

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw20160117S

郭慧, 闫瑞亚, 张梅, 等. 凤仙花属总状花序组的花粉形态及其分类学意义 [J]. 广西植物, 2016, 36(1): 83-95

GUO H, YAN RY, ZHANG M, et al. Taxonomic significance of the pollen morphology of sect. *Racemosae* (*Impatiens*) [J]. Guihaia, 2016, 36(1): 83-95

凤仙花属总状花序组的花粉形态及其分类学意义

郭 慧^{1,2}, 闫瑞亚², 张 梅², 罗 强³, 张林静¹, 于胜祥^{2*1}

(1. 山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041004; 2. 中国科学院植物研究所 系统与进化
国家重点实验室, 北京 100093; 3. 西昌学院, 四川 西昌 615013)

摘 要: 总状花序组隶属于凤仙花亚属凤仙花属, 以具多花的总状花序、侧生萼片 2 枚、子房 5 室、果实为线状圆柱形、种子多数、迈卵形、种皮表面具指状突起等特征区别于该亚属的其他类群。前人对凤仙花花粉形态的研究表明凤仙花属的花粉形态对于属下分类及种间界定具有重要的分类学价值。而对于总状花序组来说, 有关花粉形态方面的研究少有报道, 为了进一步探讨该组花粉 S 的形态特征及其分类学意义, 该研究应用扫描电镜技术对总状花序组的 21 种植物的花粉进行了观察。结果表明: 总状花序组植物的花粉粒均具 4 条萌发沟, 两侧对称, 极面观为矩形、长矩形或近方形; 长赤道面观多为椭圆形至矩形, 短赤道面观为椭圆形; 长、短赤道轴比值多在 1.4~2.4 范围内; 表面具网状纹饰, 网眼在花粉粒表面均匀分布或赤道面的网眼较极面观的小, 网脊边缘光滑或具波状突起, 网眼内具不同密度的颗粒状突起。该组的花粉形态与宏观形态性状相关性较小, 但花粉极面观形状、长短赤道轴的比值、网眼的分布、网脊边缘形状、网眼内颗粒物密度等特征具有种水平上的稳定性和特异性, 对该组植物种间界定具有重要的意义。

关键词: 凤仙花科, 凤仙花属, 总状花序组, 花粉形态, 分类学, 扫描电镜

中图分类号: Q949.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)01-0083-13

Taxonomic significance of the pollen morphology of sect. *Racemosae* (*Impatiens*)

GUO Hui^{1,2}, YAN Rui-Ya², ZHANG Mei², LUO Qiang³,
ZHANG Lin-Jing¹, YU Sheng-Xiang^{2*}

(1. College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China; 2. State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 3. Xichang College, Xichang 615013, China)

Abstract: Section of *Racemosae* Hook. f. et Thomson, belonging to subg. *Impatiens*, *Impatiens*, Balsaminaceae, most of them distributed in South China and with a part of species radiated to southern slope of Himalaya and Europe. The species of this section are characterized by racemose inflorescences with many flowers, 2 lateral sepals, 5-carpellated ovary, linear capsule fruits with multiple seeds, subobovoid, and surface of seed with finger-like protuberance appendages, which well circumscribe this section from others of *Impatiens*. Pollen studies in previous works indicated that morphological characters of pollen grains were of valuable in subdivision of *Impatiens* and circumscription of *Impatiens* species. However, the species carried out pollen studies in sect. *Racemosae* are few concerned. In order to study the pollen grain characters and clarify their taxonomic significance of pollen morphology characters, 21 species from sect.

收稿日期: 2015-11-20 修回日期: 2016-01-28

基金项目: 国家自然科学基金 (31170177) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31170177)].

作者简介: 郭慧 (1993-), 女, 山西长治人, 硕士研究生, 从事植物分类学研究, (E-mail) guohui187@126.com.

*通讯作者: 于胜祥, 博士, 主要从事植物分类、区系地理及外来入侵种等研究, (E-mail) yushengxiang@ibcas.ac.cn.

Racemosae were sampled and investigated under Scanning Electron Microscope in this study. The observation results indicated that the species of sect. *Racemosae* were characteristic of 4-colpate pollen grain, zygomorphic, and oblong, long-oblong or sub-quadrate in polar view. The long equatorial view of pollen grain were elliptic to oblong, short equatorial view of pollen grains were elliptic; and the ratio of length of long equatorial axis to short one were mostly between 1.4–2.4. The exine of pollen grains were of reticulate ornamentation with lumina even in polar view or uneven equatorial view. The muri of lumen were smooth or sinuate towards margin. There were granules in the lumina with different densities. The pollen morphology characters of sect. *Racemosae* showed little correlation with the gross morphological characters within this section. However, variation in the aspects of pollen shapes in polar view, the ratio between long equatorial axis and short equatorial axis, distribution of lumen, muri of lumen smooth or sinuate and the density of granules in the lumina and so on, were consensus within species expressed the taxonomical value in circumscription of species within sect. *Racemosae*.

Key words: Balsaminaceae, *Impatiens*, sect. *Racemosae*, pollen morphology, systematics, SEM

总状花序组 (*Impatiens* sect. *Racemosae* Hook. f. et Thomson) 隶属于凤仙花亚属 (subg. *Impatiens*), 凤仙花属 (*Impatiens*), 凤仙花科 (Balsaminaceae), 主要分布于我国华南、西南地区并沿喜马拉雅山脉的南坡向西延伸。该组植物以具多花的总状花序、侧生萼片 2 枚 (少数 4 枚)、子房 5 室、果实为线状圆柱形、种子多数、近卵形、种皮表面具指状突起等特征区别于本亚属的其他类群 (Yu et al, 2015)。

凤仙花属植物茎通常肉质、多汁, 且花被片膜质, 标本一旦压干花的各部分早已粘连在一起, 有用的分类学性状难于提取 (陈艺林, 2001)。而花粉是携带遗传信息的雄性生殖细胞, 与其他组织器官相比其性状相对更稳定, 环境因素对它形态特征的影响较小 (李广清等, 2005)。前人的研究表明该属花粉形态具有重要的分类学价值 (鲁迎青, 1991, 田建平等, 2007, 蔡秀珍等, 2008, 于胜祥, 2012)。但由于取样地域性或种类数量的限制, 其中涉及总状花序组的种类较少, 还不足以反映该组花粉的形态特征。如 Huynh (1966) 研究了取自欧洲爱丁堡、邱园等标本馆的凤仙花属植物腊叶标本上的花粉, 指出该属花粉特征与地理分布相关联; 其后, Bhasker & Razi (1973) 在研究印度凤仙花花粉时亦指出该属花粉具有地域性的特有现象, 认为该属的花粉形态很有特点, 可作为分类的性状加以利用。Grey-Wilson (1980) 通过对非洲 55 种凤仙花花粉的研究分析指出, 花粉形状与花的形态有很大的相关性, 但是由于杂交种的存在而使得一些种间界限变的不清。鲁迎青 (1991) 对我国四川峨眉山 14 种凤仙花的花粉进行了研究, 指出花粉的形态与其花部形态在某些方面具相关性, 在种间存在差异, 相对稳定, 因而

可作为分类学上的依据。然而, 以上研究由于取样代表性的限制, 都未涉及该组的种类。蔡秀珍等 (2007a, b, 2008) 研究了 20 种凤仙花属植物的花粉形态, 发现花粉的形状、大小、网状纹饰及网眼大小等特征可能具有重要的分类价值, 但其中仅涉及到该组黄金凤 (*I. siculifer*) 和井冈山凤仙花 (*I. jinggangensis*) 2 种植物的花粉。Janssens et al (2012) 对亚洲产的 124 个种的花粉形态进行了全面研究, 发现花粉的极面观形状、极轴长度、长赤道轴长度及网状纹饰等特征对亚洲凤仙花的属下分类有意义, 但并没进一步探讨该组植物花粉的具体形态及其种间分类的意义。Yu et al (2015) 基于形态与分子证据重建了凤仙花属的系统发育关系, 其中涉及到该组 20 种植物的花粉形态, 但只提及本组植物花粉粒的花粉沟数目、极面观形状和矩形花粉粒的长宽比等性状, 花粉粒的其他特征如表面纹饰, 花粉粒的大小等特征并未提及, 且未进一步对该组植物的花粉形态对组下分类的系统学意义做深入的讨论。综上所述, 目前关于该组植物花粉形态的研究数量或涉及的性状较少且较为分散, 不足以反映该组植物花粉的形态特征及其在种间的变异情况。

