

中国海造礁管虫新记录属：细丝管虫属

魏才琪^{1,2} 李浩² 余文² 付夏楠² 余文华^{1*} 周文良^{2*}

¹ 广州大学生命科学学院 广州 510006; ² 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州),

海洋生物演化与保护生物学中心 广州 511458

摘要: 纓鳃虫目(Sabellida)龙介虫科(Serpulidae)丝管虫亚科(Filigraninae)细丝管虫属(*Filigranella*)的物种为造礁管虫,全世界现记录 3 个物种,而在中国海域未见历史报道。本研究采集了一种分布于中国南海美济礁潟湖内的造礁管虫,利用光学显微镜和扫描电镜,呈现该物种的刚毛和齿片等细微结构,总结了其主要的形态分类特征,进一步基于 18S rRNA 基因片段重建了现有丝管虫亚科物种的系统发育关系。依据形态特征和分子标记,将此物种鉴定为龙介虫科丝管虫亚科细丝管虫属埃拉特细丝管虫(*F. elatensis*),为中国分布的新记录属新记录种,该记录对于中国南海珊瑚礁生态系统生物多样性研究与保护具有重要意义。

关键词: 龙介虫科; 管虫; 系统发育; 南沙群岛; 新记录

中图分类号: Q959 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2026) 01-125-09

A new record of reef-building serpulid worm in China Sea: *Filigranella*

WEI Cai-Qi^{1,2} LI Hao² YU Wen² FU Xia-Nan² YU Wen-Hua^{1*} ZHOU Wen-Liang^{2*}

¹ School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006; ² Center for Evolution and Conservation Biology, Southern Marine

Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China

Abstract: There are three recognized species of the genus *Filigranella* across the world, and most of them live in the Red Sea, the Caribbean Sea, and costal regions along Indonesia, Philippines, and Malaysia. This study reported the first distribution record of a reef-building tube worm species of the genus *Filigranella* in China, which was collected from the lagoon of the Meiji Reef in the South China Sea on April 25, 2024. Optical microscopy and scanning electron microscopy were used for morphological characterization of this species. The 18S rRNA gene fragment was amplified and sequenced to reconstruct the phylogenetic relationships of the species belonging to Serpulidae. The worms inhabit white calcareous tubes and are composed of four parts: branchial crown, thoracic region, abdominal region, and posterior region. A light-yellow funnel is shown in some individuals occasionally; the worms usually demonstrate thoracic membranes which extend to the middle of the thoracic region; the pinnule is red at the root and forms a

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2021YFF0502800), 广东省林业局自然资源事务(生态林业建设)专项资金项目 (No. SLYJ2023B4004), 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)PI项目 (No. GML2022GD0804);

* 通信作者, E-mail: wenhua.yu@gzhu.edu.cn, zhouwl@gmlab.ac.cn;

第一作者介绍 魏才琪, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物学; E-mail: 3118785176@qq.com。

收稿日期: 2025-01-06, 修回日期: 2025-06-27 DOI: 10.13859/j.cjz.202625003 CSTR: 32109.14.cjz.202625003

circular structure when stretching out (Fig. 1). The thoracic region of the worms has 12 or more thoracic chaetigers. The collar chaetiger demonstrates smooth capillary collar chaetae and geniculate chaetae, whereas the other thoracic chaetigers show much more diverse structures of chaetae, including capillary collar chaetae, smooth capillary collar chaetae, collar chaetae with coarse teeth, apomatus chaetae, and sickle chaetae. The abdominal uncini is rasp-shaped with 3 to 7 teeth in transverse rows; posterior region encompasses a slit-like anus (Figs. 2, 3). The maximum likelihood tree based on the 18S RNA sequence fragment showed that the sample in this study clustered with *F. elatensis*. Sequence alignment between *F. elatensis* and our sample showed a comparable fragment with the length of 438 bp and the similarity of 99.09% (Fig. 4, Appendix 1). Combining the morphological characteristics and molecular phylogenetic evidence, this species is identified as *F. elatensis*. The new distribution record of *F. elatensis* in this study enriches the marine species database of China.

Key words: Serpulidae; Tube worms; Phylogeny; Nansha Islands; New record

多毛纲 (Polychaeta) 动物俗称多毛类、刚毛虫、多毛虫, 隶属于环节动物门 (Annelida) (Struck et al. 2011), 大部分多毛类为海生类群 (孙瑞平和杨德渐 2014)。目前已记录的多毛类物种数量超过 12 000 种 (WoRMS Editorial Board 2025), 其中, 龙介虫科 (Serpulidae) 有 3 亚科 69 属 506 种 (Kupriyanova et al. 2020, Capa et al. 2021), 包括丝管虫亚科 (Filograninae)、龙介虫亚科 (Serpulinae) 和螺旋虫亚科 (Spirorbinae)。龙介虫具有显著区别于其他多毛纲类群的胸膜特征 (孙瑞平和杨德渐 2014), 多栖于海洋硬底质上或造礁珊瑚中, 能通过碳酸钙沉积形成单个或多个成束的钙质栖管, 是重要的造礁生物, 对于充分发挥珊瑚礁为其他生物比如藤壶科 (Balanidae) 动物以及石首鱼科 (Sciaenidae) 鱼类等提供栖息和庇护的能力至关重要 (Palmer et al. 2022, 安鑫龙等 2023)。目前人们对海洋环节动物的了解有限, 因而龙介虫科物种多样性可能被严重低估 (Hutchings and Kupriyanova 2018)。

