

# 利用 *trnL-trnF* 探讨文定果属的系统地位及其与若干近缘科属的系统发育关系\*

赖燕玲<sup>1</sup>, 王晓明<sup>2</sup>, 陈国培<sup>3</sup>, 王春波<sup>3</sup>, 苏应娟<sup>3</sup>, 廖文波<sup>3</sup>

(1. 深圳市公园管理中心, 广东 深圳 518040;

2. 深圳市仙湖植物园, 广东 深圳 518000;

3. 中山大学生命科学学院//广东省植物资源重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 运用克隆测序的方法测定了椴树科 Tiliaceae、梧桐科 Sterculiaceae、杜英科 Elaeocarpaceae 和大风子科 Flacourtiaceae 21 种以及外类群蔷薇科 4 种植物的叶绿体 *trnL-trnF* 序列, 并结合 GenBank 中已公布的 3 科 44 个代表种的 *trnL-trnF* 序列进行系统发育分析。采用最简约法、最大似然法和 Bayesian 推测分析椴树科、梧桐科和杜英科科间和属内的系统发育关系。结果显示: ①文定果属 *Muntingia* 构成一个独立于梧桐科和椴树科的分支, 具有较高 bootstrap 的支持率和后验概率, 表明建立文定果科 Muntingiaceae 具有合理性; ②滇桐属 *Craigia* 与梧桐科翅子树属 *Pterospermum*、肖槿属 *Thespesia*、苹婆属 *Sterculia*、可乐果属 *Cola*、梧桐属 *Firmiana* 和银叶树属 *Heritiera* 的关系密切。支持将滇桐属归于梧桐科的观点; ③杜英属 *Elaeocarpus* 和猴欢喜属 *Sloanea* 均为杜英科的主要成员, 应归于杜英科; ④椴树科、梧桐科和杜英科有较近的亲缘关系。特别是, 椴树科和梧桐科的关系非常密切, 两科并没有构成两个独立的单系群, 而是形成复系群。

**关键词:** 文定果属 *Muntingia*; 克隆测序; *trnL-trnF* 序列; 系统发育

**中图分类号:** Q949.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2012) 03-0098-10

## The Systematic Status of *Muntingia* and Phylogenetic Relationship Among Some Relative Families or Genera Based on Chloroplast *trnL-trnF* Sequences

LAI Yanling<sup>1</sup>, WANG Xiaoming<sup>2</sup>, CHEN Guobei<sup>3</sup>, WANG Chunbo<sup>3</sup>, SU Yingyuan<sup>3</sup>, LIAO Wenbo<sup>3</sup>

(1. Shenzhen Park Service, Shenzhen 518040, China;

2. Shenzhen FairyLake Botanical Garden, Shenzhen 518000, China;

3. School of Life Sciences//Guangdong Key Laboratory of Plant Resources, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The chloroplast *trnL-trnF* sequences of 21 species in Tiliaceae, Sterculiaceae and Elaeocarpaceae and 4 species in Rosaceae were determined by sequencing cloned PCR products. In this study, the phylogeny was inferred using dataset of chloroplast *trnL-trnF*, including 44 sequences from GenBank. The results from Bayesian inference, maximum parsimony, and maximum likelihood consistently showed that: ① *Muntingia calabura* formed an independent clade with high support values, which the foundation on Muntingiaceae was rational; ② *Craigia*, closed to the genera *Pterospermum*, *Thespesia*, *Sterculia*, *Cola*, *Firmiana* and *Heritiera*, should be placed in Sterculiaceae; ③ *Elaeocarpus* and *Sloanea* were two valid genera in Elaeocarpaceae; ④ Tiliaceae and Sterculiaceae doesn't consist of two independent clades, but those are existed to be a close relationship among three families included Elaeocarpaceae.

**Key words:** *Muntingia*; sequencing cloned; *trnL-trnF* sequences; systematic phylogenetic

\* 收稿日期: 2012-01-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31170202); 深圳市城市管理局科研基金资助项目 (2008-2011)

作者简介: 赖燕玲 (1963 年生), 女, 教授级高工; 通讯作者: 廖文波; E-mail: lsslwb@yahoo.com.cn

文定果 *Muntingia colabura* Linn. 隶属于文定果属, 为单型属, 主要分布于热带南美洲、西印度群岛, 是新热带地区的先锋树种。文定果果实甜香可食, 色泽鲜艳, 果肉柔软多汁, 风味独特, 又称南美假樱桃 (英文名 cherry tree 或 panama cherry)。此外, 该树种还具有较高的观赏价值, 其树冠造形美观, 枝条伸展成平面状; 果实卵状圆球形, 浆果状; 常全年开花结实, 盛花期和果实成熟期常常与授粉昆虫以及传播该植物种子的鸟类活动相一致, 被认为是一个重要的园林树种。因其种子常通过食果动物如鸟、蝙蝠、猴子等进行传播, 是良好的“诱鸟树”。文定果目前在我国台湾及华南地区有零星栽培, 海南地区较常见栽培。

文定果属 *Muntingia* Linn. 自建立以来, 首先是放在椴树科, 后来得到许多植物学家的认同<sup>[1-4]</sup>。但也有不同的意见, 例如形态特征上也与杜英科、大风子科很相似, 或独立成科。Bentham & Hooker<sup>[1]</sup>, Bocquillon<sup>[2]</sup>, Szyszyłowicz<sup>[3]</sup>, Hutchinson<sup>[4]</sup>, 黄增泉等<sup>[5]</sup>及吴征镒<sup>[6]</sup>, 依据植物体整体特征, 如发达的茎皮纤维, 以及花结构, 认为文定果属应置于椴树科; Shanmukha Rao<sup>[7]</sup>和 Singh & Dube<sup>[8]</sup>根据毛状体特征及个体发生过程也赞同放在椴树科。1982年, 侯宽昭等<sup>[9]</sup>将文定果属置于杜英科, 而 Cronquist<sup>[10]</sup>、Huber<sup>[11]</sup>将文定果属置于大风子科。

但文定果属具 1 枚钻形托叶, 腋生花序的特点又区别于杜英科及椴树科。花瓣在芽时具皱纹的特点又与半日花科相似。子房上位但具有环状花盘与椴树科、杜英科及大风子科亦相区别。

Metcalf & Chalk<sup>[12]</sup>认为 *Dicraspidia* 属和文定果属的解剖结构与杜英科其它属不同, 建议成立新科。根据以分子系统学证据为基础的新的 APG 系统, 文定果属确被独立分出成为一个新科, 即文定果科 *Muntingiaceae*, 仍隶属于锦葵目。Alverson 等<sup>[13]</sup>利用 *rbcL* 和 18S 序列进行分子研究说明, 文定果属与杜英科及大风子科亲缘较远。