本研究针对总状花序组花粉形态研究现存的问题, 利用扫描电子显微镜对总状花序组 21 种植物花粉进行了扫描观察, 并分析、比较了花粉的极面观形状、大小、长短赤道轴之比及外壁纹饰等特征, 来探讨总状花序组花粉形态的分类学价值。

1 材料与方法

本研究选取的 21 种研究材料主要采自云南、西

藏、四川、贵州、广西等地。采集凤仙花标本时，摘取 2~3 朵花药成熟的花，并与相应凭证标本编同一采集号，用吸水纸包上放入装有硅胶采集袋中，待干燥后，用镊子和解剖针将成熟花药挑到擦洗干净的载玻片上，滴上 95% 的酒精，洗出花粉粒，再用解剖针将花粉粒挑到粘有双面胶的样品台上。在 IB-5 离子溅射仪中真空喷金镀膜 2~3 min。在 HITACHI S-570 及 HITACHI S-4800 型扫描电镜 (SEM) 下观察，记录并拍照。每种花粉测量 20 粒，取最小、最大和平均值表示变化幅度。文中术语的描述参考 Erdtman (1971)、Moore & Webb (1978)、王开发和王宪曾 (1983)、王伏雄 (1997)、札克林斯卡娅 (1965) 及 Tschudy & Scott (1969)。花粉实验的凭证标本信息见表 1，且所有凭证标本均存于中国科学院植物研究所标本馆 (PE)。

2 结果与分析

2.1 花粉形态特征

2.1.1 水凤仙 (*I. aquatilis* Hook. f. 图 1: A-C) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面观长椭圆形，花粉粒大小为 $(32.78\sim35.46) \times (14.02\sim14.97) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘光滑，网眼内密布颗粒状附属物。

2.1.2 米林凤仙花 (*I. nyimana* Marq. et Airy-Shaw 图 1, D-F) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面观长椭圆形，花粉粒大小为 $(29.55\sim32.14) \times (13.22\sim15.57) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘光滑，网眼内密布颗粒状附属物。

2.1.3 束花凤仙花 (*I. desmantha* Hook. f. 图 1: G-I) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(25.36\sim27.55) \times (14.32\sim16.45) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒物稀疏，集中分布于网眼边缘。

2.1.4 澜沧凤仙花 (*I. principis* Hook. f. 图 1: J-L) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(28.69\sim31.22) \times (16.35\sim18.46) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒物稀疏。

2.1.5 瑞丽凤仙花 (*I. ruiensis* S. Akiyama et H. Ohba 图 2: A-C) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道

面观长椭圆形，花粉粒大小为 $(27.55\sim29.84) \times (12.98\sim15.07) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒物稀疏。

2.1.6 独龙江凤仙花 (*I. taronensis* Hand. -Mazz. 图 2: D-F) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(30.30\sim32.40) \times (15.50\sim17.20) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物极少。

2.1.7 黄金凤 (*I. sicutifer* Hook. f. 图 2: G-I) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，短赤道面观近圆形，花粉粒大小为 $(31.84\sim32.88) \times (14.83\sim16.51) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布不均匀，赤道面的网眼比极面观的网眼小，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒状附属物稀疏，多集中于边缘。

2.1.8 藏西凤仙花 (*I. thomsonii* Hook. f. 图 2: J-L) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面观纺锤形，花粉粒大小为 $(28.55\sim31.06) \times (13.89\sim16.05) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布不均匀，赤道面的网眼比极面观的网眼小，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒状附属物稀疏。

2.1.9 白汉洛凤仙花 (*I. bahanensis* Hand. -Mazz. 图 3: A-C) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(25.33\sim27.57) \times (14.35\sim16.44) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，赤道面和极面观的大小一致，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒状附属物稀疏。

2.1.10 栗子坪凤仙花 (*I. lizipingensis* Q. Luo. 图 3: D-F) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(31.26\sim34.05) \times (16.15\sim18.68) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，赤道面和极面观的大小一致，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒状附属物较多。

2.1.11 蓝花凤仙花 (*I. cyanantha* Hook. f. 图 3: G-I) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，短赤道面观近圆形，花粉粒大小为 $(34.20\sim37.20) \times (22.00\sim23.60) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布不均匀，赤道面的网眼比极面观的网眼小，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒状附属物稀疏，网底明显。

2.1.12 小距凤仙花 (*I. microcentra* Hand. -Mazz. 图 3: J-L) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，短赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(24.58\sim27.03) \times (14.57\sim16.64) \mu\text{m}$ 。

表 1 研究材料与花粉形态特征
Table 1 Source of material and characters of pollen

种名 Species	凭证号 Voucher	极面观形状 Shape in polar view	外壁 纹饰 Ornament ation	网脊边缘 Shape of muri	极轴长度 Polar axis length (μm)	长赤道轴长 度 Long equator axis length (μm)	短赤道轴长 度 Short equator axis length (μm)	长短赤道轴 之比 Ratio of long and short equator axis length	网眼颗 粒物 密度 Granules in lumina	图 Fig.
水凤仙 <i>I. aquatilis</i>	S. X. Yu (于胜祥) 3716 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	均匀 Even	光滑 Smooth	(11.53~13.14) 12.37	(32.78~35.46) 34.51	(14.02~14.97) 14.35	2.40	++++	1: A-C
白汊洛凤仙花 <i>I. bahanensis</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6452 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(13.86~15.27) 14.49	(25.33~27.57) 26.45	(14.35~16.44) 15.27	1.73	++	3: A-C
东川凤仙花 <i>I. blinii</i>	4030 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(20.95~23.59) 22.40	(33.79~37.26) 35.28	(19.55~23.43) 21.29	1.66	++	4: D-F
短距凤仙花 <i>I. brachycentra</i>	Xinjiang bayi agronomy courtyard (新疆八一农学院) 005 (PE)	近方形 Sub-Quadrate	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(16.80~18.10) 17.30	(19.30~21.80) 20.10	(19.30~21.30) 20.40	0.98	++	6: D-F
具角凤仙花 <i>I. ceratophora</i>	Jin Xiao Hua-ST0181 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	不均匀 Uneven	深波状突起 Deep wavy projections	(11.89~14.35) 13.29	(28.93~30.87) 29.76	(13.55~16.21) 14.78	2.01	+++	4: G-I
高黎贡山凤仙花 <i>I. chimiliensis</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6539 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(16.54~19.25) 17.82	(30.22~33.56) 32.69	(18.23~21.15) 19.72	1.66	+++	5: A-C
高黎贡山凤仙花 <i>I. chimiliensis</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6539 (PE)	矩圆形 Oblong	不规则 状脊 Irregular ridges	—	(16.35~18.82) 17.38	(29.74~32.21) 31.02	(17.38~19.95) 18.72	1.66	—	5: D-F
棒尾凤仙花 <i>I. claviscuspis</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6400 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(12.25~14.86) 13.14	(26.48~28.87) 27.64	(12.59~14.85) 13.65	2.02	+++	4: J-L
蓝花凤仙花 <i>I. cyanantha</i>	S. X. Yu (于胜祥) 3768 (PE)	矩圆形 Oblong	不均匀 Uneven	深波状突起 Deep wavy projections	(21.60~23.70) 22.40	(34.20~37.20) 36.10	(22.00~23.60) 23.20	1.56	++	3: G-I
束花凤仙花 <i>I. desmantha</i>	Tibetan group (青藏区系组) 7900573-7 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(14.33~16.27) 15.96	(25.36~27.55) 26.44	(14.32~16.45) 15.51	2.35	++	1: G-I
疏花凤仙花 <i>I. laxiflora</i>	3987 (PE)	近方形 Sub-quadrate	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(14.58~15.83) 15.30	(24.60~27.49) 26.71	(18.31~19.45) 18.80	1.42	++	6: G-I
栗子坪凤仙花 <i>I. lizipingensis</i>	Q. Luo (罗强) 131020 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(14.39~16.22) 15.54	(31.26~34.05) 32.72	(16.15~18.68) 17.34	1.89	+++	3: D-F
小距凤仙花 <i>I. microcentra</i>	Tutu 20024 (PE)	矩圆形 Oblong	不均匀 Uneven	浅波状突起 Light wavy projections	(12.36~15.16) 13.88	(24.58~27.03) 26.00	(14.57~16.64) 15.53	1.67	++	3: J-L
米林凤仙花 <i>I. nyimana</i>	S. X. Yu (于胜祥) 6043 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	均匀 Even	光滑 Smooth	(12.85~16.02) 14.59	(29.55~32.14) 30.23	(13.22~15.57) 14.08	2.15	+++	1: D-F
澜沧凤仙花 <i>I. principis</i>	S. X. Yu (于胜祥) 3742 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(16.14~18.55) 17.28	(28.69~31.22) 29.91	(16.35~18.46) 17.16	1.74	++	1: J-L
总状凤仙花 <i>I. racemosa</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6273 (PE)	近方形 Sub-quadrate	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(12.75~15.08) 14.31	(17.65~19.88) 18.96	(15.48~17.85) 16.32	1.16	+	6: A-C
直角凤仙花 <i>I. rectangula</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6505 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(13.20~16.05) 14.15	(26.84~30.15) 28.93	(12.96~15.38) 14.17	2.04	++	4: A-C

