

酢浆草属 5 种植物的微形态特征观察

陈明林^①, 刘登义, 李珊珊

(安徽师范大学生命科学学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 利用光镜和扫描电镜观察了酢浆草属 (*Oxalis* L.) 5 种植物的叶、花、花粉和部分种子的微形态结构。5 种植物叶片上均具有平列型气孔器, 外围 3~4 个不规则表皮细胞; 酢浆草 (*O. corniculata* L.)、铜锤草 (*O. corymbosa* DC.) 及白花酢浆草 (*O. acetosella* L.) 叶片两面均有气孔器, 下表皮犹密; 紫叶酢浆草 (*O. triangularis* A. St.-Hil.) 和山酢浆草 (*O. griffithii* Edgew. et Hook. f.) 的气孔器只分布于叶片下表皮。不同种间及长、短雄蕊上的花粉粒大小各异, 花粉多呈近球形(酢浆草、白花酢浆草)、长球形(紫叶酢浆草、山酢浆草)或超长球形(铜锤草), 极面观为三裂圆形, 赤道面大多具 3 沟, 少数 4 沟, 表面具有不规则的穴状或粗网状纹饰, 网眼内无或有乳突状突起(铜锤草、紫叶酢浆草)。酢浆草种子较小, 表皮纹饰为比较规则的不等边六角形网眼, 网眼中间具棱柱状突起, 上有钩状附属物; 山酢浆草种子较大, 表皮粗糙程度低于酢浆草。

关键词: 酢浆草属; 叶表皮; 花粉; 种子; 微形态特征

中图分类号: Q944.5; Q941+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2007)03-0007-12

Observation of micromorphological characters of five species in *Oxalis* CHEN Ming-lin^①, LIU Deng-yi, LI Shan-shan(College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China), J. Plant Resour. & Environ. 2007, 16(3): 7-18

Abstract: The micromorphological characters of leaf, flower, pollen grain and seed of five species in *Oxalis* L. are observed by using SEM and LM. The leaf epidermis of five species all present paracytic stomata, encircled with 3~4 irregular epidermal cells. And the stomata occur on both sides of leaf epidermis of *O. corniculata* L., *O. corymbosa* DC. and *O. acetosella* L., especially in lower epidermis, whereas that only occur on lower epidermis of *O. triangularis* A. St.-Hil. and *O. griffithii* Edgew. et Hook. f. Pollen grain sizes of different species and long or short stamen of the same species are various. The form of pollen grains is resembled subsphaeroidal (*O. corniculata*, *O. acetosella*), prolate (*O. triangularis*, *O. griffithii*) and prolonged prolate (*O. corymbosa*), with three circular on polar view and three or four colpi on their equatorial view. There are irregular foveolate or coarse reticulate sexine ornate on pollen surface, the meshes are distributed with tuberculate pustule or not. The seeds of *O. corniculata* are small, seed surface with unequilateral hexagon meshes, and the meshes are full of prismatic pustule with uncinate process on its center, while the seeds of *O. griffithii* are bigger with less coarse seed surface.

Key words: *Oxalis* L.; leaf epidermis; pollen; seed; micromorphological character

酢浆草属 (*Oxalis* L.) 植物约 800 多种, 广布全世界, 主要分布在中、南美洲和南非, 特别是好望角地区^[1,2]。中国有酢浆草属植物 6 种 3 亚种 1 变种, 其中 2 种为驯化的外来种^[3,4]。该属主要由花柱二型 (distyly)、花柱三型 (tristyly)、花柱半同长型 (semi-homostyly) 或准花柱同长型 (quasi-homostyly) 的种类组成, 并且花柱同型或二型是由花柱三型进化而来^[5~12]。Luo 等^[13]对 *O. debilis* Kunth. [即铜锤草 (*O. corymbosa* DC.)] 的多倍体情况进行了报道; 杨娟等^[14,15]对铜锤草种群数量动态进行了研

究; Teng 等^[16]对紫叶酢浆草 (*O. triangularis* A. St.-Hil.) 的组培技术进行了研究; 杨德奎等^[17]对酢浆草 (*O. corniculata* L.) 等 3 种植物的花粉形态进

收稿日期: 2007-01-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470270)、安徽省重要生物资源开发与利用研究重点实验室基金项目, 2004 年安徽省高等学校青年教师科研基金项目(2004jg124)和安徽师范大学博士科研启动资金资助项目

作者简介: 陈明林(1972-), 男, 安徽枞阳人, 博士, 讲师, 主要从事植物生态学研究。

① 通讯作者 E-mail: jesschen28@126.com

- consideration [J]. New Phytol, 1966, 65: 304–318.
- [31] Loftfield J V G. The Behaviour of Stomata [M]. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1921.
- [32] Barret S C H, Jesson L K, Baker A M. The evolution and function of stylar polymorphisms in flowering plants [J]. Annals of Botany, 2000, 85 (Supp. A): 253–265.
- [33] 张亚平, 刘建全. 植物繁育系统研究的最新进展和评述 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 151–163.
- [34] Darwin C. The Different Forms of Flowers on Plants of the Same Species [M]. New York: Appleton & Co, 1877.
- [35] Lloyd D G, Webb C J. The evolution of heterostyly [A]. Barrett S C H. Evolution and Function of Heterostyly [C]. Berlin: Springer Verlag, 1992.
- [36] Ganders F R. The biology of heterostyly [J]. New Zealand J Bot, 1979, 17: 607–635.
- [37] Whitehouse H L K. Multiple-allelomorph incompatibility of pollen and style in the evolution of the angiosperms [J]. Annals of Botany (N. S.), 1950, 14: 199–216.
- [38] Thompson J D, Pailler T, Strasberg D, et al. Tristyly in the endangered Mascarene Island endemic *Hugonia serrata* (Linaceae) [J]. Am J Bot, 1996, 83: 1160–1167.
- [39] Walker J W. Evolution of the exine structure in the pollen of primitive angiosperms [J]. Am J Bot, 1974, 61: 891–902.
- [40] 蓝盛银, 徐珍秀. 植物花粉剥离观察扫描电镜图解 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [41] 上野寅朗. 花粉百话 [M]. 王开发, 吕厚远译. 北京: 北京大学出版社, 1979.
- [42] Leishman M R, Wright I J, Moles A T, et al. The evolutionary ecology of seed size [A]. Fenner M. Seeds—the Ecology of Regeneration in Plant Communities [C]. England: CABI Publishing, 2000.
- [43] Wulff R D. Seed size variation in *Desmodium paniculatum* II. Effects on seedling growth and physiological performance [J]. Journal of Ecology, 1986, 74: 99–114.
- [44] Beattie A J. Plant dispersion, pollination and gene flow in *Viola* [J]. Oecologia, 1976, 25: 291–300.
- [45] Schmitt J, Gamble S E. The effect of distance from the parental site on offspring performance and inbreeding depression in *Impatiens capensis*: a test of the local adaptation hypothesis [J]. Evolution, 1990, 44: 2022–2030.
- [46] Henrik B. Differential seed dispersal in *Oxalis acetosella*, a cleistogamous perennial herb [J]. Acta Oecologica, 2000, 21 (2): 109–118.

图版说明 Explanation of Plates

图版 I 1–3. 醋浆草: 1. 花萼; 2. 花瓣; 3. 花柱和雄蕊。4–7. 铜锤草: 4. 花萼; 5. 花瓣; 6. 花柱和雄蕊(中柱花); 7. 花柱和雄蕊(短柱花)。8–10. 山酢浆草: 8. 花萼; 9. 花瓣; 10. 花柱和雄蕊。11–13. 白花酢浆草: 11. 花萼; 12. 花瓣; 13. 花柱和雄蕊。14–16. 紫叶酢浆草: 14. 花萼; 15. 花瓣; 16. 花柱和雄蕊。

Plate I 1–3. *Oxalis corniculata* L.: 1. Calyx; 2. Petal; 3. Style and stamen. 4–7. *O. corymbosa* DC.: 4. Calyx; 5. Petal; 6. Style and stamen (mid-stylous flower); 7. Style and stamen (short-stylous flower). 8–10. *O. griffithii* Edgew. et Hook. f.: 8. Calyx; 9. Petal; 10. Style and stamen. 11–13. *O. acetosella* L.: 11. Calyx; 12. Petal; 13. Style and stamen. 14–16. *O. triangularis* A. St.-Hil.: 14. Calyx; 15. Petal; 16. Style and stamen.

