

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.23340

CSTR: 32231.14.PSJ.2095-0837.23340

辛雅萱, 谭运洪, 辛培尧, 李海涛, 张淑红, 唐军荣, 郁文彬. 国产龙血竭基原植物柬埔寨龙血树的分类学考证[J]. 植物科学学报, 2024, 42 (5): 572-581

Xin YX, Tan YH, Xin PY, Li HT, Zhang SH, Tang JR, Yu WB. Taxonomical clarification of *Dracaena cambodiana* Pierre ex Gagnep., the source plant of Chinese "Resina Draconis" [J]. *Plant Science Journal*, 2024, 42 (5): 572-581

国产龙血竭基原植物柬埔寨龙血树的分类学考证

辛雅萱^{1,2}, 谭运洪^{1,3}, 辛培尧², 李海涛⁴, 张淑红⁵, 唐军荣², 郁文彬^{1,3*}

- (1. 中国科学院西双版纳热带植物园综合保护中心和云南省热带雨林与亚洲象保护重点实验室, 云南勐腊 666303; 2. 西南林业大学, 西南地区生物多样性保育国家林业和草原局重点实验室, 昆明 650224; 3. 中国科学院东南亚生物多样性研究中心, 云南勐腊 666303; 4. 中国医学科学院、北京协和医学院药用植物研究所云南分所, 云南景洪 666100; 5. 中国科学院西双版纳热带植物园园林园艺中心, 云南勐腊 666303)

摘要: “龙血竭”是龙血树属 (*Dracaena*) 植物树干产生的红色树脂, 被称为“云南红药”。国药批准的国产“龙血竭”基原植物为天门冬科的柬埔寨龙血树 (*D. cambodiana* Pierre ex Gagnep.) 和剑叶龙血树 (*D. cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen)。由于文献对两种龙血树的界定不清, 在其名称上存在混淆使用。本研究对两种龙血树及其混淆种进行原始文献和模式标本考证, 并利用龙血树属 19 种 33 个质体基因组数据开展系统发育重建。结果显示, 19 种龙血树可分成 3 个分支, 其中, 产龙血竭的物种位于分支 I 和分支 III, 柬埔寨龙血树样品分成两个独立的分支, 即海南分支和云南分支。基于原始文献和模式标本考证, 确认剑叶龙血树的形态与长花龙血树 (*D. angustifolia* (Medik.) Roxb.) 基本一致, 可能是长花龙血树的一个新异名。本文结合龙血树质体基因组的系统发育和形态证据, 明确了柬埔寨龙血树是蔡希陶等最早发现的国产龙血竭的基原植物, 并确认岩棕 (*D. saposchnikowii* Regel) 和广西龙血树 (未知种 2) 也是国产龙血竭的资源植物。

关键词: 龙血竭; 质体基因组; 分子鉴定; 基原考证; 形态鉴定

中图分类号: R282.5

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837 (2024) 05-0572-10

Taxonomical clarification of *Dracaena cambodiana* Pierre ex Gagnep., the source plant of Chinese “Resina Draconis”

Xin Yaxuan^{1,2}, Tan Yunhong^{1,3}, Xin Peiyao², Li Haitao⁴, Zhang Shuhong⁵,
Tang Junrong², Yu Wenbin^{1,3*}

- (1. Center for Integrative Conservation and Yunnan Key Laboratory for the Conservation of Tropical Rainforests and Asian Elephants, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China; 2. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Biodiversity Conservation in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Southeast Asia Biodiversity Research Institute, Chinese Academy of Science, Mengla, Yunnan 666303, China; 4. Yunnan Branch of Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Jinghong, Yunnan 666100, China; 5. Horticulture Department of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China)

Abstract: "Resina Draconis", also known as "Dragon's Blood Resin" or "Yunnan Hongyao", is red resin produced by the trunks of *Dracaena* species. Chinese "Resina Draconis" is derived from phenolic resins of *D. cambodiana* Pierre ex Gagnep. and *D. cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen. Due to taxonomic ambiguities

收稿日期: 2023-11-18, 接受日期: 2023-12-26。

基金项目: 云南省生态环境保护专项; 中国科学院西双版纳热带植物园“十四五”科技创新规划项目 (XTBG-150302/E3ZKFF8B01); 云南省重点研发计划项目 (202103AC100003); 中国科学院西部青年项目; 云南省“兴滇人才”专项。作者简介: 辛雅萱 (1996-), 女, 博士研究生, 研究方向为植物系统与演化 (E-mail: xyx10270225@163.com)。

* 通信作者 (Author for correspondence. E-mail: yuwenbin@xtbg.ac.cn)。

between *D. cambodiana* and *D. cochinchinensis* in Chinese floras, there has been confusion in the literature regarding the source plant of Chinese "Resina Draconis". To resolve this, we examined the protologue and type materials of *D. cambodiana*, *D. cochinchinensis*, and *D. angustifolia* (Medik.) Roxb. and reconstructed the plastome phylogenies of 19 *Dracaena* species from 33 accessions. The plastome phylogenies strongly supported the division of these 19 *Dracaena* species into three clades. Species capable of producing phenolic resins were found in clades I and III, indicating their potential as source plants for "Resina Draconis". Notably, nine samples of *D. cambodiana* were not supported as monophyletic, forming two distinct groups: the Yunnan clade (*D. cambodiana* A) and the Hainan clade (*D. cambodiana* B). Morphological analysis of the protologue and neotype specimens indicated that *D. cochinchinensis* could not be differentiated from *D. angustifolia*, and thus should be considered as a synonym of *D. angustifolia*. Integrating phylogenetic analyses and morphological characteristics, we determined that *D. cambodiana* is the primary source plant of Chinese "Resina Draconis", with *D. saposchnikowii* Regel from South Yunnan and *Dracaena* sp. 2 from South Guangxi also contributing to its production. The plastome phylogenies clarified the source plants of "Resina Draconis" and elucidated the genetic relationships within the genus *Dracaena*, providing important information for the conservation and sustainable utilization of *Dracaena* germplasm resources.

