

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0030

薛德艳,刘左军,高望,蓝雯玲.钝裂银莲花花色素成分及其稳定性[J].草业科学,2015,32(10):1569-1575.

XUE De-yan, LIU Zuo-jun, GAO Wang, LAN Wen-ling. Components and stability analysis of the petal pigments in different colored *Anemone obtusiloba* petals [J]. Pratacultural Science, 2015, 32(10): 1569-1575.

钝裂银莲花花色素成分及其稳定性

薛德艳¹, 刘左军¹, 高望², 蓝雯玲²

(1. 兰州理工大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以黄色和浅黄色钝裂银莲花(*Anemone obtusiloba*)花瓣为研究材料,对其色素进行特征显色反应和紫外-可见光谱扫描分析,并对其色素的成分及其稳定性进行研究。结果显示,两种花色钝裂银莲花花瓣均含有叶绿素和类胡萝卜素,主要色素为黄酮类化合物(花色苷、黄酮、黄酮醇和异黄酮),不含橙酮和二氢黄酮,其黄酮类化合物均表现为酚羟基结构,可能具有4-酮基、3-OH或4-酮基、5-OH结构的特征;pH值对花色苷具有一定影响,避光保存花色苷的稳定性强于光照,Fe³⁺和Cu²⁺对花色苷稳定性影响比较大。

关键词:钝裂银莲花;花色素;显色反应;稳定性

中图分类号:Q945.11 文献标识码:A 文章编号:1001-0629(2015)10-1569-07*

Components and stability analysis of the petal pigments in different colored *Anemone obtusiloba* petals

XUE De-yan¹, LIU Zuo-jun¹, GAO Wang², LAN Wen-ling²

(1. Life Science and Engineering of Lanzhou University of Technology College, Lanzhou 730050, China;

2. Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The components and stability of pigment from *Anemone obtusiloba* with two different flower colors were analyzed by the specific color reactions and UV-visible spectrum. Results showed that the two different colored petals of *A. obtusiloba* consisted of chlorophyll and carotenoid, the main petal pigments belonged to flavonoid, definitely including flavone, anthocyanins, flavonols, flavanonols, excluding flavanonols and aurones. These flavonoid had phenolic hydroxyl 4-keto, 3-hydroxy or 4-keto, 5-hydroxy. The stability of anthocyanins was affected by different values of pH, the anthocyanins under dark condition were more stable than that under light. The stability of petal pigments was mainly influenced by Fe³⁺ and Cu²⁺.

Key words: *Anemone obtusiloba*; pigments; color reaction; stability

Corresponding author: LIU Zuo-jun E-mail: zuojunl@lut.cn

钝裂银莲花(*Anemone obtusiloba*)为毛茛科毛茛亚科银莲花属多年生草本植物,分布于我国西藏南部和东部、四川西部^[1-2]。其单花顶生,花瓣状萼片

5~8个,花期每年5~7月。在藏药植物志中,其藏译名为素尔哇^[3],本属植物全草可入药,具有清热除湿、活血祛瘀、消肿解毒等功效^[4-6]。

* 收稿日期:2015-01-13 接受日期:2015-03-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30960066)

