

月季花发育过程中花色变化的生理生化研究

程 怡, 张云婷, 王清明, 马建伟, 张 勇*

(四川农业大学 园艺学院, 四川雅安 625014)

摘 要:以月季‘仙境’为材料, 观测其正面和反面花瓣在开花过程中 6 个阶段的颜色和其花色的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h^* 值变化, 花瓣组织结构, 以及 pH 值、花色苷含量、类黄酮含量、可溶性糖和可溶性蛋白含量, 探讨月季花色的呈色机理。结果显示: (1) 半开期时, 花瓣正面红色最深, 花色苷、类黄酮、可溶性糖含量最高, 而可溶性蛋白含量则在盛花期时达到最高。 (2) pH 值越小, 花瓣红色越深, 而且 pH 值小范围内的变动, 就能导致花色的改变。 (3) 花色苷大部分集中分布在上表皮, 并且上表皮呈圆锥形小突起、下表皮为扁平状, 故上表皮花色深于下表皮, 亮度小于下表皮。 (4) $a_{\text{正面}}^*$ 与 pH 值、花色苷和可溶性糖含量呈正相关关系; $a_{\text{反面}}^*$ 与 $L_{\text{正面}}^*$ 、 $L_{\text{反面}}^*$ 、 $b_{\text{反面}}^*$ 呈正相关关系; $L_{\text{正面}}^*$ 与 $b_{\text{正面}}^*$ 、 $L_{\text{反面}}^*$ 与 $b_{\text{反面}}^*$ 呈极显著负相关关系。 (5) 众多影响花色呈现的因素中, 正面(反面)花色主要是受到花色苷($L_{\text{反面}}^*$)的直接作用, 其他因素则通过影响花色苷($L_{\text{反面}}^*$)间接影响花色的呈现。

关键词: 月季; 花色; 色素分布; 生理生化指标

中图分类号: Q945.6⁺4 **文献标志码:** A

Correlation Analysis of Flower Color during Flower Development of *Rosa hybrida*

CHENG Yi, ZHANG Yunting, WANG Qingming, MA Jianwei, ZHANG Yong*

(College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: Floral color, petals structure, pH value, anthocyanin, flavonoid, soluble sugar and protein contents of *Rosa hybrida* were studied to explain the chromogenic mechanism of floral color. The floral color in different blooming stages was measured by the Royal Horticultural Society Color Chart(R. H. S. C. C.) and a CR-10 spectrophotometer. The results demonstrated that: (1) The anthocyanins content of petals was the highest before the flowers were completely in blooming, and the same time the color was the most strong. (2) The lower pH value, the darker flower red color. (3) Flower pigment mostly concentrated on the upper epidermis, the upper epidermis distribution of conical structure and the lower epidermis is flats lead to the color of upper epidermis stronger and the brightness is less than lower epidermis. (4) a_F^* and pH value, anthocyanin and soluble sugar, a_B^* and L_F^* , L_B^* , b_B^* are positively related; L_F^* and b_F^* , L_B^* and b_B^* are negatively related. (5) Among many factors influencing of color, front(bank) petal's color is directly controlled by anthocyanin(bank of L^*), other factors indirect influence of floral color by influencing the anthocyanin(bank of L^*).

Key words: *Rosa hybrida*; flowers color; pigment distribution; physiological and biochemical characteristics

花色是植物重要的观赏性状之一。月季的花色丰富, 分布和园林应用广泛, 是研究花色的良好材料。前人研究发现花色的最终呈现受到花色素的种类和含量、花瓣的组织结构、色素在花瓣中的分布、

收稿日期: 2013-11-18; 修改稿收到日期: 2014-03-20

基金项目: 四川省教育厅重点项目(12ZZ011); 四川农业大学学科建设‘双支计划’项目

作者简介: 程 怡(1989—), 女, 硕士, 主要从事观赏植物遗传育种研究。E-mail: 1007542113@qq.com

* 通信作者: 张 勇, 博士, 副教授, 主要从事园艺植物种质资源与遗传育种研究。E-mail: zhyong@sicau.edu.cn

细胞液的 pH 值、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、细胞液的胶体状态、色素与金属离子的结合形态等因素的影响^[1-2]。其中,花色苷的成分和含量是影响花色最重要的因素^[3-5]。短暂光照时间的提高、可溶性糖含量的增加以及可溶性蛋白含量的减少对花色苷的合成有明显的促进作用^[6-7]。花朵开放前,花瓣背面是观赏的主要部位,并且肉眼可分辨其与正面的色彩存在明显的差异。目前对于月季的研究大多集中在色素提取和性质^[8-10]以及基因工程和蓝色花的选育方面^[11-12]。有关影响月季花色苷的因素及其因素间的相互关系,以及背面花色的呈现机理未见报道。因此,深入研究月季在不同花期的正反面花色变化及其生理生化变化是丰富植物花色和通过基因工程改变花色必不可少的环节。

