

广西喀斯特三主要林区大型真菌区系组成及其特点

牟光福, 图力古尔*

吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118

摘要: 坐落于广西喀斯特林区内的国家级自然保护区是我国生物多样性保护先导区, 然而该区域内的大型真菌区系尚不清楚, 相关研究滞后。本研究选择弄岗国家级自然保护区、木论国家级自然保护区和雅长兰科植物国家级自然保护区作为广西喀斯特林区代表性区域进行调查和研究, 弄清大型真菌区系组成及其特点。研究发现大型真菌 777 种, 隶属于 2 门 6 纲 21 目 97 科 318 属。优势科为蘑菇科 Agaricaceae、牛肝菌科 Boletaceae、锈革菌科 Hymenochaetaceae、层腹菌科 Hymenogastraceae、炭团菌科 Hypoxylaceae、小皮伞科 Marasmiaceae、小菇科 Mycenaceae、类脐菇科 Omphalotaceae、膨瑚菌科 Physalacriaceae、多孔菌科 Polyporaceae 和小脆柄菇科 Psathyrellaceae, 占总科数的 11.34%, 科内种数占总种数的 42.21%; 优势属为毛杯菌属 *Cookeina*、炭团菌属 *Hypoxylon*、线虫草属 *Ophiocordyceps*、歪盘菌属 *Phillipsia*、肉杯菌属 *Sarcoscypha*、炭角菌属 *Xylaria*、蘑菇属 *Agaricus*、鹅膏属 *Amanita*、木耳属 *Auricularia* 和小皮伞属 *Marasmius* 等, 占总属数的 13.52%、总种数的 43.76%。表征科为小皮伞科、小菇科、鬼笔科 Phallaceae、柄杯菌科 Podoscyphaceae、肉杯菌科 Sarcoscyphaceae、银耳科 Tremellaceae、炭角菌科 Xylariaceae、拟层孔菌科 Fomitopsidaceae、钉菇科 Gomphaceae、齿菌科 Hydnaceae 和离褶伞科 Lyophyllaceae; 表征属为毛杯菌属、歪盘菌属、肉杯菌属、炭角菌属、毛筐菌属 *Chaetocalathus*、青褶伞属 *Chlorophyllum*、鳞盖伞属 *Cyptotrama*、棘刚毛菌属 *Echinochaete*、胶孔菌属 *Favolaschia*、棱孔菌属 *Favolus*、灵芝属 *Ganoderma*、老伞属 *Gerronema*、蜂窝孔菌属 *Hexagonia*、锈革菌属 *Hymenochaete*、丝盖伞属 *Inocybe*、乳菇属 *Lactarius*、多汁乳菇属 *Lactifluus*、香菇属 *Lentinus*、白鬼伞属 *Leucocoprinus*、小皮伞属、小蘑菇属 *Micropsalliota*、新大孔菌属 *Neofavolus*、小奥德蘑属 *Oudemansiella*、柄杯菌属 *Podoscypha*、须瑚菌属 *Pterula*、黏柄小菇属 *Roridomyces*、辛格杯伞属 *Singerocybe*、蚁巢伞属 *Termitomyces*、四角孢属 *Tetrapyrgos* 和热带孔菌属 *Tropicoporus*。本研究为广西喀斯特林区的菌物多样性以及菌物-植物互作研究提供基础。

关键词: 喀斯特林区; 大型真菌; 区系组成; 优势科属; 表征科属

资助项目: 教育部“长江学者和创新团队发展计划”(IRT1134, IRT-15R25)

This work was supported by the Program for Changjiang Scholars and the Innovative Research Team in University of Ministry of Education of China (IRT1134, IRT-15R25).

*Corresponding author. E-mail: junwusuo@126.com

ORCID: MOU Guangfu (0000-0003-4579-5460), BAU Tolgor (0000-0003-2461-9345)

Received: 2022-09-09; Accepted: 2022-10-17

[引用本文]

牟光福, 图力古尔, 2023. 广西喀斯特三主要林区大型真菌区系组成及其特点. 菌物学报, 42(7): 1461-1484

Mou GF, Bau T, 2023. Funga composition and characteristics in three karst forests of Guangxi, Southern China. *Mycosystema*, 42(7): 1461-1484

Funga composition and characteristics in three karst forests of Guangxi, Southern China

MOU Guangfu, BAU Tolgor*

Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

Abstract: The national nature reserves in karst forests of Guangxi Zhuang Autonomous Region are the priority areas for biodiversity conservation of China. However, the funga in karst forests of Guangxi was still unclear and lack of related studies. In this study, Nonggang National Nature Reserve, Mulun National Nature Reserve and the Yachang Orchid National Nature Reserve were chosen as the representative areas to survey the funga in karst forests of Guangxi. In total, 777 species were found, belonging to 2 phyla, 6 classes, 21 orders, 97 families and 318 genera. The dominant families are Agaricaceae, Boletaceae, Hymenochaetaceae, Hymenogastraceae, Hypoxylaceae, Marasmiaceae, Mycenaceae, Omphalotaceae, Physalacriaceae, Polyporaceae and Psathyrellaceae, accounting for 11.34% of the total families and 42.21% of the total species. The dominant genera are *Cookeina*, *Hypoxylon*, *Ophiocordyceps*, *Phillipsia*, *Sarcoscypha*, *Xylaria*, *Agaricus*, *Amanita*, *Auricularia*, *Marasmius*, etc., accounting for 13.52% of the total genera and 43.76% of the total species. The representative families are Marasmiaceae, Mycenaceae, Phallaceae, Podoscyphaceae, Sarcoscyphaceae, Tremellaceae, Xylariaceae, Fomitopsidaceae, Gomphaceae, Hydnaceae and Lyophyllaceae. The representative genera are *Cookeina*, *Phillipsia*, *Sarcoscypha*, *Xylaria*, *Chaetocalathus*, *Chlorophyllum*, *Cyptotrama*, *Echinochaete*, *Favolaschia*, *Favolus*, *Ganoderma*, *Gerronema*, *Hexagonia*, *Hymenochaete*, *Inocybe*, *Lactarius*, *Lactifluus*, *Lentinus*, *Leucocoprinus*, *Marasmius*, *Micropsalliota*, *Neofavolus*, *Oudemansiella*, *Podoscypha*, *Pterula*, *Roridomyces*, *Singerocybe*, *Termitomyces*, *Tetrapyrgos* and *Tropicoporus*. This study is preliminary, providing a reference for the future further study of fungal diversity and fungal-plant interactions in karst forests of Guangxi.

Keywords: karst forest; macrofungi; composition; dominant families and genera; representative families and genera

菌物地理学(fungal geography)是生物地理学的重要组成部分,是一门研究全球或某一地区所有菌物种类及其自然类群的组成、现在和过去的分布规律以及起源进化和演变历史的科学(图力古尔 2004)。而菌物区系是菌物地理学的核心

研究领域,其英文翻译有别于植物区系(flora)和动物区系(fauna),通常被翻译为 mycoflora 或 mycobiota,目前 funga 被提议作为菌物区系的术语(Kuhar *et al.* 2018),并已经在国内使用(Wu *et al.* 2022)。

菌物是自然界中最丰富的生物类群之一,有别于动物和植物,是生态系统的重要组成部分。大型真菌是菌物大家族中的重要组成,其区系地理学的研究,对于揭示特定区域内真菌的演化变迁过程、迁徙及扩散途径、物种的形成,以及对生物多样性的保育、食用菌遗传育种、菌物-植物-动物互作研究具有重要的意义(Chen *et al.* 2015; Feng *et al.* 2016; Qin *et al.* 2018; Zhu *et al.* 2019)。

与植物地理学研究相比,菌物地理学研究起步晚,且进展缓慢。早在 1792 年,德国植物学家 Willdenow 在其著作 *Grundlehren der Krauterkunde* 中,就已经明确提出了植物分布规律的概念,1708 年德国学者范·洪堡德(Alexander von Humbolt)出版了 *Ideen zu einer Géographie der Pflanzen* (植物地理学概论),标志着现代地理学的创立(赵万义 2017)。经过 200 多年的发展,目前植物地理学已经发展成许多分支学科,如植物区系学、区系植物地理学、科属植物地理学、植物分布区学、生态植物地理学及历史植物地理学;建立了完善的学科理论体系和学说,如迁移扩散学说、隔离分化学说;大量相关论著陆续出版,如苏联学者吴鲁夫(E.B. Wulf)出版的《历史植物地理学》(1944)、美国学者古德(R. Good)的 *The Geography of the Flowering Plants* (有花植物地理学) (1953)和苏联学者塔赫他间(A. Takhtajan)的 *Flowering Plants, Origin and Distpersal* (有花植物的起源和散布) (1972);世界植物区系区划方案已经建立,植物区系的基本特征和分区框架也已经完成(吴征镒 1979; 吴征镒等 2011; 孙航等 2017; 赵万义 2017)。动物的生物地理学也建立了相应的学科理论体系,早在 1876 年已有相关论著出版(雷富民等 2021; 李俊洁和黄晓磊 2022)。

反观菌物生物地理学研究,目前还未形成系统的学科理论体系,也未见有相关论著出版。最

初人们对真菌的认识,主要通过蘑菇(大型真菌的子实体)。然而,大型真菌不像植物那样一直都长在固定位置,而是在完成生殖过程后,迅速“消失”,子实体什么时候再出现,在哪里出现,这都是难以确定的。此外,在大型真菌研究中,“个体”的概念或者说个体的呈现形式与动植物不同。在动植物中,一般一个受精卵(种子)可以发育成一个独立的、具相对稳定形态结构的个体。然而对于丝状真菌而言,一个孢子萌发后可以形成庞大的菌丝网络,个体在营养阶段以菌丝(体)存在;对于异宗配合的真菌,需要来自不同个体的菌丝通过锁状联合进行核配,才能完成有性生殖,形成子实体。我们见到的蘑菇(子实体)并不是一个独立的个体,而是“果实”。真菌个体的概念,实际上是比较抽象的、没有固定形态的。早期对真菌物种的鉴定主要依据子实体形态特征,然而真菌的形态特征并不稳定,物种的界定十分困难,使得当时的真菌学家们不愿意基于已有的物种分布信息提出物种的分布区,可以说真菌生物地理学研究在 20 世纪以前的进展是十分缓慢的(Rehead 1989; Lumbsch *et al.* 2008)。

目前菌物生物地理学研究的热点主要集中于基于分子钟理论的历史生物地理学分析(Hibbett 2001; Matheny *et al.* 2009; Skrede *et al.* 2011; Bonito *et al.* 2013; Cai *et al.* 2014; He *et al.* 2017; Zhu *et al.* 2019),关于菌物区系地理学的研究主要集中于区系的组成及其特点分析(图力古尔和李玉 2000; 宋斌和邓旺秋 2001; 周绪申等 2010; 周丽伟和戴玉成 2013; 员媛等 2015; 宋斌等 2018; 王妍等 2021; 武英达等 2021),较少关注区系特有现象和区系替代现象。不同菌物类群的演化历史各异,一些适用于动植物的生物地理学理论还未在菌物中得到验证;长距离扩散和隔离分化是解释菌物分布样式和谱系分化的主要理论(韩利红和杨祝良 2020)。

当前世界各地对菌物区系的调查和分类研究是极不充分的。Hawksworth & Lucking (2017) 对全球真菌的物种数估计为 220 万至 380 万种, 目前全球已经被描述的菌物物种数约 15 万种(王科等 2021), 还有大量的菌物物种有待发现和描述。据统计, 2020 年全球共发表了 4 996 个菌物新名称, 包括 652 个新高阶分类单元和 2 905 个新种及种下单元; 东亚和东南亚是全球新物种发现的热点地区, 中国则是发现新物种最多的国家, 共发现 669 种(王科等 2021)。中国西南是近年来我国发现大型真菌新种最多的地区(戴玉成等 2021)。

广西邻近东南亚地区, 其中, 广西的喀斯特地貌是全球最独特的地貌类型之一, 孕育着丰富的生物多样性资源。然而, 该区域的大型真菌区系调查一直以来没有得到足够的重视, 大型真菌多样性和区系情况尚不清楚; 同时, 石漠化问题严重威胁着该区域的大型真菌多样性, 迫切需要对该区域开展大型真菌区系调查和相关的研究。

