

研究报告



广义虫草属二新记录种

陈万浩¹ 刘畅² 韩燕峰³ 梁建东^{*1} 田维毅¹ 梁宗琦³

1 贵州中医药大学基础医学院 贵州 贵阳 550025

2 贵州中医药大学药学院 贵州 贵阳 550025

3 贵州大学生命科学学院真菌资源研究所 贵州 贵阳 550025

摘要:【背景】广义虫草属是一类重要的虫生真菌资源。【目的】对我国西南地区虫生真菌及其相关真菌资源进行调查。【方法】在贵州省习水县和花溪区进行标本采集,采用含双抗的PDA培养基分离目的菌株;基于形态学特征和ITS rDNA序列系统发育分析相结合的方法进行菌株鉴定。【结果】从采集到的标本中分离获得5个菌株,菌株GY1113、GY90809和GY90810在形态特征上与马拉维白僵菌模式菌株非常相近;系统发育树中二者以高支持率(ML/BI为99/1)聚成一个分支。菌株A1997在形态特征上与鳞翅目虫草模式菌株非常吻合;系统发育树中二者以较高支持率(ML/BI为78/0.95)聚成一个分支。菌株A1972在形态上与苏格兰白僵菌模式菌株的形态特征非常相近;系统发育树中二者以高支持率(ML/BI为99/1)聚成一个分支。因此分别鉴定为马拉维白僵菌、鳞翅目虫草及苏格兰白僵菌。【结论】马拉维白僵菌和鳞翅目虫草为中国新记录种。

关键词: 白僵菌属, 虫草属, 形态学, 系统发育, 新记录

Two new recorded species in *Cordyceps sensu lato*CHEN Wan-Hao¹ LIU Chang² HAN Yan-Feng³ LIANG Jian-Dong^{*1} TIAN Wei-Yi¹
LIANG Zong-Qi³

1 School of Basic Medical Science, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou 550025, China

2 School of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou 550025, China

3 Institute of Fungus Resources, College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China

Abstract: [Background] *Cordyceps sensu lato* was an important entomopathogenic fungus. [Objective] The entomopathogenic fungi and its allies from Southwest China were investigated. [Methods] Specimens were collected from Xishui and Huaxi in Guizhou province, and the target strains were isolated on PDA media with antibiotics in the laboratory. Then these strains were identified by the morphological characters

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (31460010, 31860002); Doctoral Fund of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine (3043-043170023); National First-class Construction Discipline in Guizhou Province (Chinese Medical Science) (GNYL[2017]008); Engineering Research Center of General Higher Education in Guizhou Province (Qianjiaohe(2015)337)

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

Received: 23-05-2019; **Accepted:** 21-10-2019; **Published online:** 29-11-2019

基金项目: 国家自然科学基金(31460010, 31860002); 贵州中医药大学博士基金(3043-043170023); 贵州省中药一流学科建设项目(GNYL[2017]008); 贵州省教育厅工程中心项目(黔教合(2015)337)

***通信作者:** E-mail: Cordyceps@yeah.net

收稿日期: 2019-05-23; **接受日期:** 2019-10-21; **网络首发日期:** 2019-11-29

and phylogenetic analysis of ITS rDNA sequences. **[Results]** Five target strains were obtained. Strains GY1113, GY90809 and GY90810 were very similar to the original description of *Beauveria malawiensis* in morphology and clustered into a subclade with the sequences of *B. malawiensis* in phylogenetic tree; strain A1997 was consistent with *Cordyceps lepidopterorum* in morphology and it was closely related with the type sequence of *C. lepidopterorum* in phylogenetic tree; strain A1972 was very similar to the original description of *B. caledonica* in the morphology and clustered into a subclade with the sequences of *B. caledonica* in phylogenetic tree. Therefore, these strains were identified to three species, *B. malawiensis*, *C. lepidopterorum* and *B. caledonica*, respectively. **[Conclusion]** *B. malawiensis* and *C. lepidopterorum* are new to China.

Keywords: *Beauveria*, *Cordyceps*, Morphology, Phylogeny, New records

广义虫草属真菌即虫草类真菌,是指那些在寄主正常生理条件下能直接侵入体内,增殖和快速引起死亡的类群。它们以吸收血淋巴中养分、分解寄主组织、和/或产生有毒代谢产物而杀死昆虫^[1]。按照最新的虫草类真菌的分类系统,该类真菌包括隶属于子囊菌门(Ascomycota),粪壳菌纲(Sordariomycetes),肉座菌目(Hypocreales)的虫草科(Cordycipitaceae)、线虫草科(Ophiocordycipitaceae)、麦角菌科(Clavicipitaceae)等科的真菌^[2]。广义的虫草类真菌不仅包括冬虫夏草 *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora、蛹虫草 *Cordyceps militaris* (L.) Fr.、蝉花 *Isaria cicadae* Miq. 等重要的药用菌,还包括部分已被证明为虫草(有性型)的无性型种类,例如典型的白僵菌 *Beauveria* spp. 和绿僵菌 *Metarhizium* spp. 等重要的害虫生防菌^[3]。