另外, 椴树科的两个单型属 *Neotessmannia* Burret 及 *Dicraspidia* Standl 因与文定果属在形态上有诸多相似之处而被长期做为比较对象进行研究, 但对于此 3 属的分类学处理结果却也不同:

1) Hutchinson<sup>[4]</sup>将文定果属置于 *Tilieae* Bartl. 族, 将 *Neotessmannia* 和 *Dicraspidia* 置于 *Neotessmannieae* Barret. 族。

2) Takhtajan 把 *Neotessmannia* 和 *Dicraspidia* 由 *Tiliodeae* Arn. 亚科中分出, 成立新的亚科, 即

*Neotessmannioideae* Burret.。

3) Benn & Lemke<sup>[14]</sup>把这 3 个属同置于椴树科的 *Neotessmannieae* 族中。

Bayer<sup>[15]</sup>认为以上 3 属不属于提及的任何一个科, 认为在亲缘关系上与这些科亲缘较远, 建议成立新科, 即文定果科, 该科相当于 Benn & Lemke<sup>[14]</sup>的 *Neotessmannieae* 族, 包括文定果属 *Muntingia* Linn. 1 种, *Dicraspidia* Standl. 1 种及 *Neotessmannia* Burret 1 种。在系统关系上, 认为文定果属 (科) 与半日花科, 龙脑香科, 苞杯花科、沙莓科 (或沙莓族) 关系较近<sup>[16]</sup>。

关于杜英科、椴树科和梧桐科科间和属内的系统发育关系的讨论主要是基于形态学、细胞学和孢粉学及部分 DNA 序列。叶绿体基因组中的 *trnL-trnF* 基因间隔区因为属于非编码序列, 进化速率快, 目前已被广泛用于探讨系统发育关系。本文以杜英科、椴树科和梧桐科植物为材料, 通过测定包括外类群在内的 25 个物种的 *trnL-trnF* 序列, 并结合 GenBank 中已公布的 3 科 44 个代表种的 *trnL-trnF* 序列进行系统发育分析, 初步研究了 3 科科间的系统关系, 着重探讨了争议明显的滇桐属、文定果属、杜英属和猴欢喜属的系统位置, 以期为它们的系统分类提供分子水平证据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

本研究所用材料除文定果外, 还包括杜英科、椴树科、梧桐科、大风子科与外类群蔷薇科 *Rosaceae* 共 69 种植物 (表 1), 其中测定了 25 种植物的 *trnL-trnF* 序列, 包括文定果属 1 种、杜英科 3 种、大风子科 3 种、椴树科 4 种、梧桐科 11 种、蔷薇科 4 种。另外, 从 GenBank 获取 44 个物种的 *trnL-trnF* 序列, 包括杜英科 12 种、大风子科 26 种和梧桐科 6 种。

### 1.2 实验方法

试剂和仪器: *Taq* DNA 聚合酶、dNTP、100 bp DNA Ladder 购自加拿大 Genda Technology 公司; PCR 反应在 Perkin Elmer Centus 公司 2400 型热循环仪上进行。

总 DNA 提取: 采用改进的 CTAB 法。

PCR 扩增反应 每 100  $\mu$ L PCR 反应体积中包括: 50 mmol/L KCl; 10 mmol/L Tris - HCl; 1.5 mmol/L  $MgCl_2$ ;  $w = 0.1\%$  Triton X - 100; dNTP 各 0.2 mmol; 模板用量为 50 ~ 100 ng; 2.0 单位 *Taq* DNA 聚合酶; 引物各 40 pmol。扩增引物采用 Taberlet

表 1 植物材料来源和序列登录号

Table 1 Origin of plant materials and sequence accession numbers

种 名	GeneBank 登录号	来源
杜英科 <i>Elaeocarpaceae</i>		
杜英属 <i>Elaeocarpus</i> Linn.		
尖叶杜英 <i>Elaeocarpus apiculatus</i> Mast.	JN676060	自测
水石榕 <i>Elaeocarpus hainanensis</i> Oliv.	JN676061	自测
<i>Elaeocarpus williamsianus</i> Guymer	DQ444693	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus ferruginiflorus</i> C. T. White	DQ444692	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus foveolatus</i> F. Muell.	DQ444691	来自 GenBank
球果杜英 <i>Elaeocarpus angustifolius</i> Blume	DQ444689	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus culminicola</i> Warb.	DQ444688	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus kirtonii</i> F. Muell. ex F. M. Bailey	DQ444687	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus hookerianus</i> Raoul	DQ444686	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus bancroftii</i> F. Muell.	DQ444685	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus reticulatus</i> Sm.	DQ444683	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus eumundi</i> F. M. Bailey	DQ444682	来自 GenBank
<i>Elaeocarpus</i> sp. Rocky Creek	DQ444676	来自 GenBank
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Poir.	AB111773	来自 GenBank
猴欢喜属 <i>Sloanea</i> Linnaeus		
猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i> (Hance) Hemsl.	JN676075	自测
梧桐科 <i>Sterculiaceae</i>		
翅子树属 <i>Pterospermum</i> Schreber		
翻白叶树 <i>Pterospermum heterophyllum</i> Hance	JN676071	自测
肖槿属 <i>Thespesia</i> Soland. ex Correa		
杨叶桐 <i>Thespesia populnea</i> (L.) Sol. ex Correa	JN676079	自测
可乐果属 <i>Cola</i> Schott & Endl.		
红可拉 <i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schott et Endl.	JN676057	自测
昂天莲属 <i>Abroma</i> Linn.		
昂天莲 <i>Abroma augusta</i> (L.) Willd.	JN676056	自测
滇桐属 <i>Craigia</i> W. W. Smith et Evans		
滇桐 <i>Craigia yunnanensis</i> W. W. Smith & W. E. Evans	JN676058	自测
梭罗树属 <i>Reevesia</i> Lindl.		
长柄梭罗 <i>Reevesia longipetiolata</i> Merr. et Chun	JN676073	自测
两广梭罗树 <i>Reevesia thyrsoidea</i> Lindl.	JN676074	自测
圆叶梭罗 <i>Reevesia orbicularifolia</i> Hsue	AY328144	来自 GenBank
苹婆属 <i>Sterculia</i> Linn.		
苹婆 <i>Sterculia nobilis</i> Smith	JN676078	自测
掌上苹婆 <i>Sterculia foetida</i> Linn.	JN676076	自测
海南苹婆 <i>Sterculia hainanensis</i> Merr. et Chun	JN676077	自测
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i> Cav.	AY328151	来自 GenBank
梧桐属 <i>Firmiana</i> Marsili		
长柄银叶树 <i>Firmiana danxiaensis</i> Huse et Kiu	JN676062	自测
梧桐 <i>Firmiana platanifolia</i> (Linn. f.) Mars.	AY328156	来自 GenBank
云南梧桐 <i>Firmiana major</i> (W. W. Smith) Hand. - Mazz.	AY328157	来自 GenBank
银叶树属 <i>Heritiera</i> Dryand.		
银叶树 <i>Heritiera littoralis</i> Dryand.	JN676064	自测
长柄银叶树 <i>Heritiera augustata</i> Pierre	AY328155	来自 GenBank
蝴蝶树 <i>Heritiera parvifolia</i> Merr.	AY328153	来自 GenBank
大风子科 <i>Flacourtiaceae</i>		
刺楸属 <i>Scolopia</i> Schreber		
<i>Scolopia spinosa</i> (Roxb.) Warb.	AY757072	来自 GenBank
红梨刺楸木 <i>Scolopia mundii</i> (Eckl. & Zeyh.) Warb.	AY757071	来自 GenBank