1 材料与方法

1.1 研究区域自然地理概况

广西喀斯特地貌主要分布于广西的西南部、西北部、中部和东北部, 但仍保存有完好喀斯特原始森林的区域主要分布于广西西南部和西北部, 该区域也是全国生物多样性保护优先区。本研究选择的广西喀斯特森林代表性区域为: 弄岗国家级自然保护区、木论国家级自然保护区和雅长兰科植物国家级自然保护区(以下简称弄岗保护区、木论保护区和雅长保护区)。从地理位置和气候的角度看, 这 3 个保护区位于我国西南部的广西境内, 为热带、亚热带季风气候区。

其中, 弄岗保护区位于桂西南喀斯特地区, 为中越边境地区, 在行政区划中归属于崇左市龙州县和宁明县(106°42'28"–107°04'54" E, 22°13'56"–

22°33'09" N), 总面积为 10 077 ha; 为北热带季节性雨林气候区, 气候特点为春夏湿热多雨, 夏秋炎热且雨量充沛, 冬春气温偏低, 干燥少雨; 总的来说, “长夏无冬, 偶有奇寒”; 年平均气温 20.8–22.4 °C, 最冷月平均气温通常在 13 °C 以上, 年最高气温 37–39 °C; 年均降雨量 1 150–1 550 mm, 最大降水量达 2 043 mm, 最小为 890 mm, 降雨集中在 5–9 月(农绍勤 1988)。

木论保护区位于桂西北喀斯特地区, 在行政区划中归属于河池市环江毛南族自治县(107°54'01"–108°05'51" E, 25°07'01"–25°12'22" N), 与贵州茂兰国家级自然保护区相连, 总面积 10 829.7 ha; 为中亚热带季风气候区, 该区年平均气温 15.0–18.7 °C, 1 月平均气温 3.4–8.7 °C, 7 月平均气温 23.0–26.7 °C; 年均降水量为 1 530–1 820 mm, 雨季(4–8 月)降水量为 1 207.1 mm, 占全年降水量的 73.7%, 旱季(9 月–次年 3 月)降水量为 430.7 mm, 占全年的 23.3%; 林内阴湿, 相对湿度大, 一般在 80%–90% (郑颖吾等 1999)。

雅长保护区位于桂西偏北的喀斯特地区, 在行政区划中归属于百色市乐业县(106°11'31"–106°27'04" E, 24°44'16"–24°53'58" N), 总面积 22 062 ha, 约为木论保护区或弄岗保护区面积的 2 倍, 为中亚热带季风气候区; 深受季风环流和焚风效应的影响, 夏季盛行海洋湿润气团, 冬季盛行大陆寒冷气团; 由于该区山势高大, 峰峦连绵、高耸陡峻、地形复杂, 形成独特的中亚热带山地气候; 年平均气温 16.8–21.2 °C, 年平均最高气温 23.3–26.9 °C, 年平均最低气温变动 12.7–16.0 °C; 气温垂直变化随海拔高度的升高呈递减趋势, 但不同高度段的递减率存在差异, 海拔 600–985 m 高度段存在逆温现象, 夏季的缓热降温与在冬季的缓冷保温调节作用较明显; 年平均降水量 940.8–1 216.9 mm, 呈现夏季(53.5%–57.2%)>春季(18.7%–21.4%)>秋季(17.6%–19.7%)>冬季(4.0%–6.2%)的规律, 雨量的季节分配不均

匀, 春秋干旱, 尤其是春旱最为严重(广西林业勘探设计院 2007)。

从植被的组成来看, 这 3 个保护区各具特色。弄岗保护区为北热带季节性雨林区, 阔叶林占绝对优势, 泛热带分布的植物丰富, 如榕属 *Ficus*、风吹楠属 *Horsfieldia*、藤黄属 *Garcinia*、蚬木属 *Excentrodendron*、木奶果属 *Baccaurea*、台湾山柚属 *Champereia* 和桃榔属 *Arenga* 等, 壳斗科 Fagaceae 和松科 Pinaceae 植物较少, 主要分布于山顶; 弄岗保护区的区域特色植物主要有大叶风吹楠 *Horsfieldia kingii*、望天树 *Parashorea chinensis*、董棕 *Caryota obtusa*、桃榔 *Arenga westerhoutii* 和蚬木 *Excentrodendron tonkinense* 等。

木论保护区植被以中亚热带常绿落叶阔叶混交林为主, 山顶为针阔混交林; 壳斗科植物种类较多, 但数量较少, 呈零星分布, 多见于山顶; 松科植物在木论保护区呈局部分布, 山顶较丰富; 木论保护区的区域特色植物有掌叶木 *Handeliendendron bodinieri*、伞花木 *Eurycorymbus cavaleriei*、岩生翠柏 *Calocedrus rupestris* 和越南黄金柏 *Xanthocyparis vietnamensis* 等。与弄岗保护区相比, 木论保护区有较丰富的壳斗科和松科等与真菌形成广泛共生关系的植物。

雅长保护区与弄岗保护区和木论保护区的植被相比, 最显著的特征为具有大量的、成片分布的兰科 Orchidaceae、壳斗科、松科和桦木科 Betulaceae 等可与真菌形成广泛共生关系的植物类群, 使得雅长保护区盛产牛肝菌科 Boletaceae、红菇科 Russulaceae、鹅膏科 Amanitaceae 和丝膜菌科 Cortinariaceae 等外生菌根真菌。

1.2 研究材料

本研究所采用的材料为笔者于 2017 年 5 月—2021 年 8 月在广西弄岗保护区、雅长保护区和木论保护区所采集的大型真菌标本, 共计 3 800 份。其中, 雅长保护区收集到 1 733 份, 木论保护区

收集到 1 147 份, 弄岗保护区收集到 920 份。研究的凭证标本保存于吉林农业大学菌物标本馆(HMJAU)以及广西植物标本馆(IBK)。

1.3 研究方法

1.3.1 野外调查和采集

为了尽可能多地获取标本, 本研究采用随机取样的方法进行调查取样(Prayudi *et al.* 2019)。在广西, 每个国家级自然保护区都安排有护林员巡护, 其巡护线路覆盖整个保护区的主要区域, 涵盖不同的生境类型。在大型真菌生长季节(4—11 月), 按弄岗保护区、木论保护区和雅长保护区的护林员巡护线路及周边范围内开展踏查采集。采集过程中, 详细记录每份标本的宏观特征、质地、颜色、气味及伤时颜色变化情况等; 伞菌类着重记录菌盖的形态、菌盖条纹有无、菌褶的着生情况、菌柄、菌幕、菌环、菌托和鳞片有无及其特点、菌褶是否自溶等; 生态习性如粪生、木生或土生等。多角度拍摄每个物种的生境照片并编号。

1.3.2 标本鉴定

结合子实体外形特征和生态习性, 大致确定标本所属的真菌类群, 然后借助光学显微镜观察标本所属类群的显微分类特征, 参考相关分类学资料(庄文颖等 2004, 2018; 刘波等 2005; 杨祝良 2005, 2019; 周彤燊等 2007; Dai 2010; Yuan & Dai 2012; 李玉等 2014, 2015; 图力古尔等 2014, 2021; Zeng *et al.* 2016; Cui *et al.* 2019; 范黎 2019; 郭林等 2019; 杨祝良等 2019; 盖宇鹏和图力古尔 2020)确认鉴定结果。

1.3.3 优势科属种的确定

依据区系物种名录, 对大型真菌的科、属、种用 Excel 软件进行归类统计, 按各类群物种的数量排序, 并综合考虑某物种(类群)采集到的频率, 确定优势科、属、种。

1.3.4 地理成分划分

科、属的地理成分划分, 主要参考国内区系分析有关报道(图力古尔和李玉 2000; 宋斌和邓

旺秋 2001; 杨祝良和臧穆 2003; 图力古尔 2004; 周绪申等 2010; 周丽伟和戴玉成 2013; 员媛等 2015; 宋斌等 2018; 王妍等 2021; 武英达等 2021)。对于区系研究得较少的类群, 在 *Dictionary of the Fungi* (10th edition) 查找该类群在世界范围内的分布情况(Kirk *et al.* 2008), 并适当参考 GBIF (<https://www.gbif.org/occurrence/search> 2022) 网站上该类群在全球的分布情况进行区系划分。

1.3.5 表征科和表征属的确定

综合考虑广西不同气候带喀斯特林区大型真菌非广布成分科和属的数量及在研究区域内的丰富度情况, 确定表征科和表征属。

2 结果与分析

2.1 广西喀斯特林区大型真菌区系特点

2.1.1 广西喀斯特林区大型真菌区系的组成

通过对 3 800 份标本进行观察, 共鉴定出 777 个种级的分类单元。其中, 已定种 644 个, 已发表新种 3 个(Mou & Bau 2021a, 2021b), 发现中国新记录属 1 个, 中国新记录种 12 个(图 1, 图 2, 另文描述); 含 84 个参照种, 131 个未定种。这 777 个种隶属于 2 门 6 纲 21 目 97 科 318 属。其中, 子囊菌门 Ascomycota 有 18 科 31 属 74 种, 担子菌门 Basidiomycota 有 79 科 287 属 703 种(表 1)。

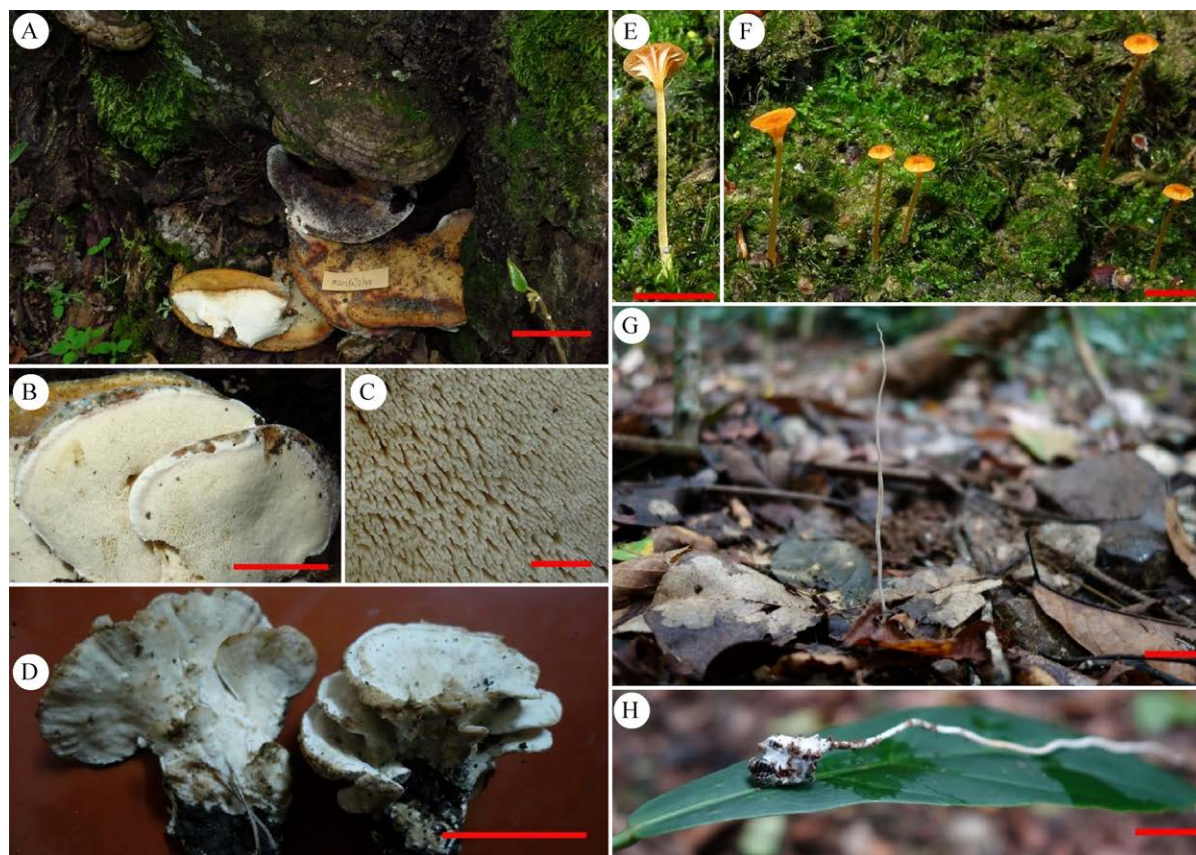


图 1 中国新记录种(I) A-D: 史丹皮尔斯拟针刺菌 *Mycorrhaphoides stalpersii*. 标尺: A, D=5 cm; B=2 cm; C=1 cm. E-F: 印度藓菇 *Rickenella indica*. 标尺=5 mm. G-H: 假根状线虫草 *Ophiocordyceps pseudorhizoidea*. 标尺=1 cm

Fig. 1 Newly recorded species (I). A-D: *Mycorrhaphoides stalpersii*. Bars: A, D=5 cm; B=2 cm; C=1 cm. E-F: *Rickenella indica*. Bars=5 mm. G-H: *Ophiocordyceps pseudorhizoidea*. Bars=1 cm.



