

小苍兰花色色素成分及稳定性分析

钟淮钦, 陈源泉, 黄敏玲*, 林兵, 叶秀仙, 吴建设

(福建省农业科学院作物研究所, 花卉研究中心, 农业部闽台农作物种质资源重点开放实验室,
福建省特色花卉工程技术研究中心, 福州 350013)

摘要:以小苍兰(*Freesia refracta*)16个不同花色品种及后代为试验材料,对花瓣色素用特征显色反应和紫外-可见光谱扫描,分析其色素的成分和花色苷的稳定性。结果表明,小苍兰花色的色素属于类黄酮化合物,含黄酮和花色苷类物质,可能含有异黄酮,不含黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇、查耳酮和橙酮,其中黄色系品种及后代还含有类胡萝卜素。避光下小苍兰花色苷的稳定性要强于光照;温度对花瓣色素的稳定性有一定的影响。

关键词:小苍兰; 花色素; 成分; 类黄酮; 稳定性

中图分类号: Q946.836

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)06-0571-07

The Component and Stability of Anthocyanidins in Petals of *Freesia refracta* Cultivars

ZHONG Huai-qin, CHEN Yuan-quan, HUANG Min-ling*, LIN Bing, YE Xiu-xian, WU Jian-she

(Institute of Crop sciences, Fujian Academy of Agriculture Science, Flowers Research Center, Fujian Academy of
Agricultural Science, Key Laboratory of Crop Germplasm Utilization Between Fujian and Taiwan, Ministry of Agriculture,
Fujian Engineering Research Center for Characteristic Floriculture, Fuzhou 350013, China)

Abstract: The component and stability of anthocyanidins in petals of sixteen *Freesia refracta* cultivars were analyzed by the specific color reactions and UV-visible spectrum. The results showed that the petal anthocyanidins in all cultivars belonged to flavonoids, including flavones, anthocyanins substance, and might contain isoflavones, but no flavonols, flavanones, flavanonols, chalcones and aurones. The cultivar of yellow petals lines also contained carotenoids. The anthocyanins under dark were more stable than that under light. And there were some effects of temperature on the stability of petal anthocyanidins.

Key words: *Freesia refracta*; Anthocyanidins; Component; Flavonoids; Stability

小苍兰(*Freesia refracta*)又名香雪兰,是鸢尾科(Iridaceae)香雪兰属的多年生球根花卉。小苍兰花色丰富、花形奇特、香气浓郁,为世界十大切花之一^[1]。花色是小苍兰最主要的观赏性状之一,随着育种技术的不断发展,小苍兰的花色越来越丰富。但目前对小苍兰花瓣中色素成分的研究报道比较少。

花色素(Anthocyanidins)是自然界一类广泛存在于植物中的水溶性天然色素,是植物花色形成的物质基础^[2]。植物花色是多种因子协同作用的结

果,但根本上是特定色素存在花瓣细胞中^[3-4]。随着技术的不断创新,对观赏植物花色成分的分析也越来越系统。Anderson等^[5]、Kishimoto等^[6]和白新祥等^[7]对菊花(*Dendranthema morifolium*)色素种类成分进行分析、分离和鉴定;赵昶灵等^[8]、周明芹等^[9]和曹建军等^[10]分别研究了梅花(*Prunus mume*)、腊梅(*Chimonanthus praecox*)和欧报春(*Primula vulgaris*)不同花色的色素类型;王长泉等^[11]、张圆圆等^[12]和李崇晖等^[13]采用HPLC和质谱(MS)技术分析了一品红(*Euphorbia pulcherrima*)、观赏向日葵

收稿日期:2008-12-16 接受日期:2009-04-12

基金项目:国家科技支撑计划课题(2007BAD07B03);福建省林业重大专项(2006NZ001-3);福建省财政专项——福建省农业科学院科技创新团队建设基金项目(STIF-Y06)资助

