

· 技术方法 ·

大戟科现代植物花粉形态

杨士雄^{1,2}, 郑卓^{2*}, 陈碧珊², 李杰¹, 黄康有²

¹青岛海洋地质研究所, 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071

²中山大学地球科学系, 广州 510275

摘要 对大戟科21属33种植物的现代花粉形态进行了系统的形态学研究。选取的33种大戟科植物基本涵盖了该科绝大部分花粉形态类型。根据花粉的大小、形状、外壁表面纹饰, 结合大戟科亚科分类, 对该科花粉形态特征进行详细对比和分析。结果表明, 每个亚科都有其独特的花粉形态, 各亚科可以根据花粉形态来鉴别。此外, 大戟科多个属(如野桐属、山麻杆属、叶下珠属等)的植物花粉形态特征较明显, 可以鉴定到属甚至种一级水平。研究结果不仅为大戟科花粉形态分类学提供了依据, 同时为地层孢粉分析中花粉的鉴定提供参考。

关键词 大戟科, 现代花粉, 形态

杨士雄, 郑卓, 陈碧珊, 李杰, 黄康有 (2013). 大戟科现代植物花粉形态. 植物学报 48, 550–560.

大戟科(Euphorbiaceae), 乔木、灌木或草本, 稀为木质或草质藤本。该科约有300属, 8 000种。其中最大的属是大戟属(*Euphorbia*), 约2 000种。我国有72属, 约450多种, 分布于全国各地, 但主产地为西南部地区至台湾(吴征镒, 1980)。

大戟科作为被子植物中的大科, 起源于第三纪, 除北极及寒冷的高山地带以外, 遍布于全世界, 主要产于热带和亚热带地区。不同植物类别的生境差别很大, 既有极特殊的沙漠型肉浆植物, 也有湿生植物及热带森林乔木, 此外还有许多是分布广泛的田间杂草以及栽培植物, 如木薯(*Manihot esculenta*)、蓖麻(*Ricinus communis*)、乌桕(*Sapium sebiferum*)等。由此可见, 大戟科作为古代以及现代植被的重要组成部分, 其对于研究古植物和古气候具有不可替代的作用。尤其是第四纪以来, 地层中大戟科花粉对气候和植被有较强的指示作用。因此, 开展大戟科现代植物花粉形态研究, 可以为第四纪地层花粉鉴定和识别亚热带孢粉, 以及更好地重建古气候环境变化提供基础。前人已对大戟科花粉形态作了较多研究(Huang, 1972; 中国科学院植物研究所古植物室孢粉组/华南植物研究所形态研究室, 1982; Punt, 1987; Saad and El-Ghazaly, 1988; 王伏雄等, 1995; Park, 1997;

韦仲新等, 2002)。本研究主要通过对现代大戟科植物花粉形态特征进行深入分析, 并结合亚科分类探讨花粉形态的分类学特征, 试图为第四纪地层花粉中大戟科植物花粉鉴定和分类提供孢粉学资料。

1 材料与方法

本研究涉及大戟科21属33种植物。材料主要来自中山大学地球科学系第四纪环境研究组多年的野外收集, 部分材料采自中山大学生命科学学院植物标本馆和华东师范大学河口实验室。凭证标本和花粉玻片均保存在中山大学地球科学系第四纪环境研究中心孢粉实验室。采用Erdtman醋酸酐分解法提取花粉, 用移液枪取出少量已处理好的花粉, 放在载玻片上, 盖上盖玻片, 再用滴管吸取已被溶解的蜡, 从边缘滴入盖玻片中, 待蜡把花粉包住后即可冷却凝固, 完成花粉玻片制作。将制作好的玻片置于放大倍数为400–1 000的显微镜下进行观察并拍照。花粉照片包含赤道面观、极面观、孔沟、表面纹饰等。使用数码摄影软件结合人工测量方法对花粉大小及其表面网纹进行测量。花粉大小一般测量20粒, 取平均值和最小到最大的变化幅度(杨士雄等, 2012)。

收稿日期: 2012-07-18; 接受日期: 2012-10-28

基金项目: 国家自然科学基金(No.41072128, No.40730103)、广东省自然科学基金(No.10451027501005648)、广东高校优秀青年创新人才培养计划(No.LYM10009)和国土资源部固碳行业基金(No.201111023)

* 通讯作者。E-mail: eeszzhuo@mail.sysu.edu.cn

2 结果与讨论

2.1 花粉形态特征描述

石栗属(*Aleurites* J. R. et G. Forst.) 石栗(*A. moluccana* (L.) Willd), 采样地: 中山大学校园(No.YZ487; 图1A, B)。花粉直径55(50–70) μm , 无萌发孔。外层厚于内层。表面为三棱柱棒状突起组成的图案, 棒末端渐尖, 以5–8个三角形瘤状体为一组围成圆形放射状图案。

油桐属(*Vernicia* Lour.) 油桐(*V. fordii* (Hemsl.) Airy-Shaw), 采样地: 湖北(No.YZ799; 图1C, D)。花粉无萌发孔, 大小为66.5(55–75) μm 。外壁2层, 具粗网状雕纹, 网脊上具瘤, 瘤多呈三棱柱状, 末端变尖, 三棱柱一般由3个小突起组成。当镜筒下降时, 瘤连接成网脊, 以5–8个瘤为一组围成圆形。