图2 中国新记录种(II) A-C: 东方橘黄裸伞. 标尺=5 cm. D-E: 橄榄绿乳菇. 标尺=2 cm. F-G: 米色光柄菇. 标尺=2 cm. H-K: 异色光柄菇. 标尺=2 cm. L-M: 隔囊光柄菇. 标尺=2 cm. N-O: 莫洛佐娃草菇. 标尺=5 cm. P-R: 棕盖草菇. 标尺=2 cm. S-U: 暹罗黄蘑菇. 标尺=2 cm. V-X: 玫红靴耳. 标尺 V-W=2 cm, X=5 mm

Fig. 2 Newly recorded species (II). A-C: *Gymnopilus orientispectabilis*. Bars=5 cm. D-E: *Lactarius olivaceopallidus*. Bars=2 cm. F-G: *Pluteus flavidus*. Bars=2 cm. H-K: *Pluteus varius*. Bars=2 cm. L-M: *Pluteus septocystidiatus*. Bars=2 cm. N-O: *Volvariella morozovae*. Bars=5 cm. P-R: *Volvariella pulla*. Bars=2 cm. S-U: *Xanthagaricus siamensis*. Bars=2 cm. V-X: *Crepidotus boninensis*. Bars: V-W=2 cm, X=5 mm.

表 1 广西喀斯特林区大型真菌区系组成

Table 1 A composition of macro-fungal flora in karst forests of Guangxi

分类群	纲数	目数	科数	属数	种数
Taxon	Number of classes	Number of orders	Number of families	Number of genera	Number of species
子囊菌门	3	5	18	31	74
Ascomycota					
担子菌门	3	16	79	287	703
Basidiomycota					
合计	6	21	97	318	777
Total amount					

未包含科级分类地位未定类群；马勃属 *Lycoperdon* 和秃马勃属 *Calvatia* 归入蘑菇科 Agaricaceae，其余类群参考 Index fungorum

The Incertae sedis group not included in this Table; *Calvatia* and *Lycoperdon* were included in Agaricaceae, the rest refer to Index fungorum.

2.1.2 科的区系特点

(1) 科的区系组成

在研究区域采集到的大型真菌中，中等科(具有 10–30 种的科)、较大科(具有 31–50 种的科)和大科(多于 50 种的科)共有 20 个科，占总科数的 20.61%，这些科所包含的种数占总种数的比例高达 67.39%；寡种科共有 51 个，占总科数的 52.58%，所含的种数占总种数的 29.11%；在研究区域只采到 1 个种的科共有 26 个，占总科数的 26.80%，仅占总种数的 3.50%。由此可见，中等科、较大科和大科是构成研究区域大型真菌区系的主要成分(表 2)。

其中，大科(多于 50 种的科)有 2 个：多孔菌科 Polyporaceae (86 种)和蘑菇科 Agaricaceae (60 种)。这两个科均为世界广布科，虽然仅占总科数的 2.06%，却占总种数的 19.68%，在广西喀斯特林区大型真菌区系中具有重要地位，且为优势类群。

较大科(具 31–50 种的科)有 2 个：牛肝菌科 Boletaceae (42 种)和红菇科 Russulaceae (48 种)。这 2 个科所含物种数占总种数的 12.13%。牛肝菌科和红菇科均为世界广布科，且为外生菌根真菌，在研究区域内主要分布于雅长保护区；木论保护区有少量分布，在弄岗保护区未发现有这

表 2 广西喀斯特林区大型真菌科的大小分级统计(种级)

Table 2 Statistics on families of macro-fungi in karst forests of Guangxi (species level)

级别	科数	占总科数的百分比	种数	占总种数的百分比
Grade	Number of families	Proportion to total Families (%)	Number of species	Proportion to total species (%)
大科(>50 种)	2	2.06	146	19.68
Fam. of more than 50 spec. collected				
较大科(31–50 种)	2	2.06	90	12.13
Fam. of 31–50 spec. collected				
中等科(10–30 种)	16	16.49	264	35.58
Fam. of 10–30 spec. collected				
寡种科(2–9 种)	51	52.58	216	29.11
Fam. of 2–9 spec. collected				
仅采到 1 种的科	26	26.80	26	3.50
Fam. of only 1 spec. collected				

科级分类地位未定的类群未统计在内；本表统计的总科数为 97 个，总种数为 742 种

The incertae sedis group not included in this Table; Only 97 families and 742 species were included in this Table.

2 个科的物种。这 2 个科的物种与壳斗科、松科和桦木科等植物类群形成共生关系,一个地区这些植物的多寡直接影响到这 2 个科真菌的数量。从弄岗保护区、木论保护区和雅长保护区内这些植物类群的多寡来看,牛肝菌科和红菇科物种在这些保护区的数量和分布情况是基本一致的。然而,在弄岗保护区内有壳斗科和松科的植物,却未发现有牛肝菌科及红菇科的物种,这可能和壳斗科、松科植物在弄岗保护区内的分布有关。壳斗科、松科植物在弄岗保护区内主要分布于山顶,由于弄岗保护区地处于热带雨林区,淋溶作用强烈,导致山顶无法积淀腐殖质层,为裸露的岩石。牛肝菌科和红菇科真菌为土生真菌,缺乏土壤直接影响这些科物种的生长发育,也就难以产生子实体,故在调查中未在弄岗保护区发现牛肝菌科和红菇科等外生菌根真菌。

中等科(具 10–30 种的科)有 16 个:肉杯菌科 *Sarcoscyphaceae* (14 种)、炭团菌科 *Hypoxylaceae* (12 种)、炭角菌科 *Xylariaceae* (20 种)、鹅膏科 *Amanitaceae* (17 种)、丝膜菌科 *Cortinariaceae* (21 种)、靴耳科 *Crepidotaceae* (17 种)、层腹菌科 *Hymenogastraceae* (16 种)、丝盖伞科 *Inocybaceae* (12 种)、小皮伞科 *Marasmiaceae* (21 种)、小菇科 *Mycenaceae* (16 种)、类脐菇科 *Omphalotaceae* (21 种)、膨瑚菌科 *Physalacriaceae* (12 种)、光柄菇科 *Pluteaceae* (10 种)、小脆柄菇科 *Psathyrellaceae* (16 种)、木耳科 *Auriculariaceae* (13 种)和锈革菌科 *Hymenochaetaceae* (26 种)。中等科占总科数的 16.49%,科内种数占总种数的 35.58%,是广西喀斯特林区大型真菌区系的重要数量优势科。其中,肉杯菌科、炭角菌科、小皮伞科、小菇科和光柄菇科为泛热带成分科,所含物种数(81 种)占非广布成分总种数(213 种)的 38.03%,是反映热带区系性质的重要科。中等科中,属于温带成分的科仅有丝膜菌科(1 属, 21 种),这也从侧面反映出广西喀斯特林区的大型真菌区系性质为

热带亚热带区系性质。丝膜菌科的物种也为外生菌根真菌,也仅见于木论和雅长保护区。

寡种科(具 2–9 种的科)有 51 个:裂皮盘菌科 *Chorioactidaceae*、火丝菌科 *Pyronemataceae*、麦角菌科 *Clavicipitaceae*、虫草菌科 *Cordycipitaceae*、肉座菌科 *Hypocreaceae*、线虫草科 *Ophiocordycipitaceae*、角孢伞科 *Asproinocybaceae*、粪锈伞科 *Bolbitiaceae*、珊瑚菌科 *Clavariaceae*、粉褶菌科 *Entolomataceae*、轴腹菌科 *Hydnangiaceae*、蜡伞科 *Hygrophoraceae*、离褶伞科 *Lyophyllaceae*、侧耳科 *Pleurotaceae*、木须菌科 *Lentariaceae*、羽瑚菌科 *Pterulaceae*、裂褶菌科 *Schizophyllaceae*、球盖菇科 *Strophariaceae*、口蘑科 *Tricholomataceae*、假脐菇科 *Tubariaceae*、圆孔牛肝菌科 *Gyroporaceae*、铆钉菇科 *Gomphidiaceae*、桩菇科 *Paxillaceae*、硬皮马勃科 *Sclerodermataceae*、乳牛肝菌科 *Suillaceae*、齿菌科 *Hydnaceae*、地星科 *Geastraceae*、鬼笔科 *Phallaceae*、褐褶菌科 *Gloeophyllaceae*、藓菇科 *Rickenellaceae*、裂孔菌科 *Schizoporaceae*、钉菇科 *Gomphaceae*、下皮黑孔菌科 *Cerrenaceae*、拟层孔菌科 *Fomitopsidaceae*、硫磺菌科 *Laetiporaceae*、灵芝科 *Ganodermaceae*、蜡孢菌科 *Incrustoporiaceae*、囊耙齿菌科 *Irpicaceae*、干朽菌科 *Meruliaceae*、锐孔菌科 *Oxyporaceae*、革耳科(暂定名) *Panaceae*、原毛平革菌科 *Phanerochaetaceae*、柄杯菌科 *Podoscyphaceae*、齿耳科 *Steccherinaceae*、耳匙菌科 *Auriscalpiaceae*、刺孢多孔菌科 *Bondarzewiaceae*、韧革菌科 *Stereaceae*、坂氏齿菌科 *Bankeraceae*、革菌科 *Thelephoraceae*、银耳科 *Tremellaceae* 和花耳科 *Dacrymycetaceae*。寡种科在总科数中的占比超过一半,但所含的物种数仅占总种数的 29.11%。其中,广布成分科有 32 个,热带成分科有 8 个(39 种),温带成分科有 11 个(57 种)。寡种科中,热带成分总科数和种数分别占研究区域热带成分总科数的 40%,总种数的 30.71%;

温带成分科数和种数分别占研究区域温带成分总科数的 55%，总种数的 66.28%。这说明寡种科是反映热带区系性质的重要来源科，反映科温带性质的主要来源科。

在研究区域只采到 1 个种的科有 26 个：绿杯盘菌科 *Chlorociboriaceae*、复柄盘菌科(暂定名) *Cordieritidaceae*、柔膜菌科 *Helotiaceae*、粒毛盘菌科 *Lachnaceae*、蜡盘菌科 *Rutstroemiaceae*、锤舌菌科 *Leotiaceae*、垫盘菌科(暂定名) *Pulvinulaceae*、马鞍菌科 *Helvellaceae*、肉盘菌科 *Sarcosomataceae*、*Biannulariaceae*、色孢菌科 *Callistosporiaceae*、囊韧革菌科 *Cystostereaceae*、核瑚菌科 *Typhulaceae*、淀粉伏革菌科 *Amylocorticiaceae*、小牛肝菌科 *Boletinellaceae*、丽口菌科 *Calostomataceae*、粉孢革菌科 *Coniophoraceae*、复囊菌科 *Diplocystidiaceae*、干腐菌科 *Serpulaceae*、点革菌科(暂定名) *Punctulariaceae*、索孔菌科 *Fibroporiaceae*、地花孔菌科 *Albatrellaceae*、猴头菌科 *Hericiaceae*、蜡壳耳科 *Sebacinaceae*、拟韧革菌科 *Stereopsidaceae*

和胶珊瑚科 *Holtermanniaceae*。这些科中，广布成分科有 12 个，热带成分科有 7 个，温带成分科有 8 个；热带成分总科数和种数分别占研究区域热带成分总科数的 35%，总种数的 5.51%；温带成分科数和种数分别占研究区域温带成分总科数的 40%，总种数的 9.30%，说明研究区域内只发现 1 种的科是反映科区系性质的重要来源科，但不是优势科。

从科内属级的分析(表 3)来看，研究区域分布多于 30 个属的科为多孔菌科，有 40 属 86 种，占总科数的 1.03%、总属数的 13.38%、总种数的 11.59%。含 21–30 个属的科有牛肝菌科(21 属，42 种)，占总科数的 1.03%、总属数的 7.02%、总种数的 5.66%。具 10–20 个属的科有蘑菇科(10 属，60 种)和锈革菌科(13 属，26 种)，合计占总科数的 2.06%、总属数的 7.69%、总种数的 11.59%。

科内所含属数有 10 个属及以上的科均为世界广布科，以多孔菌科所含的属数和种数都最多。广西喀斯特林区的典型特征为岩石裸露度

表 3 广西喀斯特林区大型真菌科的大小分级统计(属级)
Table 3 Statistics on families of macro-fungi in karst forests of Guangxi (genera level)

级别 Grade	科数 Number of families	占总科数的百分比 Proportion to total families (%)	属数 Number of genera	占总属数的百分比 Proportion to total genera (%)	种数 Number of species	占总种数的百分比 Proportion to total species (%)
>30 个属的科 Fam. of more than 30 gen. collected	1	1.03	40	13.38	86	11.59
21–30 个属的科 Fam. of 21–30 gen. collected	1	1.03	21	7.02	42	5.66
10–20 个属的科 Fam. of 10–20 gen. collected	2	2.06	23	7.69	86	11.59
2–9 个属的科 Fam. of 2–9 gen. collected	52	53.61	174	58.19	448	60.38
仅采到 1 个属的科 Fam. of only 1 gen. collected	41	42.27	41	13.71	80	10.78

科级分类地位未定的类群没有统计在内；本表统计的总科数为 97 个，总属数为 299 个，总种数为 742 个
The incertae sedis group not included in this Table; Only 97 families, 299 genera and 742 species were included in this Table.

