



哀牢山国家级自然保护区景东片区大型真菌多样性及囊皮伞属一新种

黎泰顺^{1,2}, 鲁金荣^{1,2}, 徐富凤¹, 鲁志云³, 张颖^{1*}, 赵琪^{2*}

1 西南林业大学 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南 昆明 650224

2 中国科学院昆明植物研究所 植物化学与天然药物全国重点实验室, 云南 昆明 650201

3 中国科学院西双版纳热带植物园 哀牢山亚热带森林生态系统研究站, 云南 景东 676209

摘要: 为深入探讨哀牢山国家级自然保护区大型真菌物种及其生态多样性, 研究团队于2022年8月及2024年7月在该保护区的景东片区开展了系统的野外调查和标本采集工作。采用形态学与分子生物学相结合的方法, 对所采集的标本及过去20年积累的区域大型真菌标本进行全面鉴定, 对物种组成、区系地理成分及新记录种进行了统计分析, 并对物种资源进行了分析评价。调查结果显示, 该地区共记录到312个大型真菌物种, 涵盖2门、7纲、22目、66科及131属。其中, 食用菌27种, 药用菌13种, 食药兼用菌5种, 以及毒菌23种。此外, 研究还发现了中国新记录种3个、云南新记录种8个以及新种1个。优势科包括红菇科 Russulaceae、牛肝菌科 Boletaceae、类脐菇科 Omphalotaceae、丝膜菌科 Cortinariaceae、蜡伞科 Hygrophoraceae、鹅膏科 Amanitaceae、粉褶菌科 Entolomataceae、小菇科 Mycenaceae 和多孔菌科 Polyporaceae。在属的多样性方面, 优势属为红菇属 *Russula*、丝膜菌属 *Cortinarius*、鹅膏属 *Amanita*、乳菇属 *Lactarius*、小菇属 *Mycena*、裸脚伞属 *Gymnopus*、粉褶菌属 *Entoloma*、马鞍菌属 *Helvella*、湿伞属 *Hygrocybe*、拟金钱菌属 *Collybiopsis*、蜡蘑属 *Laccaria* 及绒盖牛肝菌属 *Xerocomus*。从区系地理成分分析来看, 该地区以世界广布成分为主(57.25%), 其次为北温带成分(29.77%), 同时还存在一定比例的泛热带成分(9.92%)和东亚成分(3.05%)。中国新记录种包括: 喜马拉雅脚瓶盘菌 *Urnu* *himalayana*、相似光柄菇 *Pluteus conformis* 和囊假齿菌 *Pseudohydnum cystidiatum*, 新种为哀牢囊皮伞 *Cystoderma ailaoshanense*。ITS序列分析结果揭示该地区潜藏大量未知物种, 进一步表明该地区具有较高的大型真菌物种多样性。因此, 该地区大型真菌资源的相关调查亟需进一步深入开展。

关键词: 云南; 物种多样性; 优势类群; 区系组成; 资源; 新种

资助项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究应急任务(2024QZKK02010303); 云南省森林灾害预警与控制重点实验室开放基金(ZK14A307)

This work was supported by the Second Qinghai-Xizang Plateau Scientific Expedition and Research Program (2024QZKK02010303) and the Open Fund of Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province (ZK14A307).

*Corresponding authors. E-mail: ZHANG Ying, yingb.zhang@swfu.edu.cn; ZHAO Qi, zhaoqi@mail.kib.ac.cn

ORCID: LI Taishun (0000-0001-8697-1630), ZHANG Ying (0009-0000-5248-0171), ZHAO Qi (0000-0001-8169-0573)

Received: 2025-04-07; Accepted: 2025-05-09

[引用本文]

黎泰顺, 鲁金荣, 徐富凤, 鲁志云, 张颖, 赵琪, 2025. 哀牢山国家级自然保护区景东片区大型真菌多样性及囊皮伞属一新种. 菌物学报, 44(9): 250105

Li TS, Lu JR, Xu FF, Lu ZY, Zhang Y, Zhao Q, 2025. Macrofungal diversity in Jingdong District of Ailaoshan National Nature Reserve and a new species of *Cystoderma*. Mycosystema, 44(9): 250105

Macrofungal diversity in Jingdong District of Ailaoshan National Nature Reserve and a new species of *Cystoderma*

LI Taishun^{1,2}, LU Jinrong^{1,2}, XU Fufeng¹, LU Zhiyun³, ZHANG Ying^{1*}, ZHAO Qi^{2*}

1 Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China

2 State Key Laboratory of Phytochemistry and Natural Medicines, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, Yunnan, China

3 Ailaoshan Station of Subtropical Forest Ecosystem Studies, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Jingdong 676209, Yunnan, China

Abstract: The species and ecological diversity of macrofungi in the Jingdong area of Ailao Mountain National Nature Reserve were investigated. Systematic field surveys and specimen collection in the area were conducted during August 2022 and July 2024. Utilizing morphological and molecular biological methods, comprehensive identifications of the collected specimens together with accumulative specimens in the past two decades were performed. In-depth statistical analyses focusing on species composition, floristic geographical components, resource evaluation, and newly recorded species were complemented. In total, 312 fungal species were documented in the region, encompassing 2 phyla, 7 classes, 22 orders, 66 families, and 131 genera. Among these, 27 species are edible, 13 medicinal, 5 both culinary and medicinal, and 23 poisonous. The dominant families include Russulaceae, Boletaceae, Omphalotaceae, Cortinariaceae, Amanitaceae, Hygrophoraceae, Entolomataceae, Mycenaceae, and Polyporaceae. The dominant genera cover *Russula*, *Cortinarius*, *Amanita*, *Lactarius*, *Mycena*, *Gymnopus*, *Entoloma*, *Helvella*, *Hygrocybe*, *Collybiopsis*, *Xerocomus*, and *Laccaria*. The cosmopolitan (57.25% of the total species), north temperate (29.77%), pantropic (9.92%), and East Asian fungi (3.05%) are predominant. Three species previously unrecorded in China are documented and one new species is described. Fungal communities within this ecological niche is in need of further research.

Keywords: Yunnan Province; species diversity; dominant taxa; floristic components; resources; new species

哀牢山国家自然保护区位于云南省中南部, 涵盖镇沅县、景东县、南华县、楚雄市、双柏县和新平县, 总面积为 503.6 km²。该区域位于云贵高原、横断山脉和青藏高原南缘的交汇处, 是云南省亚热带北部与南部的过渡区, 拥有我国面积最大的常绿阔叶林。这里的垂直高度差异显

著, 约为 2 700 m, 植被类型多样, 包括热带北缘季雨林、南亚热带季风常绿阔叶林、中山湿性常绿阔叶林、针阔混交林、亚高山草甸和干热河谷稀树灌木草丛等(闫丽春等 2009)。湿润的气候和复杂的植被为大型真菌的生长提供了良好的环境。

大型真菌是指能够形成肉眼可见的子实体、子座、菌核或菌体的一类真菌,或是可被肉眼识别并徒手采摘的真菌(戴玉成等 2021)。作为生态系统中的分解者,大型真菌促进物质循环和能量流动,维持生态平衡,具有重要的生态价值(魏玉莲和戴玉成 2004)。一些大型真菌与植物形成共生关系,产生菌根,这不仅增强了植物的抗病性和逆境适应能力,同时植物根系也为真菌提供所需的营养物质。此外,大型真菌还可作为食物为人类提供营养,如黑木耳 *Auricularia heimuer* F. Wu, B.K. Cui & Y.C. Dai、蛹虫草 *Cordyceps militaris* (L.) Fr.、香菇 *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler、糙皮侧耳 *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.、银耳 *Tremella fuciformis* Berk.和松口蘑 *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S.Imai) Singer 等(戴玉成等 2010),它们富含蛋白质、维生素及人体所需的生物活性物质,是人类食物的重要组成部分。

中国的大型真菌资源极为丰富,尽管许多科学家对此进行了系列研究,但大型真菌多样性研究仍显滞后,物种多样性认识不足(戴玉成等 2021)。自 20 世纪 80 年代以来,多个研究团队对哀牢山自然保护区的大型真菌进行了持续的科学考察和标本采集。例如,沈宏祥和周彤桀(1986)对该地区的高等真菌进行了初步调查,报道了 94 种;李萍等(2019)对南华县大中山的大型真菌进行了调查,共鉴定出 194 种;刘朝茂等(2020a)对景东县徐家坝的大型真菌多样性及其优势科属进行了研究,报道了 210 种;刘朝茂等(2020b)对双柏县鄂嘉镇的大型真菌多样性及资源利用进行了研究,发现 39 种;梁香娜等(2021)对新平县林下大型真菌的区系分布和资源利用进行了初步分析,报道了 157 种,其中包括食用菌 63 种、药用菌 22 种和毒菌 23 种。

早期,哀牢山地区大型真菌的物种鉴定主要依赖于形态学特征,但由于这些特征易受生长环境的影响,现有的报道无法全面、准确地反映该地区的大型真菌多样性。因此,针对哀牢山地区的大型真菌多样性调查仍需进一步深入。本研究对哀牢山自然保护区的景东片区进行了两

次采样,旨在补充和完善该地区大型真菌多样性的数据,为合理开发利用和保护大型真菌资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

实验材料于 2022 年 8 月和 2024 年 7 月采自云南省景东县哀牢山生态站,共计 483 份。野外标本采集采用踏查法进行,包括对每个子实体进行原生态拍照,并详细记录形态特征,如颜色、形状、大小、气味、伤变色等和生境信息,如植被类型、海拔高度、经纬度和生活方式等。标本采集后及时处理,并对部分新鲜子实体使用硅胶干燥以作为分子材料,其余标本在 40 °C 的烘干机中烘干保存。所有标本均保藏于中国科学院昆明植物研究所隐花植物标本馆(HKAS)。

1.2 标本鉴定

标本鉴定主要通过分子生物学方法,而对于难以提取 DNA 的物种,则采用形态学鉴定。形态学鉴定分为宏观特征观察和微观特征观察。宏观特征包括菌盖的颜色、形状、大小和表面附着物,以及菌肉的颜色和伤变色,菌褶或菌管的着生方式、颜色和密度,菌柄的颜色、形状、质地及有无菌环等。微观特征则主要观察孢子、担子、囊状体及菌盖皮层等结构(杨祝良 2005; Zhao *et al.* 2015; Ekanayaka *et al.* 2018)。

使用 *Trelief™* Plant Genomic DNA Kit (擎科生物科技有限公司)从子实体中提取真菌基因组 DNA (Zeng *et al.* 2023)。利用真菌通用引物 ITS5/ITS4 和 LR0R/LR5 分别扩增 ITS 和 LSU 序列(Vilgalys & Hester 1990; White *et al.* 1990),并将 PCR 扩增产物送至北京擎科生物科技有限公司进行测序。随后,使用 Bioedit v.7.0.9 软件查看和检查序列峰图,并将序列上传至 NCBI 数据库进行 BLAST 比对,最终确认标本形态是否与分子生物学鉴定结果一致。