Key words: Resina Draconis; Chloroplast genome; Molecular identification; Authentication; Morphological identification

血竭 (Resina Draconis) 在《本草纲目》中被称为“活血之圣药”，具有活血散瘀、止痛、生肌敛疮、抗病毒、抗肿瘤等功效^[1]，从南北朝时期至今已有 1 500 余年的使用历史^[2]，在我国被冠以“云南红药”，与“云南白药”齐名。血竭的种类分为龙血竭和麒麟竭。文献记载考证表明，最早血竭来源于天门冬科龙血树属 (*Dracaena*) 索科特龙血树 (*D. cinnabari* Balf. f.) 和非洲龙血树 (*D. draco* (L.) L.) 的树干红色树脂^[3-5]。因此，这类血竭称为龙血竭更为合适，且是“正品”血竭^[1]，可能是通过丝绸之路在汉朝时期传入到中国^[1, 3]。《中华人民共和国药典》中收录的血竭 (*Draconis Sanguis*) 为麒麟竭，由棕榈科省藤属 (*Calamus*) 麒麟竭 (*C. draco* Willd.) 果实渗出的树脂加工制成^[6]。麒麟竭植物为多年生常绿藤本，仅分布于东南亚的印度尼西亚苏门答腊。

为了改变我国血竭主要依赖进口状况，20 世纪 70 年代初，我国中药学和植物学工作者在云南和广西开展了血竭资源植物调查。1972 年，植物学家蔡希陶等在云南南部的孟连县、勐腊县、沧源县等地陆续找到了可产龙血竭的基原植物柬埔寨龙血树 (*D. cambodiana* Pierre ex Gagnep.)^[1, 2, 7]。此后，在广西、海南等地也相继发现了可产龙血竭的其他龙血树。1974 年，《云南省

药品标准》将“血竭”的基原植物指定为柬埔寨龙血树^[8]。1990 年，品名“广西龙血竭”获国家卫生部批准试生产，于 1999 年正式获批，并定名为龙血竭 (国药准字 Z10950114)，其基原植物被指定为剑叶龙血树 (*D. cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen)^[9]。国产龙血竭与基于索科特龙血树和非洲龙血树所产的龙血竭都来源于龙血树属植物，因此其性状和功效非常相近^[1]。

国产龙血竭基原植物名称的使用一直较为混乱^[7, 10, 11]，广泛使用剑叶龙血树，也用柬埔寨龙血树，或二者都用。如上所述，蔡希陶等将在孟连县发现的血竭资源植物鉴定为柬埔寨龙血树^[1, 8]。然而，在编写《中国植物志》时，陈心启指出孟连县的龙血树是剑叶龙血树^[12]。在附注中，他指出孟连县的龙血树特征与剑叶龙血树的非法名称 *D. loureiri* Gagnep. 的描述和图片相符，并认为柬埔寨龙血树在我国只分布于海南。实际上，《中国植物志》对剑叶龙血树的形态描述与单勇^[7]对柬埔寨龙血树特征的描述基本一致，但在叶片大小上修订为“长可达 100 厘米和宽 5 厘米”，其墨线图与钟纪育^[13]描述的“岩棕”特征基本一致。

在 *Flora of China*^[14] 中，Chen 和 Turland 沿用了《中国植物志》的处理，在附注中提到荷兰龙

血树专家 Jan Justus Bos 认为剑叶龙血树和柬埔寨龙血树可能为同一种, 并进一步陈述剑叶龙血树基名 *Aletris cochinchinensis* Lour. (1790) 的新模式标本 (Neotype) *J. Clemens & M. S. Clemens 4048* 应该与长花龙血树 (*D. angustifolia* (Medik.) Roxb. \equiv *Terminalis angustifolia* Medik. (1786)) 为同一种, 所以 *Aletris cochinchinensis* Lour. 应作为长花龙血树异名; 或提出保留名称 “*Dracaena cochinchinensis*” 以确保《中国植物志》中云南的剑叶龙血树有名称可用。随后, 陈心启和罗毅波在编写《中国高等植物》时修正柬埔寨龙血树是分布于云南西南部 and 广西西南部 (不包括海南), 并将 1980 年提出的组合名称 “*D. cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen” 作为 *D. cambodiana* Pierre ex Gagnep. 的异名处理^[15]。由于《中国植物志》和 *Flora of China* 在植物学界的巨大影响力, 学者们和各类专著都将蔡希陶等在孟连县发现的龙血树当作 “剑叶龙血树” 或 “*Dracaena cochinchinensis*”, 并将其作为国产龙血竭药材的基原植物^[3, 4, 5, 7, 16], 且常与岩棕混在一起作为同一种^[16], 而 *D. cambodiana* Pierre ex Gagnep. 的中文名被拟为海南龙血树, 并认为国内仅分布于海南, 云南和广西不产^[7, 12, 17-20]。

为实现对国产龙血竭资源植物的保护与可持续利用, 本研究通过对龙血树属物种的广泛取样, 利用全基因组浅层测序获取质体基因组序列, 重建龙血树属系统发育关系, 旨在解析龙血树属植物的质体基因组特征, 重建其系统发育关系; 澄清柬埔寨龙血树的分类学地位, 为蔡希陶等最早发现的国产龙血竭资源植物正本清源。

