

星果衣属（乳嘴衣科）一新种和一中国新记录种

蒋淑华¹ 张超² 姚宗廷³ 刘华杰²

①中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室 北京 100101

②河北大学生命科学与绿色发展研究院 河北 保定 071002

③聊城大学生命科学学院 山东 聊城 252059

摘要: 通过形态学、解剖学、化学与分子系统学相结合的方法对中国星果衣属地衣型真菌进行研究,发现该属一新种即 *Astrothelium sinense* 和一中国新记录种 *A. macrocarpum*。新种的主要特征为地衣体具有突起,子囊器除顶端呈黑色外边缘部分形成白色环状区域且地衣体和假子座均为 UV+黄色,含有地衣黄等。分别与其相似种进行了比较和讨论。本研究为中国地衣志的编研提供了数据储备,并为我国地衣型真菌物种资源开发利用提供基础资料。

关键词: 地衣型真菌, 座囊菌纲, 乳嘴衣目, 表型, 基因型

[引用本文] 蒋淑华, 张超, 姚宗廷, 刘华杰, 2020. 星果衣属(乳嘴衣科)一新种和一中国新记录种. 菌物学报, 39(12): 1-9
Jiang SH, Zhang C, Yao ZT, Liu HJ, 2020. A species new to science and a new Chinese record of *Astrothelium* (Typetheliaceae). Mycosystema, 39(12): 1-9

A species new to science and a new Chinese record of *Astrothelium* (Typetheliaceae)

JIANG Shu-Hua¹ ZHANG Chao² YAO Zong-Ting³ LIU Hua-Jie²

①State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

②College of Life Sciences, Institute of Life Science and Green Development, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China

③College of Life Sciences, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China

Abstract: Based on morphology, anatomy, chemistry and molecular biology, a new species of lichenized fungus *Astrothelium*, *A. sinense*, and a new record to China *A. macrocarpum* were reported. The new species is characterized by thallus bullate-folded, perithecia surrounded by whitish rim except for dark ostiolar area, and thallus and pseudostromata with lichexanthone both showing UV+ yellow. Comparisons and discussions with their similar species were provided. These are basic data for compilation of Flora Lichenum Sinicorum.

Key words: lichenized fungi, Dothideomycetes, Trypetheliales, phenotype, genotype

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(31750001)

Supported by the Major Project of National Natural Science Foundation of China (31750001).

Corresponding author. E-mail: jiangsh@im.ac.cn

Received: 2020-09-02, accepted: 2020-09-16

星果衣属 *Astrothelium* Eschw. 隶属于真菌界 (Fungi), 子囊菌门 Ascomycota, 座囊菌纲 Dothideomycetes, 乳嘴衣目 Trypetheliales, 乳嘴衣科 Trypetheliaceae (Hyde *et al.* 2013), 该属由 Eschweiler 于 1824 年建立 (Eschweiler 1824), 其模式种为 *Astrothelium conicum* Eschw.。

星果衣属传统定义为乳嘴衣科中子囊壳为融合、侧生小孔, 并且子囊孢子为横向分隔的成员。但是 Harris (1989, 1995) 和 Aptroot *et al.* (2008) 指出, 乳嘴衣科分类是基于一系列与系统进化相冲突的特征进行的, 一些不能反应系统学关系的特征被过分强调, 该科属间界限非常模糊, 需要重新修订 (Harris 1989, 1995; Aptroot *et al.* 2008)。同时, Del Prado *et al.* (2006) 和 Nelsen *et al.* (2009) 利用分子数据也证实了星果衣属为非单系类群。此外, Sweetwood *et al.* (2012) 的研究发现乳嘴衣科中砖壁型子囊孢子是由横隔型子囊孢子发展而来, 表明产生不同类型子囊孢子的物种其进化关系非常紧密。基于以上争论, Nelsen *et al.* (2014) 结合分子数据对乳嘴衣科属间系统发育学关系进行了详细研究和订正, 指出 *Bathelium* Ach., *Cryptothelium* A. Massal., *Laurera* Rchb. 和 *Trypethelium* Spreng. 的部分物种在系统学上归属于乳嘴衣科星果衣属的分支, 这一观点也得到了 Lücking *et al.* (2016a, b) 和 Aptroot & Lücking (2016) 的支持, 因而对星果衣属的概念做出了修订 (Nelsen *et al.* 2014; Aptroot & Lücking 2016; Lücking *et al.* 2016a, b)。现在的 *Astrothelium* 属包含了之前的 *Astrothelium*, *Campylothelium* Müll. Arg., *Cryptothelium*, *Laurera* 和 *Trypethelium* (Aptroot & Lücking 2016; Lücking *et al.* 2016a, 2016b), 而成为乳嘴衣科最大的属, 约有 250 多种 (Hyde *et al.* 2013; Medina *et al.* 2017; Wijayawardene *et al.* 2017)。