第一作者:薛德艳(1989-),女,青海西宁人,在读硕士生,主要从事环境生物修复研究。E-mail: bbilu2009@126.com

通信作者:刘左军(1957-),男,甘肃兰州人,教授,博士,主要从事植物种群生态学研究。E-mail: zuojunl@lut.cn

花色素作为花瓣显色的物质基础,其研究一直是食品和化工以及遗传育种方面的研究热点。以往对花色素的研究都是集中杜鹃花(*Rhododen*)^[7]、云南牡丹花(*Paeonia lutea*)^[8]、木芙蓉(*Hibiscus mutabilis*)^[9]、小苍兰(*Reesia refrac*)^[10]、腊梅花(*Chimonanthus praecox*)^[11]、迎春花(*Jasminum nudiflorum*)^[12]、观赏向日葵(*Ornamental sunflower*)^[13]、红掌(*Anthurium andraeanum*)^[14]等观赏性植物。而生长于青藏高原(亚)高寒草甸的多年生草本类银莲花属植物——钝裂银莲花,其研究一般集中在他的药用价值、交配系统特征和花期资源分配^[15],以及在不同海拔条件下钝裂银莲花的繁殖分配^[16]和繁育系统^[17]等。由方明渊和杨满业^[18]对植物的划分可知,钝裂银莲花属于西南银莲花组,是一种比较原始的植物,其花具白色、紫色、蓝色和金黄色^[1,4-5]四色,在酷寒的青藏高原,钝裂银莲花具有自身的适应机制,随着钝裂银莲花越来越多地出现了介于白色和黄色之间的浅黄(其肉眼可清晰可辨),猜想其花表现出的花色多态性可能与其环境适应及进化有关。故本研究首先对黄色和浅黄色花花色素成分进行初步鉴定以及稳定性分析,从花色多态性方面为其生态适应性及进化的研究提供一定的理论参考,同时可以开发其花色的实用价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为2014年6月采自青藏高原东部高寒草甸常见的毛茛科植物钝裂银莲花,采样地位于甘肃省的玛曲(101°53′ E, 35°58′ N),地处青藏高原东北缘,平均海拔3500 m,年平均气温1.2℃,月均温从1月的-10℃到7月的11.7℃,年降水量620 mm,植被类型属高寒草甸^[15],黄色的、浅黄色的花居多。采回花瓣,去除花蕊群,避免花瓣沾染花粉;80℃杀青30 min,然后60℃烘干粉碎成末,装于自封袋避光干燥保存^[19]。

1.2 色素的定性检测

1.2.1 钝裂银莲花花色素的定性分析 取不同花色花瓣粉末各0.100 g,放入具塞试管中,分别加入30.0%氨水、10.0%盐酸和石油醚各5 mL,静置2 h后观察颜色变化并记录^[20]。

1.2.2 黄酮类化合物的检测 取供试材料0.100 g,采用1%盐酸化甲醇溶液(盐酸和甲醇体积比为1:99),分别避光浸提24 h,然后过滤并定容到25 mL,此作为测试液。取上述测试液各2 mL进行以下显色反应^[20-21]:(1)浓盐酸-镁粉反应:先加入少许镁粉,再加入浓盐酸5滴,摇匀后静置1 h;(2)乙酸铅反应:加2 mL 1.0% Pb(CH₃COO)·3H₂O,摇匀后静置1 h;(3)三氯化铝反应:加1 mL 1.0% AlCl₃·6H₂O 甲醇溶液,摇匀后静置1 h;(4)三氯化铁反应:加2 mL 5.0% FeCl₃·6H₂O,摇匀后静置1 h;(5)浓硫酸反应:加浓H₂SO₄ 1.5 mL,小心摇匀后沸水浴5 min;(6)碳酸钠反应:加3 mL 5% Na₂CO₃溶液,密闭摇匀后静置30 min,最后通空气10 min;(7)硼酸反应:加1.0% H₂O₂·C₄·2H₂O 10滴,再加2.0% H₃BO₃ 3 mL;(8)氯化锶反应:在测试液中先加入10滴0.01 mol·L⁻¹ SrCl₂·6H₂O 甲醇液,再加10滴被氨水饱和的甲醇液(10 mL 甲醇溶液,加氨水定容至25 mL),摇匀后静置1 h。

1.3 UV-3000PC型紫外-可见分光光度计光谱分析

1.3.1 叶绿素光谱分析 称取两种花色花瓣粉末各0.100 g,用乙醇和丙酮混合溶液(体积比为1:9)提取,定容至10 mL,用UV-3000型紫外-分光光度计在200-700 nm内扫描,比色皿光径1 cm^[19]。