1 材料与方法

1.1 研究材料

本研究共涉及龙血树属 19 种 33 份材料, 其中新采集的有 12 种 19 份。新鲜叶片经硅胶干燥后保存, 用于 DNA 的提取。同时, 从 NCBI 数据库 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) 中下载 12 种龙血树的质体基因组数据 (包括重复的 5 个种)。选择龙血树属的近缘类群假叶树属 (*Ruscus*) 的假叶树 (*R. aculeatus* L.) 作为外类群。研究材料的凭证信息见附表 1¹⁾。

为了开展分类学考证, 查阅柬埔寨龙血树、*Aletris cochinchinensis*、*D. loureiri* 等相关物种的原始文献, 并通过中国数字植物标本馆 (CVH) 和 Global Plants on JSTOR 数据库 (<https://plants.jstor.org/>), 查找其模式标本 (图 1)。

1.2 DNA 测序及数据组装分析

利用 CTAB 法提取硅胶干燥叶片总 DNA^[21], 然后利用超声波将其随机打断为 350 bp 左右的片段, 构建测序文库^[22]。使用 Illumina Novaseq 测序平台进行双末端测序, 读长 150 bp, 每个样品获取约 2~3 Gb 的原始测序数据。原始测序数据使用 GetOrganelle 软件包进行从头组装, 获得完整的质体 (也称叶绿体) 基因组序列^[23]。质体基因组序列利用 Geneious 软件^[24], 以非洲龙血树质体基因组 (MN990038) 为参考, 设置相似度为 75% 进行初步自动注释, 然后基于密码子起始和终止信息进行手动核查和校对。基于注释结果, 利用 Geneious 软件包统计质体基因组的基因含量信息, 以及大单拷贝区 (LSC)、小单拷贝区 (SSC) 和两个反向重复区 (IR) 的序列长度和 GC 含量。

1.3 系统发育分析

所有 34 条质体全基因组序列都去除一个 IR 区, 然后使用 MAFFT^[25] 软件进行序列比对。龙血树属的系统发育重建同时利用了最大似然法 (Maximum likelihood, ML) 和贝叶斯法 (Bayesian inference, BI)。最大似然法利用 RAXML 8.2.12 软件包完成^[26], 选择 GTR+ Γ 为核苷酸替换模型, 进行 1 000 次自展重复分析, 估算各节点的支持率 (MLBS)。贝叶斯分析所用的核苷酸替代模型为利用 jModeltest^[27] 中 BIC 标准 (Bayesian information criterion) 筛选出的最优模型。利用 MrBayes 3.2.7 软件包^[28] 进行贝叶斯推论分析, 设置 MCMC 运算为 10 000 000 代, 每 1 000 代取样 1 次。运算完成后, 剔除前 25% 的树, 构建多数一致树, 并计算每个节点的后验概率 (BIPP)。

2 结果与分析

2.1 新组装的龙血树物种质体基因组序列特征

本研究新组装获得的 12 种 19 份龙血树的质

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站 (<http://www.plantscience.cn>) 查看本期文章。



A~C: 柬埔寨龙血树模式标本。A: J.B.L. Pierre 660 (GH00098599); B: Clemens J. & Clemens M.S. 4057 (P00689821); C: Poilane E. 4790 (P00689821); D: 剑叶龙血树新模式标本 J. Clemens & M.S. Clemens 4048 (G00191146); E: 柬埔寨龙血树的软叶型 (左) 和硬叶型 (右); F: 长花龙血树的模式图; G、H: 岩棕的模式图和植物照片; I: 引种于广西的龙血树 (YX08); J: 引种于老挝的龙血树 (YX05)。模式标本照片 (A~D) 下载于 JSTOR 全球植物网 (<https://plants.jstor.org/>)。

A~C: Type specimens of *D. cambodiana*. A: J.B.L. Pierre 660 GH00098599; B: Clemens J. & Clemens M.S. 4057 (P00689821); C: Poilane E. 4790 (P00689821); D: Neotype of *D. cochinchinensis* J. Clemens & M.S. Clemens 4048 (G00191146); E: Soft leaf type (left) and hard leaf type (right) of *D. cambodiana*; F: Illustration of *D. angustifolia*; G: Illustration of *D. saposchnikowii*; H: Living plant of *D. saposchnikowii*; I: *Dracaena* sp. 2 (YX08); J: *Dracaena* sp. 1 (YX05). Type specimen photos (A~D) were downloaded from Global Plants on JSTOR (<https://plants.jstor.org/>).

图 1 龙血树属植物

Fig. 1 Diversity of *Dracaena* species

体基因组均为典型的四分体结构, 即 1 个 LSC、1 个 SSC 和 2 个 IR (附图 1¹⁾)。龙血树的质体基因组大小为 154 799 bp (油点木 (*D. surculosa* Lindl.)) ~155 465 bp (柬埔寨龙血树) (附表 2²⁾)。其中, LSC 为 83 331 bp (油点木) ~83 923 bp (柬埔寨龙血树), SSC 为 18 402 bp (红边龙血树 (*D. marginata* Home ex Baker)) ~

19 143 bp (细枝龙血树 (*D. elliptica* Thunb.)), IR 大小为 26 142 bp (细枝龙血树) ~26 539 bp (*Dracaena* sp.2 (YX08), 或称广西龙血树)。质体全基因组序列的 GC 含量为 37.5%~37.6%, 其中 IR 区 (42.9%~43.0%) 要高于 LSC 和 SSC 区, 而 LSC (35.5%~35.7%) 要高于 SSC 区 (31.0%~31.3%)。

