

黄山大型真菌的物种多样性

郭婷¹, 杨瑞恒¹, 汤明霞², 侯娣^{1,3}, 孙鑫良², 王立², 李焱¹, 鲍大鹏^{1,3*}, 周选围^{4*}

1 上海市农业科学院食用菌研究所 农业部南方食用菌资源利用重点实验室 国家食用菌工程技术开发中心, 上海 201403

2 黄山风景区管理委员会园林局, 安徽 黄山 245800

3 上海海洋大学食品学院, 上海 201306

4 上海交通大学 农业与生物学院 细胞工程及抗体药物教育部工程研究中心, 上海 200240

摘要: 安徽黄山属于黄山-怀玉山生物多样性保护优先区域, 孕育了极为丰富的生物资源。为了解该区的大型真菌物种多样性, 2018–2020 年对该区的大型真菌展开了野外调查和标本采集, 通过分子生物学方法及子实体形态特征检索比较对获得的标本进行鉴定, 并对该区的物种组成、属级地理区系成分、经济真菌和特有成分等进行了统计分析。该地区共发现大型真菌 421 种, 隶属于 9 纲 19 目 72 科 200 属, 其中包含食用菌 68 种, 药用菌 31 种, 毒菌 39 种, 特有种 66 种。优势科有牛肝菌科 Boletaceae、鹅膏科 Amanitaceae、红菇科 Russulaceae、多孔菌科 Polyporaceae、蘑菇科 Agaricaceae、小皮伞科 Marasmiaceae、光茸菌科 Omphalotaceae、球盖菇科 Strophariaceae、粉褶菌科 Entolomataceae 和口蘑科 Tricholomataceae 10 科, 优势属为鹅膏属 *Amanita*、乳菇属 *Lactarius*、蘑菇属 *Agaricus*、金牛肝菌属 *Aureoboletus*、红菇属 *Russula*、粉褶菌属 *Entoloma*、小皮伞属 *Marasmius*、小菇属 *Mycena*、裸脚伞属 *Gymnopus*、粉孢牛肝菌属 *Tylopilus*、栓孔菌属 *Trametes*、丝膜菌属 *Cortinarius*、灵芝属 *Ganoderma* 和多汁乳菇属 *Lactifluus* 14 属。对黄山大型真菌属级地理成分分析发现该区大型真菌的区系地理成分可分为 9 类, 主要以世界广布成分为主(66.5%), 其次是北温带成分(15.5%)和泛热带成分(10.5%)。本研究表明黄山的大型真菌具有丰富的物种多样性, 其中食用菌资源较为丰富, 主要为世界广布成分, 同时也具有较高的特异性。

关键词: 大型真菌; 物种多样性; 优势类群; 区系成分; 经济真菌

[引用本文] 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

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

基金项目: 国家自然科学基金(31800016); 中国博士后科学基金(2019M651547); 上海市农业科学院学科领域建设专项[农科国推 2019 (匹配-11)]

Supported by the National Natural Science Foundation of China (31800016), China Postdoctoral Science Foundation (2019M651547), and Academic Specialty Development Project of Shanghai Academy of Agricultural Sciences (PP-11).

*Corresponding authors. E-mail: 1610301025@qq.com, xuanweizhou@163.com

Received: 2021-12-28, accepted: 2022-02-12

Species diversity of macrofungi in the Mount Huangshan, East China

GUO Ting¹, YANG Ruiheng¹, TANG Mingxia², HOU Di^{1,3}, SUN Xinliang², WANG Li², LI Yan¹, BAO Dapeng^{1,3*}, ZHOU Xuanwei^{4*}

1 Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Edible Fungal Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P.R. China; National Engineering Research Center of Edible Fungi, Shanghai 201403, China

2 The Bureau of Parks and Woods of Mt. Huangshan Administrative Committee, Huangshan 245800, Anhui, China

3 College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

4 School of Agriculture and Biology, Engineering Research Center of Cell & Therapeutic Antibody, Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

Abstract: The Mount Huangshan in Anhui Province is the priority protection area of the Huangshan-Huaiyushan biodiversity conservation, which is rich in biological resources. In order to explore the species diversity of macrofungi in the Mount Huangshan, field investigation and sampling were carried out from 2018 to 2020. The obtained specimens were identified by molecular analysis and morphological characteristics, and the species composition, genus-level biogeographical elements, economic and endemic species in the area were analyzed. In total, 421 species were found, belonging to 9 classes, 19 orders, 72 families and 200 genera. The assessment of utilization value of the macrofungi showed that there were 68 edible species, 31 medicinal species, 39 poisonous species and 66 endemic species. The dominant families were Boletaceae, Amanitaceae, Russulaceae, Polyporaceae, Agaricaceae, Marasmiaceae, Omphalotaceae, Strophariaceae, Entolomataceae and Tricholomataceae, and dominant genera were *Amanita*, *Lactarius*, *Agaricus*, *Aureoboletus*, *Russula*, *Entoloma*, *Marasmius*, *Mycena*, *Gymnopus*, *Tylopilus*, *Trametes*, *Cortinarius*, *Ganoderma* and *Lactifluus*. The floristic geographical components of 200 genera can be divided into nine elements, among which the cosmopolitan element is the most dominant (66.5%), and north temperate element (15.5%) and pantropic element (10.5%) rank second and thirdly. The species diversity of macrofungi in the Mount Huangshan is abundant and includes many edible species, and the flora shows obvious cosmopolitan characteristics and endemism to a certain extent.

Keywords: macrofungi; species diversity; dominant taxa; floristic components; economic fungi

黄山自然风景保护区(以下简称黄山)位于安徽省南部,属于黄山-怀玉山生物多样性保护优先地区,是中国 33 个生物多样性优先保护区域之一。黄山为温暖湿润的亚热带季风气候,雨量充沛,年均降雨量 2 394.5 mm,全年最多降水日数可达 212 d,夏季凉爽,冬无严寒。该地区垂直高度差异显著,海拔跨度高,为 400–1 800 m,植被垂直分布明显,自下而上分布着常绿阔叶

林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、山地矮林及灌丛等。因受长期或间断保护,黄山的植被人为破坏较少,种子植物有 1 420 种(吕霖 2016)。此外,地处我国华东中间地带的黄山还是中国大陆第四纪冰期潜在避难所,保存有大量古老孑遗植物。湿润多雨的气候、丰富的动植物资源以及特殊的地质地貌,为大型真菌的生长提供了有利的条件。

我国大型真菌资源极为丰富,已知菌物统计有 17 000 种,目前发现的种类不足 6%,还有大量的类群尚未被发现(戴玉成和庄剑云 2010; 魏江春 2010; Dai *et al.* 2015; Hawksworth & Lücking 2017),许多地区的大型真菌资源多样性被低估。1988 年以来,科研人员针对黄山的大型真菌陆续开展了一系列调查和研究(马庭杰和马文惠 1988; 徐天惠和刘强 1989; 柯丽霞和刘必融 2005; Cui *et al.* 2007, 2011; Cui & Jia 2011; He & Li 2013; 何炎炘和李能树 2013; Zhou & Wang 2015; 戴玉成等 2021),经统计共报道了 220 余种大型真菌,其中食用菌 61 种,药用菌 25 种,毒菌 10 种。通过分析该区已报道的大型真菌物种,发现有些物种是否确有分布需要核实,比如毒蝇鹅膏 *Amanita muscaria* (L.) Lam., 现有研究表明其在国内多分布于东北、华北和西北等地区的针阔混交林里(杨祝良 2015),其他地区尚未见分布。黄山已报道的大型真菌多基于宏观形态特征进行物种鉴定,由于宏观形态特征可塑性较强,易受生长环境影响,近缘类群容易混淆,很难精准鉴定物种。此外,随着真菌研究方法的进步和发展、分类体系的变化,许多真菌的分类地位发生了变化,现有的调查结果可能不足以准确、全面地反映该区大型真菌物种的多样性及特色,因此研究人员针对黄山开展了连续 3 年的监测和系统全面的调查研究工作以“摸清家底”,用于未来的大型真菌资源保护和开发利用。

1 材料与方法

1.1 样品采集

野外采样时间主要选择在大型真菌子实体多发的夏秋季节,在春冬季通过林区防火队员的实时监测和反馈进行补充采集。野外调查采用了踏查法和样线法(刘冬梅等 2018),调查区域主要为黄山景区的 6 个片区: 钓桥区、温泉区、

芙蓉区、东海区、天海区和玉屏区。在野外调查中记录标本的生境特征和宏观特征,主要包括经纬度、海拔、共生树种、子实体的形状、大小、颜色、气味、生尝味道、伤后变色情况及基部菌丝颜色等。样品采集后利用烘箱低温烘干得到高质量的标本,使用变色硅胶快速干燥新鲜的子实体组织得到分子材料。标本和分子材料保存于上海市农业科学院食用菌研究所。