(续上表)

种 名	GeneBank 登录号	来源
<i>Scolopia braunii</i> (Klotzsch) Sleumer	AY757070	来自 GenBank
刺篱木属 <i>Flacourtia</i> Comm. ex LHerit		来自 GenBank
云南刺篱木 <i>Flacourtia jangomas</i> (Lour.) Raeusch.	AY757021	来自 GenBank
柞木属 <i>Xylosma</i> G. Forst		
长叶柞木 <i>Xylosma longifolium</i> Clos	JN676080	自测
<i>Xylosma vincentii</i> Guillaumin	AY757083	来自 GenBank
<i>Xylosma venosa</i> N. E. Br.	AY757082	来自 GenBank
<i>Xylosma panamensis</i> Turcz.	AY757081	来自 GenBank
<i>Xylosma hispidula</i> Standl.	AY757080	来自 GenBank
<i>Xylosma cordata</i> (Kunth) Gilg	AY757079	来自 GenBank
<i>Xylosma bahamensis</i> (Britton) Standl.	AY757078	来自 GenBank
山桂花属 <i>Bennettiodendron</i> Merr.		
山桂花 <i>Bennettiodendron leprosipes</i> (Clos) Merr.	AY757003	来自 GenBank
山桐子属 <i>Idesia</i> Maxim.		
山桐子 <i>Idesia polycarpa</i> Maxim.	AY757030	来自 GenBank
山拐枣属 <i>Poliothyrsis</i> Oliv.		
山拐枣 <i>Poliothyrsis sinensis</i> Oliv.	AY757052	来自 GenBank
山羊角树属 <i>Carrierea</i> Franch		
山羊角树 <i>Carrierea calycina</i> Franch	AY757006	来自 GenBank
梔子皮属 <i>Itoa</i> Hemsl.		
梔子皮 <i>Itoa orientalis</i> Hemsl.	AY757031	来自 GenBank
天料木属 <i>Homalium</i> Jacq.		
天料木 <i>Homalium racemosum</i> Jacq.	AY757029	来自 GenBank
脚骨脆属 <i>Casearia</i> Schreber		
<i>Casearia javitensis</i> Kunth	AY935782	来自 GenBank
<i>Casearia praecox</i> Griseb.	AY757016	来自 GenBank
<i>Casearia commersoniana</i> Cambess.	AY757014	来自 GenBank
<i>Casearia bartlettii</i> Lundell	AY757013	来自 GenBank
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	AY757012	来自 GenBank
<i>Casearia obovalis</i> Poepp. ex Griseb.	AY757011	来自 GenBank
<i>Casearia nitida</i> (L.) Jacq.	AY757010	来自 GenBank
<i>Casearia grandiflora</i> Cambess.	AY757009	来自 GenBank
剑叶子 <i>Casearia gladiiformis</i> Mast.	AY757008	来自 GenBank
<i>Casearia dallachii</i> F. Muell.	AY757007	来自 GenBank
大风子属 <i>Hydnocarpus</i> Gaertn.		
海南大风子 <i>Hydnocarpus hainanensis</i> (Merr.) Sleum	JN676066	自测
泰国大风子 <i>Hydnocarpus anthelmintica</i> Pierre ex Laness	JN676065	自测
椴树科 Tiliaceae		
海南椴属 <i>Hainania</i> Merr.		
海南椴 <i>Hainania trichosperma</i> Merr.	JN676063	自测
文定果属 <i>Muntingia</i> Linn.		
文定果 <i>Muntingia calabura</i> Linn.	JN676068	自测
布渣叶属 <i>Microcos</i> Linn.		
布渣叶 <i>Microcos paniculata</i> Linn.	JN676067	自测
蔷薇科 Rosaceae		
石楠属 <i>Photinia</i> Lindl.		
桃叶石楠 <i>Photinia prunifolia</i> (Hook. et Arn.) Lindl.	JN676070	自测
闽粤石楠 <i>Photinia benthamiana</i> Hance	JN676069	自测
梨属 <i>Pyrus</i> Lindl.		
豆梨 <i>Pyrus calleryana</i> Decne.	JN676072	自测
蛇莓属 <i>Duchesnea</i> Smith		
蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	JN676059	自测

等的设计, 引物 1: 5'-ATTGAACTGGTGA-CACGAG-3', 引物 2: 5'-CGAAATCGGTAGACGC-TACG-3'。引物由上海博雅生物技术有限公司合成。PCR 反应程序为: 94 °C 30 s, 60 °C 30 s, 72 °C 90 s, 25 个循环; 末次循环 72 °C 延伸 7 min。PCR 产物经琼脂糖凝胶电泳检测其相对分子量。

低熔点琼脂糖回收 PCR 产物:  $w = 1.0\%$  琼脂糖凝胶 1 × TAE 电泳 2 h, 在所需条带前填充低熔点琼脂糖, 回收 PCR 产物。

克隆测序: 回收所得 PCR 产物与 pUCm-T 载体连接, 转化导入由大肠杆菌 DH-5 $\alpha$  所制的感受态细胞中, 采用蓝白斑筛选法获得克隆。应用 PCR 方法确定阳性克隆。所得阳性克隆在 ABI 377 自动测序仪上测序。

### 1.3 数据分析

数据处理: 序列排列用 Clustal X 1.83 软件自动完成, 并进行手工调整。新测序列报送 GenBank, 登录号见表 1。蔷薇科的四种植物桃叶石楠 *Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl.、闽粤石楠 *Photinia benthamiana* Hance、豆梨 *Pyrus calleryana* Decne 和蛇莓 *Duchesnea zindica* (Andy.) Focke 作为外类群。

