

研究报告



来自土壤的金孢属四个新记录种

韩燕峰¹ 邵秋雨¹ 杨娟¹ 张延威² 陈万浩³ 梁建东^{*3} 梁宗琦¹

1 贵州大学生命科学学院生态系真菌资源研究所 贵州 贵阳 550025

2 贵州师范学院生物科学学院 贵州 贵阳 550018

3 贵阳中医学院基础医学院 贵州 贵阳 550025

摘要:【背景】金孢属是一类重要的嗜角蛋白真菌资源。【目的】对我国甘肃省和云南省土壤中的金孢属资源进行调查。【方法】采集不同环境中的土壤样品,利用鸡毛和头发对土壤样品中的这类资源进行钓饵,分离目标菌株;基于形态特征和 ITS rDNA 序列进行系统发育分析相结合的方法进行菌株的鉴定。【结果】从土壤中分离发现 5 个金孢属菌株,其中菌株 H5.11 在形态上与节状金孢模式菌株的形态特征非常相近,而且系统发育中与 GenBank 上报道的该种序列以较高的支持率聚在一个亚分支;H10.10 菌株的形态特征与乔治金孢模式标本的形态非常吻合,培养基上均呈现红色,同时系统发育分析结果表明该菌株与 GenBank 上报道的序列较好的聚在一个亚分支中;EB8803M 和 EB8801M 两个菌株在形态特征上与水生金孢模式标本的描述非常吻合,系统发育分析结果显示它们与网上该种序列能较好地聚在一个亚分支中;O1 菌株在形态特征上与轮带金孢模式标本的描述非常吻合,其系统发育表明它与 GenBank 已报道菌株序列能较好聚在一起。因此将它们鉴定为节状金孢 *Chrysosporium articulatum*、乔治金孢 *C. georgiae*、水生金孢 *C. submersum* 和轮带金孢 *C. zonatum*。【结论】这 4 个种均为中国新记录种。

关键词: 金孢属, 分类学, 系统发育, 新记录种

Four new soil-inhabiting *Chrysosporium* recordsHAN Yan-Feng¹ SHAO Qiu-Yu¹ YANG Juan¹ ZHANG Yan-Wei² CHEN Wan-Hao³
LIANG Jian-Dong^{*3} LIANG Zong-Qi¹

1 Institute of Fungus Resources, Department of Ecology, College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China

2 School of Biological Sciences, Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018, China

3 School of Basic Medical Science, Guiyang College of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou 550025, China

Abstract: [Background] *Chrysosporium* was a kind of important keratinophilic fungi. [Objective] The *Chrysosporium* resources in soil samples from Gansu and Yunnan provinces were investigated. [Methods]

Foundation items: Foundation of Ministry of Science and Technology of China for Fundamental Research (2013FY110400); National Natural Science Foundation of China (31460010, 31860002); “Thousand” Talent Projects of Guizhou Province (2014); Construction Program of Biology First-class Discipline in Guizhou (GNYL[2017]009)

*Corresponding author: E-mail: Cordyceps@yeah.net

Received: 10-10-2018; Accepted: 23-01-2019; Published online: 19-02-2019

基金项目: 科技部基础性工作专项项目(2013FY110400); 国家自然科学基金(31460010, 31860002); 贵州省高层次创新型人才项目(2014); 贵州省生物学一流学科建设项目(GNYL[2017]009)

*通信作者: E-mail: Cordyceps@yeah.net

收稿日期: 2018-10-10; 接受日期: 2019-01-23; 网络首发日期: 2019-02-19

Different soil samples were collected, and cultivated with the chicken feather and hairs by baiting technique, then the target strains were isolated and identified by the morphological characteristics and phylogeny of ITS rDNA sequences. **[Results]** There were five target strains of *Chrysosporium* obtained, strain H5.11 was very similar to the original description of *C. articulatum* in morphology and clustered into a subclade with the sequence of *C. articulatum* from GenBank in phylogenetic tree; Strain H10.10 was consistent with *C. georgiae* in morphology, both of them appeared red colony, and it was closely related to the type sequence of *C. georgiae* in phylogeny; Strains EB8803M and EB8801M had similar morphological characters to *C. submersum*, and it clustered together with sequences of *C. submersum* from GenBank in phylogenetic tree; Strain O1 was similar to the original description of *C. zonatum* in morphology and it also clustered together with the sequence of *C. zonatum* from GenBank. Therefore, these strains were identified to four species, *C. articulatum*, *C. georgiae*, *C. submersum* and *C. zonatum*. **[Conclusion]** These four species are new to China.