高(可达 90%), 土层及腐殖质层稀薄, 不利于土生真菌的生长; 虽然岩石裸露度高, 植被却十分茂密, 产生大量的枯枝腐木, 为木生真菌生长提供了有利条件, 因而木生真菌为广西喀斯特森林大型真菌的优势类群, 属数大于 10 个的科主要来自木腐菌。牛肝菌科真菌所含的属数和种数也较为丰富, 主要分布于壳斗科和松科植物丰富的雅长保护区。

科内具 2–9 个属的科有 52 个, 占总科数的 53.61%, 占总属数的 58.19%, 占总种数的 60.38%。具有 2–9 个属的科中, 广布成分的科有 29 个, 热带成分的科有 12 个, 温带成分的科有 10 个; 热带成分的科数及科内属数、种数分别占研究区域内热带成分总科数的 60%, 总属数的 82.98%, 总种数的 94.49%; 温带成分的科数及科内属数、种数分别占研究区域内温带成分总科数的 50%, 总属数的 75%, 总种数的 66.28%。说明含 2–9 个属的科为反映广西喀斯特林区大型真菌区系的主要来源科。

仅采集到 1 个属的科共有 41 个, 占总科数的 42.27%、总属数的 13.71%、总种数的 10.78%。仅采集到 1 个属的科中, 广布成分的科有 24 个, 热带成分科有 8 个, 温带成分科有 10 个; 这些科除了丝膜菌科的丝膜菌属含 21 种, 其余科均为寡种科、寡种属, 说明仅含 1 个属的科不是优势科, 但是反映了广西喀斯特林区大型真菌区系的重要来源科。

(2) 科的区系成分

由于当前大型真菌科级水平的分布区划尚未厘清, 也未形成统一的区划认识, 本研究仅简单将其划分为广布成分、泛热带成分和北温带成分。

根据划分结果(表 4), 广西喀斯特林区大型真菌科的分布类型以广布成分为主(58.16%), 泛热带成分(20.41%)和北温带成分(21.43%)具有相近的比例。

泛热带成分的科有: 小牛肝菌科(1 属, 1 种)、丽口菌科(1 属, 1 种)、麦角菌科(1 属, 2 种)、粉褶菌科(2 属, 5 种)、灵芝科(2 属, 3 种)、柔膜菌科(1 属, 1 种)、胶珊瑚科(1 属, 1 种)、小皮伞科(5 属, 21 种)、小菇科(6 属, 16 种)、革耳科(2 属, 4 种)、鬼笔科(6 属, 8 种)、光柄菇科(2 属, 10 种)、柄杯菌科(2 属, 6 种)、羽瑚菌科(3 属, 5 种)、点革菌科(1 属, 1 种)、肉杯菌科(4 属, 14 种)、肉盘菌科(1 属, 1 种)、拟韧革菌科(1 属, 1 种)、银耳科(2 属, 6 种)和炭角菌科(3 属, 20 种)。泛热带成分的科中, 在弄岗保护区有分布的 16 个, 其中小牛肝菌科、麦角菌科和拟韧革菌科仅见于弄岗保护区; 在雅长保护区有分布的 16 个, 其中丽口菌科和胶珊瑚科仅见于雅长保护区; 在木论保护区有分布的科 12 个, 肉盘菌科仅见于木论保护区。

北温带成分的科有: 锤舌菌科(1 属, 1 种)、地花菌科(1 属, 1 种)、淀粉伏革菌科(1 属, 1 种)、

表 4 广西喀斯特林区大型真菌科的分布区类型统计
Table 4 Statistics on distribution-type of macro-fungi in karst forests of Guangxi (family level)

分布区类型	科数	占总科数的百分比	占非世界分布科的百分比
Distribution-type	Number of families	Proportion to total families (%)	Proportion to non-cosmopolitan families (%)
广布成分	57	58.16	-
Cosmopolitan			
泛热带成分	20	20.41	48.78
Pantropic			
北温带成分	21	21.43	51.22
N. Temp.			

坂氏齿菌科(2 属, 3 种)、刺孢多孔菌科(3 属, 3 种)、复柄盘菌科(1 属, 1 种)、丝膜菌科(1 属, 21 种)、索孔菌科(1 属, 1 种)、拟层孔菌科(6 属, 7 种)、褐褶菌科(2 属, 2 种)、钉菇科(4 属, 9 种)、铆钉菇科(2 属, 2 种)、马鞍菌科(1 属, 1 种)、猴头菌科(1 属, 1 种)、齿菌科(3 属, 8 种)、蜡伞科(3 属, 6 种)、离褶伞科(3 属, 9 种)、干腐菌科(1 属, 1 种)、乳牛肝菌科(1 属, 3 种)、革菌科(2 属, 5 种)和核瑚菌科(1 属, 1 种)。北温带成分的科中, 分布于弄岗保护区的仅 3 个; 分布于雅长保护区的有 18 个, 其中锤舌菌科、地花菌科、淀粉伏革菌科、索孔菌科、褐褶菌科、齿菌科、蜡伞科和革菌科仅见于雅长保护区; 分布于木论保护区的有 13 个, 其中干腐菌科和核瑚菌科仅见于木论保护区。

考虑到本研究实际上选择的是不同纬度带的区域进行研究, 可能按不同地区分别来统计更能体现实际的区系情况。分类统计过程中, 用热带成分科数与北温带成分科数的比值来反映一个地区科的区系性质。当这个比值大于 1 时, 说明这个地区科的区系成分为偏热带性质; 当比值小于 1 时, 说明为偏温带性质。

统计结果(表 5)表明, 雅长保护区科的区系成分偏温带性质, 弄岗保护区为明显的热带性质, 木论保护区则呈现热带和温带过渡, 这个结果比较符合实际情况。雅长保护区和木论保护区都位于桂西北地区且在纬度上相差不大, 但是雅长保护区所在地海拔相对较高, 海拔

1 000 m 以上的山峰共有 89 座, 1 500 m 以上的有 19 座, 平均海拔在 1 000 m 以上; 木论保护区的海拔多为 400–600 m, 海拔上的差异使得雅长保护区比木论保护区表现出更明显的温带区系性质。弄岗保护区位于热带北缘, 科的热带性质明显, 符合该地区的气候特点。

从非广布成分科在弄岗、木论、雅长保护区的分布情况来看, 雅长保护区不仅具有较多的温带成分科, 还具有和弄岗保护区相同的热带成分科数, 这说明雅长保护区虽然整体上表现出偏温带区系性质, 但热带成分科也被较好地保存, 可见其区系之复杂, 这与雅长保护区位于我国阶梯地势第二级与第三级的过渡地区, 也是热带向亚热带过渡的地区, 以及亚热带常绿阔叶林带东部湿润区与西部半湿润区的交接地带的特殊地理位置有关。

(3) 优势科

优势科是指在区系成分中所包含的属、种相对较多的科。通过前面科内属、种的数量结构分析, 知道多孔菌科(40 属, 86 种)、蘑菇科(10 属, 60 种)、牛肝菌科(21 属, 42 种)、红菇科(3 属, 48 种)、锈革菌科(13 属, 26 种)、类脐菇科(7 属, 21 种)、丝膜菌科(1 属, 21 种)、小皮伞科(5 属, 21 种)、炭角菌科(3 属, 20 种)、小菇科(6 属, 16 种)、炭团菌科(5 属, 12 种)、膨瑚菌科(9 属, 12 种)、层腹菌科(5 属, 16 种)和小脆柄菇科(4 属, 16 种)所包含的属数或种数较多。

表 5 不同保护区大型真菌科的分布区类型统计

Table 5 Distribution-types of macro-fungi in different Nature Reserves (family level)

采集地 Location	广布成分科数 Cosmopolitan families	泛热带成分科数 Pantropic families	北温带成分科数 N. Temp. families	泛热带成分/北温带成分 Pantropic/N. Temp.
雅长保护区 Yachang Nat. Res.	52	15	18	0.83
木论保护区 Mulun Nat. Res.	44	13	13	1
弄岗保护区 Nonggang Nat. Res.	34	16	3	5.3

综合考虑这些科的属、种数量以及科内物种在研究区域内出现的频率,本研究将多孔菌科、牛肝菌科、蘑菇科、锈革菌科、类脐菇科、小皮伞科、小菇科、膨瑚菌科、炭团菌科、层腹菌科和小脆柄菇科确定为广西喀斯特林区的优势科。值得说明的是,虽然牛肝菌科所含的属数(21 属)和种数(42 种)都很多,但该科主要见于雅长保护区,目前在弄岗保护区还未发现有该科物种的分布,该科物种在木论保护区内也不十分常见。这 11 个优势科占总科数的 11.34%,所含的属数和种数分别占总属数和总种数的 39.30%和 42.21%。这些优势科大部分为木生真菌,符合广西喀斯特森林的生态特点。

(4) 表征科

表征科是指那些能代表真菌区系的科,所含的属、种相对非广布成分占有较大比重。通过前面科的地理成分分析,知道非广布成分的科中,小皮伞科(5 属, 21 种)、小菇科(6 属, 16 种)、鬼笔科(6 属, 8 种)、光柄菇科(2 属, 10 种)、柄杯菌科(2 属, 6 种)、羽瑚菌科(3 属, 5 种)、肉杯菌科(4 属, 14 种)、银耳科(2 属, 6 种)和炭角菌科(3 属, 20 种)这些泛热带分布的科;以及丝膜菌科(1 属, 21 种)、拟层孔菌科(6 属, 7 种)、

钉菇科(4 属, 9 种)、齿菌科(3 属, 8 种)、蜡伞科(3 属, 6 种)、离褶伞科(3 属, 9 种)和革菌科(2 属, 5 种)这些北温带的科所含的属数、种数较多。

综合考虑这些科的属、种数量以及科内物种在研究区域内出现的频率,本研究将小皮伞科、小菇科、鬼笔科、柄杯菌科、肉杯菌科、银耳科和炭角菌科这些泛热带分布的科,以及拟层孔菌科、钉菇科、齿菌科和离褶伞科这些北温带分布的科确定为广西喀斯特地区大型真菌区系的表征科。这 11 个表征科占非广布成分科总数的 27.50%,总属数的 50.57%,总种数的 58.22%。表征科中,泛热带成分科数占非广布成分科总数的 17.50%,总属数的 32.18%,总种数的 42.72%;北温带成分科数占非广布成分科总数的 10.00%,总属数的 18.39%,总种数的 15.50%。广西喀斯特林区表征科同样为木生型真菌明显占优势。

2.1.3 属的区系特点

(1) 属的区系组成

通过分析广西不同纬度带喀斯特林区的 3 个具代表性的国家级自然保护区的大型真菌区系属、种的数量,对属的大小进行分级,结果见表 6。

表 6 广西喀斯特林区大型真菌属的大小分级统计

Table 6 Statistics on genera of macro-fungi in karst forests of Guangxi

级别	子囊菌的属数	担子菌的属数	属合计	占总属数百分比	种数	占总种数的百分比
Grade	Number of genera in Ascomycota	Number of genera in Basidiomycota	Number of total genera	Proportion to total genera (%)	Number of species	Proportion to total species (%)
大属(>20 种)	-	3	3	0.94	64	8.24
Gen. of >20 spec.						
较大属(10-20 种)	1	8	9	2.83	116	14.93
Gen. of 10-20 spec.						
中等属(5-9 种)	2	23	25	7.86	144	18.53
Gen. of 5-9 spec.						
寡种属(2-4 种)	11	97	108	34.28	280	36.03
Gen. of 2-4 spec.						
仅采到 1 个种的属	17	156	173	54.40	173	22.27
Gen. of only 1 spec.						