* 通讯作者 Corresponding author

(*Helianthus annuus*)、迎红杜鹃(*Rhododendron mucronulatum*)的花色素组成,为研究花色素的合成调控、生物功能及进一步进行花色改良奠定基础。在花色素稳定性方面已有不少研究报道,果秀敏等^[14]、雷然等^[15]探讨了影响新几内亚凤仙(*Impatiens hawkeri*)、勿忘我(*Limonium sinuatum*)花色素性质的因子,为开发利用天然色素资源提供了参考。

本研究以小苍兰不同花色品种及部分杂交后代为材料,采用特征显色反应、紫外-可见光谱扫描等方法对花色素的成分和稳定性进行分析,为进一步开展小苍兰花色形成的生理生化与分子机理研究奠定基础,为小苍兰品种分类、杂种鉴定、色素化合物的分离和结构鉴定以及小苍兰品种的花色改良提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以小苍兰(*Freesia refracta*)白色系(W₁、W₂)、黄色系(Y₁、G₁、Q₂)、紫色系(B₁、B₂)、红色系(R₁、R₂)、粉红色系(P₁、P₂、P_v)12个花色品种及4个杂交后代(紫玉、金童、吉星和红阳)为材料,均种植于福建省农业科学院花卉研究中心。在盛花期,于晴天早晨剪下刚盛开的花朵,装入封口袋,立刻置于-70℃冻存备用。

1.2 色素提取

取花瓣1 g于液氮下研磨,以1%盐酸甲醇(色谱纯)溶液20 mL于4℃浸提24 h,提取液用0.45 μm的有机滤膜过滤定容至25 mL,过滤液于-20℃保存备用。

1.3 特征颜色反应

用不锈钢镊子拔下舌状花瓣0.1 g,分别加入5 mL石油醚、10.0%盐酸和30.0%氨水,迅速研磨至匀浆,过滤,取提取液,进行颜色反应^[2,16-17]:(1)盐酸-镁(锌)粉反应:取2 mL样品的甲醇溶液,加少许镁(锌)粉振荡,再滴加几滴浓盐酸,静置1 h;(2)硼氢化钠反应:在待测试样的甲醇溶液中,加入等量的2%硼氢化钠甲醇溶液,1 min后,滴加浓盐酸或浓硫酸数滴;(3)三氯化铝反应:加1.0% AlCl₃·6H₂O甲醇溶液1 mL。静置3 min;(4)三氯化铁反应:加2 mL 5.0% FeCl₃·6H₂O;(5)醋酸铅反应:加2 mL 1.0% Pb(CH₃COO)₂·3H₂O,摇匀,静置2 h;(6)硼酸反

应:加400 μL 1.0% H₂C₂O₄·2H₂O,再加3 mL 2.0% H₃BO₃;(7)碱性试剂反应:加3 mL 5% Na₂CO₃,摇匀,静置30 min,通空气10 min;(8)浓硫酸反应:加1.5 mL浓H₂SO₄,摇匀,再置沸水浴5 min。

1.4 紫外-可见光谱分析

类胡萝卜素的测定 取花瓣1 g于液氮下研磨,用90%丙酮溶液浸提,0.45 μm的有机滤膜过滤、定容至25 mL,于美国GE公司的Ultrospec 1100 pro型紫外-可见分光光度计在400~700 nm范围内扫描。

黄酮类化合物的测定 将提取的色素过滤液在200~800 nm范围内进行光谱扫描^[18],分析色素的光谱特征。

1.5 总花色素的稳定性分析^[19]

取部分色素提取液分别置于自然光照射和暗室中,分别在0、2、4、6、8、10 d取样在530 nm处测定提取液的吸光度;取部分提取液分别置于30℃、40℃、60℃、80℃、100℃下1 h,冷却至室温后在530 nm处测定吸光度。每个样品重复3次。