1.3 标本信息分析

根据 *Dictionary of The Fungi* 第 10 版(Kirk *et al.* 2008)和 *Index fungorum* 数据库(<https://>

www.indexfungorum.org/names/names.asp)核实物种的拉丁学名。中文学名参考大型真菌相关书籍(李玉等 2015; 杨祝良等 2022)及《中国生物多样性红色名录-大型真菌卷》(https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/201805/t20180524_629586.html)。依据文献资料(图力古尔和李玉 2000; 图力古尔 2004; 张家辉等 2014; 郭婷等 2022; 杨滢等 2022; 任静等 2024; 周青青等 2024)或查询 Global Biodiversity Information Facility (全球生物多样性信息数据网 <https://www.gbif.org/>), 确定属的区系地理成分。食用菌、药用菌、食药兼用菌和毒菌的划分主要参考戴玉成和杨祝良(2008)、戴玉成等(2010)、图力古尔等(2014, 2024, 2025)、李玉等(2015)、杨祝良等(2021, 2022)的报道。

1.4 序列处理和构建系统发育树

本研究利用新测序数据和文献中的可靠数据(表 1)构建系统发育树, 主要参考 Li *et al.* (2022)、Liu *et al.* (2023)、Feng *et al.* (2024)的研究结果。利用 MAFFT v.7 进行多序列比对(<https://mafft.cbrc.jp/alignment/server/index.html>) (Kato & Standley 2013; Kato *et al.* 2019), 并使用 TrimAl v.1.3 去除低质量区域(Capella-Gutiérrez *et al.* 2009)。使用 SequenceMatrix V.1.8 软件将处理后的序列按顺序组装成组合数据集(Vaidya *et al.* 2011)。

系统发育分析采用了两种方法: 最大似然法(ML)和贝叶斯推断(BI)。最大似然分析在 CIPRES Science Gateway (<http://www.phylo.org/>) 平台上使用 RAxML HPC2 v.8.2.12, 基于 GTR+I+G 模型进行 1 000 次重复运算以获得分支支持值(Miller *et al.* 2010)。使用 MrModeltest v.2.3 (Nylander *et al.* 2004)确定每个基因进化的最佳拟合模型, 采用赤池信息准则(Akaike information criterion), 最终选择 GTR+I+G 替换作为 ITS 和 LSU 的合适模型。贝叶斯推断使用 MrBayes v.3.2 进行分析, 使用马尔可夫链蒙特卡罗抽样(MCMC)计算后验概率(PP)。4 条马尔可夫链同时运行 550 000 代, 每 100 代取样一次。前 25% 的树因老化而被丢弃, 当分裂频率的标准差达到 0.01 且有效样本量(ESS)>200 时确定收敛。

2 结果与分析

2.1 大型真菌物种组成

通过野外采集, 我们共获得 483 份大型真菌标本, 鉴定出 312 个物种[序列上传至国家微生物科学数据中心 NMDC (<https://nmec.cn/>), 核酸序列数据 NMDCN0007RE1 链接为 <https://nmec.cn/resource/genomics/sequence/detail/NMDCN0007RE1>, 核酸序列数据 NMDCN0007RI6 链接为 <https://nmec.cn/resource/genomics/sequence/detail/NMDCN0007RI6>]。这些物种分属于 2 门、7 纲、22 目、66 科和 131 属。其中, 子囊菌门真菌 22 种, 占总种数的 7.05%, 隶属于 4 纲、5 目、8 科和 9 属; 担子菌门真菌 290 种, 占总种数的 92.95%, 隶属于 3 纲、17 目、58 科和 122 属(表 2)。

2.2 优势科属分析

2.2.1 优势科

在云南省哀牢山自然保护区景东片区, 识别出的大型真菌优势科(单科物种数≥10 种)有 9 科(表 3)。其中, 红菇科数量最多, 包含 3 属 47 种, 占总属数和总种数的 2.29%和 15.06%。其次是牛肝菌科, 包含 12 属 22 种, 占总属数和总种数的 9.16%和 7.05%。第三是类脐菇科, 包含 5 属 20 种, 占总属数和总种数的 3.82%和 6.41%。其他优势科包括丝膜菌科、蜡伞科、鹅膏科、粉褶菌科、小菇科和多孔菌科。

2.2.2 优势属

该地区大型真菌的优势属(单属物种数≥5 种)有 12 属(表 4)。其中, 红菇属最多, 有 33 种, 占总种数的 10.58%; 其次是丝膜菌属, 包含 14 种, 占 4.49%; 鹅膏属和乳菇属各有 12 种, 均占 3.85%; 其他优势属包括小菇属、裸脚伞属、粉褶菌属、马鞍菌属、湿伞属、拟金钱菌属、蜡蘑属和绒盖牛肝菌属。这 12 个优势属共计 131 种大型真菌, 占总种数的 41.99%。其余属大多仅包含 1 至 3 种, 以 1 种居多。

2.3 区系地理成分分析

本研究针对哀牢山自然保护区景东片区的大型真菌物种分布进行了分析。由于部分大型真菌物种的分布尚不明确, 且有些物种仅能鉴

表 1 分子系统发育分析所用序列信息汇总

Table 1 Summary of sequence information used in molecular phylogenetic analysis

种名 Species	标本号 Voucher number	采集地 Location	GenBank 登录号 GenBank accession number	
			ITS	LSU
<i>Cystoderma ailaoshanense</i>	HKAS 135841	Yunnan, China	PV436645	PV436696
<i>C. ailaoshanense</i>	HKAS 135803	Yunnan, China	PV436644	PV436695
<i>C. amianthinum</i>	TU101287	Estonia	AM946480	AM946424
<i>C. amianthinum</i>	ZRL20170035	Heilongjiang, China	MW242929	—
<i>C. andinum</i>	C57998	Southern America	AM946481	AM946425
<i>C. andinum</i>	C58476	Southern America	AM946482	AM946426
<i>C. aureum</i>	TAA146976	Estonia	AM946522	—
<i>C. aureum</i>	C27851	Denmark	AM946523	AM946459
<i>C. aureum</i>	HKAS93945	Yunnan, China	MW258864	MW258916
<i>C. carcharias</i>	TAA172011	Sweden	AM946483	AM946428
<i>C. carpaticum</i>	IB19750290	Poland	LT592276	—
<i>C. carpaticum</i>	CNF1/7034	Croatia	LT592274	LT592277
<i>C. chocoanum</i>	FK620	São Paulo, Brazil	—	EU727143
<i>C. chocoanum</i>	NY-EFM629	Colombia	—	U85302
<i>C. granosum</i>	HMAS291346	Gansu, China	MW242933	MW242945
<i>C. granosum</i>	HMAS255934	Gansu, China	MZ424459	MZ413917
<i>C. japonicum</i>	BR79022-64	Japan	AM946491	AM946435
<i>C. japonicum</i>	TU101697	Estonia	—	LT592278
<i>C. jasonis</i>	GLM 45917	Germany	—	AY207196
<i>C. lignicola</i>	HKAS 125915	Yunnan, China	OP881487	OP881489
<i>C. lignicola</i>	HKAS 125914	Yunnan, China	OP881486	OP881488
<i>C. lilaceum</i>	HMAS291349	Gansu, China	MW242922	MW242948
<i>C. lilaceum</i>	HMAS291350	Gansu, China	MW242923	MW242946
<i>C. pseudoamianthinum</i>	HMAS255932	Yunnan, China	MZ424460	MZ413918
<i>C. pseudoamianthinum</i>	HMAS291343	Heilongjiang, China	MW242928	MW242940
<i>C. pseudoamianthinum</i>	HMAS291345	Heilongjiang, China	MW242926	MW242938
<i>C. rugosolateritium</i>	HMAS291351	Gansu, China	MW242925	MW242937
<i>C. simulatum</i>	PDD83705	New Zealand	AM946490	AM946434
<i>C. simulatum</i>	PDD75555	New Zealand	AM946489	AM946432
<i>C. subglobisporum</i>	HMAS281432	Xizang, China	MW242934	MW242947
<i>C. subvinaceum</i>	WU19742	Austria	AM946501	AM946441
<i>C. subvinaceum</i>	WU10567	Austria	AM946502	—
<i>C. subvinaceum</i>	HMAS291342	Inner Mongolia, China	MW242924	MW242941
<i>C. superbum</i>	BR22288-75	Belgium	AM946504	AM946442
<i>C. superbum</i>	REG (Oct 1976)	Germany	AM946503	AM946443
<i>C. tricholomoides</i>	BR5020125408845	Germany	UDB011633	—
<i>C. tricholomoides</i>	BR De Meyer 597	The Netherlands	UDB011634	—
<i>C. tuomikoskii</i>	H	Finland	AM946505	AM946444
<i>C. tuomikoskii</i>	O153775	Norway	AM946507	—
<i>C. yongpingense</i>	KEF-11357	Yunnan, China	OP935710	OP935734
<i>C. yongpingense</i>	KEF-11358	Yunnan, China	OP935712	OP935736
<i>Crucibulum laeve</i>	CBS:168.37	Sweden	MH855872	MH867377
<i>Cr. laeve</i>	SWFC21261	Ningxia, China	DQ463357	—

注：红色名称表示本研究中新描述的物种；粗体名称表示模式标本

Note: Name in red indicates newly described species in this study. Names in bold indicate type collections.

表 2 哀牢山自然保护区景东片区大型真菌分类单元统计
Table 2 The total taxa of macrofungi in Jingdong District of Ailao Mountain Nature Reserve

纲 Class	目 Order	科 Family	属数 Number of genus	种数 Number of species
散囊菌纲 Eurotiomycetes	散囊菌目 Eurotiales	胡刷菌科 Trichocomaceae	1	1
锤舌菌纲 Leotiomycetes	柔膜菌目 Helotiales	耳盘菌科 Cordieritidaceae	1	1
盘菌纲 Pezizomycetes	盘菌目 Pezizales	马鞍菌科 Helvellaceae	1	8
		侧盘菌科 Otideaceae	1	1
		肉盘菌科 Sarcosomataceae	1	3
粪壳菌纲 Sordariomycetes	肉座菌目 Hypocreales	虫草科 Cordycipitaceae	2	3
	炭角菌目 Xylariales	炭团菌科 Hypoxylaceae	1	1
		炭角菌科 Xylariaceae	1	4
蘑菇纲 Agaricomycetes	蘑菇目 Agaricales	蘑菇科 Agaricaceae	2	5
		鹅膏科 Amanitaceae	1	12
		色孢菌科 Callistosporiaceae	1	1
		珊瑚菌科 Clavariaceae	2	6
		杯伞科 Clitocybaceae	2	2
		丝膜菌科 Cortinariaceae	3	17
		靴耳科 Crepidotaceae	1	3
		囊韧革菌科 Cystostereaceae	1	1
		粉褶菌科 Entolomataceae	2	12
		轴腹菌科 Hydnangiaceae	1	5
		蜡伞科 Hygrophoraceae	4	13
		层腹菌科 Hymenogastraceae	5	7
		未定科 Incertae sedis	8	11
		丝盖伞科 Inocybaceae	2	3
		马勃科 Lycoperdaceae	1	1
		小皮伞科 Marasmiaceae	1	4
		小菇科 Mycenaceae	1	11
		类脐菇科 Omphalotaceae	5	20
		膨瑚菌科 Physalaciaceae	4	4
		光柄菇科 Pluteaceae	1	1
		小脆柄菇科 Psathyrellaceae	4	6
		假杯伞科 Pseudoclitocybaceae	1	1
		齿舌革菌科 Radulomycetaceae	1	1
		球盖菇科 Strophariaceae	2	3
		口蘑科 Tricholomataceae	1	4
	木耳目 Auriculariales	木耳科 Auriculariaceae	1	3
		未定科 Incertae sedis	1	1
	牛肝菌目 Boletales	牛肝菌科 Boletaceae	12	22
		丽口包科 Calostomataceae	1	1
		圆孔牛肝菌科 Gyroporaceae	1	1
		硬皮马勃科 Sclerodermataceae	1	1
		乳牛肝菌科 Suillaceae	1	2
	鸡油菌目 Cantharellales	齿菌科 Hydnaceae	2	3
	伏革菌目 Corticiales	伏革菌科 Corticiaceae	1	1
	地星目 Geastrales	地星科 Geastraceae	1	1
	钉菇目 Gomphales	钉菇科 Gomphaceae	1	3
	锈革孔菌目 Hymenochaetales	Hirschioporaceae	1	1