研究区域所有真菌类群中,具有种数超过 20 种的属(大属)有 3 个:丝膜菌属 *Cortinarius* (21 种)、乳菇属 *Lactarius* (21 种)和红菇属 *Russula* (22 种),占总属数的 0.94%、总种数的 8.24%。

具 10–20 种的属(较大属)有 9 个:炭角菌属 *Xylaria* (18 种)、蘑菇属 *Agaricus* (15 种)、白环蘑属 *Leucoagaricus* (12 种)、鹅膏属 *Amanita* (16 种)、靴耳属 *Crepidotus* (11 种)、丝盖伞属 *Inocybe* (10 种)、小皮伞属 *Marasmius* (14 种)、裸脚伞属 *Gymnopus* (10 种)和栓孔菌属 *Trametes* (10 种),占总属数的 2.83%、总种数的 14.93%。

具 5–9 种的属(中等属)有 25 个:毛杯菌属 *Cookeina* (5 种)、线虫草属 *Ophiocordyceps* (5 种)、老伞属 *Gerronema* (5 种)、环柄菇属 *Lepiota* (9 种)、马勃属 *Lycoperdon* (6 种)、小蘑菇属 *Micropsalliota* (6 种)、绒盖伞属 *Simocybe* (5 种)、黄囊菇属 *Deconica* (5 种)、蚁巢伞属 *Termitomyces* (7 种)、小菇属 *Mycena* (7 种)、微皮伞属 *Marasmiellus* (5 种)、光柄菇属 *Pluteus* (6 种)、小鬼伞属 *Coprinellus* (5 种)、拟鬼伞属 *Coprinopsis* (5 种)、小脆柄菇属 *Psathyrella* (5 种)、木耳属 *Auricularia* (8 种)、锈革菌属 *Hymenochaete* (7 种)、枝瑚菌属 *Ramaria* (6 种)、柄杯菌属 *Podoscypha* (5 种)、棱孔菌属 *Favolus* (5 种)、灵芝属 *Ganoderma* (7 种)、多孔菌属 *Polyporus* (5 种)、多汁乳菇属 *Lactifluus* (5 种)、革菌属 *Thelephora* (5 种)和银耳属 *Tremella* (5 种),占总属数的 7.86%、总种数的 18.53%。

具 2–4 种以及仅具 1 种的属分别有 108 个属 (284 种)和 173 个属(种),分别占总属数的 34.28% 和 54.40%,分别占总种数的 36.03%和 22.27%,为研究区域大型真菌的主要组成属。

(2) 属的区系成分

依据相关资料,本研究将大型真菌属的分布区类型划分为 12 个(图力古尔和李玉 2000; 宋

斌和邓旺秋 2001; 周绪申等 2010; 员瑗等 2015; 宋斌等 2018; 王妍等 2021),并将本研究所得的 318 个属进行划分(表 7)。

(I) 世界广布的属

世界广布属为扩散能力较强的属或包含有多种的大属,在世界各地均有分布。广西喀斯特林区的世界广布属共有 173 个,占研究总属数的 54.40%,含 456 种,占研究总种数的 58.69%。在广布属中,所具种数有 5 种及以上的属有 23 个:蘑菇属、鹅膏属、木耳属、丝膜菌属、小鬼伞属、拟鬼伞属、靴耳属、黄囊菇属、裸脚伞属、光柄菇属、多孔菌属、小脆柄菇属、枝瑚菌属、红菇属、绒盖伞属、栓孔菌属、银耳属、环柄菇属、白环蘑属、马勃属、微皮伞属、小菇属和线虫草属。这些属占总属数的 7.23%,所具有的物种数(205 种)占总种数的 26.38%,为广西喀斯特林区大型真菌优势类群的来源属。

具 2–4 种的广布属有 62 个:小孢盘菌属 *Acervus*、金牛肝菌属 *Aureoboletus*、牛肝菌属 *Boletus*、秃马勃属 *Calvatia*、锁瑚菌属 *Clavulina*、鸡油菌属 *Cantharellus*、下皮黑孔菌属 *Cerrena*、珊瑚菌属 *Clavaria*、拟锁瑚菌属 *Clavulinopsis*、杯伞属 *Clitocybe*、集毛菌属 *Coltricia*、拱顶菇属 *Cuphophyllus*、黑蛋巢菌属 *Cyathus*、环伞属 *Cyclocybe*、轮层炭壳菌属 *Daldinia*、环鳞伞属 *Descolea*、黑耳属 *Exidia*、小嗜蓝孢孔菌属 *Fomitiporella*、嗜蓝孢孔菌属 *Fomitiporia*、拟层孔菌属 *Fomitopsis*、褐卧孔菌属 *Fuscoporia*、盔孢伞属 *Galerina*、地星属 *Geastrum*、圆孔牛肝菌属 *Gyroporus*、裸伞属 *Gymnopilus*、亚侧耳属 *Hohenbuehelia*、炭团菌属 *Hypoxylon*、蜡蘑属 *Laccaria*、燠孔菌属 *Laetiporus*、木瑚菌属 *Lentaria*、黑斑根孔菌属 *Picipes*、侧耳属 *Pleurotus*、粉末牛肝菌属 *Pulveroboletus*、密孔菌属 *Pycnoporus*、伏褶菌属 *Resupinatus*、藓菇

表 7 广西喀斯特林区大型真菌属的分布区类型统计
Table 7 Statistic of distribution-type of macro-fungi in karst forests of Guangxi (genus level)

分布带	分布区类型	属数	占非广布成分比例
Distribution zone	Distribution-type	Number of genera	Proportion to non-cosmopolitan (%)
广布属(173 个)	1. 广布成分 Cosmopolitan	173	-
Wide spread			
热带属(88 个)	2. 泛热带成分 Pantropic	75	51.72
Tropical	3. 热带亚洲-热带美洲成分	4	2.76
	Trop. As. and Trop. Amer. Disjuncted		
	4. 热带亚洲-热带非洲成分	2	1.38
	Trop. As. and Trop. Afr. Disjuncted		
	5. 古(旧)热带成分 Old World Trop.	3	2.07
	6. 热带亚洲成分 Trop. Asia	1	0.69
	7. 热带亚洲至热带大洋洲成分	1	0.69
	Trop. Asia, Austalasias Disjuncted		
	8. 热带亚洲、大洋洲至热带美洲成分	3	2.07
	Trop. Asia, Austalasias & Amer. Disjuncted		
温带属(51 个)	9. 北温带成分 N. Temp.	45	31.03
Temperate	10. 东亚-北美洲成分	4	2.76
	E. Asia and N. Amer. Disjuncted		
	11. 东亚成分 E. Asia	2	1.38
中国特有属(5 个)	12. 中国特有成分 Endemic to China	5	3.45
Endemic to China			

属 *Rickenella*、红牛肝菌属 *Rubroboletus*、肉齿菌属 *Sarcodon*、硬皮马勃属 *Scleroderma*、干皮孔菌属 *Skeletocutis*、韧革菌属 *Stereum*、松塔牛肝菌属 *Strobilomyces*、革菌属 *Thelephora*、银耳属 *Tremella*、木霉属 *Trichoderma*、*Vitreoporus*、草菇属 *Volvariella*、黄蘑菇属 *Xanthagaricus*、干脐菇属 *Xeromphalina*、趋木菌属 *Xylobolus*、大环柄菇属 *Macrolepiota*、绿僵菌属 *Metarhizium*、黑孔菌属 *Nigroporus*、类脐菇属 *Omphalotus*、锐孔菌属 *Oxyporus*、花褶伞属 *Panaeolus*、扇菇属 *Panellus*、革耳属 *Panus*、多年卧孔菌属 *Perenniporia*、鬼笔属 *Phallus*、射脉革菌属 *Phlebia* 和拟射脉菌属 *Phlebiopsis*。这些属占总属数的 19.50%，所具物种数(162 种)占总种数的 20.85%。

仅采到 1 种的广布属有 89 个：残孔菌属 *Abortiporus*、环纹炭团菌属 *Annulohyphoxylon*、薄孔菌属 *Antrodia*、分钉耳属 *Aporpium*、蜜环菌属 *Armillaria*、耳匙菌属 *Auriscalpium*、硬皮地

星属 *Astraeus*、棕孔菌属 *Brunneoporus*、黄肉牛肝菌属 *Butyriboletus*、絮干朽菌属 *Byssomerulius*、丽口菌属 *Calostoma*、平栓菌属 *Leiotrametes* (*Cubamyces*)、角孔菌属 *Cerioporus*、色孢菌属 *Callistosporium*、胶角耳属 *Calocera*、绿杯盘菌属 *Chlorociboria*、丽齿耳属 *Climacodon*、复柄盘菌属 *Cordierites*、虫草菌属 *Cordyceps*、毛皮伞属 *Crinipellis*、囊韧革菌属 *Cystidiodontia*、花耳属 *Dacrymyces*、迷孔菌属 *Daedalea*、拟迷孔菌属 *Daedaleopsis*、齿伏革菌属 *Dentocorticium*、无环蜜环菌属 *Desarmillaria*、盘革耳属 *Eichleriella*、小绵杯盘菌属 *Erioscyphella*、黄囊孔菌属 *Flavodon*、索孔菌属 *Fibroporia*、黄褐层孔菌属 *Fulvifomes*、褐褶菌属 *Gloeophyllum*、短孢牛肝菌属 *Gyrodon*、黏菇属 *Gloiocephala*、圆齿菌属 *Gyrodontium*、被毛孢属 *Hirsutella*、产丝齿菌属 *Hyphodontia*、*Hodophilus*、齿菌属 *Hydnum*、漏斗伞属 *Infundibulicybe*、纤孔菌属 *Inonotus*、炭墩菌属 *Kretzschmaria*、垂暮菇属

Hypholoma、刺射脉菌属 *Hydnophlebia*、容氏孔菌属 *Junghuhnia*、毡毛脆柄菇属 *Lacrymaria*、兰斯盘菌属 *Lanzia*、松肉菌属 *Laxitextum*、亚卧孔菌属 *Physisporinus*、豆马勃属 *Pisolithus*、翁孔菌属 *Onnia*、暗银耳属 *Phaeotremella*、原毛平革菌 *Phanerochaete*、拟褶尾菌属 *Plicaturopsis*、孔座壳属 *Poronia*、原球盖菇属 *Protostropharia*、裸盖菇属 *Psilocybe*、孔韧革菌属 *Porostereum*、垫盘菌属 *Pulvinula*、点革菌属 *Punctularia*、红层孔菌属 *Rhodofomes*、裂褶菌属 *Schizophyllum*、干腐菌属 *Serpula*、盾盘菌属 *Scutellinia*、蜡壳耳属 *Sebacina*、齿耳菌属 *Steccherinum*、球盖菇属 *Stropharia*、拟栓菌属 *Trametopsis*、红金钱菌属 *Rhodocollybia*、十字孢伞属 *Tricholosporum*、干酪菌属 *Tyromyces*、万德孔菌属 *Vanderbylia*、金孢牛肝菌属 *Xanthoconium*、绒盖牛肝菌属 *Xerocomus*、革柄菌属 *Lenzites*、小香菇属 *Lentinellus*、黏伞属 *Limacella*、齿脉菌属 *Lopharia*、*Meiorganum*、齿孔菌属 *Metuloidea*、拟干朽菌属 *Meruliopsis*、蛇头菌属 *Mutinus*、蒜味皮伞属 *Mycetinis*、针菌属 *Mycoacia*、新香菇属 *Neolentinus*、红蛋巢菌属 *Nidula*、白孔层孔菌属 *Niveoporofomes*、桩菇属 *Paxillus* 和木层孔菌属 *Phellinus*。这些属占总属数的 28.00%，所具物种数占总种数的 11.45%。