巴豆属(*Croton* L.) 巴豆(*C. tiglium* L.), 采样地: 海南岛(No.YZ137; 图1E, F)。花粉直径30(27–47) μm , 无萌发孔。花粉表面具网状雕纹, 网脊上具瘤, 瘤为三棱柱状。毛果巴豆(*C. lachnocarpus* Benth.), 采样地: 江西(No.YZ772; 图1G, H)。花粉直径38(30–47) μm , 无萌发孔。花粉表面具粗网状雕纹, 除比巴豆略大外, 其它特征相似。

变叶木属(*Codiaeum* A. Juss.) 变叶木(*C. variegatum* (L.) Rumph. ex A. Juss.), 为引入栽培, 采样地: 中山大学校园(No.YZ485; 图1I, J)。花粉赤道面观为椭圆形, 极面观为近圆形。花粉无萌发孔, 大小34.5(30–40)×38(35–43) μm 。花粉表面具大小不一的瘤状突起, 每5–7个瘤排成一圈, 形成粗大的网, 瘤相对巴豆属或油桐属较小, 为大颗粒状。外壁厚2–3 μm , 轮廓呈波浪线。

麻疯树属(*Jatropha* L.) 麻疯树(*J. curcas* L.), 采样地: 海南(No.YZ783; 图1K, L)。花粉无萌发孔, 大小为55(50–75) μm 。外壁厚约5 μm 。表面具瘤, 且相对其它相似属较大, 每个瘤由4–6个大颗粒组成。经化学处理后, 花粉表面上的瘤容易脱落。

大戟属(*Euphorbia* L.) 轮花大戟(*E. characias* subsp. *wulfenii*), 采样地: 法国(No.YZ777;

图2A–D)。花粉大小为52(50–54)×50(48–52) μm 。3孔沟, 沟细长; 内孔椭圆形, 横长, 大小约为12 μm 。外壁厚约3 μm , 外层厚于内层, 且近孔逐渐变薄。表面具网状纹饰, 但镜筒下降时呈现细颗粒状纹饰。猩猩草(*E. cyathophora* Murray), 采样地: 中国科学院华南植物园(No.YZ778; 图2E–H)。花粉大小为53(50–54)×47(46–50) μm 。3孔沟, 沟细长; 内孔竖长, 椭圆形, 大小约为12×8 μm 。外壁厚约5–6 μm 。表面具粗网状纹饰, 网纹由细颗粒形成脊柱, 轮廓线波动不平。铁海棠(*E. millii* Des Moul.), 采样地: 韶关大学(No.YZ377; 图2I–L)。花粉粒大小为38(35–40)×40(38–44) μm 。3孔沟, 沟细长。外壁厚约3 μm , 至孔处加厚达4–5 μm 。表面具细网状纹饰。

乌桕属(*Sapium* P. Br.) 乌桕(*S. sebiferum* (L.) Roxb.), 采样地: 中山大学校园(No.YZ791; 图2M; 图3A–C)。花粉粒大小为35(30–45)×40(34–46) μm 。具3孔沟, 沟两端宽, 中部较窄; 内孔横椭圆形, 大小为5×11 μm 。表面具拟网状雕纹, 网脊由颗粒组成。

海漆属(*Excoecaria* L.) 绿背桂(*E. formosana* (Hayata) Hayata), 采样地: 广西(No.YZ789; 图3D, E)。花粉大小为52(50–54)×50(49–53) μm 。具3孔沟, 沟细长; 孔横长, 外壁2层清晰可见, 具颗粒-网状雕纹, 具基柱, 光切面轮廓线不平。

野桐属(*Mallotus* Lour.) 白背叶(*M. apelta* (Lour.) Müll. Arg.), 采样地: 中国科学院华南植物园(No.YZ793; 图3F–I)。花粉粒极面观呈微钝圆三角形, 大小22(22–28)×24(24–30) μm 。具3孔沟, 沟细而短; 孔宽且横长, 与沟相交成十字形。外壁2层, 厚约2 μm 。表面具粗颗粒雕纹。野桐(*M. japonicus* (Thunb.) Müll. Arg.), 采样地: 福建省永安市(No.YZ56; 图3J–M)。花粉粒大小22(22–28)×26(24–30) μm 。具3孔沟, 沟短; 孔横长, 与沟相交成十字形。表面具粗颗粒雕纹。形态特征与白背叶相似。白楸(*M. paniculatus* (Lam.) Müll. Arg.), 采样地: 福建省南靖县(No.YZ48; 图3N–Q)。花粉粒大小18(16–20)×18(16–20) μm 。除个体较小外, 其它特征与上2种相似。