续表 1

种名 Species	凭证号 Voucher	极面观形状 Shape in polar view	外壁 纹饰 Ornament ation	网脊边缘 Shape of muri	极轴长度 Polar axis length (μm)	长赤道轴长 度 Long equator axis length (μm)	短赤道轴长 度 Short equator axis length (μm)	长短赤道轴 之比 Ratio of long and short equator axis length	网眼颗粒 物 密度 Granul in lumina	图 Fig.
瑞丽凤仙花 <i>I. ruiliensis</i>	S. X. Yu, W. Wang (于胜祥, 王伟) 6290 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	浅波状突起 Light wavy projections	(11.97~13.68) 13.14	(27.55~29.84) 28.78	(12.98~15.07) 14.18	2.03	++	2: A-C
黄金凤 <i>I. siculifer</i>	Hongtan (红滩) (PE)	长矩圆形 Long-oblong	不均匀 Uneven	浅波状突起 Light wavy projections	(12.79~15.04) 13.89	(31.84~32.88) 32.25	(14.83~16.51) 15.30	2.10	++	2: G-I
槽茎凤仙花 <i>I. sulcata</i>	S. Jiang, C. F. Zhao (姜恕, 赵从福) (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	光滑 Smooth	(10.80~11.74) 11.39	(22.12~24.26) 23.18	(12.29~15.20) 14.36	1.61	++++	5: G-I
槽茎凤仙花 <i>I. sulcata</i>	Tibetan group (青 藏队) 742183 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	光滑 Smooth	(11.40~13.73) 12.19	(22.84~24.64) 23.34	(12.93~14.48) 13.47	1.72	++++	5: J-L
独龙江凤仙花 <i>I. taronensis</i>	Feng 7827 (PE)	矩圆形 Oblong	均匀 Even	深波状突起 Deep wavy projections	(14.30~16.30) 15.80	(30.30~32.40) 31.20	(15.50~17.20) 16.40	1.90	+	2: D-F
藏西凤仙花 <i>I. thomsonii</i>	Tibetan group (西 藏队) 00559 (PE)	长矩圆形 Long-oblong	不均匀 Uneven	浅波状突起 Light wavy projections	(15.18~16.83) 16.03	(28.55~31.06) 29.32	(13.89~16.05) 14.61	2.01	++	2: J-L

注：+的数量表示网眼内附属物数量。Note: + represent granules density in the lumina

外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布不均匀，赤道面的网眼比极面观的网眼小，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒物稀疏，网脊较宽。

2.1.13 直角凤仙花 (*I. rectangula* Hand. -Mazz. 图 4: A-C) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面观长椭圆形，花粉粒大小为 $(26.84\sim30.15) \times (12.96\sim15.38) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，赤道面和极面观的大小一致，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物稀疏。

2.1.14 东川凤仙花 (*I. blinii* Lévl. 图 4: D-F) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(33.79\sim37.26) \times (19.55\sim23.43) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物稀疏。

2.1.15 具角凤仙花 (*I. ceratophora* Comber 图 4: G-I) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面观长椭圆形，花粉粒大小为 $(28.93\sim30.87) \times (13.55\sim16.21) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布不均匀，赤道面的网眼比极面观的网眼小，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物较多。

2.1.16 棒尾凤仙花 (*I. clavicuspis* Hook. f. ex W. W. Smith 图 4: J-L) 花粉粒具四沟，极面观长矩圆形，赤道面

观长椭圆形，花粉粒大小为 $(26.48\sim28.87) \times (12.59\sim14.85) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物较多。

2.1.17 高黎贡山凤仙花 (*I. chimiliensis* Comber 图 5: A-C) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(30.22\sim33.56) \times (18.23\sim21.15) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，网脊边缘深波状突起，网眼内颗粒物较多。同时发现该种的花粉的表面纹饰不为网状，而是不规则的脊状 (图 5: D-F)。

2.1.18 槽茎凤仙花 (*I. sulcata* Wall 图 5: G-L) 花粉粒具四沟，极面观矩圆形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(22.12\sim24.64) \times (12.29\sim15.20) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，赤道面的网眼和极面观的大小一致，网脊边缘光滑，网眼内颗粒状附属物不明显。

2.1.19 总状凤仙花 (*I. racemosa* DC 图 6: A-C) 花粉粒具四沟，极面观近方形，赤道面观椭圆形，花粉粒大小为 $(17.65\sim19.88) \times (15.48\sim17.85) \mu\text{m}$ 。外壁具网状纹饰，网眼在花粉粒表面分布均匀，赤道面和极面观的大小一致，网脊边缘浅波状突起，网眼内颗粒物极少。