星果衣属的现代分类学概念较为宽泛, 主要特征可以总结为地衣体具皮层, 通常为橄榄绿

色; 子囊器为子囊壳, 单生、聚生或形成假子座, 其结构和颜色通常与地衣体不同; 子囊壳突出于菌体表面或者包埋于假子座中; 小孔顶生或侧生, 融合或非融合; 子囊孢子多为横隔型, 具菱形腔, 也常见砖壁型子囊孢子; 子囊孢子颜色多为无色透明, 偶有棕色 (Aptroot & Lücking 2016; Medina *et al.* 2017)。然而, 无论是其传统还是现行的修订定义, 均表明星果衣属类群为泛热带分布 (Harris 1984; Makhija & Patwardhan 1989; Awasthi 1991; Aptroot *et al.* 2008; Kirk *et al.* 2008; Aptroot 2009; Hyde *et al.* 2013; Luangsuphabool *et al.* 2016; Aptroot & Lücking 2016)。

目前, 我国对星果衣属的报道较少, 此前仅有 3 种报道, 即肉桂星果衣 *Astrothelium cinnamomeum* (Eschw.) Müll. Arg. (Aptroot & Seaward 1999)、丽星果衣 *A. speciosum* Zahlbr. (Zahlbruckner 1933) 和瘤星果衣 *A. variolosum* (Ach.) Müll. Arg. (Zahlbruckner 1932)。因此, 有必要对我国星果衣属类群进行系统研究, 为我国生物物种多样性和对其进行资源开发利用提供数据; 同时, 有利于进一步讨论该类群在座囊菌纲的分化地位, 为完善座囊菌纲地衣的进化提供材料。

1 材料与方法

1.1 研究材料

本研究所用到的标本采集于广东省和海南省, 新种模式标本保存于聊城大学生命科学学院菌物标本室 (LCUF), 新记录种标本保藏于中国科学院微生物研究所菌物标本馆地衣标本室 (HMAS-L)。

1.2 方法

1.2.1 表型研究: 表型特征研究应用体视显微镜 (Motic SMZ-168 和 LEICA M125) 进行观察并拍照。解剖学特征研究应用普通光学透视显微镜

(Zeiss Axioscope 2) 对子囊器和分生孢子器内部结构进行研究。化学特征研究, 在颜色反应 (color test) 中, 使用 K 试剂 (10% 氢氧化钾水溶液)、C 试剂 (次氯酸钠水溶液的饱和溶液) 和 P 试剂 (95% 乙醇中对苯二胺的饱和溶液) 进行测试; 地衣次生代谢物用标准薄层色谱法 (TLC) 检测, 使用 C 溶剂系统 (Culberson & Kristinsson 1970; Orange *et al.* 2010)。

1.2.2 基因型研究: DNA 提取和 PCR 扩增: 采用改良的 CTAB 法 (Rogers & Bendich 1988) 从新鲜地衣体中提取总 DNA, 并扩增其 ITS 片段, 所用引物为 ITS5 和 ITS4 (White *et al.* 1990)。采用 Jiang *et al.* (2020) 的反应体系和条件进行 PCR 扩增, 并用琼脂糖凝胶电泳检测产物。将条带清晰、片段大小符合所测片段长度的 PCR 产物送北京美吉桑格生物医药科技有限公司进行测序。

序列拼接: 测序公司返回双向原始序列使用 Lasergene 7.10 软件包提供的 Seqman 软件进行拼接, 将序列两端不理想序列去除。本研究系统发育学分析所用序列见表 1, 其中作者新获得序列已提交至 GenBank 数据库, 表中用加粗字体表示。

构建系统发育树: 将新测得的 ITS 序列与 GenBank 中下载的 *Astrothelium* 其他 17 条序列 (表 1) 使用 MEGA 软件进行比对 (Kumar *et al.* 2016)。以与星果衣属同隶属于 Trypetheliaceae 的 *Trypethelium eluteriae* Spreng. 为外群 (Hyde *et al.* 2013), 采用最大似然法 (Maximum Likelihood, ML) 和邻接法 (Neighbor-Joining, NJ) 构建系统树。其中, ML 树利用 FastTree 软件构建 (Price *et al.* 2010), NJ 树运用 MEGA 软件构建, bootstrap 值设为 1000。最大似然法和邻接法支持率不小于 70% 时为显著支持。

2 结果与分析

2.1 系统发育学分析

本研究分析所用的 ITS 序列由 459 个位点组成, 包括来源于 10 个物种的 21 条序列, 其中 2 条为本研究新获得序列 (表 1)。通过最大似然法 ML 构建的系统树 (图 1) 可以看出, *Astrothelium* 属内不同物种之间基因型差异很大, 各自形成独立的分支, 揭示该类群较高的遗传多样性, 这可能与该类群主要分布在泛热带地区有关。新种 *A. sinense* S.H. Jiang & C. Zhang 形成的分支具有较高的支持率 (100/100), 并与其他物种明显区分。