Keywords: *Chrysosporium*, Taxonomy, Phylogeny, New records

金孢属(*Chrysosporium*)是 Corda 等于 1833 年以革质金孢 *C. corii* 为模式种所建立^[1-3]。它的有性型分属于爪甲团囊菌目(*Onygenales*)和粪壳菌目(*Sordariales*)^[4-5]。根据 2018 年 10 月 Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp>)记载, 金孢属迄今已报道了 102 个种名, 经作者对文献研究和总结,

除去同物异名和无效种, 目前有 70 多种。国内对金孢属的研究最早是由梁宗琦先生于 1991 年报道了分离自冬虫夏草上的一个金孢新种, 并将其命名为中国金孢。之后一些学者先后发表了一些新种和新记录种, 目前共有 22 种(表 1)。为了摸清我国嗜角蛋白真菌资源的地理分布和了解其物种多样性, 近年

表 1 国内现已报道的金孢菌名录

Table 1 Lists of *Chrysosporium* spp. in China

序号 No.	学名 Scientific names
1	阿尔维亚金孢 <i>Chrysosporium alvearium</i> F. Liu & L. Cai (2018)
2	穴形节皮菌的金孢属无性型 <i>Chrysosporium</i> anamorph of <i>Arthroderma cuniculi</i> (Dawson) C.A.N. van Oorschot (1980)
3	具刺裸囊菌的金孢属无性型 <i>Chrysosporium</i> anamorph of <i>Gymnoascus exasperatus</i> Z.F. Zhang, F. Liu & L. Cai (2017)
4	棒孢金孢 <i>Chrysosporium clavisorum</i> Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang (2017)
5	法斯特金孢 <i>Chrysosporium fastidium</i> Pitt T. Matsushima & H. Asahina (1958)
6	贵州金孢 <i>Chrysosporium guizhouense</i> Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang (2016)
7	湖北金孢 <i>Chrysosporium hubeiense</i> Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang (2016)
8	印度金孢 <i>Chrysosporium indicum</i> (H.S. Randhawa & R.S. Sandhu) Garg (1966)
9	荆州金孢 <i>Chrysosporium jingzhouense</i> Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang (2017)
10	嗜毛金孢 <i>Chrysosporium keratinophilum</i> D. Frey ex J.W. Carmich. (1962)
11	侧生金孢 <i>Chrysosporium laterisporum</i> Z. Li, Y.W. Zhang, W.H. Chen & Y.F. Han (2019)
12	雷公山金孢 <i>Chrysosporium leigongshanense</i> Z. Li, G.P. Zeng & Y.F. Han (2017)
13	临汾金孢 <i>Chrysosporium linfenense</i> Z.Q. Liang, J.D. Liang & Y.F. Han (2009)
14	裂叶金孢 <i>Chrysosporium lobatum</i> Scharapov (1978)
15	粪生金孢 <i>Chrysosporium merdarium</i> var. <i>merdarium</i> (Ehrenb.) J.W. Carmich. (1962)
16	卵形金孢 <i>Chrysosporium ovalisporum</i> Z. LI, Y.W. Zhang, W.H. Chen & Y.F. Han (2019)
17	毡状金孢 <i>Chrysosporium pannorum</i> (Link) S. Hughes (1958)
18	青海金孢 <i>Chrysosporium qinghaiense</i> Y.F. Han, Y.R. WANG, J.D. Liang & Z.Q. Liang (2013)
19	三亚金孢 <i>Chrysosporium sanyaense</i> Y.W. Zhang, Y.F. Han, J.D. Liang & Z.Q. Liang (2013)
20	山西金孢 <i>Chrysosporium shanxiense</i> Y.W. Zhang, W.H. Chen, X. Zou, Y.F. Han & Z.Q. Liang (2016)
21	中国金孢 <i>Chrysosporium sinense</i> Z.Q. Liang (1991)
22	热带金孢 <i>Chrysosporium tropicum</i> J.W. Carmich. (1962)

