

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202104060

梁晓丽, 舒慧娟, 王婷, 等. 凤仙花近缘种间核型分析与叶表皮微形态研究 [J]. 广西植物, 2022, 42(1): 152–160.
LIANG XL, SHU HJ, WANG T, et al. Research on karyotype analysis and leaf epidermal micromorphology of related species of *Impatiens* [J]. *Guihaia*, 2022, 42(1): 152–160.



凤仙花近缘种间核型分析与叶表皮微形态研究

梁晓丽^{1,2}, 舒慧娟^{1,2}, 王婷^{1,2}, 蔡秀珍^{1,2}, 丛义艳^{1,2}, 旷仁平^{1,2*}

(1. 湖南师范大学 生命科学学院, 长沙 410081; 2. 作物不育资源创新与利用湖南省重点实验室, 长沙 410081)

摘要: 为探究凤仙花近缘种植物的细胞学和微形态学方面的亲缘关系, 该文选取荔波凤仙花 (*Impatiens liboensis*) 及近缘种赤水凤仙花 (*I. chishuiensis*) 和管茎凤仙花 (*I. tubulosa*) 的根尖和叶表皮为实验材料, 采用体细胞染色体常规压片法和叶表皮光学显微镜观察法对凤仙花近缘种植物进行染色体及叶表皮特征研究。结果表明: (1) 3种近缘种凤仙花核型均为 2B。荔波凤仙花染色体数目为 $2n=16$, 核型公式为 $2n=2x=16=6m+4sm+2st+4T$; 赤水凤仙花染色体数目为 $2n=14$, 核型公式为 $2n=2x=14=12m+2sm$; 管茎凤仙花染色体数目为 $2n=14$ 和 $2n=18$, 核型公式为 $2n=2x=14=4m+4sm+6T$ 和 $2n=2x=18=4m+2sm+12T$ 。(2) 3种近缘种凤仙花叶表皮细胞均为不规则形, 垂周壁式样有浅波状、波状两种; 上表皮不具气孔器, 下表皮均具气孔器; 气孔指数和气孔密度差异大, 可作为种间的分类依据。该文首次报道荔波凤仙花和赤水凤仙花的染色体数目、核型情况和叶表皮微形态特征。综上所述认为, 凤仙花属植物的物种多样性可反映在高度可变的染色体数目和叶表皮形态上, 染色体核型特征和叶表皮微形态特征对探讨凤仙花属种间亲缘关系、地理分布格局具有一定的科学意义, 也可作为其分类的参考依据。

关键词: 荔波凤仙花, 赤水凤仙花, 管茎凤仙花, 细胞学, 微形态学, 亲缘关系, 分类学

中图分类号: Q949.755.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2022)01-0152-09

Research on karyotype analysis and leaf epidermal micromorphology of related species of *Impatiens*

LIANG Xiaoli^{1,2}, SHU Huijuan^{1,2}, WANG Ting^{1,2}, CAI Xiuzhen^{1,2},
CONG Yiyang^{1,2}, KUANG Renping^{1,2*}

(1. College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2. Hunan Province Key Laboratory of Crop Sterile Germplasm Resource Innovation and Application, Changsha 410081, China)

Abstract: *Impatiens* L. (Balsaminaceae) is a genus that contains ca. 1 000 species mainly distributed in tropical and subtropical regions of Asia and Africa. Several studies have been carried out within this genus, however, there is still paucity in the karyotype research. In order to explore the genetic relationship of cytological and micromorphological characters among related species of *Impatiens*, the chromosome and leaf epidermal characteristics of the genus were studied. Here, we report the chromosome analysis and leaf epidermal characteristics of three related *Impatiens* species,

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 科技部“国家科技基础条件平台”项目 (Y5217G1006); 国家科技基础资源调查专项 (2019FY101800) [Supported by the National Platform for Basic Conditions of Science and Technology (Y5217G1006); the National Science and Technology Basic Resources Survey Project (2019FY101800)].

第一作者: 梁晓丽 (1996-), 硕士研究生, 主要从事植物分类学研究, (E-mail) 1215426476@qq.com。

*通信作者: 旷仁平, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事植物系统分类学、植物学教学和科研等工作, (E-mail) 715678818@qq.com。

I. liboensis, *I. chishuiensis* and *I. tubulosa*, using conventional squash method together with light microscopy observations. The results were as follows: (1) The karyotypes of all these three species were 2B. *I. liboensis*, the chromosome number was $2n = 16$, and the karyotype formula was $2n = 2x = 16 = 6m + 4sm + 2st + 4T$, whereas, for *I. chishuiensis*, the chromosome number was $2n = 14$, and the karyotype formula was $2n = 2x = 14 = 12m + 2sm$. Additionally, in *I. tubulosa*, the chromosome number was $2n = 14$ or $2n = 18$, and the karyotype formula was $2n = 2x = 14 = 4m + 4sm + 6T$ or $2n = 2x = 18 = 4m + 2sm + 12T$. (2) In terms of leaf epidermal characteristics, the shape of epidermal cells for these species was irregular, with anticlinal walls sinuate or sinuous; Stomata were only observed from the abaxial side; The stomatal index and stomatal density of the three species of *Impatiens* were quite different, and can be used for the taxonomy of these three *Impatiens* species. The chromosome number, karyotype and leaf epidermal characteristics of *I. liboensis* and *I. chishuiensis* were reported for the first time. Therefore, the high species diversity in *Impatiens* is reflected in the hypervariable chromosome number and leaf epidermis, chromosome karyotype and leaf epidermal characteristics hence could be used to study the relationship and geographical distribution of the genus *Impatiens* and as important features for its taxonomy.