图版 II 1–3. 醋浆草花粉: 1. 醋浆草花粉, 示3沟; 2. 醋浆草花粉, 示4沟; 3. 花粉表面纹饰。4,5. 铜锤草花粉: 4. 铜锤草花粉, 示2沟; 5. 花粉表面纹饰。6,7. 山酢浆草花粉: 6. 山酢浆草花粉, 示2沟; 7. 花粉表面纹饰。8,9. 白花酢浆草花粉: 8. 白花酢浆草花粉, 示3沟; 9. 花粉表面纹饰。10,11. 紫叶酢浆草花粉: 10. 紫叶酢浆草花粉, 示2沟; 11. 花粉表面纹饰。

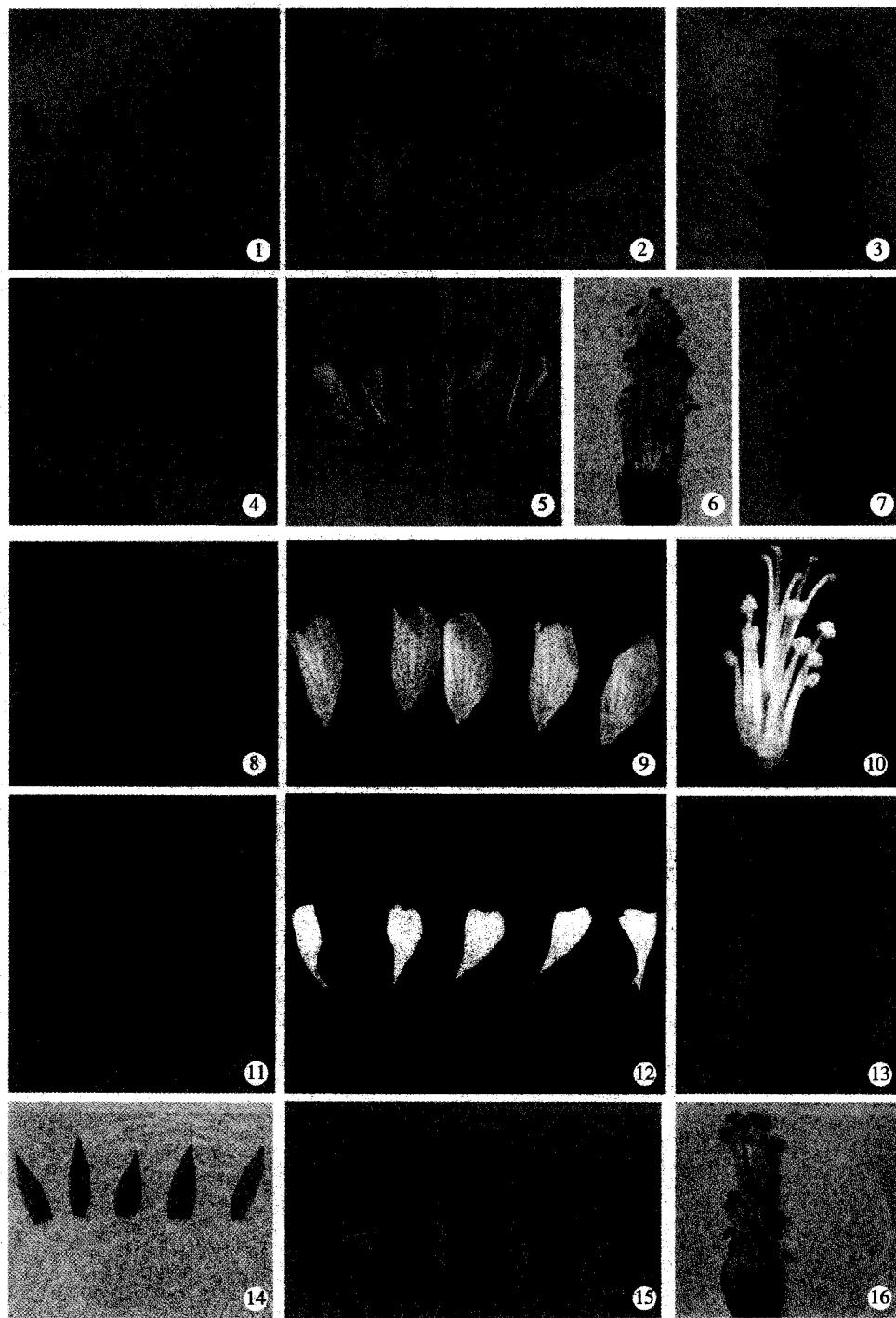
Plate II 1–3. Pollen grain of *Oxalis corniculata* L.: 1. Pollen grain, showing 3 colpi; 2. Pollen grain, showing 4 colpi; 3. Surface ornamentations. 4,5. Pollen grain of *O. corymbosa* DC.: 4. Pollen grain, showing 2 colpi; 5. Surface ornamentations. 6,7. Pollen grain of *O. griffithii* Edgew. et Hook. f.: 6. Pollen grain, showing 2 colpi; 7. Surface ornamentations. 8,9. Pollen grain of *O. acetosella* L.: 8. Pollen grain, showing 3 colpi; 9. Surface ornamentations. 10,11. Pollen grain of *O. triangularis* A. St.-Hil.: 10. Pollen grain, showing 2 colpi; 11. Surface ornamentations.

陈明林, 等: 醋浆草属5种植物的微形态特征观察

CHEN Ming-lin, et al. Observation of micromorphological characters
of five species in *Oxalis*