表 1 分子系统学分析所用标本和序列信息

Table 1 Voucher information and GenBank accession numbers for specimens used in phylogenetic analyses

种名 Species	标本号 Species No.	GenBank 序列号 ITS GenBank accession numbers
<i>Astrothelium aenascens</i>	HRK93	LC127385
<i>A. aenascens</i>	HRK98	LC127386
<i>A. cinnamomeum</i>	DUKE	DQ782839
<i>A. flavocoronatum</i>	KY859	LC127381
<i>A. flavocoronatum</i>	TSL63	AB758900
<i>A. macrocarpum</i>	NSR6	AB759880
<i>A. macrocarpum</i>	UBN37	LC127384
<i>A. macrocarpum</i>	UBN43	LC127383
<i>A. macrocarpum</i>	UBN113	LC127382
<i>A. macrostiolatum</i>	PHL84	LC127389
<i>A. neglectum</i>	TAK8	LC127392
<i>A. neglectum</i>	TAK12	LC127393
<i>A. neglectum</i>	TAK17	LC127394
<i>A. neovariolosum</i>	KY777	LC127390
<i>A. neovariolosum</i>	KY848	LC127391
<i>A. siamense</i>	KRB105	LC127387
<i>A. siamense</i>	KRB139	LC127388
<i>A. sinense</i> sp. nov.	LCUF GD19282	MT948055
<i>A. sinense</i> sp. nov.	LCUF GD19156	MT948056
<i>Trypethelium eluteriae</i>	TLN3	AB758893
<i>T. eluteriae</i>	NAN25	LC034175

注: 粗体表示本研究新获得序列

Note: Newly generated sequences are indicated in boldface.

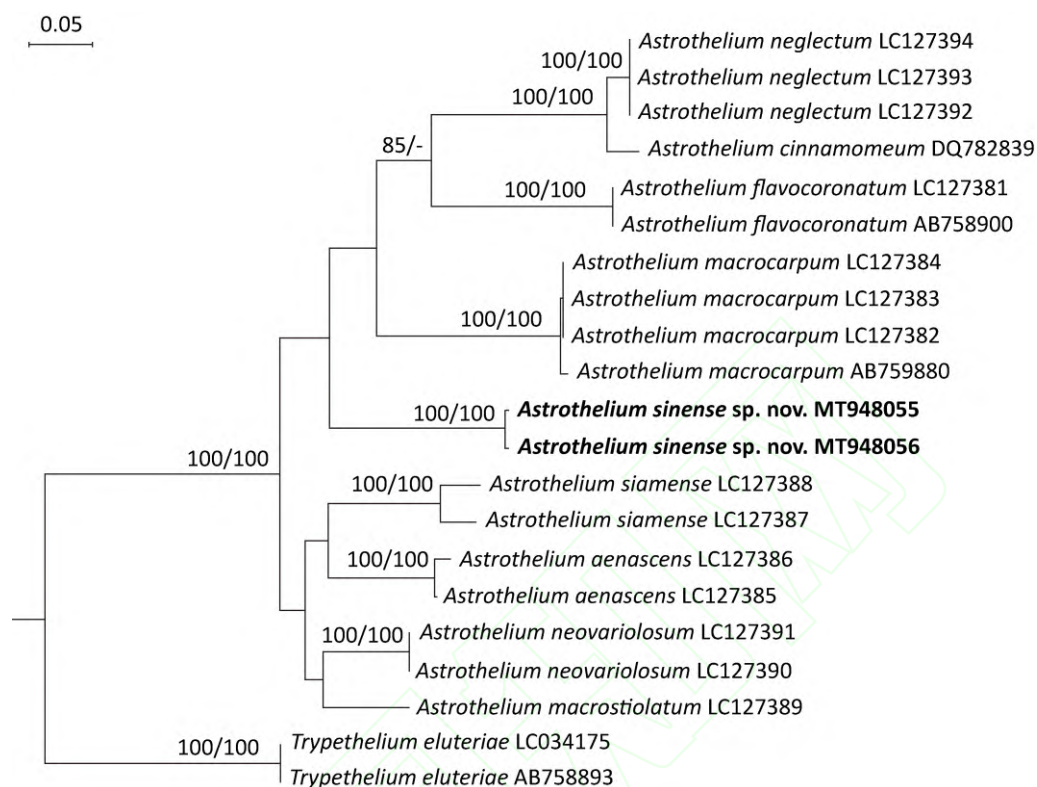


图 1 基于 ITS 序列构建的星果衣属 ML 系统发育树 黑色字体标注为本研究新获得序列, 仅显示支持率 (ML/NJ) 大于 10% 的分支支持率 (ML/NJ) 不小于 70% 时显示

Fig. 1 Phylogenetic tree constructed through ML analysis based on ITS sequences. The new sequences generated in this study are indicated in boldface. Maximum likelihood and neighbor-joining bootstrap value above 70% (ML/NJ) are shown at nodes.