Key words: *Impatiens liboensis*, *Impatiens chishuiensis*, *Impatiens tubulosa*, cytotaxonomic, micromorphology, genetic relationship, taxonomy

凤仙花科 (Balsaminaceae) 包括水角属 (*Hydrocera* Bl.) 和凤仙花属 (*Impatiens* L.), 其中凤仙花属植物全世界有 1 000 余种, 主要分布于亚洲和非洲的热带和亚热带地区 (Grey-wilson et al., 1980; Yu et al., 2016)。我国已知 270 余种, 其中 240 余种为中国特有种, 主要分布于我国西南地区, 该地区 and 东喜马拉雅山地是世界凤仙花物种五大多样性中心之一 (陈艺林, 2001; 于胜祥, 2012)。近年来, 随着植物学者们的逐步深入调查, 这些地区陆续有新种发现 (Kuang et al., 2014; Ding et al., 2017; Peng et al., 2020; Zou et al., 2020; Peng et al., 2021; Liao et al., 2021)。

目前, 国内外专家对凤仙花属区系研究越来越深入, 但该属的核型研究工作相对滞后。现有报道凤仙花属植物的核型研究主要集中在非洲、亚洲部分地区 (印度、中国-喜马拉雅地区) 等 (Smith, 1934; Khoshoo, 1955, 1957, 1966; Jones & Smith, 1966; Rao, 1975; Gill & Chinnapps, 1977; Zinova-Stahevitch & Grant, 1984; Takashi et al., 1994, 1997; Song et al., 2003; Tatyana et al., 2017; Chandan et al., 2019), 研究发现该属单倍体染色体数目在 $n = 3$ 至 $n = 33$ 之间, 表明了该属植物的染色体数目具有很大的可变性, 这一系列染色体数目之间存在典型的非整倍体进化关系, 主要集中在印度-喜马拉雅山一带。学者 Jones & Smith (1966) 认为喜马拉雅山脉代表凤仙花属的起源中心; Takashi 等 (1994) 报道了采自云南西南部的 10 种凤仙花的

染色体数目和核型, 并认为这些种与喜马拉雅的凤仙花有较近的亲缘关系。总体而言, 我国凤仙花种质资源丰富, 但该属的染色体资料还相对较为匮乏, 这些种类是否起源于喜马拉雅地区或者与喜马拉雅地区的凤仙花有较近的亲缘关系尚未有定论。

随着对凤仙花属植物的调查和研究, 研究者为了弄清本属植物不同类群之间的关系, 在形态解剖学、孢粉学、分子系统学上做了大量的研究, 而关于凤仙花属叶表皮微形态特征的研究报道较少。丛义艳等 (2007) 报道了 6 种国产凤仙花属植物的叶表皮微形态特征; 高萌等 (2011) 报道了 6 种中国石灰岩地区凤仙花叶表皮微形态特征; 李景照等 (2020) 研究了奇异凤仙花的微形态特征, 发现该种表皮结构具有典型的梭形结构, 反映了该种的高度特化。这些研究表明凤仙花属植物叶表皮的某些形态特征在种内较稳定, 在不同类群间存在差异, 可为属内分类提供一定依据, 有利于厘清该属的系统演化地位和意义。

本研究的荔波凤仙花 (*Impatiens liboensis*)、赤水凤仙花 (*I. chishuiensis*) 和管茎凤仙花 (*I. tubulosa*) 3 种凤仙花属植物在形态学上为近缘种, 且均为中国特有种。结合前人的研究, 本文对 3 种近缘种凤仙花属植物的细胞分类学和叶表皮微形态学特征进行研究, 探讨 3 种近缘种间亲缘关系、种内核型特征以及细胞地理学, 增补了凤仙花属细胞学和细胞地理学空白资料, 以期凤

仙花属植物的分类、种质资源鉴定提供细胞学和微形态学的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

材料为荔波凤仙花 7 份,赤水凤仙花 7 份,管茎凤仙花 10 份,共 24 份样品。材料采自贵州赤水、荔波以及湖南衡阳等地,凭证标本存于湖南师范大学植物标本馆(HNNU),材料名称及来源详见表 1。叶片实验材料均用 FAA 固定液处理,备用;待返校后进行微形态研究。活体材料移栽种植于湖南师范大学植物园,以备后续的染色体实验和分子生物学研究。

表 1 3 种凤仙花属植物的基本信息

Table 1 Basic information of three *Impatiens* species

| 种名 Species | 凭证标本 Voucher specimen | 采集地 Locality |
|---------------------------------|--|-----------------------------|
| 荔波凤仙花 <i>I. liboensis</i> | 旷仁平,梁晓丽 R. P. Kuang, X. L. Liang 33898 | 贵州荔波 Libo, Guizhou |
| 赤水凤仙花 <i>I. chishuiensis</i> | 旷仁平,梁晓丽 R. P. Kuang, X. L. Liang 33892 | 贵州赤水 Chishui, Guizhou |
| 管茎凤仙花 <i>I. tubulosa</i> | 刘克明,梁晓丽 K. M. Liu, X. L. Liang 33900 | 湖南衡阳 Hengyang, Hunan |

1.2 方法

1.2.1 染色体材料制备及核型参数获取 凤仙花属植物根尖染色体的制备参照刘永安等(2006)的方法,采用常规压片法。(1)取材与预处理:取材时间为 9:00—11:00,每植株取约 10 个根尖,长 0.5~1 cm,用蒸馏水洗净,用 0.1%秋水仙素浸泡置于 4℃条件下暗处理 4 h,破坏细胞纺锤体的形成,使其停留在有丝分裂中期。(2)固定及保存:上述预处理材料,用蒸馏水洗净(3 次以上),卡诺氏固定液中固定 24 h,使染色体保持原有形态,获得形态完整的染色体。(3)解离:吸掉卡诺固定液,充分洗净,加入 1 mol·L⁻¹盐酸于 60℃水浴锅解离 10~12 min,期间摇晃数次,充分解离。(4)染色:解离后清洗数次,加入改良苯酚品红染色液,放入 4℃冰箱中进行染色 4 h 以上。(5)制片与镜检:切取根尖,长约 1 mm,用 45%~50%的冰