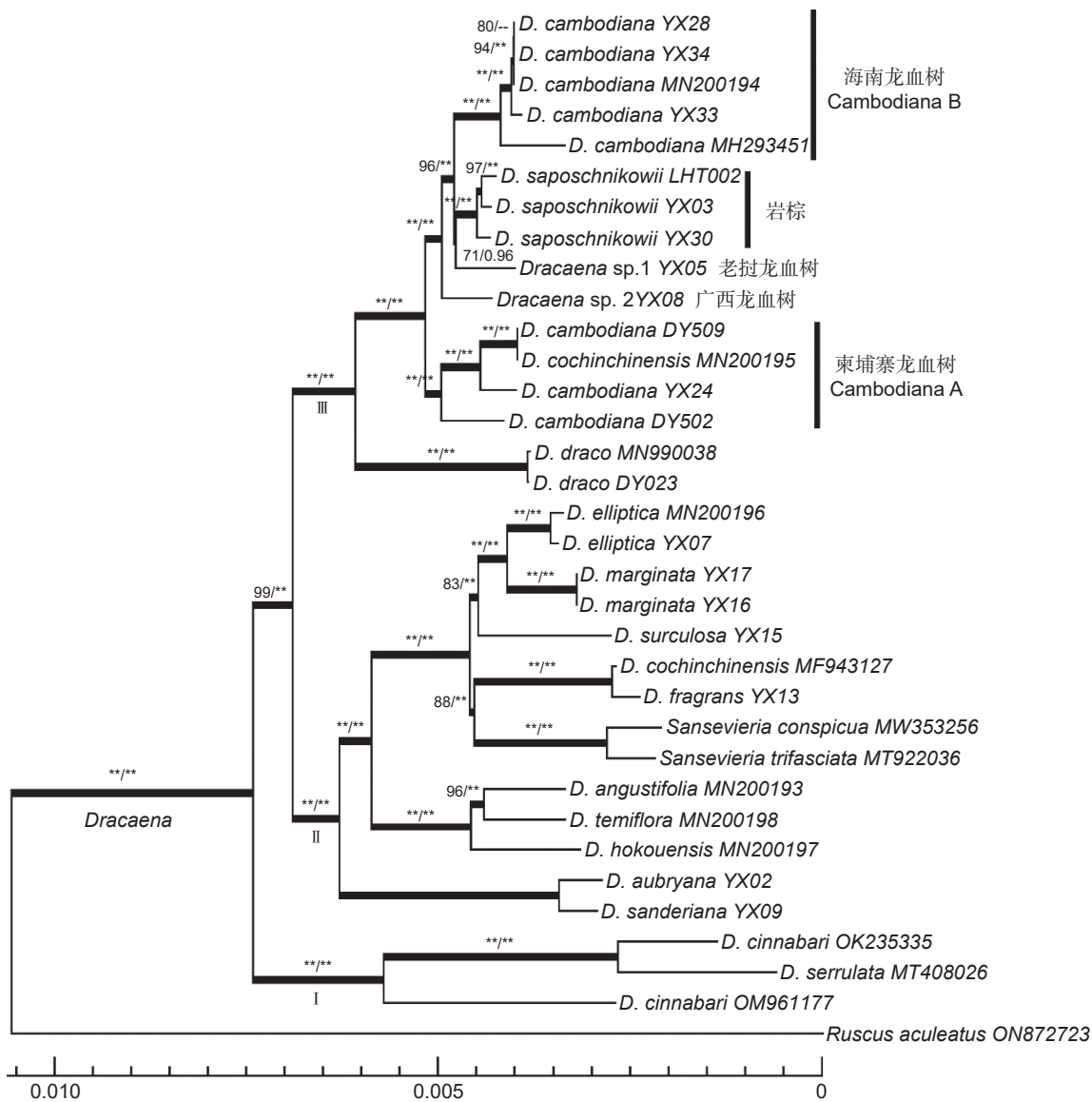
1~2) 如需查阅附件内容请登录《植物科学学报》网站 (<http://www.plantscience.cn>) 查看本期文章。

龙血树质体基因组序列含有 114 个不重复基因，包括 80 个编码基因，4 个 rRNA 基因和 30 个 tRNA 基因（附表 3¹⁾），其中 20 个位于 IR 区，分别为 5 个完整编码基因，3 个部分编码基因（*ndhF*、*rps19* 和 *ycf1*）、8 个 tRNA 基因和 4 个 rRNA 基因。其中，含有 1 个内含子的有 15 个，包含两个内含子的有 3 个（*ycf3*、*clpP*、*rps12*）。

2.2 系统发育分析

本研究获得的质体全基因组数据集矩阵长度

为 135 876 bp，包括 6 597 个变异位点，其中 2 589 个为简约信息位点。基于 ML 和 BI 方法构建的系统发育树的拓扑结构基本一致（图 2），均强烈支持龙血树属物种分成 3 个分支。分支 I 最早分化出来，分支 II 和 III 构成姐妹关系。分支 I 包括索科特龙血树和阿拉伯龙血树，其中两份索科特龙血树未能形成单系。分支 II 包括 10 种龙血树（MLBS=100%，BIPP=1.00），它们主要生长在林下，且植株矮小，为灌木或草本。分支 III 包括非



**： MLBS=100, BIPP=1.00.

图 2 基于质体全基因组数据集的龙血树属植物贝叶斯推论（BI）系统发育树
Fig. 2 Phylogenetic relationships of *Dracaena* species based on Bayesian Inference (BI) analysis using whole plastid genome dataset

1) 如需查阅附表内容请登录《植物科学学报》网站（<http://www.plantscience.cn>）查看本期文章。

洲龙血树、柬埔寨龙血树 A 和 B、岩棕、广西龙血树 (*Dracaena* sp.2) 和老挝龙血树 (*Dracaena* sp.1) (MLBS=100%, BIPP=1.00)。分支 I 和 III 的物种都可分泌红色树脂, 可能适用于生产龙血竭, 是血竭资源植物; 这些物种主要生长在石灰山地区, 树形较大, 枝叶繁茂, 并可形成优势树种。