在仅采集到 1 种的广布属中,既有十分常见的,也有仅发现于某个保护区的。比较典型的有:胶角耳属(角状胶角耳 *Calocera cornea*)、小绵杯盘菌属(异常小绵杯盘菌 *Erioscyphella abnormis*)、裂褶菌属(裂褶菌 *Schizophyllum commune*)、盾盘菌属(盾盘菌 *Scutellinia scutellata*)和木层孔菌属(淡黄木层孔菌 *Phellinus gilvus*)。这些种在调查的不同区域内都十分常见,这些仅发现有 1 种的属对应的种可能是广布种或泛热带、亚热带分布的种。对于仅发现于某个保护区的属(种),将在区系替代性一文中讨论。值得说明的是,这些目前仅发现有 1 种的广布属,除了裂

褶菌属,其他属并不能说明就是单种属,可能还有其他的同属内的物种在研究区域内没有被发现。

(II) 泛热带成分的属

泛热带分布的属是指分布于东、西两半球热带,或可达亚热带至温带,但分布中心仍在热带的属。发现于广西喀斯特林区内泛热带分布的属有 75 个,占扣除广布成分后总属数的 51.72%,体现出广西喀斯特林区大型真菌区系整体情况呈热带性质的特点,符合广西地处热带、亚热带季风气候区的特点。

泛热带成分的属中,属内所具物种数 5 种及以上的属有 9 个:毛杯菌属、棱孔菌属、灵芝属、老伞属、炭角菌属、锈革菌属、小皮伞属、小蘑菇属和柄杯菌属。这些属占扣除广布成分后总属数(145 属)的 6.21%,所具物种数(72 种)占扣除广布成分后总种数(320 种)的 22.5%。这些属不仅是广西喀斯特林区的优势属,也是反映热带区系成分的核心属,在热带北缘的弄岗保护区更为常见。

泛热带成分的属中,属内所具物种数为 2–4 种的属有 31 个:条孢牛肝菌属 *Boletellus*、美牛肝菌 *Caloboletus*、毛筐菌属 *Chaetocalathus*、杯革菌属 *Cotylidia*、鳞盖伞属 *Cyptotrama*、青褶伞属 *Chlorophyllum*、棘刚毛菌属 *Echinochaete*、粉褶菌属 *Entoloma*、胶球炭壳菌属 *Entonaema*、胶孔菌属 *Favolaschia*、粗毛盖菌属 *Funalia*、蜂窝孔菌属 *Hexagonia*、香菇属 *Lentinus*、白鬼伞属 *Leucocoprinus*、巨孔菌属 *Megasporia*、小孔菌属 *Microporus*、新大孔菌属 *Neofavolus*、小奥德蘑属 *Oudemansiella*、歪盘菌属 *Phillipsia*、褶孔牛肝菌属 *Phylloporus*、须瑚菌属 *Pterula*、辛格杯伞属 *Singerocybe*、四角孢属 *Tetrapyrgos*、色孔菌属 *Tinctoporellus*、胶陀盘菌属 *Trichaleurina*、附毛孔菌属 *Trichaptum*、热带孔菌属 *Tropicoporus*、畸孢孔菌属 *Truncospora* 和趋木齿菌属 *Xylodon*。这些属占扣除广布成分后总属数(145 属)的

21.38%, 所具物种数(73 种)占扣除广布成分后总种数(320 种)的 22.81%。这些属中,除了美牛肝菌、青褶伞属、胶球炭壳菌属和褶孔牛肝菌属这几个属仅见于某个保护区,其他属在广西喀斯特林区内都较为常见,也是反映热带区系成分的重要组成部分。

泛热带成分的属中,属内所发现物种数仅 1 种的属有 37 个:粉孢菌属 *Amyloporus*、角孢伞属 *Asproinocybe*、星头鬼笔属 *Aseroe*、炭褶菌属 *Anthracophyllum*、布氏多孔菌属 *Bresadolia*、脉褶菌属 *Campanella*、革孔菌属 *Corioloopsis*、*Crassisporus*、条孢灵芝属(暂定名) *Cristataspora*、赤小菇属 *Cruentomyces*、波边革菌属 *Cymatoderma*、假花耳属 *Dacryopinax*、小异薄孔菌属 *Datroniella*、龙爪菌属 *Deflexula*、膜齿菌属 *Dentipellicula*、俄氏孔菌属 *Earliella*、榆孔菌属 *Elmerina*、网孢牛肝菌属 *Heimioporus*、*Hirticrusta*、锈齿革菌属 *Hydnochaete*、长根菇属 *Hymenopellis*、考巴菌属 *Kobayasia*、乳金伞属 *Lactocollybia*、木菇属 *Lentinula*、散尾鬼笔属 *Lysurus*、小小孔菌属 *Microporellus*、*Mycorrhaphoides*、暗锁瑚菌属 *Phaeoclavulina*、脉柄牛肝菌属 *Phlebopus*、叶孔菌属 *Phylloporia*、泡头菌属 *Physalacria*、晶星革菌属 *Sidera*、链担耳属 *Sirobasidium*、拟韧革菌属 *Stereopsis*、沟褶菌属 *Trogia*、*Trullella* 和小剥管孔菌属 *Piptoporellus*。这些属占扣除广布成分后总属数(145 属)的 25.52%, 所具物种数(70 种)占扣除广布成分后总种数(320 种)的 11.56%。

(III) 热带亚洲-热带美洲成分的属

指间断分布于亚洲和美洲热带地区的属,其中某些属可达这两洲的亚热带地区。该成分的属有 4 个,属内种数在研究区域内均只发现 1 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 2.76%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 1.25%。这 4 个属为:大孢孔菌属 *Megasporoporia*、侧火菇属 *Pleuroflammula*、湿星伞属 *Hygroaster* 和皱盖牛肝菌属 *Rugiboletus*。

(IV) 热带亚洲-热带非洲成分的属

指仅分布于热带亚洲至热带非洲的属。该成分的属有 2 个,属内种数共 9 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 1.38%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 2.81%。这 2 个属为:槌座炭角菌属 *Rhopalostroma* (2 种)和蚁巢伞属(7 种)。

(V) 古(旧)热带成分的属

指间断分布于亚洲、非洲和大洋洲热带地区及其邻近岛屿的属。该成分的属有 3 个,属内种数共 4 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 2.07%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 1.25%。这 3 个属为:血芝属(暂定名) *Sanguinoderma* (2 种)、核生柄孔菌属 *Lignosus* (1 种)和淀粉孔菌属 *Amylonotus* (1 种)。

(VI) 热带亚洲成分的属

指主要分布于南亚、东南亚等地,东面可到斐济等太平洋岛屿,但不达澳大利亚大陆,其分布的北缘可达我国西南、华南至台湾,甚至更北地区的属。该成分的属仅有羽囊菌属 *Pterulicium* 这 1 属,具 1 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 0.69%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 0.31%。

(VII) 热带亚洲至热带大洋洲成分的属

指分布于热带亚洲至大洋洲旧世界热带的东翼,一般不到非洲大陆的属。该成分的属仅有新小层孔菌属 *Neofomitella* 这 1 属,具 2 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 0.69%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 0.63%。

(VIII) 热带亚洲、大洋洲至热带美洲成分的属

指间断分布于热带亚洲、大洋洲和美洲的属。该成分的属有 3 个,共 3 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 2.07%, 占扣除广布成分后总种数(320 种)的 0.94%。这 3 个属为:二头孢盘菌属 *Dicephalospora* (1 种)、盘孔菌属 *Porodisculus* (1 种)和胶珊瑚属 *Holtermannia* (1 种)。

(IX) 北温带成分的属

指分布于北半球(欧亚大陆及北美)温带地

区,个别可到达南温带,但其分布中心在北温带的属。该成分的属有 45 个,共 104 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 31.03%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 32.50%。其中,所具物种 5 种及以上的属有 3 个:丝盖伞属(10 种)、乳菇属(21 种)和多汁乳菇属(5 种);含 2-4 种的属有 15 个:杯冠瑚菌属 *Artomyces* (2 种)、斜盖伞属 *Clitopilus* (3 种)、小杯伞属 *Clitocybula* (2 种)、蜡伞属 *Hygrophorus* (3 种)、黏滑菇属 *Hebeloma* (4 种)、歧盖伞属 *Insperma* (2 种)、鳞伞属 *Pholiota* (3 种)、网柄牛肝菌属 *Retiboletus* (3 种)、黏柄小菇属 *Roridomyces* (2 种)、乳牛肝菌属 *Suillus* (3 种)、小乳牛肝菌属 *Suillellus* (2 种)、肉杯菌属 *Sarcoscypha* (4 种)、口蘑属 *Tricholoma* (3 种)、粉孢牛肝菌属 *Tylopilus* (3 种)和干蘑属 *Xerula* (2 种)。具有 2 种及以上北温带成分的属有 18 个,共有 77 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 12.41%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 24.06%,这些属为广西喀斯特林区大型真菌北温带成分的主要组成属,且主要分布于本研究区位于桂西北的雅长保护区和木论保护区。

该成分中含 1 个种的属有 27 个:网孢盘菌属 *Aleuria*、地花孔菌属 *Albatrellus*、类小薄孔菌属 *Antella*、黑管菌属 *Bjerkandera*、冬菇属 *Flammulina*、寄生菇属 *Asterophora*、松苞菇属 *Catathelasma*、钉菇属色 *Chroogomphus*、锤舌菌属 *Leotia*、雅薄伞属 *Delicatula*、钉菇属 *Gomphus*、铆钉菇属 *Gomphidius*、马鞍菌属 *Helvella*、亚齿菌属 *Hydnellum*、皇牛肝菌属 *Imperator*、耙齿菌属 *Irpex*、小疣柄牛肝菌属 *Leccinellum*、离褶伞属 *Lyophyllum*、小口盘菌属 *Microstoma*、脐菇属 *Omphalia*、栓齿菌属 *Phellodon*、波斯特孔菌属 *Postia*、小肉齿菌属 *Sarcodontia*、暗盘菌属 *Plectania*、陀螺菌属 *Turbinellus*、核瑚菌属 *Typhula* 和玉成孔菌属 *Yuchengia*。这些属占扣除广布成分后总属数(145 属)的 18.62%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 8.43%。这些属中,

除了黑管菌属和脐菇属 *Omphalia* 在热带北缘的弄岗保护区也有分布外,其余属仅见于位于桂西北的保护区,尤其是雅长保护区。

(X) 东亚-北美洲成分的属

指间断分布于东亚和北美洲温带及亚热带地区的属。该成分的属有 4 个,均只具 1 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 2.76%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 1.25%。这 4 个属为大金钱菌属 *Megacollybia*、兰茂牛肝菌属 *Lanmaoa*、隐孔菌属 *Cryptoporus* 和多根地花菌属 *Polypus*。

(XI) 东亚成分的属

指主要分布于东亚(中国、朝鲜、韩国、日本及俄罗斯远东地区)的属种,它们有时常向南延伸至我国南部甚至中南半岛,向西可达印度、尼泊尔乃至巴基斯坦。该成分的属有 2 个,共有 3 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 1.38%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 0.94%。这 2 个属为棒束孢属 *Isaria* (2 种)和红皮孔菌属 *Pyrrhoderma* (1 种)。

(XII) 中国特有成分的属

指目前仅知道在我国有分布且向南有时也见于中南半岛的属。该成分的属有 5 个,均只具 1 种,占扣除广布成分后总属数(145 属)的 3.45%,占扣除广布成分后总种数(320 种)的 1.56%。这 5 个属为:裘氏牛肝菌属 *Chiua*、黑牛肝菌属 *Nigroboletus*、假笼头菌属 *Pseudoclathrus*、拟异薄孔菌属 *Neodatronia* 和绒柄多孔菌属 *Tomenstipella*。其中,绒柄多孔菌属为本研究拟定的新属,仅见于弄岗保护区和木论保护区。

通过前面对泛热带成分和北温带成分属的分析,可以看出位于热带北缘的弄岗保护区的真菌区系与位于桂西北的雅长保护区和木论保护区的大型真菌区系明显不同,因而有必要对它们进行单独的分析。