图版 I

Plate I



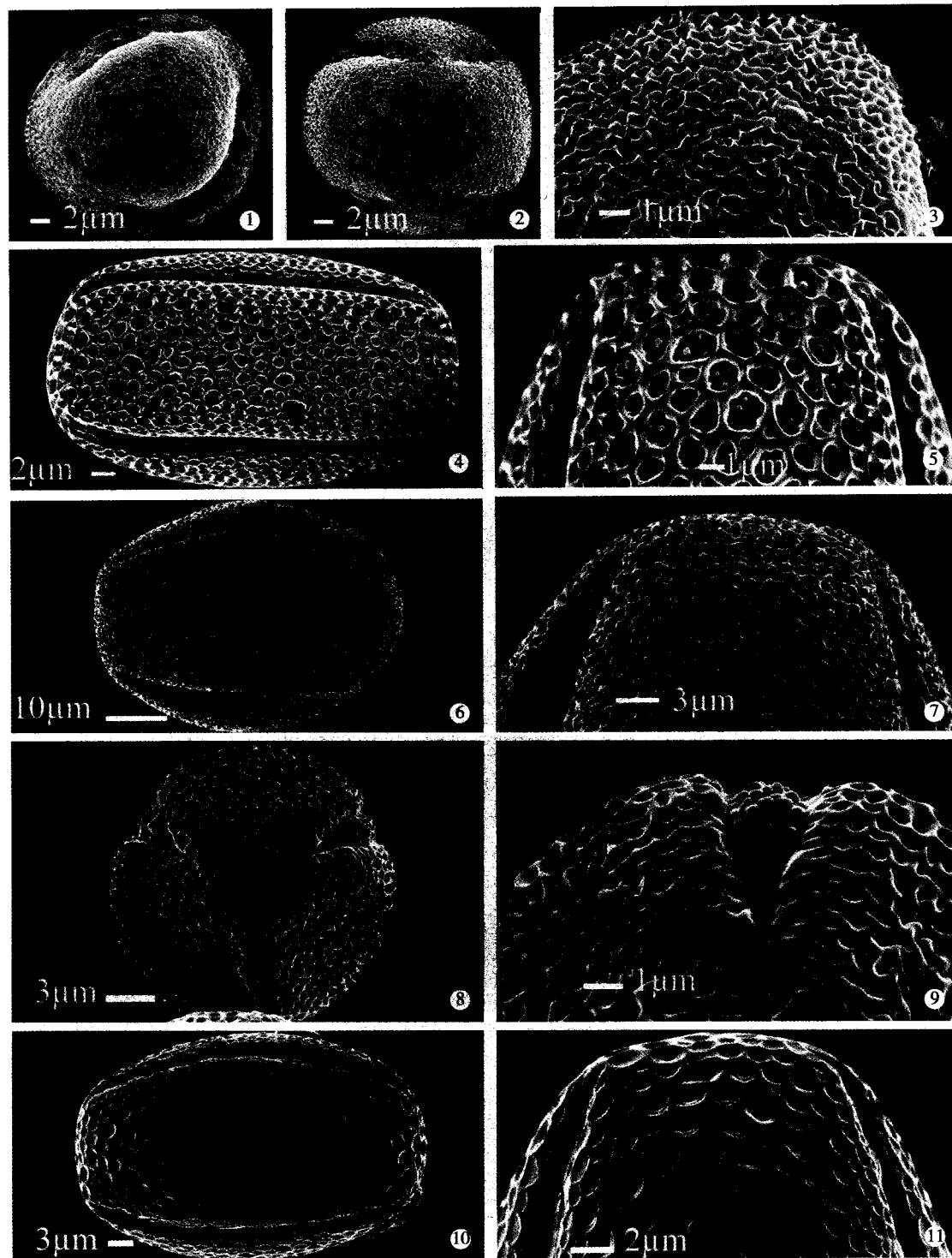
See the explanation of the end of text

陈明林, 等: 酢浆草属 5 种植物的微形态特征观察

CHEN Ming-lin, et al. Observation of micromorphological characters
of five species in *Oxalis*

图版 II

Plate II



See the explanation of the end of text

行了性状描述; Dreyer 等^[18]对酢浆草的胚乳进行了研究; 尤海梅等^[19]对山酢浆草 (*O. griffithii* Edgew. et Hook. f.) 的生态特征进行了初步分析。迄今为止, 尚未见对国产酢浆草属植物微形态特征的全面研究报道。作者利用光学显微镜和扫描电镜观察了酢浆草、铜锤草、山酢浆草、白花酢浆草 (*O. acetosella* L.) 及紫叶酢浆草的叶表皮结构、花结构及其附属特征、花粉和种子大小及微形态特征, 以为酢浆草属植物的生物多样性研究提供基础资料, 也为该属植物的系统分类和进化研究提供佐证。

表1 5种酢浆草属植物的来源及凭证标本信息
Table 1 Vouchers and origins of five species in *Oxalis* L.

种类 Species	凭证标本号 Voucher No.	采集人 Collector	采集地 Locality	采集时间 Collection time	标本馆 ¹⁾ Herbarium ¹⁾
酢浆草 <i>O. corniculata</i>	2005015	陈明林 Chen minglin	安徽芜湖 Wuhu, Anhui	2005-04-20	ANUB
	583103	华东区系 90153 Flora in East China	江西修水 Xiushui, Jiangxi	1990-04-26	NAS
铜锤草 <i>O. corymbosa</i>	312	不详 No	陕西武功 Wugong, Shaanxi	1953-06-03	WNU
	2005018	陈明林 Chen minglin	安徽芜湖 Wuhu, Anhui	2005-04-20	ANUB
山酢浆草 <i>O. griffithii</i>	2005001	陈明林 Chen minglin	安徽黄山 Huangshan, Anhui	2005-03-24	ANUB
	0643230	Wai and Shan	江西庐山 Lushan, Jiangxi	1997-04-06	NAS
白花酢浆草 <i>O. acetosella</i>	2005021	陈明林 Chen minglin	浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang	2005-05-22	ANUB
	573765	不详 No	不详 No	1981	NAS
紫叶酢浆草 <i>O. triangularis</i>	2005028	陈明林 Chen minglin	江苏南京 Nanjing, Jiangsu	2005-05-21	ANUB

¹⁾ ANUB: 安徽师范大学生物系植物标本室 Herbarium, Department of Biology, Anhui Normal University; NAS: 江苏省·中国科学院植物研究所标本馆 Herbarium, Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences; WNU: 西北大学生物系植物标本室 Herbarium, Department of Biology, Northwest University.

1.2 方法

1.2.1 气孔的观察和统计方法 取新鲜的成熟叶片, 在叶片中部剪取若干小块, 用体积分数 4% 的 NaClO 溶液处理 4~5 h, 待叶片发白后取出, 将表皮撕下, 蒸馏水清洗后, 番红染色制片^[20,21]。每个种类取 3 片叶, 置于 OLYMPUS BX51 光学显微镜下观察及拍照。不同叶表皮各观察 10 个视野, 统计每个视野中的表皮细胞数和气孔数。

1.2.2 花粉的观察及测量方法 取新鲜成熟花, 将花药放入冰乙酸中浸泡, 待花变软后, 置于双凹玻片上, 于解剖镜下观察并打开花药, 滴加体积分数 95% 的乙醇和分解液 [V(醋酸酐): V(浓硫酸) = 9:1] 各 5 滴, 于 50 °C 水浴中加热 5 min^[22] 后, 置于 OLYMPUS BX51 光学显微镜下进行观察及拍照。每个种类随机选取 20 株, 每株 1 朵花, 分别取长、短雄蕊各 1 个, 测量长度, 并取该雄蕊上的花粉制成水装

片, 于台式测微尺下测定 10 个花粉粒的长、短径, 取平均值。以长径值为标准比较长、短雄蕊上花粉粒的大小。在凭证标本上观察长、短雌雄蕊的着生情况。

1.2.3 超微结构的观察方法(扫描电镜法) 分别用体积分数为 50%、70%、80%、90%、95% 和 100% 的乙醇对叶片和种子进行逐级脱水, 每级 20 min; 经超声波丙酮溶液清洗和真空干燥后, 用日立真空镀膜机进行旋转喷金处理, 厚度 100~200 Å。取经醋酸酐分解法处理的花粉, 加入无水乙醇, 离心沉淀, 重复 3 次, 将花粉的乙醇溶液滴在胶纸上, 置于镀膜机上喷金。经上述处理的样品置于 LEO1530VP 扫描电子显微镜下进行观察及拍照^[23,24]。

1.3 数据计算及统计处理

气孔指数计算公式为: $I = S/(E + S)$, 式中 I 为气孔指数, E 为单位面积内的表皮细胞数, S 为单位

面积内的气孔数^[25]。用 SPSS 11.5 软件进行数据统计和分析。

2 结果和分析

2.1 叶表皮的微形态特征

酢浆草叶片上、下表皮细胞形状不规则,周边有许多褶皱或波状弯曲,排列紧密(图 1-1,2)。上、下表皮均有气孔器分布,稍微内陷,气孔器与气孔形状相似,呈长圆形或长椭圆形,由 2 个肾形保卫细胞组成,前后左右常各围 1 个表皮细胞,属平列型^[26]。表皮细胞大,是气孔器的 4~9 倍(图 1-1,2)。扫描电镜下的气孔器呈长椭圆形;保卫细胞肾形,外壁平滑;气孔外拱盖内缘光滑,其上稀被少量草酸盐晶体,在气孔周围的表皮细胞上犹密(图 1-3)。上表皮气孔器密度比下表皮小,上、下表皮气孔指数分别为 0.21 ± 0.09 和 0.28 ± 0.13 ;上、下表皮具柔毛或无。

铜锤草叶片上、下表皮细胞相似,扁平,形状不规则,排列紧密;细胞周边弯曲或褶皱,弯曲程度小于酢浆草;细胞大小不一,形状各异(图 1-4,5)。上、下表皮均有气孔器分布,下表皮更密。气孔器及气孔呈椭圆形或圆形,由 2 个肾形保卫细胞组成,为平列型;外围 4 个扁平的表皮细胞,偶尔 3 个(图 1-4,5)。扫描电镜下的气孔器呈长椭圆形,保卫细胞肾形,外壁平滑;气孔外拱盖内缘略有褶皱,可能是由失水不均造成的;气孔周围表皮细胞密被草酸盐晶体(图 1-6)。上表皮气孔少,下表皮气孔较密,上、下表皮气孔指数分别为 0.16 ± 0.03 和 0.39 ± 0.05 ;上、下表皮均具长柔毛。