分支 II 可划分为 3 个亚分支。第 1 个亚分支由长柄龙血树 (*D. aubryana* Brongn. ex E. Morren) 和富贵竹 (*D. sanderiana* Sander) 组成 (MLBS=100%, BIPP=1.00); 第 2 个亚分支中河口龙血树 (*D. hokouensis* G. Z. Ye) 和长花龙血树+矮龙血树 (*D. terniflora* Roxb.) 为姐妹关系, 且该亚分支是最早分化出来的 (MLBS=100%, BIPP=1.00); 第 3 个亚分支为香龙血树 (*D. fragrans* (L.) Ker Gawl.) 和两种虎尾兰 (*Sansevieria conspicua* N. E. Br. 和 *Sansevieria trifasciata* Prain) 构成姐妹关系 (MLBS=88%, BIPP=1.00), 随后是油点木与细枝龙血树+红边龙血树聚在一起 (MLBS=83%, BIPP=1.00)。

在分支 III 内, 非洲龙血树最早分化出来 (MLBS=100%, BIPP=1.00), 紧接着是软叶类的柬埔寨龙血树 A 单系支; 随后广西龙血树作为

老挝龙血树、岩棕和柬埔寨龙血树 B 分支的姐妹类群 (MLBS=100%, BIPP=1.00); 其中老挝龙血树和岩棕为姐妹关系, 且得到较好的支持 (MLBS=71%, BIPP=0.96); 以及 5 份柬埔寨龙血树 B 样品形成的一个单系支 (MLBS=100%, BIPP=1.00)。

2.3 原始文献和模式标本考证

在剑叶龙血树基名 *Aletris cochinchinensis* Lour. 的原始文献中, De Loureiro^[29] 描述其为灌木状, 高约 1.8 m, 茎直立不分枝; 叶抱茎, 叶面光滑反折; 总状花序顶生; 花黄绿色, 花冠圆柱状, 瓣片 6 片有褶皱, 披针形会反折。这些特征与《中国植物志》和 *Flora of China* 中记载的剑叶龙血树特征存在很大差异 (表 1), 而与长花龙血树的特征比较一致^[12, 14]。《中国植物志》记载剑叶龙血树叶片的长与宽分别可达 100 cm 和 5 cm, 国产种中仅岩棕相符 (表 1)。原始文献描述的柬埔寨龙血树植株高可达 6~10 m, 茎基部可达 30 cm 粗; 茎和枝都有环状叶痕; 茎分枝, 枝条之间开度大, 叶簇生在枝顶; 叶片革质, 光滑, 中脉不明显^[30]。这些特征与蔡希陶等在孟连县等地最早发现的龙血树的特征基本一致。

表 1 柬埔寨龙血树、剑叶龙血树和长花龙血树的原始文献与《中国植物志》特征描述的对比
Table 1 Comparison of characteristics between protologue and *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* for *Dracaena cambodiana*, *D. cochinchinensis*, and *D. angustifolia*

性状特征 Traits	柬埔寨龙血树 <i>D. cambodiana</i>		剑叶龙血树 <i>D. cochinchinensis</i>		长花龙血树 <i>D. angustifolia</i>	
	原始文献	《中国植物志》	原始文献	《中国植物志》	原始文献	《中国植物志》
习性	Arbor	乔木状	Fruticosus	乔木状	Shrubby	灌木状
株高	6~10 m	3~4 m	6-pedalis	5~15 m	8~10 ft	1~3 m
茎干	Rami divaricati	不分枝或分枝	Simplicissimus	分枝多	—	不分枝或稍分枝
叶型	Lineari-lanceolata	剑形	Lanceolato-linearia	剑形	Linear	条状倒披针叶形
叶长	60 cm	≥ 70 cm	—	50~100 cm	30~45 cm	20~45 cm
叶宽	2~4 cm	1.5~3.0 cm	—	2~5 cm	5 cm	1.5~5.5 cm

通过模式标本的比较研究发现, *A. cochinchinensis* Lour. 的新模式标本 (Neotype) *J. Clemens & M. S. Clemens 4048* 与长花龙血树实为同一种 (图 1: D); 柬埔寨龙血树原始文献中引证的 3 号模式标本代表了两种龙血树。标本 *J. B. L. Pierre 660* 的叶片边缘有明显的波浪状 (图 1:

A), 而另外两号标本 *Clemens J. & Clemens M. S. 4057* (图 1: B) 和 *Poillane E. 4790* (图 1: C) 叶片边缘没有波浪状。经过压制标本测试, 叶片较柔软且叶片反卷标本 *J. B. L. Pierre 660* 是柬埔寨龙血树 A, 而叶片稍硬且不反卷的两号标本是柬埔寨龙血树 B。

3 讨论

3.1 国产“龙血竭”基原植物的澄清

传统血竭分为龙血竭和麒麟竭两种。追溯血竭的历史,最早在古希腊、古罗马和古阿拉伯的“Dragon's blood”即为龙血竭,其“龙血”树脂来源于索科特龙血树^[1, 3-5]。龙血竭传入中国后,在早期的古籍中将其记录为麒麟竭等,而非龙血竭,这可能与当时社会皇帝及“龙”文化有关,或认为是一种来自非洲“麒麟”(长颈鹿)的血。明清之后,东南亚地区省藤属物种产的血竭取代了龙血竭,现被广泛称为麒麟竭^[1-3],并被《中华人民共和国药典》所采用。为了避免血竭药品的混淆,基原植物是龙血树属的血竭称为龙血竭,基原植物是省藤属的血竭称为麒麟竭。另外,基原植物是豆科紫檀属(*Pterocarpus*)和大戟科巴豆属(*Croton*)的血竭可能也需要另起名称以便于区分,如“紫檀血竭”和“巴豆血竭”。