1.3.2 类胡萝卜素光谱分析 称取两种花色花瓣粉末各0.100 g,用石油醚和丙酮混合液(体积比为1:1)提取,定容至10 mL,用UV-3000型紫外-分光光度计在200-700 nm内扫描,比色皿光径1 cm^[19]。

1.3.3 黄酮类化合物光谱分析 取1.2.2步骤中测试液,用UV-3000型紫外-分光光度计在200-700 nm内进行扫描,比色皿光径1 cm^[22]。

1.4 花色素的稳定性检验

由1%盐酸甲醇浸提得到的提取液,用UV3000型紫外分光光度计进行400-600 nm范围内扫描,测得两种花色钝裂银莲花花色素吸收峰在535 nm处,符合花色苷特征吸收^[7,23]。

1.4.1 pH值稳定性试验 按参考文献[24]配制0.1 mol·L⁻¹柠檬酸、0.2 mol·L⁻¹磷酸氢二钠,得到pH为2~6的缓冲液,由配置的0.05 mol·L⁻¹

硼砂、 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸溶液, 得到 pH 7~9 的缓冲溶液, 然后取 5 mL 花色素原液于 10 mL 试管中, 加入不同 pH 值的溶液。静置 2 h 后, 观察不同 pH 值色素溶液的颜色变化, 以花色素原液为对照, 测定 535 nm 处的吸光度。

1.4.2 金属离子稳定性试验 分别配制含有 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 K^+ 、 Mn^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 溶液, 分别取 6 mL 花色素提取液, 加入各金属离子溶液 1 mL, 静置 1 h 后观察颜色变化, 1% 盐酸甲醇为空白, 测定 535 nm 处的吸光度。

1.4.3 光稳定性试验 两种花色钝裂银莲花分别分装 12 份, 每份取 6 mL; 6 份置于自然光照 (25°C) 6 份置于黑暗 (25°C)。分别在 0、2、4、6、8、10、12 d 后, 观察颜色变化, 并以 1% 盐酸甲醇为空白, 检测 535 nm 处的吸光度。

1.5 数据处理

利用 Excel 进行数据基础处理, 对花色素稳定性研究中, 用 SPAA 20.0 对试验结果进行单因素方差分析和独立样本 T 检验。

2 结果与分析

氨水反应中, 两种花色素测试液显棕黄色(表 1), 说明钝裂银莲花花瓣色素含有黄酮类化合物, 且不含橙酮; 在盐酸反应中, 两种花色银莲花出现明显不同程度红色, 表明花色素中可能含有花色素苷; 在石油醚反应中, 出现明显的不同程度明亮的黄色, 表明其花色素中含有叶绿素和类胡萝卜素^[11-13]。

表 1 花色素定性分析

Table 1 Qualitative analysis of anthocyanidin

溶液 Solution	花色 Flower color	
	黄色 Yellow	浅黄色 Pale yellow
30.0% 氨水 Ammonia water	棕黄色 Brown	棕黄色 Brown
10.0% 盐酸 HCl Hydrochloric acid	粉红 Pink	红色 Red
10.0% 石油醚 Petroleum ether	荧光黄 Fluorescent yellow	荧光黄 Fluorescent yellow

2.1 黄酮类化合物显色反应

2.1.1 盐酸-镁粉反应 反应出现不同程度红色(表 2), 说明钝裂银莲花花色素可能含有黄酮醇(Flavonols)、二氢黄酮醇(Flavanonols)、二氢黄酮(Flavanones)、花色苷, 可能含异黄酮(Isonavones); 在其对照为阳性, 可能含有查耳酮(Chalcones)^[9, 25]。

2.1.2 中性醋酸铅反应 显不同程度淡红并都伴有白色沉淀(表 2), 表明该黄酮类化合物具有邻二酚羟基或兼有 4-酮基、3-OH 或 4-酮基、5-OH 结构^[9, 26]。