来作者团队在对我国嗜角蛋白真菌资源调查中,从鸟窝羽毛或利用鸡毛和头发进行钓饵富集的土壤和污泥样品等基质上,分离获得一批金孢菌株,经形态学特征和分子系统学发育分析,已报道一些新种如荆州金孢 *C. jingzhouense* Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang 和棒孢金孢 *C. claviformis* Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang^[6], 贵州金孢 *C. guizhouense* Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang 和湖北金孢 *C. hubeiense* Y.W. Zhang, Y.F. Han & Z.Q. Liang^[7], 雷公山金孢 *C. leigongshanense* Z. Li, G.P. Zeng & Y.F. Han^[8], 山西金孢 *C. shanxiense* Y.W. Zhang, W.H. Chen, X. Zou, Y.F. Han & Z.Q. Liang^[9], 三亚金孢 *C. sanyaense* Y.W. Zhang, Y.F. Han, J.D. Liang & Z.Q. Liang^[10], 青海金孢 *C. qinghaiense* Y.F. Han, Y.R. WANG, J.D. Liang & Z.Q. Liang^[11], 侧生金孢 *Chrysosporium laterisporum* Z. Li, Y.W. Zhang, W.H. Chen & Y.F. Han 和卵形金孢 *Chrysosporium ovalisporum* Z. Li, Y.W. Zhang, W.H. Chen & Y.F. Han (2019)^[12]。现从我国甘肃、云南等地的土壤中,分离获得 5 个菌株,经形态特征和系统发育分析相结合研究,鉴定为节状金孢、乔治金孢、水生金孢和轮带金孢这 4 个种,为我国新记录种。

1 材料与方 法

1.1 主要试剂、仪器和培养基

DNA 提取试剂盒、Master Mix, 北京百泰克生物技术有限公司;光照显微镜,奥林巴斯(中国)有限公司;PCR 仪, Bio-Rad 公司;引物合成由擎科生物技术有限公司;PDA 培养基,博威科技有限公司。

1.2 菌株的分离和描述

本研究是从我国甘肃、云南采集的土壤样品。将鸡毛和头发段与土样混合,保湿培养 1 个月。挑取长有真菌的毛发进行直接分离,同时采用梯度稀释平板法对土壤中金孢菌株进行分离:称取 2 g 土壤样品,用无菌水稀释至 10^{-1} 、 10^{-2} 和 10^{-3} 三个浓度梯度;每个浓度梯度取 1 mL 置于 9 cm 的已灭菌平板中,加入马丁氏培养基混合后,将平板置于 25 °C 下培养 3 d 后,先用显微镜镜检,挑出 5 个

目标菌株 H5.11、H10.10、EB8803M、EB8801M 和 O1 至 PDA 培养皿中,25 °C 下培养 7 d 或 14 d,透明胶带制片进行形态学描述、显微拍照和手绘形态图。活菌经接种 3–5 个产孢的菌丝体块在已灭菌的 30%甘油冻存管中存放于-80 °C 中。培养皿中的培养物在 35 °C 烘箱中放置 12 h,制作成干标本,保存于中国科学院微生物所菌物标本馆。

1.3 DNA 提取及 PCR 扩增

刮取新鲜产孢菌丝,经液氮研磨后,按照真菌 DNA 提取试剂盒的流程进行 DNA 的提取。参照 Zhang 等^[6-7]的操作方法,采用通用引物 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')和 ITS5 (5'-G GTGAGAGATTTCTGTGC-3') 对 ITS1-5.8S-ITS2 rDNA 进行 PCR 扩增。PCR 反应体系:ITS4 (10 μmol/L) 1 μL, ITS5 (10 μmol/L) 1 μL, 2×Master Mix 12.5 μL, 模板(10 ng) 2 μL, 无菌水补足 25 μL。PCR 反应条件: 94 °C 3 min; 94 °C 30 s, 55 °C 30 s, 72 °C 1 min, 30 个循环; 72 °C 5 min。将获得的 PCR 产物交北京诺赛公司进行测序,得到的序列经校正后提交 GenBank (MH577291–MH577295)。

1.4 数据处理和系统发育树的构建

经 GenBank 中 BLAST 比对后,下载与本研究序列相近的序列以及金孢属相关种的序列共 44 条,以合川戴氏霉(*Taifanglania hechuanensis*)为外群,经 MAFFT V7.03b^[13]进行序列比对及手工校正后,保存为 FASTA 格式。使用 MrBayes 3.2 进行贝叶斯推理法(Bayesian inference, BI)分析^[14],经 Model test 3.7^[15]检验获得最佳替换模型为 K80+G., 位点间差异比率采用分布比率差异(Gamma-distributed rate variation), 其中部分为不变位点(A proportion of invariant sites), 其余参数为默认值;采用 Metropolis-coupled Markov Chain Monte Carlo (MCMCMC)法运算 10 000 000 代,每 500 代取样 1 次,从得到的样本中舍弃 25 000 个老化样本后总结得到一致树,用 TreeView (Page 1996)查看。同时在软件 MEGA 6.0 中采用最大似然法(ML)经 1 000 次 Bootstrap 验证构建系统发育树^[16]。

2 结果与分析

2.1 中国新记录种的形态描述

(1) 节状金孢 图 1

Chrysosporium articulatum Scharapov, Nov. sist. Niz. Rast. 15: 146, 1978.