2 结果和分析

2.1 色素的特征颜色反应

石油醚、盐酸和氨水测试 由表1可见,品种“Y₁”、“G₁”及后代“金童”在石油醚中为桔黄色,说明含有较高的类胡萝卜素;品种“Q₂”及后代“吉星”为淡黄色,说明有少量的类胡萝卜素的存在;其余品种和后代均呈无色,说明不含类胡萝卜素。盐酸反应中,白色、黄色系品种及“金童”显出不同程度的黄色,说明含有黄酮类化合物;紫色、红色和粉红色系品种及后代“紫玉”、“红阳”为不同程度的红色,说明含有花色素苷;后代“吉星”为浅橙红色,说明含有花色素苷和黄酮类化合物。氨水反应中,白色、黄色系品种及“金童”呈现不同程度的黄色,说明含有黄酮类化合物;紫色、红色和粉红色系及其3个后代为不同程度的绿色,说明含有花色素苷和黄酮类化合物;未出现橙红色或红色,表明小苍兰花色素中不含橙酮。

盐酸-镁粉(HCl-Mg)反应 品种W₂、Y₁、Q₂和P_v呈现无色,可能含有查耳酮、橙酮或儿茶素;其它品种及后代呈现不同程度的黄、绿和粉红色,可能含有黄酮(醇)、二氢黄酮(醇)、花色素苷以及异黄酮^[16,20](表2)。

表1 小苍兰色素类型测试的颜色反应

Table 1 Color reaction of pigments in *Freesia*

品种 Variety	石油醚 Petroleum ether	HCl	NH ₃ ·H ₂ O	品种 Variety	石油醚 Petroleum ether	HCl	NH ₃ ·H ₂ O
W ₁	A	2-D	17-C	R ₂	A	40-B	137-A
W ₂	A	3-C	8-B	P ₁	A	69-A	144-A
Y ₁	17-B	15-B	5-8	P ₂	A	68-B	146-A
G ₁	17-A	17-A	13-A	P _v	A	68-B	153-B
Q ₂	3-C	1-D	12-A	紫玉 Ziyu	A	67-D	144-A
B ₁	A	70-C	144-A	金童 Jintong	17-A	13-A	13-A
B ₂	A	70-B	146-A	吉星 Jixing	3-C	30-C	144-A
R ₁	A	37-B	147-A	红阳 Hongyang	A	38-A	144-A

颜色以英国皇家园艺学会比色卡(RHSCC)为参考。Colors refer to Royal Horticultural Society Colour Chart (RHSCC). A. 无色 Colorless; 1、2、3、5、8、12、13、15、17-A、B、C、D. 黄 Yellow; 137、144、146、147、153-A、B、C、D. 黄绿色 Yellow-green; 30、37、38、40、67、68、69、70-A、B、C、D. 红色、橙红色~紫红色 Red, Orange-red ~ Purple-Red, respectively.