2.1.3 三氯化铝反应 反应出现不同程度黄色(表 2), 说明含有黄酮、黄酮醇、查耳酮、异黄酮, 不含有二氢黄酮^[19]。

2.1.4 浓硫酸反应 出现不同程度橙黄色(表 2), 煮沸 5 min 颜色不变色。表明含有黄酮、黄酮醇、异

表 2 花色素显色反应

Table 2 Color reaction of flavonoids in *Anemone obtusiloba*

反应溶液 Reaction solution	花色 Flower color	
	黄色 Yellow	浅黄色 Pale yellow
盐酸-镁粉(对照 CK) HCl-Mg	红(淡红) Red(Pale red)	淡红 Pale red(极淡红)
醋酸铅 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	淡红, 有白色沉淀 Pale red, white precipitate	淡红, 有白色沉淀 Pale red, white precipitate
三氯化铝 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	淡橙色 Pale orange	极淡橙色 Pale orange
浓硫酸 H_2SO_4	橙黄 Yellow orange	橙黄 Yellow orange
碳酸钠 Na_2CO_3	黄 Yellow	黄 Yellow
硼酸 H_3BO_3	淡红 Pale red	红 Red
氯化锶 SrCl_2	绿, 有褐色沉淀 Pale green, brown precipitate	绿, 有褐色沉淀 Pale green, brown precipitate
三氯化铁 FeCl_3	墨绿 Dark green	墨绿 Dark green

黄酮和花色苷;可能含有查耳酮,不含橙酮、二氢黄酮^[27]。

2.1.5 碳酸钠反应 均出现黄色(表2),通气后不变色说明不含二氢黄酮、查耳酮、橙酮;但是两种测试液中出现黄褐色结晶沉淀,此现象有待进一步探究。

2.1.6 硼酸反应 显不同程度红色(表2),说明该花色苷中可能具备5-羟基黄酮或2-羟基查耳酮类化合物^[28]。

2.1.7 氨性氯化锶反应 均显淡绿色且伴有棕色沉淀(表2),表明黄酮类化合物具有邻二酚羟基结构^[20]。

2.1.8 三氯化铁反应 均出现墨绿色(表2),说明钝裂银莲花花色苷中含有酚羟基结构,花色苷可能具备3'-4'-5'-3'-羟基基团^[19-20]。

2.2 钝裂银莲花花色苷的光谱鉴定

紫外-可见光谱分析(图1)发现,钝裂银莲花花瓣的丙酮和石油醚(体积比为1:1)提取液在442和468 nm处均吸收峰出现,符合胡萝卜特征吸收曲线,说明含有类胡萝卜素;在90%丙酮溶液光谱扫描中,在660-680 nm处均出现特征吸收峰,说明其花色苷还含有叶绿素;234-278 nm(区带2)和300-369 nm(区带1)处具有特征吸收峰,并且区带2比较明显,说明钝裂银莲花花色苷含有黄酮类化合物;并且在530-535 nm处出现的特征吸收峰说明该花色苷还含有花色苷^[22]。

2.3 花色苷稳定性分析

2.3.1 pH值对花色的影响 在pH 2~7时,随着pH值不断增大,花色苷吸光度呈下降趋势,其吸光度下降74.07%,浅黄花下降69.44%,黄花测试液由紫红色趋于淡黄色,浅黄花则是由洋红变为无色(表3);pH 8~9时花色苷吸光度先升高再降低,具有一定的波动性;总体而言,两种花色苷钝裂银莲花花色苷性质偏酸性。

2.3.2 金属离子对花色苷的影响 大多数金属离子对花色苷的稳定性影响不明显(表4);而 Fe^{3+} 和 Cu^{2+} 对两种花色苷稳定性影响显著, Fe^{3+} 对黄花和浅黄花花色苷吸光度分别比对照提高了117.4%和22.0%,呈正相关,而 Cu^{2+} 使黄花和浅黄花花色苷的吸光度比对照分别减小了11.1%和54.1%,呈负相关。