1 材料和方法

1.1 材料培养和样品采集

将 250 株月季,品种‘仙境’(粉红色)盆栽于四川农业大学内,培养基质为田园土和腐叶土按 1:1 的比例混合而成,2012 年依次采摘月季小蕾期、大蕾期、初开期、半开期、盛花期、衰败期 6 个时期的花朵^[13],将其迅速带回实验室,−80 °C 保存备用。

1.2 测定指标和方法

1.2.1 花色 采用英国皇家园艺协会比色卡(Royal Horticultural Society Color Chart, RHSCC)(R. H. S., 2001)和色差仪 CR-10(柯尼卡,日本)两种方法测定花色的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h^* 值。 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值使用国际照明委员会(CIE)系统进行分析。其中,当 L^* 值从 0 升至 100 时,表示亮度逐渐增加; a^* 值由小变大意味着绿色的减退,红色的增强; 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; C^* 表示色饱和度; h^* 为色相角。随机取 20 朵不同单株的花,用每朵花中间花瓣的中间部分对准色差仪的集光孔进行测量,每朵花重复 3 次,最后取平均值^[14-15]。

1.2.2 花瓣组织结构和色素分布 (1)花瓣表皮细胞的观察 取新鲜花瓣中间部位浸入水中,用毛刷轻轻地将上表面的蜡质层刷去,用尖头镊子撕去下(上)表皮,浸泡在水中 10 min,然后用刷子轻轻地将叶肉细胞刷去,只留下(下)表皮,制成临时装片在显微镜下观察拍照。

(2)花瓣横截面的观察 取新鲜花瓣中间部位,用徒手切片的方法得到花瓣纵切面,在显微镜下观察并拍照。

1.2.3 花瓣 pH 值 采用唐前瑞^[16]的方法,取 2 g 新鲜整片花瓣加 1 mL 双蒸水研磨(不加石英砂)成匀浆,用 PHS-3C+酸度计测定匀浆 pH 值,重复 3 次,取平均值。

1.2.4 花瓣花色素苷、类黄酮、可溶性糖、可溶性蛋白的含量 参照 Pirie^[17]的方法,将整片花瓣钻取 30 个小圆片,立即以含 1% HCl 的甲醇溶液提取,定容后,于 600 nm、530 nm(花色素苷)、325 nm(类黄酮)测定吸光度值 A_{600} 、 A_{530} 、 A_{325} 。以 $\Delta A_{530-600} = 0.1$ 作为一个花色素苷单位,类黄酮含量直接以 $A_{325} \cdot g^{-1}$ 表示^[18]。可溶性糖、可溶性蛋白的含量测定分别采用蒽酮比色法和考马斯亮蓝 G250 法^[19]。

1.3 数据分析

用 SAS 和 DPS 软件进行数据分析,Microsoft Excel 2007 进行计算分析并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 月季花色随开花时期的变化特征

由表 1 可知,月季正面花瓣在开放进程中,其花色 RHSCC 测定值从小蕾期 58B 变为半开期 N57A,红色逐渐增强;花色从盛花期开始变淡变蓝,衰败期 RHSCC 测定值为 N57A。花瓣正面 L^* 值从大蕾期到衰败期逐渐升高,且极显著差异($P < 0.01$)。在月季的整个开放进程中,花瓣正面 a^* 值和 C^* 值在小蕾期均最小,而半开期 a^* 值和 C^* 值均最大;与 a^* 值相对应的 b^* 值在月季的开花进程中则不断减小;衰败期蓝色表现最强,绿色居于第二,与肉眼观察的花瓣蓝化表现一致。色差角 C^* 值则没有表现出明显的变化规律。反面花瓣花色的 RHSCC 测定值、 a^* 值、 C^* 值在花瓣开放进程中变化均不明显,其 L^* 值从小蕾期到衰败期逐渐升高,且差异显著($P < 0.05$)。月季花瓣正面 L^* 值始终小于反面 L^* 值,从小蕾期到衰败期分别比反面 L^* 低 47.03%、54.26%、47.35%、44.21%、35.20%、30.77%。花瓣从开始着色到花色最艳,正面的 a^* 平均值从 35.43 增加到 78.91,变化幅度达到了 122.7%,比反面的变化幅度大 95.70%。反面 C^* 值同正面 C^* 值一样,在月季的开放进程中,也没有表现出明显的变化规律。

2.2 月季花瓣组织结构和色素分布特征

月季花瓣组织结构和色素分布如图 1 所示。花瓣组织结构从上至下依次为:上表皮、栅栏组织、海绵组织、下表皮(图 1, C)。上表皮呈现出很多圆锥形小突起(图 1, A),下表皮则表现出不规则的扁平