表2 小苍兰品种类黄酮的显色反应

Table 2 Color reaction of flavonoids in *Freesia* cultivars

品种 Variety	HCl-Mg	HCl-Zn	NaBH ₄	AlCl ₃	FeCl ₃	Pb(CH ₃ CO ₂) ₂	H ₃ BO ₃	Na ₂ CO ₃	H ₂ SO ₄
W ₁	2-D	62-C	A	3-C	22-B	Wt-S	A	1-D	3-C
W ₂	A	62-C	A	3-C	22-B	Wt-S	A	1-D	164-A
Y ₁	A	67-D	A	8-B	128-A	8B-S	A	3-C	12-A
G ₁	3-C	39-B	3-C	8-B	147-A	12A-S	A	8-B	164-A
Q ₂	A	68-B	A	3-B	128-A	Wt-S	A	1-D	8-B
B ₁	69-C	69-A	70-C	68-D	153-A	69C-S	69-A	3-C	12-A
B ₂	69-B	67-D	70-B	70-C	11-A	69B-S	68-B	129-A	11-A
R ₁	2-D	30-C	30-A	68-B	13-B	8B-S	27-A	134-A	30-C
R ₂	69-B	39-B	68-A	68-A	144-A	77B-S	77-B	129-A	30-A
P ₁	2-D	67-D	70-C	69-A	144-C	69B-S	68-D	8-B	15-B
P ₂	69-C	68-D	68-B	70-B	144-A	69B-S	68-B	5-C	30-D
P _v	A	69-A	70-C	70-B	22-A	69B-S	68-B	3-C	30-C
紫玉 Ziyu	69-C	70-C	70-C	68-D	12-A	69C-S	68-D	3-C	12-A
金童 Jintong	27-B	171-C	3-C	8-B	146-A	5B-S	A	8-B	164-A
吉星 Jixing	27-C	69-A	30-C	27-C	129-A	8B-S	27-C	8-B	8-B
红阳 Hongyang	128-C	39-B	39-B	39-B	144-A	144A-S	39-D	144-A	161-A

颜色标注见表1。Colors see in Table 1. 11、22、27、153、161、164-A、B、C、D. 黄色~橙色 Yellow ~ Orange; 128、129、134-A、B、C、D. 绿色 Green; 77-A、B、C、D. 紫色 Purple; W. 白色 White; -S. 沉淀 Sediment.

盐酸-锌粉(HCl-Zn)反应 所有参试材料均呈现不同程度的红色~紫红色,可能含有二氢黄酮(醇)及花色苷,色素的C₃位可能连有羟基^[16,20](表2)。

硼氢化钠(NaBH₄)反应 此反应是二氢黄酮类化合物的专属反应。白色、黄色系和后代“金童”呈现无色或淡黄色,表明不含二氢黄酮或二氢黄酮醇;其它品种及后代呈现不同程度的红色,表明含有二氢黄酮类化合物^[16,20](表2)。

三氯化铝(AlCl₃)反应 白色、黄色系品种和后代“金童”呈现不同程度的黄色,表明色素属于黄酮类化合物;其它品种及后代表现不同程度的红色,说明含有花色苷^[16,20](表2)。

三氯化铁(FeCl₃)反应 Y₁、G₁、Q₂、R₂、P₁、P₂、金童、吉星和红阳呈现不同程度的绿色,表明色素分子中具备有酚羟基;其它7个品种及后代表现黄色,意味色素分子中不含酚羟基^[16,20](表2)。

醋酸铅(Pb(CH₃CO₂)₂)反应 反应结果表

明品种花色色素不含查耳酮、橙酮,所含的黄酮类化合物中可能具有邻二酚羟基或者兼有 4-酮基、3-OH 或 4-酮基、5-OH 结构;“红阳”出现黄绿色沉淀,说明含有花色素苷^[16,20](表 2)。

硼酸(H_3BO_3)反应 白色、黄色系品种及金童均呈现无色,表明色素中可能不含 C_5 -OH;其它品种出现不同程度的红色,表明色素中可能具备 5-羟基黄酮或 2-羟基查耳酮类结构^[16,20](表 2)。

碱性试剂(Na_2CO_3)反应 大部分品种及后代呈现轻度的黄色,证实其花色色素可能为 C_3 位有游离羟基的黄酮醇类或二氢黄酮类化合物,通气后不变色,说明不含二氢黄酮醇、查耳酮、橙酮^[16,20](表 2)。

浓硫酸(H_2SO_4)反应 P_1 反应后呈橙黄色,说明含有花色素苷;其他品种呈现不同程度的黄色和橙红色,表明花色色素中可能含有黄酮或黄酮醇化合物,沸水浴后颜色不变,证明不含查尔酮、橙酮,可能含异黄酮^[16,20](表 2)。