龙血竭的基原植物最早只记载有索科特龙血树和非洲龙血树。1972年,随着蔡希陶等在云南找到可产龙血竭的柬埔寨龙血树和岩棕^[1, 8, 13],广西的“剑叶龙血树”^[31],以及老挝、缅甸等国家其他种的龙血树^[11],可产龙血竭的龙血树物种越来越丰富。系统发育分析表明,热带亚洲能分泌龙血竭树脂的龙血树物种形成了单系分支Ⅲ,与传统的“*Dracaena group*”相对应^[32],且分支Ⅰ的索科特龙血树和阿拉伯龙血树也是“*Dracaena group*”的成员。因此,热带亚洲产龙血竭的龙血树植物资源可以进一步发掘和利用。

在编写《中国植物志》时,陈心启错误地将岩棕和柬埔寨龙血树混为一种,都处理为剑叶龙血树,且认为分布于海南的龙血树是柬埔寨龙血树^[12]。这些处理被后面不少研究和文献所采纳^[3-5, 7, 16],进而造成了国产龙血竭基原植物名称的混淆。虽然 *Flora of China* 对这一混淆做了陈述^[14],且《中国高等植物》中将名称“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”作为柬埔寨龙血树的异名处理^[15],但作者并没有明确指出基名 *Aletris cochinchinensis* Lour. 是长花龙血树的异名,且将名称“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”作为柬埔寨龙血树的异名引证是有误的。

在分类学上,《中国植物志》中“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”实际指代的物种包括了柬埔寨龙血树和岩棕两种;而在命名上,名称“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”是长花龙血树的异名。因此,综合原始资料和后选模式标本进行分析比较,表明剑叶龙血树与长花龙血树为同一种,名称“*Aletris cochinchinensis* Lour.”和“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”应该作为 *Dracaena angustifolia* Roxb. 的异名。

本研究基于系统发育分析和标本性状比较,确定蔡希陶等在 1972 年于孟连县发现的龙血树与柬埔寨龙血树 A (图 1) 为同一种,而海南产的龙血树是柬埔寨龙血树 B (图 1)。此外,《中国植物志》中记载的“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”(叶片形态特征描述和墨线图与岩棕相符)和未描述的广西龙血树均为龙血竭的资源植物。因此,为了名称使用的稳定性和准确性,建议将云南产的柬埔寨龙血树 A 基于后选模式指定^[33]沿用柬埔寨龙血树名称 *D. cambodiana* Pierre ex Gagnep., 海南产的柬埔寨龙血树 B 延续称为海南龙血树,这个种可能是一个待发表的隐存种,或是中国新记录种。形态特征和系统发育证据表明,岩棕明显区别于其他国产龙血树属物种,正确学名是 *D. saposchnikowii* Regel, 之前被处理为“*D. cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”的异名^[34]。

2013 年,Wilkin 等^[35]发表了龙血树新种 *D. kaweesakii* Wilkin & Suksathan, 该种记载分布于泰国北部、中北部和西部,以及缅甸。他们认为海南龙血树有可能是 *D. kaweesakii* 的近缘种。本研究通过对特征描述和标本形态特征的比较,发现 *D. kaweesakii* 可能与云南产的柬埔寨龙血树 A 为同一种,建议处理为 *D. cambodiana* Pierre ex Gagnep. 的异名。

3.2 龙血树属植物系统发育和物种界定的初步探讨

龙血树属植物为多年生物种,营养期长,很多物种的叶形态极为相似,在缺少花、果等特征时极难鉴定。相比而言,基于质体 DNA 序列构建龙血树属物种系统发育关系,并结合形态特征,可以方便、快速地鉴别物种间的关系。本研究基

于质体基因组序列，利用最大似然树和贝叶斯推论法重建了龙血树属的系统发育关系，确定了龙血树属物种可分成3个主要分支，物种之间的系统发育关系得到了很好的解决。系统发育分析结果支持索科特龙血树+阿拉伯龙血树是龙血树属中最早分化的一支^[36]，这与 Celiński 等^[37]的研究结果不一致，可能后者取样较少，系统发育分析不准确。能产血竭的物种形成分支Ⅰ和分支Ⅲ两个独立的分支，分支Ⅰ的龙血树主要分布于北非和亚洲西部的干旱地区；分支Ⅲ中最早分化的是非洲龙血树，其他物种均生长在东南亚至中国西南的石灰岩山地中，其中以柬埔寨龙血树和岩棕为代表。分支Ⅱ的物种为树形矮小的灌木类物种，以及草本类的虎尾兰物种^[38]。

本研究发现多个个体的物种都构成单系（除索科特龙血树），且 NCBI 上一些质体基因组可能是错误鉴定，如两份命名为 *D. cochinchinensis* 的样品分别应为香龙血树（MF943127）和柬埔寨龙血树 A（MN200195）。Lu 和 Morden^[39] 基于 4 个质体 DNA 片段对广义 95 种龙血树属开展了系统发育分析，但基于最大简约法、ML 和 BI 3 种方法的分析结果存在差异。不过，3 种分析方法都支持夏威夷的 *Pleomele* 作为独立属 *Chrysodracon*。在龙血树属中，古巴龙血树 *D. cubensis* Vict. 和美洲龙血树 *D. americana* Donn. Sm. 是最早分化的一支，随后是索科特龙血树或索科特龙血树和非洲山地龙血树 *D. afromontana* Mildbr.。因此，索科特龙血树及其近缘物种可能是旧世界龙血树属最早分化的一支。本研究支持非洲龙血树与其他东南亚至中国西南的树状龙血树为姐妹群（分支Ⅲ），以及灌木类长花龙血树、长柄龙血树、香龙血树、红边龙血树、细枝龙血树和草本类的虎尾兰等形成一个单系分枝（分支Ⅱ），这在 Lu 和 Morden^[40] 的研究中没有得到支持。其原因可能是 4 个质体 DNA 片段的信息位点不足。