状(图 1,B)。色素绝大多数都集中分布在上表皮,栅栏组织的上部分也有少量的色素分布(图 1,C)。各个时期的色素分布情况均如上所述,花色苷含量多少在显微镜下不易分辨。

2.3 月季花瓣主要生理生化指标随生育期的变化特征

表 2 显示,月季花瓣 pH 值的变化分为两个阶段:从小蕾期到初开期,pH 值逐渐降低,花瓣颜色也逐渐变红;从半开期到衰败期,pH 值呈现逐渐上升的趋势,而花色也从盛开期开始变淡、变蓝;其中,花瓣 pH 值在大蕾期比前一个时期下降了 4.95%,而在衰败期比前一个时期显著上升了 7.17%。根据 2.1 的花色测定结果可知,这两个阶段花色也呈现肉眼可见的明显变化。

由表 2 可知,月季花瓣类黄酮含量随生育期呈先上升后下降的趋势,并在半开期达到最大值且显著高于其余时期,盛开期显著下降,衰败期又开始有所回升。花瓣开放前 4 个时期,花色素苷合成增加,

其含量逐渐增加并在半开期达到最大,为花朵的盛开积累花色苷,期间花瓣也由黄白色逐渐变为粉紫红色;随着花瓣的伸长,盛开期期花色素苷的含量开始下降,花瓣颜色也逐渐变淡。细胞中花色苷的合成必须有足够的含糖量,随着花朵开放,花瓣可溶性糖含量不断增高,亦在半开期达到最大,随后在盛开期含量开始缓慢下降,进入衰败期显著下降达到 25%。而花瓣可溶性蛋白含量的总体变化趋势与可溶性糖相反,随着花朵开放,可溶性蛋白含量在大蕾期、初开期分别大幅显著下降 56.94%和 20%,其后一直维持接近初开期的水平。可见,月季花瓣开放过程中,各生理指标的变化趋势不尽相同,其中类黄酮和可溶性糖含量与花色苷含量的变化趋势相同,与花色变化的关系较密切。

2.4 月季开放过程花色与其生理生化指标关系

2.4.1 简单相关分析 表 3 显示,月季花瓣正面所表现的红色与其 pH 值、花色苷、可溶性糖含量呈显著正相关和极显著正相关,而反面所表现的红色则

表 1 开花过程中不同阶段正反面花瓣的 CIE 测定值

Table 1 The CIE value changes of front and back petals during the blooming season

部位 Position	发育时期 Development stage	RHSCC	L*	a*	b*	C*	h*
正面 Front petals	小蕾期 Bud occurring colour stage	58B	35.43±4.94c	53.93±2.54d	8.43±2.69ab	54.64±3.51c	8.56±1.51cd
	大蕾期 Initial opening stage	53B	30.94±2.90c	75.04±2.28ab	14.46±1.53a	76.45±2.09a	10.9±1.51c
	初开期 Initial full opening stage	N57A	38.47±3.50bc	78.53±1.59a	9.97±2.63ab	79.54±3.44a	7.31±2.54cd
	半开期 Full opening stage	N57A	41.18±0.22bc	78.91±0.90a	4.8±0.96b	79.1±0.95a	3.45±1.08d
	盛开期 Final full opening stage	61C	49.21±1.26ab	71.2±1.32b	-5.67±1.87c	71.47±1.40a	355.27±1.86a
	衰败期 Wilting stage	N57C	52.98±1.82a	61.8±1.67d	-11.32±1.56c	64.08±1.74b	349.8±1.50b
反面 Back petals	小蕾期 Bud occurring colour stage	29D	66.89±2.80b	13.84±1.48a	10.06±2.40ab	17.64±2.33a	32.63±3.31ab
	大蕾期 Initial opening stage	49C	67.64±1.33b	14.63±1.04a	12.08±1.07a	19.02±080a	39.54±2.46a
	初开期 Initial full opening stage	56C	73.07±2.27ab	15.77±1.06a	6.17±2.12bc	17.09±1.36a	25.99±3.34b
	半开期 Full opening stage	65D	73.81±1.59ab	16.58±1.21a	5.41±1.43bc	17.48±1.13a	17.19±3.03c
	盛开期 Final full opening stage)	5D	75.94±1.25a	16.5±1.19a	3.44±0.98c	16.88±1.38a	11.56±2.81c
	衰败期 Wilting stage	69C	76.53±0.89a	17.15±0.38a	0.97±0.09c	17.17±0.34a	2.9±0.95d

注:数据表示平均数±标准差,n=5;同列不同小写字母代表多重比较 SNK 检验在 0.05 显著性水平下的差异显著;下同。

Note:Data showed mean±standard deviation n=5;The different normal letters in the same column show the significant differences among development stages at 0.05 level in SNK test. The same as below.