醋酸溶液对根尖进行分色,常规压片,并进行镜检、拍照。(6)核型观察:每种材料选自处于有丝分裂中期的细胞进行观察,选取 30 个染色体分散较好、清晰度高的细胞进行染色体统计计数,实验重复 2 次。核型分析采用李懋学和陈瑞阳(1985)、Levan(1964)的方法;核型分类参照 Stebbins(1971)的标准,按核型中最长染色体长度与最短染色体长度的比值及臂比大于 2 的染色体所占比例划分决定核型分类;判断核型对称性采用 Arano(1963)的方法,核型不对称系数($A_s \cdot k\%$)=长臂总长/全组染色体总长,核型不对称系数越接近 50%,核型的对称程度越高,进化程度越原始。测量染色体长度的软件为 Image Tool 图像处理软件 V2.0.1。荔波凤仙花及其近缘种植物染色体的测量参数详见表 2。

1.2.2 叶表皮微形态观察 实验材料均为野外采集时用 FAA 固定的新鲜叶片,每个种选取 10 份中部健康完整无虫害的叶片,将叶片从 FAA 固定液中取出,用清水漂洗 3 次,再放入 35%的 NaClO 溶液漂白 3~6 h。用镊子撕取叶片上、下表皮,制成临时装片,光学显微镜下进行观察、拍照。每个物种随机取 30 个视野,于 40 倍物镜下观察并记录每个视野内的气孔数目、测量长轴与短轴。对于叶表皮气孔器长宽比、气孔指数(SI)、气孔密度(SD)、气孔器类型的划分及相关术语均参照 Dilcher(1974)的相关研究。(1)气孔器长宽比=气孔器均长/气孔器均宽;(2)气孔指数(SI)=气孔数目/(气孔数目+表皮细胞数目)×100%(1 mm²内);(3)气孔密度(SD)=观察面积内气孔器个数/观察面积(1 mm²内)。

2 结果与分析

2.1 荔波凤仙花与近缘种间染色体核型分析

2.1.1 荔波凤仙花的核型分析 本研究中荔波凤仙花的染色体数目和核型特征为首次报道。荔波凤仙花的染色体数目为 2n=16,核型公式为 2n=2x=16=6m+4sm+2st+4T,其中:有 3 对中部着丝粒染色体;2 对近中部着丝粒染色体;1 对近端部着丝粒染色体;2 对端部着丝粒染色体。染色体相对长度变化范围为 3.98%~9.45%,染色体长度比 3.01>2:1 且臂比>2 的染色体数目为 4,故其核型为 2B(图 1:A-C)。荔波凤仙花的核型不对称系

表 2 3 种凤仙花属植物的染色体参数

Table 2 Parameters of chromosome of three *Impatiens* species

| 种 Species | 染色体 序号 Chromosome serial number | 相对 长度 Relative length (%) | 臂比 Arm ratio | 着丝粒 指数 Centromere index (%) | 染色体 类型 Chromo- some type |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------|---|--------------------------------------|
| 荔波凤仙花 <i>I. liboensis</i> | 1 | 9.45 | 1.33 | 42.85 | m |
| | 2 | 7.53 | 1.36 | 42.74 | m |
| | 3 | 6.44 | 2.00 | 33.33 | sm |
| | 4 | 6.01 | 2.04 | 32.94 | sm |
| | 5 | 5.48 | 1.62 | 40.85 | m |
| | 6 | 4.91 | 3.36 | 22.46 | st |
| | 7 | 6.04 | — | — | T |
| | 8 | 3.98 | — | — | T |
| 赤水凤仙花 <i>I. chishuiensis</i> | 1 | 10.50 | 1.52 | 39.78 | m |
| | 2 | 9.74 | 1.31 | 43.42 | m |
| | 3 | 9.41 | 1.22 | 45.21 | m |
| | 4 | 6.95 | 2.20 | 31.37 | sm |
| | 5 | 6.69 | 1.53 | 39.71 | m |
| | 6 | 4.07 | 1.33 | 43.30 | m |
| | 7 | 3.27 | 1.21 | 45.64 | m |
| 管茎凤仙 a <i>I. tubulosa</i> a | 1 | 10.84 | 2.62 | 27.70 | sm |
| | 2 | 10.30 | 1.60 | 38.44 | m |
| | 3 | 8.34 | 1.36 | 42.65 | m |
| | 4 | 6.20 | — | — | T |
| | 5 | 6.19 | 2.42 | 29.26 | sm |
| | 6 | 5.32 | — | — | T |
| | 7 | 4.81 | — | — | T |
| 管茎凤仙 b <i>I. tubulosa</i> b | 1 | 8.94 | 2.00 | 33.48 | sm |
| | 2 | 7.35 | 1.36 | 42.46 | m |
| | 3 | 7.16 | — | — | T |
| | 4 | 5.64 | 1.12 | 47.29 | m |
| | 5 | 5.35 | — | — | T |
| | 6 | 4.29 | — | — | T |
| | 7 | 4.13 | — | — | T |
| | 8 | 4.07 | — | — | T |
| | 9 | 3.37 | — | — | T |

注: 一代表该对染色体为端部着丝粒染色体, 且短臂相对长度为 0%。

Note: — represents that the chromosome type is terminal centromere chromosome, and the relative length of the short arm is 0%.