2.3.3 花色苷的光稳定性 随着光照天数的增加,两种花色苷钝裂银莲花花色苷吸光度都呈先剧烈后缓慢的下降趋势,12 d时,黄花花色苷和浅黄花花色苷吸光度分别下降92.1%和93.7%(图2);在黑暗条件下,黄花和浅黄花花色苷吸光度下降较光照平缓,黄花和浅黄花分别下降27.2%和22.2%。这说明该花色苷适合在暗环境中保存。在光照和黑暗处理下,黄色花和浅黄花的稳定性差异较明显。

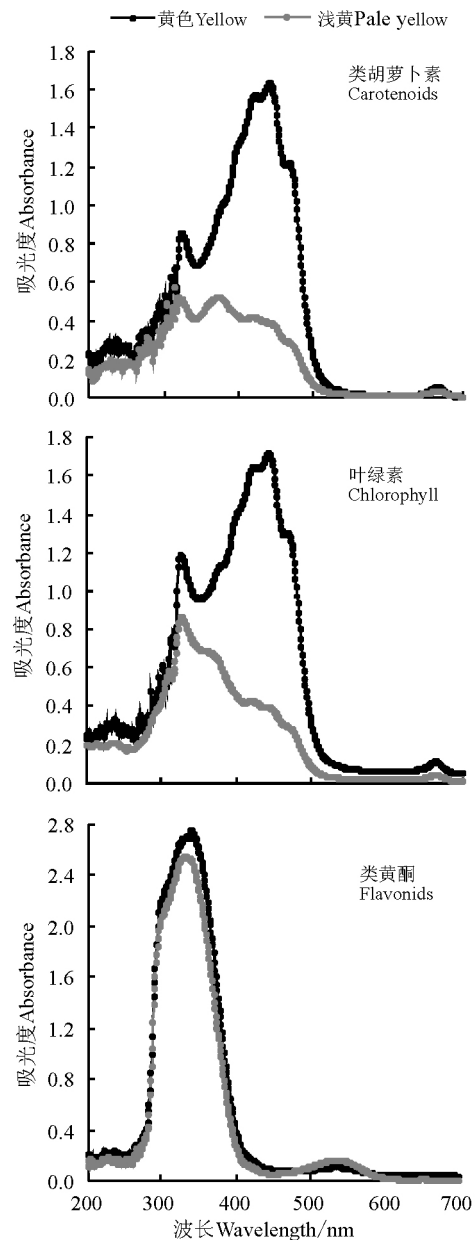


图1 花色苷紫外-可见分光光谱分析

Fig.1 The UV-visible spectra of petal pigments in *Anemone obtusiloba*

表3 pH值对花色素稳定性的影响
Table 3 Effects of pH on stability of anthocyanin

pH	黄花 Yellow		浅黄花 Pale yellow	
	吸光度 Absorbance	显色 Visualisation	吸光度 Absorbance	显色 Visualisation
CK	0.139 6Aa	淡紫红 Purple red	0.231 7Aa	洋红 Carmine
2	0.077 1Ab	极淡紫红 Light purple red	0.141 4Ab	粉红 Pink
3	0.074 3Ab	淡红 Light red	0.139 5Ab	粉红 Pink
4	0.065 1Ac	浅黄 Pale yellow	0.125 4Ac	无色 Colourless
5	0.055 9Bc	浅黄 Pale yellow	0.114 3Ac	无色 Colourless
6	0.043 6Bc	浅黄 Pale yellow	0.102 4Ac	无色 Colourless
7	0.036 2Ac	浅黄 Pale yellow	0.070 8Ac	无色 Colourless
8	0.074 3Ab	淡红 Light red	0.135 7Ab	粉红 Pink
9	0.055 4Ac	浅黄 Pale yellow	0.081 7Ac	无色 Colourless

注:不同大写字母表示两花色间显著性差异($P < 0.05$) 不同小写字母表示各 pH 间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital letters indicate significant difference between the two colors at 0.05 level and different lower case letters indicate significant differences among different pH at 0.05 level.