1878年,意大利学者 Saccardo 对冬虫夏草 *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. 进行定名,系对我国虫草属真菌最早的研究^[4]。Teng^[5]系统报道了我我国虫草属真菌的种类。宋斌等^[6]对我国虫草属已知种类进行了整理,其中包括有效种 125 种,3 变种和 2 变型。之后不断有来自全国各地的虫草新分类单元及新记录种的报道^[7-25]。此外,一些虫草无性型的新分类单元及新记录也陆续被报道^[26-36]。而在我国研究较多的虫草类真菌主要为冬虫夏草及其相关真菌,如蛹虫草、广东虫草和蝉花等少数几种^[37]。

目前,在全世界报道了超过 800 种以虫草(包括 *Cordyceps* 和 *Ophiocordyceps*)命名的分类单

元,而我国已报道的不足 200 种(<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>, 2019 年 7 月 30 日),还有更多的资源有待挖掘。在开展我国西南地区虫生真菌及其相关真菌资源调查时,分离得到 5 个菌株,即 A1972、A1997、GY1113、GY90809 和 GY90810,经形态学特征和分子系统学综合鉴定,分别为苏格兰白僵菌 *Beauveria caledonica* Bissett & Widden、马拉维白僵菌 *Beauveria malawiensis* S.A. Rehner & Aquino de Muro 及鳞翅目虫草 *Cordyceps lepidopterorum* Mongkols., Noisrip., Thanakitp., Spatafora & Luangsa-ard, 后两个种为我国新记录种,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 菌株的分离、培养与形态观察

参照陈万浩等^[38]所描述的方法,用无菌接种针挑取标本上的菌丝放到加有双抗的 PDA 平板上,25±1 °C 培养 3 d,镜检后保存单菌落菌株。将分离的菌株接种到未加双抗的 PDA 平板上,25±1 °C 培养 14 d,用透明胶带黏取菌落边缘具产孢结构的菌丝制片,然后置于显微镜下进行微观产孢结构的形态观察。

1.2 主要试剂和仪器

真菌基因组 DNA 提取试剂盒,北京索莱宝科技有限公司。高通量组织研磨器,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 DNA 提取、PCR 扩增和测序

DNA 提取:在 PDA 平板上,用无菌刀片刮取

菌落上的菌丝,采用高通量组织研磨器研磨后,按照真菌基因组DNA提取试剂盒流程进行DNA提取。

PCR 扩增: ITS 位点扩增采用引物 ITS4 和 ITS5^[39]。PCR 反应体系(25 μ L): 模板 2 μ L (10–100 mg/L), 引物 ITS4 和 ITS5 (0.4 μ mol/L)均为 1 μ L, Master Mix 12.5 μ L, ddH₂O 8.5 μ L。PCR 反应条件: 94 $^{\circ}$ C 5 min; 94 $^{\circ}$ C 1 min, 50 $^{\circ}$ C 1 min, 72 $^{\circ}$ C 1 min, 35 个循环; 72 $^{\circ}$ C 10 min。扩增后的产物检测参见罗韵等^[39]的方法。

DNA 测序: PCR 产物经生工生物工程(上海)股份有限公司纯化和测序后获得序列,经手工校对后,于 GenBank 进行比对和注册序列号。

1.4 序列比对和系统发育分析

参考 Mongkolsamrit 等^[40]中白僵菌属及虫草属 ITS 序列与菌株 A1972、A1997、GY1113、GY90809 和 GY90810 序列在 GenBank 中 BLAST 的结果,并以淡紫紫霉 *Purpureocillium lilacinum* (Thom) Luangsa-ard, Houbraken, Hywel-Jones & Samson 为外群,经 MAFFT V7.037b^[41]进行序列比对、手工校正及 MEGA 6 软件剪切后,保存为 Fasta 格式。使用 MrBayes 3.2 进行贝叶斯推理法(bayesian inference, BI)分析^[42],经 Modeltest 3.7^[43]检验获得最佳替换模型为 GTR+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,其余参数为默认值;采用 MCMCMC (Metropolis-coupled Markov Chain Monte Carlo)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 TreeGraph2^[44]查看。同时在软件 MEGA 6 中采用最大似然(maximum likelihood, ML)法经 1 000 次 Bootstrap 验证构建系统发育树^[45]。

2 结果与分析

2.1 中国新记录种的形态描述

(1) 马拉维白僵菌 图 1

Beauveria malawiensis S.A. Rehner & Aquino de Muro, in Rehner, Muro & Bischoff, Mycotaxon 98: 140, 2006