山酢浆草叶片上表皮细胞较规则,略呈不等边多边形,排列很紧密;周边无明显的弯曲或褶皱,偶有腺毛,无气孔器(图 1-7)。下表皮密被长柔毛与少数腺毛,柔毛上具明显乳突状突起;具平列型气孔器,下陷,其外常围 4 个表皮细胞,偶尔 3 个(图 1-8,9);气孔指数为 0.24 ± 0.02 。扫描电镜下的气孔器呈长椭圆形,保卫细胞肾形,外壁平滑;气孔外拱盖内缘略有褶皱,气孔周围表皮细胞密被草酸盐晶体(图 1-10)。

白花酢浆草叶片上、下表皮细胞形状均不规则,上表皮尤为明显(图 1-11,12)。叶片上、下表皮均有气孔器分布,上表皮稀被气孔,下表皮气孔较密。

气孔器及气孔呈长圆形或长椭圆形,由 2 个肾形保卫细胞组成,为平列型;外周常有 4 个表皮细胞。扫描电镜下的气孔器呈长椭圆形(图 1-13),与山酢浆草气孔相似。上、下表皮气孔指数分别为 0.11 ± 0.02 和 0.30 ± 0.03 ;上、下表皮常被短柔毛。

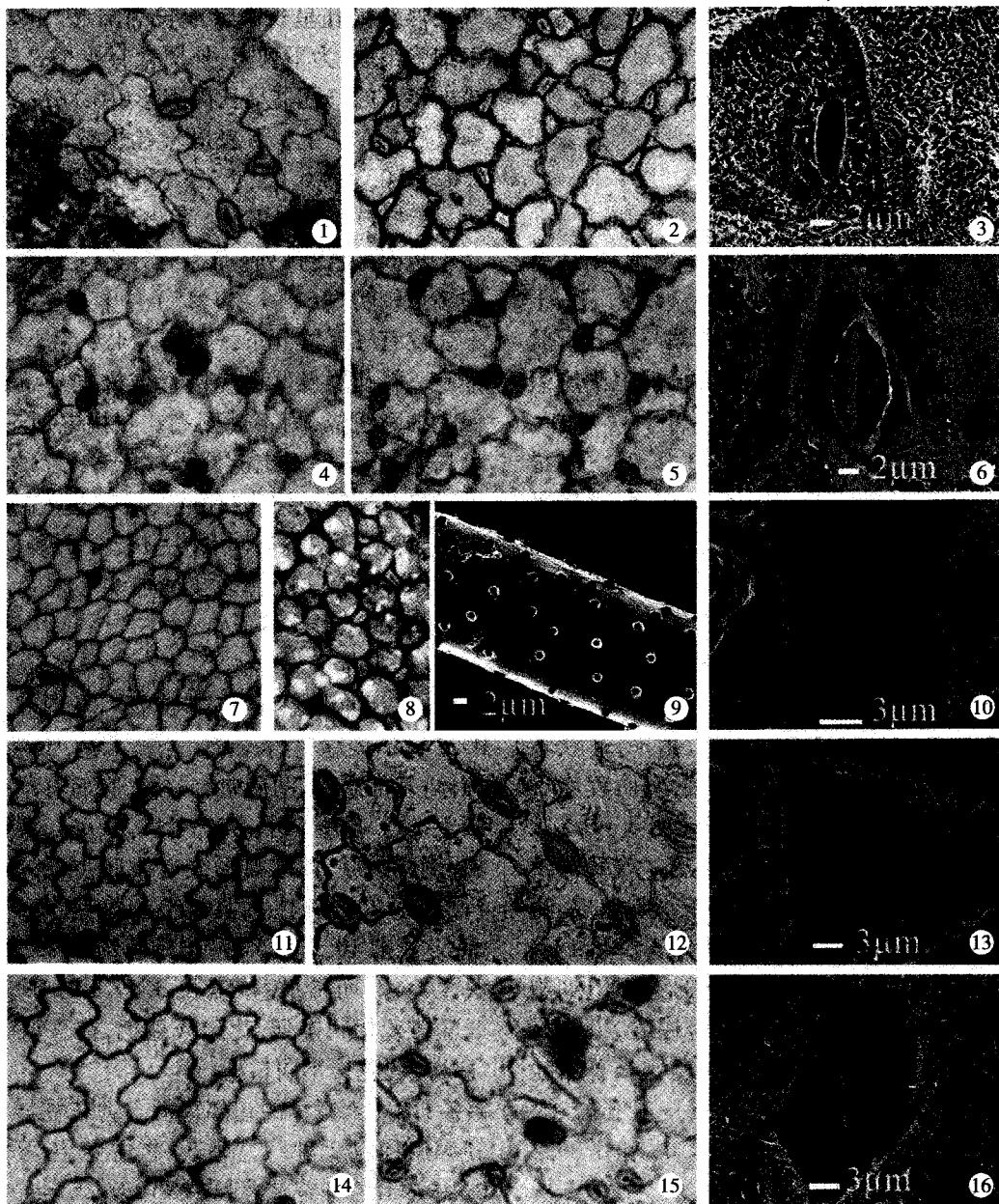
紫叶酢浆草叶片上、下表皮细胞相似,扁平,形状不规则,紧密排列;周边有许多皱褶和弯曲,弯曲的棱角较明显(图 1-14,15)。叶上表皮无气孔器,下表皮有气孔器分布,外围 3~4 个大小不等的表皮细胞。气孔器及气孔呈圆形或椭圆形,由 2 个肾形保卫细胞组成,为不规则型。扫描电镜下的气孔器呈长椭圆形,保卫细胞肾形,外壁平滑;气孔外拱盖内缘略有褶皱,没有或有极少量突起;气孔周围表皮细胞密被草酸盐晶体(图 1-16)。下表皮气孔指数为 0.36 ± 0.06 ;上、下表皮稀被柔毛。

2.2 花的微形态特征

2.2.1 花部形态特征

2.2.1.1 酢浆草的花部特征 花萼 5, 长 4.64 ± 0.22 mm, 淡绿色, 长圆形, 密被柔毛, 少腺毛, 顶端无腺体, 基部微红, 两侧略有收缩, 腹面有平行脉序(图版 I-1)。花瓣 5, 长 8.28 ± 0.31 mm, 黄色, 基部微白, 倒卵圆形, 顶端弧形或有浅凹, 中部脉序不明显(图版 I-2)。花柱 5, 具柔毛和腺毛, 高 4.20 ± 0.11 mm。雄蕊 10, 5 长 5 短; 长雄蕊约 4.25 ± 0.14 mm, 具柔毛, 短而稀; 短雄蕊长 3.17 ± 0.18 mm, 无毛。长短雄蕊相间排列, 花药淡黄色, 柱头淡绿色(图版 I-3), 属花柱半同长型。

2.2.1.2 铜锤草的花部特征 为花柱异型, 分中柱花和短柱花 2 种。花萼 5, 中柱花花萼长 4.84 ± 0.19 mm, 短柱花花萼长 4.80 ± 0.15 mm, 淡绿色, 长卵圆形, 背面密被长柔毛, 少腺毛, 顶端有 2 条褐色条形小腺体, 边缘无色透明, 基部较宽, 顶端略尖(图版 I-4)。花瓣 5, 中柱花花瓣长 15.03 ± 0.72 mm, 短柱花花瓣长 13.55 ± 0.62 mm, 淡紫红色, 倒卵圆形, 基部为淡绿色, 且具爪; 花瓣顶端中部具有浅凹陷, 边缘光滑, 腹面有 8 条明显的直出脉(图版 I-5), 背面边缘具柔毛和腺毛。中柱花花柱(图版 I-6)(包括雄蕊, 下同)长 5.24 ± 0.14 mm, 上部多柔毛, 少腺毛, 下部多腺毛, 少柔毛; 长雄蕊长 7.01 ± 0.15 mm, 花丝多柔毛, 少腺毛; 短雄蕊长 3.33 ± 0.11 mm, 花丝也具有柔毛和腺毛。短柱花的花部被覆柔毛和腺毛的情况同上, 花柱长 3.25 ± 0.14 mm;