在物种鉴定和分类研究时发现，柬埔寨龙血树的模式标本中有两号应为海南龙血树，系统发育分析明确支持柬埔寨龙血树和海南龙血树分开，因此两号模式标本应排除。老挝引种的未知种 1 与岩棕为亲缘关系，且其叶片形态与岩棕相似，但其叶质地比较肉质，上表面较为平滑，同时植株下部极少分枝，由于没有开花个体，暂时不能

鉴定到种，新拟名老挝龙血树。广西引种的未知种 2 是分支Ⅲ中孤立的小分支，但植株较矮，不超过 3 m，且其叶片表面呈蜡质，因此应该作为一个独立种，新拟名广西龙血树。

4 结论

本文基于质体基因组系统发育分析明确了龙血树属物种的系统发育关系和种间界定，并进一步整合柬埔寨龙血树及其混淆种的原始文献考证和模式标本研究，明确了蔡希陶等最早在孟连县发现的龙血竭基原植物为柬埔寨龙血树。质体系统发育将龙血树属物种分成 3 个分支，龙血竭资源植物位于分支Ⅰ和Ⅲ，其中柬埔寨龙血树样品分成两个独立分支，云南分支（软叶型）沿用名称柬埔寨龙血树，海南分支或海南龙血树另外作为独立种。此外，被广泛采用的剑叶龙血树 *Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen 这个名称可能是长花龙血树的一个新异名。在分类学上，《中国植物志》中的“*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Chen”实际上指代的物种包括了柬埔寨龙血树和岩棕两种。形态特征和系统发育证据表明，岩棕明显区别于其他国产龙血树属物种，其正确的学名是 *Dracaena saposchnikowii* Regel。

总之，本研究厘清了龙血竭基原植物及其他龙血树物种之间的亲缘关系，并确认岩棕和广西龙血树也是国产龙血竭的资源植物，这对龙血树属植物的保护与可持续利用具有重要意义。

致谢：感谢中国科学院西双版纳热带植物园园林园艺中心及科技信息中心超算平台的帮助与支持；感谢中国科学院华南植物园、中国热带科学研究院兴隆植物园和中国医学科学院药用植物研究云南分所在龙血树属的植物材料采集中给予的支持；感谢中国科学院昆明植物研究所西南种质资源库分子实验中心在 DNA 测序中的帮助；感谢生物多样性研究组的姚昕博士、陈丽琼女士等在数据分析中提供的帮助。

参考文献：

- [1] 蔡希陶, 许再富. 国产血竭植物资源的研究 [J]. 云南植物研究, 1979, 1 (2): 1-10.
Tsai HT, Xu ZF. A study on the resource of Chinese dragon's blood [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1979, 1 (2): 1-10.
- [2] 谢宗万. 血竭基原的本草考证 [J]. 中药材, 1989 (7):

- 42-45.
- [3] 郑庆安, 陈江毅, 张颖君, 杨崇仁. 著名民间药物血竭的起源与传播[J]. 云南植物研究, 2003 (S14): 102-107.
Zheng QA, Chen JT, Zhang YJ, Yang CR. Origin and diffusion of dragon's blood, a famous folk herb[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003 (S14): 102-107.
- [4] Gupta D, Bleakley B, Gupta RK. Dragon's blood: botany, chemistry and therapeutic uses[J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 115 (3): 361-380.
- [5] Langenheim JH. Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology and Ethnobotany[M]. Portland: Timber Press, 2003: 70-73.
- [6] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 149.
- [7] 单勇. 云南的一种新植物资源——南药“血竭”[J]. 植物学报, 1973, 15 (1): 145-146.
- [8] 郑道君, 谢良商, 王盈, 张治礼, 张文. 中国血竭基源植物的研究与利用[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28 (6): 15-20.
Zheng DJ, Xie LS, Wang Y, Zhang ZL, Zhang W. Research advances in dragon's blood plants in China[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2009, 28 (6): 15-20.
- [9] 文东旭. 龙血竭的研究进展[J]. 中草药, 2001, 32 (11): 1053-1054.
Wen DX. Advances in studies on resin of *Dracaena cochinchinensis*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2001, 32 (11): 1053-1054.
- [10] 李永杰, 莫饶, 唐燕琼, 尹俊梅, 杨松. 中国龙血树属 SRAP 遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2012, 33 (4): 617-621.
Li YJ, Mo R, Tang YQ, Yin JM, Yang S. Analysis of genetic diversity in Chinese *Dracaena* with SRAP markers[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, 33 (4): 617-621.
- [11] 张越, 宋美芳, 李海涛, 孙惠芳, 张忠廉. 珍稀名贵药材龙血竭基原及同属植物的 DNA 条形码鉴定研究[J]. 中国中药杂志, 2021, 46 (9): 2173-2181.
Zhang Y, Song MF, Li HT, Sun HF, Zhang ZL. DNA barcoding identification of original plants of a rare medicinal material Resina Draconis and related *Dracaena* species[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46 (9): 2173-2181.
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 14 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 274-278.
- [13] 钟纪育. 国产血竭另一个新资源——岩棕研究简报[J]. 中草药, 1980, 11 (9): 422.
- [14] Wu ZY, Raven PH. Flora of China: Volume 24[M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2000: 215-217.
- [15] 傅立国. 中国高等植物: 第 13 卷[M]. 青岛: 青岛出版社, 2002: 174-175.
- [16] 张忠廉. 不同基原龙血竭的分子鉴定及化学成分特征研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2020: 1-8.
- [17] 杨先会, 邓世明, 范丽霞. 海南龙血树植物资源的开发利用[J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2004, 22 (3): 270-272.
Yang XH, Deng SM, Fan LX. Exploitation to the resources of Hainan dragon tree (*Dracaena cambodiana* Pierre ex Gagnep) [J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2004, 22 (3): 270-272.
- [18] 刘培卫, 张玉秀, 何明军. 海南龙血树的形态组织学研究[J]. 植物研究, 2017, 37 (5): 645-650.
Liu PW, Zhang YX, He MJ. Anatomic study of *Dracaena cambodiana* Pierre ex. Gagnep[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2017, 37 (5): 645-650.
- [19] 庞宽壮, 蔡彩虹, 梅文莉, 戴好富, 阮云泽, 丁旭坡. 基于 DNA 条形码技术的海南龙血树和剑叶龙血树分子鉴定[J]. 分子植物育种, 2020, 18 (8): 2649-2656.
Pang KZ, Cai CH, Mei WL, Dai HF, Ruan YZ, Ding XP. Molecular identification of *Dracaena cambodiana* and *Dracaena cochinchinensis* with DNA barcoding[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18 (8): 2649-2656.
- [20] 王辉, 杨宁, 吴晓鹏, 戴好富, 梅文莉. 海南龙血树人工血竭与天然血竭的抗炎镇痛活性比较[J]. 热带生物学报, 2019, 10 (2): 159-164.
Wang H, Yang N, Wu XP, Dai HF, Mei WL. Comparison of analgesic and anti-inflammatory activities between natural and artificially induced dragon's blood of *Dracaena cambodiana*[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2019, 10 (2): 159-164.
- [21] Doyle JJ, Doyle JL. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue[J]. *Phytochem Bull*, 1987, 19 (1): 11-15.
- [22] Zeng CX, Hollingsworth PM, Yang J, He ZS, Zhang ZR, et al. Genome skimming herbarium specimens for DNA barcoding and phylogenomics[J]. *Plant Methods*, 2018, 14: 43.
- [23] Jin JJ, Yu WB, Yang JB, Song Y, dePamphilis CW, et al. GetOrganelle: a fast and versatile toolkit for accurate de novo assembly of organelle genomes[J]. *Genome Biol*, 2020, 21 (1): 241.
- [24] Kearsley M, Moir R, Wilson A, Stones-Havas S, Cheung M, et al. Geneious basic: an integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data[J]. *Bioinformatics*, 2012, 28 (12): 1647-1649.
- [25] Katoh K, Standley DM. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability[J]. *Mol Biol Evol*, 2013, 30 (4): 772-780.
- [26] Stamatakis A. Using RAxML to infer phylogenies[J]. *Curr Protoc Bioinf*, 2015, 51: 6.14. 1-6.14. 14.