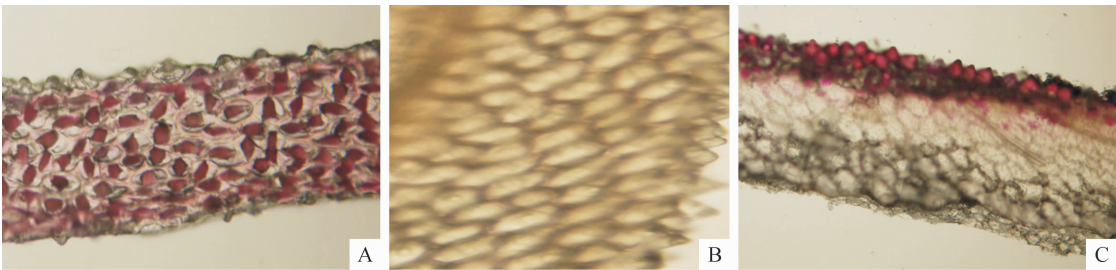


图 1 月季花瓣上表皮(A)、下表皮(B)、横截面(C)

Fig. 1 Cross-section of upper epidermis(A), lower epidermis(B) and petals(C)

表 2 开花过程中不同阶段花瓣 pH 及类黄酮、花色素苷、可溶性糖、可溶性蛋白含量
Table 2 The pH value, flavonoids, anthocyanins, soluble sugar and soluble protein
content changes during the blooming season of petals

发育时期 Development stage	pH	类黄酮 Flavonoids (U·g ⁻¹)	花色素苷 Anthocyanins (U·g ⁻¹)	可溶性糖 Soluble sugar (mg/g)	可溶性蛋白 Soluble protein (mg/g)
小蕾期 Bud occurring colour stage	4.65±0.03b	212.0±2.42c	70.1±2.73c	0.63±0.03c	2.09±0.07a
大蕾期 Initial opening stage	4.42±0.01c	229.1±1.11c	97.6±3.11ab	2.37±0.02b	0.90±0.02b
初开期 Initial full opening stage	4.41±0.01c	245.3±2.62b	110.3±4.23a	2.39±0.05b	0.72±0.02c
半开期 Full opening stage	4.42±0.01c	256.2±3.23a	112.4±2.26ab	2.41±0.03a	0.72±0.01c
盛开期 Final full opening stage	4.46±0.05c	230.8±1.70b	94.2±3.42ab	2.35±0.02a	0.78±0.02c
衰败期 Wilting stage	4.78±0.03a	240.1±3.50b	89.8±5.41b	1.77±0.04b	0.73±0.03c

表 3 月季开花过程中花色和生理生化指标间的相关性研究
Table 3 Correlation analysis among indicators during the blooming season of *Rosa hybrida*

指标 Index	L _F [*]	L _B [*]	a _F [*]	a _B [*]	b _F [*]	b _B [*]	pH	AN	FL	SS	SP
L _F [*]	1										
L _B [*]	0.90 [*]	1									
a _F [*]	-0.17	0.26	1								
a _B [*]	0.84 [*]	0.97 ^{**}	0.34	1							
b _F [*]	-0.98 ^{**}	-0.82 [*]	0.31	-0.76	1						
b _B [*]	-0.97 ^{**}	-0.96 ^{**}	-0.000 1	-0.91 ^{**}	0.91 [*]	1					
pH	0.49	0.13	-0.85 [*]	0.10	-0.60	-0.38	1				
AN	0.01	0.43	0.96 [*]	0.52	0.15	-0.21	-0.669	1			
FL	0.30	0.63	0.75	0.75	-0.16	-0.50	-0.35	0.90 ^{**}	1		
SS	0.11	0.47	0.93 ^{**}	0.55	-0.02	-0.22	-0.69	0.90 ^{**}	0.73	1	
SP	-0.42	-0.72	-0.77	-0.80	0.30	0.53	0.37	-0.83 [*]	-0.81	-0.92 [*]	1

注：* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关性显著。L_F^{*} (L_B^{*})、a_F^{*} (a_B^{*})、b_F^{*} (b_B^{*})、C_F^{*} (C_B^{*})、h_F^{*} (h_B^{*}) 分别代表正面(反面)颜色参数 L^{*}、a^{*}、b^{*}、C^{*}、h^{*}，AN、FL、SS、SP 分别表示花色素苷、类黄酮、可溶性糖和可溶性蛋白含量；下同。

Note: * and ** mean significant correlation at the 0.05 and 0.01 level, respectively; L_F^{*} (L_B^{*}), a_F^{*} (a_B^{*}), b_F^{*} (b_B^{*}), C_F^{*} (C_B^{*}), h_F^{*} (h_B^{*}) stand for front(back) indexes of L^{*}, a^{*}, b^{*}, C^{*}, h^{*}, while AN, FL, SS, SP stand for contents of anthocyanins, flavonoids, soluble sugar and soluble protein, respectively. The same as below.