孙瑞平和杨德渐 (2014) 对我国分布的龙介虫科物种名录进行了系统整理, 共鉴定 23 属 98 种, 其中细丝管虫属 (*Filogranella*) 物种未被记录。目前已知细丝管虫属包括 3 种: *F. aberrans*、埃拉特细丝管虫 (*F. elatensis*) 和 *F. prampramiana* (ten Hove and Kupriyanova

2009), 主要分布在红海和加勒比海, 以及印度尼西亚、菲律宾和马来西亚海域 (Ben-Eliahu and Dafni 1979, Allen and Steene 1996, Gosliner et al. 1996, Hoeksema and ten Hove 2011, Prentiss et al. 2014)。我国南海海域毗邻印度尼西亚和菲律宾等地, 因此可能是细丝管虫属物种分布的潜在适宜栖息地。

本研究团队于 2024 年 4 月 25 日在我国海南省三沙市南沙区南沙群岛美济礁潟湖内 (9°53' N, 115°34' E) 采集到一种小型造礁管虫, 经形态观察和分子标记分析, 鉴定为细丝管虫属埃拉特细丝管虫, 为该属和该种在中国的首次记录, 补充了我国海洋生物的物种多样性数据。

1 研究方法

1.1 标本采集及形态学指标度量

样本通过潜水采集, 采样点水深约为 15 m。完整形态的样本保存于 10% 福尔马林溶液中用于形态学及显微结构观察, 部分样品经液氮速冻后保存于 -80 °C 冰箱用于后续基因组提取, 标本保藏地为国家动物标本资源库 (馆藏号: POL101 ~ POL103)。使用数显游标卡尺 (AS0020201, 上海工具厂有限公司, 量程 0 ~ 130 mm, 精度 0.01 mm) 测量虫管的内外径、虫体胸区和腹区长度等关键形态学指标。采用

体视显微镜（Leica 徕卡 S9I，先纳光学仪器有限公司，最大分辨率 500 lp/mm）观察样本鳃冠和刚节等部位的显微形态特征，使用扫描电子显微镜（SU8100，双赢电子科技国际有限公司，放大倍数 20~1 000 000）拍摄刚毛和齿片等微观形态。为鉴定采集样本的物种信息，基于 ten Hove 和 Kupriyanova（2009）提出的细丝管虫属的分类，比较了细丝管虫属内 3 个物种与采集样本的形态特征异同。

1.2 分子系统发育分析

本研究借鉴前人对多毛类动物进行分子标记研究的范例（Rousset et al. 2004, Lehrke et al. 2007, Kupriyanova et al. 2023），采用 18S rRNA 基因片段构建丝管虫亚科物种的系统发育关系。首先称取约 0.3 g 超低温冻存的样本，使用海洋生物通用型基因组提取试剂盒（AG21009，湖南艾科瑞生物工程有限公司）提取基因组 DNA。对 18S rRNA 基因片段进行扩增，扩增引物为：18S-R 5'-GGC AAG TCT GGT GCC AG-3' 和 18S-F 5' GAC TAC GAC GGT ATC TRA TCR TCT TCG-3'。PCR 产物纯化后送至北京诺禾致源科技股份有限公司进行测序。结合 Kupriyanova 等（2023）公布的龙介虫科物种 18S rRNA 基因序列（附录 1），使用 MEGA 11（Tamura et al. 2021）和 Trimal 软件（Capella-Gutiérrez et al. 2009）进行序列比对。螺旋虫亚科是丝管虫亚科进化树上的姐妹支系，因此本研究选择螺旋虫亚科的 *Spirorbis tridentatus* 作为外群（Kupriyanova et al. 2023）。使用 RaxML v8.2 软件（Stamatakis et al. 2014）基于最大似然法构建进化树，并进行 1 000 次 bootstrap 重抽样分析，检验各节点置信度，最后使用 Jalview 2.11.2（Waterhouse et al. 2009）软件进行序列可视化。

2 结果

2.1 新记录种分类地位

缨鳃虫目 Sabellida Levinsen, 1883

龙介虫科 Serpulidae Rafinesque, 1815

丝管虫亚科 Filograninae Rioja, 1923

细丝管虫属 *Filogranella* Ben-Eliahu & Dafni, 1979

埃拉特细丝管虫 *Filogranella elatensis* Ben-Eliahu & Dafni, 1979

2.2 国内属种检索表

该物种尚未在《中国动物志 无脊椎动物第五十四卷 环节动物门 多毛纲（三）缨鳃虫目》（孙瑞平和杨德渐 2014）中描述，现补充该物种的相关信息，并附上其所在亚科的国内属种检索表。