表 8 分别对处于广西不同纬度带的 3 个喀斯特地貌国家级自然保护区大型真菌属的区系成

表 8 广西不同纬度带 3 个喀斯特地貌保护区大型真菌属的分布区类型统计

Table 8 Statistic of distribution-type of macro-fungi in three karst National Nature Reserves in Guangxi (genus level)												
采集地 Location	广布成 分属数 Cosmopolitan genera	泛热带成 分属数 Pantropic	热带亚 洲-热带 美洲成 分属数 Trop. As. and trop. Amer.	热带亚 洲-热带 非洲成 分属数 Trop. As. and trop. Afr.	古(旧) 热带成 分属数 Old World trop.	热带亚 洲成分 属数 Trop. Asian	热带亚洲 至热带大 洋洲成分 属数 Trop. Asian- Austalasian	热带亚洲、 大洋洲至 热带美洲 成分属数 Trop. Asian, Austalasian & Amer.	东亚成 分属数 E. Asian	东亚- 北美洲成 分属数 E. Asian and N. Amer.	北温带 成分 属数 N. Temp.	特有成 分属数 Endemic to China
弄岗保护区 Nonggang Nat. Res.	64	49	0	2	3	0	0	1	2	0	3	1
占非广布成分属 的比重 Proportion to non-cosmopolitan genera	-	80.33%	0	3.28%	4.92%	0	0	1.64%	3.28%	0	4.92%	1.64%
木论保护区 Mulun Nat. Res.	104	45	1	1	2	1	1	1	1	1	18	2
占非广布成分属 的比重 Proportion to non-cosmopolitan genera	-	60.81%	1.35%	1.35%	2.70%	1.35%	1.35%	1.35%	1.35%	1.35%	24.32%	2.70%
雅长保护区 Yachang Nat. Res.	143	57	2	2	1	0	1	3	1	4	37	4
占非广布成分属 的比重 Proportion to non-cosmopolitan genera	-	50.89%	1.79%	1.79%	0.89%	0	0.89%	2.68%	0.89%	3.57%	33.04%	3.57%

分进行了分析。结果表明,这3个保护区的泛热带成分属数占非广布成分总属数的比率依次为弄岗保护区(80.33%)>木论保护区(60.81%)>雅长保护区(50.89%),均大于50%,说明这3个保护区的大型真菌区系表现出较强的泛热带成分,且随着纬度的增加,泛热带成分的比率递减。相反,北温带成分的属比率则依次增加:雅长保护区(33.04%)>木论保护区(24.32%)>弄岗保护区(4.92%)。雅长保护区和木论保护区均处于桂西北地区,因而具有相近的属区系成分比率。雅长保护区的海拔相对较高,因而属的北温带成分较木论保护区丰富。

(3) 优势属

前面已经进行了属的组成及结构分析,本研究将属内种数在5种及以上的属以及部分属内种数小于5种,但属内物种在广西喀斯特林区十分常见的属确定为广西喀斯特林区大型真菌的优势属。

其中,子囊菌门优势属有6个(40种):毛杯菌属、炭团菌属、线虫草属、歪盘菌属、肉杯菌属和炭角菌属。这些属占子囊菌门总属数(31属)的19.35%、总种数(74种)的54.05%。

担子菌门优势属有37个(300种):蘑菇属、鹅膏属、木耳属、毛茛菌属、小鬼伞属、拟鬼伞属、丝膜菌属、靴耳属、黄囊菇属、棱孔菌属、灵芝属、老伞属、裸脚伞属、锈革菌属、丝盖伞属、乳菇属、多汁乳菇属、香菇属、白环蘑属、马勃属、红菇属、小皮伞属、微皮伞属、小孔菌属、小蘑菇属、小菇属、黑斑根孔菌属、光柄菇属、柄杯菌属、多孔菌属、小脆柄菇属、枝瑚菌属、绒盖伞属、蚁巢伞属、革菌属、栓孔菌属和银耳属 *Tremella*。这些属占担子菌门总属数(287属)的12.89%、总种数(703种)的42.67%。

(4) 表征属

子囊菌门表征属有4个(31种):毛杯菌属 *Cookeina*、歪盘菌属 *Phillipsia*、肉杯菌属

Sarcoscypha 和炭角菌属 *Xylaria*。这些属占子囊菌门非广布成分总属数(14属)的28.57%、总种数(45种)的68.89%。

担子菌门表征属有26个(128种):毛茛菌属、青褶伞属、鳞盖伞属、棘刚毛菌属、胶孔菌属、棱孔菌属、灵芝属、老伞属、蜂窝孔菌属、锈革菌属、丝盖伞属、乳菇属、多汁乳菇属、香菇属、白鬼伞属、小皮伞属、小蘑菇属、新大孔菌属、小奥德蘑属、柄杯菌属、须瑚菌属、黏柄小菇属、辛格杯伞属、蚁巢伞属、四角孢属和热带孔菌属。这些属占担子菌门非广布成分总属数(130属)的20%、总种数(275种)的46.55%。

3 讨论

本研究对大部分疑难标本进行了ITS序列的测序和比对,并结合形态学特征比较,确认了它们属的分类地位,直至鉴定到物种。然而,由于部分序列比对的相似度都较低,加上有些未定种大多数是大型真菌形态分类研究中比较困难的类群或研究得比较少的类群,因而暂时无法定种。实际上,国内其他地方报道的区系名录中,也都有一定比例的未定种标本,这可以说是当前大型真菌研究中不可避免的问题,尤其是对于多样性丰富但调查薄弱的广西喀斯特地区。属作为一个比较自然的分类单元,在区系分析中也能够较好地反映一个地区的区系特点,尤其对于物种多样性还不是很清楚、地区间区系调查不均衡、物种分类鉴定相对困难的大型真菌来说,属在区系分析中的可靠性可能比种还高。这些已定属但未定种的标本的加入,可以提高属水平区系分析的可靠性,更能准确反映一个地区大型真菌区系的特点。这个处理方式,可能是未来很长一段时间内,对大型真菌区系研究来说,是一个相对恰当、相对准确地反映一个地区区系情况的办法。

区系调查不够充分,可以说是当前大型真菌

区系地理学研究面临的最大问题之一。将基于 metabarcoding 技术的大型真菌物种探查与基于大型真菌子实体的区系物种调查相结合进行大型真菌区系研究,将有助于解决区系调查不充分的问题。Metabarcoding 技术可以通过通用引物对环境样品中真菌总 DNA 的一段具有鉴定信息的基因片段进行大规模扩增,然后采用高通量测序技术进行大规模快速测序,得到可操作分类单元(operational taxonomic units, OTUs),最后通过与具有可靠物种分类信息的 DNA 条形码数据库中的参考序列进行比对,实现物种的鉴定(曹云等 2016),从而补充因未采集到子实体而遗漏的物种。

重视并加大对大型真菌分类人才的培养力度,增加相关研究经费的投入,才能从根本上解决大型真菌区系地理学这门学科的发展问题。大型真菌区系调查和研究依赖于大量的专业人才。反观广西已有的大型真菌区系调查资料,由广西本地学者主导的调查可以说是屈指可数。大型真菌区系问题,同时也是多样性问题。桂西南喀斯特地区作为我国生物多样性保护优先区,然而该地区大型真菌多样性情况尚不清楚,相关多样性的保护和评估工作仍然缺乏依据。只有加快相关学科的布局和建设,加强对广西本土真菌分类人才的培养,加大对广西大型真菌多样性研究的支持力度,才能尽快摸清广西大型真菌的区系情况,才能为生物多样性的保护与评估提供相对缺乏的亚热带地区大型真菌多样性数据,才能为大型真菌资源的合理开发利用提供便利。

致谢

感谢广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所、木论国家级自然保护区管理中心、弄岗国家级自然保护区管理中心和雅长国家级自然保护区管理中心在调查采集过程中的支持和帮助。

[REFERENCES]

- Bau T, 2004. Fungal diversity in Daqinggou Nature Reserve. Inner Mongolia Education Publishing, Hohhot. 1-189 (in Chinese)
- Bau T, Li Y, 2000. Study on fungal flora diversity in Daqinggou Nature Reserve. Chinese Biodiversity, 8(1): 73-80 (in Chinese)
- Bau T, Na Q, Liu LN, 2021. A monograph of Mycenaceae (Agaricales) in China. Science Press, Beijing. 1-326 (in Chinese)
- Bau T, Tian EJ, Sarantuya, Meng TX, 2014. Flora fungorum sinicorum (Vol. 49 Strophariaceae I). Science Press, Beijing. 1-207 (in Chinese)
- Bonito G, Smith ME, Nowak M, *et al.* (more than 20 authors), 2013. Historical biogeography and diversification of truffles in the *Tuberaceae* and their newly identified southern hemisphere sister lineage. PLoS One, 8(1): e52765
- Cai Q, Tulloss RE, Tang LP, Bau T, Zhang P, Chen ZH, Yang ZL, 2014. Multi-locus phylogeny of lethal amanitas implications for species diversity and historical biogeography. BMC Evolutionary Biology, 14(1): 143-158
- Cao Y, Shen WJ, Chen L, Hu FL, Zhou L, Xu HG, 2016. Application of metabarcoding technology in studies of fungal diversity. Biodiversity Science, 24(8): 932-939 (in Chinese)
- Chen JJ, Cui BK, Zhou LW, Korhonen K, Dai YC, 2015. Phylogeny, divergence time estimation, and biogeography of the genus *Heterobasidion* (Basidiomycota, Russulales). Fungal Diversity, 71: 185-200
- Cui BK, Li HJ, Ji X, Zhou JL, Song J, Si J, Yang ZL, 2019. Species diversity, taxonomy and phylogeny of Polyporaceae (Basidiomycota) in China. Fungal Diversity, 97: 137-392
- Dai YC, 2010. Hymenochaetaceae (Basidiomycota) in China. Fungal Diversity, 45(1): 131-343
- 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)
- Fan L, 2019. Flora fungorum sinicorum (Vol. 54 Lycoperdaceae Mycenastraceae). Science Press, Beijing. 1-125 (in Chinese)
- Feng B, Wang XH, Ratkowsky D, Gates G, Lee SS, Grebenc T, Yang ZL, 2016. Multilocus phylogenetic analyses reveal unexpected abundant diversity and significant disjunct distribution pattern of the hedgehog mushrooms (*Hydnum* L.). Scientific Reports, 6(1): 25586