在 PDA 培养基上 25 °C 培养 7 d, 菌落直径 71–72 mm, 白色, 稀疏絮状, 边缘规则, 隆起, 背面淡黄色; 菌丝分隔, 光滑, 透明至半透明, 宽 1.5 μm–2.3 μm; 分生孢子单生或串生, 光滑, 透明, 着生于菌丝上, 单胞或双胞, 长卵形, (5.8–15.0) μm × (2.5–5.5) μm, 或棒状, (10.5–17.0) μm × (3.0–4.3) μm; 有间生孢子, 单生或链状, 光滑, 长卵形, (6.8–7.5) μm × (2.5–3.5) μm; 厚垣孢子未见; 基痕宽度小于 1 μm。

研究菌株: H5.11 (HMAS255374, GenBank No. MH577291), 2017 年 7 月采自甘肃省玉门市雅丹地质公园骆驼刺根际土样。菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC), 培养物干标本保存于中国科学院微生物所菌物标本馆 HMAS255374。

分布: 甘肃省, 玉门市。

(2) 乔治金孢 图 2

Chrysosporium georgiae (Varsavsky & Ajello) Oorschot [as 'georgii'], Stud. Mycol. 20: 31, 1980.

在 PDA 培养基上 25 °C 培养 14 d, 菌落直径 40–43 mm, 绒毛状, 中心微隆, 边缘不规则, 近圆形, 背面棕红色。菌丝分隔, 光滑, 透明, 宽

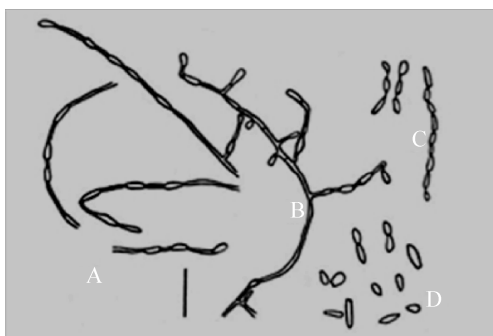


图 1 节状金孢(HMAS255374)

Figure 1 *Chrysosporium articulatum* (HMAS255374)

注: A: 间生孢子; B: 产孢结构; C: 链状孢子; D: 分生孢子。
Note: A: Intercalary conidia; B: Conidiogenous structures; C: Chain conidia; D: Conidia. Bars: A–D=20 μm.

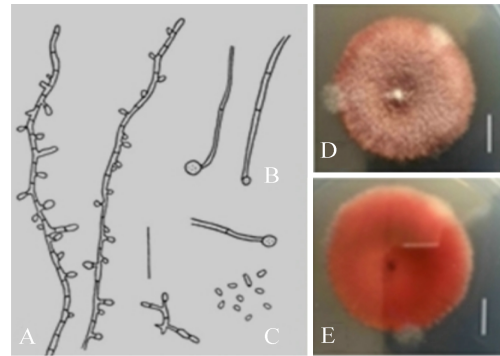


图 2 乔治金孢(HMAS255377)

Figure 2 *Chrysosporium georgiae* (HMAS255377)

注: A: 产孢结构; B: 厚垣孢子; C: 分生孢子; D–E: 菌落在 PDA 培养基上的背面和正面。

Note: A: Conidiogenous structures; B: Chlamydo-spores; C: Conidia; D–E: Colonies on PDA. Bars: A–D=20 μm; E–F=10 mm.