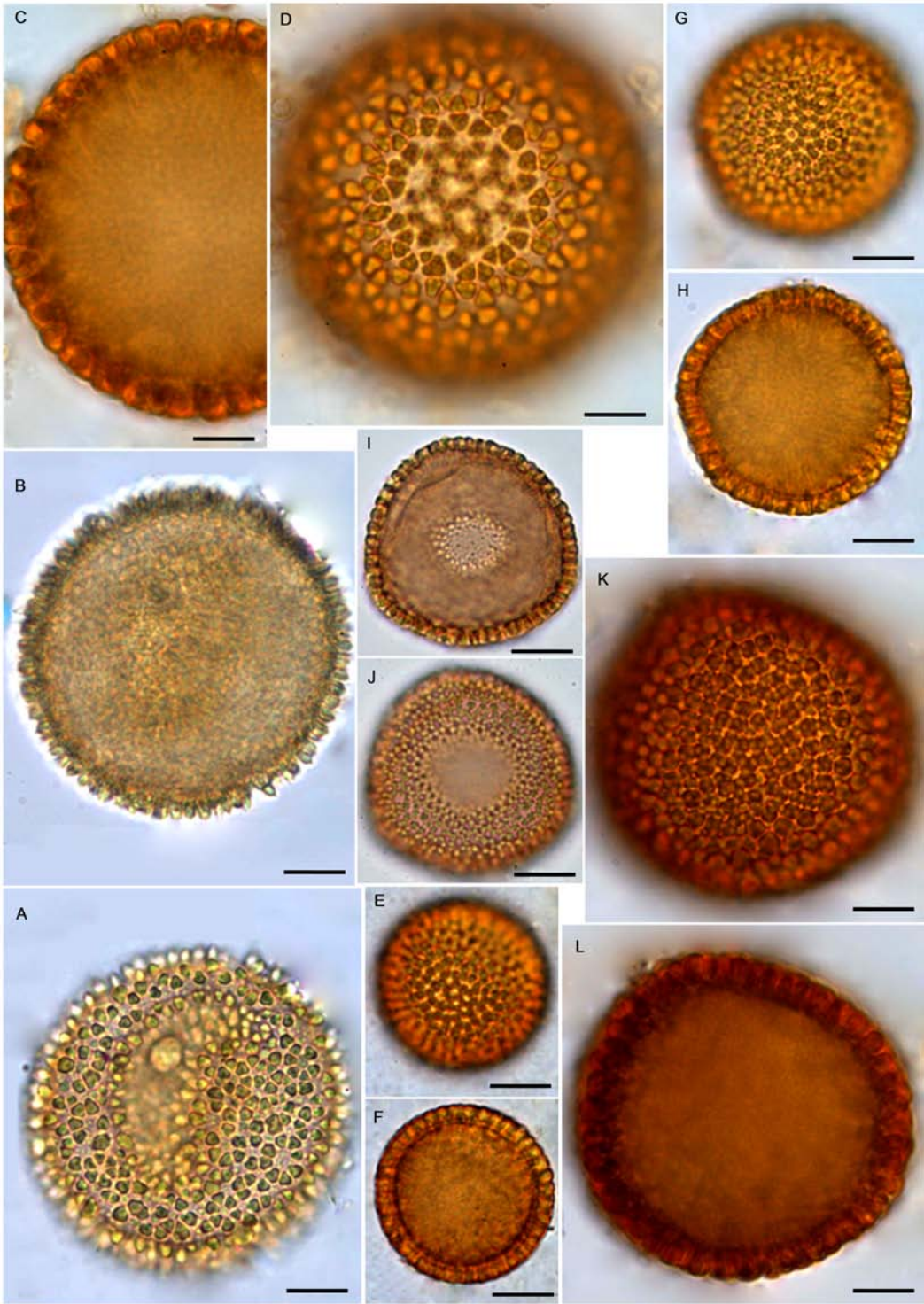


图1 巴豆亚科部分属种花粉形态
(A), (B) 石栗; (C), (D) 油桐; (E), (F) 巴豆; (G), (H) 毛果巴豆; (I), (J) 变叶木; (K), (L) 麻疯树。Bar=10 μm

Figure 1 Pollen morphology for some species of Crotonoideae
(A), (B) *Aleurites moluccana*; (C), (D) *Vernicia fordii*; (E), (F) *Croton tiglium*; (G), (H) *C. lachnocarpus*; (I), (J) *Codiaeum variegatum*; (K), (L) *Jatropha curcas*. Bar=10 μm