与正面 L^{*} 值、反面 L^{*} 值、反面 b^{*} 值呈显著和极显著正相关；此外，月季花瓣正面 L^{*} 值与正面 b^{*} 值、反面 L^{*} 值与反面 b^{*} 值呈极显著负相关。

2.4.2 逐步回归分析 本实验使用 SAS 软件对各实验数据进行逐步回归分析，拟从各生理生化指标中找到对花色(a^{*})影响最显著的因子。在 5% 的显著水平下，逐个淘汰不显著的自变量，选出偏回归系数达到显著或极显著水平的因子，进入花色的回归方程(表 4)。由表 4 可知，花瓣正面 a^{*} 的逐步回归方程中，保留了花色素苷和类黄酮两个因子，其余因子全部被剔除；花瓣反面 a^{*} 的逐步回归方程中，只保留了正面 L^{*} 1 个因子。

2.4.3 通径分析 在逐步回归方程中，有与花色呈现表现出极显著相关的因素被剔除了，说明各因素之间相互影响、相互制约，共同影响花色呈现。因此，本实验进一步使用通径分析方法来探讨各影响

表 4 月季开花过程中以上各指标与花色的逐步回归分析
Table 4 Stepwise regression analysis between above indicators and floral color during the blooming season of *R. hybrida*

部位 Position	逐步回归方程 Stepwise regression equation	F 值 F value	复相关系数 Multiple correlation coefficient
正面 Front petals	a [*] = 71.913 75 + 0.989 24A - 0.410 54B	135.18	0.989
反面 Back petals	a [*] = -5.926 85 + 0.299 69C	63.63	0.9409

注：A 为花色素苷含量；B 为类黄酮含量；C 为反面 L^{*}。
Note: A refers to anthocyanins; B refers to flavonoids; C refers to L^{*} of back petals.

因素是如何协同影响花色的呈现(表 5、6)。
正面 a^{*} (反面 a^{*}) 与各指标间的线性关系极显著，表明用各指标与正面 a^{*} (反面 a^{*}) 间的线性回归方程来估测正面 a^{*} (反面 a^{*}) 是可靠的。各影响

表 5 月季开花过程中以上各指标与正面花色的通径分析

Table 5 Path analysis between above indicators and front petals color during the blooming season of *R. hybrida*

指标 Index	直接和间接作用 Direct and indirect effect										间接作用总量 Total capacity of indirect effect	相关系数 Correlation coefficients
	L _F *	L _B *	a _B *	b _F *	b _B *	AN	pH	FL	SS	SP		
L _F *	0.727 9	-0.670 7	0.347	-0.263 1	-0.130 8	0.009 7	-0.246 1	-0.104 2	-0.045 4	0.210 4	-0.893 21	-0.165 31
L _B *	0.658 9	-0.740 9	0.398 4	-0.218 8	-0.130 1	0.412 8	-0.064 5	-0.219 5	-0.202	0.362 3	0.997 6	0.256 76
a _B *	0.615	-0.718 6	0.410 7	-0.204 1	-0.123 7	0.507 5	-0.049 9	-0.259 5	-0.235 6	0.402 7	-0.066 3	0.344 38
b _F *	-0.714 6	0.604 7	-0.312 8	0.268	0.122 6	0.141 7	0.141 7	0.302	-0.006 7	-0.152 6	0.039 8	0.307 77
b _B *	-0.703 7	0.712 3	-0.375 5	0.242 8	0.135 3	-0.201 9	-0.201 9	0.189 8	0.093 5	-0.265 9	-0.135 4	-0.000 12
AN	0.007 3	-0.316 3	0.215 6	0.039 3	-0.028 2	-0.504 7	0.348	-0.313 6	-0.384 3	0.422 5	-0.346 3	-0.850 98 *
pH	0.355	-0.094 6	0.040 6	-0.160 4	-0.050 9	-0.666 7	0.966 8	0.120 5	0.295 1	-0.184 9	-0.009 7	-0.957 07 * *
FL	0.218	-0.467 2	0.306 1	-0.042 8	-0.067 3	0.871	0.174 6	-0.348 1	-0.311 9	0.412 6	0.109 31	0.745 0
SS	0.077 4	-0.350 6	0.226 7	0.004 2	-0.03	0.870 5	0.348 9	-0.254 4	-0.426 8	0.465 9	1.359	0.932 2 * *
SP	-0.302 4	0.53	-0.326 6	0.080 8	0.071	-0.806 6	-0.184 2	0.283 6	0.392 7	-0.506 4	-0.268 1	-0.7682 4

注:黑体数字表示直接作用,其余为间接作用;下同。
Note:Bold figures show that the direct effect,and the rest to indirect effect;The same as below.