2.2 物种描述

2.2.1 *Astrothelium sinense* S.H. Jiang & C. Zhang, sp. nov. 图 2

Fungal Names FN570752

Type: CHINA. Guangdong: Guangzhou City, South China Botanical Garden, 23° 10' 44"N, 113° 21' 20"E, alt. 26m, on bark, 20 Jan. 2019, Z.T. Yao GD19282 (holotype, Fungarium of the College of Life Sciences, Liaocheng University (LCUF)).

Etymology: The epithet "sinense" refers to the discovery locality China of this species.

Thallus crustose, corticate, yellowish green to olive-green or pale green, shiny, continuous, bullate-folded, 60–110µm thick, covering areas 2–9cm diam., not surrounded by a prothallus.

Photosynthetic symbiotic algae *Trentepohlia* sp. Ascomata perithecia, conical or pyriform, 0.2–0.3mm diam., solitary to confluent but often dense, sometimes in pseudostromata. Perithecia with flattened tops, covered by thallus except for dark ostiolar area surrounded by whitish rim. Ostioles apical, fused, 10–30µm diam. Ascomatal wall carbonized, black, 60–265µm thick. Hamathecium interspersed with oil drops. Asci cylindrical to clavate, hyaline, 115–130µm×12–15µm, 8-spored, biseriate. Ascospores fusiform, 3-septate, with diamond-shaped lumina, hyaline, 18–21µm×6–8µm, surrounded by gelatinous sheath, 3–12µm wide. Pycnidia not seen.

Chemistry: Thallus UV+ yellow, K+ yellow, C–,

KC+ yellow, P-. Pseudostromata UV+ yellow, K+ yellow, C-, KC+ yellow, P-. Lichexanthone (by TLC).

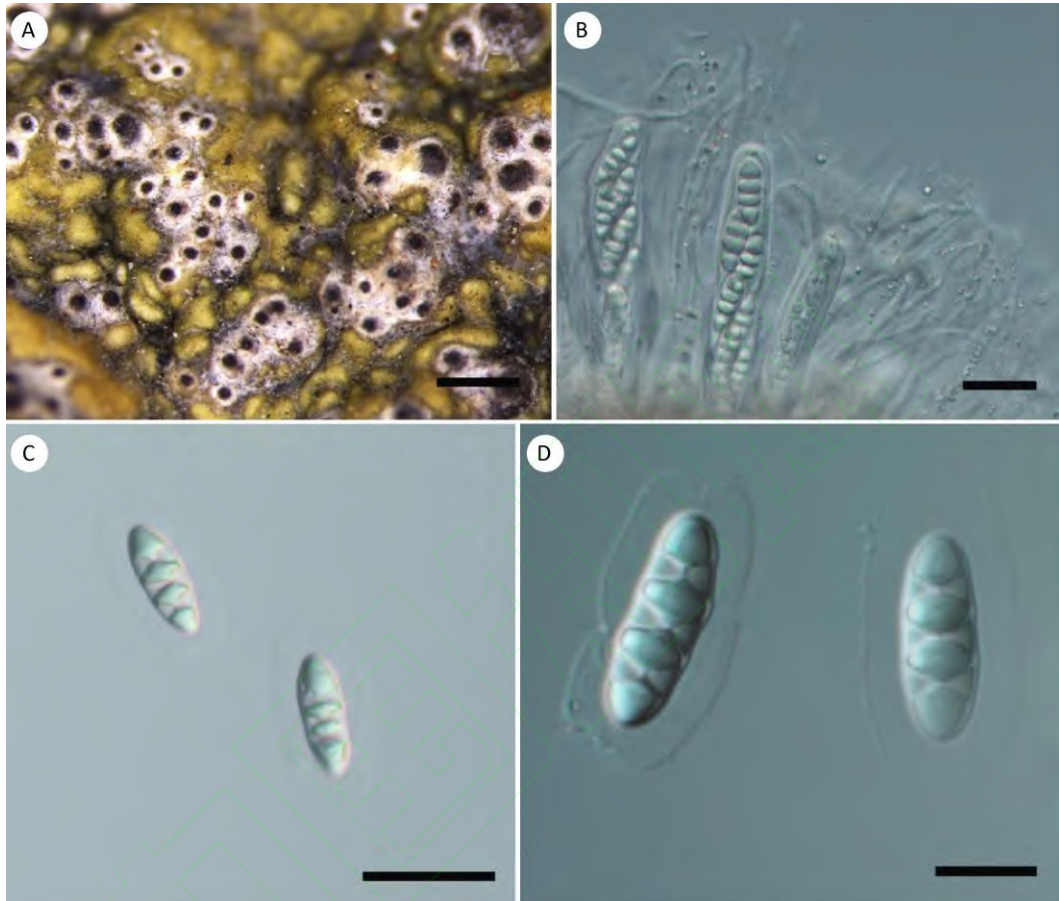


图 2 *Astrothelium sinense* (holotype, GD19282) A: 地衣体及子囊器; B: 子囊及子囊孢子; C-D: 子囊孢子. 标尺: A=0.5mm; B-C=20 μ m; D=10 μ m

Fig. 2 *Astrothelium sinense* (holotype, GD19282) A: Thallus with ascomata; B: Ascus including ascospores; C-D: Ascospores. Scale bars: A=0.5mm; B-C=10 μ m; D=10 μ m.