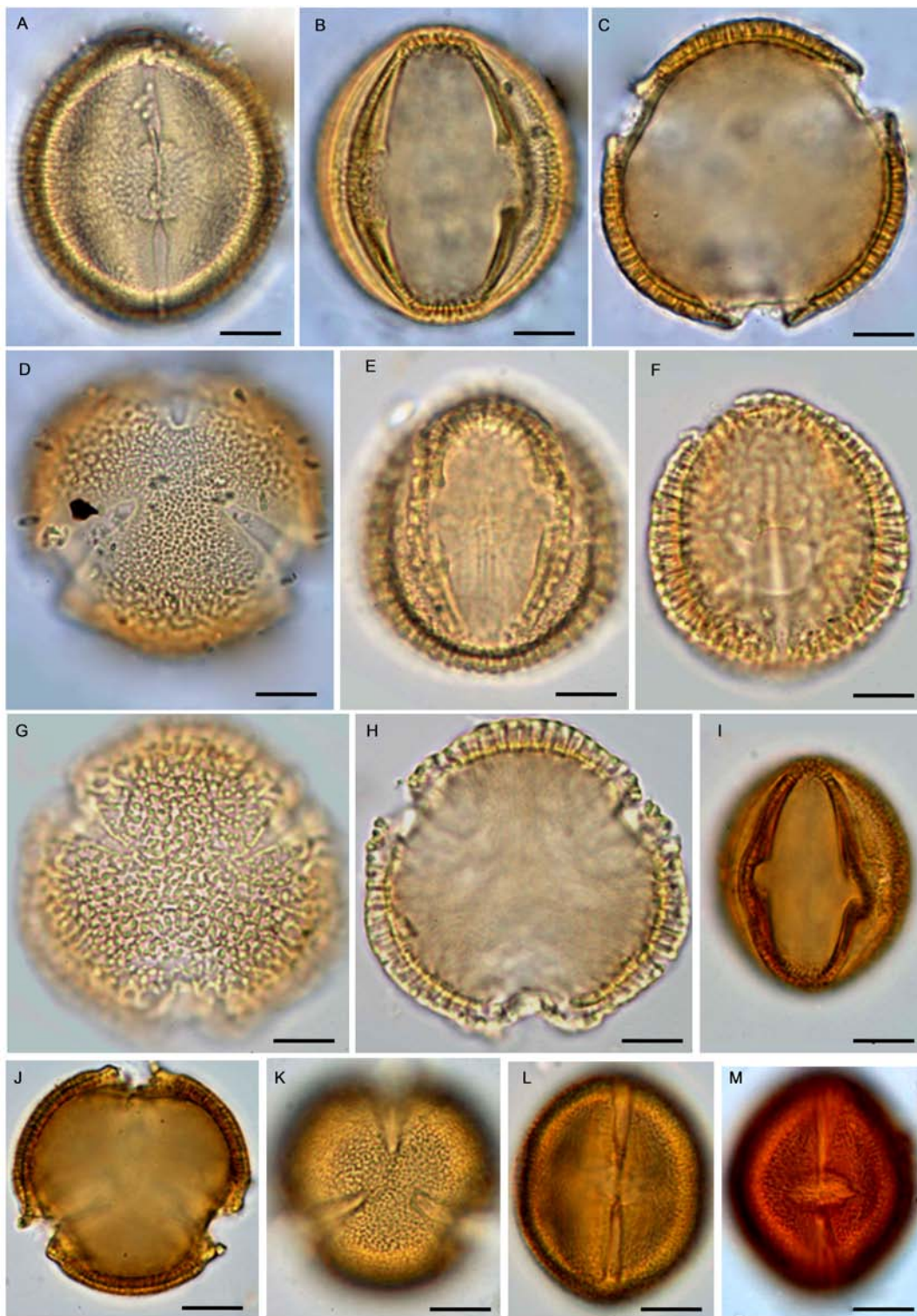


图2 大戟亚科部分属种花粉形态

(A)–(D) 轮花大戟; (E)–(H) 猩猩草; (I)–(L) 铁海棠; (M) 乌桕。Bar=10 μm

Figure 2 Pollen morphology for some species of Euphorbioideae

(A)–(D) *Euphorbia characias* subsp. *wulfenii*; (E)–(H) *E. cyathophora*; (I)–(L) *E. milii*; (M) *Sapium sebiferum*. Bar=10 μm



图3 大戟亚科与铁苋菜亚科部分属种花粉形态

(A)–(C) 乌桕; (D), (E) 绿背桂; (F)–(I) 白背叶; (J)–(M) 野桐; (N)–(Q) 白楸; (R)–(U) 中平树; (V)–(Y) 棒柄花。Bar=10 μm

Figure 3 Pollen morphology for some species of Euphorbioideae and Acalyphoideae

(A)–(C) *Sapium sebiferum*; (D), (E) *Excoecaria formosana*; (F)–(I) *Mallotus apelta*; (J)–(M) *M. japonicus*; (N)–(Q) *M. paniculatus*; (R)–(U) *Macaranga deheiculata*; (V)–(Y) *Cleidion brevipetiolatum*. Bar=10 μm

血桐属(*Macaranga* Thou.) 中平树(*M. deheiculata* (Bl.) Müll. Arg.), 采样地: 中国科学院华南

植物园(No.YZ170; 图 3R–U)。花粉粒大小为 17(13–19)×18(15–20) μm 。3孔沟, 沟细长; 孔横长。

外壁厚1.5–3 μm , 外层厚于内层。表面具细网状纹饰(区别于 *Mallotus*)。

棒柄花属(*Cleidion* Bl.) 棒柄花(*C. brevipetiolatum* Pax & K. Hoffm.), 采样地: 海南岛(No.YZ773; 图3V–Y)。花粉粒扁球形。花粉较小, 17(16–20)×18(16–21) μm 。3孔沟, 沟细短; 孔横长, 与沟相交成十字形。外壁内层厚于外层, 表面具模糊的粗颗粒纹饰。

山麻杆属(*Alchornea* Sw.) 红背山麻杆(*A. trewioides* (Benth.) Müll. Arg.), 采样地: 中国科学

院华南植物园(No.YZ358; 图4A–D)。花粉粒大小为21(13–25)×22(17–27) μm 。3孔沟, 沟具沟膜, 沟膜边缘凹陷, 极面观沟膜呈舌状突起; 内孔横长。表面具模糊的颗粒-拟网状纹饰, 沟孔周围的颗粒纹饰较粗。

铁苋菜属(*Acalypha* L.) 狗尾红(*A. hispida* Burm.f.), 采样地: 中国科学院华南植物园(No. YZ780; 图4E–I)。花粉近球形。花粉大小为26(24–28)×29(25–33) μm 。3孔沟, 沟宽; 孔菱形。外壁2层。表面有基柱支撑的网状纹饰, 稍具条纹状排列。



图4 铁苋菜亚科与叶下珠亚科部分属种花粉形态

(A)–(D) 红背山麻杆; (E)–(I) 狗尾红; (J)–(N) 蓖麻; (O)–(R) 云南银柴; (S)–(V) 银柴; (W)–(X) 余甘子。Bar=10 μm

Figure 4 Pollen morphology for some species of Acalyphoideae and Phyllanthoideae

(A)–(D) *Alchornea trewioides*; (E)–(I) *Acalypha hispida*; (J)–(N) *Ricinus communis*; (O)–(R) *Aporosa yunnanensis*; (S)–(V) *A. dioica*; (W)–(X) *Phyllanthus embilca*. Bar=10 μm

