



# 四种不同花色滇水金凤中金属元素含量测定与分析

黄 奇,郭佳炜,汪 琼,闻永慧,黄美娟,黄海泉  
(西南林业大学 园林学院,云南 昆明 650224)

**摘要:**为探索滇水金凤的花色改良途径,采用火焰原子吸收光谱法测定了4种不同花色滇水金凤花瓣中K、Na、Fe、Ca、Mn、Cu、Mg、Zn八种金属元素含量。结果表明:不同花色滇水金凤中金属元素的含量存在明显差异。其中K、Na、Mg、Ca四种金属元素含量较高,重金属Cu含量较低;同一个地点采集的两种不同花色的滇水金凤Fe、Mn含量差异较大。

**关键词:**滇水金凤;金属含量;火焰原子吸收光谱法

凤仙花(*Impatiens balsamina* L.)作为一种花期长、适应性强、色彩艳丽且种植范围广的观赏花卉,因其姿容形态极似古代传说中的瑞鸟凤凰而得名金凤花。又因其含有天然红棕色色素,可以用来染指甲或染发,所以又名指甲花、女儿花,其全株及种子均可入药。因此,凤仙花是集观赏、食用及药用价值为一身的园林花卉。据报道,目前全世界凤仙花植物约1 000余种<sup>[1]</sup>,我国凤仙花属植物约有250余种,现仍不断有新种发现,主要分布于西南及北部山区尤以云南生最为丰富,居全国之冠(约有130余种)<sup>[2]</sup>。迄今国内外虽有不少学者对凤仙花进行了研究,但大多数工作仅局限于野外资源调查、核型分析系统进化等研究<sup>[3-6]</sup>。

滇水金凤(*Impatiens uliginosa* Franch)是凤仙花科凤仙花属一年生草本植物,其花色鲜艳,有着十分重要的园林应用价值。影响凤仙花花色的因素很多,受花色素的种类、花色素的含量、花瓣的pH、花瓣的结构、金属离子螯合等因素的影响。金属离子在植物细胞中具有重要的调节作用,对花卉显色具有重要的影响。一方面可以通过细胞膜上的离子泵调节细胞pH;另一方面在细胞中直接与色素螯合,或者作为关键酶的活性

中心调节花色素苷代谢,从而影响花色<sup>[7]</sup>。目前国内外对于金属元素影响花卉生长发育和花色的研究甚少。本试验通过火焰原子吸收光谱法测定了4种不同花色的滇水金凤花瓣中金属元素含量<sup>[8]</sup>,揭示不同金属元素对滇水金凤成色的影响<sup>[9-10]</sup>,为今后滇水金凤花色改良提供重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料分别采自昆明周边阿子营、安宁大叠水和捞鱼河湿地公园内,采样地信息见表1。分别取4种不同颜色的滇水金凤花瓣用超纯水洗净,在烘箱中烘干后准确称取0.500 0 g样品置于坩埚中,在万用炉上灼烧去碳后用电阻炉在600 ℃下灰化3 h,冷却后用5%硝酸转移至25 mL容量瓶定容后储存备用。

表1 试样采集地信息

Table 1 Information of sample collection area

序号 Number	地点 Place	颜色 Colour	经纬度 Longitude and latitude	海拔高度/m Altitude
1#	阿子营	红色	N25°23' 28",E102°49' 34"	2113
2#	阿子营	白色	N25°23' 28",E102°49' 34"	2113
3#	大叠水	深红	N25°08' 40",E102°29' 55"	1890
4#	捞鱼河	粉红	N24°49' 18",E102°46' 01"	1910

试验仪器为AA-7000型原子火焰吸收光谱仪(日本岛津公司);1kW电子万用炉(浙江省上虞市通州实验仪器厂);SX-2.5-10型箱式电阻炉(天津泰斯特公司);AJF-2001-P基础分析超纯水机(艾科浦);台式电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣DHG系列);赛多利斯电子分析天平(赛多利斯);T6新世纪紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