1.2 标本鉴定

标本鉴定主要以分子生物学方法结合传统的形态学观察完成。分子生物学方法主要利用 CTAB 法进行总 DNA 提取(Doyle & Doyle 1987),针对不同的目的基因片段(核糖体大亚基 nLSU 和核糖体内转录间隔区 ITS)选择对应的扩增引物和反应体系进行 PCR 扩增(White *et al.* 1990)。扩增产物送北京擎科生物科技有限公司测序,将测序结果合格的序列在 GenBank 数据库中进行 Blast 序列比对。形态学观察包括宏观形态和显微结构特征观察,显微结构主要观察菌盖表皮、担子、孢子和囊状体等结构。最后综合标本的形态特征和序列比对结果进行物种鉴定。在此基础上根据《Dictionary of the fungi (10 版)》(Kirk *et al.* 2008)分类系统并参照已发表真菌学名网站 Indexfungum (<http://www.indexfungorum.org>)、Mycobank (<https://www.mycobank.org/>)和《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》(2018)以及相关文献最终确定标本的拉丁学名及中文名(Wu *et al.* 2014; 李玉等 2015; Wang *et al.* 2015; 吴芳和戴玉成 2015; 杨祝良 2015; Hosen *et al.* 2016; Wu *et al.* 2016; Crop *et al.* 2017; He *et al.* 2017; 李泰辉等 2017; Cui *et al.* 2018; 戴玉成和杨祝良 2018; Li *et al.* 2018; Han *et al.* 2019; Song *et al.* 2019; Zhao *et al.* 2020)。

1.3 物种分析

根据物种名录进行优势科属的统计。大型真菌的属级区系地理成分分析和划分依据宋斌

和邓旺秋(2001)、付作霖等(2017)和张进武等(2017)的报道进行。大型真菌物种的经济价值、特有性等信息通过查阅相关文献(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010; Chen *et al.* 2014; 图力古尔等 2014; 陈作红等 2016; Wu *et al.* 2019)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 黄山大型真菌物种组成

研究材料为研究人员于 2018–2020 年采集自黄山的标本材料, 共计 2 000 余份。目前共鉴定出大型真菌 421 种(附表 1), 包括参照种及可能的新种, 隶属于子囊菌门 Ascomycota 和担子菌门 Basidiomycota 的 9 纲 19 目 72 科 200 属(表 1)。黄山大型真菌含担子菌门真菌 398 种, 占总种数的 94.5%, 子囊菌门的物种有 23 种, 占 5.5%。

表 1 黄山自然风景保护区大型真菌分类单元统计

Table 1 The total taxa of macrofungi of the Mount Huangshan

门	纲	目	科	属	种
Phylum	Class	Order	Family	Genus	Species
子囊菌门	5	5	14	18	23
Ascomycota					
担子菌门	4	14	58	181	398
Basidiomycota					
总计	9	19	72	200	421
Total					

在纲一级水平上, 蘑菇纲 Agaricomycetes 为主要组成部分, 已鉴定物种中 395 种担子菌均为蘑菇纲真菌, 占总数的 93.8%, 粪壳菌纲 Sordariomycetes 占总数的 2.6%。剩余 3.6% 的真菌来自锤舌菌纲 Leotiomycetes、盘菌纲 Pezizomycetes、子囊菌纲 Ascomycetes、花耳纲 Dacrymycetes、粒毛盘菌纲 Neolectomycetes 和银耳纲 Tremellomycetes。

在目一级水平上, 蘑菇目 Agaricales 占据明

显优势, 已鉴定物种中 192 种属于蘑菇目 Agaricales, 占总数的 45.6%。牛肝菌目 Boletales 物种丰富度位列其后, 占总数的 20.2%。其次为多孔菌目 Polyporales、红菇目 Russulales 和鸡油菌目 Cantharellales, 分别占总种数的 10%、8.1%和 3.3%, 其他目的物种在所调查区域相对较少, 均不足 10 种。

在科一级水平上, 牛肝菌科 Boletaceae、鹅膏科 Amanitaceae 和红菇科 Russulaceae 物种数目位列前三, 分别占总种数的 16.6%、10.0%和 7.1%。其次是多孔菌科 Polyporaceae、蘑菇科 Agaricaceae、小皮伞科 Marasmiaceae、光茸菌科 Omphalotaceae、球盖菇科 Strophariaceae、粉褶菌科 Entolomataceae 和口蘑科 Tricholomataceae, 占总种数比例分别为 5.7%、5.5%、3.6%、2.9%、2.9%、2.6%和 2.6%, 其他科占总数的比例较小, 物种多样性相对较低, 各科物种数不超过 10 种。

在属一级水平上, 鹅膏属 *Amanita* 物种数最多, 占总种数的 9.7%, 其次是乳菇属 *Lactarius* 占 3.6%, 红菇属 *Russula*、蘑菇属 *Agaricus* 和金牛肝菌属 *Aureoboletus* 各占总种数的 2.4%, 其余物种数小于 10 的属占总种数的 79.5%。

2.2 优势科属分析

黄山大型真菌类群中, 含有 10 种及以上的优势科 10 个(表 2), 共计 250 种, 占黄山大型真菌总科数的 13.9%, 占总种数的 59.4%。包括 5 种及以上的优势属有 14 个(表 3), 占总属数的 7.0%, 共计 145 种, 占总种数的 34.4%。

2.3 区系地理成分分析

真菌区系的地理成分一般按照属或种的分布类型进行划分, 由于目前各类大型真菌属种的现有分布无法完全明确, 所以区系地理成分的分析相对准确。本研究主要对属的地理成分进行统计分析, 黄山的 200 个属大致可划分为 9 种类型。

表 2 黄山大型真菌的优势科(≥10 种)

Table 2 The dominant fungal families (≥10 species) in the Mount Huangshan

科 Family	属数 No. of genus	种数 No. of species	占总种数比例 Ratio of number of species in the family to total number of macrofungi found in the Mount Huangshan (%)
牛肝菌科 Boletaceae	29	70	16.6
鹅膏科 Amanitaceae	1	42	10.0
红菇科 Russulaceae	3	30	7.1
多孔菌科 Polyporaceae	17	24	5.7
蘑菇科 Agaricaceae	9	23	5.5
小皮伞科 Marasmiaceae	6	15	3.6
光茸菌科 Omphalotaceae	5	12	2.9
球盖菇科 Strophariaceae	7	12	2.9
粉褶菌科 Entolomataceae	3	11	2.6
口蘑科 Tricholomataceae	9	11	2.6

表 3 黄山自然风景保护区大型真菌的优势属(≥5 种)

Table 3 The dominant fungal genera (≥5 species) in the Mount Huangshan

属 Genus	种数 No. of species	占总种数比例 Ratio of number of species in the genus to total number of macrofungi found in the Mount Huangshan (%)
鹅膏属 <i>Amanita</i>	41	9.7
乳菇属 <i>Lactarius</i>	15	3.6
蘑菇属 <i>Agaricus</i>	10	2.4
金牛肝菌属 <i>Aureoboletus</i>	10	2.4
红菇属 <i>Russula</i>	10	2.4
粉褶菌属 <i>Entoloma</i>	9	2.1
裸脚伞属 <i>Gymnopus</i>	7	1.7
小皮伞属 <i>Marasmius</i>	7	1.7
小菇属 <i>Mycena</i>	7	1.7
粉孢牛肝菌属 <i>Tylopilus</i>	7	1.7
栓孔菌属 <i>Trametes</i>	6	1.4
丝膜菌属 <i>Cortinarius</i>	6	1.4
灵芝属 <i>Ganoderma</i>	5	1.2
多汁乳菇属 <i>Lactifluus</i>	5	1.2

2.3.1 世界广布成分

是指广泛分布于全世界各大洲，没有特定的分布区域中心的属。黄山大型真菌世界广布的属有 133 个，占该地区大型真菌总属数的 66.5%，主要包括：蘑菇属、田头菇属 *Agrocybe*、鹅膏属、小薄孔菌属 *Antrodiella*、蜜环菌属 *Armillaria*、密瑚菌属 *Artomyces*、寄生菇属 *Asterophora*、硬皮地星属 *Astraeus*、金牛肝菌属、木耳属 *Auricularia*、耳匙菌属 *Auriscalpium*、牛肝菌属 *Boletus*、色孢菌属 *Callistosporium*、胶

角耳属 *Calocera*、丽蘑属 *Calocybe*、秃马勃属 *Calvatia*、脉褶菌属 *Campanella*、鸡油菌属 *Cantharellus*、蜡孔菌属 *Ceriporus*、拟蜡菌属 *Ceriporiopsis*、齿毛菌属 *Cerrena*、红孔牛肝菌属 *Chalciporus*、绿杯菌属 *Chlorociboria*、笼头菌属 *Clathrus*、珊瑚菌属 *Clavaria*、锁瑚菌属 *Clavulina*、拟锁瑚菌属 *Clavulinopsis*、小斜盖伞属 *Clitocella*、杯伞属 *Clitocybe*、小杯伞属 *Clitocybula*、集毛菌属 *Coltricia*、锥盖伞属 *Conocybe*、虫草属 *Cordyceps*、喇叭菌属