数为 69.90%, 显示了一定的不对称性, 说明荔波凤仙花在进化过程中不处于比较原始的地位。

2.1.2 近缘种赤水凤仙花的核型分析 本研究中赤水凤仙花的染色体数目和核型特征为首次报

道。赤水凤仙花的染色体数目为 $2n = 14$, 核型公式为 $2n = 2x = 14 = 12m + 2sm$, 其中: 有 6 对中部着丝粒染色体; 1 对近中部着丝粒染色体。染色体相对长度变化范围为 3.27% ~ 10.50%, 染色体长度比 $2.97 > 2 : 1$ 且臂比 > 2 的染色体数目为 2, 故其核型为 2B (图 1: D-F)。赤水凤仙花的核型不对称系数为 57.51%, 显示了较高的对称性, 说明赤水凤仙花在进化过程中处于比较原始的地位。

2.1.3 近缘种管茎凤仙花的核型分析 管茎凤仙花的染色体数目为 $2n = 14$ 和 $2n = 18$, 核型公式为 $2n = 2x = 14 = 4m + 4sm + 6T$ 和 $2n = 2x = 18 = 4m + 2sm + 12T$ 。染色体相对长度变化范围为 3.37% ~ 10.84%, 染色体长度比分别为 3.19 和 $3.17 > 2 : 1$ 且臂比 > 2 的染色体数目为 2, 所以其核型均为 2B (图 1: G-L)。管茎凤仙花的核型不对称系数分别为 75.21% 和 83.12%, 显示了较高的不对称性, 说明管茎凤仙花在进化过程中处于比较进化的地位。

2.2 荔波凤仙花与近缘种之间核型对称性比较分析

植物的核型进化趋势是由对称向不对称发展, 系统演化上处于较古老或原始的类群具有对称的核型, 处于较进化或特化的类群具有不对称的核型 (Stebbins, 1971; 李娅琼和崔茂应, 2014; 郭玉洁等, 2018; 李永平等, 2020; 陈永毕等, 2021)。因此, 以凤仙花属植物的平均臂比为横坐标, 染色体长度比为纵坐标作图 (图 2) 可知, 3 种凤仙花属植物的坐标点反映了它们的不对称性、亲缘关系以及进化程度, 坐标点越靠近坐标轴左下方, 该植物的核型不对称性越低, 在进化过程中越原始; 相反, 越靠近右上方, 核型不对称性越高, 进化程度越高, 该物种越进化。这 3 种凤仙花属植物的核型均为 2B, 证实了赤水凤仙花、管茎凤仙花与荔波凤仙花的亲缘关系较近 (图 2)。赤水凤仙花和荔波凤仙花到达原点的距离相似, 两者亲缘关系较近; 管茎凤仙花比荔波凤仙花到达原点的距离较远, 两者亲缘关系稍远。荔波凤仙花的核型不对称系数为 69.90%, 赤水凤仙花的核型不对称系数为 57.51%, 管茎凤仙花的核型不对称系数为 75.21% 和 83.12%。据此表明, 三种凤仙花植物在进化趋势中, 赤水凤仙花较为原始, 荔波凤仙花次之, 管茎凤仙花则比较进化。

表 3 3 种凤仙花属植物叶表皮微形态特征

Table 3 Leaf epidermal micromorphological characters of three *Impatiens* species

| 种名 Species | 上/下表皮 Upper/ Lower epidermis | 细胞形状 Shape of cell | 垂周壁式样 Pattern of anticlinal wall | 气孔器类型 Type of stomatal apparatus | 气孔指数 Stomatal index (%) | 气孔密度 Stomatal density (个·mm ⁻²) | 气孔器长宽比 Stomatal aspect ratio |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--|---|-------------------------------|--|---------------------------------------|
| 荔波凤仙花 <i>I. liboensis</i> | 上表皮 Upper epidermis | 不规则形 Irregular | 波状 Sinuous | — | — | — | — |
| | 下表皮 Lower epidermis | 不规则形 Irregular | 波状 Sinuous | 无规则型 Anomocytic | 18.18 | 192 | 1.38 |
| 赤水凤仙花 <i>I. chishuiensis</i> | 上表皮 Upper epidermis | 不规则形 Irregular | 波状 Sinuous | — | — | — | — |
| | 下表皮 Lower epidermis | 不规则形 Irregular | 波状 Sinuous | 无规则型 Anomocytic | 21.35 | 304 | 1.34 |
| 管茎凤仙花 <i>I. tubulosa</i> | 上表皮 Upper epidermis | 不规则形 Irregular | 浅波或波状 Sinuolate or sinuous | — | — | — | — |
| | 下表皮 Lower epidermis | 不规则形 Irregular | 波状 Sinuous | 无规则型 Anomocytic | 21.62 | 256 | 1.16 |

注：—代表该物种上表皮无气孔器。

Note: — represents the absence of stomatal apparatus on the upper epidermis of this species.