供试试剂有双氧水(AR,天津市大茂化学试

收稿日期:2018-09-25  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(31860230,31560228);云南省重点研发计划资助项目(2018BB013);云南省中青年学术和技术带头人培养资助项目(2015 HB046,2018HB024);云南省高校园林植物与观赏园艺科技创新团队资助项目;国家林业局西南风景园林工程技术研究中心资助项目(2016-48);西南林业大学校重点资助项目(111124);云南省园林植物与观赏园艺省级重点学科及云南省高校园林植物与观赏园艺重点实验室资助项目(50097401);云南省教育厅科学研究基金资助项目(2017YJS088)。  
第一作者简介:黄奇(1992-),男,在读硕士,从事植物生物化学研究。E-mail:283709338@qq.com。  
通讯作者:黄海泉(1974-),男,博士,教授,从事园林植物研究。E-mail:haiquanl@163.com。

剂厂);硝酸(AR,成都市科龙化工试剂厂);K、Na、Fe、Ca、Mn、Cu 和 Mg 标液(国家标准溶液:GSB G 62069-90-8001,国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院)。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 测定不同浓度、不同元素标准溶液的吸光值,绘制出标准曲线,通过标准曲线,测定并计算样品的金属元素含量。

1.2.2 标液的制备 取 K、Na、Fe、Ca、Mn、Cu、

Mg 和 Zn 8 种金属元素的标准储备液(浓度为 1 000 mg·mL<sup>-1</sup>),用去离子水稀释定容,制成一定浓度梯度的标准溶液(表 2)。

1.2.3 仪器工作条件 试验的仪器工作条件见表 3。

1.2.4 加标回收试验 按表 3 仪器的工作条件,用大叠水紫色储备液进行回收试验,以验证试验的准确性。

表 2 各金属元素标准溶液梯度  
Table 2 Standard solution gradient of each metal element (μg·mL<sup>-1</sup>)

元素 Element	梯度 1 Gradient 1	梯度 2 Gradient 2	梯度 3 Gradient 3	梯度 4 Gradient 4	梯度 5 Gradient 5
K	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000
Na	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000
Fe	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
Ca	0.500	1.000	1.500	2.000	2.500
Mn	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
Cu	0.010	0.020	0.030	0.040	0.050
Mg	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
Zn	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500

表 3 仪器工作条件  
Table 3 Operating conditions of instruments

元素 Element	波长/mA Wavelength	灯电流/mA Lamp current	光谱带宽/nm Spectral bandwidth	燃烧高度/mm Burning height	乙炔气流量/ (L·min <sup>-1</sup> ) Acetylene flow	空气流量/ (L·min <sup>-1</sup> ) Air flow
Fe	248.3	8.0	0.2	8.0	2.0	6.5
Zn	213.9	6.0	0.4	6.0	2.0	6.5
Cu	324.8	10.0	0.4	6.0	2.0	6.5
Mn	279.5	5.0	0.2	6.0	2.0	6.5
Ca	422.7	5.0	0.4	6.0	2.0	6.5
Mg	285.2	4.0	0.4	6.0	2.0	6.5
K	766.5	4.0	2.0	5.0	2.0	6.5
Na	589.0	5.0	2.0	6.0	2.0	6.5

2 结果与分析

2.1 加标回收试验、线性方程及相关系数

加标回收试验结果表明,8 种元素的回收率均在 96.30%~102.38%(表 4)。用原子火焰吸收光谱仪测定的不同浓度梯度的标准溶液的吸光度,绘制工作曲线。由表 5 可知,相关系数在 0.994 0~0.999 8,标准曲线线性关系良好,可作为定量依据。

2.2 4 种滇水金凤花瓣中金属元素含量测定

4 种不同花色滇水金凤花瓣中金属元素含量

测 3 次取平均值,结果见表 6。

通过对 4 种不同凤仙花花瓣中金属元素含量进行测定发现,4 种不同花色滇水金凤花瓣中金属元素的含量存在差异,其中 K、Na、Mg、Ca 元素含量较高,重金属 Cu 含量较低;同一个采集地的两种不同花色的滇水金凤(1#和 2#)中 Fe、Mn 含量差异较大,随着 Fe 含量升高,花色越深(通过紫外分光光度法<sup>[11]</sup>确定花色由深到浅的次序为 3#>1#>4#>2#),随 Mn 含量升高,花色越浅;3#凤仙花所有金属元素含量均低于其它 3 种,

表 4 各金属元素加标回收试验  
Table 4 Brcovery test of various metal elements  
by adding standard