1: 醋浆草叶上表皮 Upper epidermis of *O. corniculata* L. leaf ($\times 200$)；2: 醋浆草叶下表皮 Lower epidermis of *O. corniculata* leaf ($\times 200$)；3: 醋浆草叶下表皮气孔 Stoma on lower epidermis of *O. corniculata* leaf；4: 铜锤草叶上表皮 Upper epidermis of *O. corymbosa* DC. leaf ($\times 200$)；5: 铜锤草叶下表皮 Lower epidermis of *O. corymbosa* leaf ($\times 200$)；6: 铜锤草叶下表皮气孔 Stoma on lower epidermis of *O. corymbosa* leaf；7: 山酢浆草叶上表皮 Upper epidermis of *O. griffithii* Edgew. et Hook. f. leaf ($\times 200$)；8: 山酢浆草叶下表皮 Lower epidermis of *O. griffithii* leaf ($\times 200$)；9: 山酢浆草叶下表皮毛 Vellus hair on lower epidermis of *O. griffithii* leaf；10: 山酢浆草叶下表皮气孔 Stoma on lower epidermis of *O. griffithii* leaf；11: 白花酢浆草叶上表皮 Upper epidermis of *O. acetosella* L. leaf ($\times 200$)；12: 白花酢浆草叶下表皮 Lower epidermis of *O. acetosella* leaf ($\times 200$)；13: 白花酢浆草叶下表皮气孔 Stoma on lower epidermis of *O. acetosella* leaf；14: 紫叶酢浆草叶上表皮 Upper epidermis of *O. triangularis* A. St.-Hil. leaf ($\times 200$)；15: 紫叶酢浆草叶下表皮 Lower epidermis of *O. triangularis* leaf ($\times 200$)；16: 紫叶酢浆草叶下表皮气孔 Stoma on lower epidermis of *O. triangularis* leaf.

图1 5种酢浆草属植物的叶表皮及气孔的微形态特征
Fig. 1 Micromorphological characters of leaf epidermis and stoma of five species in *Oxalis* L.

雄蕊 10, 长雄蕊 5, 长 6.95 ± 0.21 mm; 中部雄蕊 5, 长 5.28 ± 0.15 mm。花药长圆形, 黄色(图版 I-7)。

2.2.1.3 山酢浆草的花部特征 花萼 5, 长 $6.71 \pm$

0.23 mm, 淡褐色, 长椭圆形, 背面密被长柔毛, 顶端无腺体(图版 I-8)。花瓣 5, 长 14.21 ± 0.35 mm, 白色, 倒卵状披针形, 腹面有明显的紫色网状脉序, 脉

序基部有黄色斑块(图版 I-9)。花柱5,高 9.51 ± 0.17 mm,花柱无毛,柱头白色。雄蕊10,5长5短,无毛;长雄蕊长 7.11 ± 0.14 mm;短雄蕊长 5.14 ± 0.27 mm。花药大,乳白色(图版 I-10)。

2.2.1.4 白花酢浆草的花部特征 花萼5,长 3.85 ± 0.12 mm,淡绿色,卵圆形,背面密被柔毛和部分腺毛,顶端有2条黄色腺体(图版 I-11)。花瓣5,长 11.87 ± 0.83 mm,白色,长条形,基部窄,顶端宽而大,且中间略有凹陷,背面边缘具柔毛,中间无毛(图版 I-12)。花柱5,高 4.05 ± 0.15 mm,具柔毛,不具腺毛,柱头淡绿色。雄蕊10,5长5短;长雄蕊长 5.47 ± 0.13 mm,具柔毛,不具腺毛;短雄蕊长 3.08 ± 0.20 mm,无毛。花药黄色(图版 I-13)。

2.2.1.5 紫叶酢浆草的花部特征 花萼5,长 4.74 ± 0.19 mm,淡绿色,倒长卵圆形,背面主要被腺毛,极少具柔毛,顶端有2条锈红色条形腺体(图版 I-14)。花瓣5,长 14.57 ± 0.41 mm,淡紫色,长圆状倒卵圆形,顶端略凹缺,基部淡绿色,腹面具有泡囊状突起(图版 I-15)。花柱5,长 7.31 ± 0.17 mm,密被

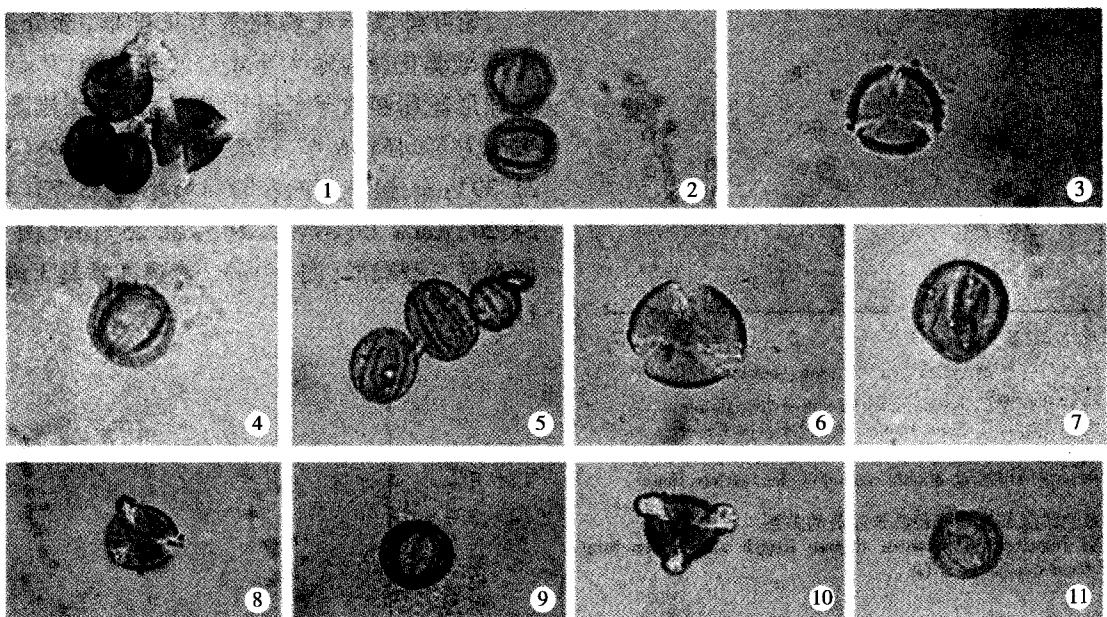
柔毛与腺毛,柱头绿色。雄蕊10,5长5短;长雄蕊长 4.95 ± 0.21 mm,被柔毛和腺毛;短雄蕊长 3.20 ± 0.20 mm,无毛。花药黄色(图版 I-16)。

2.2.2 花粉粒特征

2.2.2.1 光学显微镜下的花粉粒特征 光学显微镜下5种酢浆草属植物花粉粒的形态特征见图2。

酢浆草花粉粒呈近球形,极少数为长球形,长短雄蕊的花粉粒大小存在一定差异($P < 0.05$)。长雄蕊的花粉粒稍大,大小为 $34.01 (39.72 \sim 29.45)$ $\mu\text{m} \times 30.34 (36.67 \sim 22.38)$ μm ;短雄蕊的花粉粒略小,大小为 $30.42 (36.60 \sim 23.35)$ $\mu\text{m} \times 27.15 (33.19 \sim 23.39)$ μm (图3)。极面观呈三裂圆形或四裂圆形(图2-1),赤道面观具3或4沟,沟纺锤形,两端渐尖(图2-2)。

铜锤草的花粉粒多呈超长球形或长球形,少数近球形。中柱花长雄蕊的花粉粒大小为 $38.35 (42.85 \sim 32.12)$ $\mu\text{m} \times 25.40 (32.65 \sim 19.56)$ μm ,短雄蕊花粉粒大小为 $30.53 (37.52 \sim 25.36)$ $\mu\text{m} \times 21.14 (26.34 \sim 17.15)$ μm ;短柱花长雄蕊的花粉粒



1: 醋浆草花粉粒极面观 Polar view of pollen grain of *O. corniculata* L.; 2: 醋浆草花粉粒赤道面观 Equatorial view of pollen grain of *O. corniculata*; 3: 铜锤草花粉粒极面观 Polar view of pollen grain of *O. corymbosa* DC.; 4,5: 铜锤草花粉粒赤道面观 Equatorial view of pollen grain of *O. corymbosa*; 6: 山酢浆草花粉粒极面观 Polar view of pollen grain of *O. griffithii* Edgew. et Hook. f.; 7: 山酢浆草花粉粒赤道面观 Equatorial view of pollen grain of *O. griffithii*; 8: 白花酢浆草花粉粒极面观 Polar view of pollen grain of *O. acetosella* L.; 9: 白花酢浆草花粉粒赤道面观 Equatorial view of pollen grain of *O. acetosella*; 10: 紫叶酢浆草花粉粒极面观 Polar view of pollen grain of *O. triangularis* A. St.-Hil.; 11: 紫叶酢浆草花粉粒赤道面观 Equatorial view of pollen grain of *O. triangularis*.