0.8 μm–2.6 μm; 无球拍状菌丝; 分生孢子单生或 2 个串生, 光滑, 透明, 直接着生于菌丝上或短柄上, 棒状, (2.6–5.1) μm × (1.2–1.6) μm; 或卵形, (2.2–3.5) μm × (0.9–2.5) μm; 或不规则椭圆形, (1.8–3.8) μm × (1.5–2.6) μm; 无间生孢子; 厚垣孢子偶有, 粗糙, (4.3–4.9) μm × (4.6–4.7) μm; 基痕宽 < 1 μm。

研究菌株: H10.10 (HMAS255377, GenBank No. MH577292), 2017 年 7 月采自甘肃省玉门市雅丹地质公园骆驼刺根际土样。菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC), 培养物干标本保存于中国科学院微生物所菌物标本馆 HMAS255377。

分布: 甘肃省, 玉门市。

(3) 水生金孢 图 3

Chrysosporium submersum P. Vidal & Guarro, in Vidal, Valmaseda, ángeles Vinuesa & Guarro, Stud. Mycol. 47: 200, 2002.

在 PDA 培养基上, 14 d, 25 °C, 菌落直径 50–60 mm, 浅黄色, 中部粉质, 边缘绒毛状, 圆形, 边缘规则; 背面浅黄色; 菌丝分隔, 光滑, 壁薄, 分支, 宽 2.0 μm–3.5 μm; 具球拍状菌丝。分生孢子起初透明, 光滑, 薄壁, 成团后变为半透明至淡黄色或厚壁, 有时具疣状突起; 分生孢子顶生和侧生于短柄、侧枝或膨大的突出上, 大多单生, 有时成有 2–4 个孢子组成的短链, 主要为棒状, 有时梨形、

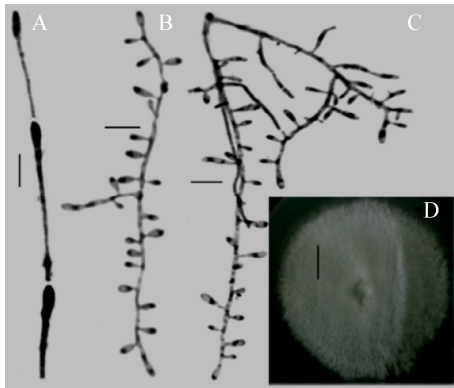


图3 水生金孢(GZACEB8803M)

Figure 3 *Chrysosporium submersum* (GZACEB8803M)

注: A: 球拍状菌丝; B-C: 产孢结构; D: 在 PDA 培养基上的菌落特征。

Note: A: Racquet hyphae; B-C: Conidiogenous structures; D: Colonies on PDA. Bars: A-C=10 μ m; D=10 mm.

卵圆或近球形, 单胞或 2-3 胞, (4.5-30.0) μ m \times (2.5-4.5) μ m, 基痕约 1.2 μ m-2.5 μ m; 延长培养后出现间生孢子, 柱状, 一端膨大或桶状, (6-38) μ m \times (2-5) μ m; 厚垣孢子较少, 透明, 单生, 球形至近球形或不规则, 光滑, 厚壁, 5 μ m-12 μ m。

研究菌株: EB8803M (GenBank No. MH577293) 和 EB8801M (GenBank No. MH577294), 2006 年 8 月采集自云南省昆明市公园土样。研究菌株现保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC)。

分布: 云南省, 昆明市。

4) 轮带金孢 图 4

Chrysosporium zonatum Al-Musallam & C.S. Tan, *Persoonia*, 14(1): 69, 1989.

在 PDA 培养基上, 26 $^{\circ}$ C 培养 14 d, 菌落直径 52-53 mm, 白色, 絮状, 中心淡黄色, 粉状, 近边缘部有一圈白色轮纹, 边缘整齐, 半透明色。背面白色, 中心淡黄色。菌丝分隔, 光滑, 透明, 宽 0.6 μ m-1.6 μ m, 球拍状菌丝未见; 分生孢子单生, 表面粗糙或光滑, 透明, 着生于菌丝短柄上, 梨形, (2.7-3.8) μ m \times (1.2-2.2) μ m, 倒卵形, (2.6-3.1) μ m \times (1.0-1.9) μ m; 间生孢子未见; 厚垣孢子: 4.2 μ m-5.3 μ m; 基痕宽 0.6 μ m-1.3 μ m。