Craterellus、靴耳属 *Crepidotus*、拱顶伞属 *Cuphophyllum*、环伞属 *Cyclocybe*、柱孢菌属 *Cylindrosporus*、金襴伞属 *Cyptotrama*、迷孔菌属 *Daedalea*、轮层炭壳菌属 *Daldinia*、黄囊菇属 *Deconica*、薄伞属 *Delicatula*、假蜜环菌属 *Desarmillaria*、韧钉耳属 *Ditiola*、黑耳属 *Exidia*、牛排菌属 *Fistulina*、拟层孔菌属 *Fomitopsis*、褐孔菌属 *Fuscoporia*、盔孢伞属 *Galerina*、地星属 *Geastrum*、格氏蘑属 *Gerhardtia*、老伞属 *Gerronema*、裸伞属 *Gymnopilus*、裸脚伞属 *Gymnopus*、圆孢牛肝菌属 *Gyroporus*、彩孔菌属 *Hapalopilus*、异担子菌属 *Heterobasidion*、亚侧耳属 *Hohenbuehelia*、亚齿菌属 *Hydnellum*、湿伞属 *Hygrocybe*、膜盘菌属 *Hymenoscyphus*、垂幕菇属 *Hypholoma*、纤孔菌属 *Inonotus*、棒束孢属 *Isaria*、蜡蘑属 *Laccaria*、硫磺菌属 *Laetiporus*、平栓孔菌属 *Leiotrametes*、革褥菌属 *Lenzites*、锤舌菌属 *Leotia*、环柄菇属 *Lepiota*、香蘑属 *Lepista*、白环蘑属 *Leucoagaricus*、白鬼伞属 *Leucocoprinus*、马勃属 *Lycoperdon*、大环柄菇属 *Macrolepiota*、微皮伞属 *Marasmiellus*、小皮伞属 *Marasmius*、大金钱菌属 *Megacollybia*、暗褶伞属 *Melanophyllum*、齿孔菌属 *Metuloidea*、小舌菌属 *Microglossum*、蛇头菌属 *Mutinus*、小菇属 *Mycena*、微菇属 *Mycetinis*、鸟巢菌属 *Nidularia*、扇菇属 *Panellus*、多年卧孔菌属 *Perenniporia*、小多年卧孔菌属 *Perenniporiella*、褐银耳属 *Phaeotremella*、鬼笔属 *Phallus*、木层孔菌属 *Phellinus*、叶状层孔菌属 *Phylloporia*、小剥管孔菌属 *Piptoporellus*、侧耳属 *Pleurotus*、光柄菇属 *Pluteus*、多孔菌属 *Polyporus*、红孢牛肝菌属 *Porphyrellus*、小脆柄菇属 *Psathyrella*、假齿菌属 *Pseudohydnum*、裸盖菇属 *Psilocybe*、粉末牛肝菌属 *Pulveroboletus*、密孔菌属 *Pycnoporus*、枝瑚菌属 *Ramaria*、须腹菌属 *Rhizopogon*、粉金钱菌属 *Rhodocollybia*、盖菇属 *Rhodocybe*、藓菇属 *Rickenella*、红菇属、裂褶菌

属 *Schizophyllum*、硬皮马勃属 *Scleroderma*、盾盘菌属 *Scutellinia*、菌癭伞属 *Squamanita*、拟韧革菌属 *Stereopsis*、韧革菌属 *Stereum*、松塔牛肝菌属 *Strobilomyces*、球盖菇属 *Stropharia*、伏革菌属 *Terana*、四角孢伞属 *Tetrapyrgos*、革菌属 *Thelephora*、弯颈霉属 *Tolypocladium*、栓孔菌属 *Trametes*、附毛菌属 *Trichaptum*、口蘑属 *Tricholoma*、拟口蘑属 *Tricholomopsis*、假脐菇属 *Tubaria*、小包脚菇属 *Volvariella*、丛耳菌属 *Wynnea*、小绒盖牛肝菌属 *Xerocomellus*、绒盖牛肝菌属 *Xerocomus*、干脐菇属 *Xeromphalina*、干蘑属 *Xerula* 和炭角菌属 *Xylaria*。

2.3.2 北温带成分

是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。黄山属于北温带成分的大型真菌有 31 个属，占该地区大型真菌总属数的 15.5%，分别为白先生菌属 *Albomagister*、囊盾菌属 *Ascocoryne*、星头鬼笔属 *Aseroe*、灰球菌属 *Bovista*、黄肉牛肝菌属 *Butyriboletus*、美牛肝菌属 *Caloboletus*、色钉菇属 *Chroogomphus*、小鬼伞属 *Coprinellus*、丝膜菌属 *Cortinarius*、耳壳菌属 *Dacryobolus*、火菇属 *Flammula*、铆钉菇属 *Gomphidius*、黏滑菇属 *Hebeloma*、马鞍菌属 *Helvella*、庭院牛肝菌属 *Hortiboletus*、腔块菌属 *Hydnotrya*、丝盖伞属 *Inocybe*、乳菇属、多汁乳菇属 *Lactifluus*、尿囊菌属 *Meiorganum*、羊肚菌属 *Morchella*、无丝盘菌属 *Neolecta*、新香菇属 *Neolentinus*、昂尼孔菌属 *Onnia*、鳞伞属 *Pholiota*、拟侧耳属 *Phyllotopsis*、网柄牛肝菌属 *Retiboletus*、罗伊杨牛肝菌属 *Royoungia*、乳牛肝菌属 *Suillus*、小塔氏菌属 *Tapinella* 和粉孢牛肝菌属 *Tylopilus*。

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。在黄山属于该成分的属有 21 个，占总属数的 10.5%。主要包括条孢牛肝菌属 *Boletellus*、美口菌属 *Calostoma*、粉

褶菌属 *Entoloma*、棱孔菌属 *Favolus*、小牛排菌属 *Fistulinella*、灵芝属 *Ganoderma*、粘鸡油菌属 *Gloeocantharellus*、网孢牛肝菌属 *Heimioporus*、刺革菌属 *Hymenochaete*、疣盖鬼笔属 *Jansia*、香菇属 *Lentinula*、韧伞属 *Lentinus*、小孔菌属 *Microporus*、新棱孔菌属 *Neofavolus*、线虫草属 *Ophiocordyceps*、小奥德蘑属 *Oudemansiella*、褶孔牛肝菌属 *Phylloporus*、膨瑚菌属 *Physalacria*、岸生小菇属 *Ripartitella*、血芝属 *Sanguinoderma* 和垂边红孢牛肝菌属 *Veloporphyrillus*。

2.3.4 热带亚洲-热带美洲成分

指间断分布于亚洲和美洲热带地区的属,某些可达两洲的亚热带地区。黄山属于该成分的属为异色牛肝菌属 *Sutorius*。

2.3.5 热带亚洲-热带非洲成分

指分布于热带亚洲至热带非洲地区的属。黄山仅发现蚁巢伞属 *Termitomyces* 属于热带亚洲-热带非洲成分。

2.3.6 热带亚洲、大洋洲成分

该成分只有 1 个属即二头孢盘菌属 *Dicephalospora*。

2.3.7 东亚-北美成分

是指分布于亚洲东部与北美洲但不分布于欧洲的属。此成分在黄山有 3 个属,为牛肝菌科的黄脚牛肝菌属 *Harrya*、兰茂牛肝菌属 *Lanmaoa* 和黏盖牛肝菌属 *Mucilopilus*。

2.3.8 东亚成分

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,向西至印度、尼泊尔至巴基斯坦。本区的东亚成分有 7 个属,薄瓢牛肝菌属 *Baorangia*、裘氏牛肝菌属 *Chiua*、橙牛肝菌属 *Crocinoletus*、厚瓢牛肝菌属 *Hourangia*、小林块腹菌属 *Kobayasia*、拟多年卧孔菌属 *Perenniporiopsis* 和胶陀盘菌属 *Trichaleurina*, 占总属数的 3.9%。

2.3.9 特有成分

现仅分布于中国。目前仅发现邓氏牛肝菌属

Tengioboletus 和粉孢疣柄牛肝菌属 *Tylocinum*。

从属的区系地理成分上可以看出,黄山的大型真菌属以世界广布成分为主(66.5%),其次是北温带成分(15.5%)和泛热带成分(10.5%)。

2.4 黄山的食用菌、药用菌和有毒真菌

2.4.1 食用菌资源

在已鉴定的黄山大型真菌中,有 68 种记载可食(表 4),其中 10 种报道可进行人工栽培驯化,分别是:蜜环菌 *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.、毛木耳 *Auricularia cornea* Ehrenb.、假蜜环菌 *Desarmillaria tabescens* (Scop.) R.A. Koch & Aime、肝色牛排菌 *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With.、勺状亚侧耳 *Hohenbuehelia petaloides* (Bull.) Schulzer、香菇 *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler、紫丁香蘑 *Lepista nuda* (Bull.) Cooke、高大环柄菇 *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer、卵孢小奥德蘑 *Oudemansiella raphanipes* (Berk.) Pegler & T.W.K. Young 和肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél.。