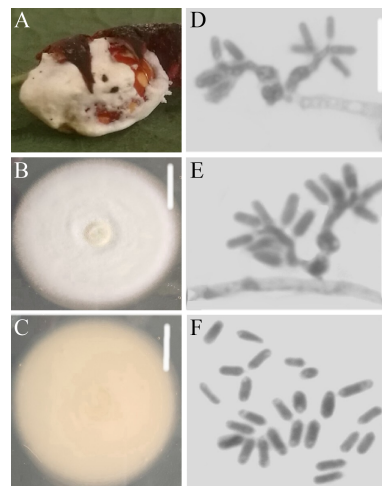


图 1 马拉维白僵菌 GY90809

Figure 1 *Beauveria malawiensis* GY90809

注: A: 染病的昆虫; B–C: PDA 培养基上的菌落的正面和背面; D–E: 产孢结构; F: 分生孢子。标尺: B–C=10 mm; D–F=10 μ m。
Note: A: Infected insect; B–C: Colonies on PDA; D–E: Conidiogenous structures; F: Conidia. Bars: B–C=10 mm; D–F=10 μ m.

PDA 培养基上, 25 $^{\circ}$ C 下生长 14 d, 菌落直径可达 40–42 mm, 无气味产生, 气生菌丝白色, 短绒毛状, 菌落中间大量产孢后粉状。菌落背面中间淡黄色。营养菌丝, 分隔, 分枝, 透明, 表面光滑, 宽 1.6–2.3 μ m。产孢细胞单生或簇生, 基部球形, 2.3–3.1 μ m, 顶部渐狭, 具一短的细齿轴状结构, 呈不规则形。分生孢子柱状, (3.0–3.7)×(1.1–1.4) μ m, 透明, 无隔, 表面光滑。

研究标本及菌株: 采自花溪区桐木岭贵州省行政学院(N26 $^{\circ}$ 23'0.49", E106 $^{\circ}$ 40'47.37")针阔混交林的枯枝落叶层, 寄主为鞘翅目瓢虫、鞘翅目瓢虫和鳞翅目松毛虫, 分离得到菌株 GY1113、GY90809 和 GY90810。菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC)。

分布: 贵州省, 贵阳市; 云南省, 保山市^[46]。

(2) 鳞翅目虫草 图 2

Cordyceps lepidopterorum Mongkols., Noisrip., Thanakitp., Spatafora & Luangsa-ard, in Mongkolsamrit, Noisripoom, Thanakitpipattana, Wutikhun, Spatafora & Luangsa-ard, Mycologia 110(1): 247, 2018

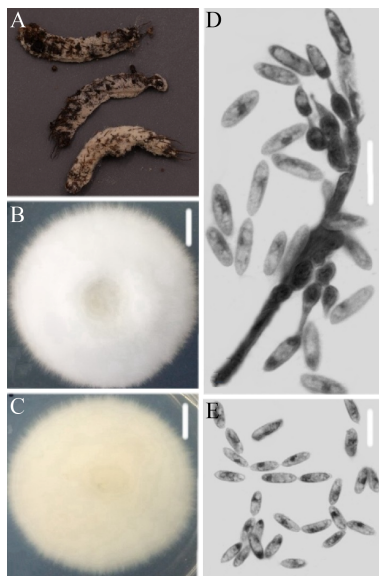


图2 鳞翅目虫草 A1997

Figure 2 *Cordyceps lepidopterorum* A1997

注: A: 染病的昆虫; B-C: PDA 培养基上的菌落的正面和背面; D: 产孢结构; E: 分生孢子。标尺: B-C=10 mm; D-E=10 μm 。
Note: A: Infected insect; B-C: Colonies on PDA; D: Conidiogenous structures; E: Conidia. Bars: B-C=10 mm; D-E=10 μm .

PDA 培养基上, 25 $^{\circ}\text{C}$ 下生长 14 d, 菌落直径可达 56–59 mm, 气生菌丝白色, 致密, 短绒毛状, 菌落中间大量产孢后呈淡黄色。菌落背面呈淡黄色。菌丝宽 1.4–2.3 μm , 分隔, 透明, 光滑。分生孢子梗着生单个或 2–3 个瓶梗。瓶梗基部呈近球形膨大, 上部逐渐变细, 成为一明显的颈部, 2.8–4.0 μm 。分生孢子透明, 无隔, 表面光滑, 呈椭圆形, (7.5–10.2)×(3.0–3.5) μm 。

研究菌株: 采自贵州省遵义市习水县习水自然保护区(N28°29'56", E106°24'31")针阔混交林枯枝落叶层, 寄主为鳞翅目松毛虫, 分离得到菌株 A1997。菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC)。