金属元素种类 Element	测得量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) Test results	加标量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) Add a scalar	测得总量/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) Total results	回收率/% Recovery
Ca	2.121	2.000	4.128	99.83
Cu	0.023	0.020	0.042	102.38
Fe	0.284	0.200	0.477	101.47
K	16.134	10.000	26.656	98.04
Mg	1.122	0.500	1.639	98.96
Mn	0.056	0.100	0.162	96.30
Na	2.210	2.000	4.235	99.52
Zn	0.097	0.100	0.198	99.49

表 5 各金属元素标准溶液线性回归方程  
及相关系数

Table 5 Linear regression equation and  
correlation coefficient of standard  
solution of various metal elements

金属元素种类 Element	线性回归方程 Linear regression equation	相关系数 Correlation coefficiency
K	$y=0.10738x+0.0012164$	$R=0.9983$
Na	$y=0.1839x-0.0975$	$R=0.9940$
Fe	$y=0.0818x+0.00074$	$R=0.9995$
Ca	$y=0.06016x+0.01108$	$R=0.9996$
Mn	$y=0.189x+0.00758$	$R=0.9996$
Cu	$y=0.16939x+0.00060726$	$R=0.9976$
Mg	$y=0.7906x+0.012940$	$R=0.9988$
Zn	$y=0.5334x+0.2316$	$R=0.9998$

表 6 滇水金凤花瓣金属含量测试结果  
Table 6 Metal content test results of petals of *Impatiens uliginosa*

试样编号 Number	不同金属元素含量/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) Metal content							
	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn
1#	3168.62	19.08	341.84	16718.37	1498.97	49.22	2619.85	69.40
2#	3101.35	17.09	201.28	17517.31	1624.18	98.21	3302.63	95.50
3#	1272.25	13.55	170.09	9676.56	672.68	33.47	1325.45	58.35
4#	6725.09	18.46	179.08	13404.93	1891.79	65.98	1779.62	47.15

但其花色最深;4# 凤仙花的 Ca、Mg 含量最高,可能与滇池流域环境本底值较高有关。

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对 4 种不同凤仙花花瓣中金属元素含量进行测定发现,4 种不同花色滇水金凤花瓣中金属元素的含量存在差异,其中 K、Na、Mg、Ca 元素含量较高,重金属 Cu 含量较低;同一个采集地的两种不同花色的滇水金凤(1# 和 2#)中 Fe、Mn 含量差异较大,随着 Fe 含量升高,花色越深,随 Mn 含量升高,花色越浅;3# 凤仙花所有金属元素含量均低于其它 3 种,但其花色最深(通过紫外分光光度法<sup>[11]</sup>确定花色由深到浅的次序为 3#>1#>4#>2#);4# 凤仙花的 Ca、Mg 含量最高,可能与滇池流域环境本底值较高有关。

3.2 讨论

金属离子对花色苷存在一定的影响,Ca<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup> 对花色苷起增色作用<sup>[12]</sup>,

Mg<sup>2+</sup> 对花色苷起稳定作用<sup>[13]</sup>。K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 可使花色色素呈现红色,且离子浓度越高,红色越深<sup>[14]</sup>。Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>3+</sup> 存在降低花色苷的稳定性。因此,金属元素在花色显色中具有不同的影响作用。后续将测定这 4 种滇水金凤采集地土壤的金属元素含量,同时就单一元素对滇水金凤花色的影响进行试验,为揭示滇水金凤花色变异机理提供依据。

参考文献:

[1] Janssens S B,Knox E B,Huysmans S,et al. Rapid radiation of *Impatiens* (Balsaminaceae) during Pliocene and Pleistocene;Result of a global climate change[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution,2009,52:806-824.

[2] Fischer E,Wohlhauser S,Rahelivololona M E. New taxa of *Impatiens*(Balsaminaceae)from Madagascar. II [J]. A Collection from Masoala Peninsula Adansonnia,2003,25(1):17-31.

[3] 于胜祥,陈艺林,覃海宁. 广西凤仙花属(凤仙花科)一新变种——瑶山凤仙花[J]. 植物分类学报,2007,45(5):708-712.