(待续)

(续表 2)

纲	目	科	属数	种数
Class	Order	Family	Number of genus	Number of species
		锈革孔菌科 Hymenochaetaceae	4	4
		丝齿菌科 Hyphodontiaceae	1	1
	莲叶衣目 Lepidostromatales	莲叶衣科 Lepidostromataceae	1	1
	鬼笔目 Phallales	鬼笔科 Phallaceae	2	3
	多孔菌目 Polyporales	齿毛菌科 Cerrenaceae	1	1
		丝毛伏革菌科 Hyphodermataceae	1	1
		囊耙齿菌科 Irpicaceae	1	1
		硫磺菌科 Laetiporaceae	1	1
		皱孔菌科 Meruliaceae	2	2
		原毛平革菌科 Phanerochaetaceae	2	2
		柄杯菌科 Podoscyphaceae	1	1
		多孔菌科 Polyporaceae	8	11
		齿耳科 Steccherinaceae	2	3
	红菇目 Russulales	耳匙菌科 Auriscalpiaceae	2	2
		隔孢伏革菌科 Peniophoraceae	1	1
		红菇科 Russulaceae	3	47
		韧革菌科 Stereaceae	1	3
	蜡壳菌目 Sebacinales	蜡壳菌科 Sebacinaceae	1	1
	革菌目 Thelephorales	坂氏齿菌科 Bankeraceae	1	3
		革菌科 Thelephoraceae	1	2
	胶瑚菌目 Tremellodendropsidales	胶瑚菌科 Tremellodendropsidaceae	1	1
花耳纲 Dacrymycetes	花耳目 Dacrymycetales	花耳科 Dacrymycetaceae	2	2
银耳纲 Tremellomycetes	银耳目 Tremellales	银耳科 Tremellaceae	1	2

表 3 哀牢山自然保护区景东片区大型真菌优势科(≥10 种)统计

Table 3 Statistics of dominant families (≥10 species) of macrofungi in Jingdong District of Ailao Mountain Nature Reserve

科名	属数	种数	占总种数
Family	Number of genus	Number of species	比例 Percentage (%)
红菇科 Russulaceae	3	47	15.06
牛肝菌科 Boletaceae	12	22	7.05
类脐菇科 Omphalotaceae	5	20	6.41
丝膜菌科 Cortinariaceae	3	17	5.45
蜡伞科 Hygrophoraceae	4	13	4.17
鹅膏科 Amanitaceae	1	12	3.85
粉褶菌科 Entolomataceae	2	12	3.85
小菇科 Mycenaceae	1	11	3.53
多孔菌科 Polyporaceae	8	11	3.53
总计 Total	39	165	52.88

定至属水平,我们根据属的分布类型对真菌区系的地理成分进行了划分。从属的组成来看,该区域的大型真菌主要以世界广布成分为主,同时北温带成分和泛热带成分也是其重要组成部分。

2.3.1 世界广布成分

该地区世界广布成分有 75 属, 占总属数的 57.25%。子囊菌为白僵菌属 *Beauveria*、复柄盘菌属 *Cordierites*、虫草属 *Cordyceps*、炭团菌属 *Hypoxylon*、须刷菌属 *Trichocomma* 和炭角菌属 *Xylaria*。担子菌主要包括蘑菇属 *Agaricus*、鹅膏属 *Amanita*、密瑚菌属 *Artomyces*、耳匙菌属 *Auriscalpium*、管孔菌属 *Bjerkandera*、牛肝菌属 *Boletus*、色孢菌属 *Callistosporium*、胶角耳属 *Calocera*、齿毛菌属 *Cerrena*、笼头菌属 *Clathrus*、珊瑚菌属 *Clavaria*、拟锁瑚菌属 *Clavulinopsis*、杯伞属 *Clitocybe*、斜盖伞属 *Clitopilus*、金钱菌

属 *Collybia*、集毛孔菌属 *Coltricia*、拟鬼伞属 *Coprinopsis*、靴耳属 *Crepidotus*、蓝孔菌属 *Cyanosporus*、金襴伞属 *Cyptotrama*、囊皮伞属 *Cystoderma*、牛排菌属 *Fistulina*、褐孔菌属 *Fuscoporia*、地星属 *Geastrum*、老伞属 *Gerronema*、裸伞属 *Gymnopilus*、裸脚伞属 *Gymnopus*、圆孢牛肝菌属 *Gyroporus*、亚齿菌属 *Hydnellum*、齿菌属 *Hydnum*、湿伞属 *Hygrocybe*、丝皮菌属 *Hyphoderma*、产丝齿菌属 *Hyphodontia*、垂幕菇属 *Hypholoma*、岐盖伞属 *Inosperma*、蜡蘑属 *Laccaria*、灼孔菌属 *Laetiporus*、革褥菌属 *Lenzites*、环柄菇属 *Lepiota*、马勃属 *Lycoperdon*、疏伏革菌属 *Lyomyces*、微皮伞属 *Marasmiellus*、小皮伞属 *Marasmius*、小菇属 *Mycena*、微菇属 *Mycetinis*、鸟巢菌属 *Nidularia*、囊孔菌属 *Pallidohirschioporus*、多年卧孔菌属 *Perenniporia*、鬼笔属 *Phallus*、原毛平革菌属 *Phanerochaete*、木层孔菌属 *Phellinus*、射脉革菌属 *Phlebia*、黑柄多孔菌属 *Picipes*、光柄菇属 *Pluteus*、小脆柄菇属 *Psathyrella*、假齿菌属 *Pseudohydnum*、裸盖菇属 *Psilocybe*、红菇属 *Russula*、硬皮马勃属 *Scleroderma*、蜡壳菌属 *Sebacina*、韧革菌属 *Stereum*、松塔牛肝菌属 *Strobilomyces*、撒克斯特腹菌属 *Thaxterogaster*、栓菌属 *Trametes*、银耳属 *Tremella*、口蘑属 *Tricholoma*、叉丝革菌属

Vararia、*Vitreoporus* 和干蘑属 *Xerula*。

2.3.2 北温带成分

指分布于北半球温带的属，广泛分布于欧洲、北美洲和亚洲温带地区。该地区北温带成分有 39 属，占总属数的 29.77%。子囊菌为马鞍菌属 *Helvella*、侧盘菌属 *Otidea* 和脚瓶盘菌属 *Urnula*。担子菌主要包括金牛肝菌属 *Aureoboletus*、黄肉牛肝菌属 *Butyriboletus*、黄盖小脆柄菇属 *Candolleomyces*、锁瑚菌属 *Clavulina*、小杯伞属 *Clitocybula*、拟金钱菌属 *Collybiopsis*、小鬼伞属 *Coprinellus*、丝膜菌属 *Cortinarius*、壳革菌属 *Crustomyces*、拟迷孔菌属 *Daedaleopsis*、冬菇属 *Flammulina*、湿果伞属 *Gliophorus*、全缘孔菌属 *Haploporus*、*Harmajaea*、滑锈伞属 *Hebeloma*、庭院牛肝菌属 *Hortiboletus*、湿皮伞属 *Humidicutis*、蜡伞属 *Hygrophorus*、漏斗伞属 *Infundibulicybe*、丝盖伞属 *Inocybe*、乳菇属 *Lactarius*、多汁乳菇属 *Lactifluus*、疣柄牛肝菌属 *Leccinum*、针刺菌属 *Mycorrhaphium*、脆伞属 *Naucoria*、新牛肝菌属 *Neoboletus*、暗金钱菌属 *Phaeocollybia*、栓齿菌属 *Phellodon*、黏盖伞属 *Phlegmacium*、鳞伞属 *Pholiota*、钝齿壳菌属 *Radulomyces*、枝瑚菌属 *Ramaria*、齿耳菌属 *Steccherinum*、乳牛肝菌属 *Suillus*、胶瑚菌属 *Tremellodendropsis* 和绒盖牛肝菌属 *Xerocomus*。

表 4 哀牢山自然保护区景东片区大型真菌优势属(≥5 种)统计
Table 4 Statistics of dominant genera (≥5 species) of macrofungi in Jingdong District of Ailao Mountain Nature Reserve

属名 Genus	种数 Number of species	占总种数比例 Percentage (%)	习性 Habit
红菇属 <i>Russula</i>	33	10.58	共生 Symbiotic
丝膜菌属 <i>Cortinarius</i>	14	4.49	共生 Symbiotic
鹅膏属 <i>Amanita</i>	12	3.85	共生 Symbiotic
乳菇属 <i>Lactarius</i>	12	3.85	共生 Symbiotic
小菇属 <i>Mycena</i>	11	3.53	腐生 Saprophytic
裸脚伞属 <i>Gymnopus</i>	10	3.21	腐生 Saprophytic
粉褶菌属 <i>Entoloma</i>	9	2.88	腐生 Saprophytic
马鞍菌属 <i>Helvella</i>	8	2.56	共生 Symbiotic
湿伞属 <i>Hygrocybe</i>	6	1.92	共生 Symbiotic
拟金钱菌属 <i>Collybiopsis</i>	6	1.92	腐生 Saprophytic
蜡蘑属 <i>Laccaria</i>	5	1.60	共生 Symbiotic
绒盖牛肝菌属 <i>Xerocomus</i>	5	1.60	共生 Symbiotic
总计 Total	131	41.99	

2.3.3 泛热带成分

分布于东西两半球热带或可达亚热带至温带,但分布中心仍在热带。该地区泛热带成分有 13 属,占总属数的 9.92%,主要包括条孢牛肝菌属 *Boletellus*、美口菌属 *Calostoma*、假花耳属 *Dacryopinax*、粉褶菌属 *Entoloma*、洞芝属 *Foraminispora*、锈革菌属 *Hymenochaete*、香菇属 *Lentinula*、小奥德蘑属 *Oudemansiella*、褶孔牛肝菌属 *Phylloporus*、*Pleurella*、柄杯菌属 *Podoscypha*、丽烛衣属 *Sulzbacheromyces* 和沟褶菌属 *Trogia*。

2.3.4 东亚成分

指分布于中国、朝鲜、韩国及俄罗斯远东地区,向南可扩展至我国南部至中南半岛,向西可达印度、尼泊尔和巴基斯坦。该地区东亚成分有 4 属,占总属数的 3.05%,主要包括榆孔菌属 *Elmerina*、黄脚牛肝菌属 *Harrya*、黏盖牛肝菌属 *Mucilopilus* 和假射脉革菌属 *Pseudophlebia*。