图2 光学显微镜下5种酢浆草属植物的花粉粒微形态特征($\times 400$)

Fig. 2 Micromorphological characters of pollen grain of five species in *Oxalis* L. under light microscope($\times 400$)

大小为 $37.52(42.80 \sim 32.10) \mu\text{m} \times 25.50(32.67 \sim 18.45) \mu\text{m}$, 中部雄蕊花粉粒大小为 $33.18(42.45 \sim 25.36) \mu\text{m} \times 23.04(27.25 \sim 18.16) \mu\text{m}$ 。统计表明, 中柱花长雄蕊的花粉粒和短柱花长雄蕊的花粉粒大小无显著差异($P > 0.05$), 但均比短柱花中部雄蕊的花粉粒和中柱花短雄蕊的花粉粒大, 且差异显著(图4)。花粉粒极面观呈三裂圆形(图2-3), 赤道面观有3至多沟(图2-4,5)。

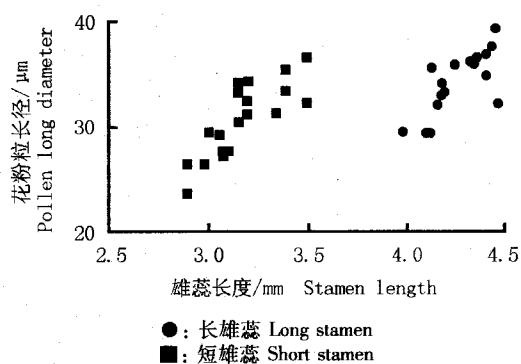


图3 酢浆草的雄蕊长度和花粉粒长径间的关系

Fig. 3 The relationship between stamen length and pollen long diameter of *Oxalis corniculata* L.

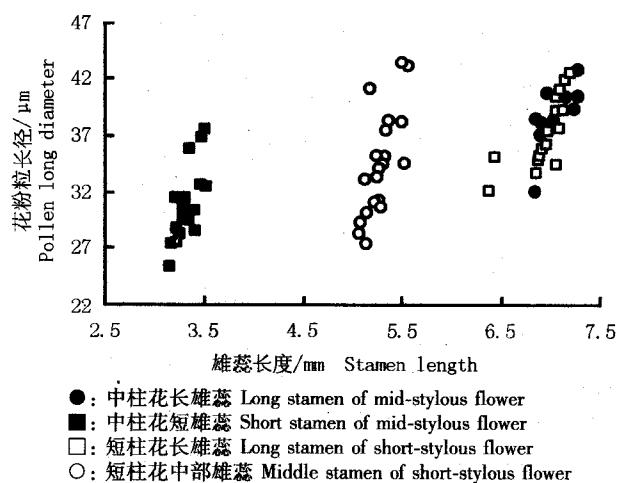


图4 铜锤草的雄蕊长度和花粉粒长径间的关系

Fig. 4 The relationship between stamen length and pollen long diameter of *Oxalis corymbosa* DC.

山酢浆草花粉粒多近球形, 偶长球形。中部雄蕊花粉粒和短雄蕊花粉粒的大小有一定差异($P < 0.05$); 前者大小为 $50.08(54.72 \sim 45.35) \mu\text{m} \times 43.44(50.38 \sim 36.62) \mu\text{m}$; 后者为 $47.63(52.55 \sim 42.54) \mu\text{m} \times 38.46(48.65 \sim 34.10) \mu\text{m}$ (图5)。极面观呈三裂圆形(图2-6), 赤道面常具3沟(图2-7)。

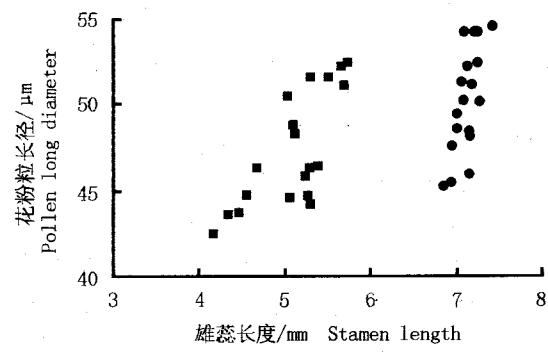


图5 山酢浆草的雄蕊长度和花粉粒长径间的关系

Fig. 5 The relationship between stamen length and pollen long diameter of *Oxalis griffithii* Edgew. et Hook. f.

白花酢浆草花粉粒大部分近球形, 少数为长球形。长、短雄蕊的花粉粒大小差异明显($P < 0.05$), 前者大小为 $24.21(28.65 \sim 18.14) \mu\text{m} \times 20.50(23.64 \sim 15.36) \mu\text{m}$, 后者为 $21.77(26.35 \sim 16.20) \mu\text{m} \times 17.83(22.58 \sim 15.28) \mu\text{m}$ (图6)。极面观呈三裂圆形(图2-8), 赤道面常具3沟(图2-9)。

紫叶酢浆草花粉粒多为长球形, 部分近球形。中部雄蕊花粉粒略大于短雄蕊花粉粒($P < 0.05$), 且球形花粉粒大于长球形花粉粒; 中部雄蕊花粉粒大小为 $39.18(46.67 \sim 29.34) \mu\text{m} \times 28.06(38.64 \sim 21.39) \mu\text{m}$, 短雄蕊的花粉粒大小为 $35.73(44.26 \sim 24.20) \mu\text{m} \times 25.89(33.28 \sim 20.25) \mu\text{m}$ (图7)。极面观呈三裂圆形(图2-10), 赤道面常具3沟(图2-11)。

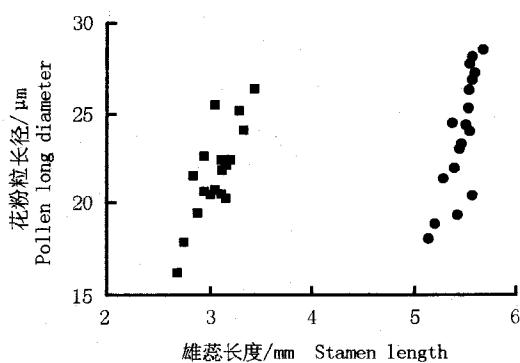


图6 白花酢浆草的雄蕊长度和花粉粒长径间的关系

Fig. 6 The relationship between stamen length and pollen long diameter of *Oxalis acetosella* L.

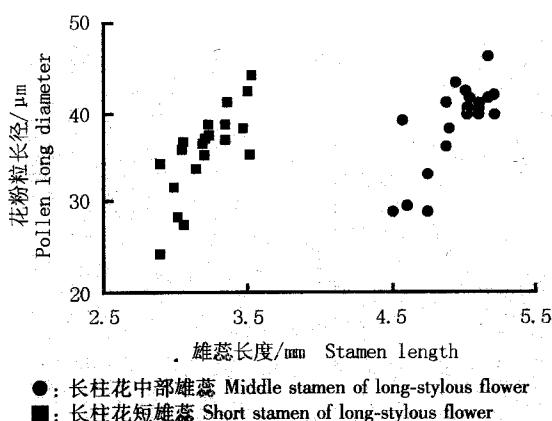


图7 紫叶酢浆草的雄蕊长度和花粉粒长径间的关系
Fig. 7 The relationship between stamen length and pollen long diameter of *Oxalis triangularis* A. St.-Hil.