蓖麻属(*Ricinus* L.) 蓖麻(*R. communis* L.), 采样地: 广州(引种)(No.YZ775; 图4J–N)。花粉球形。花粉大小 $25(23-27) \times 27(24-31) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟长; 内孔横长。外壁厚 $2-2.5 \mu\text{m}$ 。表面具模糊网状纹饰, 网眼形状不规则。

银柴属(*Aporosa* Bl.) 云南银柴(*A. yunnanensis* (Pax & K. Hoffm.) F. P. Metcalf), 采样地: 深圳(No.YZ433; 图4O–R)。花粉粒大小 $25(20-28) \times 20.5(18-22) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟细; 孔横长, 沟孔相交成十字形。表面具细网状纹饰, 网眼规则, 且大小一致, 至沟边变小。银柴(*A. dioica* (Roxb.) Müll. Arg.), 采样地: 中国科学院华南植物园(No.YZ102; 图4S–V)。花粉粒长球形, 极面观为3裂圆形。花粉大小 $17(15-20) \times 18(16-22) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟细; 孔横长, 沟孔相交成十字形。表面具网状纹

饰。

叶下珠属(*Phyllanthus* L.) 余甘子(*P. embilca* L.), 采样地: 深圳梧桐山(No.YZ445; 图4W–X; 图5A–C)。花粉粒球形, 极面观4–6裂圆形。花粉大小 $19(18-23) \times 18(17-19) \mu\text{m}$ 。5孔沟为主, 少数4、6孔沟, 孔圆形, 其大小为 $(1.5-2) \times (2-3) \mu\text{m}$ 。表面具细网状纹饰。落萼叶下珠(*P. flexuosus* (Siebold & Zucc.) Müll. Arg.), 采样地: 广西(No.YZ795; 图5D–G)。花粉粒近球形。花粉大小 $20(18-23) \times 18(17-19) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟细长; 孔圆形。表面具细网状纹饰。水油甘(*P. parvifolius* Buch.-Ham. ex D. Don), 采样地: 吊罗山(No.YZ796; 图5H–K)。花粉粒球形。花粉大小 $15(12-20) \times 13.5(11-19) \mu\text{m}$ 。4孔沟为主, 沟细; 孔圆形。表面具细网状纹饰。

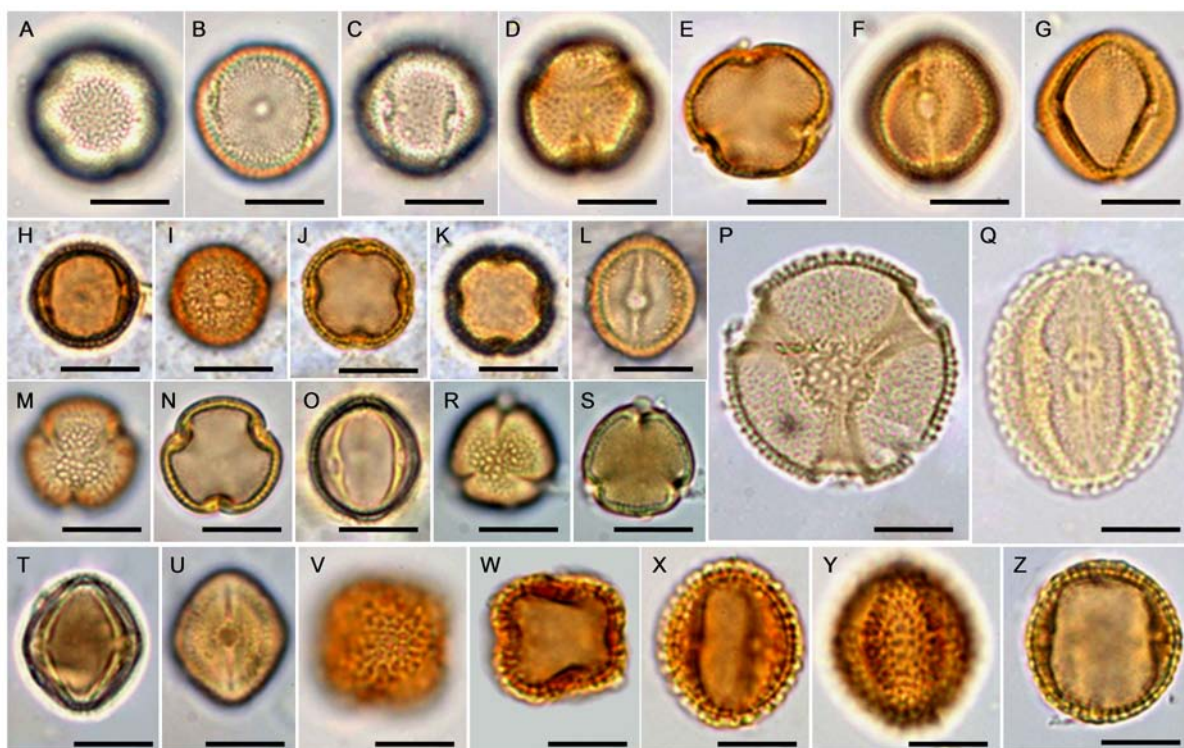


图5 叶下珠亚科部分属种花粉形态

(A)–(C) 余甘子; (D)–(G) 落萼叶下珠; (H)–(K) 水油甘; (L)–(O) 白饭树; (P), (Q) 一叶萩; (R)–(U) 算盘子; (V)–(Y) 湖北算盘子; (Z) 艾胶算盘子。Bar=10 μm