丝管虫亚科

1. 具壳盖

具软球状或软膜囊状壳盖……………球盖虫属 *Apomatus*
部分鳃冠具倒锥形漏斗状壳盖……………

……………细丝管虫属 *Filogranella*

2. 无壳盖

鳃丝顶端均不膨大；领刚毛为基部非鳍状膨大的翅
毛状……………原管虫属 *Protula*

鳃丝均或部分顶端膨大；领刚毛为基部鳍状膨大的鳍-
叶片状……………线管虫属 *Salmacina*

2.3 外形特征描述

虫体群居，深红色，栖息于白色钙质管内，管壁厚，呈圆柱形，长约 0.5 m，管口近圆形，表面有不规则生长横纹和 3~5 条不明显纵脊。虫体两侧对称，分为头部鳃冠、胸区、腹区和肛区四部分。静息状态下，鳃冠暴露，受刺激时迅速退缩至管内（图 1）。胸、腹区具刚毛和齿片（图 2，3）。

虫管：虫管前端外径（ 1.50 ± 0.20 ）mm，内径（ 1.10 ± 0.20 ）mm；虫体长（ 11.05 ± 3.25 ）mm，宽（ 1.30 ± 0.20 ）mm，（ $n = 5$ ）（图 1a，b）。

鳃冠：部分个体鳃冠具淡黄色壳盖，呈倒锥形漏斗状，壳盖外缘光滑，具有一定的透明度，与波浪状肉质壳盖柄相连（图 1c，d）。鳃冠基部围有发达的领，与胸膜相连，延伸至胸中部，胸膜透明带有不规则纹路。口前叶具两

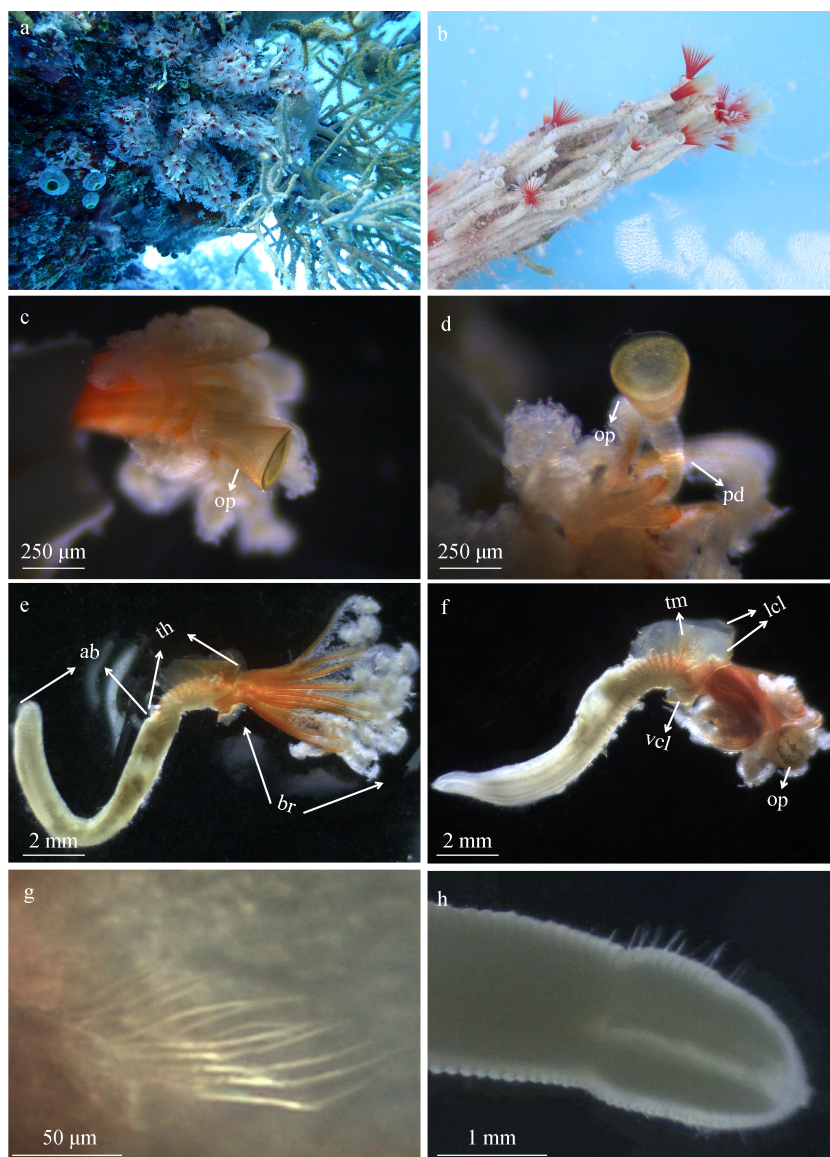


图1 埃拉特细丝管虫的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of *Filogranella elatensis*

a. 野外拍摄; b. 室内拍摄; c、d. 壳盖; e、f. 全虫体长; g. 领刚毛; h. 体后部。ab. 腹区; br. 鳃冠; lcl. 背领叶; op. 壳盖; pd. 壳盖柄; th. 胸区; tm. 胸膜; vcl. 腹领叶

a. Field photography; b. Indoor photography; c, d. Operculum; e, f. Full body images; g. Geniculate chaetae; h. Posterior region. ab. Abdomen; br. Branchial crown; lcl. Lateral collar lobes; op. Operculum; pd. Peduncle; th. Thorax; tm. Thoracic membranes; vcl. Ventral collar lobe