2.2 色素成分的紫外-可见光谱测定

类胡萝卜素的测定 小苍兰品种 Y_1 、 G_1 、 Q_2 和金童、吉星、红阳的花瓣提取液在 440 和 470 nm 附近均有吸收峰,说明这些品种的花瓣中含有类胡萝卜素(表 3)。

类黄酮的测定 小苍兰花色素甲醇提取液,经过适当的稀释后,在 200~800 nm 区间的扫描结果见表 3。不同品种花色色素在紫外波段均有 2 个吸收峰,分别在 320 nm 和 260 nm 附近,这表明小苍兰花色素中含有黄酮,可能含有异黄酮,不含黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇、查耳酮和橙酮^[20-21];而紫色、红色和粉红色系品种及紫玉、吉星

和红阳在 534~540 nm 内还有 1 个吸收峰,说明花色色素中还含有花色素及其苷类。在 300~360 nm 附近有吸收峰说明色素中有酰基基团存在^[11]。

2.3 总花色素的稳定性分析

2.3.1 光的影响

由图 1 可以看出,小苍兰不同花色品系花瓣色素在光照和黑暗下的稳定性有很大的差别。经方差分析(表 4)表明,色素稳定性在花色品系、光处理(光照与黑暗)、放置天数间均达差异极显著水平,且这些因素之间的互作效应也达到极显著差异水平。

光处理和放置时间对白色系和黄色系品种的花色素苷吸光值的影响微小,色素的稳定性较好;紫色系、红色系和粉红色系在光照下随着放置时间的延长,提取液颜色逐渐变淡,花色素苷含量明显下降,第 10 天的吸光值分别减少了 82.7%、82.6% 和 86.3%;而在黑暗下褪色较慢,吸光值变化较小,到第 10 天吸光值分别减少了 47.2%、20.48%、34.4%。故紫色、红色和粉红色系品种的花色素苷对光敏感,表现出花色素苷类色素光稳定性差的明显特征。

2.3.2 温度的影响

由图 2 可见,在 80℃ 以下,花色色素提取液随着温度的升高,色素色调变化不明显,吸光度略有变化,对热的稳定性较好;但温度超过 80℃ 后,温度越高色素的颜色越淡,吸光度变化显著,说明色素的耐高温是有范围限制的,因为温度影响花色素苷与辅色素的共色作用,也可导致花色苷趋向转化为无色的查尔酮,所以应避免 80℃ 以上高温长时间的加热。

表 3 小苍兰品种花色色素的紫外-可见光谱(λ_{max})

Table 3 The UV-visible spectra of petal pigments in *Freesia* cultivars

品种 Variety	特征吸收峰 Characteristic absorption peak (nm)		品种 Variety	特征吸收峰 Characteristic absorption peak (nm)	
	90% acetone	1% HCl-McOH		90% acetone	1% HCl-McOH
W_1		318、266	R_2	540、322、258	
W_2		324、268	P_1	539、324、259	
Y_1	430、454	322、256	P_2	536、320、254	
G_1	430、454	324、254	P_v	536、324、267	
Q_2	430、457	322、256	紫玉 Ziyu	536、318、265	
B_1		536、322、266	金童 Jintong	430、454	324、265
B_2		536、318、266	吉星 Jixing	430、454	534、326、257
R_1		540、324、252	红阳 Hongyang	430、454	536、323、254

表 4 不同花色、光照条件和放置时间对花色素苷含量影响的方差分析

Table 4 Variance analysis for effects of varieties, light, and store-day on stability of anthocyanidin

变异来源 Variation source	品系 Strain (V)	光处理 Light (R)	放置天数 Day (D)	V×R	V×D	R×D	V×R×D
df	4	1	5	4	20	5	20
F	4567.31**	7893.65**	1678.23**	789.43**	1002.56**	1078.69**	897.31**