表4 金属离子对花色素稳定性的影响
Table 4 Effects of mental on stability of anthocyanin

金属离子 Ion	花色 Flower color	
	黄色 Yellow	浅黄色 Pale yellow
CK	0.248 2Bc	0.343 5Bb
Fe ²⁺	0.539 7Aa	0.418 9Ba
Na ⁺	0.304 4Ab	0.274 1Ab
Mn ²⁺	0.302 4Ab	0.272 7Ab
Mg ²⁺	0.299 3Ab	0.278 7Ab
Ca ²⁺	0.298 7Ab	0.277 3Ab
Al ³⁺	0.296 9Ab	0.282 4Ab
K ⁺	0.294 2Ab	0.270 1Ab
Cu ²⁺	0.221 1Ac	0.158 0Bc

注:不同大写字母表示两花色间显著性差异($P < 0.05$) ,不同小写字母表示不同金属离子间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital letters indicate significant difference between the two colors at 0.05 level ,and different lower case letters indicate significant difference among different mentals at 0.05 level.

3 讨论与结论

天然色素主要分四大类:类黄酮(Flavonoids)、类胡萝卜素(Carotenoids)、醌类色素(Quinones)和甜菜色素(Betalains),它们存在于植物组织的细胞液中并显色^[29]。花色苷是花色素与糖以糖苷键结合而成的一类化合物,因花色苷像其他天然黄酮类化合物一样,具有相同的碳骨架和生化合成来源,被视为黄酮类化合物^[30]。本研究中颜色特征反应和紫

外-可见光谱分析都得出了相近的结果。表明两种花色素钝裂银莲花均含有叶绿素和类胡萝卜素,其花色素主要色素为类黄酮化合物;黄酮类化合物包括花色素苷、黄酮、黄酮醇和异黄酮;不含有二氢黄酮和橙酮,可能含有查耳酮和二氢黄酮醇;其黄酮类化合物具备酚羟基结构,可能还有4-酮基、3-OH或4-酮基、5-OH结构。黄色花和浅黄色花瓣的颜色反应表现一致,表明花色素成分差异较小,但从其显色的不同程度和吸光度值来分析,两种花花色素略有差异,这可能与其所含类胡萝卜素、叶绿素含量以及所含花色苷含量^[29-31]有关。

一般而言,在酸性条件下,非酰化和单酰化的花色苷颜色在很大程度上取决于连在糖苷配基B一环上的取代基,羟基越多,颜色越向紫移,同时糖基化也将导致紫移^[31-33],由此可推测,该花色苷可能含有较多羟基或者花色苷糖基化程度比较高。本研究中,随着pH值的增大,浅黄色花瓣花色苷褪至无色,黄色花瓣花色苷却出现淡黄色,这与文献中花色苷的颜色随pH值的增大将褪至无色,最后在高pH值时变成紫色或蓝色^[7]的结论不一致,这可能是由于黄花花色素中所含的叶绿素在pH为9时,叶绿素分子被降解所致^[34-37]。在今后的研究中关于pH对花色素的影响研究还需采用不同浓度的pH溶液来作进一步的研究分析。大多数与花色素中的酚羟