个深棕色眼点丛。鳃叶呈三叶瓣状, 每片叶具7~9根放射状鳃丝, 每根鳃丝约有40对鳃羽枝, 梳状排列, 未观察到鳃间膜。鳃叶基部红色, 逐渐向末端变浅, 展开时呈红色圆形结构(图1e, f)。

胸区: 呈圆筒状, 黄褐色, 长(2.40 ± 0.60) mm, 占虫体总长的1/5至1/4, 具12个或更多胸刚节。第一胸刚节为领刚节, 具光滑的毛状领刚毛(图2h, 3e)和膝状刚毛(图1g), 其余胸刚节具毛状领刚毛(图2g, 3d)、光滑

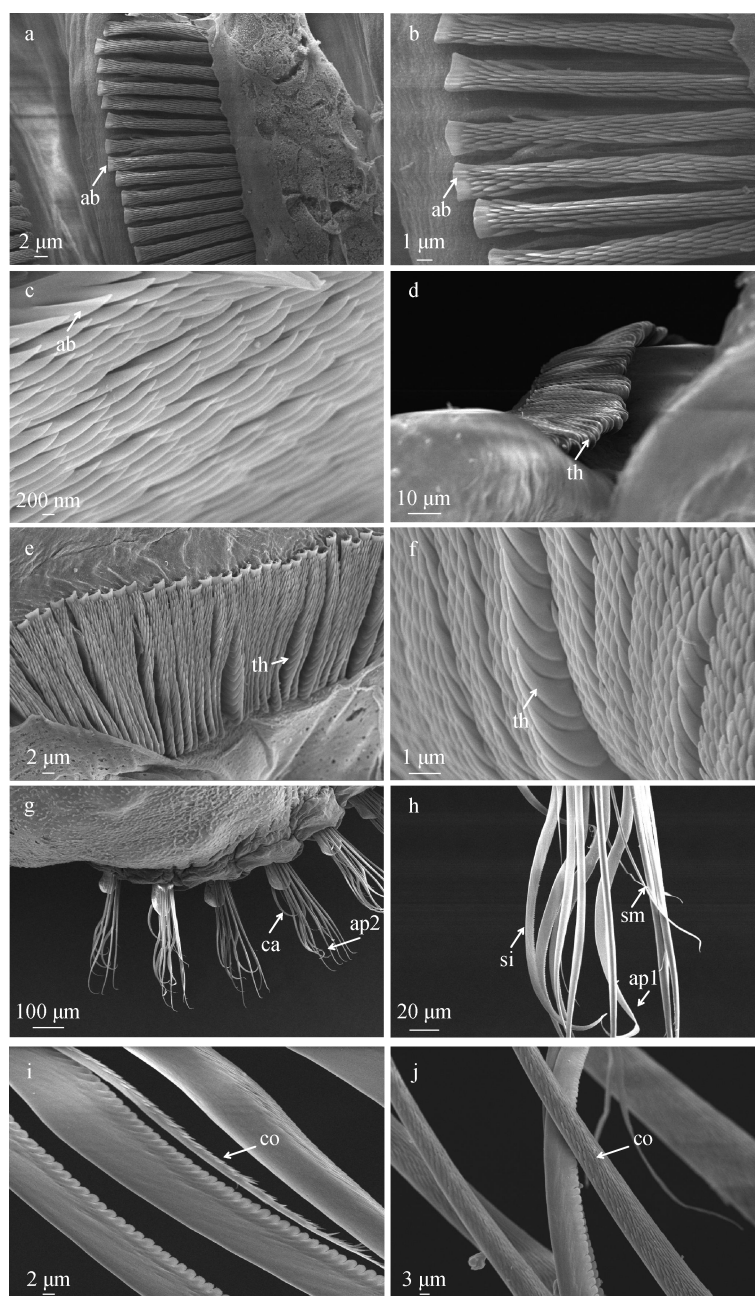


图 2 埃拉特细丝管虫的齿片和刚毛形态的扫描电镜观察

Fig. 2 Morphological details (scanning electron microscopy) of the uncini and chaetae of *Filogranella elatensis*

a~c. 腹部齿片; d~f. 胸部齿片; g. 毛状领刚毛、S 状刚毛; h. 弯刀状刚毛、光滑的毛状领刚毛、S 状刚毛; i. 具粗齿的领刚毛; j. 具粗齿的领刚毛。ab. 腹部锉状齿片; ap1、ap2. S 状刚毛; ca. 毛状领刚毛; co. 具粗齿的领刚毛; si. 弯刀状刚毛; sm. 光滑的毛状领刚毛; th. 胸部锯-锉状齿片

a~c. Abdominal uncini; d~f. Thoracic uncini; g. Capillary collar chaetae, apomatus chaetae; h. Sickle chaetae, smooth capillary collar chaetae, apomatus chaetae; i. Collar chaetae with coarse teeth; j. Collar chaetae with coarse teeth. ab. Abdominal rasp-like uncini; ap1, ap2. Apomatus chaetae; ca. Capillary collar chaetae; co. Collar chaetae with coarse teeth; si. Sickle chaetae; sm. Smooth capillary collar chaetae; th. Thoracic saw-to-rasp uncini