采用 PAUP (Phylogenetic Analysis Using Parsimony) version 4.0 进行最简约法 (Maximum Parsimony Method) 分析; 使用 PHYLIP (Phylogeny Inference Package) version 3.69 软件包完成最大似然法 (Maximum Likelihood Method) 分析; 用 bootstrap 值检验树中各分支的置信度, 自展数据集为 1 000 次。运用 Treeview 软件绘制树图。利用 Mr-Bayes (version 3.1.2) 完成 Bayesian 推测 (Bayesian Inference, BI), 用 Modeltest 3.06 软件进行模型选择。似然参数设置: DNA 替换采用 General Time Reversible (GTR) 模型, 位点变异速率取  $\gamma$  分布。系统发育模型的后验概率依据 Mropolis-Hastings-Green 算法通过 4 条链 (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) 运行 15 000 000 代估计。利用 Tracer v1.4.1 软件 (Rambaut and Drummond, 2009) 检验系统发育模型运行程度, 当所有参数的有效取样大小 (ESS, efficient sampling size) 值均大于 500 时, 即可认为运算达到收敛。MCMC 分析以随机树起始, 每 100 代保存 1 棵树, 最初的 37 500 棵树被当作老化样本摒弃, 剩余样本由 Figtree v1.2.3 软件 (Rambaut and Drummond, 2009)<sup>[17]</sup> 构建系统发育树。

## 2 研究结果

本研究共获得包括外类群在内的 69 种植物的叶绿体 *trnL-trnF* 序列, 序列长度变化较大, 介于 230 ~ 429 bp。椴树科的 G + C 含量为 31.14%, 序列长度介于 383 ~ 397 bp, 序列最长的是布渣叶 (*Microcos paniculata*), 最短的为文定果 *Muntingia calabura*。梧桐科的 G + C 含量为 31.73%, 序列长度范围为 369 ~ 429 bp, 序列最长的是滇桐 *Craigia yunnanensis*, 最短的为苹婆 *Sterculia nobilis* 和假苹婆 *Sterculia lanceolata*。杜英科的 G + C 含量为 32.29%, 序列长度介于 236 ~ 306 bp, 序列最长的是山杜英 *Elaeocarpus sylvestris*, 最短的为 *Elaeocarpus* sp. Rocky Creek。大风子科的 G + C 含量为 32.42%, 序列长度介于 230 ~ 388 bp, 序列最长的是泰国大风子 *Hydnocarpus anthelmintica*, 最短的为山羊角树 *Carriera calycina*。

选取蔷薇科的 4 个物种作为外类群, 基于椴树科、梧桐科、杜英科和大风子科 26 属 65 个物种的 *trnL-trnF* 序列, 采用 Bayesian 推测法构建了系统发育树 (图 1)。结果表明:

1) 文定果属 *Muntingia* 独立为一个分支, 与椴树科的海南椴属 *Hainania*、布渣叶属 *Microcos* 以及梧桐科的类群组成的分支互为姊妹群, 分支的后验概率为 0.78。而杜英属和猴欢喜属位于杜英科, 构成了多歧分支。应予分开。

2) 椴树科、梧桐科、杜英科和大风子科均为单系群 (monophyletic group)。

3) 出现两个互为姊妹群的分支: ① 梧桐科和椴树科构成一分支; ② 杜英科和大风子科组成另一分支。除椴树科和梧桐科外, 杜英科和大风子科分别为单系类群, 后验概率分别为 1.00 和 0.59。

4) 梧桐科本身包括两个分支, 其中一支包括滇桐属 *Craigia*、翅子树属 *Pterospermum*、肖槿属 *Thespesia*、苹婆属 *Sterculia*、可乐果属 *Cola*、梧桐属 *Firmiana* 和银叶树属 *Heritiera*, 另一支为梭罗树属 *Reevesia*, 这两个分支互为姊妹群, 后验概率为 0.84。

比较最简约法 (图 2)、最大似然法 (图 3) 和 Bayesian 推测给出的结果表明, 除椴树科、杜英科各属的种间关系外, 3 种方法构建出的科属内拓扑结构相似, 系统发育关系极为吻合, 并具有较高的 bootstrap 支持率。在最简约法和最大似然法分析结果中, 椴树科的海南椴属 *Hainania*、布渣叶属 *Microcos* 所组成的分支和梧桐科昂天莲属 *Abroma* 互为姊妹群。最简约法和最大似然法能区分杜英科杜英属各种之间的系统发育关系。