2.4.2 药用菌资源

调查发现黄山分布的药用菌共 31 种(表 5)。黄山发现的药用菌中有 12 种报道可进行人工栽培,分别是:头状秃马勃 *Calvatia craniiformis* (Schwein.) Fr.、台湾虫草 *Cordyceps formosana* Kobayasi & Shimizu、蛹虫草 *Co. militaris* (L.) Fr.、树舌灵芝 *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.、南方灵芝 *G. australe* (Fr.) Pat.、灵芝 *G. lingzhi* Sheng H. Wu, Y. Cao & Y.C. Dai、紫芝 *G. sinense* J.D. Zhao, L.W. Hsu & X.Q. Zhang、蝉棒束孢 *Isaria cicadae* Miq.、朱红密孔菌 *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst.、环皱血芝 *Sanguinoderma rugosum* (Blume & T. Nees) Y.F. Sun, D.H. Costa & B.K. Cui、胭脂红栓孔菌 *Trametes coccinea* (Fr.) Hai J. Li & S.H. He 和云芝栓孔菌 *T. versicolor* (L.) Lloyd。在野外采集中发现药用菌中的虫草属、灵芝属真菌和蝉棒束孢比较常见,标本采集数量较多。

表 4 黄山的食用菌种类

Table 4 Edible fungi collected in the Mount Huangshan

中文名	学名	生态习性
Chinese name	Scientific name	Ecological habit
田头菇	<i>Agrocybe praecox</i> (Pers.) Fayod	腐生 Saprophytic
拟橙盖鹅膏	<i>Amanita caesareoides</i> Lj.N. Vassiljeva	共生 Symbiotic
草鸡枞鹅膏	<i>A. caojizong</i> Zhu L. Yang, Y.Y. Cui & Q. Cai	共生 Symbiotic
可食鹅膏	<i>A. esculenta</i> Hongo & I. Matsuda	共生 Symbiotic
湖南鹅膏	<i>A. hunanensis</i> Y.B. Peng & L.J. Liu	共生 Symbiotic
短棱鹅膏	<i>A. imazekii</i> T. Oda, C. Tanaka & Tsuda	共生 Symbiotic
蜜环菌	<i>Armillaria mellea</i>	腐生 Saprophytic
蜜环菌属未定种	<i>Armillaria</i> sp.	腐生 Saprophytic
毛木耳	<i>Auricularia cornea</i>	腐生 Saprophytic
小木耳	<i>Au. minutissima</i> Y.C. Dai, F. Wu & Malysheva	腐生 Saprophytic
金色条孢牛肝菌	<i>Boletellus chrysenteroides</i> (Snell) Snell	共生 Symbiotic
粉黄黄肉牛肝菌	<i>Butyriboletus roseoflavus</i> (Hai B. Li & Hai L. Wei) D. Arora & J.L. Frank	共生 Symbiotic
头状秃马勃	<i>Calvatia craniiformis</i> (Schwein.) Fr.	腐生 Saprophytic
阿巴拉契亚鸡油菌	<i>Cantharellus appalachiensis</i> R.H. Petersen	共生 Symbiotic
微粉鸡油菌	<i>C. phloginus</i> S.C. Shao & P.G. Liu	共生 Symbiotic
绿盖裘氏牛肝菌	<i>Chiuia virens</i> (W.F. Chiu) Y.C. Li & Zhu L. Yang	共生 Symbiotic
易混色钉菇	<i>Chroogomphus confusus</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	共生 Symbiotic
东方色钉菇	<i>Ch. orientirutilus</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	共生 Symbiotic
冠锁瑚菌	<i>Clavulina coralloides</i> (L.) J. Schröt.	共生 Symbiotic
皱锁瑚菌	<i>Cl. rugosa</i> (Bull.) J. Schröt.	共生 Symbiotic
喇叭菌	<i>Craterellus cornucopioides</i> (L.) Pers.	共生 Symbiotic
变黄喇叭菌	<i>Cr. lutescens</i> (Fr.) Fr.	共生 Symbiotic
金橙牛肝菌	<i>Crocinoletus rufoaureus</i> (Masse) N.K. Zeng, Zhu L. Yang & G. Wu	共生 Symbiotic
深色环伞	<i>Cyclocybe erebia</i> (Fr.) Vizzini & Matheny	腐生 Saprophytic
假蜜环菌	<i>Desarmillaria tabescens</i>	腐生 Saprophytic
肝色牛排菌	<i>Fistulina hepatica</i>	腐生 Saprophytic
桉生火菇	<i>Flammula alnicola</i> (Fr.) P. Kumm.	腐生 Saprophytic
玫红铆钉菇	<i>Gomphidius roseus</i> (Fr.) Fr.	共生 Symbiotic
绒柄裸脚伞	<i>Gymnopus confluens</i> (Pers.) Antonín, Halling & Noordel.	腐生 Saprophytic
红疣柄牛肝菌	<i>Harrya chromipes</i> (Frost) Halling, Nuhn, Osmundson & Manfr. Binder	腐生 Saprophytic
勺状亚侧耳	<i>Hohenbuehelia petaloides</i>	腐生 Saprophytic
酒红庭院牛肝菌	<i>Hortiboletus subpaludosus</i> (W.F. Chiu) Xue T. Zhu & Zhu L. Yang	共生 Symbiotic
鸡油湿伞	<i>Hygrocybe cantharellus</i> (Fr.) Murrill	共生 Symbiotic
双色蜡蘑	<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) P.D. Orton	共生 Symbiotic
日本蜡蘑	<i>L. japonica</i> Popa & K. Nara	共生 Symbiotic
红蜡蘑	<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	共生 Symbiotic
鸡足山乳菇	<i>Lactarius chichuensis</i> W.F. Chiu	共生 Symbiotic
稀褶乳菇	<i>La. hygrophoroides</i> Berk. & M.A. Curtis	共生 Symbiotic
靓丽乳菇	<i>La. vividus</i> X.H. Wang, Nuytinck & Verbeken	共生 Symbiotic
变孢硫磺菌	<i>Laetiporus versisporus</i> (Lloyd) Imazeki	腐生 Saprophytic

待续

续表 4

香菇	<i>Lentinula edodes</i>	腐生 Saprophytic
紫丁香蘑	<i>Lepista nuda</i>	腐生 Saprophytic
近肉红色马勃	<i>Lycoperdon subincarnatum</i> Peck	腐生 Saprophytic
褪皮大环柄菇	<i>Macrolepiota detersa</i> Z.W. Ge, Zhu L. Yang & Vellinga	腐生 Saprophytic
高大环柄菇	<i>M. procera</i>	腐生 Saprophytic
硬柄小皮伞	<i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.	腐生 Saprophytic
羊肚菌属未定种	<i>Morchella</i> sp.	腐生 Saprophytic
红汁小菇	<i>Mycena haematopus</i> (Pers.) P. Kumm.	腐生 Saprophytic
粉被小菇	<i>My. zephirus</i> (Fr.) P. Kumm.	腐生 Saprophytic
洁丽新香菇	<i>Neolentinus lepideus</i> (Fr.) Redhead & Ginns	腐生 Saprophytic
粘盖小奥德蘑	<i>Oudemansiella mucida</i> (Schrad.) Höhn.	腐生 Saprophytic
卵抱小奥德蘑	<i>O. raphanipes</i>	腐生 Saprophytic
纯黄鬼笔	<i>Phallus luteus</i> (Liou & L. Hwang) T. Kasuya	腐生 Saprophytic
黏环鳞伞	<i>Pholiota lenta</i> (Pers.) Singer	腐生 Saprophytic
肺形侧耳	<i>Pleurotus pulmonarius</i>	腐生 Saprophytic
张飞网柄牛肝菌	<i>Retiboletus zhangfeii</i> N.K. Zeng & Zhu L. Yang	共生 Symbiotic
乳酪粉金钱菌	<i>Rhodocollybia butyracea</i> (Bull.) Lennox	腐生 Saprophytic
灰绿红菇	<i>Russula chloroides</i> (Krombh.) Bres.	共生 Symbiotic
致密红菇	<i>R. compacta</i> Frost	共生 Symbiotic
臭味红菇	<i>R. nauseosa</i> (Pers.) Fr.	共生 Symbiotic
蔷薇红菇	<i>R. rosea</i> Pers.	共生 Symbiotic
裂褶菌	<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	共生 Symbiotic
褐环乳牛肝菌	<i>Suillus luteus</i> (L.) Roussel	共生 Symbiotic
小果蚁巢伞	<i>Termitomyces microcarpus</i> (Berk. & Broome) R. Heim	寄生 Parasitic
华南革菌	<i>Thelephora austrosinensis</i> T.H. Li & T. Li	共生 Symbiotic
假黄盖粉孢牛肝菌	<i>Tylopilus pseudoballoui</i> D. Chakr., K. Das & Vizzini	共生 Symbiotic
云南绒盖牛肝菌	<i>Xerocomus yunnanensis</i> (W.F. Chiu) F.L. Tai	共生 Symbiotic
中华干蘑	<i>Xerula sinopudens</i> R.H. Petersen & Nagas.	腐生 Saprophytic