的毛状领刚毛 (图 2h, 3e)、具粗齿的领刚毛 (图 2i, j, 3f)、S 状刚毛 (图 2g, h, 3g1、g2) 和弯刀状刚毛 (图 2h, 3h)。胸部齿片楔状齿 (peg, P), 呈锯-锉状, 竖向约 16 个齿, 水平排列逐渐减少至单齿, 齿式为 (P, 5: 4: 3: 2: 1) (图 2d~f, 3c)。

腹区: 浅黄色, 长 (8.65 ± 2.65) mm, 横截面圆形, 具 60 个以上腹刚节。腹刚毛为翅毛状刚毛, 腹部齿片端尖齿 (fang, F), 呈锉状, 齿式为 (F, 6: 5: 4: 3: 3), 即每横列具 3~7 个齿, 最多 5 纵排 (图 2a~c, 3b)。

肛区: 分为两页, 末端具裂缝状肛门 (图 1h)。

2.4 物种鉴定

2.4.1 形态鉴定 本次采集的样本与 *F. aberrans* (标本号 AK228, 馆藏单位巴黎国家自然历史博物馆环节动物实验室) 在胸部齿片的排列方式与数量、虫管特征和壳盖特征上明显不同。本次采集标本的虫管相互缠绕, 呈弯曲状, 胸部横向齿片由 5 或 6 枚逐渐减少至单个齿片, 壳盖内部透明, 与波浪状肉质壳盖柄相连; 而 *F. aberrans* 的虫管分开呈螺旋状, 胸部横向齿片均为单齿, 壳盖内部有明显的向内放射状纹理, 从边缘逐渐汇聚到中心, 与较细的壳盖柄结合 (Rullier and Amoureux 1979)。本研究的标本与 *F. prampramiana* [编号 256, 记录书籍 *Polychaeta. Contributions to the Knowledge of the Marine Fauna of West Africa* (Augener 1918)] 的鳃冠形态特征和胸刚节数量也具有明显差异。本次采集标本的鳃冠与鳃丝几乎等长, 胸刚节 11~14 个; 而 *F. prampramiana* 的鳃冠处于退化状态, 其鳃丝长度远不及壳盖基部, 胸刚节仅 9 个 (Augener 1918)。

本次采集的样本与 Ben-Eliahu 和 Dafni (1979) 报道的埃拉特细丝管虫在身体颜色、钙质管外形、刚节数量、刚毛微观形态方面具有相似的特征: 虫体均呈深红色, 栖息在带有不规则生长环和纵向脊的白色钙质管中 (图 1a,

b); 具有 11~14 个胸刚节和超过 60 个腹刚节, 鳃丝从管中伸出; 领刚节与胸膜相连、具有领刚毛, 而其余胸刚节具有弯刀状刚毛和 S 状刚毛; 胸部为锯-锉状齿片, 腹部为锉状齿片 (图 3)。综上, 本次采集的样本在形态特征上与埃拉特细丝管虫高度相似, 而与细丝管虫属内另外 2 个物种不同, 因此从形态学上初步鉴定该样本为埃拉特细丝管虫。

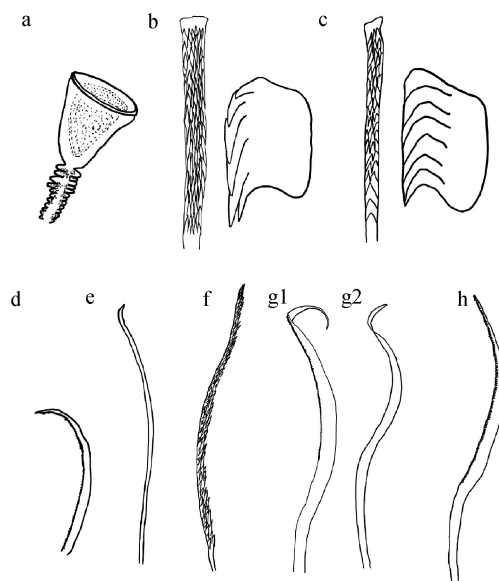


图 3 本研究埃拉特细丝管虫的壳盖和刚毛形态示意图

Fig. 3 Illustrated sketches of operculum and chaetae of *Filogranella elatensis* in this study

a. 壳盖; b. 腹部锉状齿片 (端尖齿); c. 胸部锯-锉状齿片 (楔状齿); d. 毛状领刚毛; e. 光滑的毛状领刚毛; f. 具粗齿的领刚毛; g1、g2. S 状刚毛; h. 弯刀状刚毛。

a. Operculum; b. Abdominal rasp-like uncini (fang concave); c. Thoracic saw-to-rasp uncini (peg concave); d. Capillary collar chaetae; e. Smooth capillary collar chaetae; f. Collar chaetae with coarse teeth; g1, g2. Apomatus chaetae; h. Sickle chaetae.