2.3 荔波凤仙花与近缘种间叶表皮微形态特征分析

3 种凤仙花属植物叶表皮微形态特征的光学显微镜结果见图 3, 其叶表皮微形态特征见表 3。

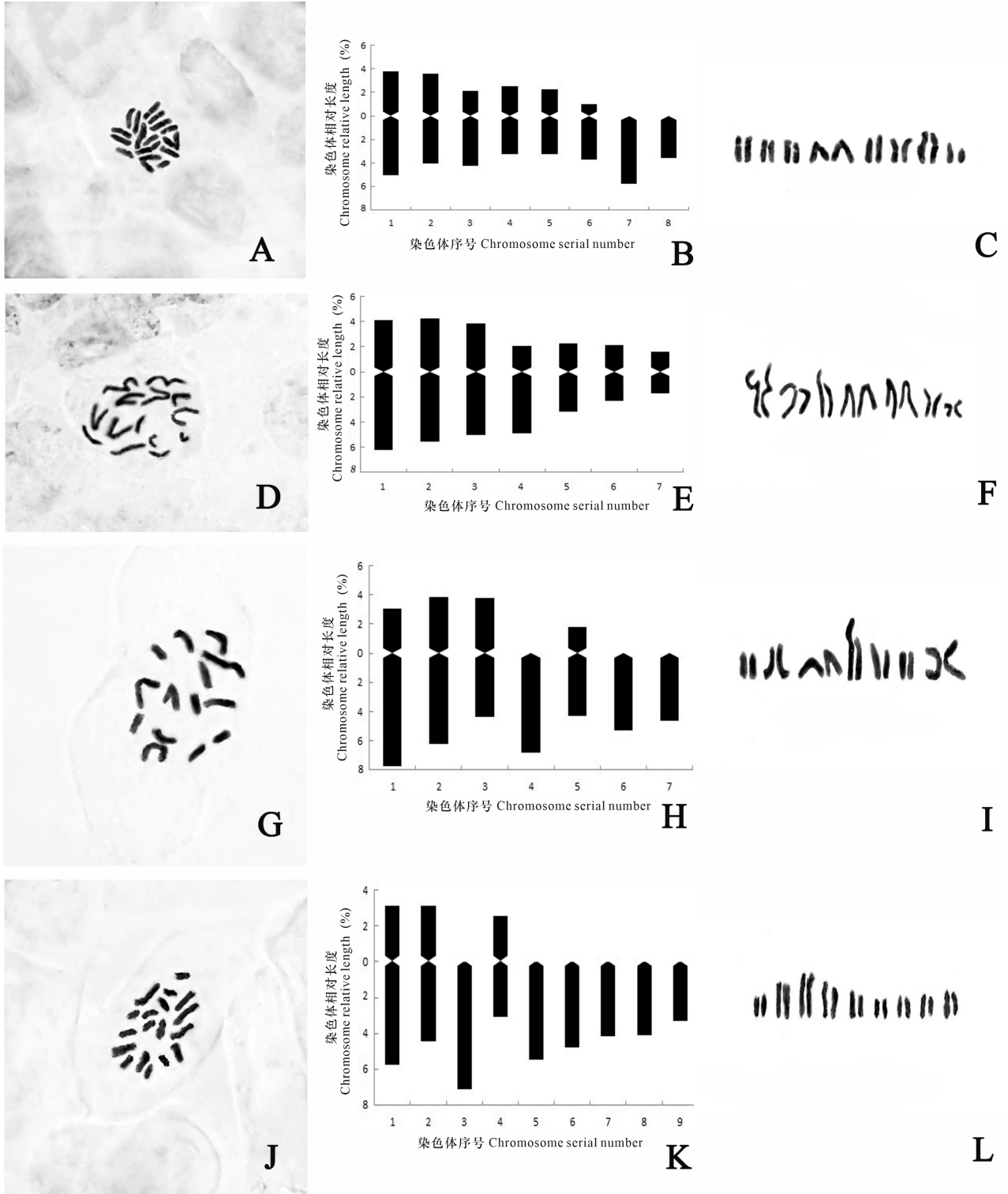
2.3.1 表皮细胞形态及垂周壁式样 3 种凤仙花属植物的叶表皮细胞形状均为不规则形, 垂周壁式样有浅波状、波状两种, 不同种类之间叶表皮细胞垂周壁的弯曲程度不同, 如管茎凤仙花的上表皮垂周壁式样为浅波状或波状, 而荔波凤仙花和赤水凤仙花的上表皮垂周壁式样均为波状。3 种凤仙花属植物上表皮均不具气孔器, 下表皮均具有气孔器, 但不同种类之间的气孔密度和气孔指数差别明显(图 3)。

2.3.2 气孔器特征 3 种凤仙花属植物气孔器均分布在下表皮, 气孔器类型均为无规则型, 形状为椭圆形或长椭圆形两种, 如管茎凤仙花的气孔器形状为椭圆形或近圆形, 荔波凤仙花和赤水凤仙花的气孔器形状为长椭圆形。气孔器在下表皮上的数目、大小在不同的种间存在明显差异。荔波凤仙花气孔器大小范围是 $11.71 \mu\text{m} \times 8.65 \mu\text{m} \sim 15.49 \mu\text{m} \times 12.05 \mu\text{m}$, 赤水凤仙花气孔器大小范围是 $11.92 \mu\text{m} \times 8.57 \mu\text{m} \sim 18.34 \mu\text{m} \times 14.50 \mu\text{m}$, 管茎凤仙花气孔器大小范围是 $9.80 \mu\text{m} \times 8.69 \mu\text{m} \sim 14.21 \mu\text{m} \times 12.61 \mu\text{m}$ 。叶片下表皮气孔指数最高的是管茎凤仙花, 赤水凤仙花次之, 最低的为荔波凤仙花, 气孔指数分别为 21.62%、21.35%、18.18% (表 3)。

3 讨论与结论

3.1 荔波凤仙花近缘种间核型研究及亲缘关系探讨

Khoshoo (1957) 在 1957 年提出 $x=7, 10$ 是原始的染色体基数类型; Rao (1975) 认为 $x=8$ 可能是原始的染色体基数, 基数 $x=7, 9, 10$ 是从基数 $x=8$ 进化到下降和上升的异倍体。其他染色体基数以非整倍性变异和上升或下降变异为主, 使染色体的数目增加或减少。Song 等 (2003) 对亚洲西南地区的 45 种凤仙花属植物进行了相关研究, 认为最常见的染色体基本数目与凤仙花属植物的地理分布具有一定相关性, 染色体基数 $x=7, 8, 9, 10$ 分布于喜马拉雅地, 也很可能是凤仙花属原始的染色体基数候选类型。Yu 等 (2016) 基于 ITS、*atpB-rbcL* 和 *trnL-F* 序列构建的系统发育树, 提出 Clade I 类群是一个相对自然的类群, 处于系统发育树的基部, 赤水凤仙花和管茎凤仙花位于 Clade I 类群, 该分支均为侧生萼片, 为 4 枚, 四心皮, 花粉粒具 3 萌发孔的类群。从现有的观测数据和实验结果可以看出, 3 种近缘种凤仙花的核型特征和进化趋势与前人研究结果相吻合。由此推测, 荔波凤仙花、赤水凤仙花和管茎凤仙花 3 种近缘种属于原始的染色体基数类型, 可能起源于喜马拉雅或与喜马拉雅地区的凤仙花有较近的亲缘关系。



A-C. 荔波凤仙花；D-F. 赤水凤仙花；G-I. 管茎凤仙花 a；J-L. 管茎凤仙花 b。
 A-C. *I. liboensis*；D-F. *I. chishuiensis*；G-I. *I. tubulosa* a；J-L. *I. tubulosa* b。