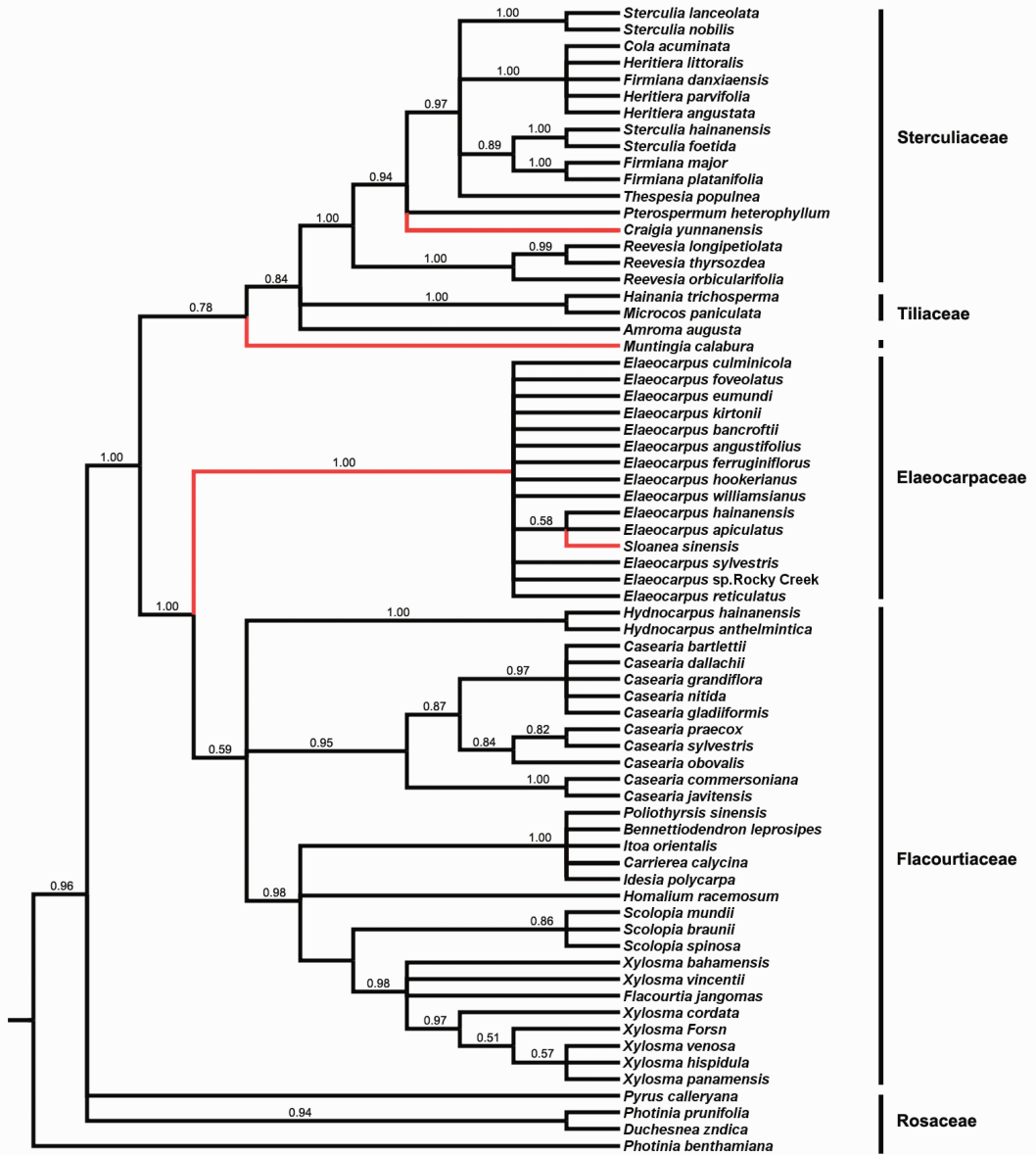


图 1 基于 *trnL-trnF* 序列数据利用贝叶斯推断法求得的 50 % 多数一致树 (分支上数字为后验概率值)

Fig. 1 Fifty percent majority consensus tree based on *trnL-trnF* sequence data using Bayesian Inference

### 3 讨论与结论

椴树科 Tiliaceae、杜英科 Elaeocarpaceae 和梧桐科 Sterculiaceae 是锦葵目 Malvales 的主要成员，一般认为 3 科关系较密切，但目前也存在争议<sup>[13]</sup>。椴树科是是被子植物中的一个大科<sup>[18]</sup>，APG 分类系统将其合并到锦葵科，成为椴树亚科。杜英科为常绿或半落叶木本，花粉形态学研究支持该科的成立<sup>[19]</sup>。梧桐科是一个多型科，形态特征极其多样<sup>[20]</sup>。在梧桐科成立之前，该科成员主要被归于椴树科和锦葵科<sup>[21]</sup>。梧桐科和椴树科植物形态上很相似，难以找出明显的划分界限，两科曾被合并。椴树科、梧桐科和杜英科之间的复杂关系，导

致 3 科某些属的系统关系也存在明显的争议。

#### 3.1 支持滇桐属 *Craigia* 置于梧桐科

滇桐属 *Craigia* 为第三纪孑遗属，植物体的生殖器官与花粉形态都比较特殊，长期以来颇受重视，但被认为是“地位不能肯定的属”<sup>[22]</sup>。该属成立于 1921 年，是 Smith and Evans<sup>[23]</sup> 根据开花阶段不同而建立的，由于其雄蕊形态和梧桐科的毛瓣族 *Lasiopetaleae* 和刺果藤族 *Byttnerieae* 相似，而置于梧桐科。徐祥浩<sup>[24]</sup> 也赞同放在梧桐科。徐颂军等<sup>[25]</sup> 根据其特殊的花和果形态建议成立滇桐亚科。龙活等<sup>[26]</sup> 认为滇桐属花粉粒的结构和萌发孔的位置不同于椴树科，而与梧桐科相似。根据雄蕊和果实的形态特征，张宏达等<sup>[27]</sup> 将其归于椴树科。分