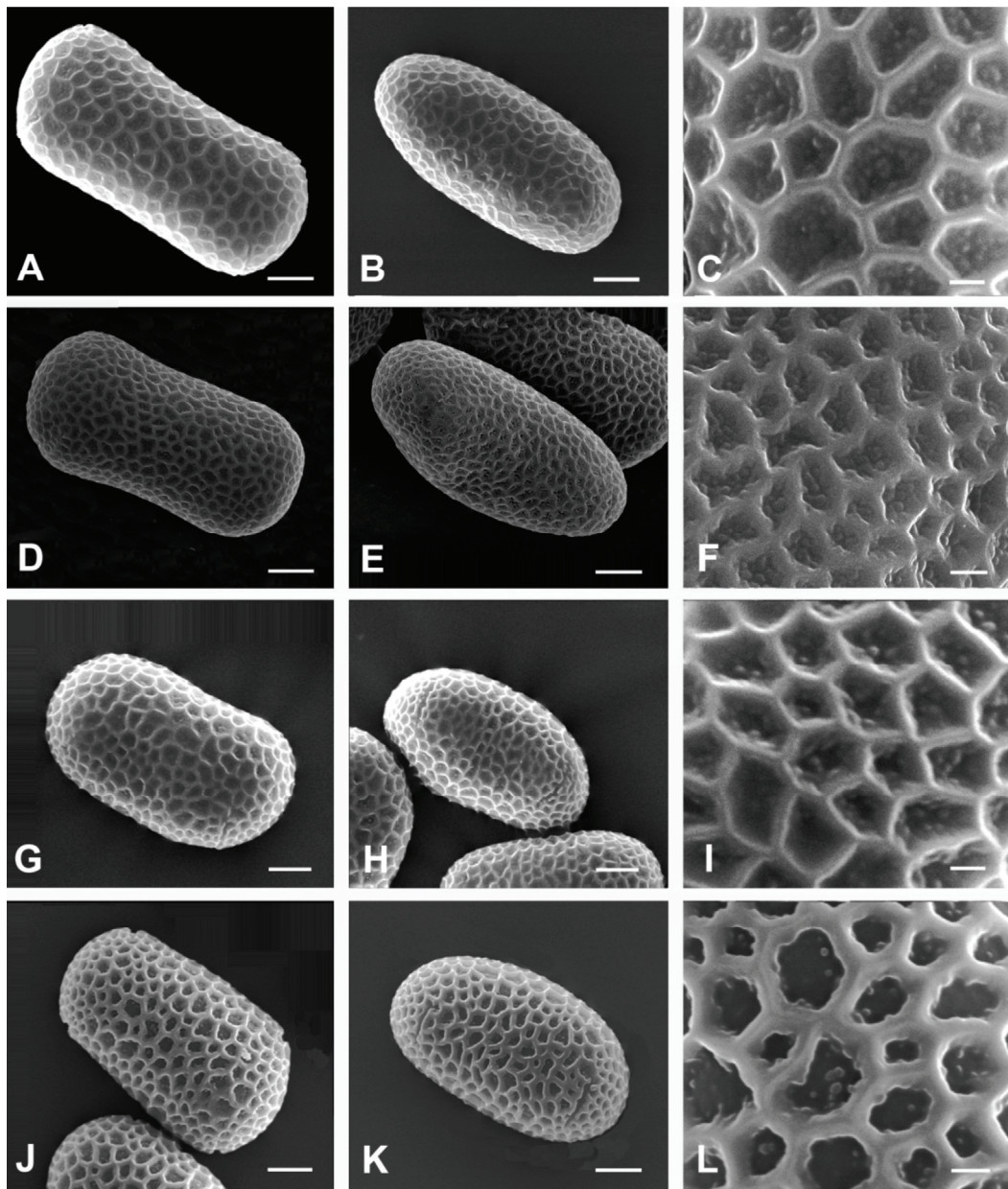


图 1 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 水凤仙; D-F. 米林凤仙花; G-I. 束花凤仙花; J-L. 澜沧凤仙花; A、D、G、J. 花粉极面观, 标尺=5 μm ; B、E、H、K. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm ; C、F、I、L. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm .

Fig. 1 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. aquatilis*; D-F. *I. nyimana*; G-I. *I. desmantha*; J-L. *I. principis*; A, D, G, J. Pollen polar view, bar=5 μm ; B, E, H, K. Pollen equatorial view, bar=5 μm ; C, F, I, L. Partial view, bar=1 μm .

2.1.20 短距凤仙花 (*I. brachycentra* Kar. et Kir. 图 6: D-F) 花粉粒具四沟, 极面观近方形, 赤道面观近圆形, 花粉粒大小为 (19.30~21.80) \times (19.30~21.30) μm 。外壁具网状纹饰, 网眼在花粉粒表面分布均匀, 赤道面和极面观的大小一致, 网脊曲折, 网脊边缘浅波状突起, 网眼内的颗粒状附属物稀疏。

2.1.21 疏花凤仙花 (*I. laxiflora* Edgew 图 6: G-I) 花粉粒具四沟, 极面观近方形, 赤道面观近椭圆形, 花粉粒大小为 (24.60~27.49) \times (18.31~19.45) μm 。外壁具网状纹饰, 网眼在花粉粒表面分布均匀, 赤道面和极面观的大小一致, 网脊曲折, 网脊边缘浅波状突起, 网眼内的颗粒物稀疏。

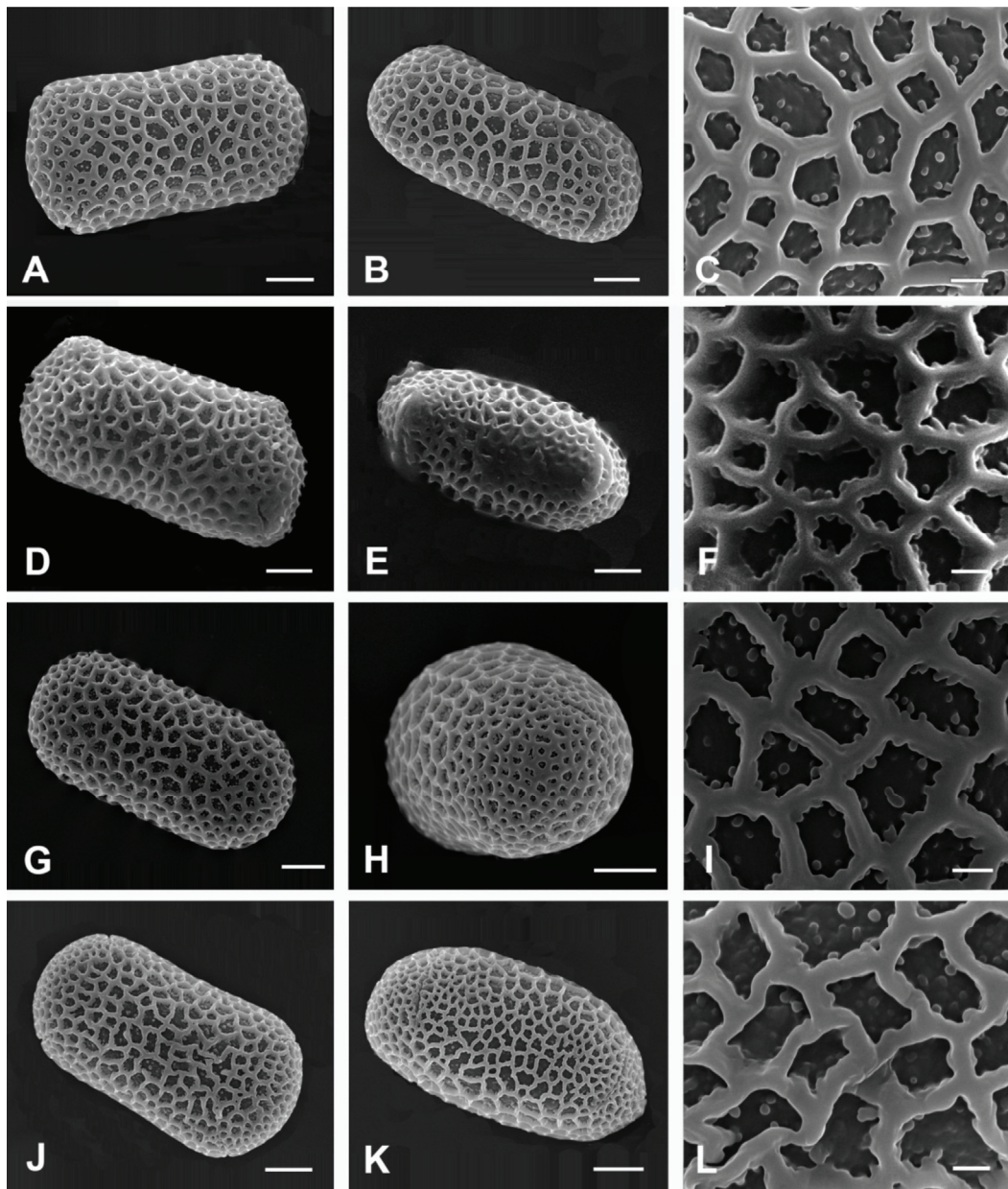


图 2 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 瑞丽凤仙花; D-F. 独龙江凤仙花; G-I. 黄金凤; J-L. 藏西凤仙花; A、D、G、J. 花粉极面观, 标尺=5 μm ; B、E、H、K. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm ; C、F、I、L. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm 。

Fig. 2 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. ruiliensis*; D-F. *I. taronensis*; G-I. *I. siculifer*; J-L. *I. thomsonii*; A, D, G, J. Pollen polar view, bar=5 μm ; B, E, H, K. Pollen equatorial view, bar=5 μm ; C, F, I, L. Partial view, bar=1 μm .