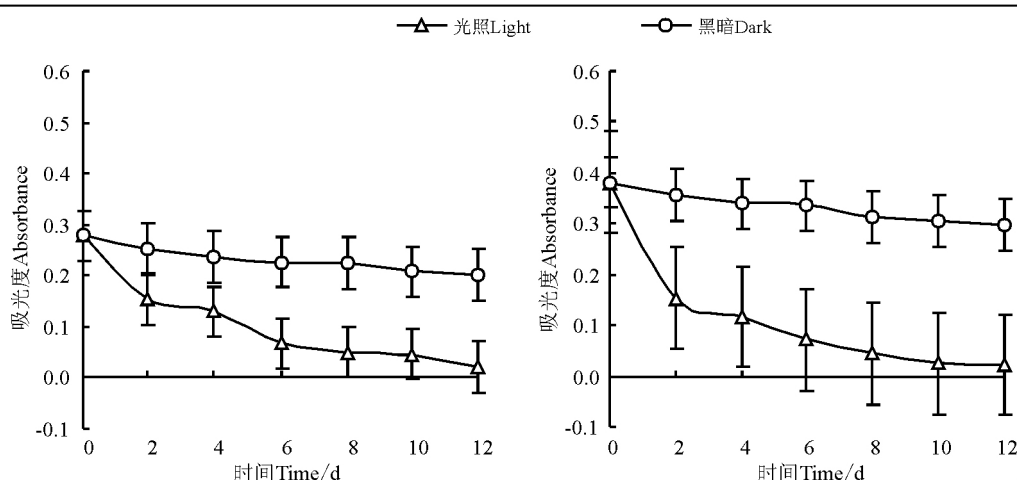


图2 光照对花色素稳定性的影响

Fig. 2 Effects of light on stability of anthocyanin

基可形成稳定的五元螯合环有关^[7];而 Fe^{3+} 对花色素某些基团会发生络合反应而起到增色作用^[7, 23],因此在本研究中对钝裂银莲花花色素起到了很好的保护作用;同时还有 Cu^{2+} 可与花色苷形成“单宁-金属络合物”,导致一定的褪色作用^[37]。钝裂银莲花的显色具有 Fe^{3+} 和 Cu^{2+} 离子对两种不同花色钝裂银莲花色素的影响具明显差异性,其原因可能是花色苷与金属离子间的结合性质^[27, 29-30]所致,同时进一步说明该黄色花瓣花色苷含有B环,并且B环上还含有邻位羟基^[29-30];同时两种花色的花色苷在结构上的差异不容忽视,还需进一步研究鉴定。避

光下花色素比光照下花色素更稳定,其光照加速了花色苷的氧化过程;由吸光度的值可以看出两种花色对光的敏感性比较一致,这与其他植物花色苷对光的敏感性研究结果相符^[31]。

对植物花色的研究由来已久,但是涉及的植物种类都集中在观赏和可食用性植物,然而本研究中钝裂银莲花为天然野生草本植物,对其花色的研究具有比较独到的意义。今后的研究需要结合更加精确地鉴定技术和分子等手段,来解释不同花色间差异及其各种花色的表达机理,从而完善对钝裂银莲花进化机制的研究理论。

参考文献

- [1] 中国科学院中国动植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 36.
- [2] 邱行正, 张鸿钧. 家畜中毒[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1978: 984-986.
- [3] 邹忠杰, 刘红霞, 杨峻山. 银莲花属植物化学成分及其药理活性[J]. 中国药学杂志, 2004, 39(7): 17-19.
- [4] 杜品. 青藏高原甘南藏药植物志[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2006: 355.
- [5] 青海高原生物研究所植物室. 青藏高原药物图鉴[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1972: 358-359.
- [6] 刘永宏, 刘大有. 银莲花属植物药用新进展[J]. 时珍国医国药, 1999, 10(1): 57-58.
- [7] 戴亮芳, 温秀芳, 罗向东. 不同花色杜鹃花色素成分与稳定性分析研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6455-6458.
- [8] 周琳, 王雁, 律春燕, 彭镇华. 云南野生黄牡丹花色素成分的鉴定[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(8): 52-54.
- [9] 吕长平, 郑智, 陈晨甜, 陈建. 木芙蓉花色素成分的初步分析[J]. 湖南农业科学, 2010(1): 42-45.
- [10] 钟淮钦, 陈源泉, 黄敏玲, 林兵, 叶秀仙, 吴建设. 小苍兰花色素成分及稳定性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2009(6): 571-571.
- [11] 周明芹, 陈龙清. 蜡梅花色素种类的初步分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(1): 107-110.
- [12] 唐琳. 迎春花黄色素的提取及抗氧化作用的研究[D]. 济南: 山东师范大学硕士论文, 2006.
- [13] 张圆圆, 齐冬梅, 刘辉, 张继冲, 李崇晖, 张洁, 王亮生, 刘公社. 观赏向日葵的花色多样性及其与花青苷的关系[J]. 园艺