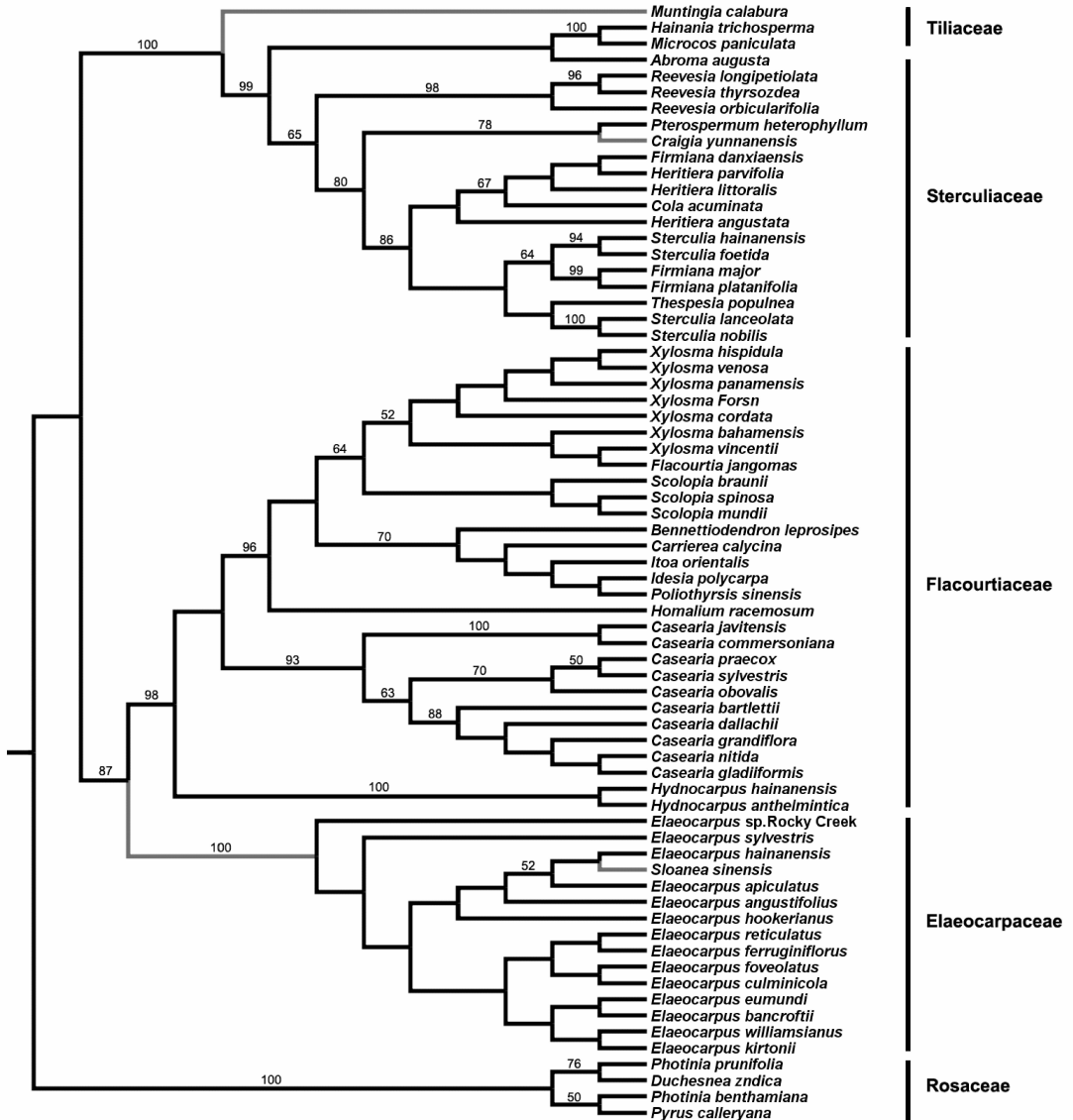


图 2 最简约法分析得到的严格一致树

Fig. 2 Strict consensus tree derived from maximum parsimony analysis  
(分支上的数值为 Bootstrap 分析 (重复 1 000 次) 获得的支持强度)

支分析也支持置于椴树科<sup>[28]</sup>。袁长春等<sup>[29]</sup>，基于核糖体 ITS 的分析建议滇桐属归于椴树科。新近有几篇文献，也是将滇桐属归于锦葵科椴树亚科<sup>[30-32]</sup>。

在新版的《Flora of China》中，滇桐属为椴树科中一个独立的属。在本文研究中，*trnL-trnF* 的 Bayesian 推测表明，滇桐属与梧桐科 6 个属构成一个单系群，后验概率为 0.84。最简约法和最大似然法的结果显示，滇桐与梧桐科翻白叶树 *Pterospermum heterophyllum* 互为姊妹群，bootstrap 的支持率分别为 78% 和 74%。表明滇桐属与梧桐科的关系非常近，这与基于花果的形态分类和孢粉学研究结果一致。因此，支持将滇桐属归于梧桐科的观点。

### 3.2 支持杜英属 *Elaeocarpus* 和猴欢喜属 *Sloanea* 置于杜英科

杜英属 *Elaeocarpus* 和猴欢喜属 *Sloanea* 也是两个有争议的属。Candolle<sup>[33]</sup> 将猴欢喜属置于椴树科，而不是杜英科。Hutchinson<sup>[4]</sup> 也是将杜英属和猴欢喜属放在椴树科，分别作为两个族。Engler 和 Cronquist 系统将这两个属移至杜英科<sup>[10,34]</sup>。

杜英属 *Elaeocarpus* 和猴欢喜属 *Sloanea* 是杜英科的第一和第二大属，分别包括大约 200 种和 120 种。猴欢喜属是杜英科惟一个东亚北美间断分布的属。Hutchinson 系统、Engler 系统、Cronquist 系统对这两个属的处理方式截然不同，分歧点是置于椴树科还是杜英科。

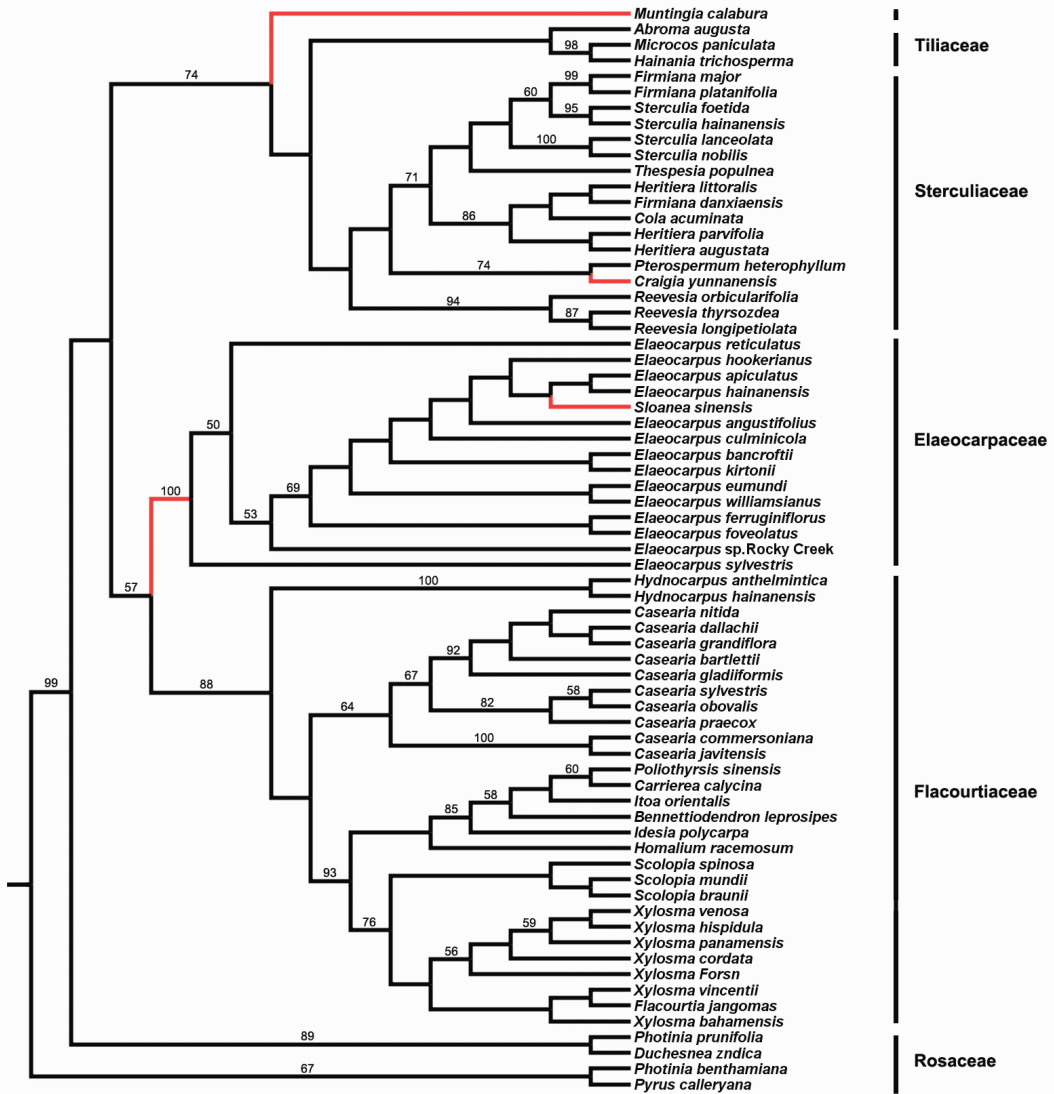


图 3 由最大似然法求得系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic tree constructed by maximum likelihood method (分支上的数值为 Bootstrap 分析 (重复 1 000 次) 获得的支持强度)