Figure 5 Pollen morphology for some species of Phyllanthoideae

(A)–(C) *Phyllanthus embilca*; (D)–(G) *P. flexuosus*; (H)–(K) *P. parvifolius*; (L)–(O) *Flueggea virosa*; (P), (Q) *F. suffruticosa*; (R)–(U) *Glochidion puberum*; (V)–(Y) *G. wilsonii*; (Z) *G. lanceolarium*. Bar=10 μm

白饭树属(*Flueggea* Willd.) 白饭树(*F. virosa* (Roxb. ex Willd.) Royle), 采样地: 海南岛(No. YZ384; 图5L–O)。花粉长球形。花粉大小 $17(13-22) \times 15.5(11-18) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟细长; 孔圆形, 直径 $2.5-3.5 \mu\text{m}$ 。外壁2层, 厚 $1-1.5 \mu\text{m}$, 表面具清晰的网状雕纹, 网眼较规则。一叶萩(*F. suffruticosa* (Pall.) Baill.), 采样地: 湖南(No. YZ7-97; 图5P, Q)。花粉粒近长球形。花粉大小 $30(28-32) \times 30.5(28-32) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 沟细长; 内孔竖长。外壁外层厚于内层。表面具网状纹饰。网眼较大, 形状不规则。

算盘子属(*Glochidion* T. R. et G. Forst.) 算盘子(*G. puberum* (L.) Hutch.), 采样地: 湖南(No. YZ787; 图5R–U)。花粉粒球形。花粉大小 $14(12-18) \times 18(16-22) \mu\text{m}$ 。3孔沟, 少数4孔沟, 沟细长; 孔轮廓模糊, 近圆形。外壁厚 $2-3 \mu\text{m}$ 。表面具粗网状纹饰。湖北算盘子(*G. wilsonii* Hutch.), 采样地: 湖北(No. YZ788; 图5V–Y)。花粉粒球形。花粉大小 $17(12-18) \times 22(16-24) \mu\text{m}$ 。多数4孔沟, 沟细长; 孔近圆形。表面具粗网状纹饰。外壁表面具脊柱, 轮廓线不平, 呈波浪状。艾胶算盘子(*G. lanceolarium* (Roxb.) Voigt), 采样地: 海南(No. YZ786; 图5Z; 图6A–D)。花粉粒大小为 $20(14-22) \times 21(16-24) \mu\text{m}$ 。4孔沟, 沟细长; 孔近圆形。表面具粗网状纹饰。香港算盘子(*G. zeylanicum* (Gaertn.) A. Juss.), 采样地: 深圳仙湖植物园(No. YZ400; 图6E–H)。花粉粒大小为 $24(20-27) \times 27(22-32) \mu\text{m}$ 。多数4孔沟; 孔轮廓模糊。表面具粗网状纹饰。

木奶果属(*Baccaurea* Lour.) 木奶果(*B. ramiflora* Lour.), 采样地: 海南岛(No. YZ784; 图6I–L)。花粉粒椭圆形, 两端较平。花粉大小 $23(17-30) \times 23(18-28) \mu\text{m}$ 。具3–4孔沟, 沟较细; 孔横长, 轮廓不清楚。外壁具脊柱。表面具粗网状纹饰。

土蜜树属(*Bridelia* Willd.) 土蜜树(逼迫子)(*B. tomentosa* Bl.), 采样地: 海南岛(No. YZ790; 图6M–Q)。花粉粒球形或近球形。花粉大小 $23(22-24) \times 21(19-24) \mu\text{m}$ 。3孔沟; 孔横长, 呈椭圆形。表面具清晰的网状雕纹, 网眼大小、形状不一。禾串树(*B. insulana* Hance), 采样地: 湖南(No. YZ1584; 图6R–V)。花粉呈球形。花粉大小 22

$(22-23.5) \times 22(20.5-23.5) \mu\text{m}$ 。3孔沟; 内孔横长。表面具条纹-网状条纹, 网眼大小、形状不一。

五月茶属(*Antidesma* L.) 日本五月茶(*A. japonicum* Siebold & Zucc.), 采样地: 广东(No. YZ792; 图6W–Z)。花粉粒长椭球形, 赤道面观橄榄球形。花粉大小 $25(22-28) \times 13(10-18) \mu\text{m}$ 。具3孔沟, 沟细长; 孔横长, 与沟相交成十字形。外壁具模糊的颗粒状雕纹。

2.2 花粉形态分类特征

大戟科花粉形态与大小因属种不同变化很大, 从直径 $13.5 \times 15 \mu\text{m}$ (*Flueggea virosa*)到 $66.5 \mu\text{m}$ (*Aleurites fordii*)不等, 但大多数花粉的最长轴一般小于 $50 \mu\text{m}$ (王伏雄等, 1982)。该科的花粉以具孔沟类型为主, 少见无萌发孔。在具孔沟的花粉中, 以3孔沟最多, 也有4孔沟或5孔沟甚至多沟。外壁纹饰方面, 有网状、颗粒状、条纹状、瘤状(巴豆状)等多种形态特征。从大戟科的形态特征来看, 在地层花粉鉴定中, 部分属可以按形态鉴别, 但仍有许多属的准确鉴定有一定困难。本研究根据花粉形态特征对大戟科花粉进行了分类, 以便对鉴定地层中的大戟科花粉提供参考依据。