2.4.2 分子鉴定 基于 18S rRNA 基因 438 bp 序列, 本研究样本与来自 NCBI 数据库中 *F. elatensis* (EU195385.1) 聚为一支, 且分支节点的支持率为 100% (图 4), 两者的序列相似度高达 99.09%, 这表明两者在序列水平上具有高度一致性。因此, 分子证据进一步支持该样本为埃拉特细丝管虫。

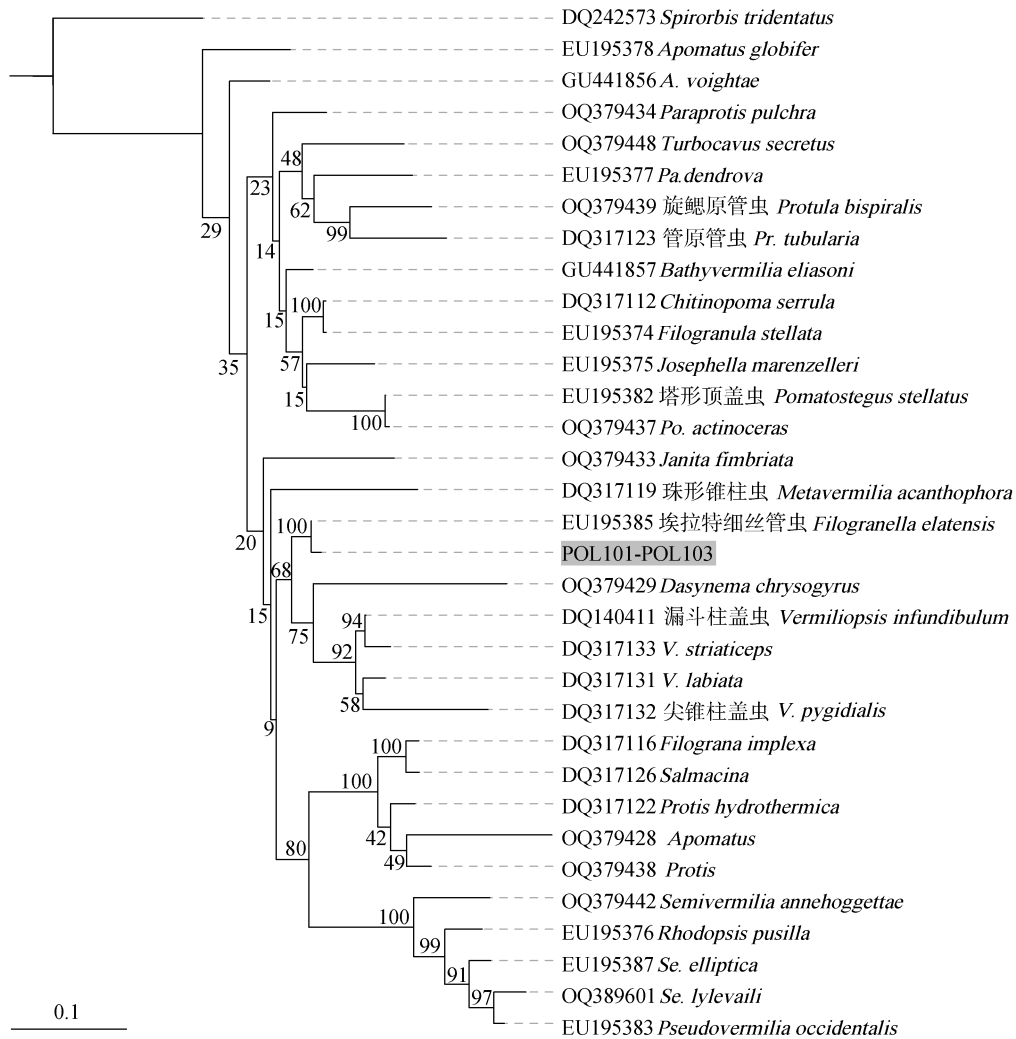


图 4 基于 18S rRNA 基因片段构建的丝管虫亚科最大似然树

Fig. 4 Maximum likelihood phylogenetic tree of Filigraninae based on 18S rRNA gene fragment

节点数字为支持率。支长代表每个位点的突变速率。图中标注灰色底色代表本研究样本。

Node values represent bootstrap support values. Branch lengths indicate the substitutions per site. The gray background indicates the sample from this study.

3 讨论

本次采集的样本在主要形态特征上与 Ben-Eliahu 和 Dafni (1979) 描述的埃拉特细丝管虫相似, 而与 *F. prampramiana* 和 *F. aberrans* 存在明显差异, 这一发现为本研究中的样本鉴定提供了重要形态学依据。同时, 在基于 18S rRNA 基因片段构建的系统发育树中, 本研究采集的样本与 *F. elatensis* (EU195385.1) 聚为一支,

且序列比对结果显示两者序列相似度高达 99.09%, 进一步支持将本研究采集标本与 *F. elatensis* (EU195385.1) 归为同一个物种。值得注意的是, 根据 WoRMS 分类系统, 目前 *F. aberrans* 和 *F. prampramiana* 的分类地位被标记为不确定。这种分类上的不确定性可能源于形态特征的模糊性以及遗传数据的缺乏。尽管如此, 综合当前细丝管虫属的研究现状 (Zibrowius 1973, Rullier and Amoureux 1979, ten Hove and