- 学报 2008, 35(6):863-868.
- [14] 杨澜,李崇晖,黄素荣,陈金花,王存,尹俊梅.红掌佛焰苞中花色色素与颜色形成的关系[J].北方园艺,2012(5):68-73.
- [15] 赵志刚,杜国祯.毛茛科植物交配系统的特征与花期资源分配对策[J].兰州大学学报(自然科学版),2003,39(5):70-74.
- [16] 李冰,刘左军,赵志刚,胡春,任红梅,伍国强.海拔对钝裂银莲花不同花色居群间繁殖特征及繁殖分配的影响[J].草业学报,2013,22(1):10-19.
- [17] 胡春,刘左军,伍国强,赵志刚.钝裂银莲花花部综合特征及其繁育系统[J].草地学报,2013,21(4):783-787.
- [18] 方明渊,杨满业.四川银莲花属(*Anemone*)花粉形态及其演化研究[J].四川大学学报(自然科学版),1994,31(2):246-258.
- [19] 蔡璇,苏馨,金荷仙,姚崇怀,王彩云.四季桂花的色素初步鉴定[J].浙江林业学院学报,2010,27(4):559-564.
- [20] 白新祥,胡可,戴思兰,王亮生.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):122-129.
- [21] 元文英,鲁仪增,王晓云.木瓜花瓣花色色素及花色苷 HPLC 定量分析[J].山东林业科技,2011,195(4):21-23.
- [22] 郭金耀,杨晓玲.花色色素种类的鉴别[J].生物学杂志,1991(5):24-25.
- [23] 沈植国,程建明,李宇,崔家俊.猬实花瓣色素成分及含量的初步分析[J].江苏农业科学,2013,41(12):313-315.
- [24] 高俊峰.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [25] 吴丽媛,罗向东,戴亮芳,曹娟芳,刘丽萍,洪海燕,潘文艳.杜鹃花色色素的分离与鉴定分析[J].食品科学,2011,32(13):19-22.
- [26] 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):68-72.
- [27] 安田齐(日本).花色的生理生物化学[M].北京:中国林业出版社,1989:285-317.
- [28] 陈建,吕长平,陈晨甜,浮双双,陈海霞.不同花色非洲菊品种花色色素成分初步分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(1):73-76.
- [29] 潘耕耘,邱其伟.花瓣颜色成因分析[J].思茅师范高等专科学校学报,2006,22(3):19-22.
- [30] 刘洋.植物花色苷及其生物活性的研究进展[J].青海农林科技,2010(3):35-39.
- [31] 库尔班江·巴拉提.蒲公英色素的提取及其理化性质的研究[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2007,26(3):160-163.
- [32] 张瑞宇,王文娟.金莲花天然色素的提取方法与稳定性研究[J].食品研究与开发,2007,28(3):60-64.
- [33] 聂芊,吴春,李健.几种天然花色苷色素稳定性的比较与分析[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2002,18(5):564-565,582.
- [34] 刘米达夫.植物化学[M].北京:科学出版社,1985:112-133.
- [35] 高锦明.植物化学[M].北京:科学出版社,2003:166-169.
- [36] 中图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.
- [37] 庞志申.花色苷研究概况[M].北京:北京农业科学出版社,2000.

(责任编辑 王芳)

本刊如有印装质量问题,请将原杂志寄回编辑部,由本部负责调换。