分布: 贵州省, 习水县。

2.2 已知种的形态描述

苏格兰白僵菌 图3

Beauveria caledonica Bissett & Widden, Can. J. Bot. 66(2): 361, 1988

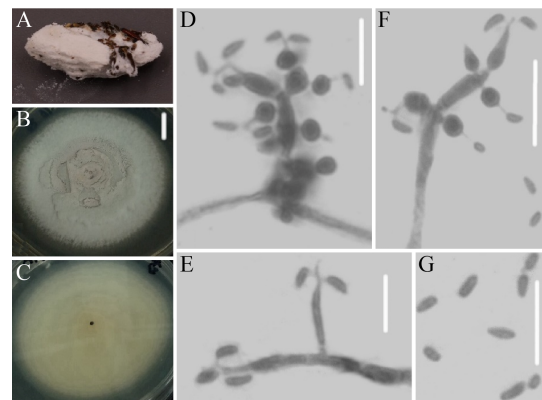


图3 苏格兰白僵菌 A1972

Figure 3 *Beauveria caledonica* A1972

注: A: 染病的昆虫; B-C: PDA 培养基上的菌落的正面和背面; D-F: 产孢结构; G: 分生孢子。标尺: B-C=10 mm; D-G=10 μm 。
Note: A: Infected insect; B-C: Colonies on PDA; D-F: Conidiogenous structures; G: Conidia. Bars: B-C=10 mm; D-G=10 μm .

PDA 培养基上, 25 $^{\circ}\text{C}$ 下生长 14 d, 菌落直径可达 66–73 mm, 无气味产生, 气生菌丝白色, 短绒毛状, 菌落中间大量产孢后, 粉状呈浅灰色, 后至淡紫色。菌落背面淡黄色。营养菌丝, 分隔, 分枝, 透明, 表面光滑, 宽 1.8–2.5 μm 。产孢细胞单生或簇生, 基部球形, 2.3–2.8 μm 或柱状至圆锥形膨大, (6.1–13.0)×(1.1–2.2) μm , 顶部渐狭, 具一短的细齿轴状结构, 呈不规则形。分生孢子圆柱形, 弯曲, 透明, 无隔, 表面光滑, (1.9–3.2)×(1.2–1.5) μm 。

研究菌株: 采自贵州省遵义市习水县习水自然保护区(N28°29'56", E106°24'31")针阔混交林枯枝落叶层, 寄主为鞘翅目甲虫, 分离得到菌株 A1972。菌种保存于贵州大学真菌资源研究所(GZAC)。

分布: 贵州省, 习水县; 安徽省, 宣城市^[26]。

2.3 系统发育分析

对包含 32 个分类单元的 ITS 数据集, 通过贝叶斯法(BI)和最大似然法(ML)构建的系统发育树显示, 两种方法得到的拓扑结构相似, 主要类群能较好聚集(图 4)。其中, 菌株 GY1113、GY90809 和 GY90810 与马拉维白僵菌模式菌株及其他菌株以高支持率(ML/BI 为 99/1)聚成一个分支; 菌株 A1997 与鳞翅目虫草模式菌株及其他菌株以较高