2.3.5 特有成分

仅指分布于哀牢山自然保护区的中国特有种、云南特有种和哀牢山特有种。*Clathrus xiningensis*、*Collybia bisterigmata*、*Crustomyces scytinostromoides*、*Cyanosporus submicroporus*、*Gerronema baishanzuense*、*Gymnopus fuscus*、*Gymnopus schizophyllus*、*Gymnopus viridocephalus*、*Haploporus subpapyraceus*、*Hydnum sphaericum*、*Hyphoderma sinense*、*Lactarius olivaceofuscus*、*Laetiporus ailaoshanensis*、*Phellodon crassipileatus*、*Podoscypha yunnanensis*、*Psathyrella conica* 为中国特有种;而 *Agaricus daliensis*、*Clitopilus amygdaliformis*、*Cortinarius megacystidiatus*、*Helvella subtinta*、*Hydnellum yunnanense*、*Inocybe paludinelloides*、*Thaxterogaster alboparvus* 为云南特有种; *Cystoderma lignicola*、*Lyomyces macrosporus*、*Phlebia ailaoshanensis*、*Urnula ailaoshanensis* 为哀牢山特有种。特有成分共计 27 种,占总种数的 8.65%。说明哀牢山地区生态环境条件的特殊性。此外,还有一些本研究未收集到,但模式标本采集自哀牢山地区的新报道物种,如 *Chlorociboria ailaoensis* H.L. Su, K.D. Hyde & Q. Zhao、*Cortinarius brunneoverrucosus*

Zhu L. Yang, Liu K. Jia & Zi R. Wang、*Cortinarius neodisjungendus* Zhu L. Yang, Liu K. Jia & Zi R. Wang、*Hyphoderma crystallinum* C.L. Zhao & Q.X. Guan、*Lyomyces bambusinus* C.L. Zhao、*Lyomyces cremeus* C.L. Zhao、*Lyomyces wuliangshanensis* C.L. Zhao 等(Chen & Zhao 2020; Guan & Zhao 2021; Jia et al. 2025; Su et al. 2025)。

2.4 物种资源评价

经过此次调查,该地区具有经济价值的大型真菌有 68 种,其余 244 种食性不明。将具有经济价值的大型真菌资源分为 4 类:食用菌、药用菌、食药兼用菌和毒菌。其中,食用菌有 27 种,药用菌 13 种,食药兼用菌 5 种,毒菌 23 种(表 5)。该地区的食用菌资源十分丰富,其中包括凸顶红黄鹅膏 *Amanita rubroflava* Y.Y. Cui, Q. Cai & Zhu L. Yang、褐盖牛肝菌 *Boletus umbrinipileus* B. Feng, Y.Y. Cui, J.P. Xu & Zhu L. Yang、粘盖牛肝菌 *B. viscidiceps* B. Feng, Y.Y. Cui, J.P. Xu & Zhu L. Yang、云南金针菇 *Flammulina yunnanensis* Z.W. Ge & Zhu L. Yang、香菇、金黄银耳 *Tremella flava* Chee J. Chen 以及变绿红菇 *Russula virescens* (Schaeff.) Fr.等,均为云南野生菌市场上备受欢迎的食用菌。药用菌主要为木腐菌类,包括黑管孔菌 *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst.、桦革菌 *Lenzites betulinus* (L.) Fr.、钢青木层孔菌 *Phellinus adamantinus* (Berk.) Ryvarden 和粗毛韧革菌 *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers.;此外,还有少数寄生真菌,如粉被虫草 *Cordyceps pruinosa* Petch 和萨摩亚银耳 *Tremella samoensis* Lloyd。网纹马勃 *Lycoperdon perlatum* Pers.幼时可食用,而成熟后孢子粉则具有止血消肿的功效。根据图力古尔等(2025)对毒菌中毒类型的划分,本研究将该地区的毒菌划分为 6 类:胃肠炎型、神经精神型、肝肾损害型、呼吸循环衰竭型、光敏感性皮炎型和溶血型。该地区毒菌资源丰富,引起胃肠炎型中毒的毒菌包括:方孢粉褶菌 *Entoloma murrayi* (Berk. & M.A. Curtis) Sacc. & P. Syd.、柄裸脚伞 *Gymnopus dryophilus* (Bull.) Murrill、变黑湿伞 *Hygrocybe conica* (Schaeff.) P. Kumm.、木生乳菇 *Lactarius lignicola* W.F. Chiu、点柄黄

红菇 *Russula senecis* S. Imai、虎皮乳牛肝菌 *Suillus phylopius* Rui Zhang, X.F. Shi, P.G. Liu & G.M. Muell.和皂味口蘑 *Tricholoma saponaceum* (Fr.) P. Kumm. (图力古尔等 2014)。引起神经精神型中毒的毒菌有黄白小脆柄菇 *Candolleomyces candolleanus* (Fr.) D. Wächt. & A. Melzer 和鳞毛丝盖伞 *Inocybe flocculosa* Sacc. (卯晓岚 2006; 图力古尔等 2014, 2024)。此外, 有 8 种毒菌可引起两种及以上类型的中毒, 例如簇生垂幕菇 *Hypholoma fasciculare* (Huds.) P. Kumm., 其含有甾烯类、沿丝伞菌素和萜类毒素, 能够导致肝肾损害型、呼吸系统衰竭型和胃肠炎型中毒(卯晓岚 2006; 图力古尔等 2014, 2024); 深凹漏斗伞 *Infundibulicybe gibba* (Pers.) Harmaja 可引起胃肠炎型、神经精神型和呼吸系统衰竭型中毒(图力古

尔等 2014);橘黄裸脚伞 *Gymnopilus junonius* (Fr.) P.D. Orton 则能导致神经精神型和胃肠炎型中毒, 其所含裸伞素可刺激中枢神经, 导致中毒者出现大笑或色彩幻视症(卯晓岚 2006)。毒沟褶菌 *Trogia venenata* Zhu L. Yang, Yan C. Li & L.P. Tang 可能导致中毒者猝死, 但其毒素和作用机理尚不明确(杨祝良等 2022)。部分毒菌与可食用菌形态相似, 须谨防误食造成的伤害。

2.5 新记录种和新种

2.5.1 新记录种

经过此次大型真菌资源调查, 我们在哀牢山自然保护区景东片区发现了 3 个中国新记录种和 8 个云南新记录种(表 6)。中国新记录种为喜马拉雅脚瓶盘菌、相似光柄菇和囊假齿菌。

表 5 哀牢山自然保护区景东片区大型真菌资源种类
Table 5 Types of macrofungi resources in Jingdong District of Ailao Mountain Nature Reserve

中文名	拉丁名	经济价值
Chinese name	Scientific name	Economic value
凸顶红黄鹅膏	<i>Amanita rubroflava</i> Y.Y. Cui, Q. Cai & Zhu L. Yang	食用 Edible
东方耳匙菌	<i>Auriscalpium orientale</i> P.M. Wang & Zhu L. Yang	食用 Edible
褐盖牛肝菌	<i>Boletus umbrinipileus</i> B. Feng, Y.Y. Cui, J.P. Xu & Zhu L. Yang	食用 Edible
粘盖牛肝菌	<i>B. viscidiceps</i> B. Feng, Y.Y. Cui, J.P. Xu & Zhu L. Yang	食用 Edible
冠锁瑚菌	<i>Clavulina cristata</i> (Holmsk.) J. Schröt.	食用 Edible
梭形拟锁瑚菌	<i>Clavulinopsis fusiformis</i> (Sowerby) Corner	食用 Edible
绒柄拟金钱菌	<i>Collybiopsis confluens</i> (Pers.) R.H. Petersen	食用 Edible
亮色丝膜菌	<i>Cortinarius claricolor</i> (Fr.) Fr.	食用 Edible
相似丝膜菌	<i>C. similis</i> (E. Horak) Peintner, E. Horak, M.M. Moser & Vilgalys	食用 Edible
云南金针菇	<i>Flammulina yunnanensis</i> Z.W. Ge & Zhu L. Yang	食用 Edible
长囊圆孢牛肝菌	<i>Gyroporus longicystidiatus</i> Nagas. & Hongo	食用 Edible
黄脚哈里牛肝菌	<i>Harrya chromipes</i> (Frost) Halling, Nuhn, Osmundson & Manfr. Binder	食用 Edible
卷边马鞍菌	<i>Helvella involuta</i> Q. Zhao, Zhu L. Yang & K.D. Hyde	食用 Edible
小红湿伞	<i>Hygrocybe miniata</i> (Fr.) P. Kumm.	食用 Edible
黄灰蜡蘑	<i>Laccaria fulvogrisea</i> Popa, Rexer & G. Kost	食用 Edible
蓝紫蜡蘑	<i>L. moshuijun</i> Popa & Zhu L. Yang	食用 Edible
蒜头状微菇	<i>Mycetinis scorodonius</i> (Fr.) A.W. Wilson & Desjardin	食用 Edible
亚黏小奥德蘑	<i>Oudemansiella submucida</i> Corner	食用 Edible
海棠竹荪	<i>Phallus haitangensis</i> H. Li Li, P.E. Mortimer, J.C. Xu & K.D. Hyde	食用 Edible
小孢鳞伞	<i>Pholiota microspora</i> (Berk.) Sacc.	食用 Edible
厚囊褶孔牛肝菌	<i>Phylloporus pachycystidiatus</i> N.K. Zeng, Zhu L. Yang & L.P. Tang	食用 Edible
云南褶孔牛肝菌	<i>P. yunnanensis</i> N.K. Zeng, Zhu L. Yang & L.P. Tang	食用 Edible
致密红菇	<i>Russula compacta</i> Frost	食用 Edible
蓝黄红菇	<i>R. cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	食用 Edible
菱红菇	<i>R. vesca</i> Fr.	食用 Edible
金黄银耳	<i>Tremella flava</i> Chee J. Chen	食用 Edible

(待续)

(续表 5)