2.2.2.2 扫描电镜下的花粉粒特征 醋浆草的花粉粒极面具3沟或4沟(图版II-1,2),沟窄,细长达两极;赤道面观为3沟或4沟。外壁具不规则粗网状或沟回状雕纹,网眼大小不一,形状不规则,网嵴边缘光滑(图版II-3)。

铜锤草的花粉粒极面为三裂圆形,具3至多沟,沟长达两极,沟边缘常具有乳突状突起;赤道面观为3沟或4沟。外壁具有穴状(网眼穿孔状)或网状雕纹(网眼表面具覆盖层),网眼大小不一,形状较不规则,网嵴边缘光滑,网眼内多具突起或无(图版II-4,5)。

山酢浆草的花粉粒极面为三裂圆形,具3至多沟,沟长达两极,沟中多突起。外壁具有明显覆盖层。网眼大小不一,形状较不规则,网嵴边缘光滑,网眼内少具突起或无(图版II-6,7)。

白花酢浆草的花粉粒极面为三裂圆形,呈脑部沟回状,常具3沟,沟长达两极,沟内多颗粒状突起;赤道面观为3沟。外壁具有粗网状雕纹,网眼大小不一,形状较不规则,网嵴边缘光滑,网眼内少突起或无(图版II-8,9)。

紫叶酢浆草的花粉粒极面为三裂圆形,常具3沟,沟长达两极,沟内多颗粒状突起,偶有小孔。外壁具有穴状雕纹,网眼大小不一,形状较不规则,网嵴边缘光滑,网眼内很少突起,常光滑,凹陷(图版II-10,11)。

2.3 种子的微形态特征

由于野外只采集到酢浆草和山酢浆草种子,因而,仅对这2个种的种子微形态特征进行了观察。

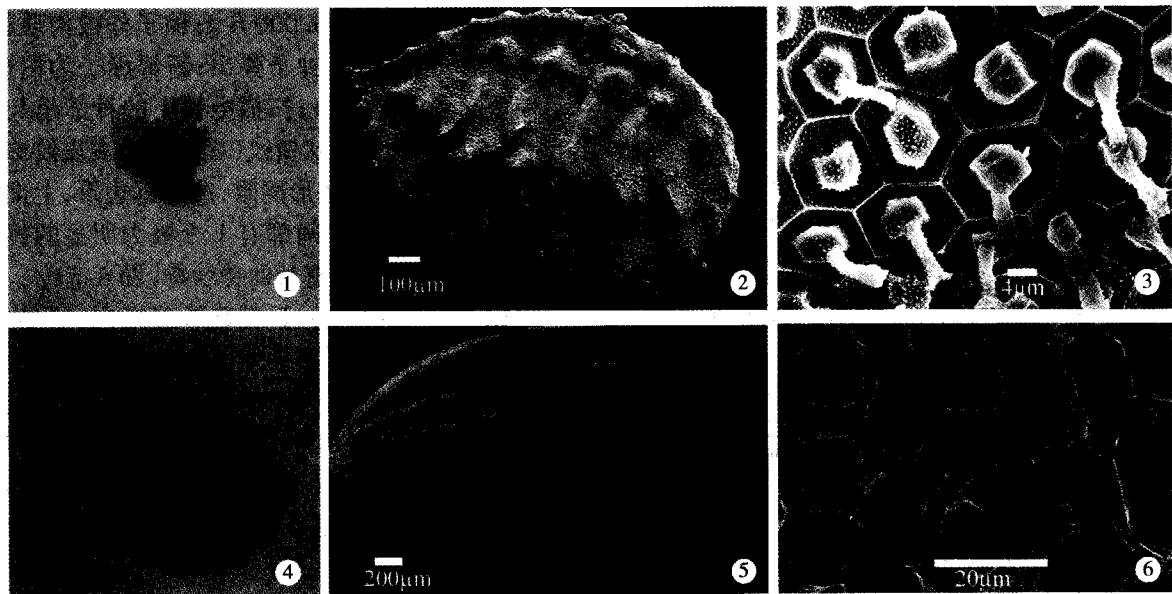
酢浆草种子生于长条形蒴果内,具喙;种子小,百粒重仅 0.0210 ± 0.0006 g;种子外被肉质种皮,成熟时种皮反转,将种子弹出;新鲜种子为白色,干后略呈黄色(图8-1);扫描电镜下的种子呈长扁卵形,具有明显的沟嵴状横纹(图8-2),表皮纹饰为比较规则的不等边六角形网眼,或为五边形,上面密布草酸盐晶体,网眼中间都有1个极为明显的棱柱状突起,其上还分布有长的钩状物(图8-3)。

山酢浆草种子生于五棱形蒴果内,百粒重为 0.2032 ± 0.0087 g,种子外被丰富的肉质种皮,黄色(图8-4);扫描电镜下的种子呈长椭圆形,略具纵条纹(图8-5),山酢浆草种子表皮粗糙程度远不如酢浆草,表皮纹饰也为不等边六角形或五边形网眼,但上面很少有草酸盐晶体,网眼中间棱柱状突起少且较小(图8-6)。

3 讨 论

3.1 醋浆草属5种植物的叶表皮特征及其系统学意义

叶表皮特征在系统学上具有潜在的价值。近年来,人们逐渐将植物表皮细胞特征(包括种皮性状)用于植物分类学及系统学研究,并证明对种或科级水平的分类有一定的研究意义^[27-29]。表皮是植物与外界环境的直接接触层,其特征能间接反映植物的某些生理特征。笔者发现,供试的5种酢浆草属植物的叶表皮多由形状不规则且排列紧密的细胞组成,气孔器属平列型,明显下陷。植物叶片气孔器不但与蒸腾作用、光合作用及呼吸作用等生理活动密切相关,而且还能为植物的系统分类提供重要的解剖学性状资料。Stace 曾将气孔外缘特征用于红树科内的系统发育研究^[30];Loftfield^[31]发现气孔器与表皮细胞数的比值稳定;Rowson 也认为气孔指数同叶片大小及植物的生境无关,且能区分近缘种^[26]。作者的研究结果表明,5种酢浆草属植物的气孔指数各不相同,而且紫叶酢浆草和山酢浆草的上表皮无气孔,显示出一定的系统意义;5种酢浆草属植物的表皮均被覆草酸盐晶体,决定了这些植物的叶片常有酸味。表皮毛一般对植物有保护作用,酢浆草属植物的表皮毛有柔毛和腺毛2种,前者有乳突状突起,后者主要起吸引昆虫传粉的作用。山酢浆草叶背面密被柔毛,很少腺毛,这一特征显示了该种植物



1: 酢浆草种子的种皮 Seed coat of *O. corniculata*; 2: 酢浆草种子 Seed of *O. corniculata* (SEM); 3: 酢浆草种皮纹饰 Ornamentations of seed coat of *O. corniculata* (SEM); 4: 山酢浆草种子的种皮 Seed coat of *O. griffithii*; 5: 山酢浆草种子 Seed of *O. griffithii* (SEM); 6: 山酢浆草种皮纹饰 Ornamentations of seed coat of *O. griffithii* (SEM).

图 8 酢浆草和山酢浆草种子的微形态特征
Fig. 8 Micromorphological characters of seed of *Oxalis corniculata* L. and *O. griffithii* Edgew. et Hook. f.