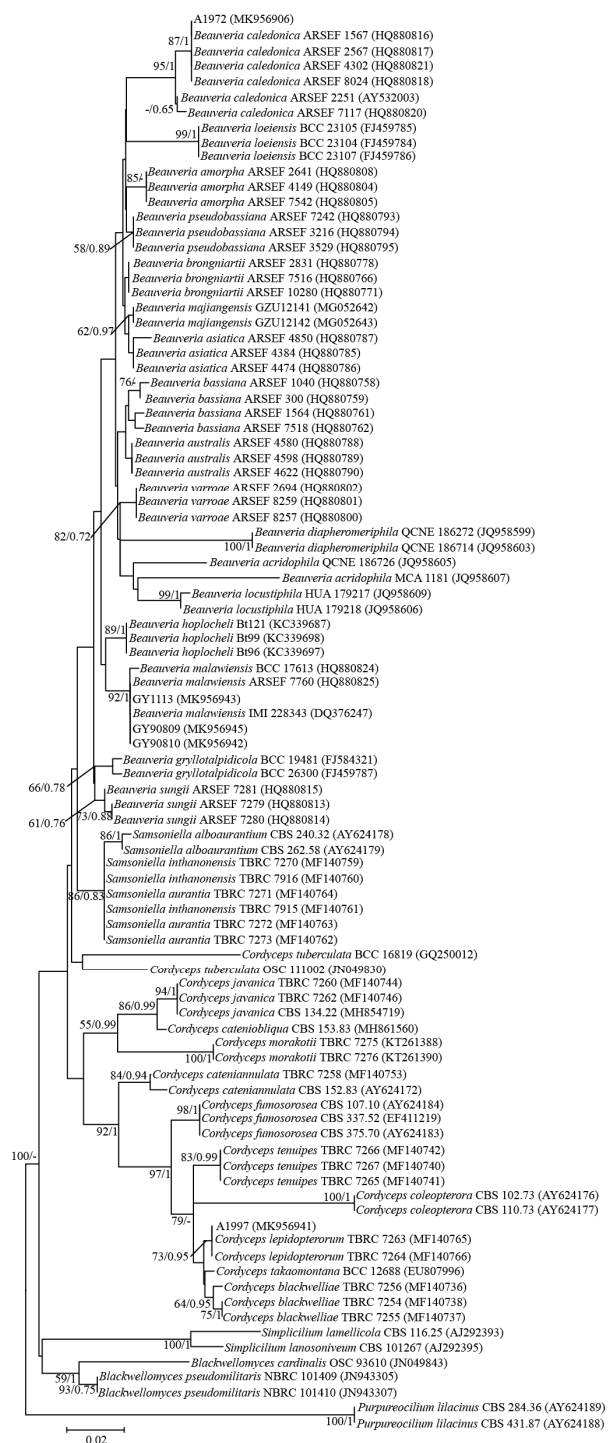


图4 目标菌株及其相关种基于 ITS rDNA 序列构建的系统发育树

Figure 4 Phylogenetic tree of the target strains and its allies constructed from ITS rDNA sequences

注：节点上的统计数值分别为 ML/BI 所得数值；标尺表示进化距离；T：模式菌株。

Notes: Statistical support values (ML/BI) were shown at nodes; Scale label presented distance scale; T: Refers to the ex-type strain.

支持率(ML/BI 为 78/0.95)聚集成一个分支；菌株 A1972 以高支持率(ML/BI 为 99/1)与苏格兰白僵菌模式菌株及其他菌株聚集成一个分支。因此系统发育分析结果支持本研究 5 个菌株分别与其相应 3 个种的关系。

3 讨论与结论

虫草类真菌由于长期和昆虫协同进化,且具有独特的杀虫作用,因此它们不仅是重要的生物防治材料,还是珍贵的药用资源^[47]。已有研究表明,虫草类真菌是最具潜力的真菌类群,尤其是产生的生物活性物质引起了人们的极大关注^[48]。白僵菌属是非常重要的虫草类真菌,在农林害虫生物防治中已广泛应用^[49]。目前国内已报道的白僵菌包括多型白僵菌 *Beauveria amorpha* (Höhn.) Minnis, S.A. Rehner & Humber^[50], *Beauveria sobolifera* Zuo Y. Liu, Z.Q. Liang, Whalley, A.Y. Liu & Y.J. Yao^[51], 苏格兰白僵菌 *Beauveria caledonica* Bissett & Widden^[26], 中华白僵菌 *Beauveria sinensis* Ming J. Chen, Z.Z. Li & B. Huang^[28], 李氏白僵菌 *Beauveria lii* Sheng L. Zhang & B. Huang^[29], 蛛生白僵菌 *Beauveria araneola* Wan H. Chen, Y.F. Han, Z.Q. Liang & D.C. Jin^[33], 球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill.^[52], 布氏白僵菌 *Beauveria brongniartii* (Sacc.) Petch^[51], *Beauveria loeii* Luangsa-ard, Tassan, Khons., Thanakitp. & Somrith.^[52], 麻江白僵菌 *Beauveria majiangensis* W.H. Chen, M. Liu, Z.X. Huang, G.M. Yang, Y.F. Han, J.D. Liang & Z.Q. Liang^[34], 云南白僵菌 *Beauveria yunnanensis* Z.H. Chen & L. Xu^[46]和保山白僵菌 *Beauveria baoshanensis* Z.H. Chen & L. Xu^[46]。

马拉维白僵菌 (*Beauveria malawiensis*) 为 Rehner 等^[53]报道的一个新的分类单元,其典型的鉴别特征为圆柱形的分生孢子,球形的分生孢子梗及球形的产孢细胞。菌株 GY90809 产孢细胞为球形,分生孢子呈柱状,与马拉维白僵菌的模式菌株 (IMI 228343)的特征十分吻合,虽然分生孢子大小 (3.0–3.7)×(1.1–1.4) μm 与模式菌株 (3.7–4.5)×

(1.3–1.9) μm 存在差异, 但与菌株 GY90809 形态特征一致的菌株 GY1113 和 GY90810 分生孢子的大小分别为 (3.8–6.2) \times (1.5–1.8) μm 和 (2.3–3.8) \times (1.3–1.6) μm 。因而, 马拉维白僵菌的分生孢子大小是可变的。而基于 ITS rDNA 序列的系统发育分析显示, 菌株 GY1113、GY90809 和 GY90810 与马拉维白僵菌模式菌株 IMI 228343 及其他两株菌以高支持率(ML/BI 为 99/1)聚集成一个分支。因而, 系统发育支持形态学鉴定的结果, 即菌株 GY1113、GY90809 和 GY90810 为马拉维白僵菌。Chen 等^[46]文中虽有提及但未见描述, 因而我们仍认为马拉维白僵菌为一中国新记录种。