中文名	拉丁名	经济价值
Chinese name	Scientific name	Economic value
中华干蘑	<i>Xerula sinopudens</i> R.H. Petersen & Nagas.	食用 Edible
黑烟管孔菌	<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) P. Karst.	药用 Medicinal
堇紫珊瑚菌	<i>Clavaria zollingeri</i> Lév.	药用 Medicinal
粉被虫草	<i>Cordyceps pruinosa</i> Petch	药用 Medicinal
野丝膜菌	<i>Cortinarius torvus</i> (Fr.) Fr.	药用 Medicinal
桦革褥菌	<i>Lenzites betulinus</i> (L.) Fr.	药用 Medicinal
钢青木层孔菌	<i>Phellinus adamantinus</i> (Berk.) Ryvarden	药用 Medicinal
火木层孔菌	<i>P. igniarius</i> (L.) Quél.	药用 Medicinal
烟色韧革菌	<i>Stereum gausapatum</i> (Fr.) Fr.	药用 Medicinal
粗毛韧革菌	<i>S. hirsutum</i> (Willd.) Pers.	药用 Medicinal
萨摩亚银耳	<i>Tremella samoensis</i> Lloyd	药用 Medicinal
二形附毛孔菌	<i>Trichaptum biforme</i> (Fr.) Ryvarden	药用 Medicinal
褐紫附毛孔菌	<i>T. fuscoviolaceum</i> (Ehrenb.) Ryvarden	药用 Medicinal
亚牛舌菌	<i>Fistulina subhepatica</i> B.K. Cui & J. Song	食药用 Edible and medicinal
香菇	<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	食药用 Edible and medicinal
网纹马勃	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	食药用 Edible and medicinal
变绿红菇	<i>Russula virescens</i> (Schaeff.) Fr.	食药用 Edible and medicinal
杨树口蘑	<i>Tricholoma populinum</i> J.E. Lange	食药用 Edible and medicinal
红托鹅膏	<i>Amanita rubrovolvata</i> S. Imai	胃肠炎型 G、神经精神型 P
暗盖淡鳞鹅膏	<i>A. sepiacea</i> S. Imai	无类别 U
角鳞灰鹅膏	<i>A. spissacea</i> S. Imai	神经精神型 P、溶血型 H
黄白小脆柄菇	<i>Candolleomyces candolleanus</i> (Fr.) D. Wächt. & A. Melzer	神经精神型 P
晶粒小鬼伞	<i>Coprinellus micaceus</i> (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	胃肠炎型 G、神经精神型 P
叶状耳盘菌	<i>Cordierites frondosus</i> (Kobayasi) Korf	胃肠炎型 G、光敏感性皮炎型 PD
方孢粉褶菌	<i>Entoloma murrayi</i> (Berk. & M.A. Curtis) Sacc. & P. Syd.	胃肠炎型 G
肉红方孢粉褶菌	<i>E. quadratum</i> (Berk. & M.A. Curtis) E. Horak	无类别 U
栎裸脚伞	<i>Gymnopus dryophilus</i> (Bull.) Murrill	胃肠炎型 G
橘黄裸伞	<i>Gymnopilus junonius</i> (Fr.) P.D. Orton	胃肠炎型 G、神经精神型 P
变黑湿伞	<i>Hygrocybe conica</i> (Schaeff.) P. Kumm.	胃肠炎型 G
烟色垂幕菇	<i>Hypholoma capnoides</i> (Fr.) P. Kumm.	无类别 U
簇生垂幕菇	<i>H. fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.	肝肾损害型 ALKF、 呼吸循环衰竭型 R、胃肠炎型 G
深凹漏斗伞	<i>Infundibulicybe gibba</i> (Pers.) Harmaja	神经精神型 P、 呼吸循环衰竭型 R、胃肠炎型 G
鳞毛丝盖伞	<i>Inocybe flocculosa</i> Sacc.	神经精神型 P
木生乳菇	<i>Lactarius lignicola</i> W.F. Chiu	无类别 U
哀牢山硫磺菌	<i>Laetiporus ailaoshanensis</i> B.K. Cui & J. Song	胃肠炎型 G
冠状环柄菇	<i>Lepiota cristata</i> (Bolton) P. Kumm.	无类别 U
臭红菇	<i>Russula foetens</i> Pers.	胃肠炎型 G、神经精神型 P、 溶血型 H
可爱红菇	<i>R. grata</i> Britzelm.	无类别 U
点柄黄红菇	<i>R. senecis</i> S. Imai	胃肠炎型 G
虎皮乳牛肝菌	<i>Suillus phylopictus</i> Rui Zhang, X.F. Shi, P.G. Liu & G.M. Muell.	胃肠炎型 G
皂味口蘑	<i>Tricholoma saponaceum</i> (Fr.) P. Kumm.	胃肠炎型 G
毒沟褶菌	<i>Trogia venenata</i> Zhu L. Yang, Yan C. Li & L.P. Tang	无类别 U

注：ALKF=肝肾损害型；G=胃肠炎型；H=溶血型；P=神经精神型；PD=光敏感性皮炎型；R=呼吸循环衰竭型；U=无类别
 Note: ALKF=Acute liver and kidney failure; G=Gastroenteritis; H=Hemolysis; P=Psycho to neurological disorder; PD=Photosensitive dermatitis; R=Respiratory failure; U=Unclassified.

表 6 哀牢山自然保护区的新记录种
Table 6 New record species in Ailao Mountain Nature Reserve

中文名	拉丁名	现有分布
Chinese name	Species name	Distribution
喜马拉雅脚瓶盘菌	<i>Urnula himalayana</i>	中国(云南)、印度 China (Yunnan), India
相似光柄菇	<i>Pluteus conformis</i>	中国(云南)、越南 China (Yunnan), Vietnam
囊假齿菌	<i>Pseudohydnum cystidiatum</i>	中国(云南)、越南 China (Yunnan), Vietnam
荷伯生氏斜盖伞	<i>Clitopilus hobsonii</i>	云南、中国台湾 Yunnan; Taiwan, China
	<i>Crustomyces scytinostromoides</i>	四川、云南 Sichuan, Yunnan
百山祖老伞	<i>Gerronema baishanzuense</i>	浙江、安徽、云南 Zhejiang, Anhui, Yunnan
褐色裸脚伞	<i>Gymnopus fuscus</i>	青海、云南 Qinghai, Yunnan
短柄滑锈伞	<i>Hebeloma ingratum</i>	吉林、云南 Jilin, Yunnan
白缘滑锈伞	<i>Hebeloma leucosarx</i>	黑龙江、内蒙古、吉林、云南 Heilongjiang, Inner Mongolia, Jilin, Yunnan
球状齿菌	<i>Hydnum sphaericum</i>	湖南、云南 Hunan, Yunnan
尖顶小脆柄菇	<i>Psathyrella conica</i>	吉林、贵州、云南 Jilin, Guizhou, Yunnan

(1) 喜马拉雅脚瓶盘菌 *Urnula himalayana* K. Das & D. Chakr., in Wang, Das, Horman, Antonin, Baghela, Chakraborty, Hembrom, Nakasone, Ortiz-Santana, Vizzini, Hofstetter & Buyck, Cryptog. Mycol. 39(2): 249 (2018) Fig. 1

子囊盘直径 2–6 cm，高 1.5–3 cm，盘状、碗状或碟状，近无柄，边缘不规则浅裂，很少全缘；子实层表面红棕色 (#a52a2a) 至暗褐色 (#654321)，光滑，具光泽；子层托表面柔软，与茎的接合处折叠或有脉，脉连接形成网状，近黑色。

生境：散生于阔叶林中腐木上。

研究标本：中国，云南省景东彝族自治县，哀牢山亚热带森林生态系统研究站，海拔 2 450 m，2022 年 8 月 25 日，LTS 123。



图 1 喜马拉雅脚瓶盘菌生境照
Fig. 1 *Urnula himalayana* in situ.

讨论：喜马拉雅脚瓶盘菌原报道于印度锡金邦，其主要特征是近无柄至明显有柄的子囊盘，

杯状边缘完整至不规则中断，柔软的子层托表面，无疣状突起，脉状褶皱朝向菌柄，大型厚壁子囊孢子(24–33.6 × 10–13.8 μm) (Wang *et al.* 2018)。研究标本 LTS123 的形态特征与模式标本相符合；且与喜马拉雅脚瓶盘菌模式标本 ITS 序列的相似度达 99.48%。因此，基于形态学特征和 ITS 序列比对，LTS123 应为喜马拉雅脚瓶盘菌。

(2) 相似光柄菇 *Pluteus conformis* E.F. Malysheva, in Malysheva, Popov, Morozova, Dudka, Pham & Malysheva, J. Fungi 9 (5, no. 584): 6 (2023) Fig. 2

菌盖直径 3–4.5 cm，初半球形，渐平展，表面淡褐色至栗褐色或焦茶色，光滑，或具放射状细微纤毛，中部凸起，边缘具半透明条纹。菌肉白色，伤不变色。菌褶离生，密，不等长，初白色，成熟时粉色，腹鼓状，褶缘平滑。菌柄 4–6.5 cm × 0.3–0.6 cm，近圆柱状，或向下稍膨大，白色，具稀疏的褐色或灰褐色纵纹。

担孢子 5.5–7.5 × 4.5–6 μm，椭圆形至宽椭圆形，粉色，光滑，或具一油滴。担子 25–33 × 8–10 μm，棒状，4 孢。侧生囊状体丰富，78–93 × 14–20 μm，棒状或纺锤状，或狭窄，具 3–5 角，无色，透明。菌盖皮层由菌丝组成，或具凝胶层，菌丝近圆筒状，直径 8–14 μm，末端细胞具褐色染色质。锁状联合未见。

生境：单生或散生于阔叶林中腐木上。



图2 相似光柄菇生境照

Fig. 2 *Pluteus conformis* in situ.

研究标本:中国,云南省景东彝族自治县,哀牢山亚热带森林生态系统研究站,海拔2 500 m, 2024年7月17日, LTS 291。

讨论:相似光柄菇原报道于越南老街省巴特夏区,其主要特征是淡棕色至铜棕色菌盖表面具放射状纤毛,菌褶离生,粉色;菌柄表面布满疏密的纵向棕色或灰棕色条纹;担孢子 $5.4\text{--}7.5 \times 4.4\text{--}5.7 \mu\text{m}$, 宽椭圆形或卵形;侧生囊状体狭至宽梭形,顶端有3–5个钩,褶缘囊状体宽棍棒状或球状(Malysheva *et al.* 2023)。在研究标本 LTS291 中,除未观察到褶缘囊状体外,其余特征均与模式标本相符合;且与相似光柄菇模式标本 ITS 序列的相似度达 100%。因此,基于形态学特征和 ITS 序列比对, LTS291 应为相似光柄菇。

(3) 囊假齿菌 *Pseudohydnum cystidiatum* Malysheva & V. Dudka, in Malysheva, Viner, Dudka, Grebenc & Miettinen, Mycol. Progr. 22(6, no. 40): 10 (2023) Fig. 3

担子果最宽可达 1.5 cm, 厚 0.1–0.2 cm, 贝壳状至半圆形, 胶质。菌盖表面光滑或具细微绒毛, 新鲜时灰白色(#d3d3d3)至淡赭色(#fafad2), 干后淡灰色。子实层齿状;小齿长可达 1 mm, 圆锥形, 透明, 白色至乳白色。菌柄长可达 1 cm, 宽可达 0.5 cm, 侧生, 扁圆形, 淡灰色。

生境:散生于阔叶林中腐木上。

研究标本:中国,云南省景东彝族自治县,哀牢山亚热带森林生态系统研究站,海拔2 550 m, 2024年7月17日, LTS 287。

讨论:囊假齿菌原报道于越南高平市,其主要特征是担子果胶质,宽可达 1.5 cm, 厚

0.1–0.15 cm, 灰褐色菌盖表面具乳突, 边缘波状, 刺尖锐利, 白色至乳白色, 长可达 0.5 mm, 菌柄不发育或极短(Spirin *et al.* 2023)。在研究标本 LTS287 中,除菌柄较长,其余特征与模式标本相符合;且与囊假齿菌模式标本 LSU 序列的相似度达 99.59%。因此,基于形态学特征和 LSU 序列比对, LTS287 应为囊假齿菌。



图3 囊假齿菌生境照

Fig. 3 *Pseudohydnum cystidiatum* in situ.