2.2 总状花序组植物花粉形态特征检索表

1. 极面观近方形
 2. 网眼内颗粒物极少, 网底明显 总状凤仙花 *I. racemosa*
 2. 网眼内颗粒物稀疏, 网底不明显
 3. 网脊较窄.....短距凤仙花 *I. brachycentra*
 3. 网脊较宽.....疏花凤仙花 *I. laxiflora*
1. 极面观矩圆形或长矩圆形

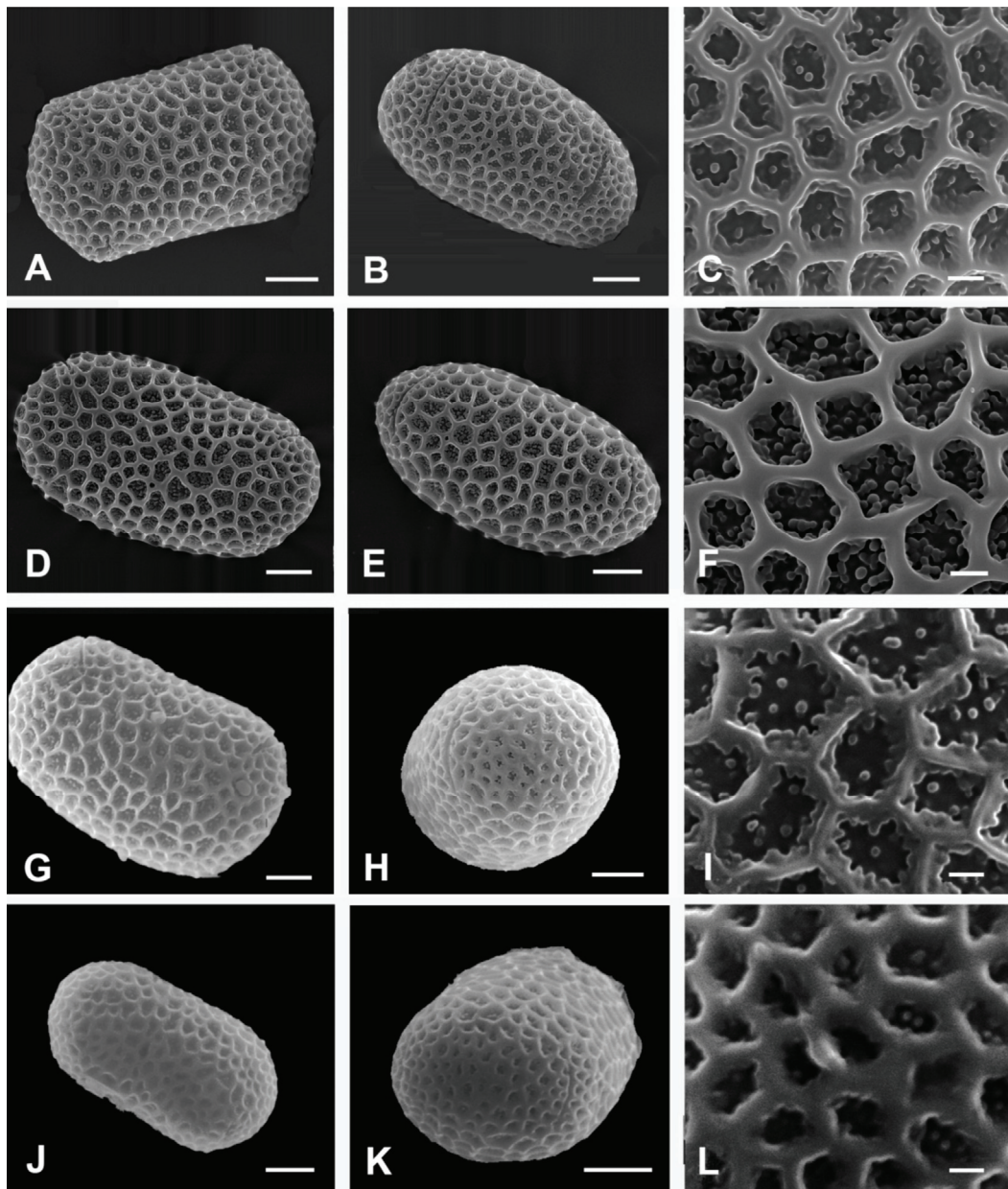


图 3 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 白汉洛凤仙花; D-F. 栗子坪凤仙花; G-I. 蓝花凤仙花; J-L. 小距凤仙花; A、D、G、J. 花粉极面观, 标尺=5 μm; B、E、H、K. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm; C、F、I、L. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm。

Fig. 3 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. bahanensis*; D-F. *I. lizipingensis*; G-I. *I. cyanantha*; J-L. *I. microcentra*; A, D, G, J. Pollen polar view, bar=5 μm; B, E, H, K. Pollen equatorial view, bar=5 μm; C, F, I, L. Partial view, bar=1 μm.