2.4.3 有毒真菌

调查发现黄山有毒真菌共计 39 种(表 6)，其中鹅膏属的物种有 16 种，占比 41.0%。黄山的毒菌中毒类型主要为以下 4 种：胃肠炎型、急性肝损害型、急性肾衰竭型和神经精神型。其中能够造成胃肠炎型的有 19 种，占 48.7%，造成急性肝损害的有 6 种，均为鹅膏属的物种，分别为格纹鹅膏 *A. fritillaria* Sacc.、灰花纹鹅膏 *A. fuliginea* Hongo、拟灰花纹鹅膏 *A. fuligineoides* P. Zhang & Zhu L. Yang、暗盖淡鳞鹅膏 *A. sepiacea* S. Imai、裂皮鹅膏 *A. rimosa* P. Zhang & Zhu L. Yang 和锥鳞白鹅膏 *A. virgineoides* Bas。

可造成急性肾衰竭中毒的真菌为异味鹅膏 *A. kotohiraensis* Nagas. & Mitani、欧氏鹅膏 *A. oberwinkleriana* Zhu L. Yang & Yoshim. Doi 和假褐云斑鹅膏 *A. pseudoporphyrina* Hongo 3 种。可造成神经精神型中毒的真菌有 6 种，分别为小托柄鹅膏 *A. farinosa* Schwein.、残托鹅膏有环变型 *A. sychnopyramis* f. *subannulata* Hongo、热带紫褐裸伞 *Gymnopilus dilepis* (Berk. & Broome) Singer、赭裸伞 *Gy. penetrans* (Fr.) Murrill、黄盖小脆柄菇 *Psathyrella candolleana* (Fr.) Maire 和卵囊裸盖菇 *Psilocybe ovoideocystidiata* Guzmán & Gaines。

2.5 黄山分布的中国特有大型真菌

在黄山已鉴定的物种中，目前已知仅在中国有分布的特有种有 66 种(表 7)，占已鉴定物种总数的 15.7%。特有种主要来自蘑菇属、鹅膏属和牛肝菌科的一些物种，大部

分特有种为近年来发表的物种，其中黄山松塔牛肝菌 *S. huangshanensis* L.H. Han & T. Guo 和雕鳞松塔牛肝菌 *S. sculptus* L.H. Han & T. Guo 为本研究前期调查中发表的新特有种。

表 5 黄山的药用菌种类

Table 5 Medicinal fungi collected in the Mount Huangshan

中文名	学名	生态习性
Chinese name	Scientific name	Ecological habit
硬皮地星	<i>Astraeus hygrometricus</i> (Pers.) Morgan	共生 Symbiotic
头状秃马勃	<i>Calvatia craniiformis</i>	腐生 Saprophytic
环带齿毛菌	<i>Cerrena zonata</i> (Berk.) H.S. Yuan	腐生 Saprophytic
辐毛小鬼伞	<i>Coprinellus radians</i> (Fr.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	腐生 Saprophytic
台湾虫草	<i>Cordyceps formosana</i>	寄生 Saprophytic
蛹虫草	<i>Co. militaris</i>	寄生 Parasitic
迪氏迷孔菌	<i>Daedalea dickinsii</i> Yasuda	腐生 Saprophytic
穆雷粉褶菌	<i>Entoloma murrayi</i> (Berk. & M.A. Curtis) Sacc.	腐生 Saprophytic
松生拟层孔菌	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	腐生 Saprophytic
树舌灵芝	<i>Ganoderma applanatum</i>	腐生 Saprophytic
南方灵芝	<i>G. australe</i>	腐生 Saprophytic
有柄灵芝参照种	<i>G. cf. gibbosum</i> (Cooke) Pat.	腐生 Saprophytic
灵芝	<i>G. lingzhi</i>	腐生 Saprophytic
紫芝	<i>G. sinense</i>	腐生 Saprophytic
袋形地星	<i>Geastrum saccatum</i> Fr.	腐生 Saprophytic
安络裸脚伞	<i>Gymnopus androsaceus</i> (L.) Della Magg. & Trassin.	腐生 Saprophytic
烟草色纤孔菌	<i>Inonotus tabacinus</i> (Mont.) G. Cunn.	腐生 Saprophytic
蝉棒束孢	<i>Isaria cicadae</i>	寄生 Parasitic
乳色平栓孔菌	<i>Leiotrametes lactinea</i> (Berk.) Welti & Courtec.	腐生 Saprophytic
桦褶孔菌	<i>Lenzites betulinus</i> (L.) Fr.	腐生 Saprophytic
东方昂尼孔菌	<i>Onnia orientalis</i> (Lloyd) Imazeki	腐生 Saprophytic
下垂线虫草	<i>Ophiocordyceps nutans</i> (Pat.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora	寄生 Parasitic
多座线虫草	<i>Op. sobolifera</i> (Hill ex Watson) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora	寄生 Parasitic
白蜡多年卧孔菌	<i>Perenniporia fraxinea</i> (Bull.) Ryvarden	腐生 Saprophytic
朱红密孔菌	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	腐生 Saprophytic
环皱血芝	<i>Sanguinoderma rugosum</i>	腐生 Saprophytic
毛韧革菌	<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers.	腐生 Saprophytic
胭脂红栓孔菌	<i>Trametes coccinea</i>	腐生 Saprophytic
雅致栓孔菌	<i>T. elegans</i> (Spreng.) Fr.	腐生 Saprophytic
毛栓孔菌	<i>T. hirsuta</i> (Wulfen) Lloyd	腐生 Saprophytic
云芝栓孔菌	<i>T. versicolor</i>	腐生 Saprophytic

表 6 黄山的有毒真菌

Table 6 Poisonous fungi collected in the Mount Huangshan

中文名 Chinese name	学名 Scientific name	中毒类型 Poisoning type
雀斑鳞鹅膏	<i>Amanita avellaneosquamosa</i> (S. Imai) S. Imai	不明 Unknown
粗鳞鹅膏	<i>A. castanopsidis</i> Hongo	胃肠炎型 Gastroenteritis
小托柄鹅膏	<i>A. farinosa</i>	胃肠炎型、神经精神型 Gastroenteritis, psychoneurological disorder
格纹鹅膏	<i>A. fritillaria</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
灰花纹鹅膏	<i>A. fuliginea</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
拟灰花纹鹅膏	<i>A. fuligineoides</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
粉褶鹅膏	<i>A. incarnatifolia</i> Zhu L. Yang	不明 Unknown
异味鹅膏	<i>A. kotohiraensis</i>	急性肾衰竭型 Acute renal failure
长棱鹅膏	<i>A. longistriata</i> S. Imai	胃肠炎型 Gastroenteritis
欧氏鹅膏	<i>A. oberwinkleriana</i>	急性肾衰竭型 Acute renal failure
假褐云斑鹅膏	<i>A. pseudoporphyria</i>	急性肾衰竭型 Acute renal failure
裂皮鹅膏	<i>A. rimosa</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
暗盖淡鳞鹅膏	<i>A. sepiacea</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
泰国鹅膏	<i>A. siamensis</i> Sanmee, Zhu L. Yang, P. Lumyong & Lumyong	不明 Unknown
残托鹅膏有环变型	<i>A. sychnopyramis</i> f. <i>subannulata</i>	神经精神型 Psychoneurological disorder
锥鳞白鹅膏	<i>A. virgineoides</i>	急性肝损害型 Acute liver failure
红星头鬼笔	<i>Aseroe rubra</i> Labill.	不明 Unknown
阿切尔笼头菌	<i>Clathrus archeri</i> (Berk.) Dring	不明 Unknown
晶粒小鬼伞	<i>Coprinellus micaceus</i> (Bull.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson	胃肠炎型 Gastroenteritis
近江粉褶菌	<i>Entoloma omiense</i> (Hongo) E. Horak	胃肠炎型 Gastroenteritis
黑耳	<i>Exidia glandulosa</i> (Bull.) Fr.	胃肠炎型 Gastroenteritis
热带紫褐裸伞	<i>Gymnopilus dilepis</i>	神经精神型 Psychoneurological disorder
赭裸伞	<i>Gy. penetrans</i>	神经精神型 Psychoneurological disorder
日本网孢牛肝菌	<i>Heimioporus japonicus</i> (Hongo) E. Horak	胃肠炎型 Gastroenteritis
簇生垂幕菇	<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.	胃肠炎型 Gastroenteritis
砖红垂幕菇	<i>H. lateritium</i> (Schaeff.) P. Kumm.	胃肠炎型 Gastroenteritis
绀鳞环柄菇	<i>Lepiota clypeolaria</i> (Bull.) P. Kumm.	不明 Unknown
宽褶大金钱菌	<i>Megacollybia clitocyboidea</i> R.H. Petersen, Takehashi & Nagas.	胃肠炎型 Gastroenteritis
柯氏尿囊菌	<i>Meiorganum curtisii</i> (Berk.) Singer, J. García & L.D. Gómez	胃肠炎型 Gastroenteritis
鳞皮扇菇	<i>Panellus stipticus</i> (Bull.) P. Karst.	胃肠炎型 Gastroenteritis
黄盖小脆柄菇	<i>Psathyrella candolleana</i>	神经精神型 Psychoneurological disorder
卵囊裸盖菇	<i>Psilocybe ovoideocystidiata</i>	神经精神型 Psychoneurological disorder
疸黄粉末牛肝菌	<i>Pulveroboletus icterinus</i> (Pat. & C.F. Baker) Watling	胃肠炎型 Gastroenteritis
点柄臭黄菇	<i>Russula senecis</i> S. Imai	胃肠炎型 Gastroenteritis
紫盖铅紫牛肝菌	<i>Sutorius eximius</i> (Peck) Halling, Nuhn & Osmundson	胃肠炎型 Gastroenteritis
黑绒小塔氏菌	<i>Tapinella atrotomentosa</i> (Batsch) Šutara	胃肠炎型 Gastroenteritis
窄孢胶陀盘菌	<i>Trichaleurina tenuispora</i> M. Carbone, Yei Z. Wang & Cheng L. Huang	胃肠炎型 Gastroenteritis
独角龙弯颈霉	<i>Tolypocladium dujiaolongae</i> Y.P. Cao & C.R. Li	胃肠炎型 Gastroenteritis
新苦粉孢牛肝菌	<i>Tylopilus neofelleus</i> Hongo	胃肠炎型 Gastroenteritis