研究菌株: O1 (HMAS255385, GenBank No. MH577295), 2017 年 8 月采自云南省腾冲土样。

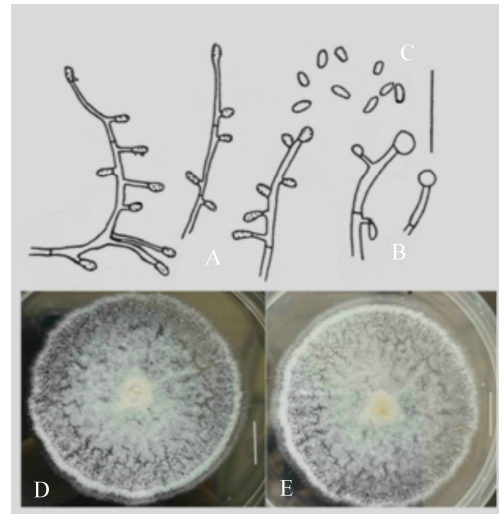


图4 轮带金孢(HMAS255385)

Figure 4 *Chrysosporium zonatum* (HMAS255385)

注: A: 产孢结构; B: 厚垣孢子; C: 分生孢子; D-E: 菌落在 PDA 培养基上的正面和背面。

Note: A: Conidiogenous structures; B: Chlamydo-spores; C: Conidia; D-E: Colonies (front and reverse) on PDA. Bars: A-D=20 μ m; E-F=10 mm.

菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC), 培养物干标本保存于中国科学院微生物所菌物标本馆 HMAS255385。

分布: 云南省, 腾冲。

2.2 系统发育分析

用于构建系统树的数据矩阵包含 45 个菌株, 其中 40 个菌株的序列来自 GenBank, 5 个菌株的序列为本研究所提供。本研究分析得到的贝叶斯树与 ML 树拓扑结构相似(图 5)。

系统发育树显示, 全部金孢属菌株聚在不同分支。节状金孢 MH577291 (菌株号 H5.11)、乔治金孢 MH577292 (菌株号 H10.10)和轮带金孢 MH577295 (菌株号 O1)均以较高的支持率($\geq 99/0.99$)与 GenBank 上对应种的序列聚在一起, 支持了形态学研究结果。本研究两个水生金孢菌株 MH577293/MH577294 (菌株号分别为 EB8803M/EB8801M)与 GenBank 上的该种两个序列以 87/0.99 的支持率聚为一个亚分支, 且其形态特征与模式菌株描述基本一致。