4. 极面观长矩圆形

5. 网眼在花粉粒表面分布均匀, 极面观与赤道面观的网眼大小近相等

6. 网脊边缘光滑

7. 网眼较大 水凤仙 *I. aquatilis*

7. 网眼较小 米林凤仙花 *I. nyimana*

6. 网脊边缘深波状突起

8. 网眼内颗粒物稀疏 直角凤仙花 *I. rectangula*

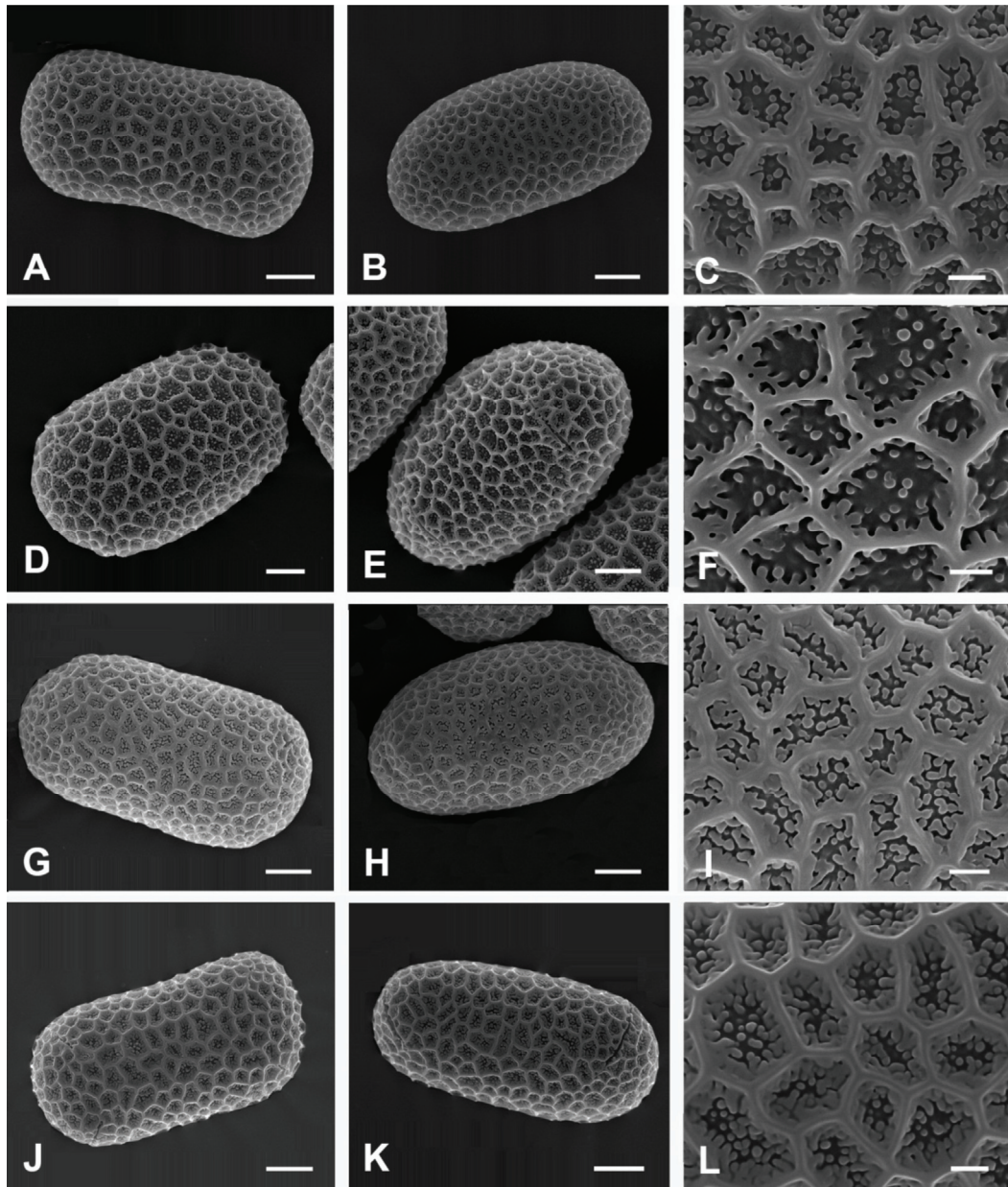


图 4 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 直角凤仙花; D-F. 东川凤仙花; G-I. 具角凤仙花; J-L. 棒尾凤仙花; A、D、G、J. 花粉极面观, 标尺=5 μm; B、E、H、K. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm; C、F、I、L. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm。

Fig. 4 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. rectangula*; D-F. *I. bliinii*; G-I. *I. ceratophora*; J-L. *I. clavicuspis*; A, D, G, J. Pollen polar view, bar=5 μm; B, E, H, K. Pollen equatorial view, bar=5 μm; C, F, I, L. Partial view, bar=1 μm.

- 8. 网眼内颗粒物较多.....棒尾凤仙花 *I. clavicuspis*
- 5. 网眼在花粉粒表面分布不均匀, 赤道面网眼较极面观小
- 9. 网脊边缘深波状突起.....具角凤仙花 *I. ceratophora*
- 9. 网脊边缘浅波状突起
- 10. 网眼内颗粒物稀疏, 均匀分布.....藏西凤仙花 *I. thomsonii*
- 10. 网眼内颗粒物稀疏, 多集中于边缘.....黄金凤 *I. siculifer*
- 4. 极面观矩圆形

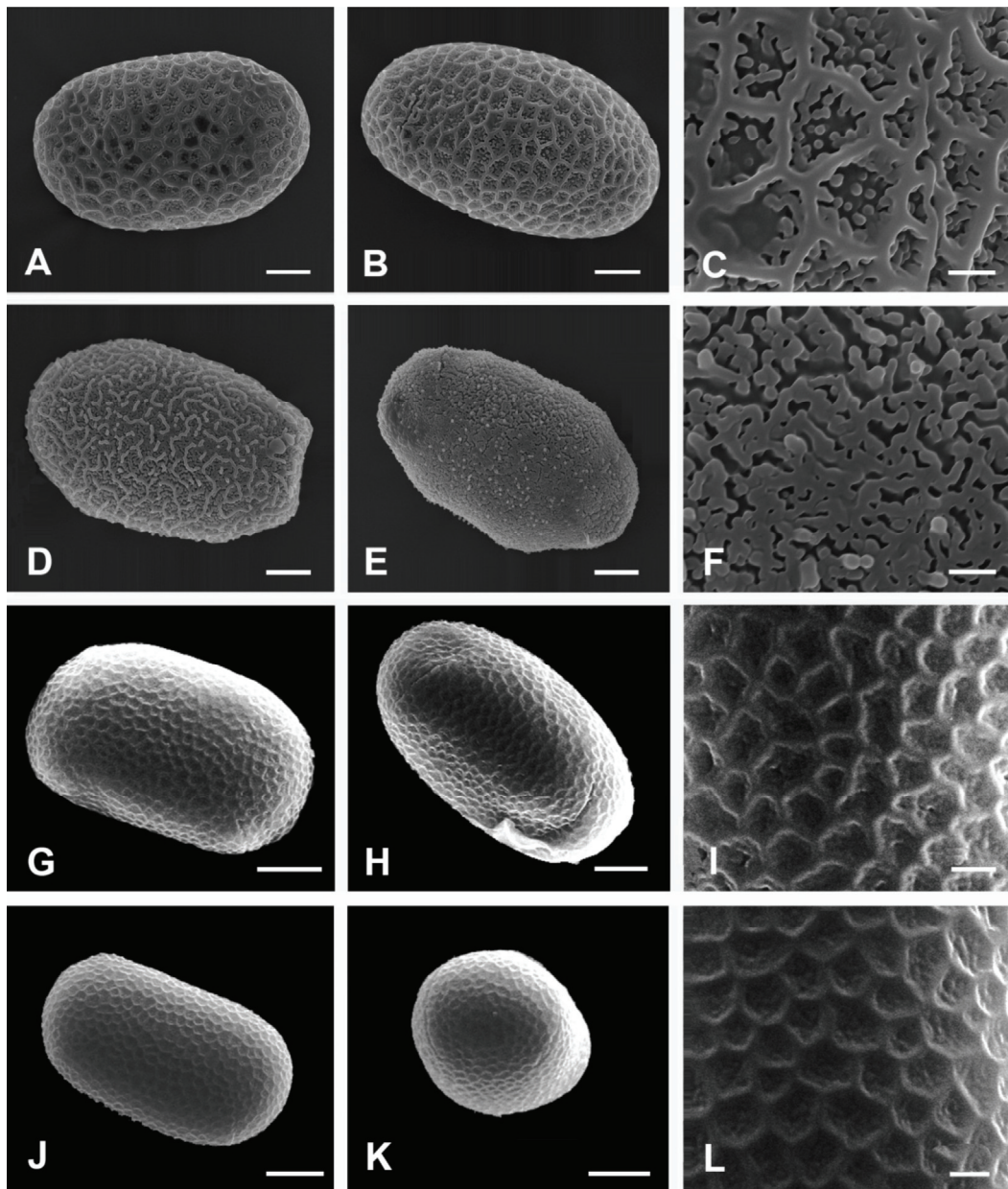


图 5 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 高黎贡山凤仙花; D-F. 高黎贡山凤仙花; G-I. 槽茎凤仙花; J-L. 槽茎凤仙花; A、D、G、J. 花粉极面观, 标尺=5 μm; B、E、H、K. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm; C、F、I、L. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm。

Fig. 5 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. chimiliensis*; D-F. *I. chimiliensis*; G-I. *I. sulcata*; J-L. *I. sulcata*; A, D, G, J. Pollen polar view, bar=5 μm; B, E, H, K. Pollen equatorial view, bar=5 μm; C, F, I, L. Partial view, bar=1 μm.