- Ge YP, Bau T, 2020. Descriptions of six new species of *Crepidotus* from China. *Mycosystema*, 39(2): 238-255 (in Chinese)
- Guangxi Forestry Institute for Exploration, 2007. Investigation report on integrated science in Guangxi Yachang Orchidaceae plant Provincial Nature Reserve. 1-287 (in Chinese)
- Guo L, Huang G, Zhu YF, 2019. Flora fungorum sinicorum Vol. 59. *Xylaria*. Science Press, Beijing. 1-70 (in Chinese)
- Han LH, Yang ZL, 2020. Research progress on the biogeography of ectomycorrhizal fungi. *Journal of Fungal Research*, 18(1): 1-9 (in Chinese)
- Hawksworth DL, Lücking R, 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*, 5: 79-95
- He MQ, Chen J, Zhou JL, Ratchadawan C, Hyde KD, Zhao RL, 2017. Tropic origins, a dispersal model for saprotrophic mushrooms in *Agaricus* section *Minores* with descriptions of sixteen new species. *Scientific Reports*, 7(1): 5122-5153
- Hibbett DS, 2001. Shiitake mushrooms and molecular clocks historical biogeography of *Lentinula*. *Journal of Biogeography*, 28(2): 231-241
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA, 2008. Dictionary of the fungi, 10th ed.. CABI International, Wallingford. 1-771
- Kuhar F, Furci G, Drechsler-Santos ER, Pfister DH, 2018. Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). *IMA Fungus*, 9(2): 71-74
- Lei FM, Song G, Cai TL, Qu YH, Jia CX, Zhao YF, Zhang DZ, 2021. Research progress and prospect on biogeography of birds in China. *Chinese Journal of Zoology*, 56(2): 265-289 (in Chinese)
- Li JJ, Huang XL, 2022. Progress and perspectives on insect biogeography in China. *Acta Geographica Sinica*, 77(1): 133-149 (in Chinese)
- Li Y, Bau T, Liu Y, Li TH, 2014. Flora fungorum sinicorum. Vol. 45 Pleurotoid-Lentinoid fungi. Science Press, Beijing. 1-200 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC, 2015. Atlas of Chinese macrofungal resources. Zhongyuan Farmer Publishing House, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Liu B, Fan L, Li JZ, 2005. Flora fungorum sinicorum. Vol. 23. Sclerodermatales Tulostomatales Phallales Podaxales. Science Press, Beijing. 1-222 (in Chinese)
- Lumbsch HT, Buchanan PK, May TW, Mueller HM, 2008. Phylogeography and biogeography of fungi. *Mycological Research*, 112(Pt 4): 423-424
- Matheny PB, Aime MC, Bougher NL, Buyck B, Desjardin DE, Horak E, Kropp BR, Lodge DJ, Soyong K, Trappe JM, Hibbett DS, 2009. Out of the Palaeotropics? Historical biogeography and diversification of the cosmopolitan ectomycorrhizal mushroom family Inocybaceae. *Journal of Biogeography*, 36(4): 577-592
- Mou GF, 2022. Funga and resource, a case in karst forest of Guangxi. PhD Dissertation. Jilin Agricultural University, Changchun. 1-230 (in Chinese)
- Mou GF, Bau T, 2021a. Asproinoocybaceae fam. nov. (Agaricales, Agaricomycetes) for accommodating the genera *Asproinoocybe* and *Tricholosporum*, and description of *Asproinoocybe sinensis* and *Tricholosporum guangxiense* sp. nov. *Journal of Fungi*, 7(12): 1086
- Mou GF, Bau T, 2021b. *Plectania lutea* (Sarcosomataceae), a new species from southwestern karst areas of China. *Phytotaxa*, 509 (3): 281-290
- Nong SQ, 1988. Report on comprehensive survey of Longgang Reserve, Guangxi. *Guihaia*, Suppl. 1: 74-82 (in Chinese)
- Prayudi DP, Kurniawati J, Mutiarani YP, Salim I, Aminatun T, 2019. Considering sampling methods for macrofungi exploration in Turgo tropical forest ecosystem. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 4(1): 1-10
- Qin J, Horak E, Popa F, Rexer KH, Kost G, Li F, Yang ZL, 2018. Species diversity, distribution patterns, and substrate specificity of *Strobilurus*. *Mycologia*, 110(3): 584-604
- Rehder SA, 1989. A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. *Canadian Journal of Botany*, 67(10): 3003-3062
- Skrede I, Engh IB, Binder M, Carlsen T, Kauserud H, Bendiksby M, 2011. Evolutionary history of Serpulaceae (Basidiomycota) molecular phylogeny, historical biogeography and evidence for a single transition of nutritional mode. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1): e230
- Song B, Deng WQ, 2001. Preliminary analysis of macrofungal flora of Dinghushan Biosphere Reserve in China. *Guizhou Science*, 19(3): 43-49 (in Chinese)
- Song B, Deng WQ, Zhang M, Li TH, 2018. The macrofungal diversity in the Nanling Mountains. *Tropical Geography*, 38(3): 312-320 (in Chinese)
- Sun H, Deng T, Chen YS, Zhou Z, 2017. Current research and development trends in floristic geography. *Biodiversity Science*, 25(2): 111-122 (in Chinese)
- Wang K, Cai L, Yao YJ, 2021. Overview of nomenclature novelties of fungi in the world and China (2020). *Biodiversity Science*, 29(8): 1064-1072 (in Chinese)
- Wang Y, Liu S, Ji X, Sun YF, Song CG, Liu DM, Cui BK,

2021. Species diversity and floristic composition of polypores in the southern parts of Hengduan Mountains, Southwest China. *Mycosystema*, 40(10): 2599-2619 (in Chinese)
- Wu F, Man XW, Tohtirjap A, Dai YC, 2022. A comparison of polypore fungi and species composition in forest ecosystems of China, North America, and Europe. *Forest Ecosystems*, 9: e100051
- Wu YD, Mao WL, Yuan Y, 2021. Comparison of polypore floras and diversity from temperate to subtropical forest zones in China. *Biodiversity Science*, 29(10): 1369-1376 (in Chinese)
- Wu ZY, 1979. Discussion on Chinese floristics. *Acta Botanica Yunnanica*, 1(1): 1-20 (in Chinese)
- Wu ZY, Sun H, Zhou ZK, Li DZ, Peng H, 2011. Floristics of seed plants from China. Science Press, Beijing. 1-431 (in Chinese)
- Yang ZL, 2005. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 27 Amanitaceae. Science Press, Beijing. 1-258 (in Chinese)
- Yang ZL, 2019. Atlas of the Chinese species of Amanitaceae. Science Press, Beijing. 1-210 (in Chinese)
- Yang ZL, Ge ZW, Liang JF, 2019. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 52 Fungi Lepiotoidei (Agaricaceae). Science Press, Beijing. 1-221 (in Chinese)
- Yang ZL, Zang M, 2003. Tropical Affinities of Higher Fungi in Southern China. *Acta Botanica Yunnanica*, 25(2): 129-144 (in Chinese)
- Yuan HS, Dai YC, 2012. Wood-inhabiting fungi in southern China. 6. Guangxi Autonomous Region. *Annales Botanici Fennici*, 49(5): 341-351
- Yuan Y, Bian LS, Wu F, Si J, 2015. Floral composition and ecology of polypores in Hainan Province. *Chinese Journal of Ecology*, 34(6): 1689-1698 (in Chinese)
- Zeng NK, Liang ZQ, Wu G, Li YC, Yang ZL, 2016. The genus *Retiboletus* in China. *Mycologia*, 108(2): 363-380
- Zhao WY, 2017. The floristic phytogeography of spermatophyte flora in Luoxiao Range. PhD Dissertation, Sun Yat-sen University, Guangzhou. 1-335 (in Chinese)
- Zheng YW, Sun HN, Wei FN, Wang FX, Liu ZM, Xu ZH, Chen JP, Jin DJ, Huang K, Qin WG, Qin JX, Jiang GF, Meng LJ, Tan SC, 1999. Introductory about karst forest of Mulun Nature Reserve. Science Press, Beijing. 1-230 (in Chinese)
- Zhou LW, Dai YC, 2013. Chinese polypore diversities: species, mycota and ecological functions. *Biodiversity Science*, 21(4): 499-506 (in Chinese)
- Zhou TS, Chen YH, Zhao LZ, Fu H, Yang B, 2007. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 36 Geastraceae, Nidulariaceae. Science Press, Beijing. 1-167 (in Chinese)
- Zhou XS, Zhang SH, Lin C, Luo Y, Li J, Yu L, 2010. Preliminary studies on species diversity of wood-decaying fungi from Guangxi Autonomous Region. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23(4): 1257-1263 (in Chinese)
- Zhu L, Song J, Zhou JL, Si J, Cui BK, 2019. Species diversity, phylogeny, divergence time, and biogeography of the genus *Sanghuangporus* (Basidiomycota). *Frontiers in Microbiology*, 10: 812
- Zhuang WY, Yu ZH, Wang Z, 2004. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 21 Hyaloscyphaceae, Sarcoscyphaceae et Sarcosomataceae. Science Press, Beijing. 1-192 (in Chinese)
- Zhuang WY, Zheng HD, Ren F, Song X, 2018. *Flora fungorum sinicorum*. Vol. 56 Helotiaceae. Science Press, Beijing. 1-226 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 曹云, 沈文静, 陈炼, 胡飞龙, 周蕾, 徐海根, 2016. Metabarcoding 技术在真菌多样性研究中的应用. *生物多样性*, 24(8): 932-939
- 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, 员瑗, 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
- 范黎, 2019. 中国真菌志(第 54 卷: 马勃科 栓皮马勃科). 北京: 科学出版社. 1-125
- 盖宇鹏, 图力古尔, 2020. 中国靴耳属 6 个新种. *菌物学报*, 39(2): 238-255
- 广西林业勘探设计院, 2007. 广西雅长兰科植物自治区级自然保护区综合科学考察报告. 1-287
- 郭林, 黄谷, 朱一凡, 2019. 中国真菌志(第 59 卷: 炭角菌属). 北京: 科学出版社. 1-70
- 韩利红, 杨祝良, 2020. 外生菌根真菌生物地理学研究进展. *菌物研究*, 18(1): 1-9
- 雷富民, 宋刚, 蔡天龙, 屈延华, 贾陈喜, 赵义方, 张德志, 2021. 中国鸟类生物地理学研究回顾与展望. *动物学杂志*, 56(2): 265-289
- 李俊洁, 黄晓磊, 2022. 中国昆虫生物地理学进展与展望. *地理学报*, 77(1): 133-149
- 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
- 李玉, 图力古尔, 刘宇, 李泰辉, 2014. 中国真菌志(第 45 卷: 侧耳-香菇型真菌). 北京: 科学出版社. 1-200
- 刘波, 范黎, 李建宗, 2005. 中国真菌志(第 23 卷: 硬皮马勃目 柄灰包目 鬼笔目 轴灰包目). 北京: 科学出版社. 1-222
- 牟光福, 2022. 广西喀斯特林区大型真菌区系地理学与资源学研究. 吉林农业大学博士论文, 长春. 1-230
- 农绍勤, 1988. 广西弄岗自然保护区综合考察报告. *广西植物*, 增刊 1: 74-82
- 宋斌, 邓旺秋, 2001. 广东鼎湖山自然保护区大型真菌区

- 系初析. 贵州科学, 19(3): 43-49
- 宋斌, 邓旺秋, 张明, 李泰辉, 2018. 南岭大型真菌多样性. 热带地理, 38(3): 312-320
- 孙航, 邓涛, 陈永生, 周卓, 2017. 植物区系地理研究现状及发展趋势. 生物多样性, 25(2): 111-122
- 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, 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, 娜琴, 刘丽娜, 2021. 中国小菇科真菌图志. 北京: 科学出版社. 1-326
- 图力古尔, 田恩静, 萨仁图雅, 孟天晓, 2014. 中国真菌志(第 49 卷: 球盖菇科(1)). 北京: 科学出版社. 1-207
- 王科, 蔡磊, 姚一建, 2021. 世界及中国菌物新命名发表概况(2020 年). 生物多样性, 29(8): 1064-1072
- 王妍, 刘顺, 冀星, 孙一翡, 宋长阁, 刘冬梅, 崔宝凯, 2021. 横断山区南段多孔菌的多样性与区系成分分析. 菌物学报, 40(10): 2599-2619
- 武英达, 茆卫琳, 员瑗, 2021. 我国寒温带至亚热带森林多孔菌区系和多样性比较. 生物多样性, 29(10): 1369-1376
- 吴征镒, 1979. 论中国植物区系的分区问题. 云南植物研究, 1(1): 1-20
- 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 李德铎, 彭华, 2011. 中国种子植物区系地理. 北京: 科学出版社. 1-431
- 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, 2019. 中国鹅膏科真菌图志. 北京: 科学出版社. 1-210
- 杨祝良, 葛再伟, 梁俊峰, 2019. 中国真菌志(第 52 卷: 环柄菇类 蘑菇科). 北京: 科学出版社. 1-221
- 杨祝良, 臧穆, 2003. 中国南部高等真菌的热带亲缘. 云南植物研究, 25(2): 129-144
- 员瑗, 边禄森, 吴芳, 司静, 2015. 中国海南省多孔菌区系组成和生态习性. 生态学杂志, 34(6): 1689-1698
- 赵万义, 2017. 罗霄山脉种子植物区系地理学研究. 中山大学博士学位论文, 广州. 1-335
- 郑颖吾, 孙慧南, 韦发南, 王福星, 刘自民, 许志宏, 陈金平, 金代钧, 黄克, 覃文更, 覃继贤, 蒋国芳, 蒙林坚, 谭三川, 1999. 木论喀斯特林区概论. 北京: 科学出版社. 1-230
- 周丽伟, 戴玉成, 2013. 中国多孔菌多样性初探: 物种、区系和生态功能. 生物多样性, 21(4): 499-506
- 周彤桑, 陈玉惠, 赵理忠, 付慧, 杨斌, 2007. 中国真菌志(第 36 卷: 地星科 鸟巢菌科). 北京: 科学出版社. 1-167
- 周绪申, 张胜红, 林超, 罗阳, 李娟, 于磊, 2010. 广西地区木腐菌物种多样性的初步研究. 西南农业学报, 23(4): 1257-1263
- 庄文颖, 余知和, 王征, 2004. 中国真菌志(第 21 卷: 晶杯菌科 肉杯菌科 肉盘菌科). 北京: 科学出版社. 1-192
- 庄文颖, 郑焕娣, 任菲, 宋霞, 2018. 中国真菌志(第 56 卷: 柔膜菌科). 北京: 科学出版社. 1-226