本文研究结果，虽然 *trnL-trnF* 序列无法分辨属内种间的关系，但最简约法、最大似然法和 Bayesian 推测的结果显示，这两个属是杜英科的主要成员，应归于杜英科，这与 Engler 系统和 Cronquist 系统相一致。目前《Flora of China》也采用 Engler 系统和 Cronquist 系统处理方式，将杜英属和猴欢喜属归于杜英科。

### 3.3 支持文定果属 *Muntingia* 独立为文定果科

文定果属 *Muntingia* 是另一个分类地位存在较大争议的属。Burret<sup>[35]</sup>、Edlin<sup>[36]</sup>、Hutchinson<sup>[4]</sup>、Cronquist<sup>[10]</sup>、Takhtajan<sup>[37-38]</sup> 以及 Benn 和 Lemke<sup>[14]</sup> 把文定果属放到椴树科。Engler 系统将其置于杜英科<sup>[34]</sup>。Metcalf and Chalk<sup>[12]</sup>、Robyns<sup>[39]</sup>、Smith<sup>[40]</sup>、Brizicky<sup>[41]</sup>、Gasson<sup>[42]</sup> 认为文

定果属具粘液腔、花萼镊合状、子房多室且花粉粒大小与杜英科的一些属较相似，应放入杜英科更合适。

由于杜英科、椴树科以及大风子科部分物种的关系密切，文定果属甚至被建议置于大风子科<sup>[10-11]</sup>。

最近，Bayer 等<sup>[15]</sup> 根据形态学特征和分子数据成立了文定果科 Muntingiaceae，隶属于锦葵目，包含文定果属 *Muntingia*、*Neotessmannia* 和 *Discraspidia*，其毛被特征、叶形态、花位置、镊合状的花萼、花瓣形状、下位的子房均不同于锦葵目中其它科。这个结论也得到了纹孔研究结果的支持<sup>[43]</sup>。

本研究的最简约法、最大似然法和 Bayesian 推测的结果发现，文定果构成一个独立于梧桐科和椴

树科的分支, bootstrap 的支持率和后验概率分别为 100%、74% 和 0.78; 也表明其与梧桐科和椴树科的系统发育关系密切, 支持其独立成科的观点。

### 3.4 文定果科、椴树科、梧桐科和杜英科的系统关系

Cronquist 系统、Takhtajan 系统和 Thorne 系统等一致认为椴树科、梧桐科和杜英科的关系密切, 属于锦葵目 (Malvales)。但是在基于 *rbcL*、*atpB* 和 18S rDNA 建立的 APG 分类系统中, 椴树科和梧桐科被合并到锦葵科中, 成立了广义锦葵科, 置于锦葵目中。本研究由于缺乏锦葵科的样品, 无法探讨椴树科、梧桐科和锦葵科的关系, 但 *trnL-trnF* 序列分析证实椴树科、梧桐科和杜英科的有较近的亲缘关系。从最简约法、最大似然法和 Bayesian 推测结果可以看出, 椴树科和梧桐科的关系非常密切, 两科并没有构成两个独立的单系群, 而是形成复系群。椴树科和梧桐科这种复杂的关系也存在于 ITS 序列的研究中<sup>[29]</sup>。另外, 基于 *trnL-trnF* 结果, 明确支持杜英科为一个独立的科, 这与孢粉学的研究结果一致。

从毛状体结构及个体发生来看, 文定果科与椴树科相似<sup>[8]</sup>, 但其具星状毛、球状头型的腺状毛状体结构在椴树科、杜英科、大风子内未发现。特别是粘液腔或粘液道、叶、托叶、毛被特征、花序形态、花蜜腺、下位子房具有沟状下延的柱头、胚珠数目、倒生的胎座、花粉粒小、胚发育、纤维状的外珠被等方面均不同于椴树科<sup>[12,41,44-45]</sup>。

甚至, Cronquist<sup>[10]</sup>认为文定果花药短而宽、纵裂, 不同于杜英科, 而更像大风子科的某些属, 因此将其放入大风子科。但 William 等<sup>[46]</sup>认为分子系统学数据表明文定果属与杜英科、大风子科、椴树科等亲缘关系较远, 而与龙脑香类等类群亲缘关系较近。因此, 文定果科的系统地位还有待于更多的深入研究, 特别应与包括椴树科、梧桐科、杜英科、大风子科、龙脑香科、锦葵科在内若干属进行系统发育比较研究。

### 参考文献:

[1] BENTHAM G, HOOKER J D. *Genera plantarum* [M]. London: [s. n.], 1862, 1(1): 236.  
 [2] BOCQUILLON H. *Memoire sur le groupe des Tiliacees* [J]. *Adansonia*, 1866, 7: 17-64.  
 [3] SZYSZYLOWICZ I. *Zur Systematik der Tiliaceen* [J]. *Bot Jahrb Syst*, 1885, 6: 427-457.  
 [4] HUTCHINSON J. *The genera of flowering plants (Angiospermae) (vol. 2)* [M]. Oxford: Clarendon Press,