11. 网眼在花粉粒表面分布均匀

12. 网脊边缘光滑 槽茎凤仙花 *I. sulcata*

12. 网脊边缘有突起

13. 浅波状突起

14. 网眼内颗粒物集中分布于边缘 束花凤仙花 *I. desmantha*

14. 网眼内颗粒物稀疏

15. 网脊较宽 澜沧凤仙花 *I. principis*

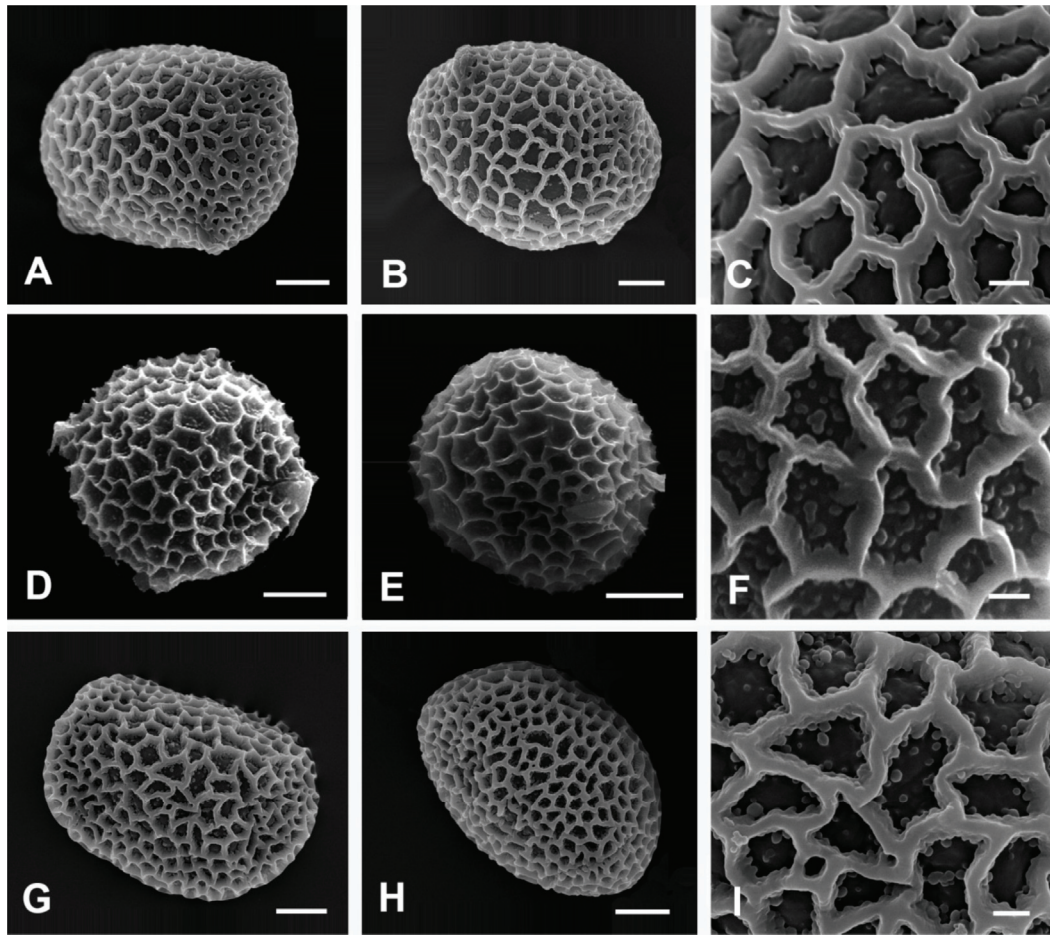


图 6 扫描电镜下的花粉形态 A-C. 总状凤仙花; D-F. 短距凤仙花; G-I. 疏花凤仙花; A、D、G. 花粉极面观, 标尺=5 μm; B、E、H. 花粉赤道面观, 标尺=5 μm; C、F、I. 花粉外壁纹饰, 标尺=1 μm.
 Fig. 6 SEM micrographs of pollen grains A-C. *I. racemosa*; D-F. *I. brachycentra*; G-I. *I. laxiflora*; A, D, G. Pollen polar view, bar=5 μm; B, E, H. Pollen equatorial view, bar=5 μm; C, F, I. Partial view, bar=1 μm.

- 15. 网脊较窄 瑞丽凤仙花 *I. ruiensis*
- 13. 深波状突起
- 16. 网眼内颗粒物较多
- 17. 网脊较宽 栗子坪凤仙花 *I. lizipingensis*
- 17. 网脊较窄 高黎贡山凤仙花 *I. chimiliensis*
- 16. 网眼内颗粒物较少
- 18. 网眼内颗粒物近无 独龙江凤仙花 *I. taronensis*
- 18. 网眼内颗粒物稀疏
- 19. 网眼较大 东川凤仙花 *I. bliinii*
- 19. 网眼较小 白汉洛凤仙花 *I. bahanensis*
- 11. 网眼在花粉粒表面分布不均匀, 赤道面较小
- 20. 网脊边缘深波状突起 蓝花凤仙花 *I. cyanantha*
- 20. 网脊边缘浅波状突起 小距凤仙花 *I. microcentra*

3 讨论与结论

3.1 总状花序组花粉形态在组水平上的分类价值

本研究表明总状花序组花粉形态特征在种内具有稳定性,在种间形态变异明显,极面观形状有近方形、长矩圆形和矩圆形;网眼在花粉粒表面的分布有均匀分布和赤道面比极面观较小 2 种类型;网脊边缘包括光滑、浅波状和深波状;网眼内颗粒物密度可以分为极少、稀疏和密集 3 种类型。但究其每种花粉形态,发现本组以极面观为矩圆形、网眼在花粉粒表面均匀分布及网眼内颗粒物稀疏的花粉为主,且本组花粉的大小较为稳定,极轴多集中在 12~18 μm ,长赤道轴多集中在 26~32 μm ,短赤道轴多集中在 14~20 μm 。相对于凤仙花属其它亚属或组的花粉形态,如棒凤仙花亚属(subg. *Clavicarpa*)的花粉极面观为三角形或三角状近圆形;石山凤仙花组(sect. *Semeiocardium*)花粉极面观为长矩圆形,网眼颗粒物不明显;凤仙花组(sect. *Impatiens*)花粉极面观为宽矩圆形,网眼内密被颗粒物等(Yu et al, 2015)。该组植物的花粉形态和表面纹饰具自身的特异性,可作为属下组水平上的重要分类依据。

3.2 总状花序组花粉形态在组下分类中的意义

3.2.1 花粉极面观形状的分类学意义 据极面观形状和花粉粒表面纹饰将该组的花粉分为 4 个类型:(I)极面观近方形,网眼内颗粒物稀疏;(II)极面观为矩圆形,网眼内颗粒物不明显;(III)极面观为矩圆形,网眼内颗粒物密集,将网底盖住;(IV)极面观为矩圆形,网眼内颗粒物稀疏或极少,网底明显。

从总状花序组内部来看,花粉极面观形状和网脊的特征对本组植物的种间界定有着重要的意义。可花粉粒极面观形状这一性状与花部等其他形态性状相关性差,比如蓝花凤仙花(图 3: G)和束花凤仙花(图 1: G)极面观均为矩圆形,但两者的花和果实有较大差异,前者花为蓝色或蓝紫色,唇瓣囊状;后者花为黄色,唇瓣檐部舟状。结合前人研究而得出凤仙花属花粉极面观形状对该属的属下分类具有重要意义(鲁迎青, 1991; Janssens et al, 2012; Yu et al, 2015),可以看出花粉极面观形态对凤仙花属的属下分类有重要的意义,但对探讨组内的系统发育关系价值有限。

3.2.2 花粉赤道面观形状和大小的分类学意义 本

组的花粉赤道面观形状较一致,多为椭圆形,只有少数种类如蓝花凤仙花(图 3: G)、黄金凤(图 2: G)的短赤道面观为近圆形,因而花粉赤道面观的形状这一特征对该组植物的种间鉴定意义较小。

本组植物花粉的极轴长度、长赤道轴长度和短赤道轴长度变异幅度较小,对本组植物种的划分意义较小。如极轴多集中在 12~18 μm ,只有东川凤仙花(图 4: D)和蓝花凤仙花(图 3: G)的较大,分别为 20.95~23.59 μm 和 21.60~23.70 μm ;而长赤道轴长度多主要集中在 26~32 μm 范围内,只有总状凤仙花(图 6: A)的较小,为 17.65~19.88 μm ,蓝花凤仙花(图 3: G)的较大,为 34.20~37.20 μm ;短赤道轴的长度多集中在 14~20 μm ,只有蓝花凤仙花(图 3: G)的较大,为 22.00~23.60 μm 。

