格雷姆忍冬的类黄酮和类胡萝卜素含量相对较高, 与此结论一致。本试验中的 5 种忍冬属植物随着花蕾膨大到开放, 亮度 L^* 值呈增加趋势, 原因之一是花朵在从蕾期到开放过程中, 花瓣面积的扩大速度比色素的合成速度要快, 也可能导致单位面积色素含量下降^[16]。

3.2 花色改良育种和功能利用

忍冬属植物不仅有供采摘花朵药用或茶用的忍冬栽培, 也有花色鲜艳的观赏种类在城市园林及庭院中应用, 且随着欧美一些优良观赏品种的引入, 观赏种类的应用越来越广泛。忍冬属植物花色相对单调, 培育不同花色和花型的新品种以丰富花色和提高观赏价值, 一直备受国内外研究者重视。金银花作为传统中药具有悠久历史, 同时也广泛应用于保健食品、凉茶等。通过进一步对同属其他种类植物花的活性成分、药理及毒性研究, 忍冬属植物在花茶和功能应用上可能更具开发潜力。

参考文献:

- [1] YANG Q E, SVEN L, JOANNA O, et al. Caprifoliaceae [M] // WU Z Y, RAVEN P H, HONG D Y. Flora of China; vol 19. Lentibulariaceae through Dipsacaceae. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2011: 620-641.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-三部 [M]. 2005 年版. 北京: 化学工业出版社, 2005: 30, 221.
- [3] 张金政, 梁松洁, 石 雷. 忍冬属藤本植物资源的栽培及应用 [J]. 中国园林, 2004, 20(5): 53-56.
- [4] NISHIHARA M, NAKATSUKA T. Genetic Engineering of Novel Flower Colors in Floricultural Plants: Recent Advances Via transgenic Approaches [M]// JAIN S M, OCHATT S J. Protocols for in Vitro Propagation of Ornamental Plants; vol 589. Methods in Molecular Biology. New York: Humana Press, 2010: 325-347.
- [5] ARUSA C, MAXINE M T, RONALD E W. Characterization and Quantification of Anthocyanins and Polyphenolics in Blue Honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52: 848-852.
- [6] MYJAVCOVÁ R, MARHOL P, KRÉN V, et al. Analysis of Anthocyanin Pigments in *Lonicera* (Caerulea) Extracts Using Chromatographic Fractionation Followed by Microcolumn Liquid Chromatography-mass Spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2010, 1217(51): 7932-7941.
- [7] JORDHEIM M, GISKE N H, ANDERSEN Ø M. Anthocyanins in Caprifoliaceae [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2007, 35(3): 153-159.
- [8] YUAN Y, YANG J, YU X D, et al. Anthocyanins from Buds of *Lonicera japonica* Thunb. Var. *Chinensis* (Wats.) Bak [J]. Food Research International, 2014, 62: 812-818.
- [9] 付林江, 李厚华, 李 玲, 等. 金银花花色变化原因分析 [J]. 林业科学, 2013, 49(10): 155-161.
- [10] 刘安成, 尉 倩, 王 庆, 等. 忍冬开花过程中花青苷组成及含量的变化 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 169-174.
- [11] LI J J, SAKATA Y, WANG L S, et al. Chemical Taxonomy of the Xibei Tree Peony from China by Floral Pigmentation [J]. Journal of Plant Research, 2004, 117(1): 47-55.
- [12] 李崇晖, 王亮生, 舒庆艳, 等. 迎红杜鹃花色色素组成及花色在开花过程中的变化 [J]. 园艺学报, 2008, 35(7): 1023-1030.
- [13] 张 洁, 李崇晖, 王亮生, 等. 植物花青苷液质联用方法的分析鉴定 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(3): 760-768.
- [14] COX K A, MCGHIE T K, WHITE A, et al. Skin Colour and Pigment Changes during Ripening of 'Hass' Avocado Fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 287-294.
- [15] LICHTENTHALER H K. Chlorophylls and Carotenoids; Pigments of Photosynthetic Biomembranes [J]. Methods in Enzymology, 1987: 350-382. DOI: 10. 1016/0076-6879(87)48036-1.
- [16] BROUILLARD R. The in Vivo Expression of Anthocyanin Colour in Plants [J]. Phytochemistry, 1983, 22(6): 1311-1323.
- [17] 安田齐. 花色之迷 [M]. 张承志, 佟 丽, 译. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [18] 张往祥, 裘 靓, 江志华, 等. 观赏海棠品种群开花进程中色素组分动态特征研究 [J]. 园艺学报, 2014, 41(6): 1145-1156.
- [19] IWASHINA T, KONTA F, KITAJIMA J. Anthocyanins and Flavonols of *Chimonanthus praecox* (Calycanthaceae) as Flower Pigments [J]. Journal of Japanese Botany, 2001, 76 (3): 166-172.
- [20] 白新祥, 胡 可, 戴思兰, 等. 不同花色菊花品种花色色素成分的初步分析 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 84-89.

Changes of Floral Color and Pigment Content During Flowering in Several Species of *Lonicera* L.

LIU An-cheng, YU Qian, WANG Feng-wei,
BAI Guo-qing, WANG Qing, LI Shu-juan, LI Yan

Shaanxi Engineering Research Centre for Conservation and Utilization of Botanical Resources,

Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province / Institute of Botany of Shaanxi Province, Xi'an 710061, China

Abstract: With 5 species of *Lonicera* Linn. as experiment materials, the changes in their floral color and pigment contents during the flowering stages were studied. The results showed that in the process of flowering, the changes in their floral color and pigment contents were obvious, and the mass fractions of the related pigments generally exhibited conspicuous changes. The mass fraction of chlorophyll in *L. japonica* was at the highest level at the initial budding stage, and decreased steadily with the process of flowering. No obvious regularity was observed in the changes in carotenoids among the species. No anthocyanins were detected during the flowering stage of *L. japonica*. The red pigments consisted mainly of anthocyanins in *L. ×heckrottii* Rehd. 'Huoyan', *L. sempervirens* and *L. ×tellingmanniana*. Flavone and flavonol were found to be mainly responsible for the coloration in *L. periclymenum* L. 'Geleimu'. Total flavone and flavonol were in decline from budding to blooming in *L. japonica* and *L. ×heckrottii* Rehd. 'Huoyan', and did not change significantly during flowering in *L. sempervirens* and *L. ×tellingmanniana*. In conclusion, the coloration of *Lonicera* flowers is conditioned by the relative mass fractions of various pigments in the 5 climbing honeysuckles.

Key words: *Lonicera*; floral color; chlorophyll; carotenoid; flavonoid

责任编辑 王新娟