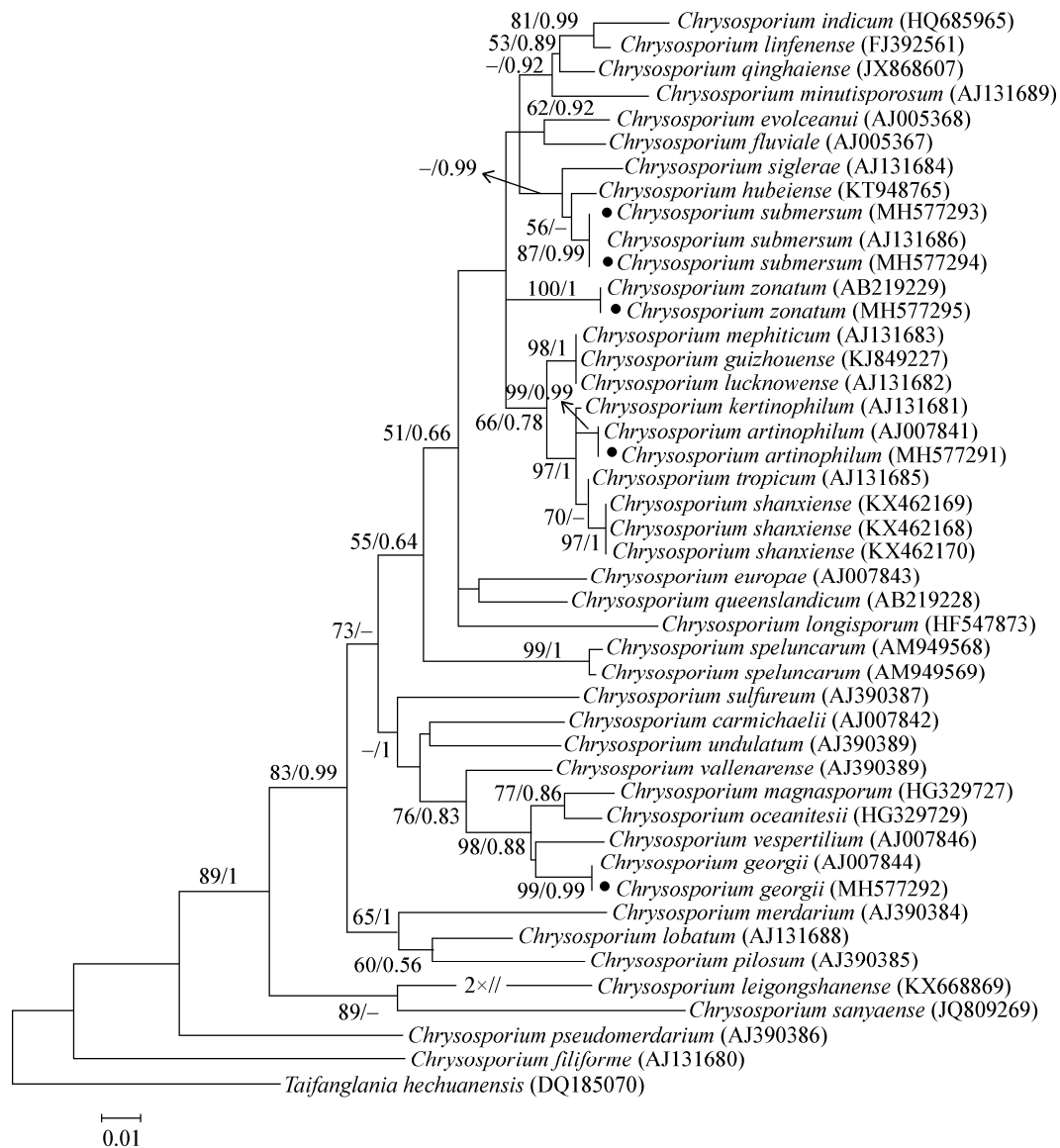


图 5 基于 ITS-5.8S rDNA 序列构建的金孢属系统发育树

Figure 5 Phylogenetic tree of *Chrysosporium* spp. constructed from ITS-5.8S rDNA sequences

注：节点上的统计数值分别为 ML/Bayesian posterior 所得数值；括号中文本为 GenBank 登录号；外群为合川戴氏霉；标尺表示进化距离。

Note: Statistical support values (ML/Bayesian posterior probability) were shown at nodes; Text in brackets presented GenBank accession number; The tree was rooted by using *Taifanglania hechuanensis* as the out group; Scale label presented distance scale.

因此分子系统发育研究和形态特征相结合的研究结果，支持了本研究 5 个菌株分别与其相应 4 个种的关系。

3 讨论与结论

金孢属真菌是一类重要的嗜角蛋白资源，分布广泛，可从不同基质上分离获得^[2]，如土壤、污泥、

动物皮肤等，也有学者在保存的蜂巢花粉中分离到该属真菌^[17]。总体来说，这类资源易在富含角蛋白基质的环境中被发现。该属真菌具有强的环境适应能力，能产生丰富的代谢产物，如产生各种蛋白酶如角蛋白酶、纤维素酶和脂肪酶等，以及可产生抗生素类物质可抗癌、抗真菌和抗寄生虫等。因此，

该属真菌在医药、纺织、食品、饲料和日用化工等领域具有重要的开发应用前景^[18]。本研究从甘肃和云南省采集的土壤中加入鸡毛和头发段通过富集钓饵法获得一批嗜角蛋白真菌资源,其中5个为金孢属菌株。分离获得的金孢菌株 H5.11 (GenBank No. MH577291)在形态上与节状金孢模式菌株的形态特征非常相近^[2],而且系统发育中二者以较高的支持率(ML/BI: 99/0.99)聚在一个亚分支(图 5)。H10.10 菌株的形态特征与乔治金孢模式标本的形态非常吻合^[2],培养基上均呈现红色,同时系统发育分析结果表明该菌株与模式菌株较好地聚在一个亚分支(图 5)。EB8803M (GenBank No. MH577293)和 EB8801M (GenBank No. MH577294)两个菌株在形态特征上与水生金孢模式标本的描述非常吻合^[19]。系统发育分析结果显示它们与模式菌株能较好地聚在一个亚分支(图 5)。本研究 O1 (GenBank No. MH577295)菌株在形态特征上与轮带金孢模式标本的描述非常吻合^[20]。系统发育分析结果显示它们与模式菌株能较好地聚在一个亚分支(图 5)。这4个种迄今未在中国报道记载,是我国的新记录种。该结果在了解我国真菌物种的多样性和地理分布方面有一定的价值。