1967.  
 [5] 黄增泉. *植物分类学 - 台湾维管束植物科志* [M]. 台北: 南天书局, 1993.  
 [6] 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 中国植物区系中的特有性及其起源和分化 [J]. *云南植物研究*, 2005, 27(6): 577-604.  
 [7] SHANMUKHA RAO S R. Trichome ontogenesis in some Tiliaceae [J]. *Beitr Biol Pflanzen*, 1990, 65: 363-375.  
 [8] SINGH H B, DUBE V P. Taxonomic significance of foliar epidermal features of *Muntingia* Linn. (Tiliaceae) [J]. *J Pl Anat Morphol*, 1993, 6: 123-128.  
 [9] 侯宽昭. *中国种子植物科属词典* [M]. 北京: 科学出版社, 1982.  
 [10] CRONQUIST A. *An integrated system of classification of flowering plants* [M]. New York: Columbia University Press, 1981.  
 [11] HUBER H. *Angiospermen: Leitfaden durch die Ordnungen und Familien der Bedecktsamer* [M]. New York: Stuttgart. 1991.  
 [12] METCALFE C R, CHALK L. *Anatomy of the dicotyledons. vol. 2* [M]. Oxford: Clarendon Press, 1950.  
 [13] ALVERSON W S, WHITLOCK B A, NYFFELER R, et al. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data [J]. *American Journal of Botany*, 1999, 86(10): 1474-1486.  
 [14] BENN S J, LEMKE D E. Taxonomy of Neotessmannieae (Tiliaceae) [J]. *Amer J Bot*, 1991, 78 (suppl): 166-167.  
 [15] BAYER C, CHASE W M, FAY F M. Muntingiaceae, a new family of Dicotyledons with malvalean affinities [J]. *Taxon*, 1998, 47(1): 37-42.  
 [16] 张宏达. *种子植物系统学* [M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
 [17] RAMBAUT A, DRUMMOND A J. FigTree v1.2.3 [EB]. <http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/> [2009-10-23].  
 [18] PHILLIPS O, MILLER J S. Global patterns of plant diversity: Alwyn H. Gentry's forest transect data set [M]. USA: Missouri Botanical Garden, St. Louis, 2002.  
 [19] 唐亚, 吴征镒. 国产杜英科花粉形态的研究 [J]. *云南植物研究*, 1990, 12(4): 397-403.  
 [20] WHITLOCK B A, BAYER C, BAUM D A. Phylogenetic relationships and floral evolution of the Byttnerioideae ("Sterculiaceae" or Malvaceae s. l.) based on sequences of the chloroplast gene, *ndhF* [J]. *Systematic Botany*, 2001, 26(2): 420-437.  
 [21] BAYER C, FAY M F, de BRUIJN A Y, et al. Support for an expanded family concept of Malvaceae within a re-circumscribed order Malvales: a combined analysis of

- plastid *atpB* and *rbcL* DNA sequences [J]. Botanical Journal of the Linnean society, 1999, 129: 267 - 303.
- [22] ERDTMAN G. Pollen Morphology and Plant Taxonomy, Angiosperms [M]. USA: The Chronica Botanica Co, 1952.
- [23] SMITH M A, EVANS W E. *Craigia*, a new genus of Sterculiaceae [J]. Trans Bot Soc Edinburgh, 1921, 28: 69 - 71.
- [24] 徐祥浩. 中国梧桐科植物的整理 [J]. 植物分类学报, 1977, 15 ( 1 ): 73 - 84.
- [25] 徐颂军, 徐祥浩. 梧桐科一些属的分类位置探讨 [J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8 ( 1 ): 11 - 16.
- [26] 龙活, 何丽卿, 徐祥浩. 中国梧桐科植物花粉类型的研究 [J]. 华南农业大学学报, 1989, 10(1): 23 - 32.
- [27] 张宏达, 缪汝槐. 椴树科岷木亚科的系统分类 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1978, 17(3): 19 - 26.
- [28] 诸葛仁. 滇桐属系统位置的分支分析 [J]. 云南植物研究, 1989, 11 ( 1 ): 17 - 23.
- [29] 袁长春, 施苏华, 钟扬, 等. 用核糖体 DNA 的 ITS 序列探讨滇桐属的系统学位置 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2002, 41(6): 73 - 77.
- [30] KVAČEK Z, MANCHESTER S R, ZETTER R, et al. Fruits and seeds of *Craigia bronnii* (Malvaceae - Tilioidae) and associated flower buds from the late Miocene Inden Formation, Lower Rhine Basin, Germany [J]. Rev of Palaeobot and Palyn, 2002, 119: 311 - 324.
- [31] KVAČEK Z, MANCHESTER S R, AKHMETIEV M A. Review of the fossil history of *Craigia* (Malvaceae s. l.) in the northern hemisphere based on fruits and cooccurring foliage [C] // AKHMETIEV M A, et al, eds. Modern Problems of Palaeofloristics, Palaeophytogeography and Phytostratigraphy. Trans Int Palaeobot, 2005.
- [32] KVAČEK Z. 2 Whole-plant reconstructions in fossil angiosperm research [J]. Int J Plant Sci, 2008, 169 ( 7 ): 918 - 927.
- [33] CANDOLLE A P. De Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis ( Vol. 3 ) [M]. [ s. n. ], 1824: 503 - 520.
- [34] ENGLER A., PRANTL K. Die Naturlichen Pflanzenfamilien [M]. Leipzig: Verlag von Wilhelm Englmann, 1895: 1 - 8.
- [35] BURRET M. Beiträge zur Kenntnis der Tiliaceen [J]. Notizbl Bot Gart Berlin - Dahlem, 1926, 9: 592 - 797.
- [36] EDLIN H L. A critical revision of certain taxonomic groups of the Malvales [J]. New Phytologist, 1935, 34: 1 - 20, 122 - 143.
- [37] TAKHTAJAN A. Systema Magnoliophytorum [M]. Editoria Nauka, Leningrad ( St. Petersburg ), 1987.
- [38] TAKHTAJAN A. Diversity and Classification of Flowering Plants [M]. New York: Columbia University Press, 1997.
- [39] ROBYNS A. Family 114. Tiliaceae [J]. Ann Missouri Bot Gard, 1964, 51: 1 - 35.
- [40] SMITH C E. Family 113. Elaeocarpaceae. [J]. Ann Missouri Bot Gard, 1965, 52: 487 - 495.
- [41] BRIZICKY G K. The genera of Tiliaceae and Elaeocarpaceae in the southeastern United States [J]. J Arnold Arbor, 1965, 46: 286 - 307.
- [42] GASSON P. Wood anatomy of the Elaeocarpaceae [M] // DONALDSON L, et al, eds. Recent Advances in Wood Anatomy. Rotorua, 1996, 47 - 71.
- [43] JANSEN S, BAAS P, SMETS E. Vestured pits: their occurrence and systematic importance in eudicots [J]. Taxon, 2001, 50: 135 - 167.
- [44] CORNER E J H. The Seeds of Dicotyledons [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
- [45] BAYER C, BAYER C. Zur infloreszenz morphologie der Malvales [J]. Dissertationes Botanicae, 1994, 212: 1 - 280.
- [46] WILLIAM G V M, TALLON J L, QUILTY J W, et al. Absence of an isotope effect in the pseudogap in  $yb_2Cu_4O_8$  as determined by high-resolution  $^{89}Y$  NMR [J]. Phys Rev Lett, 1998, 80, 377 - 380.