2.5.2 囊皮伞属 *Cystoderma* 一新种

基于 ITS 和 LSU 基因片段构建的系统发育树见图 4。联合矩阵包含 74 条序列(39 条 ITS 和 35 条 LSU), 代表 43 个样本。对齐序列包含 1 504 个碱基位点(包括间隙), 其中 ITS 包含 618 个碱基位点, LSU 包含 886 个碱基位点。ML 和 BI 的系统发育树显示拓扑结构相似, ML 分析的拓扑结构与 MLBS/BIPP 算法的统计值一起显示(图 4)。所构建的系统发育树与 Li *et al.* (2022)、Liu *et al.* (2023)、Feng *et al.* (2024)的分支结构相似。系统发育表明,我们新收集的样本在该属里形成了一个独立的分支,与其他物种在系统发育树上能较好地区分。

哀牢囊皮伞 图 5

Cystoderma ailaoshanense T.S. Li, J.R. Lu & Q. Zhao, sp. nov. Fig. 5

Index Fungorum: IF903725

Etymology: The specific epithet is proposed because of the type locality being Ailaoshan of the fungus.

Holotype: China, Yunnan Province, Jingdong County, Ailaoshan Station of Subtropical Forest Ecosystem Studies, alt. 2 500 m, 25 Aug. 2022, LJR 209 (HKAS 135841).

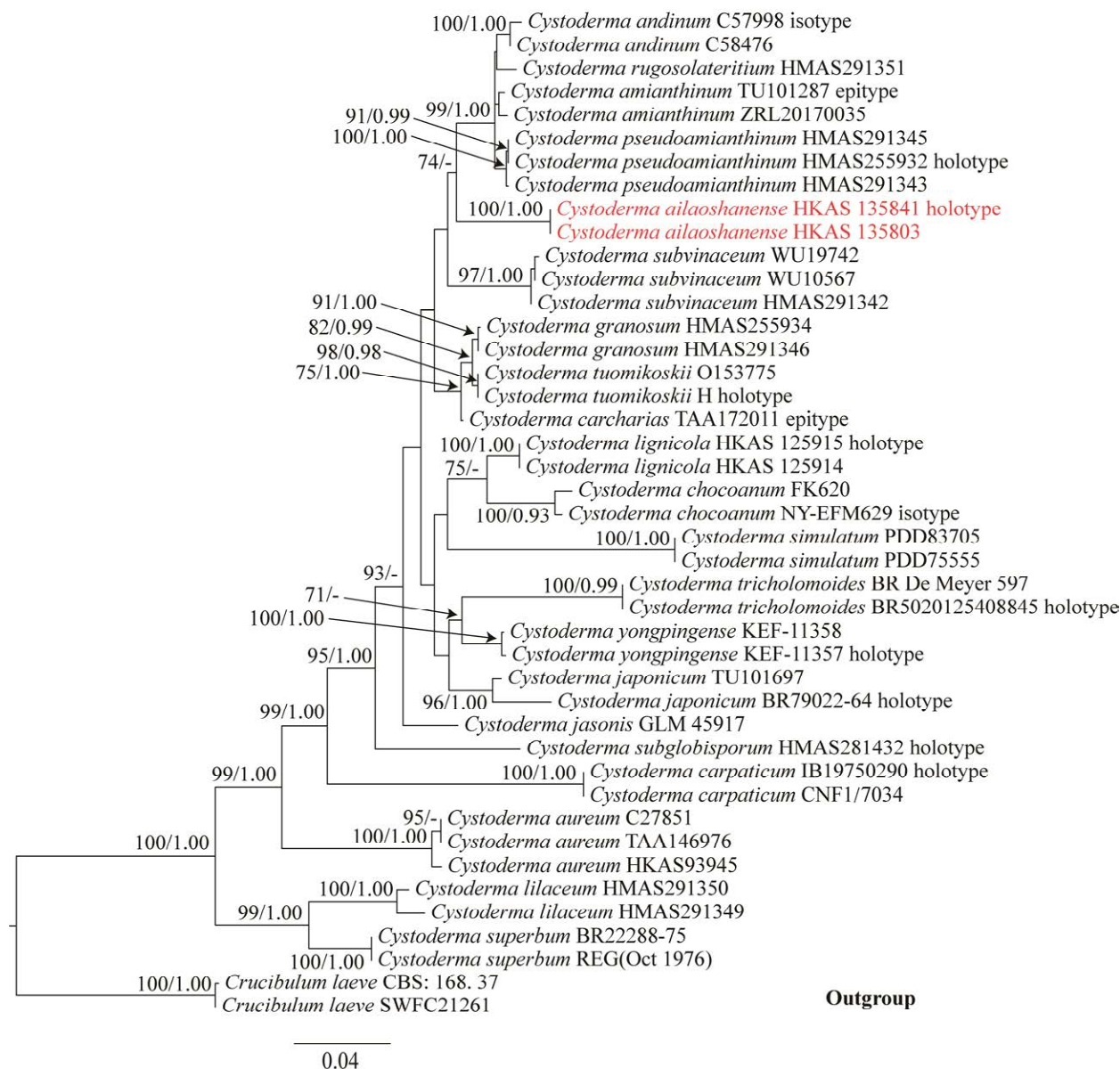


图4 基于 ITS 和 LSU 数据集组合构建的最大似然系统发育树 节点上方标有最大似然自举值(ML-BP)≥70%和贝叶斯后验概率(BI-PP)≥0.90. 标本凭证在物种名称后注明. 本研究中收集的新样本以红色表示. 模式标本物种名称后注明

Fig. 4 Maximum likelihood phylogenetic tree generated from combined ITS and LSU sequenced dataset. Maximum likelihood bootstrap (ML-BP) ≥70% and Bayesian posterior probabilities (BI-PP) ≥0.90 are indicated above the nodes. Specimen vouchers are noted after the species names. New samples collected in this study are indicated in red. Type specimens are noted after the species names.

Macroscopic description: Pileus 15–35 mm in diam., hemispherical at first, convex to plano-convex when mature, surface dry, densely covered with obtuse and conical warts, coffee (#6f4e37) to dark chestnut (#986960), dark in the center. Margin moderately decurved at first, applanate to plane with age, with remnants of a

veil the same color as the pileus. Lamellae adnate to adnexed, cream, with 1–2 lamellulae. Stipe 25–45 mm × 3–6 mm, subcylindrical or slightly swollen at base, solid, dark chestnut (#986960), with evanescent floccose-scaly ring zone, relatively smooth above the ring zone, and densely scaled below the ring zone. Context thin, whitish

when fresh. Odour and taste are undocumented.

Microscopic description: Basidiospores [30/2/2] $4-5(-5.5) \times 3-3.5 \mu\text{m}$, $Q=1.21-1.67$, $Q_m=1.49 \pm 0.15$, broadly ellipsoid to ellipsoid, smooth, thin-walled, hyaline, with amyloid. Basidia $19-28 \times 5-8 \mu\text{m}$, clavate, hyaline, 2–4-spored. Pleurocystidia and cheilocystidia were not observed. Pileipellis composed of chains of numerous light brown sphaerocytes, elliptical, oblong to subspherical, $18-50 \times 7-14 \mu\text{m}$, no discoloration in KOH. Annulus composed of hyaline, filamentous hyphae, 3–7 μm in diam., surface layer attached fusiform, elliptical to cylindrical sphaerocytes, $13-31 \times 9-22 \mu\text{m}$. Arthrospores present. Clamp connections abundant.

Habitat: Solitary or scattered in broad-leaved forests dominated by Fagaceae.

Material examined: China, Yunnan Province, Jingdong County, Ailaoshan Station of Subtropical Forest Ecosystem Studies, alt. 2 500 m, 24 Aug. 2022, LJR 155 (HKAS 135803).

Notes: *Cystoderma ailaoshanense* is characterized by a coffee to dark chestnut convex pileus with abundant conical warts, and the margin retaining remnants of the partial veil. The stipe is the same color as the pileus, with evanescent floccose-scaly ring zone, and densely scaled below the ring zone. Basidiospores broadly ellipsoid to ellipsoid, with amyloid. Phylogenetic analysis shows that *Cystoderma ailaoshanense* is closely related to *C. amianthinum* (Scop.) Fayod, *C. andinum* I. Saar & Læssøe, *C. pseudoamianthinum* R.L. Zhao, M.Q. He & J.X. Li, and *C. rugosolateritium* R.L. Zhao, M.Q. He & J.X. Li, but there are significant differences in morphological characteristics. Specifically. The pileus of *C. amianthinum* is light yellow-brown with radial wrinkles, which is significantly different from that of *C. ailaoshanense* (Saar *et al.* 2009). The basidiospores of *C. andinum* are larger [$(5.0-6.0-7.5(-8.5) \times (4.0-4.5-5.5(-6.0) \mu\text{m}$ vs. $4-5(-5.5) \times 3-3.5 \mu\text{m}$] (Saar & Laessoe 2006). The pileus of *Cystoderma pseudoamianthinum* is yellow ochre to yellowish-brown with dense granules on the surface, which is significantly different from the pileus of *C. ailaoshanense* which is coffee to dark chestnut and densely covered with conical warts (Li *et al.* 2022). The base of the stipe of *C. pseudoamianthinum* is swollen and spherical. The pileus of *C. rugosolateritium* is rusty tawny to cinnamon with radial wrinkles, and its stipe changes color when injured, which is different

from the pileus of *C. ailaoshanense* (Li *et al.* 2022).

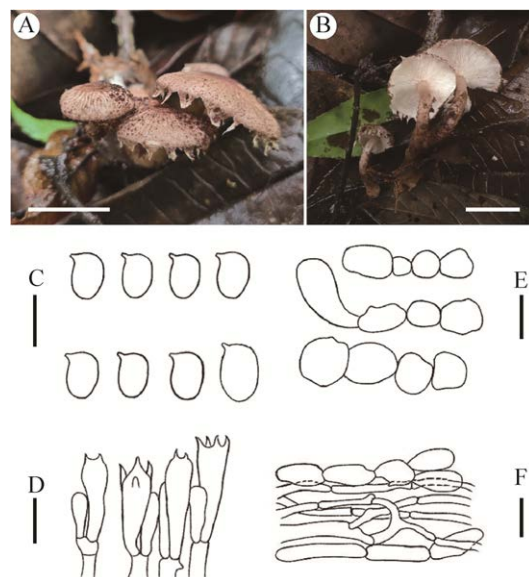


图 5 哀牢囊皮伞形态特征图 A, B: 新鲜子实体; C: 担孢子; D: 担子; E: 菌表皮层球形细胞; F: 菌环菌丝. 比例尺: A, B=2 cm; C=5 μm ; D=10 μm ; E, F=20 μm

Fig. 5 Morphological characteristics of *Cystoderma ailaoshanense* (holotype, HKAS 135841). A, B: Fresh basidiomata; C: Basidiospore; D: Basidia; E: Sphaerocysts from pileipellis; F: Elements of annulus. Scale bars: A, B=2 cm, C=5 μm , D=10 μm , E, F=20 μm .