表 7 黄山分布的中国特有大型真菌

Table 7 The macrofungi endemic to China in the Mount Huangshan

中文名	学名	现有分布
Chinese name	Scientific name	Distribution
膨柄蘑菇	<i>Agaricus dilatostipes</i> M.Q. He & R.L. Zhao	云南、安徽 Yunnan, Anhui
景宁蘑菇	<i>Ag. jingningensis</i> M.Q. He & R.L. Zhao	云南、安徽 Yunnan, Anhui
黑盖蘑菇	<i>Ag. melanocapus</i> R.L. Zhao	云南、安徽 Yunnan, Anhui
假紫红蘑菇	<i>Ag. parasubrutescens</i> Callac & R.L. Zhao	云南、浙江、安徽 Yunnan, Zhejiang, Anhui
平盖蘑菇	<i>Ag. planiceps</i> R.L. Zhao & Z.L. Ling	福建、安徽 Fujian, Anhui
小盖蘑菇	<i>Ag. tythocarpus</i> R.L. Zhao	福建、安徽 Fujian, Anhui
草鸡枞鹅膏	<i>A. caojizong</i>	华东、华中、华南、西南各省 East, Central, South and Southwest China
拟灰花纹鹅	<i>A. fuligineoides</i>	湖南、云南、安徽 Hunan, Yunnan, Anhui
湖南鹅膏	<i>A. hunanensis</i>	湖南、安徽 Hunan, Anhui
拟缠足鹅膏	<i>A. neocinctipes</i> Zhu L. Yang, Y.Y. Cui & Q. Cai	广东、安徽 Guangdong, Anhui
小格纹鹅膏	<i>A. parvifritillaria</i> Y.Y. Cui, Q. Cai & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
小洁白鹅膏	<i>A. parvivirginea</i> Y.Y. Cui, Qing Cai & Zhu L. Yang	广东、安徽 Guangdong, Anhui
松生鹅膏	<i>A. pinophila</i> Y.Y. Cui, Q. Cai & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
伪高大鹅膏	<i>A. pseudoprinceps</i> Y.Y. Cui, Q. Cai & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
裂皮鹅膏	<i>A. rimosa</i>	湖南、湖北、广东、海南、江西、安徽 Hunan, Hubei, Guangdong, Hainan, Jiangxi, Anhui
杵柄鹅膏	<i>A. sinocitrina</i> Zhu L. Yang, Zuo H. Chen & Z.G. Zhang	湖南、广东、海南、陕西、安徽 Hunan, Guangdong, Hainan, Shaanxi, Anhui
暗环纹鹅膏	<i>A. zonata</i> Y.Y. Cui, Qing Cai & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
奶油小薄孔菌	<i>Antrodiella lactea</i> H.S. Yuan	广西、安徽 Guangxi, Anhui
重孔金牛肝菌	<i>Aureoboletus duplicatoporus</i> (M. Zang) G. Wu & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
血红金牛肝菌	<i>Au. rubellus</i> J.Y. Fang, G. Wu & K. Zhao	江西、安徽 Jiangxi, Anhui
小金牛肝菌	<i>Au. shichianus</i> (Teng & L. Ling) G. Wu & Zhu L. Yang	云南、江西、安徽 Yunnan, Jiangxi, Anhui
华栗金牛肝菌	<i>Au. sinobadius</i> Ming Zhang & T.H. Li	广东、安徽 Guangdong, Anhui
细弱金牛肝菌	<i>Au. tenuis</i> T.H. Li & Ming Zhang	广西、安徽 Guangxi, Anhui
云南金牛肝菌	<i>Au. yunnanensis</i> G. Wu & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
臧氏金牛肝菌	<i>Au. zangii</i> X.F. Shi & P.G. Liu	云南、陕西、安徽 Yunnan, Shaanxi, Anhui
海南黄肉牛肝菌	<i>Butyriboletus hainanensis</i> N.K. Zeng, Zhi Q. Liang & Dong Y. An	海南、安徽 Hainan, Anhui
半伏拟蜡孔菌	<i>Ceriporiopsis semisupina</i> C.L. Zhao, B.K. Cui & Y.C. Dai	浙江、云南、安徽 Zhejiang, Yunnan, Anhui
窄囊裘氏牛肝菌	<i>Chiuia angusticystidiata</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、海南、福建、安徽 Yunnan, Hainan, Fujian, Anhui
橄榄网柄裘氏牛肝菌	<i>Chi. olivaceoreticulata</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
暗绿裘氏牛肝菌	<i>Chi. viridula</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
易混色钉菇	<i>Ch. confusus</i>	西藏、吉林、云南、安徽 Tibet, Jilin, Yunnan, Anhui
魏氏集毛孔菌	<i>Coltricia weii</i> Y.C. Dai	山西、云南、安徽 Shanxi, Yunnan, Anhui
近蓝紫丝膜菌	<i>Cortinarius subsalor</i> M.L. Xie, T.Z. Wei & Y. Li	湖南、浙江、安徽 Hunan, Zhejiang, Anhui