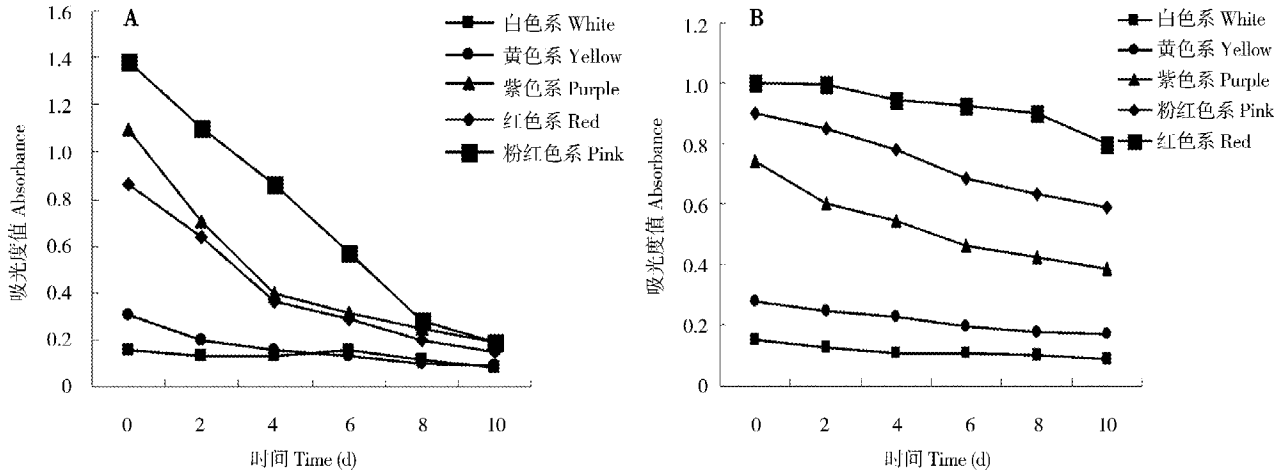


图 1 光对总花色素苷稳定性的影响

Fig. 1 Effects of light on stability of anthocyanidin

A. 自然光照 Natural light; B. 暗室 Dark

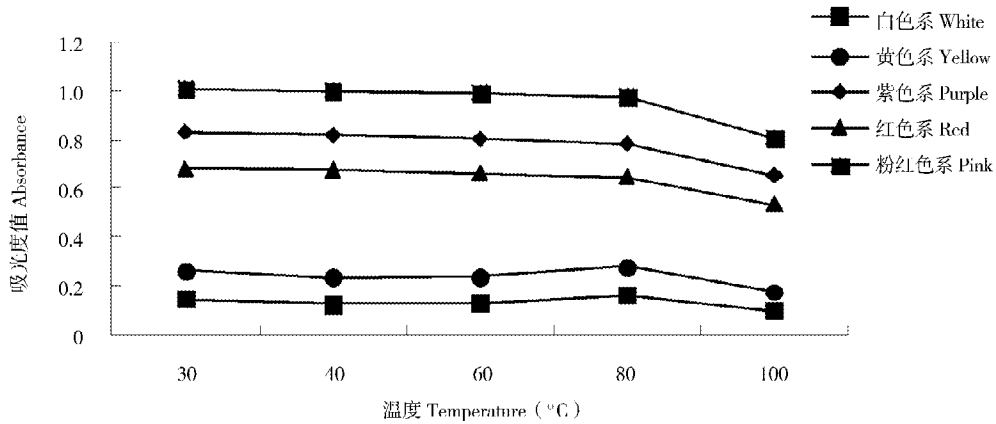


图 2 温度对总花色素苷稳定性的影响

Fig. 2 Effects of temperature on stability of total anthocyanidin

3 讨论

花色素是植物所特有的多酚类化合物,为类黄酮代谢所衍生的化合物^[3,22-25]。花色素的结构是影响花色的主要因子,因所携带羟基、甲基化程度、糖基化数目、种类及连接位置不同等而呈现出不同颜色,产生广泛的颜色变异^[26-27]。类黄酮,即黄酮类化合物,是最为重要的一类花色素,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。