表 6 月季开花过程中以上各指标与反面花色的通径分析

Table 6 Path analysis between above indicators and bank petals color during the blooming season of *R. hybrida*

指标 Index	直接和间接作用 Direct and indirect effect										间接作用总量 Total capacity of indirect effect	相关系数 Correlation coefficients
	L _F *	L _B *	a _F *	b _F *	b _B *	pH	AN	FL	SS	SP		
L _F *	29.765 3	-45.470 8	-2.262 4	2.820 5	18.879 3	-1.447 8	0.186	-3.171 2	-1.419 8	2.965 6	-28.920 4	0.844 87 *
L _B *	26.945 6	-50.229	3.514	2.344 9	18.775	-0.379 1	7.892 7	-6.678 6	-6.321 2	5.105 7	51.198 9	0.969 98 * *
a _F *	-4.920 5	-12.896 8	13.685 8	-0.884 2	0.002 3	2.526	17.691 8	-7.889 6	-12.453 3	5.483 2	-13.341 4	0.344 38
b _F *	-29.223	40.998 4	4.212 1	-2.872 8	-17.692 1	1.776 2	2.708 7	1.692 2	-0.21	-2.151	2.111 1	-0.761 68
b _B *	-28.775	48.289 7	-0.001 6	-2.602 6	-19.529	1.116 3	-3.858 8	5.266 5	2.927 9	-3.747 5	18.614 9	-0.914 33 *
AN	14.517 4	-6.415 2	-11.646 3	1.719	7.344 3	-2.968 4	-12.747 7	3.664 6	9.236 3	-2.605 5	3.067 2	0.098 85
pH	0.299 4	-21.446 3	13.098 3	-0.421	4.076 7	2.047	18.485 4	-9.541 1	-12.027 9	5.954 8	-17.960 5	0.524 9
FL	8.913 2	-31.676 9	10.195 9	0.459	9.712	1.027 2	16.654 4	-10.59	-9.763 6	5.814 5	11.335 5	0.745 41
SS	3.163 5	-23.767 4	12.757 9	-0.045 2	4.280 2	2.052 3	16.643 5	-7.739 8	-13.359	6.566 6	13.911 5	0.552 04
SP	-12.367 5	35.931 3	-10.514	-0.865 8	-10.253 7	-1.083 6	-15.422 6	8.627 1	12.290 5	-7.137 4	6.342 3	-0.7950 9

因素中,花色素苷的含量、pH 和可溶性蛋白的含量对正面 a* 有很大的直接作用。由表 5、6 可得知,可溶性糖对正面花色的呈现有极重要的间接作用。

3 讨 论

结合色差仪和比色卡测色可以更客观快捷地了解花色变化,避免了传统目测的主观性,是目前世界上关于花瓣色彩测定的一种新型的、科学的判定方法^[20]。反面 a* 值与正面 L* 值、反面 L* 值、反面 b* 值呈显著和极显著正相关,与其他指标没有明显的线性关系。并且在逐步回归方程中,反面 a* 值只与反面 L* 有关。故推断:反面所表现的红色是花瓣正面的色彩在光线以及花瓣组织结构共同作用下而表现出来的。花瓣反面的颜色变化规律虽然基本和正面一致,但是盛花期红色减退后,衰败期的红色却强于盛花期。可能是反面的红色是正面的红色

通过光的折射作用而表现出的颜色,到了衰败期,花瓣内含物减少,正面亮度增加,增加了入射光从而使得红色加深。花色偏紫或偏蓝的品种,其花瓣表皮的 pH 值偏高^[21]。月季进入衰败期后,产生明显的蓝化现象,但其 pH 值较之前一时期只增加了不到 0.3。说明 pH 值小范围的变动,就能导致花色改变。

花瓣表皮细胞的形状会对花色的形成产生很大的影响,圆锥型突起的花瓣细胞可以吸收较多的光线,从而使花色加深;下表皮通常为扁平状,这种扁平的细胞能更多地反射入射光使花色变浅^[22]。陈建^[23]研究认为非洲菊花瓣上表皮细胞的不规则凸起降低了花瓣亮度;下表皮细胞无凸起或凸起幅度小,使得亮度有很大的提高。花瓣上表皮的圆锥形结构使得花瓣表面反射光,表面反射对花色的影响随着色素含量的增加而增大^[24]。在本实验中亮度和花青素含量之间没有明显的线性关系,但根据上