大戟科包括叶下珠亚科(*Phyllanthoideae*)、大戟亚科(*Euphorbioideae*)、铁苋菜亚科(*Acalyphoideae*)、巴豆亚科(*Crotonoideae*)4个亚科(吴征镒, 1980)。经观察发现, 大戟科的花粉形态类别与亚科分类是基本吻合的。各亚科的花粉形态综合特征见表1。

本研究观察了巴豆亚科下的石栗属、巴豆属、油桐属、麻疯树属和变叶木属植物花粉, 均为无萌发孔类型。该亚科的花粉形态特征为花粉粒球形, 直径为 $33-80 \mu\text{m}$; 无萌发孔; 外壁较厚($1.5-8 \mu\text{m}$), 外层远厚于内层; 表面由棒或瘤构成巴豆式图案, 每个图案由短棒或5–8个瘤构成, 图案排列有疏有密。

大戟亚科下的乌桕属、大戟属和海漆属花粉直径一般较大, 大多在 $30 \mu\text{m}$ 以上; 一般为3孔沟类型, 孔呈球形或椭球形, 横长; 外壁2层, 一般等厚, 外壁具细网状纹饰, 网脊上具颗粒。

铁苋菜亚科(表2)下的野桐属、血桐属、山麻杆属、棒柄花属、铁苋菜属和蓖麻属, 一般为3孔沟, 沟细长; 内孔大部分横长; 花粉总体较小。该亚科的部分属种在热带亚热带第四纪地层样品中较为常见。一些



图6 叶下珠亚科部分属种花粉形态
(A)–(D) 艾胶算盘子; (E)–(H) 香港算盘子; (I)–(L) 木奶果; (M)–(Q) 土蜜树; (R)–(V) 禾串树; (W)–(Z) 日本五月茶。Bar=10 μm

Figure 6 Pollen morphology for some species of Phyllanthoideae
(A)–(D) *Glochidion lanceolarium*; (E)–(H) *G. zeylanicum*; (I)–(L) *Baccaurea ramiflora*; (M)–(Q) *Bridelia tomentosa*; (R)–(V) *B. insulana*; (W)–(Z) *Antidesma japonicum*. Bar=10 μm

种类可以鉴定到属一级分类单位，如野桐属、血桐属、山麻杆属等一般都能通过花粉形态特征鉴定到属。野桐属的主要特征是沟细，内孔横长与临孔几乎相连；且外壁为粗颗粒状。然而，该花粉形态特征与棒柄花属较为相似，但棒柄花属以内孔在萌发孔处加厚而与其相区别。血桐属花粉较小，花粉直径一般小于20 μm；外壁内外层分层清晰并等厚，且外壁具颗粒-网状纹饰而与野桐属相区别。山麻杆属花粉沟较宽至极

端变尖，极面观花粉中孔中具舌状突出，在地层花粉中较为容易识别。铁苋菜属花粉沟较宽，至两极逐渐变窄；孔呈菱形；外壁表面具细颗粒网状纹饰，呈条纹状。蓖麻属在中国主要为引种栽培，故地层花粉中较为少见。

叶下珠亚科，主要观察叶下珠属、算盘子属、白饭树属、银柴属、木奶果属、土蜜树属、五月茶属。其花粉形态主要为3至多角孔，沟细；孔一般圆形或

表1 大戟科各亚科花粉形态特征及相关属

Table 1 General characteristics of pollen morphology and the corresponding representative genus of Euphorbiodeae

Subfamily	Crotonoideae	Euphorbioideae	Acalyphoideae	Phyllanthoideae
Size	Above 30 μm	Above 30 μm	Relatively smaller	Relatively smaller
Aperture	Inaperturate	Tricolporate with spherical or prolate, lalongate pore	Tricolporate with lalongate pore	Tricolporate to zonocolporate with spherical or lalongate pore and cross with colpate in a decussation form
Exine ornamentation	Bacubate or tuberculate exine formed Croton-type design	Microreticulate ornamentation and murus with granulate	Various ornamentation	Clear reticulate sculpture
Representative genus	<i>Aleurites</i> , <i>Croton</i> , <i>Vernicia</i> , <i>Jatropha</i> , <i>Codiaeum</i>	<i>Sapium</i> , <i>Euphorbia</i> , <i>Excoecaria</i>	<i>Mallotus</i> , <i>Macaranga</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Cleidion</i> , <i>Acalypha</i> , <i>Ricinus</i>	<i>Phyllanthus</i> , <i>Glochidion</i> , <i>Flueggea</i> , <i>Aporosa</i> , <i>Baccaurea</i> , <i>Bridelia</i> , <i>Antidesma</i>

表2 铁苋菜亚科各属花粉形态特征

Table 2 Pollen morphology characteristics for each genus of Acalyphoideae

Genus	<i>Mallotus</i>	<i>Macaranga</i>	<i>Alchornea</i>	<i>Cleidion</i>	<i>Acalypha</i>
Size	—	Below 20 μm	—	—	—
Aperture	Elongated colpate and lalongate pore, almost extending and connecting with other pores	Without thickening of aperture	With ligulate protrusions in aperture in polar view, and wide colpate become narrow toward polar	Similar to <i>Mallotus</i> , but associated with thickening in aperture	Rhombic aperture with wide colpate, narrower to bipolar
Exine ornamentation	Microreticulate ornamentation, but with foveolate lumina	Granulate to reticulate different from <i>Mallotus</i>	—	—	Striate-reticulate ornamentation constituting of fine granules

蓖麻属作为引进栽培种，地层花粉中较为少见，在此不做详细描述。

Ricinus as introduced and cultivated plants, pollen grains scarcely exist in stratum, so the details will not be described here.