苏格兰白僵菌(*B. caledonica*), 为 Bissett 和 Widden 于 1988 年报道的新分类单元^[54], 其最典型的特征为分生孢子椭圆形至圆柱形, 弯曲, 大小随着形状而变化, [(2.4–)3.0–5.0(–6.5)] \times [1.0–1.8(–2.0)] μm 。菌株 A1972 分生孢子为圆柱形, 弯曲, (1.9–3.2) \times (1.2–1.5) μm , 与苏格兰白僵菌模式菌株 ARSEF2567 的描述非常接近。而基于 ITS 序列的系统发育分析显示, 菌株 A1972 与模式菌株 ARSEF2567 及其他菌株以高支持率(ML/BI 为 99/1)聚集成一个分支, 因而, 系统发育分析支持形态学鉴定的结果, 菌株 A1972 为苏格兰白僵菌, 为一已知种。

鳞翅目虫草(*Cordyceps lepidopterorum*)为 Mongkolsamrit 等^[40]报道的新分类单元, 其模式菌株(TBRC7263)典型特征为具有类棒束孢式产孢结构, 瓶梗基部球形, 分生孢子较大(6–10) \times (3–4) μm 。菌株 A1997 同样具有类棒束孢式产孢结构, 瓶梗基部也呈球形, 分生孢子椭圆形, (7.5–10.2) \times (3.0–3.5) μm 与鳞翅目虫草的模式菌株描述非常吻合。而基于 ITS rDNA 序列的系统发育分析, 菌株 A1997 与鳞翅目虫草模式菌株 TBRC7263 及另一菌株 TBRC7264 以较高支持率(ML/BI 为 78/0.95)聚集成一个分支。因而, 系统发育分析支持形态学鉴定结果, 即菌株 A1997 为鳞翅目虫草。国内未见鳞翅目虫草的报道, 因而鳞翅目虫草为一中国新记录种。

REFERENCES

- [1] Liang ZQ. Biodiversity of entomogenous fungi[J]. Chinese Biodiversity, 1996, 4(4): 235-241 (in Chinese)
梁宗琦. 虫生真菌的多样性[J]. 生物多样性, 1996, 4(4): 235-241
- [2] Sung GH, Hywel-Jones NL, Sung JM, et al. Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi[J]. Studies in Mycology, 2007, 57: 5-59
- [3] Liu ZY, Liang ZQ, Whalley AJS, et al. *Cordyceps brittlebankisoides*, a new pathogen of grubs and its anamorph, *Metarhizium anisopliae* var. *majus*[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2001, 78(3): 178-182
- [4] Saccardo PA. Enumeratio pyrenomycetum hypocreaceorum hucusque cognitorum systemate carpologico dispositum[J]. Michelia, 1878, 1(3): 277-325
- [5] Teng SC. Notes on hypocreales from China[J]. Sinensia, 1934, 4(10): 269-298
- [6] Song B, Lin QY, Li TH, et al. Known species of *Cordyceps* from China and their distribution[J]. Journal of Fungal Research, 2006, 4(4): 10-26 (in Chinese)
宋斌, 林群英, 李泰辉, 等. 中国虫草属已知种类及其分布[J]. 菌物研究, 2006, 4(4): 10-26
- [7] Li TH, Deng CY, Song B. A distinct species of *Cordyceps* on coleopterous larvae hidden in twigs[J]. Mycotaxon, 2008, 103: 365-369
- [8] Liang ZQ, He XY, Han YF, et al. A new species of *Isaria* isolated from an infected locust[J]. Mycotaxon, 2008, 105: 29-36
- [9] Yang YH, Cai SX, Zheng YM, et al. *Metarhizium taii* var. *chongqingensis* nov., anamorph of *Cordyceps chongqingensis* sp. nov. isolated from a low altitude area in Chongqing, China[J]. Current Microbiology, 2009, 58(6): 635-641
- [10] Cao S, Zhang Q, Li CR, et al. *Cordyceps cardinalis*, a new species in China and its *Isaria* anamorph[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2010, 37(4): 712-715 (in Chinese)
曹珊, 张琪, 李春如, 等. 中国新记录种鲜红虫草及其无性型[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(4): 712-715
- [11] Li CR, Huang B, Fan MZ, et al. *Metacordyceps guniujiangensis* and its *Metarhizium* anamorph: a new pathogen on cicada nymphs[J]. Mycotaxon, 2010, 111(1): 221-231
- [12] Chen ZH, Dai YD, Yu H, et al. Systematic analyses of *Ophiocordyceps lanpingensis* sp. nov., a new species of *Ophiocordyceps* in China[J]. Microbiological Research, 2013, 168(8): 525-532
- [13] Wen TC, Zhu RC, Kang JC, et al. *Ophiocordyceps xuefengensis* sp. nov. from larvae of *Phassus nodus* (Hepialidae) in Hunan Province, southern China[J]. Phytotaxa, 2013, 123(1): 41-50
- [14] Yan JQ, Bau T. *Elaphocordyceps longisegmentis*, a new