图 1 3 种凤仙花属植物的染色体数目、核型模式及核型图

Fig. 1 Chromosome number, idiograms and karyotypes of three *Impatiens* species

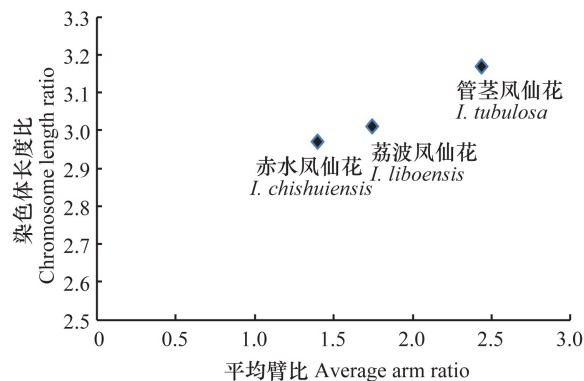


图2 3种凤仙花属植物核型对称性比较

Fig. 2 Karyotype symmetry comparison of three *Impatiens* species

3.2 管茎凤仙花染色体数目的变异与进化

凤仙花属植物染色体数目多样,不仅在各种间出现变化,而且在多数种内也有变化。本研究采集于湖南衡阳衡山的管茎凤仙花,染色体数目 $2n=14$ 和 $2n=18$,核型是 $2B$,核型公式为 $2n=2x=14=4m+4sm+6T$ 和 $2n=2x=18=4m+2sm+12T$,而方亮(2011)报道的管茎凤仙花采集于江西九连山,染色体数目为 $2n=18$,核型是 $1C$,核型公式为 $2n=2x=18=4m+2sm+12T$ 。研究结果的不同可能是管茎凤仙花种内的变异在有丝分裂过程中的配子不平衡分离所致,还可能跟遗传进化与所处的地理环境有一定的相关性。湖南衡阳衡山的管茎凤仙花分布点海拔较高,在气候严酷而不稳定的生态因子下,对染色体数目产生巨大的影响。这为凤仙花属植物细胞分类学研究积累了原始的资料,也为研究中国凤仙花属植物群落分布与地理位置差异的关系提供一定的理论基础。

3.3 叶表皮微形态特征反映的种间亲缘关系及地理分布

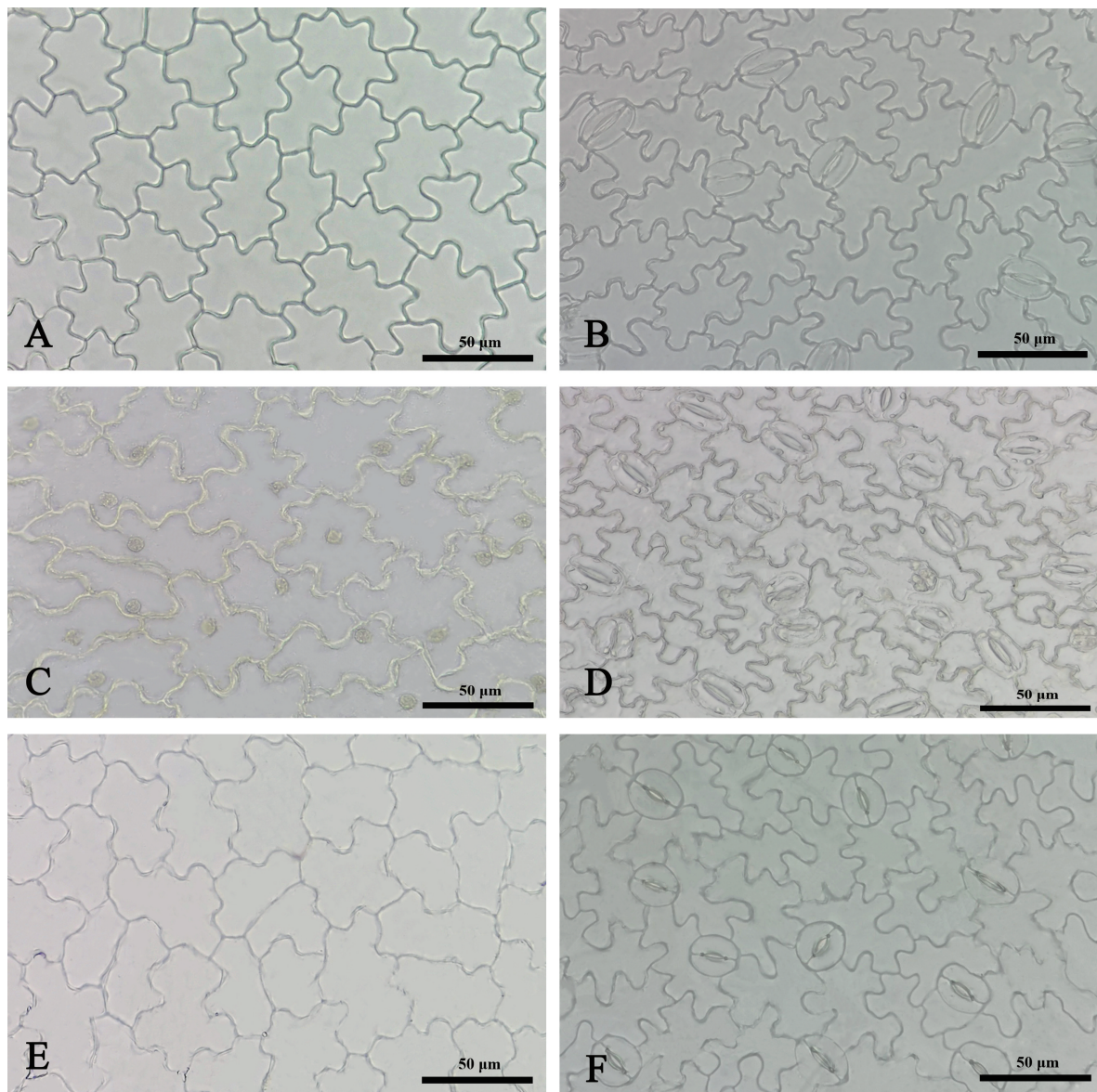
许多研究表明,叶表皮的微形态特征的多样性在一定程度上能反映属内类群的分化、类群间的亲缘关系,并可用于植物种间或属间分类、植物系统演化关系的探讨。张晓霞等(2013)对36种凤仙花属植物的叶表皮微形态特征进行研究发现叶表皮微形态特征与地理分布具有一定相关性,结果发现管茎凤仙花归在 Group III类群中,该种的上表皮垂周壁式样为浅波状,下表皮垂周壁式样为波状,主要分布在中国南部和中部地区。从植