Kupriyanova 2009), 本研究选择采用 ten Hove 和 Kupriyanova (2009) 报道的分类体系。早期研究依据 *F. prampramiana* 和 *F. aberrans* 的刚毛特征及胸刚节数量支持其归属于细丝管虫属内的不同物种 (Zibrowius 1973, Rullier and Amoureux 1979), 但至今仍缺乏相关分子标记和更为详尽的形态学证据。经查找, 在各个数据库中目前仅有一个 *F. elatensis* 18S rRNA 基因片段 (EU195385.1) 可供参考, 在物种鉴定中广泛应用的 *COI* 和 *Cyt b* 等分子标记均未见报道, 而 18S rRNA 基因存在过于保守导致物种鉴定不确定的问题, 因而后续更多分子标记相关信息的补充将有助于厘清细丝管虫属内的物种分类现状。

ten Hove 和 Kupriyanova (2009) 指出, 细丝管虫属可能是一个复杂的物种复合体, 部分分类形态特征可能出现不一致的情况, 一定程度上影响物种的分类鉴定。在本次采集的样本中, 我们的确观察到同一束钙质栖管中同时存在有和无壳盖的表型变异, 比例大约为 1:9, 由于本研究样本量限制, 未能量化这两种形态差异群体的表型与遗传差异, 未来需要更大规模采样, 并结合传统形态学和高通量测序技术, 对该物种两种表型变异群体进行深入系统的研究, 厘清生态学和遗传学差异, 有助于阐明这一分类学问题。

本研究通过分析从南海采集样本的形态特征及分子系统发育关系, 鉴定该样本为龙介虫科丝管虫亚科细丝管虫属埃拉特细丝管虫, 是细丝管虫属物种在我国的首次记录, 并提供了种属检索表以供后续研究参考。细丝管虫属在我国南海的分布新记录, 丰富了我国珊瑚礁生物的物种多样性记录, 而关于埃拉特细丝管虫的分布范围、种群大小及中国南海岛礁是否有龙介虫科其他物种的分布等情况, 有待进一步调查。

参 考 文 献

Allen G R, Steene R. 1996. Indo-Pacific Coral Reef Field Guide.

Tropical Reef Research, Singapore, 378.

Augener H. 1918. Polychaeta. Contributions to the Knowledge of the Marine Fauna of West Africa. Friedrichsen, Hamburg, (2): 603–604.

Ben-Eliahu M N, Dafni J. 1979. A new reef-building serpulid genus and species from the Gulf of Elat and the Red Sea, with notes on other gregarious tubeworms from Israeli waters. Israel Journal of Zoology, 28(4): 199–208.

Capa M, Kupriyanova E, de Matos Nogueira J M, et al. 2021. Fanworms: yesterday, today and tomorrow. Diversity, 13(3): 130.

Capella-Gutiérrez S, Silla-Martínez J M, Gabaldón T. 2009. trimAl: a tool for automated alignment trimming in large-scale phylogenetic analyses. Bioinformatics, 25(15): 1972–1973.

Gosliner T M, Behrens D W, Williams G C. 1996. Coral Reef Animals of the Indo-Pacific: Animal Life from Africa to Hawaii Exclusive of the Vertebrates. Danville, California: Sea Challengers, 1–314.

Hoeksema B W, ten Hove H A. 2011. Aggregation of the reef-building tube worm *Filogranella elatensis* at Semporna, eastern Sabah, Malaysia. Coral Reefs, 30(3): 839.

Hutchings P A, Kupriyanova E K. 2018. Cosmopolitan polychaetes—fact or fiction? Personal and historical perspectives. Invertebrate Systematics, 32: 1–9.

Kupriyanova E K, Rzhavsky A V, ten Hove H A. 2020. Serpulidae Rafinesque, 1815 // Purschke G, Böggemann M, Westheide W. Handbook of Zoology, Annelida. Berlin/Boston: De Gruyter, 213–275.

Kupriyanova E, ten Hove H A, Rouse G W. 2023. Phylogeny of Serpulidae (Annelida, Polychaeta) inferred from morphology and DNA sequences, with a new classification. Diversity, 15(3): 398.

Lehrke J, ten Hove H A, MacDonald T A, et al. 2007. Phylogenetic relationships of Serpulidae (Annelida: Polychaeta) based on 18S rDNA sequence data, and implications for opercular evolution. Organisms Diversity & Evolution, 7(3): 195–206.

Levinson G M R. 1883. Systematisk-geografisk oversigt over den nordiske Annulata, Gephyrea, Chaetognathi og Balanoglossi. Kjøbenhavn: B. Lunos Kgl. Hof- bogtrykkeri.

Palmer T A, Breaux N, Lebreton B, et al. 2022. Importance of serpulid reef to the functioning of a hypersaline estuary. Estuaries and Coasts, 45(2): 603–618.

Prentiss N K, Vasileiadou K, Faulwetter S, et al. 2014. A new genus and species of Serpulidae (Annelida, Polychaeta, Sabellida) from the Caribbean Sea. Zootaxa, 3900(2): 204–222.