- [27] Darriba D, Taboada GL, Doallo R, Posada D. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing[J]. *Nat Methods*, 2012, 9 (7): 772.
- [28] Huelsenbeck JP, Ronquist F. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees[J]. *Bioinformatics*, 2001, 17 (8): 754–755.
- [29] De Loureiro J. Flora Cochinchinensis[M]. Ulyssipone, 1790: 204.
- [30] Gagnepain F. Quelques Liliacées nouvelles d'Indochine[J]. *Bull Soc Bot France*, 1934, 81 (2): 286–289.
- [31] 陈友地, 李秀玲. 中药血竭的研究 [J]. 中草药, 1987, 18 (4): 43–44.
- [32] Wilkin P, Suksathan P, Keeratikiat K, van Welzen P, Wiland-Szymańska J. A new threatened endemic species from central and northeastern Thailand, *Dracaena jayniana* (Asparagaceae: tribe Nolinoideae) [J]. *Kew Bull*, 2012, 67 (4): 697–705.
- [33] Zhang ZY, Idrees M, Zheng X, Jiao YQ, Prodhan ZH. Nomenclature notes and typification of names in *Dracaena* (Asparagaceae, Nolinoideae) [J]. *Forests*, 2022, 13 (8): 1237.
- [34] POWO. Plants of the world online. Facilitated by the royal botanic gardens, Kew[DB/OL] [2024-01-16]. <http://www.plantsoftheworldonline.org>.
- [35] Wilkin P, Suksathan P, Keeratikiat K, van Welzen P, Wiland-Szymanska J. A new species from Thailand and Burma, *Dracaena kaweesakii* Wilkin & Suksathan (Asparagaceae subfamily Nolinoideae) [J]. *PhytoKeys*, 2013, 26: 101–112.
- [36] Ahmad W, Asaf S, Khan A, Al-Harrasi A, Al-Okaishi A, Khan AO. Complete chloroplast genome sequencing and comparative analysis of threatened dragon trees *Dracaena serrulata* and *Dracaena cinnabari*[J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 16787.
- [37] Celiński K, Sokółowska J, Fuchs H, Maděra P, Wiland-Szymańska J. Characterization of the complete chloroplast genome sequence of the Socotra dragon's blood tree (*Dracaena cinnabari* Balf.) [J]. *Forests*, 2022, 13 (6): 932.
- [38] Van Kleinwee I, Larridon I, Shah T, Bauters K, Asselman P, et al. Plastid phylogenomics of the *Sansevieria* Clade of *Dracaena* (Asparagaceae) resolves a recent radiation[J]. *Mol Phylogenet Evol*, 2022, 169: 107404.
- [39] Lu PL, Morden CW. Phylogenetic relationships among *Dracaenoid* genera (Asparagaceae: Nolinoideae) inferred from chloroplast DNA loci[J]. *Syst Bot*, 2014, 39 (1): 90–104.
- [40] Lu PL, Morden C. Phylogenetics of the plant genera *Dracaena* and *Pleomele* (Asparagaceae) [J]. *Botanica Orientalis*, 2011, 7: 64–72.

(责任编辑：李惠英)