词源：指该新种发现自中国。

地衣体壳状，具皮层，连续，有光泽，黄绿色至橄榄绿色或灰绿色，表面具突起或皱褶，厚 60–110 μ m，宽 2–9cm。共生藻为橘色藻属 *Trentepohlia* sp.。子囊器为子囊壳，圆锥形或梨形，直径 0.2–0.3mm，突出于地衣体，单生，分散或连续排布，或聚集形成假子座。子囊壳被菌体覆盖至孔口附近，顶端呈黑色，较平坦，边缘白色。小孔顶生，融合，直径 10–30 μ m。子囊壳外壁碳化，厚 60–265 μ m；囊间丝较细，具油

滴；子囊棍棒形或圆柱形，无色，115–130 μ m \times 12–15 μ m，含有 8 个子囊孢子，双列；子囊孢子纺锤形，3 隔，形成菱形或椭圆形腔，无色，18–21 μ m \times 6–8 μ m，周围具胶质状附属物，宽 3–12 μ m。分生孢子器未见。

化学：菌体：UV+黄色；K+橙黄色至橙红色；C-；KC+淡黄色；P-。假子座：UV+黄色；K+橙黄色或橙红色；C-；KC+淡黄色；P-。含有地衣黄 (TLC)。

生长基物：树皮。

研究标本: 广东, 广州, 中国科学院华南植物园, 海拔 26m, 2019 年 1 月 20 日, 姚宗廷 GD19282 (holotype, LCUF); 广东, 深圳, 仙湖植物园, 海拔 102m, 2019 年 1 月 18 日, 姚宗廷 GD19156 (paratype, LCUF)。

讨论: 该新种的主要特征为地衣体橄榄绿色, 具有突起; 子囊器被菌体覆盖, 顶端呈黑色, 边缘形成白色环状区域; 地衣体和假子座均为 UV+黄色, 含有地衣黄。该种在子囊器形态、子囊孢子大小等方面与 *Astrothelium nitidiusculum* (Nyl.) Aptroot & Lücking 相似, 但后者囊间丝清澈, 不含油滴, 地衣体和假子座均为 UV-, 且不含任何化学物质 (Aptroot & Lücking 2016)。该种与 *Astrothelium subinterjectum* Lücking, M.P. Nelsen & Jungbluth 在地衣体和子囊器形态方面相近, 但后者地衣体 UV-和具有较大的子囊孢子 (20–25 μm ×7–9 μm) (Lücking *et al.* 2016b)。此外, *A. punctulatum* Malme 和 *A. eustomum*

(Mont.) Müll. Arg.均为子囊器小孔顶部黑色、边缘白色, 且都含有化学物质地衣黄的物种, 但两者地衣体均为 UV-, K-, 且子囊孢子都略大于该新种 (*A. punctulatum* 为 23–27 μm ×8–9 μm , *A. eustomum* 为 22–30 μm ×6–8 μm ; Aptroot & Lücking 2016)。其次, *A. subscoria* Flakus & Aptroot 和 *A. neglectum* Luangsaph., Aptroot & Sangvichien 也与该新种相似, 但前者地衣体和假子座均为 UV-, 且不含任何化学物质 (Flakus *et al.* 2016); 后者地衣体光滑, 子囊孢子较大 (23–27 μm ×8–9 μm) 且为 3–5 隔 (Luangsaphabool *et al.* 2016)。基于以上特征比较, 结合分子数据, 确定该种为新种, 其分布仅见本研究引用标本采集地点广东省 (中国华南地区)。

2.2.2 *Astrothelium macrocarpum* (Fée) Aptroot & Lücking, Lichenologist 48(6): 867 (2016). 图 3