- record species from China[J]. Journal of Fungal Research, 2014, 12(4): 197-199 (in Chinese)
颜俊清, 图力古尔. 中国虫草新记录种——长孢大团囊虫草[J]. 菌物研究, 2014, 12(4): 197-199
- [15] Wen TC, Xiao YP, Li WJ, et al. Systematic analyses of *Ophiocordyceps ramosissimum* sp. nov., a new species from a larvae of Hepialidae in China[J]. Phytotaxa, 2014, 161(3): 227-234
- [16] Yan JQ, Bau T. *Cordyceps ningxiaensis* sp. nov., a new species from dipteran pupae in Ningxia Hui Autonomous Region of China[J]. Nova Hedwigia, 2015, 100: 251-258
- [17] Yang ZL, Qin J, Cheng HF, et al. *Ophiocordyceps highlandensis*, a new entomopathogenic fungus from Yunnan, China[J]. Phytotaxa, 2015, 204(4): 287-295
- [18] Wen TC, Zha LS, Xiao YP, et al. *Metacordyceps shibinensis* sp. nov. from larvae of Lepidoptera in Guizhou Province, southwest China[J]. Phytotaxa, 2015, 226(1): 51-62
- [19] Zhou YM, Zou X, Qu JJ, et al. A new record of the genus *Ophiocordyceps* from China[J]. Microbiology China, 2015, 42(9): 1710-1716 (in Chinese)
周叶鸣, 邹晓, 瞿娇娇, 等. 中国虫草一新记录种[J]. 微生物学通报, 2015, 42(9): 1710-1716
- [20] Wen TC, Xiao YP, Zha LS, et al. Multigene phylogeny and morphology reveal a new species, *Ophiocordyceps tettigonia*, from Guizhou Province, China[J]. Phytotaxa, 2016, 280(2): 141-151
- [21] Wen TC, Xiao YP, Han YF, et al. Multigene phylogeny and morphology reveal that the Chinese medicinal mushroom '*Cordyceps gunnii*' is *Metacordyceps neogunnii* sp. nov.[J]. Phytotaxa, 2017, 302(1): 27-39
- [22] Yu LQ, Li J, Zhang J, et al. *Ophiocordyceps myrmicarum*, a new record of China[J]. Journal of Fungal Research, 2017, 15(3): 166-169,176 (in Chinese)
喻澜清, 李娟, 张健, 等. 红蚁线虫草——线虫草属中国新记录种[J]. 菌物研究, 2017, 15(3): 166-169,176
- [23] Qu JJ, Yu LQ, Zhang J, et al. A new entomopathogenic fungus, *Ophiocordyceps ponerus* sp. nov., from China[J]. Phytotaxa, 2018, 343(2): 116-126
- [24] Qu JJ, Zhou YM, Yu JP, et al. Estimated divergence times of *Hirsutella* (asexual morphs) in *Ophiocordyceps* provides insight into evolution of phialide structure[J]. BMC Evolutionary Biology, 2018, 18(1): 111
- [25] Wang YB, Nguyen TT, Dai YD, et al. Molecular phylogeny and morphology of *Ophiocordyceps unituberculata* sp. nov. (Ophiocordycipitaceae), a pathogen of caterpillars (Noctuidae, Lepidoptera) from Yunnan, China[J]. Mycological Progress, 2018, 17(6): 745-753
- [26] Huang B, Chen MJ, Wang SB, et al. A new record of *Beauveria* isolated from Scolytidae in China[J]. Mycosystema, 2007, 26(1): 139-142 (in Chinese)
黄勃, 陈名君, 王四宝, 等. 分离自小蠹虫的白僵菌属—中国新记录种[J]. 菌物学报, 2007, 26(1): 139-142
- [27] Zou X, Liu AY, Liang ZQ, et al. *Hirsutella liboensis*, a new entomopathogenic species affecting *Cossidae* (Lepidoptera) in China[J]. Mycotaxon, 2010, 111: 39-44
- [28] Chen MJ, Huang B, Li ZZ, et al. Morphological and genetic characterisation of *Beauveria sinensis* sp. nov. from China[J]. Mycotaxon, 2013, 124: 301-308
- [29] Zhang SL, He LM, Chen X, et al. *Beauveria lii* sp. nov. isolated from *Henosepilachna vigintioctopunctata*[J]. Mycotaxon, 2013, 121: 199-206
- [30] Zou X, Zhou YM, Liang ZQ, et al. A new species of the genus *Hirsutella* with helical twist neck of phialides parasitized on Tortricidae[J]. Mycosystema, 2016, 35(7): 807-813 (in Chinese)
邹晓, 周叶鸣, 梁宗琦, 等. 瓶梗颈部螺旋且寄生卷叶蛾幼虫的被毛孢新种[J]. 菌物学报, 2016, 35(7): 807-813
- [31] Zou X, Zhou JX, Liang ZQ, et al. *Hirsutella shennongjiaensis*, a new entomopathogenic species infecting Earwig (Dermaptera)[J]. Mycosystema, 2016, 35(9): 1070-1079 (in Chinese)
邹晓, 周家喜, 梁宗琦, 等. 寄生革翅目蠪螋的被毛孢一新种[J]. 菌物学报, 2016, 35(9): 1070-1079
- [32] Chen WH, Han YF, Liang JD, et al. *Metarhizium dendrolimatis*, a novel *Metarhizium* species parasitic on *Dendrolimus* sp. larvae[J]. Mycosphere, 2017, 8(1): 31-37
- [33] Chen WH, Han YF, Liang ZQ, et al. A new araneogenous fungus in the genus *Beauveria* from Guizhou, China[J]. Phytotaxa, 2017, 302(1): 57-64
- [34] Chen WH, Liu M, Huang ZX, et al. *Beauveria majiangensis*, a new entomopathogenic fungus from Guizhou, China[J]. Phytotaxa, 2018, 333(2): 243-250
- [35] Chen ZH, Xu L, Yang XN, et al. *Metarhizium baoshanense* sp. nov., a new entomopathogen fungus from Southwestern China[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2018, 50(5): 1739-1746
- [36] Li CR, Hywel-Jones N, Cao YP, et al. *Tolyposcladium dujiaolongae* sp. nov. and its allies[J]. Mycotaxon, 2018, 133(2): 229-241
- [37] Dong CH, Guo SP, Wang WF, et al. *Cordyceps* industry in China[J]. Mycology, 2015, 6(2): 121-129
- [38] Chen WH, Han YF, Liang JD, et al. A new araneogenous fungus of the genus *Clonostachys*[J]. Mycosystema, 2016, 35(9): 1061-1069 (in Chinese)
陈万浩, 韩燕峰, 梁建东, 等. 蛛生真菌中一枝穗霉属新种[J]. 菌物学报, 2016, 35(9): 1061-1069
- [39] Luo Y, Chen WH, Wang Y, et al. A new *Geomyces* species producing melanin in the medium[J]. Mycosystema, 2016, 35(2): 123-130 (in Chinese)
罗韵, 陈万浩, 王垚, 等. 一株产黑色素的地丝霉新种[J]. 菌物学报, 2016, 35(2): 123-130
- [40] Mongkolsamrit S, Noisripoom W, Thanakitpipattana D, et al.