[4] Yuan Y M,Song Y,Geuten K. Phylogenyand biogeography of Balsaminaceae inferred from ITS sequences[J]. Taxon,

- 2004,53(2):391-403.
- [5] Shui Y M, Janssens S, Huang S H, et al. Three New Species of *Impatiens* L. from China and Vietnam: Preparation of Flowers and Morphology of Pollen and seeds[J]. Systematic Botany, 2011, 36(2): 428-439.
- [6] Li G F, Shui Y M, Chen W H, et al. A new species of *Impatiens* (Balsaminaceae) from Yunnan, China[J]. Brittonia, 2011, 63(4): 452-456.
- [7] 裴仁济, 陈小强, 孙宁, 等. 火焰原子吸收光谱法测定不同花色非洲紫罗兰金属元素[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 444-445.
- [8] 包雪英, 刘翠珍. 原子吸收法测定黄芩中的矿质元素[J]. 北方园艺, 2007(12): 50-51.
- [9] 李荣华, 张媛, 方正. 铜对紫色新几内亚凤仙开花性状的影
- 响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4490-4491.
- [10] 李荣华, 张媛, 方正. 铝对新几内亚凤仙生长发育及花色的影响[J]. 河北农业大学学报, 2006(5): 32-36.
- [11] 管海波, 黄忠京, 银小玲, 等. 当归藤红色素稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2012(10): 232-235.
- [12] 李颖畅, 孟宪军, 周艳, 等. 金属离子和食品添加剂对蓝莓花色苷稳定性的影响[J]. 食品科学, 2009(9): 80-84.
- [13] 付红岩, 李自强, 姚晶, 等. 金属离子和食品添加剂对紫甘薯花色苷稳定性的影响[J]. 食品工业技术, 2013(15): 273-276.
- [14] 赵起灵, 陈俊愉, 刘雪兰, 等. 理化因素对梅花‘南京红须’花色色素颜色呈现的效应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004(2): 27-32.

## Determination and Analysis of Metal Elements Content in Four Different Colors of *Impatiens uliginosa*

HUANG Qi, GUO Jia-wei, WANG Qiong, WEN Yong-hui, HUANG Mei-juan, HUANG Hai-quan

(College of Landscape Architecture, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to explore the ways of flower color improvement of *Impatiens uliginosa* in Yunnan province, the contents of eight metal elements of K, Na, Fe, Ca, Mn, Cu, Mg and Zn in the four kinds of *Impatiens uliginosa* were determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS). The results showed that the contents of eight metal elements in the four kinds of *Impatiens uliginosa* were significant differences. The contents of K, Na, Mg and Ca were higher than other elements, and the contents of Cu were lower than other elements. The contents of Fe and Mn in two kinds of *Impatiens uliginosa* Franch were different, although which was in the same collection site.

**Keywords:** *Impatiens uliginosa*; metal content; flame atomic absorption spectrometry

(上接第 85 页)

- [2] 孙黎黎. 丛生福禄考与无芒雀麦抗旱性比较试验[J]. 中国城市林业, 2014, 12(4): 23-25.
- [3] 张以顺, 黄霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [4] 陈娅琼, 蒋文伟, 黄建荣, 等. 4 种荷兰菊品种耐热性生理指标初探[J]. 江苏林业科技, 2009, 36(1): 15-28.
- [5] 吴斌, 蒋秋玮, 顾婷婷, 等. 高温胁迫下不同耐热性萝卜幼苗生理响应分析[J]. 中国蔬菜, 2010(10): 25-28.
- [6] 杨华庚, 杨重法, 陈慧娟, 等. 蝴蝶兰不同耐热性品种幼苗对高温胁迫的生理反应[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 144-150.

## Cultivation Characteristics and Physiology Responses of *Phlox subulata* to High Temperature Stress

ZHU Jun-jie, ZHANG Guo-wei, XU Ming

(Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201612, China)

**Abstract:** In order to evaluate the interspecific heat resistance of *Phlox subulata*, *Phlox subulata* were used as experimental material and five treatments of 20, 25, 30, 35 and 40 °C set to measure content of chlorophyll, content of water, cell membrane injury rate, content of soluble protein, content of malondialdehyde (MDA) and free proline content (PRO). The results showed that when it was 20 and 25 °C, plants were a better growth, physiochemical indexes did not change significantly; At 30 and 35 °C environment, leaves were beginning to yellow, content of PRO increased, contents MDA and soluble protein decreased. At 40 °C environment, plants grew worse. They could grow well at 30 °C environment. But there will be significant change on growth and physiochemical indexes when the temperature was 35 °C. The cell membrane injury rate, MDA content, soluble protein, free proline content were selected as physiochemical indexes of evaluating on heat tolerance of different *Phlox subulata*.

**Keywords:** *Phlox subulata*; high temperature stress; physiochemical indexes