Rafinesque C S. 1815. Analyse de la Nature: or, Tableau de l'Univers et des Corps Organisés. Palerme: Aux dépens de l'auteur, 1–224.

Rioja E. 1923. Estudio Sistemático de las Especies Ibéricas del

Suborden Sabelliformia. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales, 48: 5–144.

Rousset V, Rouse G W, Siddall M E, et al. 2004. The phylogenetic position of Siboglinidae (Annelida) inferred from 18S rRNA, 28S rRNA and morphological data. *Cladistics*, 20(6): 518–533.

Rullier F, Amoureux L. 1979. Annelides Polychetes. Resultats Scientifiques des Campagnes de la Calypso. *Annals of the Institute of Oceanography, Monaco*, 55: 10–206.

Stamatakis A. 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*, 30(9): 1312–1313.

Struck T H, Paul C, Hill N, et al. 2011. Phylogenomic analyses unravel annelid evolution. *Nature*, 471(7336): 95–98.

Tamura K, Stecher G, Kumar S. 2021. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*, 38(7): 3022–3027.

ten Hove H A. 1979. Different causes of mass occurrence in serpulids // Larwood G, Rosen B R. *Biology and Systematics of Colonial Organisms*. London & New York: Academic Press, 281–298.

ten Hove H A, Kupriyanova E K. 2009. Taxonomy of Serpulidae (Annelida, Polychaeta): the state of affairs. *Zootaxa*, 2036(1): 1–126.

Waterhouse A M, Procter J B, Martin D M A, et al. 2009. Jalview Version 2—a multiple sequence alignment editor and analysis workbench. *Bioinformatics*, 25(9): 1189–1191.

WoRMS Editorial Board. 2025. World Register of Marine Species. [DB/OL]. [2025-03-02]. <https://www.marinespecies.org>.

Zibrowius H. 1973. Revision of some Serpulidae (Annelida Polychaeta) from abyssal depths in the Atlantic and Pacific, collected by the “challenger” and prince of Monaco expeditions. *Bulletin of British Museum of Natural History (Zoology)*, 24: 427–439.

安鑫龙, 顾继光, 李元超, 等. 2023. 海洋生物礁类型、生态功能及其生态修复. *生态学报*, 43(19): 7874–7885. [An X L, Gu J G, Li Y C, et al. 2023. A review of types, functions and ecological restoration of marine biogenic reefs. *Acta Ecologica Sinica*, 43(19): 7874–7885.]

孙瑞平, 杨德渐. 2014. 中国动物志 无脊椎动物. 第 54 卷, 环节动物门. 多毛纲. 3. 缨鳃虫目. 北京: 科学出版社, 1–415. [Sun R P, Yang D J. 2014. *Fauna Sinica: Invertebrates*. Vol. 54, Phylum Annelida, Class Polychaeta. 3. Order Sabellida. Beijing: Science Press, 1–415.]

附录 1 本研究系统发育分析所用物种 18S rRNA 基因的 GenBank 序列号

Appendix 1 GenBank accession numbers of 18S rRNA genes used in the phylogenetic analysis

亚科 Subfamily	物种Species	GenBank序列号 GenBank accession number	物种Species	GenBank序列号 GenBank accession number
丝管虫亚科 Filograninae	<i>Apomatus globifer</i>	EU195378	<i>Protis hydrothermica</i>	DQ317122
	<i>Apomatus</i> sp.	OQ379428	<i>Protis</i> sp.	OQ379438
	<i>A. voightae</i>	GU441856	旋鳃原管虫 <i>Protula bispiralis</i>	OQ379439
	<i>Bathyvermilia eliasoni</i>	GU441857	管原管虫 <i>Protula tubularia</i>	DQ317123
	<i>Chitinopoma serrula</i>	DQ317112	<i>Pseudovermilia occidentalis</i>	EU195383
	<i>Dasynema chrysogyrus</i>	OQ379429	<i>Rhodopsis pusilla</i>	EU195376
	<i>Filograna implexa</i>	DQ317116	<i>Salmacina</i> sp.	DQ317126
	<i>Filogranella elatensis</i>	EU195385	<i>Semivermilia annehoggettae</i>	OQ379442
	<i>Filogranula stellata</i>	EU195374	<i>Se. elliptica</i>	EU195387
	<i>Janita fimbriata</i>	OQ379433	<i>Se. lylevaili</i>	OQ389601
	<i>Josephella marenzelleri</i>	EU195375	<i>Turbocavus secretus</i>	OQ379448
	珠形锥柱虫	DQ317119	漏斗柱盖虫	DQ140411
	<i>Metavermilia acanthophora</i>		<i>Vermiliopsis infundibulum</i>	
	<i>Paraprotis dendrova</i>	EU195377	<i>V. labiata</i>	DQ317131
	<i>Pa. pulchra</i>	OQ379434	尖锥柱盖虫 <i>V. pygidialis</i>	DQ317132
	<i>Pomatostegus actinoceras</i>	OQ379437	<i>V. striaticeps</i>	DQ317133
	塔形顶盖虫 <i>Po. stellatus</i>	EU195382		
螺旋虫亚科 Spirorbinae	<i>Spirorbis tridentatus</i>	DQ242573		