待续

续表 7

黄色喇叭菌	<i>Craterellus luteus</i> T.H. Li & X.R. Zhong	广东、安徽 Guangdong, Anhui
被子耳壳菌	<i>Dacryobolus angiospermarum</i> S.H. He	江西、湖南、云南、福建、台湾、安徽 Jiangxi, Hunan, Yunan, Fujian, Taiwan, Anhui
海南粉褶菌	<i>Entoloma hainanense</i> T.H. Li & Xiao L. He	海南、安徽 Hainan, Anhui
近杯伞状粉褶菌	<i>E. subclitocyboides</i> W.M. Zhang	海南、安徽 Hainan, Anhui
亚热带棱孔菌	<i>Favolus subtropicus</i> J.L. Zhou & B.K. Cui	湖南、福建、安徽 Hainan, Fujian, Anhui
灵芝	<i>G. lingzhi</i>	全国各省 Widely distributed in China
杏仁孢庭院牛肝菌	<i>Hortiboletus amygdalinus</i> Xue T. Zhu & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
酒红庭院牛肝菌	<i>Ho. subpaludosus</i> (W.F. Chiu) Xue T. Zhu & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
黑斑厚瓢牛肝菌	<i>Hourangia nigropunctata</i> (W.F. Chiu) Xue T. Zhu & Zhu L. Yang	云南、湖南、海南、贵州、福建、安徽 Yunnan, Hunan, Hainan, Guizhou, Fujian, Anhui
鸡足山乳菇	<i>La. chichuensis</i>	云南、安徽 Yunnan, Anhui
靓丽乳菇	<i>La. vividus</i>	华东、华中、华南、西南各省 East, Central, South and Southwest China
大盖兰茂牛肝菌	<i>Lanmaoa macrocarpa</i> N.K. Zeng, H. Chai & S. Jiang	海南、福建、安徽 Hainan, Fujian, Anhui
红盖兰茂牛肝菌	<i>Lan. rubriceps</i> N.K. Zeng & Hui Chai	海南、安徽 Hainan, Anhui
中华白环蘑	<i>Leucoagaricus sinicus</i> (J.Z. Ying) Zhu L. Yang	浙江、安徽 Zhejiang, Anhui
微红褶孔牛肝菌	<i>Phylloporus rubeolus</i> N.K. Zeng, Zhu L. Yang & L.P. Tang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
栗盖红孢牛肝菌	<i>Porphyrellus castaneus</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
东方烟色红孢牛肝菌	<i>P. orientifumosipes</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、河南、湖北、福建、安徽 Yunan, Henan, Hubei, Fujian, Anhui
近辛格小脆柄菇	<i>Psathyrella subsingeri</i> T. Bau & J.Q. Yan	云南、吉林、黑龙江、河南、四川、安徽 Yunnan, Jilin, Heilongjiang, Henan, Sichuan, Anhui
褐盖假齿菌	<i>Pseudohydnum brunneiceps</i> Y.L. Chen, M.S. Su & L.P. Zhang	江西、安徽 Jiangxi, Anhui
张飞网柄牛肝菌	<i>Retiboletus zhangfei</i>	云南、湖南、福建、安徽 Yunnan, Hunan, Fujian, Anhui
灰罗杨牛肝菌	<i>Royoungia grisea</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	广东、安徽 Guangdong, Anhui
东方菌癭伞	<i>Squamanita orientalis</i> J.W. Liu & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
黄山松塔牛肝菌	<i>S. huangshanensis</i>	安徽 Anhui
雕鳞松塔牛肝菌	<i>S. sculptus</i>	安徽 Anhui
滑皮乳牛肝菌	<i>Suillus huapi</i> N.K. Zeng, R. Xue & Zhi Q. Liang	海南、云南、江西、福建、安徽 Hainan, Yunnan, Jiangxi, Fujian, Anhui
网柄邓氏牛肝菌	<i>Tengioboletus reticulatus</i> G. Wu & Zhu L. Yang	湖南、安徽 Hunan, Anhui
华南革菌	<i>Thelephora austrosinensis</i>	云南、广东、福建、安徽 Yunan, Guangdong, Fujian, Anhui
独角龙弯颈霉	<i>Tolypocladium dujiaolongae</i>	浙江、江苏、江西、福建、安徽 Zhejiang, Jiangsu, Jiangxi, Fujian, Anhui
新苦口蘑	<i>Tricholoma sinoaccerbum</i> T.H. Li, Hosen & Ting Li	广东、安徽 Guangdong, Anhui
灰盖粉孢疣柄牛肝菌	<i>Tylocinum griseolum</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
深紫褐粉孢牛肝菌	<i>Tylopilus atroviolaceobrunneus</i> Y.C. Li & Zhu L. Yang	云南、安徽 Yunnan, Anhui
亚小绒盖牛肝菌	<i>Xerocomus subparvus</i> Xue T. Zhu & Zhu L. Yang	云南、福建、安徽 Yunnan, Fujian, Anhui
云南绒盖牛肝菌	<i>X. yunnanensis</i>	云南、安徽 Yunnan, Anhui

3 讨论

大型真菌的多样性是生物多样性的的重要组成部分。国内关于大型真菌多样性的研究已有很多报道,华东地区的省份中,安徽省和江西省开展了较多的真菌资源调查工作,研究内容包括大型真菌的物种组成、食药菌资源调查、区系组成分析和生态分布等(胡殿明和刘仁林 2008; 柴新义等 2018; 陈言柳等 2019)。针对安徽黄山地区的大型真菌研究内容主要包括物种组成、松树林外生菌根菌和木腐菌类群调查等(柯丽霞和刘必融 2005; Cui & Dai 2006; Wei & Dai 2006; Cui *et al.* 2011; He & Dai 2012; Zhou & Wang 2015)。本研究通过实时监测当地大型真菌出菇情况,及时把握采集时机,采集并保存了大量高质量的标本。在物种鉴定上不仅利用宏观形态特征,更注重结合形态解剖学、分子系统学和生态分布等多种手段进行鉴定,物种鉴定准确率较高。

近年来随着物种多样性的研究越来越受到人们的关注,中国大型真菌的区系和地理成分分析也越来越多(边禄森和戴玉成 2015; 张进武等 2017; 陈言柳等 2019; 邓旺秋等 2020; 王妍等 2021),研究内容涵盖区系组成、生态习性和相似性分析等。本研究表明黄山的大型真菌区系地理成分以世界广布成分为主,其次是北温带成分和泛热带成分,同时表现出温带和热带的区系特征,这与其临近的安徽皇甫山和琅琊山的区系特征均不同。安徽皇甫山主要成分依次是世界广布成分(58.33%)、泛热带成分(29.17%)和北温带成分(10.42%) (柴新义等 2012)。琅琊山大型真菌属级区系地理成分上依次是世界性广布成分(66.07%)、泛热带成分(19.64%)和北温带成分(10.71%) (柴新义等 2013)。这说明黄山的大型真菌物种具有一定的特殊性,可能与其所处的地理位置、地质地貌以及植被气候等密切相关。区系研究是研究真

菌起源和演化的重要内容之一,相信未来各地区随着大型真菌资源调查的不断深入和加强,大型真菌区系的研究结果会越来越深入和精确。

大型真菌中许多类群具有重要的经济价值,其中食药菌具有多种营养和生物活性成分,是宝贵的生物资源,调查其野生种质资源分布,摸清“家底”是合理保护和开发利用的基础。本研究在黄山发现了 68 种食用菌,在发现的可人工驯化的食用菌类群中,蜜环菌为致病性较强的林木病原菌,尽管报道可人工栽培,但市场上销售的多为野生的蜜环菌子实体。蜜环菌属内的弱致病性种类可以用来栽培中药天麻和猪苓(Guo *et al.* 2016; 门金鑫等 2017)。肝色牛排菌蛋白质含量高,尤其是必需氨基酸含量,占氨基酸总量的 51.4%,其含有的牛排菌凝集素,具有一定的抗肿瘤活性,是非常有开发潜力的食用菌(江枝和等 2001; 林玉满和苏爱华 2004)。高大环柄菇子实体中含有多种必需氨基酸,在欧洲是一种很受欢迎的常见食用菌,在土耳其也有人工栽培(Peken & Kibar 2017)。卵孢小奥德蘑的商品名为黑皮鸡枞,近年在我国 10 多个省市都有栽培和销售,但与真正与白蚁共生的鸡枞(蚁巢伞属真菌)不同,科研人员通过多年的研究厘清了其真正的身份(Hao *et al.* 2016)。黄山发现的食用菌中 91% 的类群暂未实现人工驯化,我们推测有以下原因:首先大部分类群为外生菌根真菌,其正常生长离不开与之共生的植物,目前人工驯化难度大,比如牛肝菌科、鸡油菌属和红菇科的类群等;其次,有些物种子实体较小,比如勺状亚侧耳、红汁小菇、粉被小菇和中华干蘑等,虽记载可食用但其开发利用的可能性较低;最后许多类群的食用价值不明确,比如大丛耳菌仅记载可食用,实际中少有食用记录,也有人认为该种可能有毒。黄山分布的药菌中木腐菌种类和虫生真菌较多,比如在黄山竹

林里分布最多的蝉棒束孢是我国传统名贵中药材, 子实体中含有多糖、虫草酸、多种必需氨基酸、麦角甾醇和多球壳菌素等有效成分, 具有滋补壮阳、抗疲劳、镇静催眠、免疫调节、改善肾功能、抗辐射和抗肿瘤等功效(卫亚丽等 2014)。本研究调查显示黄山分布有 39 种毒菌, 虽然毒菌中的毒素会对人类的健康造成威胁, 但其也有有益的一面。鹅膏毒肽可专一性抑制真核生物 RNA 聚合酶 II 活性, 鬼笔毒肽可与肌动蛋白结合, 因此它们已经成为结构生物学、发育生物学和细胞生物学等研究领域中的重要工具性试剂, 并且在治疗肿瘤方面也取得了重大进展(Brueckner & Cramer 2008; Anderl *et al.* 2012; So *et al.* 2019)。随着有毒真菌研究的深入, 人们或许能利用毒菌资源造福人类健康。