花色素中只有花青素(即矢车菊素)和芍药色素(甲基花青素)呈紫红色^[8,28-29]。因此赵昶灵等^[8]推测梅花红花花色素为花青素和/或芍药色素或/和其苷,而其白色花色素则为黄色或无色的黄酮类或/和其苷。小苍兰花色色素的多种化学显色反应表明花瓣中主要是以类黄酮为母核的一类物质,即类黄酮化合物决定小苍兰的花色。该类化合物以黄酮、黄酮醇为主,其中黄色系品种及后代还可能

含有类胡萝卜素,紫色、红色和粉红色系品种及后代还可能含有花色素苷。

类黄酮化合物由于分子中含有两个苯环并分别与羰基形成交叉共轭体系,因此在紫外-可见光谱中有两个相应的特征吸收区域,即带 I ($\lambda 300 \sim 400 \text{ nm}$)和带 II ($\lambda 240 \sim 280 \text{ nm}$)。因此可以根据不同类型黄酮类化合物吸收区域的峰位、峰形和峰强度,获得类黄酮化合物的结构信息^[16]。小苍兰花色素的紫外-可见光谱扫描结果表明:12 个品种和 4 个后代花瓣色素中均含有黄酮类物质,可能含有异黄酮,其中黄色系品种及后代还含有类胡萝卜素,紫色、红色和粉红色系品种及后代的花色素中含有花色素苷类物质。

花色素苷是天然产物中不稳定的一类化合物,植物体内花色素苷的积累易受光、温度、激素、糖等因素的影响。果秀敏等^[14]报道新几内亚凤仙花色素苷对光照及高温不稳定。陈利梅等^[30]的研究表明光照对万寿菊(*Tagetes erecta*)黄色素有极大的破坏性。本试验结果表明,避光下小苍兰花瓣花色素苷的稳定性要强于光照,说明室外阳光加速了花色素苷的氧化过程;白色和黄色系品种色素稳定性明显高于紫色、红色和粉红色系品种,这可能是由于多羟基黄酮、异黄酮等化合物的存在对花色素苷的光降解有抗性。花色素苷无论是在天然体系还是在模拟体系,其稳定性都会明显的受到温度的影响。在本试验中,白色和黄色系品种花瓣色素的吸光度先降后升,具有一定的波动性;紫色、红色和粉红色系品种的花瓣总花色素苷含量随着温度的升高,吸光值下降。因此,相同花色品种的花瓣在不同的生长季节里会表现出不同深浅的花色。

参考文献

[1] Chen S L(陈诗林), Huang M L(黄敏玲). Soluble protein analysis and phylogenetic relationship of *Freesia* cultivars [J]. Acta Hort Sin (园艺学报), 1997, 24(3): 305-307.(in Chinese)

[2] 安田齐. 傅玉兰, 译. 花色的生理生物化学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 2-130.

[3] 安田齐. 张承志, 佟丽, 译. 花色之谜 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 1-149.

[4] Zhao Y P(赵云鹏), Chen F D(陈发棣), Guo W M(郭维明). Advances in genetic engineering of flower color of ornamental plants [J]. Chin Bull Bot(植物学通报), 2003, 20(1): 52-58.(in Chinese)

[5] 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.

[6] Kishimoto S, Maoka T, Nakayama M, et al. Carotenoid composition in petals of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ranlat.) Kitamura) [J]. Phytochemistry, 2004, 65(12): 2781-2787.