物地理分布角度看,荔波凤仙花仅分布在贵州荔波县;赤水凤仙花分布在贵州、广西;管茎凤仙花分布较广,我国浙江、江西、湖南、福建、广东、广西等地均有分布,本研究结果和张晓霞等(2013)的结论相一致。因此,凤仙花叶表皮微形态特征可为该科系统发育、属间、种内鉴定提供有价值的分类学佐证。

本研究的3种近缘种凤仙花属植物叶表皮微形态特征表现出较高的一致性,进一步证实了荔波凤仙花、赤水凤仙花和管茎凤仙花之间的亲缘关系较近。但是上下表皮垂周壁式样、气孔器类型、气孔指数、气孔密度等特征存在差异,这些差异可为凤仙花属物种间的鉴定提供一定的科学分类依据。本文仅选择了3种中国特有种进行研究,叶表皮对于凤仙花属的属下分类意义还需要更深入的研究。

参考文献:

- ARANO H, 1963, Cytological studies in subfamily carduoideae (compositae) of Japan IX. The karyotype analysis and phylogenic considerations on *Pertya* and *Ainsliaea* [J]. *Shokubutsugaku Zasshi*, 76(895): 32-39.
- CHANDAN KD, MD HAR, SYEDA SS, et al., 2019. Cytotaxonomy of four floral variants of *Impatiens Balsamina* L. [J]. *J Bangladesh Acad Sci*, 43(1): 1-9.
- CHEN YL, 2001. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* [M]. Beijing: Science Press, 47(2): 49-212. [陈艺林, 2001. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 47(2): 49-212.]
- CHEN YB, LI S, WU J, et al., 2021. A cluster analysis of karyotype resemblance-near coefficients in genus *Epimedium* L. and its evolutionary and systematic implications [J]. *Guihaia*, 41(1): 55-67. [陈永毕, 李双, 吴静, 等, 2021. 基于淫羊藿属 (*Epimedium* L.) 核型似近系数的聚类分析及其系统演化意义 [J]. *广西植物*, 41(1): 55-67.]
- CONG YY, LIU KM, CHEN W, et al., 2007. A study on micromorphological characters of leaf epidermis of six species in *Impatiens* L. [J]. *J Hunan Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 30(1): 68-71. [丛义艳, 刘克明, 陈薇, 等, 2007. 6种凤仙花属 (*Impatiens* L.) 植物叶表皮特征的微形态学研究 [J]. *湖南师范大学(自然科学版)*, 30(1): 68-71.]
- DILCHER DL, 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains [J]. *Bot Rev*, 40(1): 68-71.
- DING B, WANG JC, DENG HP, et al., 2017. *Impatiens baishaensis* (Balsaminaceae): A new species from Sichuan, China [J]. *Phytotaxa*, 319(2): 192-196.



A. 荔波凤仙花上表皮; B. 荔波凤仙花下表皮; C. 赤水凤仙花上表皮; D. 赤水凤仙花下表皮; E. 管茎凤仙花上表皮; F. 管茎凤仙花下表皮。

A. *I. liboensis* upper epidermis; B. *I. liboensis* lower epidermis; C. *I. chishuiensis* upper epidermis; D. *I. chishuiensis* lower epidermis; E. *I. tubulosa* upper epidermis; F. *I. tubulosa* lower epidermis.

图 3 光学显微镜下 3 种凤仙花属植物叶表皮形态特征

Fig. 3 Morphological characters of epidermis of three *Impatiens* species observed by optical microscope

FANG L, 2011. The karyotype analysis of the genus *Impatiens* in Jiangxi Province [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University: 1-28. [方亮, 2011. 江西七种凤仙花属植物的核型分析 [D]. 南昌: 江西农业大学: 1-28.]

GREY-WILSON C, BALKEMA AA, ROTTERDAM, 1980. *Impatiens* of Africa [M]. Netherlands: Scientia Horticulturae, 18: 299-301.

GILL LS, CHINNAPPA CC, 1977. Chromosome numbers from herbarium sheets in some Tanzanian *Impatiens* L.

(Balsaminaceae) [J]. Caryologia, 30: 375-379.

GUO YJ, ZHANG X, GUO MY, et al., 2018. Karyotype analysis of six species of *Salvia* L. [J]. J Hebei Agric Univ, 41(5): 90-93. [郭玉洁, 张响, 郭明阳, 等, 2018. 6 种鼠尾草属植物的核型分析 [J]. 河北农业大学学报, 41(5): 90-93.]

GAO M, XU WB, YANG HL, et al., 2011. Characters of leaf epidermis and their taxonomic significance in *Impatiens* (Balsaminaceae) obligated to limestone region from China