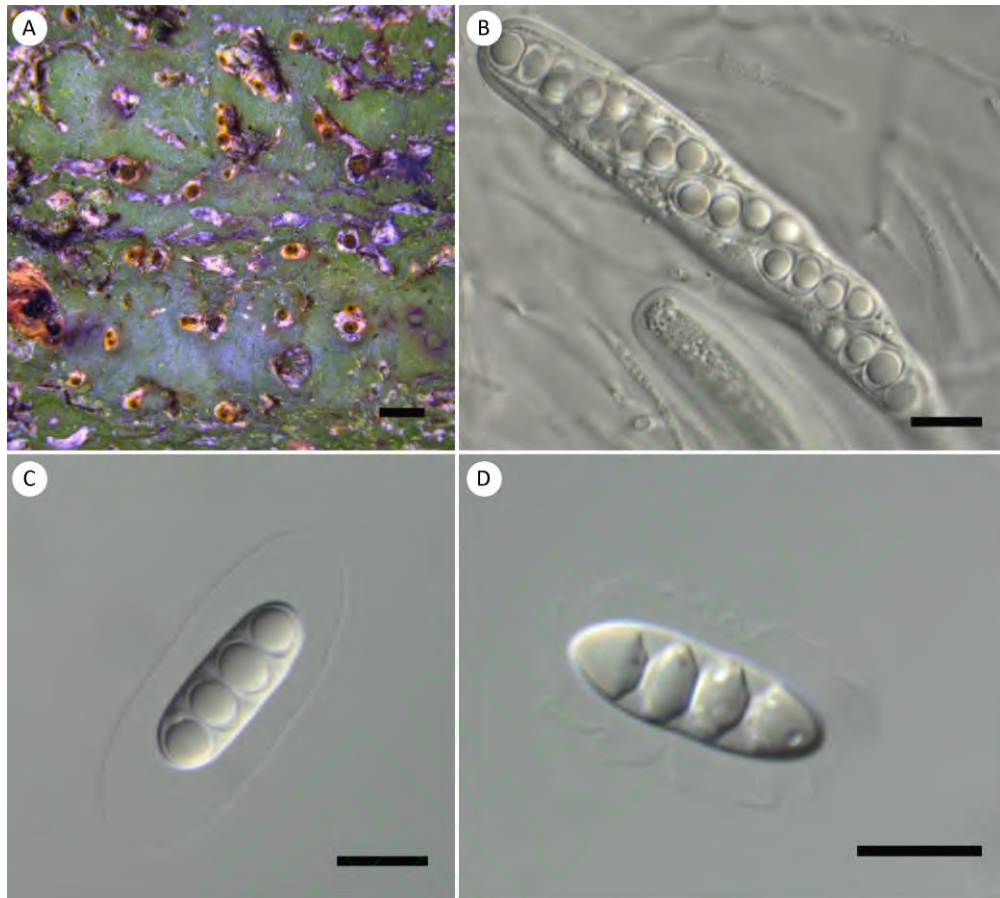


图 3 *Astrothelium macrocarpum* 20192273 (HMAS-L0146701) A: 地衣体及子囊器; B: 子囊和子囊孢子; C, D: 子囊孢子. 标尺: A=1mm; B-D=10 μ m

Fig. 3 *Astrothelium macrocarpum* 20192273 (HMAS-L0146701) A: Thallus with ascomata; B: Ascus including ascospores; C, D: Ascospores. Scale bars: A=1mm; B-D=10 μ m

地衣体壳状，具皮层，橄榄绿色至黄绿色，光滑或不平坦。共生藻为橘色藻属 (*Trentepohlia* sp.)。

子囊器为子囊壳，突出于地衣体，形成假子座。子囊壳顶部平坦，被菌体覆盖，顶部带有橙黄色色素，侧边部分呈白色；小孔融合；囊间丝清晰；子囊棍棒形或圆柱形，无色，含有 8 个子囊孢子，双列；子囊孢子纺锤形至椭圆形，3 个横隔，形成菱形或椭圆形腔，无色，20–27 μ m \times 7–12 μ m。

化学：菌体含有地衣黄，UV+黄色；K-。假子座带有橙黄色色素，UV+红色；K+紫色。

生长基质：树皮。

研究标本：海南，昌江黎族自治县，霸王岭国家森林公园，海拔 551m，2019 年 12 月 8 日，张超、姚宗廷 20192273 (HMAS-L0146701)。

分布：该种为泛热带分布，目前在 美国、古巴、哥斯达黎加、巴拿马、委内瑞拉、圭亚那、法国、法属圭亚那、南非、印度、斯里兰卡、新加坡、泰国、婆罗洲、巴布亚新几内亚和澳大利亚等地区有报道 (Aptroot & Lücking 2016)。

讨论：该种主要特征为子囊器顶部带有橙黄色色素，这与 *A. ochrothelium* (Nyl.) Müll. Arg. 相似，但后者子囊孢子相对较大 (37–45 μ m \times 15–23 μ m; Aptroot & Lücking 2016)。 *Astrothelium flavocoronatum* Luangsoph., Aptroot

& Sangvichien 也与该种相似, 但因其子囊壳为两室而与该种区分 (Luangsuphabool *et al.* 2016)。中国新记录种。

致谢: 感谢中国科学院微生物研究所菌物标本馆地衣标本室 (HMAS-L) 和聊城大学生命科学学院菌物标本室 (LCUF) 在标本检查和借阅方面给予的帮助。

[REFERENCES]