述理论,当花青素含量越高时,由于月季花瓣的“突起”结构降低了花瓣亮度。加之色素绝大多数都集中分布在上表皮,导致了月季花瓣上表皮的花色明显比下表皮深,并且下表皮的亮度明显高于上表皮。

通过简单相关性分析可知,显著影响正面花瓣呈色的因素有花色素苷含量、可溶性糖含量和 pH 值。张超等^[3]认为花色素苷含量的高低影响着花色红色度的深浅,而类黄酮的含量则与其共同影响着彩色度的变化。张洁^[25]也认为贴梗海棠中的 3 种主要色素含量的增加导致了颜色显著变红。本实验通过通径分析发现,各影响花色呈现的因素中,花色素苷的含量对正面 a^* 的决定程度为 0.934 7,极显著高于其他性状对正面 a^* 的直接作用,是影响花瓣呈色最重要的因素。可溶性糖含量在开花过程中的增加对花色素苷的合成有极显著的促进作用,从而在花色呈现中表现出极大的间接作用。pH 值与花色

素苷含量虽然没有明显的线性关系,但是其在不同时期的变化影响了花色素苷的稳定性,从而改变花色。在开花过程中类黄酮的含量对花色呈现的直接作用和间接作用均不明显,但在逐步回归方程中,类黄酮的含量是影响花色呈现的重要因素,通过简单相关性分析可知,其与花色素苷含量呈极显著相关。则本实验认为,不同时期花色变化是由花色素苷含量控制的,而可溶性糖、类黄酮含量影响花色素苷的合成,pH 值在很大程度上影响了花色素苷的稳定性。同理,反面 L^* 是影响反面花色呈现的最重要性状。同时,正面 L^* 、正面 b^* 和反面 b^* 通过对反面 L^* 的影响,间接影响反面花色的呈现。综上所述,众多影响花色呈现的因素中,正面(反面)花色主要是受到花色素苷(反面 L^*)的直接作用,其他因素则通过影响花色素苷(反面 L^*)的合成,间接影响花色的呈现。

参考文献:

- [1] PAECH K. Colour development in flowers[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1955, 6: 273—298.
- [2] MOL J, CORNISH E, MASON J. Novel coloured flowers[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 1999, 10(2): 198—201.
- [3] ZHANG CH(张超), CHEN G(陈光), LI Y H(李彦慧). Physiological and biochemical mechanism of flower color variation during flowering season in *Yulania × soulangeana*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2012, 32(4): 716—721(in Chinese).
- [4] GE Y X(葛雨萱), WANG L SH(王亮生), XU Y J(徐彦军), et al. Flower color, pigment composition and their changes during flowering in *Chinonanthes praecox* Link[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2008, 35(9): 1 331—1 338(in Chinese).
- [5] LI CH H(李崇晖), WANG L SH(王亮生), SHU Q Y(舒庆艳), et al. Pigments composition of petals and floral color change during the blooming period in *Rhododendron mucronulatum*[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2008, 35(7): 1 023—1 030(in Chinese).
- [6] HE Y Q(贺窑青), MA L Y(马履一), SANG Z Y(桑子阳). Preliminary study on formation of flower color in *Magnolia wufengensis*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2010, 30(11): 2 252—2 257(in Chinese).
- [7] MENG X CH(孟祥春), PENG J Z(彭建宗), WANG X Q(王小菁). Anthocyanin accumulation and CHS, DFR gene expression regulated by light and sugar in *Gerbera hybrida* Ray Floret[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2007, 34(1): 227—230(in Chinese).
- [8] WANG L L(王岚岚), ZHU ZH L(朱志玲). Extraction and characterization of monthly rosette red pigment[J]. *Food Engineering* (食品工程), 2007, 4: 46—60(in Chinese).
- [9] ZHAO Y G(赵永光), CHANG L X(常丽新), LIU H M(刘红梅), et al. Study on extraction technology of Chinese rose flower red pigment[J]. *Food Engineering* (食品工程), 2008, 29(12): 342—345(in Chinese).
- [10] LIU J J(刘健君), LIN P(林萍). Research advances in natural red pigment from carnation and rose[J]. *South China Agriculture* (南方农业), 2010, 4(2): 42—44(in Chinese).
- [11] GAR O, DANIEL J, SARGENT, et al. An autotetraploid linkage map of rose (*Rose hybrida*) validated using the strawberry (*Fragaria vesca*) genome sequence[J]. *PLoS One*, 2011, 6(5): 1—13.
- [12] KATSUMOTO Y, FUKUCHI-MIZUTANI M, FUKUI Y. Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2007, 48(11): 1 589—1 600.
- [13] SHI G A(史国安), GUO X F(郭香凤), BAO M ZH(包满珠). Correlation analysis of lipid peroxidation metabolism during florescence and flower senescence of peony[J]. *Journal of Northwest A&F University* (Nat. Sci. Edi.) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2008, 36(8): 183—189(in Chinese).
- [14] UDDIN AFMJ, HASHIMOTO F, MIWA T, et al. Seasonal variation in pigmentation and anthocyanidin phenetics in commercial *Eustoma* flowers[J]. *Scientia Horticulturea*, 2004, 100(1—4): 103—115.
- [15] BYAMUKAMA R, JORDHEIM M, KIREMIRE B, et al. Anthocyanins from flowers of *Hippeastrum cultivars*[J]. *Scientia Horticulturea*, 2006, 109(3): 262—266.