横长且与沟相交成十字形；花粉相对较小；外壁具清晰的网状雕纹。叶下珠属花粉一般为球形，具3–6孔沟，沟细较短；内孔圆形；外壁表面具清晰的网状雕纹。然而该属花粉与算盘子属较为相似，其相对于算盘子属外壁表面网状纹饰较细，相互区别较困难。白饭树属一般为3孔沟，沟宽且长，与叶下珠属相区别。银柴属与漆树科和芸香科花粉较为相似，其主要以孔横长与沟相交成十字形而与后者相区别。木奶果属花粉外壁外层具脊柱，且网脊由颗粒组成。土蜜树属花粉内孔横长，一般为椭圆形鸡蛋状；外壁具条状的网状纹饰。五月茶属花粉形态与栲属或者柯属相似，三者主要通过沟与孔相交成显著的十字形相区别。

综上所述，根据大戟科花粉形态特征可以将大戟科分类鉴定至亚科，而部分类型可根据花粉形态鉴定至属，如大戟属、野桐属、血桐属、山麻杆属、叶下珠属、算盘子属、银柴属、土蜜树属和五月茶属等。

这些属种具有重要的生态学意义，能较准确地指示植物的生境。本研究不仅对大戟科花粉形态特征进行系统全面的研究，而且为地层样品中的大戟科花粉鉴定分类提供了指导。对第四纪地层花粉更细致的鉴定和分类有利于提高重建古气候的精度。

3 结论

本研究涉及大戟科21属33种的现代植物花粉，得出以下结论。(1) 大戟科植物花粉形态多样，直径在13.5–75 μm之间，大部分直径在30 μm以下，花粉大小因属种而变化幅度很大。花粉形状多数为长球形，少数为球形或扁球形。花粉外壁有具孔沟或无萌发孔。在具孔沟的花粉中，以3孔沟最多，也有4孔沟或5孔沟甚或更多孔沟。外壁纹饰有网状、颗粒状、条纹状、瘤状(巴豆状)等多种形态特征。(2) 根据亚科分

类进行花粉形态分析,发现每个亚科花粉形态都有各自的特征。如巴豆亚科花粉基本无萌发孔,直径较大且外壁具规则排列的瘤状纹饰。大戟亚科多为3孔沟类型,花粉直径多在30 μm 以上,孔形多样,外壁具细网状纹饰,网脊上具颗粒。铁苋菜亚科花粉总体较小,多为3孔沟,沟细长,内孔大多横长。叶下珠亚科花粉相对较小,主要为3至多孔沟,沟细,孔小且呈圆形,个别种类横长且与沟相交成十字形,外壁具清晰的网状雕纹。(3) 部分属种具有鲜明的形态特征,可进一步鉴定到属一级水平,如大戟属、野桐属、血桐属、山麻杆属、叶下珠属、算盘子属、银柴属、土蜜树属、五月茶属等。研究结果为地层中大戟科花粉的属一级鉴定提供了参考依据。

致谢 感谢南洋理工大学余凤玲博士与南京大学马春梅副教授热情指导和帮助修改英文摘要。

参考文献

王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 杨惠秋 (1995). 中国植物花粉形

态. 北京: 科学出版社. pp.1–461.

韦仲新, 丘华兴, 周丽华 (2002). 大戟科叶下珠属花粉形态的研究. 云南植物研究 24, 253–259.

吴征镒 (1980). 中国植被. 北京: 科学出版社. pp. 1–1382.

杨士雄, 郑卓, 黄康有, 李杰, 韦潇君, 许清海 (2012). 华南主要作物和蔬果类现代花粉形态及农业考古研究价值. 微体古生物学报 29, 80–98.

中国科学院植物研究所古植物室孢粉组/华南植物研究所形态研究室 (1982). 中国热带亚热带被子植物花粉形态. 北京: 科学出版社. pp. 1–453.

Huang TC (1972). Pollen of Flora of Taiwan. Taipei: Taiwan University Press.

Park KR (1997). Pollen morphology of *Euphorbia* subgenus *Agaloma* section *Tithymalopsis* and related species (Euphorbiaceae). Grana 36, 11–16.

Punt W (1987). A survey of pollen morphology in Euphorbiaceae with special reference to *Phyllanthus*. Bot J Linn Soc 94, 127–142.

Saad SI, El-Ghazaly G (1988). Pollen morphology of some species of Euphorbiaceae. Grana 27, 165–175.

Modern Pollen Morphology of Euphorbiaceae

Shixiong Yang^{1,2}, Zhuo Zheng^{2*}, Bishan Chen², Jie Li¹, Kangyou Huang²

¹The Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, MLR, Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; ²Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract This study provides the palynological literature for morphologic features of almost all pollen types of Euphorbiaceae, including 33 species in 21 genera. Size, shape and surface ornamentation of pollen types in subfamilies were analysed and compared. Pollen of each subfamily have distinctive morphological features that can be used for identification. Some genera (e.g., *Mallotus*, *Alchornea*, *Phyllanthus*) have unique pollen types, which can be identified to genus or even species level. This study provides classification of pollen types of Euphorbiaceae subfamilies and new references for the database.

Key words Euphorbiaceae, modern pollen, morphology

Yang SX, Zheng Z, Chen BS, Li J, Huang KY (2013). Modern pollen morphology of Euphorbiaceae. Chin Bull Bot 48, 550–560.

* Author for correspondence. E-mail: eeszzhuo@mail.sysu.edu.cn