对高山或阴暗生境的适应性。

3.2 酢浆草属 5 种植物的花部形态特征及其生物学意义

植物的花柱异型情况是其繁育系统长期进化的结果。目前,自然界中的花柱异型共有 4 类,即二型花柱、三型花柱、柱头高度两型性(stigma-height dimorphism)和花柱对生(enantiostyly),并有异长雄蕊存在,它们都是通过提高植物个体间花粉散布的精确性来增加雄性交配的效率^[32,33]。其中花柱二型和三型植物(heterostyly)有 28 科,且大多属于中等进化的管状花^[34,35];花柱三型植物有 7 科,如酢浆草科、千屈菜科和雨久花科等^[11,34,36~38]。酢浆草属花柱半同型;紫叶酢浆草和山酢浆草属长柱型;白花酢浆草属中柱型;铜锤草在中国只有中柱花型和短柱花型,在北美有花柱同型^[7],在南美有花柱三型^[1],这可能是由产地不同造成的。5 种酢浆草属植物繁育系统的毛被情况各不相同,只有山酢浆草的花柱和长、短雄蕊不被毛。另外,除山酢浆草的柱头为白色外,其余 4 个种类的柱头均为鲜艳的绿色,这些都可能与山酢浆草倾向于闭花受精有关。5 个种类的较短雄蕊都不被毛,但铜锤草是个例外,可能

与其具有较强的入侵适应能力有关。

长期以来,人们将被子植物的花部形态特征,特别是花粉粒形态结构特征,应用于植物进化学和分类学研究。植物的花粉粒形态特征具有很强的遗传保守性,即具有固定的轮廓、雕纹、萌发孔(或萌发沟)的数目、位置和特性,这些形态和结构特征常用于植物分类学研究。孢粉学资料表明,花粉粒大小的演化趋势为小型($< 15 \mu\text{m}$)→中型($20 \sim 40 \mu\text{m}$);花粉粒形状的演化趋势为长球形→近球形→球形;花粉粒外壁纹饰的演化趋势为微穴→具穿孔→细网状→粗网状^[39]。据观察,同种植物同时具有长球形和近球形的花粉粒,其球形花粉粒明显大于长球形花粉粒,其功能意义可能与花粉的可育性相关。5 种酢浆草属植物的花粉粒有 3 种类型,即超长球形(长径与短径的比值大于 8:4,铜锤草)、近球形(长径与短径的比值为 8:7 ~ 7:8,酢浆草和白花酢浆草)和长球形(长径与短径的比值为 8:4 ~ 8:7,紫叶酢浆草和山酢浆草)^[40]。研究结果表明,5 种酢浆草属植物花粉粒的进化特征虽有交叉,但就本地种(酢浆草)与外来种(铜锤草)比较而言,前者的花柱半同型、花粉粒近球形及粗网状纹饰等特征可能比后

者的花柱异型、花粉粒超长球形和具穴状纹饰等特征更为进化。5种酢浆草属植物的花粉粒常具3沟或4沟,极面为三裂圆形,赤道面观为3沟,铜锤草花粉粒的侧面可以观察到3沟现象,但据报道酢浆草属植物花粉粒还有6沟的^[41],本研究中未曾观察到。

3.3 酢浆草和山酢浆草种子的微形态特征及其生物学意义

种子大小是植物的重要特征,不但与物种的散布和定居能力密切相关,而且影响植物幼苗及其子代的成活^[42,43]。研究发现,酢浆草和山酢浆草的种子大小和表皮附属物均有明显差异。酢浆草种子小,容易弹射到离母株较远的距离,同时,其表皮具有明显的钩状附属物,显示其分布与人和其他动物居住的相关性,这与酢浆草为世界广布种相对应;山酢浆草种子大,表皮粗糙程度明显不如前者,且没有钩状附属物,所以散布距离较前者近。山酢浆草有自花授粉现象^[19],通过自花授粉的种子比较容易散布到离母株较近的范围内,有利于在与母株较相似的环境中繁殖成功,这也与“本土适应性”(local adaption)假说相吻合^[44~46]。

参考文献:

- [1] Lourteig A. Flora Ilustrada Catarinense, Oxalidaceas Itajai, Santa Catarina [M]. Brazil: Herbario Barbosa Rodriguez, 1983.
- [2] Rosenfeldt S, Galati B G. Ubisch bodies and pollen ontogeny in *Oxalis articulata* Savigny [J]. Biocell, 2005, 29(3): 271~278.
- [3] 徐朗然, 黄成就. 中国植物志 第四十三卷 第一分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 沈显生, 孙灏. 中国酢浆草属一新种 [J]. 云南植物研究, 2003, 25(1): 39~40.
- [5] Mulcahy D L. The reproductive biology of *Oxalis priceae* [J]. Am J Bot, 1964, 51: 1045~1054.
- [6] Ornduff R. The breakdown of trimorphic incompatibility in *Oxalis* section *Corniculatae* [J]. Evolution, 1972, 26: 52~65.
- [7] Denton M F. A monograph of *Oxalis*, section *Ionoxyalis* (Oxalidaceae) in North America [J]. Biological Series, 1973, 4: 455~615.
- [8] Weller S G, Denton A M. Cytogeographic evidence for the evolution of distyly from tristyly in the North American species of *Oxalis* section *Ionoxyalis* [J]. Am J Bot, 1976, 63: 120~125.
- [9] Guth C J, Weller S G. Pollination, fertilization and ovule abortion in *Oxalis magnifica* [J]. Am J Bot, 1986, 73: 246~253.
- [10] Weller S G. Evolutionary modifications of tristyly breeding systems [A]. Barrett S C H. Evolution and Function of Heterostyly [C]. Berlin: Springer Verlag, 1992.
- [11] Barrett S C H. The evolutionary biology of tristyly [A]. Futuyma D, Antonovics J. Oxford Surveys in Evolutionary Biology (Vol. 9) [C]. Oxford: Oxford University Press, 1993. 283~326.
- [12] Marco D E, Arroyo M T K. The breeding system of *Oxalis squamata*, a tristyly South American species [J]. Botanica Acta, 1998, 111: 497~504.
- [13] Luo S X, Zhang D X, Renner S S. *Oxalis debilis* in China: distribution of flower morphs, sterile pollen and polyploidy [J]. Annals of Botany, 2006, 98: 459~464.
- [14] 杨娟, 葛剑平, 钟章成. 爆发型种群铜锤草的数量动态研究 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2002, 38(5): 687~691.
- [15] 杨娟, 钟章成. 爆发型种群铜锤草增长的密度调节关系 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 1~5.
- [16] Teng W L, Ngai Y W. Regeneration of *Oxalis triangularis* ssp. *triangularis* from suspension cells cultivated in three different systems (solid, liquid-flask and bioreactor cultures) [J]. Plant Cell Reports, 1999, 18: 701~706.
- [17] 杨德奎, 吴晓霞. 山东酢浆草属花粉形态的研究 [J]. 广西植物, 2004, 24(2): 128~129.
- [18] Dreyer L L, Esler K J, Zietsman J. Flowering phenology of South African *Oxalis*—possible indicator of climate change [J]. South African Journal of Botany, 2006, 72: 150~156.
- [19] 尤海梅, 小池文人. 林下山酢浆草的物候、生活史及种群间差异 [J]. 徐州师范大学学报: 自然科学版, 2003, 21(4): 32~35.
- [20] 吕海亮, 吴世安, 杨继, 等. 叶表皮及种皮特征在黄精族系统学研究中的应用 [J]. 植物分类学报, 2000, 38(1): 30~42.
- [21] 陈明林, 张小平, 李小红. 安徽羽叶报春与毛茛叶报春微形态特征研究 [J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(3): 18~24.
- [22] Salisbury E J. On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora [J]. Phil Trans Roy Soc, 1927, 216B: 1~65.
- [23] Erdtman G. The acetolysis technique: a revised description [J]. Svensk Botanisk Tidskr, 1960, 54: 561~564.
- [24] 中国科学院植物研究所形态室孢粉组. 中国植物花粉形态 [M]. 北京: 科学出版社, 1960.
- [25] Hong D Y. On pollen shape in some groups of dicotyledons [J]. Grana, 1983, 22: 73~78.
- [26] 陆机. 植物发育解剖学 [M]. 山东: 山东大学出版社, 1996.
- [27] Barthlott W. Epidermal and seed surface characters of plants [J]. Nordie J Bot, 1981, 1: 345~355.
- [28] Jones J H. Evolution of the Fagaceae: the implications of foliar feature [J]. Ann Mo Bot Gard, 1986, 73: 228~275.
- [29] 潘开玉, 路安民, 温洁. 金缕梅科(广义)的叶表皮特征 [J]. 植物分类学报, 1990, 28(1): 10~26.
- [30] Stace C A. The use of epidermal characters in phylogenetic