- [J]. *Guihaia*, 31(6): 730-734. [高萌,许为斌,杨海灵,等, 2011. 中国石灰岩专性凤仙花叶表皮特征及其分类学意义 [J]. *广西植物*, 31(6): 730-734.]
- JONES K, SMITH JB, 1966. The cytogeography of *Impatiens* L. (Balsaminaceae) [J]. *Kew Bull*, 20(1): 63-72.
- KHOSHOO TN, 1955. Cytology of *Impatiens* [J]. *Curr Sci*, 24: 423-424.
- KHOSHOO TN, 1957. Cytology of some *Impatiens* species [J]. *Caryologia*, 10(1): 55-72.
- KHOSHOO TN, 1966. Cytology of pollen with particular reference to *Impatiens* and *Allieae* [J]. *Proc Indian Acad Sci B*, 63(1): 35-45.
- KUANG RP, DUAN LD, GU JZ, et al., 2014. *Impatiens liboensis* sp. nov. (Balsaminaceae) from Guizhou, China [J]. *Nord J Bot*, 32(4): 463-467.
- KONG H, WANG BZ, MA JJ, et al., 2015. Chromosome technique of root tips and cytological study in *Impatiens walleriana* Hook.f. [J]. *Hubei Agric Sci*, 54(21): 5324-5326. [孔红,王宝增,马建军,等, 2015. 非洲凤仙根尖染色体制片技术及细胞学研究 [J]. *湖北农业科学*, 54(21): 5324-5326.]
- LIAO RL, CAI L, YU ZY, et al., 2021. *Impatiens wutaishanensis* (Balsaminaceae), a new species from Southeast Yunnan, China [J]. *PhytoKeys*, 176: 43-53.
- LI YQ, CUI MY, 2014. Karyotype of endangered medicinal plant *Aconitum brachypodum*, and its affinis species *A. pendulum* and *A. brachypodum* var. *laxiflorum* [J]. *Guihaia*, 34(6): 768-772. [李娅琼,崔茂应, 2014. 濒危药用植物短柄乌头及其近缘种的核型研究 [J]. *广西植物*, 34(6): 768-772.]
- LI JZ, HUANG HH, GAO LX, et al., 2020. Micromorphological characteristics and systematic evolutionary significance of *Impatiens paradoxa* C.S.Chu et H.W.Yang (Balsaminaceae) [J]. *Plant Sci J*, 38(3): 301-307. [李景照,黄红慧,高立献,等, 2020. 奇形凤仙花的微形态特征及其系统演化意义 [J]. *植物科学学报*, 38(3): 301-307.]
- LI MX, CHEN RY, 1985. A suggestion on the standardization of karyotype analysis in plants [J]. *J Wuhan Bot Res*, 3(4): 297-302. [李懋学,陈瑞阳, 1985. 关于植物核型分析的标准化问题 [J]. *武汉植物学研究*, 3(4): 297-302.]
- LEVAN A, 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes [J]. *Hereditas*, 52: 201-220.
- LI YP, JIA ML, LIANG Z, et al., 2020. Karyotype analysis of three species of *Hemerocallis* [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 48(1): 32-34. [李永平,贾民隆,梁峥,等, 2020. 3种萱草属植物染色体核型分析 [J]. *山西农业科学*, 48(1): 32-34.]
- LIU YA, FENG HS, CHEN ZG, et al., 2006. Common methods of karyotype analysis in plant [J]. *Guizhou Agric Sci*, 34(1): 98-102. [刘永安,冯海生,陈志国,等, 2006. 植物染色体核型分析常用方法概述 [J]. *贵州农业科学*, 34(1): 98-102.]
- PENG YC, PENG S, YANG N, et al., 2020. *Impatiens bomiensis* (Balsaminaceae), a new species from Xizang, China [J]. *Nord J Bot*, 38(8): e02761.
- PENG S, CONG YY, TIAN J, et al., 2021. *Impatiens bullatisepala* (Balsaminaceae), a new species from Guizhou, China [J]. *Phytotaxa*, 500(3): 217-224.
- RAO RVS, 1975. On the chromosome courts from the pollen grains of *Impatiens* [J]. *Proc Indian Sci Congr*, 62(3): 120.
- SMITH FH, 1934. Prochromosomes and chromosome structure in *Impatiens* [J]. *Amer Phil Soc*, 74(2): 193-215.
- SONG Y, YUAN YM, PHILIPPEK, 2003. Chromosomal evolution in Balsaminaceae, with cytological observations on 45 species from Southeast Asia [J]. *Caryologia*, 56(4): 463-481.
- STEBBINS, 1971. Chromosomal evolution in higher plants [M]. London: Edward Aronld: 87-93.
- YU SX, 2012. *Impatiens* L. of China [M]. Beijing: Peking University Press: 84-186. [于胜祥, 2012. 中国凤仙花 [M]. 北京: 北京大学出版社: 84-186.]
- YU SX, STEVEN B, JANSSENS, et al., 2016. Phylogeny of *Impatiens* (Balsaminaceae): integrating molecular and morphological evidence into a new classification [J]. *Cladistics*, 32(2): 179-197.
- TAKASHI S, SHINOBU A, JIN M, et al., 1994. Karyology of ten species of *Impatiens* (Balsaminaceae) from SW Yunnan, China [J]. *Acta Phytotax Geobot*, 45(2): 119-125.
- TAKSHI S, SHINOBU A, YANG YP, et al., 1997. Karyological characteristics of *Impatiens* (Balsaminaceae) in Yunnan, China [J]. *Acta Phytotax Geobot*, 48(1): 7-14.
- TATYANA V, AN' KOVA, ELENA Y, et al., 2017. IAPT/IOPB chromosome data 25 [J]. *Taxon*, 66(5): 1246-1252.
- ZINOV'EVA-STAHEVITCH AE, GRANT WF, 1984. Chromosome numbers in *Impatiens* (Balsaminaceae) [J]. *Canad J Bot*, 62(12): 2630-2635.
- ZINOV'EVA-STAHEVITCH AE, GRANT WF, 1984. Polysomaty in the genus *Impatiens* [J]. *Caryologia*, 37(4): 435-438.
- ZHANG XX, ZHANG HY, YU SX, et al., 2013. Leaf epidermal characters and their taxonomic significance in Balsaminaceae, China [J]. *Guihaia*, 33(4): 528-537. [张晓霞,张海燕,于胜祥,等, 2013. 中国凤仙花科植物叶表皮特征及其分类学意义 [J]. *广西植物*, 33(4): 528-537.]
- ZOU CY, LIU Y, LI J, et al., 2020. *Impatiens plicatisepala* (Balsaminaceae), a new species from Guangxi, China [J]. *Taiwania*, 65(4): 544-547.