[7] Bai X X(白新祥), Hu K(胡可), Dai S L(戴思兰), et al. Components of flower pigments in the petals of different color *Chrysanthemum morifolium* Ramat. cultivars [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2006, 28(5): 84-88.(in Chinese)

[8] Zhao C L(赵昶灵), Guo W M(郭维明), Chen J Y(陈俊愉). Preliminary study on the categories and contents of the flower color pigments of *Prunus mume* Sieb. et Zucc. [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2004, 26(2): 68-73.(in Chinese)

[9] Zhou M Q(周明芹), Xiang L(向林), Chen L Q(陈龙清). Preliminary studies on the components of volatile floral flavor and flower pigments of *Chimonanthus praecox* L. [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2007, 29(Suppl): 22-25.(in Chinese)

[10] Cao J J(曹建军), Liang Z S(梁宗锁). Preliminary analysis on flower color inheritance and relations between flower color and pigment in *Primula vulgaris* [J]. Bull Bot Res(植物研究), 2008, 28(4): 426-432.(in Chinese)

[11] Wang C Q(王长泉), Wei X B(魏小兵). The extraction and primary identification of anthocyanidin in *Euphorbia pulcherrima* [J]. Chin Bull Bot(植物学通报), 2006, 23(4): 356-362.(in Chinese)

[12] Zhang Y Y(张圆圆), Qi D M(齐冬梅), Liu H(刘辉), et al. The diversity of flower color of the ornamental sunflower and the relation to anthocyanins [J]. Acta Hort Sin(园艺学报), 2008, 35(6): 863-868.(in Chinese)

[13] Li C H(李崇晖), Wang L S(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 Hort Sin(园艺学报), 2008, 35(7): 1023-1030.(in Chinese)

[14] Guo X M(果秀敏), Chen D F(陈段芬), Fang Z(方正), et al. Study on the properties of anthocyanin from *Impatiens hawkeri* [J]. J Agri Univ Hebei(河北农业大学学报), 2004, 27(3): 33-35.(in Chinese)

[15] Lei R(雷然), Fu H(付惠). Properties of pigment from *Limonium sinuatum* [J]. Yunnan Chem Techn(云南化工), 2008, 35(6): 4-6.(in Chinese)

[16] 高锦明. 植物化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 156-170.

[17] 孙中武. 植物化学 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2001: 94-98.

[18] 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.

[19] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 45-56.

[20] 中国科学院上海药物研究所植物化学研究室. 黄酮体化合物鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1981: 394-580.

[21] 谭任祥, 孟军才, 陈道峰, 等. 植物成分分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 498-500.

[22] Forkmann G. Flavonoids as flower pigments: The formation of

- natural spectrum and its extension by genetic engineering [J]. *Plant Breed*, 1991, 106(1): 1–26.
- [23] Newsome R L. Food colors [J]. *Food Techn*, 1986, 40(7): 49–56.
- [24] Francis F J. Food colorants: Anthocyanins [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1989, 28(4): 273–314.
- [25] Mazza G, Miniati E. Anthocyanins in Fruits: Vegetables and Grains [M]. USA: CRC Press, 1993: 24–76.
- [26] Justesen H, Andersen A S, Brandt K. Accumulation of anthocyanins and flavones during bud and flower development in *Campanula isophylla* Morruti [J]. *Ann Bot*, 1997, 79: 355–360.
- [27] Torgils F, Yvind M A. Cyanidin-3-(6"acetylgalactoside) and other anthocyanins from reddish leaves of the water lily *Nymphaea alba* [J]. *J Hort Sci Biol*, 2001, 76(2): 213–215.
- [28] 何奕昆, 胡瑞娟, 奚惕. 花色素的译名分析 [J]. *植物生理学通讯*, 1989(4): 75–77.
- [29] Hugo K D, Thinothy P R. Genetic and developmental control of anthocyanin biosynthesis [J]. *Ann Rev Genet*, 1991, 25: 173–199.
- [30] Chen L M(陈利梅), Dai G Z(戴桂芝), Sun X F(孙小凡). Study on the stability of *Tagetse erecta* L. pigment [J]. *Food Drug (食品与药品)*, 2005, 7(6A): 36–38. (in Chinese)