- Aptroot A, 2009. Trypetheliaceae. *Flora of Australia*, 57: 535-552
- Aptroot A, Lücking R, 2016. A revisionary synopsis of the Trypetheliaceae (Ascomycota: Trypetheliales). *Lichenologist*, 48: 763-982
- Aptroot A, Seaward MRD, 1999. Annotated checklist of Hong Kong lichens. *Tropical Bryology*, 17: 57-101
- Aptroot A, Lücking R, Sipman HJM, Umaña L, Chaves JL, 2008. Pyrenocarpous lichens with bitunicate asci: a first assessment of the lichen biodiversity inventory of Costa Rica. *Bibliotheca Lichenologica*, 97: 1-162
- Awasthi DD, 1991. A key to the microlichens of India, Nepal and Sri Lanka. *Bibliotheca Lichenologica*, 40: 1-340
- Culberson CF, Kristinsson HD, 1970. A standardized method for the identification of lichen products. *Journal of Chromatography A*, 46: 85-93
- Del Prado R, Schmitt I, Kautz S, Palice Z, Lücking R, Lumbsch HT, 2006. Molecular data place Trypetheliaceae in Dothideomycetes. *Mycological Research*, 110: 511-520
- Eschweiler FG, 1824. *Systema lichenum: genera exhibens rite distincta, pluribus novis adaucta*. Nuremberg: J. L. Schrag
- Flakus A, Kukwa M, Aptroot A, 2016. Trypetheliaceae of Bolivia: an updated checklist with descriptions of twenty-four new species. *Lichenologist*, 48(6): 661-692
- Jiang SH, Hawksworth DL, Lücking R, Wei JC, 2020. A new genus and species of foliicolous lichen in a new family of Strigulales (Ascomycota: Dothideomycetes) reveals remarkable class-level homoplasy. *IMA Fungus*, 11: 1
- Harris RC, 1984. The family Trypetheliaceae (Loculoascomycetes: lichenized Melanommatales) in Amazonian Brazil. *Acta Amazonica (Supplement)*, 14: 55-80
- Harris RC, 1989. Working keys to the lichen-forming fungi of Puerto Rico. Tropical Lichen Workshop, presented at Catholic University of Puerto Rico. Bronx: published by the author.
- Harris RC, 1995. More Florida lichens: Including the 10¢ tour of the pyrenolichens. Bronx: Published by the author. 1-182
- Hyde KD, Gareth Jones EB, Liu JK, Ariyawansa H, Boehm E, Boonmee S, Braun U, Chomnunti P, Crous PW, Dai DQ, Diederich P, Dissanayake A, Doilom M, Doveri F, Hongsanan S, Jayawardena R, Lawrey JD, Li YM, Liu YX, Lücking R, Monkai J, Muggia L, Nelsen MP, Pang KL, Phookamsak R, Senanayake IC, Shearer CA, Suetrong S, Tanaka K, Thambugala KM, Wijayawardene NN, Wikee S, Wu HX, Zhang Y, Aguirre-Hudson B, Alias SA, Aptroot A, Bahkali AH, Bezerra JL, Bhat DJ, Camporesi E, Chukeatirote E, Gueidan C, Hawksworth DL, Hirayama K, Hoog SD, Kang JC, Knudsen K, Li WJ, Li XH, Liu ZY, Mapook A, McKenzie EHC, Miller AN, Mortimer PE, Phillips AJL, Raja HA, Scheuer C, Schumm F, Taylor JE, Tian Q, Tibpromma S, Wanasinghe DN, Wang Y, Xu JC, Yacharoen S, Yan JY, Zhang M, 2013. Families of Dothideomycetes. *Fungal Diversity*, 63: 159-161
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA, 2008. *Dictionary of the Fungi*. 10th edn. Wallingford: CAB International. 1-771
- Kumar S, Stecher G, Tamura K. 2016. MEGA 7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33(7): 1870-1874
- Lücking R, Nelsen MP, Aptroot A, Klee RB, Bawingan PA, Benatti MN, Binh NQ, Bungartz F, Cáceres MES, Canêz LS, Chaves JL, Ertz D, Esquivel RE, Ferraro LI, Grijalva A, Guedan C, Hernández JEM, Knight A, Lumbsch HT, Marcelli MP, Mercado-Díaz JA, Moncada B, Morales EA, Naksuwankul K, Orozco T, Parnmen S, Plata ER, Salazar-Allen N, Spielmann AA, Ventura N, 2016a. A phylogenetic framework for reassessing generic concepts and species delimitation in the lichenized family Trypetheliaceae (Ascomycota: Dothideomycetes). *Lichenologist*, 48: 739-762
- Lücking R, Nelsen MP, Aptroot A, Benatti MN, Binh NQ, Gueidan C, Gutiérrez MC, Jungbluth P, Lumbsch HT, Marcelli MP, Moncada B, Naksuwankul K, Orozco T,