词源: 新种拉丁名种加词 “*ailaoshanense*” 代表该新物种模式标本采集自中国哀牢山地区, 故以此名称命名。

宏观特征: 菌盖直径 15–35 mm, 初期半球形, 成熟后凸起状至平凸, 表面干, 咖啡色 (#6f4e37) 至深栗色 (#986960), 中央色深, 密被钝角和锥体疣状物; 边缘初期内弯, 随着年龄增长由扁平变为平坦, 具与菌盖同色的菌幕残余。菌褶直生或弯生, 乳白色。菌柄 25–45 mm $\times$ 3–6 mm, 近圆柱形或基部稍膨大, 实心, 与菌盖同色, 具有易消失的絮状鳞片环区, 环区以上较光滑, 环区以下密被鳞片。菌肉薄, 新鲜时呈白色。气味和味道未记录。

微观特征: 担孢子 [30/2/2] $4-5(-5.5) \times 3-3.5 \mu\text{m}$, $Q=1.21-1.67$, $Q_m=1.49 \pm 0.15$, 宽椭圆形至椭圆形,

光滑,壁薄,透明,淀粉质。担子 $19\text{--}28 \times 5\text{--}8 \mu\text{m}$,棍棒状,透明,2–4个孢子。侧生囊状体和褶缘囊状体未观察到。菌盖表皮由大量淡褐色球形细胞链组成,椭圆形、长圆形至近球形, $18\text{--}50 \times 7\text{--}14 \mu\text{m}$,在 KOH 中颜色不变。菌环由透明的丝状菌丝组成,直径 $3\text{--}7 \mu\text{m}$,表面附着纺锤形、椭圆形至圆柱形球形细胞, $13\text{--}31 \times 9\text{--}22 \mu\text{m}$ 。节孢子存在。锁状联合丰富。

生境:单生或散生于壳斗科为主的阔叶林中。

研究标本:中国,云南省景东彝族自治县,哀牢山亚热带森林生态系统研究站,海拔 2 500 m,2022 年 8 月 24 日, LJR 155 (HKAS 135803);2022 年 8 月 25 日, LJR 209 (HKAS 135841,模式标本)。

讨论:哀牢囊皮伞的特征是咖啡色至深栗色平凸的菌盖具有丰富的锥体疣,边缘残留菌幕残余,菌柄具有易消失的絮状鳞片环区,环区以下部分密被鳞片,担孢子宽椭圆形至椭圆形,淀粉质。系统发育分析表明哀牢囊皮伞与 *C. amianthinum*、*C. andinum*、*C. pseudoamianthinum* 和 *C. rugosolateritium* 具有较近的亲缘关系,但在形态特征上存在显著差异。具体而言。*C. amianthinum* 菌盖颜色为淡黄褐色,有放射状褶皱,与哀牢囊皮伞存在明显差异。*C. andinum* 的担孢子较大 [$6.0\text{--}7.5(-8.5) \times (4.0\text{--})4.5\text{--}5.5(-6.0) \mu\text{m}$ vs. $4\text{--}5(-5.5) \times 3\text{--}3.5 \mu\text{m}$]。*C. pseudoamianthinum* 的菌盖为黄赭色至黄棕色,表面密被颗粒物,与哀牢囊皮伞的咖啡色至深栗色,密被锥体疣的菌盖显著不同,且 *C. pseudoamianthinum* 的菌柄基部膨大为球状。*Cystoderma rugosolateritium* 的菌盖呈锈褐色至肉桂色,具有放射状褶皱,菌柄受伤后会变色,与哀牢囊皮伞的特征不同。

3 讨论

大型真菌是自然界中重要的生物资源,调查其分布是合理开发和利用这些资源的基础。在该地区,我们发现了 27 种食用菌、13 种药用菌和 5 种食药兼用菌。其中,粉被虫草、海棠竹荪、小孢鳞伞和香菇等知名食药菌均已实现人工栽培。黑管孔菌不仅是重要的木材腐朽真菌,参

与森林凋落物的降解,还因其抗肿瘤功效而被广泛认可(卯晓岚 1998;戴玉成 2012)。

此外,本次调查还发现了 23 种毒菌。如簇生垂幕菇、晶粒小鬼伞、可爱红菇和皂味口蘑可引起胃肠炎型、神经精神型中毒(应建浙等 1987)。尽管许多毒菌含有对人体有害的毒素,但这些毒素经过科学提取和研究后,在开发抗癌药物和治疗复杂疾病方面展现出广阔前景。如光盖伞素可用于精神病治疗和镇痛安神,而鹅膏毒肽对肝癌细胞有显著毒害作用(张富丽等 2004;刘淑静等 2013)。

云南以拥有丰富的野生大型真菌多样性而闻名,据杨祝良等(2022)估算,云南至少有 104 562 种真菌,目前已知种类仅占总数的 6.89%。本次调查聚焦于哀牢山自然保护区景东片区,发现该区域的大型真菌种类尚待深入探索。通过 ITS 测序分析表明该地区潜藏大量未知物种,主要集中于丝膜菌属、红菇属、湿皮伞属、粉褶菌属、马鞍菌属和炭角菌属等。本研究通过形态学和分子系统学方法发现了哀牢山地区的囊皮伞属 1 新种。根据刘朝茂等(2020a)的研究,哀牢山景东片区的大型真菌共有 41 科,210 种,优势科为 6 科。本研究报道该地区大型真菌 66 科,312 种。但刘朝茂等(2020a)报道的一些物种,如蜜环菌属 *Armillaria*、木耳属 *Auricularia*、暗银耳属 *Phaeotremella*、侧耳属 *Pleurotus*、裂褶菌属 *Schizophyllum* 和蚁巢伞属 *Termitomyces* 等,在此次调查中并没有被发现,这不仅表明该地区大型真菌资源的丰富,也提示其物种基数远不止于此。本研究的多数种类为共生菌,近年来腐生型大型真菌多样性研究也取得了重要进展(Wang *et al.* 2023, 2024; Cui *et al.* 2024; Qin *et al.* 2024; Liu *et al.* 2025),因此,尚需对这些类群及分布进行更为深入的研究。

本研究聚焦于哀牢山国家自然保护区的景东片区。未来,随着对其他县(市)大型真菌资源的深入调查,预计将为哀牢山国家自然保护区的大型真菌多样性研究提供关键数据支持。这些数据不仅将丰富我们对该地区真菌多样性的理解,也将为生物多样性保护与可持续开发提供重要

的科学依据。

作者贡献

黎泰顺：外业调查采样、物种鉴定以及论文写作；鲁金荣：外业调查采样和物种鉴定；徐富凤：物种形态学鉴定；鲁志云：外业调查采样；张颖和赵琪：指导实验设计、物种鉴定和论文修改。

利益冲突

作者声明，本研究不存在任何潜在利益冲突的商业或财务关系。

[REFERENCES]

- Bau T, 2004. Mycodiversity in Daqinggou Nature Reserve of Inner Mongolia. Inner Mongolia Education Press, Hohhot. 1-189 (in Chinese)
- Bau T, Bao HY, Li Y, 2014. A revised checklist of poisonous mushroom in China. *Mycosystema*, 33(3): 517-548 (in Chinese)
- Bau T, Li HJ, Bao HY, Li Y, 2024. A revised checklist of poisonous mushrooms in China. *Journal of Fungal Research*, 22(4): 301-321 (in Chinese)
- Bau T, Li Y, 2000. Study on fungal flora diversity in Daqinggou Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 8(1): 73-80 (in Chinese)
- Bau T, Yang ZL, Chen ZH, Li TH, Li HJ, 2025. Poisonous mushrooms of China. Science Press, Beijing. 1-385 (in Chinese)
- Capella-Gutiérrez S, Silla-Martínez JM, Gabaldón T, 2009. TrimAl: a tool for automated alignment trimming in large-scale phylogenetic analyses. *Bioinformatics*, 25(15): 1972-1973
- Chen JZ, Zhao CL, 2020. Morphological and molecular identification of four new resupinate species of *Lyomyces* (Hymenochaetales) from southern China. *MycoKeys*, 65: 101
- Cui YJ, Wu YD, Jiang YH, Zhu AH, Wu F, Liu HG, Dai YC, Yuan Y, 2024. Diversity of macrofungi in southeast Xizang 1. the wood-decay fungi. *Mycology*, <https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2379476>
- Dai YC, 2012. Pathogenic wood-decaying fungi on woody plants in China. *Mycosystema*, 31(4): 493-509 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (in Chinese)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29(1): 1-21 (in Chinese)
- Ekanayaka AH, Hyde KD, Jones EBG, Zhao Q, 2018. Taxonomy and phylogeny of operculate discomycetes: pezizomycetes. *Fungal Diversity*, 90(1): 161-243
- Feng YL, Sun DF, Fang Y, Hua R, Liu SX, Ma M, Guo X, 2024. *Cystoderma yongpingense* sp. nov. (Squamanitaceae, Agaricales) a new species from southwestern China. *Mycoscience*, 65(3): 151-155
- Guan QX, Zhao CL, 2021. Taxonomy and phylogeny of the wood-inhabiting fungal genus *Hyphoderma* with descriptions of three new species from East Asia. *Journal of Fungi*, 7(4): 308
- Guo T, Yang RH, Tang MX, Hou D, Sun XL, Wang L, Li Y, Bao DP, Zhou XW, 2022. Species diversity of macrofungi in the Mount Huangshan, East China. *Mycosystema*, 41(9): 1398-1415 (in Chinese)
- Jia LK, Wang ZR, Yang ZL, 2025. Five new species of *Cortinarius* (Cortinariaceae) from Yunnan, China, based on molecular and morphological evidence. *MycoKeys*, 116: 145
- Katoh K, Rozewicki J, Yamada KD, 2019. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in Bioinformatics*, 20(4): 1160-1166
- Katoh K, Standley DM, 2013. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. *Molecular Biology and Evolution*, 30(4): 772-780
- Kirk PM, Cannon PE, Minter DW, Stalpers JA, 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10th ed. CAB International, Wallingford, Oxon. 1-771
- Li JX, He MQ, Zhao RL, 2022. A review of *Cystoderma* (Agaricales/Basidiomycota) from China with four new species and two new records. *Mycology*, 13(3): 163-176
- Li P, Xiao HY, Liu CM, 2019. Investigation on the diversity of macrofungi in Dazhongshan of Nanhua County in Yunnan Province. *Guizhou Agricultural Sciences*, 47(5): 46-54 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC, 2015. Atlas of Chinese macrofungi. Zhongyuan Farmers Press, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Liang XN, Zhang Y, Li SZ, Huang QC, Li TS, Lu JR, Fang WJ, Qin QH, 2021. Preliminary investigation on resources of macrofungi under forest in Xinping County, Yunnan Province. *Edible Fungi*, 43(4): 13-19 (in Chinese)
- Liu CM, Li P, Yang B, 2020a. Research on diversity of macrofungi in Xujiaba of Jingdong County in Yunnan