- [16] 唐前瑞. 红继木遗传多样性及其叶色变化的生理生化研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2001.
- [17] PIRIE A, MULLINS M G. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic acid[J]. *Plant Physiol.*, 1976, **58**(4):468—472.
- [18] LIN ZH F(林植芳), LI SH SH(李双顺), ZHANG D L(张东林), *et al.* The changes of pigments, phenolics contents and activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia-lyase in pericarp of postharvest litchi fruit[J]. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), 1988, **30**(1):40—45(in Chinese).
- [19] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003:61—65.
- [20] HASHIMOTO F, TANAKA M, MAEDA H, *et al.* Characterization of cyanic flower color of *Delphinium* cultivars[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2000, **69**(4):428—434.
- [21] 白新祥. 菊花花色形成的表型分析[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [22] LIU SH Q(刘石泉), YU Q B(余庆波), LI X J(李小军), *et al.* Advance in genetic engineering of ornamental plant flower color[J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*(贵州林业科技), 2004, **32**(2):14—18(in Chinese).
- [23] CHEN J(陈 建), LÜ CH P(吕长平), CHEN J T(陈景甜), *et al.* Components of flower pigments in the petals of different color *Gerbera jamesonii*[J]. *Journal of Hunan Agricultural University*(Nat. Sci. Edi.) (湖南农业大学学报·自然科学版), 2009, **35**(1):73—76(in Chinese).
- [24] 安田齐. 花色的生理生物化学[M]. 傅玉兰, 译. 北京:中国林业出版社,1989:215—219.
- [25] ZHANG J(张 洁), WANG L SH(王亮生), GAO J M(高锦明), *et al.* Identification of anthocyanins involving in petal coloration in *Chaenomeles speciosa* cultivars[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报), 2011, **38**(3):527—534(in Chinese).

《西北植物学报》2013 年刊载论文第一作者信息统计

《西北植物学报》2013 年第 1~12 期共发表论文 370 篇(含英文论文 9 篇)。从刊载论文第一作者信息统计看,具有博士和硕士学位(含在读博士)的共 198 人,占 53.5%,具有中级以上职称 130 人,占 35.1%,其中具有副高以上职称的 72 人,占 19.5%;从论文研究单位看,主要来源于大学(299 篇,占 80.8%)和研究所(70 篇,占 18.9%,其中中国科学院系统 18 篇,占 4.9%);从年龄方面看,第一作者中 30 岁以上的占 42.4%。由此可以看出,《西北植物学报》2013 年度刊发的论文作者具有厚实的学术研究底蕴,研究单位也具有可靠的条件支持,为保证研究论文的质量和水平以及创新性奠定了良好的基础。具体统计结果如下:

1. 第一作者学位状况

博士 93 人(其中博士后 2 人),占 25.1%;在读博士 49 人,占 13.2%;硕士 56 人,占 15.1%;在读硕士 144 人,占 38.9%。

2. 第一作者职称状况

正高 14 人,占 3.8%;副高 58 人,占 15.7%;中级 58 人,占 15.7%;具有副高以上职称的通信作者共 193 人。第一作者中在读博士和硕士研究生的导师(通信作者)承担着对论文选题、实验设计、实验条件(包括经费)保障、具体实验指导等一系列工作,并对论文负有全部解释的责任,所以这部分论文的实质性作者应为研究生导师——通信作者。

3. 第一作者单位分布状况

大学 299 人,占 80.8%;研究所 70 人,占 18.9%(其中中科院研究所 18 人,占 4.9%)。

4. 第一作者年龄结构

30 岁以下的 213 人,占 57.6%;30~40 岁的有 118,占 31.9%;40 岁以上的 39 人,占 10.5%。

5. 第一作者地区分布状况

西北地区 106 篇,占 28.65%;西南地区 55 篇,占 14.8%;华北、东北地区 82 篇,占 22.2%;华东、华中、华南地区 106 篇,占 28.65%。

(裴阿卫 供稿)