- Salazar-Allen N, Upreti DK, 2016b. A pot-pourri of new species of Trypetheliaceae resulting from molecular phylogenetic studies. *Lichenologist*, 48(6): 639-660
- Luangsuphabool T, Lumbsch HT, Aptroot A, Piapukiew J, Sangvichien E, 2016. Five new species and one new record of *Astrothelium* (Trypetheliaceae, Ascomycota) from Thailand. *Lichenologist*, 48(6): 727-737
- Makhija U, Patwardhan PG, 1989. The lichen family Asterotheliaceae sensu Zahlbrucker in India. *Biovigyanam*, 15: 61-89
- Medina ES, Aptroot A, Lücking R, 2017. *Aspidothelium silverstonei* and *Astrothelium fuscosporum*, two new corticolous lichen species from Colombia. *Cryotogamie Mycologie*, 38(2): 253-258
- Nelsen MP, Lücking R, Aptroot A, Andrew CJ, Cáceres M, Plata ER, Gueidan C, Canêz LS, Knight A, Ludwig LR, Mercado-Díaz JA, Parnmen S, Lumbsch HT, 2014. Elucidating phylogenetic relationships and genus-level classification within the fungal family Trypetheliaceae (Dothideomycetes: Ascomycota). *Taxon*, 63: 974-992
- Nelsen MP, Lücking R, Grube M, Mbatchou JS, Muggia L, Rivas Plata E, Lumbsch HT, 2009. Unravelling the phylogenetic relationships of lichenised fungi in Dothideomyceta. *Studies in Mycology*, 64: 135-144
- Orange A, James PW, White FJ, 2010. Microchemical methods for the identification of lichens. *Bryologist*, 106: 341-342
- Price MN, Dehal PS, Arkin AP, 2010. FastTree 2-approximately maximum-likelihood trees for large alignments. *PLoS One*, 5: e9490
- Rogers SO, Bendich AJ, 1988. Extraction of DNA from plant tissues. In: Gelvin SB, Schilperoort RA (eds). *Plant molecular biology manual A6*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1-10
- Sweetwood G, Lücking R, Nelsen MP, Aptroot A, 2012. Ascospore ontogeny and discharge in megalosporous Trypetheliaceae and Graphidaceae (Ascomycota: Dothideomycetes and Lecanoromycetes) suggest phylogenetic relationships and ecological constraints. *Lichenologist*, 44: 277-296
- White TJ, Bruns TD, Lee SB, Taylor J, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, 38: 315-322
- Wijayawardene NN, Hyde KD, Rajeshkumar KC, Hawksworth DL, Madrid H, Kirk PM, Braun U, Singh RV, Crous PW, Kukwa M, Lücking R, Kurtzman CP, Yurkov A, Haelewaters D, Aptroot A, Lumbsch HT, Timdal E, Ertz D, Etayo J, Phillips AJL, Groenewald JZ, Papizadeh M, Selbmann L, Dayarathne MC, Weerakoon G, Jones EBG, Suetrong S, Tian Q, Castañeda-Ruiz RF, Bahkali AH, Pang KL, Tanaka K, Dai DQ, Sakayaroj J, Hujsová M, Lombard L, Shenoy BD, Suija A, Maharachchikumbura SSN, Thambugala KM, Wanasinghe DN, Sharma BO, Gaikwad S, Pandit G, Zucconi L, Onofri S, Egidio E, Raja HA, Kodsueb R, Cáceres MES, Pérez-Ortega S, Fiuza PO, Monteiro JS, Vasilyeva LN, Shivas RG, Prieto M, Wedin M, Olariaga I, Lateef AA, Agrawal Y, Fazeli SAS, Amoozegar MA, Zhao GZ, Pfliegler WP, Sharma G, Oset M, Abdel-Wahab MA, Takamatsu S, Bensch K, Silva NID, Kesel AD, Karunarathna A, Boonmee S, Pfister DH, Lu YZ, Luo ZL, Boonyuen N, Daranagama DA, Senanayake IC, Jayasiri SC, Samarakoon MC, Zeng XY, Doilom M, Quijada L, Rampadarath S, Heredia G, Dissanayake AJ, Jayawardana RS, Perera RH, Tang LZ, Phukhamsakda C, Hernández-Restrepo M, Ma XY, Tibpromma S, Gusmao LFP, Weerahewa D, Karunarathna SC, 2017. Notes for genera: Ascomycota. *Fungal Diversity*, 86: 1-594
- Zahlbruckner A, 1932. *Catalogus lichenum universalis VIII*. Leipzig. Reprinted by Johnson Reprint Corporation, New York.
- Zahlbruckner A, 1933. Flechten der Insel Formosa in Feddes, Lichenes in Feddes, *Repertorium sp. nov.* 31: 194-224

(本文责编: 王敏)