致谢:感谢中国科学院微生物研究所孙炳达老师和杨柳老师在菌株和干模保藏方面提供的帮助。

REFERENCES

- [1] Corda ACJ. Deutschlands Flora[M]. Abt. III. Die Pilze Deutschlands, 1833
- [2] van Oorschot CAN. A revision of *Chrysosporium* and allied genera[J]. Studies in Mycology, 1980, 20: 1-89
- [3] Han YF, Shen X, Liang JD, et al. Taxonomic advance and characteristics of the genus *Chrysosporium*[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2017, 36(5): 1-5 (in Chinese)
韩燕峰, 沈鑫, 梁建东, 等. 金孢属的分类研究进展及其分类特征[J]. 山地农业生物学报, 2017, 36(5): 1-5
- [4] Kirk PM, Cannon PF, David JC, et al. Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi[M]. 9th ed. Wallingford: CAB International, 2001: 571-583
- [5] Vidal P, de Los Angeles Vinuesa M, Sánchez-Puelles JM, et al. Phylogeny of the anamorphic genus *Chrysosporium* and related taxa based on rDNA internal transcribed spacer sequences[A]// Kushwaha RKS, Guarro J. Biology of Dermatophytes and Other Keratinophilic Fungi[M]. Bilbao, Spain: Revista Iberoamericana de Micología, 2000, 17: 22-29
- [6] Zhang YW, Zeng GP, Zou X, et al. Two new keratinophilic fungal species[J]. Phytotaxa, 2017, 303(2): 173-180
- [7] Zhang YW, Chen WH, Zeng GP, et al. Two new *Chrysosporium* (Onygenaceae, Onygenales) from China[J]. Phytotaxa, 2016, 270(3): 210-216
- [8] Li Z, Zeng GP, Ren J, et al. *Chrysosporium leigongshanense* sp. nov. from Guizhou Province, China[J]. Mycosphere, 2017, 8(8): 1210-1216
- [9] Zhang YW, Chen WH, Zou X, et al. A new *Chrysosporium* species from sparrow's nest in Shanxi Province[J]. Mycosystema, 2016, 35(11): 1337-1343 (in Chinese)
张延威, 陈万浩, 邹晓, 等. 来自山西鸟窝的金孢属一新种[J]. 菌物学报, 2016, 35(11): 1337-1343
- [10] Zhang YW, Han YF, Liang JD, et al. A new species of the genus *Chrysosporium* from the rhizosphere soil of palm[J]. Mycosystema, 2013, 32(4): 612-616
- [11] Han YF, Wang YR, Liang JD, et al. A new species of the genus *Chrysosporium* from the farmland soil of Qinghai Province[J]. Mycosystema, 2013, 32(4): 606-611 (in Chinese)
韩燕峰, 王玉荣, 梁建东, 等. 来自青海农田土壤的金孢属一新种[J]. 菌物学报, 2013, 32(4): 606-611
- [12] Li Z, Zhang YW, Chen WH, et al. Morphological traits and molecular analysis for new *Chrysosporium* species from Fujian Province, China[J]. Phytotaxa, 400(5): 257-264
- [13] Katoh K, Standley DM. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability[J]. Molecular Biology and Evolution, 2013, 30(4): 772-780
- [14] Ronquist F, Teslenko M, van Der Mark P, et al. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space[J]. Systematic Biology, 2012, 61(3): 539-542
- [15] Posada D, Crandall KA. MODELTEST: testing the model of DNA substitution[J]. Bioinformatics, 1998, 14(9): 817-818
- [16] Tamura K, Stecher G, Peterson D, et al. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0[J]. Molecular Biology and Evolution, 2013, 30(12): 2725-2729
- [17] Zhao YZ, Zhang ZF, Cai L, et al. Four new filamentous fungal species from newly-collected and hive-stored bee pollen[J]. Mycosphere, 2018, 9(6): 1089-1116
- [18] Liang JD, Han YF, Liang ZQ. A study and application progresses in a group of keratinophilic fungi—the genus *Chrysosporium*[J]. Journal of Fungal Research, 2007, 5(2): 113-118 (in Chinese)
梁建东, 韩燕峰, 梁宗琦. 一类嗜角蛋白真菌——金孢属的应用价值评介[J]. 菌物研究, 2007, 5(2): 113-118
- [19] Vidal P, Valmaseda M, Vinuesa MÁ, et al. Two new species of *Chrysosporium*[J]. Study in Mycology, 2002(47): 199-209
- [20] Al-Musallam A, Tan CS. *Chrysosporium zonatum*, a new keratinophilic fungus[J]. Persoonia, 1989, 14(1): 69-71