- Province. Hubei Agricultural Sciences, 59(4): 105-115 (in Chinese)
- Liu CM, Li P, Yang B, 2020b. Investigation on macrofungi resources in Ejia town, Shuangbai County, Yunnan. Guizhou Agricultural Sciences, 48(4): 75-79 (in Chinese)
- Liu JW, Luangharn T, Yu FQ, 2023. *Cystoderma lignicola*, a new species from southwestern China. Asian Journal of Mycology, 6(1): 77-85
- Liu SJ, Zhang HM, Li F, Zhang YH, 2013. Research progression on toadstool toxins and application in biological control. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 241(3): 82-83 (in Chinese)
- Liu ZB, Yuan Y, Dai YC, Liu HG, Vlasák J, Zeng GY, He SH, Wu F, 2025. Global diversity and systematics of Hymenochaetaceae with non-poroid hymenophore. Fungal Diversity, 131: 1-97
- Malysheva E, Popov E, Morozova O, Dudka V, Pham THG, Malysheva V, 2023. Observations on Pluteaceae in Vietnam: four new species and new records of *Pluteus*. Journal of Fungi, 9(5): 584
- Mao XL, 1998. Economic fungi in China. Science Press, Beijing. 1-762 (in Chinese)
- Mao XL, 2006. Poisonous mushrooms and their toxins in China. Mycosystema, 25(3): 345-363 (in Chinese)
- Miller MA, Pfeiffer W, Schwartz T, 2010. Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees. 2010 Gateway Computing Environments Workshop (GCE), New Orleans, LA, USA. Doi: 10.1109/GCE.2010.5676129
- Nylander JAA, Ronquist F, Huelsenbeck JP, Nieves-Aldrey J, 2004. Bayesian phylogenetic analysis of combined data. Systematic Biology, 53(1): 47-67
- Qin GF, Qin WM, Wang HC, Zhao J, Korhonen K, Chen J, Dai YC, Yuan Y, 2024. Phylogeny and species diversity of *Armillaria* in China based on morphological, mating test, and GCPSR criteria. Mycology, <https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2404121>
- Ren J, Wang K, Niu CY, Kang X, Li SM, Wang LA, Liu TZ, Wei TZ, Li GJ, 2024. Species diversity and funga of macrofungi in Yanshan area, north China. Mycosystema, 43(11): 49-64 (in Chinese)
- Saar I, Laessoe T, 2006. Two new *Cystoderma* species from high Andean Ecuador. Mycotaxon, 96: 123-128
- Saar I, Põldmaa K, Kõljalg U, 2009. The phylogeny and taxonomy of genera *Cystoderma* and *Cystodermella* (Agaricales) based on nuclear ITS and LSU sequences. Mycological Progress, 8: 59-73
- Shen HX, Zhou TX, 1986. Preliminary investigation of higher fungi in Ailaoshan Nature Reserve. Forest Inventory and Planning, 1986(4): 1-6 (in Chinese)
- Spirin V, Malysheva V, Viner I, Dudka V, Grebenc T, Miettinen O, 2023. Taxonomy and multigene phylogeny of *Pseudohydnum* (Auriculariales, Basidiomycota). Mycological Progress, 22(6): 40
- Su HL, Hyde KD, Luo L, Zhao Q, Kandawatte Wedaralalage TC, 2025. Four new species of *Chlorociboria* from Yunnan, China. Mycological Progress, 24(1): 27
- Vaidya G, Lohman DJ, Meier R, 2011. SequenceMatrix: concatenation software for the fast assembly of multi-gene datasets with character set and codon information. Cladistics, 27(2): 171-180
- Vilgalys R, Hester M, 1990. Rapid genetic identification and mapping of enzymatically amplified ribosomal DNA from several *Cryptococcus* species. Journal of Bacteriology, 172(8): 4238-4246
- Wang CG, Dai YC, Kout J, Gates GM, Liu HG, Yuan Y, Vlasák J, 2024. Multi-gene phylogeny and taxonomy of *Physisporinus* (Polyporales, Basidiomycota). Mycosphere, 15: 1455-1521
- Wang CG, Zhao H, Liu HG, Zeng GY, Yuan Y, Dai YC, 2023. A multi-gene phylogeny clarifies species diversity, taxonomy, and divergence times of *Ceriporia* and other related genera in Irpicaceae (Polyporales, Basidiomycota). Mycosphere, 14(1): 1665-1729
- Wang XH, Das K, Horman J, Antonin V, Baghela A, Chakraborty D, Hembrom ME, Nakasone K, Ortiz-Santana B, Vizzini A, Hofstetter V, Buyck B, 2018. Fungal biodiversity profiles 51-60. Cryptogamie, Mycologie, 39(2): 211-257
- Wei YL, Dai YC, 2004. Ecological function of wood-inhabiting fungi in forest ecosystem. Chinese Journal of Applied Ecology, 15(10): 1935-1938 (in Chinese)
- White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor JL, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications. Academic Press, New York. 315-322
- Yan LC, Shi JP, Zhu H, Peng H, Liu YH, Wang H, 2009. The studies on floristics of seed plants in Ailaoshan region, Yunnan, China. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 17(3): 283-291 (in Chinese)
- Yang Y, Zhao L, Chen YL, Lin YL, Zhang LP, Luan FG, Wu F, Huo GH, Yan JQ, 2022. Diversity and flora of macrofungi in the Fuheyuan Nature Reserve in Jiangxi Province. Journal of Northwest Forestry University, 37(2): 164-169 (in Chinese)
- Yang ZL, 2005. Flora fungorum sinicorum. Vol. 27. Amanitaceae. Science Press, Beijing. 1-258 (in Chinese)
- Yang ZL, Wang XH, Wu G, 2022. Mushrooms of Yunnan. Science Press, Beijing. 1-378 (in Chinese)
- Yang ZL, Wu G, Li YC, Wang XH, Cai Q, 2021. Common edible and poisonous mushrooms of southwestern China.

- Science Press, Beijing. 1-370 (in Chinese)
- Ying JZ, Mao XL, Ma QM, 1987. Atlas of medicinal fungi in China. Science Press, Beijing. 1-579 (in Chinese)
- Zeng M, Gentekaki E, Hyde KD, Zhao Q, Matočec N, Kušan I, 2023. Phylogeny and morphology of novel species and new collections related to Sarcoscyphaceae (Pezizales, Ascomycota) from southwestern China and Thailand. *Biology*, 12(1): 130
- Zhang FL, Ning H, Zhang M, 2004. Toxins in toadstool and the exploitation and utilization of toadstool. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 19(3): 283-286 (in Chinese)
- Zhang JH, Yang R, Rao DS, Ye DJ, Xiao XY, Deng HP, 2014. Study on macrofungi flora of Dabashan Natural Reserve in Chongqing. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 36(6): 74-78 (in Chinese)
- Zhao Q, Zhao YC, Yang ZL, Hyde KD, 2015. Species diversity within the *Helvella crispa* group (Ascomycota: Helvellaceae) in China. *Phytotaxa*, 239 (2): 130-142
- Zhou QQ, Hou LX, Yuan Y, 2024. Species diversity and funga of wood-inhabiting macrofungi growing on *Pinus koraiensis* in northeast China. *Journal of Fungal Research*, <https://doi.org/10.13341/j.jfr.2024.1705> (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 戴玉成, 2012. 中国木本植物病原木材腐朽菌研究. *菌物学报*, 31(4): 493-509
- 戴玉成, 杨祝良, 2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订. *菌物学报*, 27(6): 801-824
- 戴玉成, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员媛, 司静, 2021. 中国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. *菌物学报*, 40(4): 770-805
- 戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉, 2010. 中国食用菌名录. *菌物学报*, 29(1): 1-21
- 郭婷, 杨瑞恒, 汤明霞, 侯娣, 孙鑫良, 王立, 李焱, 鲍大鹏, 周选围, 2022. 黄山大型真菌的物种多样性. *菌物学报*, 41(9): 1398-1415
- 李萍, 肖海燕, 刘朝茂, 2019. 云南省南华大中山大型真菌多样性调查. *贵州农业科学*, 47(5): 46-54
- 李玉, 李泰辉, 杨祝良, 图力古尔, 戴玉成, 2015. 中国大型菌物资源图鉴. 郑州: 中原农民出版社. 1-1351
- 梁香娜, 张颖, 李双智, 黄秋晨, 黎泰顺, 鲁金荣, 方文君, 覃秋桦, 2021. 云南省新平县林下大型真菌资源初步调查. *食用菌*, 43(4): 13-19
- 刘朝茂, 李萍, 杨斌, 2020a. 云南省景东徐家坝大型真菌多样性研究. *湖北农业科学*, 59(4): 105-115
- 刘朝茂, 李萍, 杨斌, 2020b. 云南省双柏鄂嘉镇大型真菌的资源调查. *贵州农业科学*, 48(4): 75-79
- 刘淑静, 张慧明, 李富, 张跃华, 2013. 毒菌毒素及其应用于生物防治的研究进展. *内蒙古农业科技*, 241(3): 82-83
- 卯晓岚, 1998. 中国经济真菌. 北京: 科学出版社. 1-762
- 卯晓岚, 2006. 中国毒菌物种多样性及其毒素. *菌物学报*, 25(3): 345-363
- 任静, 王科, 牛彩云, 康霞, 李守勉, 王立安, 刘铁志, 魏铁铮, 李国杰, 2024. 燕山地区大型真菌物种多样性及区系组成. *菌物学报*, 43(11): 49-64
- 沈宏祥, 周彤燊, 1986. 哀牢山国家自然保护区高等真菌的初步调查. *云南林业调查规划*, 1986(4): 1-6
- 图力古尔, 2004. 大青沟自然保护区菌物多样性. 呼和浩特: 内蒙古教育出版社. 1-189
- 图力古尔, 包海鹰, 李玉, 2014. 中国毒蘑菇名录. *菌物学报*, 33(3): 517-548
- 图力古尔, 李海蛟, 包海鹰, 李玉, 2024. 中国毒蘑菇新修订名录. *菌物研究*, 22(4): 301-321
- 图力古尔, 李玉, 2000. 大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究. *生物多样性*, 8(1): 73-80
- 图力古尔, 杨祝良, 陈作红, 李泰辉, 李海蛟, 2025. 中国的毒蘑菇. 北京: 科学出版社. 1-385
- 魏玉莲, 戴玉成, 2004. 木材腐朽菌在森林生态系统中的功能. *应用生态学报*, 15(10): 1935-1938
- 闫丽春, 施济普, 朱华, 彭华, 刘玉洪, 王洪, 2009. 云南哀牢山地区种子植物区系研究. *热带亚热带植物学报*, 17(3): 283-291
- 杨滢, 赵兰, 陈言柳, 林宇岚, 张林平, 栾丰刚, 吴斐, 霍光华, 颜俊清, 2022. 江西抚河源自然保护区大型真菌多样性与区系特征. *西北林学院学报*, 37(2): 164-169
- 杨祝良, 2005. 中国真菌志 第27卷 鹅膏科. 北京: 科学出版社. 1-258
- 杨祝良, 王向华, 吴刚, 2022. 云南野生菌. 北京: 科学出版社. 1-378
- 杨祝良, 吴刚, 李艳春, 王向华, 蔡箐, 2021. 中国西南地区常见食用菌和毒菌. 北京: 科学出版社. 1-370
- 应建浙, 卯晓岚, 马启明, 1987. 中国药用真菌图鉴. 北京: 科学出版社. 1-579
- 张富丽, 宁红, 张敏, 2004. 毒蕈的毒素及毒蕈的开发利用. *云南农业大学学报*, 19(3): 283-286
- 张家辉, 杨蕊, 饶东升, 叶大进, 肖训焰, 邓洪平, 2014. 重庆大巴山国家级自然保护区大型真菌区系特征研究. *西南大学学报(自然科学版)*, 36(6): 74-78
- 周青青, 候立鑫, 员媛, 2024. 中国东北地区红松大型木生真菌物种多样性和区系研究. *菌物研究*, <https://doi.org/10.13341/j.jfr.2024.1705>