- Disentangling cryptic species with isaria-like morphs in Cordycipitaceae[J]. Mycologia, 2018, 110(1): 230-257
- [41] 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
- [42] 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
- [43] Posada D, Crandall KA. Modeltest: testing the model of DNA substitution[J]. Bioinformatics, 1998, 14(9): 817-818
- [44] Stöver BC, Müller KF. TreeGraph 2: combining and visualizing evidence from different phylogenetic analyses[J]. BMC Bioinformatics, 2010, 11: 7
- [45] 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
- [46] Chen ZH, Chen K, Dai YD, et al. *Beauveria* species diversity in the Gaoligong Mountains of China[J]. Mycological Progress, 2019, 18(7): 933-943
- [47] Liang ZQ. Current situation and ponderation of *Cordyceps* Fr. research and exploitation in China[J]. Acta Edulis Fungi, 2001, 8(2): 53-62 (in Chinese)
梁宗琦. 我国虫草属真菌研究开发的现状及思考[J]. 食用菌学报, 2001, 8(2): 53-62
- [48] Hu FL, Schmidt K, Stoyanova S, et al. Radical scavengers from the entomogenous deuteromycete *Beauveria amorphia*[J]. Planta Medica, 2002, 68(1): 64-65
- [49] Ji XY, Yang CJ. Infection and application of *Beauveria* spp.[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2003, 19(2): 82-85 (in Chinese)
季香云, 杨长举. 白僵菌的致病性与应用[J]. 中国生物防治, 2003, 19(2): 82-85
- [50] Huang B, Li CR, Ding DG, et al. A new record of *Beauveria* in China[J]. Mycosystema, 1997, 16(4): 317 (in Chinese)
黄勃, 李春如, 丁德贵, 等. 白僵菌属一新记录种[J]. 菌物系统, 1997, 16(4): 317
- [51] Liu ZY, Liang ZQ, Whalley AJS, et al. A new species of *Beauveria*, the anamorph of *Cordyceps sobolifera*[J]. Fungal Diversity, 2001, 7: 61-70
- [52] Li YF, Zheng YQ, Xu TM, et al. Diversity of entomogenous fungi of *Beauveria* in the Xishuangbanna Nature Reserve[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2018, 34(4): 559-567 (in Chinese)
李亦菲, 郑亚强, 徐天梅, 等. 西双版纳自然保护区白僵菌属虫生真菌多样性[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(4): 559-567
- [53] Rehner SA, de Muro M, Bischoff JF. Description and phylogenetic placement of *Beauveria malawiensis* sp. nov. (Cordycipitaceae, Hypocreales)[J]. Mycotaxon, 2006, 98(7): 137-145
- [54] Bissett J, Widden P. A new species of *Beauveria* isolated from Scottish moorland soil[J]. Canadian Journal of Botany, 1988, 66(2): 361-362