3.2.3 花粉表面纹饰的分类学意义 本组植物花粉表面纹饰虽都为网状,但具体特征如网眼的分布、网脊边缘的形状以及网眼内颗粒物密度都具有种的特异性,具有较高的分类价值。如白汉洛凤仙花(图 3: A)和栗子坪凤仙花(图 3: D)极面观均为矩圆形,并且网眼在花粉粒表面均匀分布,网脊边缘均具深波状突起,但白汉洛凤仙花(图 3: A)网脊较窄,网眼内颗粒物稀疏分布,栗子坪凤仙花(图 3: D)网脊较宽,网眼内颗粒物较多。蓝花凤仙花(图 3: G)、小距凤仙花(图 3: J)的极面观均为矩圆形,花粉形态相似,但两者网脊边缘形状和网脊的宽度明显不同,前者网脊边缘具深波状突起,网脊较窄,网底明显,而后者网脊边缘具浅波状突起,网脊较宽。此外在高黎贡山凤仙花(图 5: A, D)中观察到其花粉具有两型性,一种(图 5: A-C)花粉粒极面观矩圆形,赤道面观椭圆形,外壁具网状纹饰,网眼在花粉粒表面分布均匀,网脊边缘深波状突起,网眼内颗粒物较多。另一种(图 5: D-F)极面观矩圆形,赤道面观矩圆形,外壁具不规则状脊,无网状纹饰。造成这种现象的原因可能是为了适应高海拔生境,促进花粉管的萌发,但是由于其罕见,因此还有待进一步研究。

综上所述凤仙花属总状花序组的花粉特征相对稳定,属于四沟花粉中较原始的类型,与其他性状相关性小,对该组内的系统发生关系建立的意义较小。但极面观形状、长、短赤道轴之间的比值、网眼在花粉粒表面的分布式样、网脊边缘的形状和网眼内颗粒物密度等形态特征具有种水平上的稳定性

和特异性，对本组植物的种间界定有较高的价值。

致谢 感谢山东师范大学的孙景田、中国科学院植物研究所的肖荫厚两位老师在扫描电镜观察给予的帮助。感谢审稿人提出的宝贵意见，使本文的质量有了明显的提高。

参考文献：

- BHASKAR V, RAZI BA, 1973. A new kind of exine sculpturing in *Impatiens* L. (Balsaminaceae) from south India [J]. *Curr Sci*, 42: 510-512.
- CAI XZ, LIU KM, LIU JH, et al, 2007a. SEM specimen preparation techniques of two species' pollen in *Impatiens* L. [J]. *Acta Laser Biol Sin*, 16(1): 109-111. [蔡秀珍, 刘克明, 刘锦辉, 等, 2007a. 凤仙花属两种植物花粉的扫描电镜制样研究 [J]. *激光生物学报*, 16(1): 109-111.]
- CAI XZ, LIU KM, CONG YY, et al, 2007b. SEM observation on the pollen grains of ten species in *Impatiens* L. (Balsaminaceae) [J]. *Bull Bot Res*, 27(3): 279-283. [蔡秀珍, 刘克明, 丛义艳, 等, 2007b. 凤仙花属 10 种植物花粉形态的扫描电镜观察 [J]. *植物研究*, 27(3): 279-283.]
- CAI XZ, LIU KM, ZHU XW, et al, 2008. Pollen morphology of some species of *Impatiens* L. (Balsaminaceae) [J]. *Acta Hort Sin*, 35 (3): 389-394. [蔡秀珍, 刘克明, 朱晓文, 等, 2008. 凤仙花属部分植物的花粉形态 [J]. *园艺学报*, 35(3): 389-394.]
- CHEN YL, 2001. *Flora reipublicae popularis sinica* [M]. Beijing: Science Press: 1-243. [陈艺林, 2001. *中国植物志* (第 47 卷) [M]. 北京: 科学出版社: 1-243.]
- ERDTMAN G, 1971. Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms [M]. Corrected reprint of 1952 edition. New York: Hafner Publishing Company.
- GREY-WILSON C, 1980. *Impatiens* of Africa [M]. Rotterdam: A. A. Balkema: 1-235.
- HUYNH KL, 1966. Cinq especes D'Impatiens aupollen insolte [J]. *Pollen et Spore*, 8: 455-460
- JANSSENS S, WILSON YS, YUAN YM, et al, 2012. A total evidence approach using palynological characters to infer the complex evolutionary history of the Asian *Impatiens* (Balsaminaceae) [J]. *Taxon*, 61 (2): 355.
- LI GQ, SUN L, LIU Y, 2005. Pollen features of 6 species in sect. *Theopsis* of genus *Camellia* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 13 (1): 40-44.
- LU YQ, 1991. Pollen morphology of *Impatiens* L. (Balsaminaceae) and its taxonomic implications [J]. *Acta Phy Sin*, 29 (4): 352-357. [鲁迎青, 1991. 凤仙花属花粉形态及其分类学意义[J]. *植物分类学报*, 29 (4): 352-357.]
- MOORE PD, WEBB JA, 1978. An illustrated guide to pollen analysis [M]. London: Hodder and Stoughton: 1-133.
- TIAN JP, HU YY, LIU KM, 2007. New advances in the systematic and biogeography of *Impatiens* (Balsaminaceae) [J]. *Nat Sci J Hainan Univ*, 25 (4): 416-420.
- TSCHUDY RH, SCOTT RA, 1969. *Aspects of Palynology* [M]. Wiley-Interscience.
- WANG FX, QIAN NF, ZHANG YL, et al, 1997. Pollen flora of China [M]. 2nd Ed. Beijing: Science Press: 1-461. [王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等, 1997. *中国植物花粉形态* [M]. 二版. 北京: 科学出版社: 1-461.]
- WANG KF, WANG XZ, 1983. Introduction to spore-pollen study [M]. Beijing: Peking University Press: 1-205. [王开发, 王宪曾, 1983. *孢粉学概论* [M]. 北京: 北京大学出版社: 1-205.]
- YU SX, 2012. *Balsaminaceae of China* [M]. Beijing: Peking University Press: 1-215. [于胜祥, 2012. *中国凤仙花* [M]. 北京: 北京大学出版社: 1-215.]
- YU SX, JANSSENS SB, ZHU XY, et al, 2015. Phylogeny of *Impatiens* (Balsaminaceae): integrating molecular and morphological evidence into a new classification [J]. *Cladistics*, 1-19.
- ZACOLLINSKAYA, 1965. Introduction to the spore pollen analysis [M]. Beijing: China Industry Press. [札克林斯卡娅, 1965. *孢子花粉分析概论* [M]. 北京: 中国工业出版社]

《广西植物》官方网站正式开通

为了更加便捷、高效地服务于期刊的广大读者，《广西植物》期刊网站升级，从即日起，正式上线开通《广西植物》官方网站 (<http://www.guihaia-journal.com>)。

新网站增加和改进了以下栏目：(1)增加了“网络预发表”栏目，所有录用文章在完成编辑加工处理后，即可在本网站上发表全文。(2)链接了“在线优先数字出版”平台，所有被采用的稿件，经编辑加工处理后即在中国知网(CNKI)实行电子版在线优先出版。(3)增加了“优秀评选”栏目，对发表在本刊的年度高影响力论文等给予奖励。(4)增加了“热点专栏/专题(专辑)”、“亮点文章”、“下载和点击排行”等栏目。(5)“下载中心”栏目增加了国家测绘信息局“地

图下载中心”的链接。(6)“相关链接”增加了链接的对象。

(7)“作者投稿”和“作者查稿”合并为“作者中心”，简化了作者登录程序。

新网站将是《广西植物》期刊的扩展和延伸，是专家、读者、作者之间交流、沟通的重要平台与窗口，希望能提供更加丰富的资讯，更好地服务于广大读者。

欢迎访问浏览！欢迎投稿！欢迎合作！

《广西植物》编辑部

2016年1月7日