本研究通过连续 3 年进行监测调查采集, 利用形态特征比较和分子数据分析等结合的方法分析了黄山的大型真菌物种多样性。由于采集标本量充足, 鉴定方法可靠, 一定程度上能够较为客观科学地反映当地的物种多样性及区系等特征。本研究表明黄山大型真菌的特有种种类较为丰富, 共有 66 种, 然而文献报道过的多个模式产地为黄山的多孔菌类特有种, 比如黄山刺革菌 *Hymenochaete huangshanensis* S.H. He & Y.C. Dai、中国新异薄孔菌 *Neodatronia sinensis* B.K. Cui, Hai J. Li & Y.C. Dai 和山地褐孔菌 *Fuscoporia monticola* Y.C. Dai, Q. Chen & J. Vlasák (He & Dai 2012; Li *et al.* 2014; Zhou *et al.* 2016; Ji *et al.* 2017; Chen *et al.* 2019)等在本次研究中尚未发现。因此将来仍需进一步对黄山的大型真菌资源继续进行调查, 以全面反映该地区大型真菌的多样性。

致谢: 感谢黄山风景区管理委员会园林局的防火队员们在实时监测子实体发生及野外采集中的帮助。

[REFERENCES]

- Anderl J, Echner H, Faulstich H, 2012. Chemical modification allows phallotoxins and amatoxins to be used as tools in cell biology. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 8(1): 2072-2084
- Bau T, Bao HY, Li Y, 2014. A revised checklist of poisonous mushrooms in China. *Mycosystema*, 33(3): 517-548 (in Chinese)
- Bian LS, Dai YC, 2015. Mycota and ecology of polypores in eastern Himalayas. *Acta Ecologica Sinica*, 35(5): 1554-1563 (in Chinese)
- Brueckner F, Cramer P, 2008. Structural basis of transcription inhibition by alpha-amanitin and implications for RNA polymerase II translocation. *Nature Structural & Molecular Biology*, 15(8): 811-818
- Chai XY, Sheng S, Yu SJ, Zhang WW, Yin PF, Cui MX, 2018. Composition and ecological distribution of wild macrofungus resources in Guniujiang Natural Reserve. *Journal of Northwest Forestry University*, 33(1): 193-201 (in Chinese)
- Chai XY, Xu XF, Wang MY, Xiang YY, Yin PF, Zhu SJ, 2013. An analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province China. *Acta Ecologica Sinica*, 33(7): 2314-2319 (in Chinese)
- Chai XY, Zhu SJ, Yin PF, Xiang YY, 2012. Geographical components of macrofungal flora in Huangpushan Nature Reserve, Anhui Province of East China. *Chinese Journal of Ecology*, 31(9): 2344-2349 (in Chinese)
- Chen Q, Wu F, Ji XH, Si J, Zhou LW, 2019. Phylogeny of the genus *Fuscoporia* and taxonomic assessment of the *F. contigua* group. *Mycologia*, 111(3): 423-444
- Chen YL, Lin YL, Su MS, Zhang LP, Zhang Y, Chen HM, 2019. Flora of macrofungi in Qiyun Mountain National Nature Reserve of Jiangxi. *Journal of Fungal Research*, 17(1): 26-34 (in Chinese)
- Chen ZH, Yang ZL, Bau T, Li TH, 2016. Poisonous mushrooms: recognition and poisoning treatment. Science Press, Beijing. 1-308 (in Chinese)
- Chen ZH, Zhang P, Zhang Z, 2014. Investigation and analysis of 102 mushroom poisoning cases in southern China from 1994 to 2012. *Fungal Diversity*, 64(1): 123-131
- Crop ED, Nuytinck J, Putte KVD, Wisitrassameewong K, Stubbe D, Hyde KD, Roy M, Halling RE, Moreau PA, 2017. A multi-gene phylogeny of *Lactifluus* (Basidiomycota, Russulales) translated into a new infrageneric classification of the genus. *Persoonia*, 38: 58-80
- Cui BK, Dai YC, 2006. *Wrightoporia* (Basidiomycota, Aphyllophorales) in China. *Nova Hedwigia*, 83(1): 159-166
- Cui BK, Dai YC, Decock C, 2007. A new species of

- Perenniporia* (Basidiomycota, Aphyllophorales) from eastern China. *Mycotaxon*, 99: 175-180
- Cui BK, Jia BS, 2011. Wood-rotting fungi in eastern China 7. Polypores from Huangshan Mountain, Anhui. *Mycosystema*, 30(4): 529-535
- Cui BK, Li HJ, Dai YC, 2011. Wood-rotting fungi in eastern China 6. Two new species of *Antrodia* (Basidiomycota) from Mt. Huangshan, Anhui Province. *Mycotaxon*, 116(1): 13-20
- Cui YY, Cai Q, Tang LP, Liu JW, Yang ZL, 2018. The family Amanitaceae: molecular phylogeny, higher-rank taxonomy and the species in China. *Fungal Diversity*, 91(1): 5-230
- Dai YC, Cui BK, Si J, He SH, Hyde KD, Yuan HS, Liu XY, Zhou LW, 2015. Dynamics of the worldwide number of fungi with emphasis on fungal diversity in China. *Mycological Progress*, 14: 62
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2018. Notes on the nomenclature of five important edible fungi in China. *Mycosystema*, 37(12): 1572-1577 (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)
- Dai YC, Zhuang JY, 2010. Numbers of fungal species hitherto known in China. *Mycosystema*, 29: 625-628 (in Chinese)
- Deng WQ, Li TH, Song ZP, Zhang M, Xu JY, Huang H, Zhong XR, Wang CQ, He Y, 2020. Floristic analysis and resource evaluation of macrofungi in the Luoxiao Mountains, China. *Biodiversity Science*, 28(7): 896-904 (in Chinese)
- Doyle JJ, Doyle JL, 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19(1): 11-15
- Fu ZL, Cao XW, Zhu XT, Li DC, Lai HJ, Wang HB, Gao ZH, 2017. Species diversity and flora of macrofungi in the forests of the middle-upper reaches of Bailong River. *Journal of Northwest Forestry University*, 32(5): 183-188 (in Chinese)
- Guo T, Wang HC, Xue WQ, Zhao J, Yang ZL, 2016. Phylogenetic analyses of *Armillaria* reveal at least 15 phylogenetic lineages in China, seven of which are associated with cultivated *Gastrodia elata*. *PLoS One*, 11(5): e0154794
- Han LH, Guo T, Yang RH, Liu C, Tang LZ, 2019. *Strobilomyces sculptus* sp. nov. (Boletaceae) from eastern China with morphological and molecular evidence. *Nova Hedwigia*, 109(1-2): 111-120
- Hao YJ, Zhao Q, Wang SX, Yang ZL, 2016. What is the radicate *Oudemansiella* cultivated in China? *Phytotaxa*, 286(1): 1-12
- Hawksworth DL, Lücking R, 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*, 5(4): FUNK-0052-2016
- 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
- He SH, Dai YC, 2012. Taxonomy and phylogeny of *Hymenochaete* and allied genera of Hymenochaetaceae (Basidiomycota) in China. *Fungal Diversity*, 56(1): 77-93
- He SH, Li HJ, 2013. *Amylostereum orientale* sp. nov. (Basidiomycota, Russulales) and first report of *A. areolatum* in China based on morphological and molecular characters. *Nordic Journal of Botany*, 31(6): 728-733
- He YX, Li NS, 2013. Investigation on edible and medicinal macrofungi resources in the Huangshan Mountain, Anhui Province. *Edible Fungi*, 5: 14-16 (in Chinese)
- Hosen MI, Li TH, Li T, Zhong XJ, Chen Y, 2016. *Tricholoma sinoacerbum*, a bitter species from Guangdong Province of China. *Mycoscience*, 57(4): 233-238
- Hu DM, Liu RL, 2008. The distribution of macro-fungi from Wuyi Mountain Natural Reserve, Jiangxi Province. *Journal of Gannan Normal University*, 29(6): 64-68 (in Chinese)
- Ji XH, He SH, Chen JJ, Si J, Wu F, Zhou LW, Vlasák J, Tian XM, Dai YC, 2017. Global diversity and phylogeny of *Onnia* (Hymenochaetaceae) species on gymnosperms. *Mycologia*, 109(1): 27-34
- Jiang ZH, Lin XJ, Tang JY, Chen HC, Lin Y, Lei JG, Li SS, Yang PY, Huang YB, Weng BQ, 2001. The nutritional assessment of *Fistulina hepatica* protein. *Acta Edulis Fungi*, 8(4): 19-23 (in Chinese)
- Ke LX, Liu BR, 2005. Resource and ecological distribution of ectomycorrhizal fungi under pine forests of Huangshan Mountain district. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(3): 455-458 (in Chinese)
- Kirk P, Cannon P, Minter D, Stalpers J, 2008. Dictionary of the fungi. 10th ed. CAB International, Wallingford.
- Li GJ, Zhang CL, Zhao RL, Lin FC, 2018. Two new species of *Russula* from Northeast China. *Mycosphere*, 9(3): 431-443
- Li HJ, Cui BK, Dai YC, 2014. Taxonomy and multi-gene phylogeny of *Datronia* (Polyporales, Basidiomycota). *Persoonia*, 15: 170-182
- Li TH, Song XJ, Song B, Zhang CM, 2017. Atlas of macrofungi in Chebaling. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. 1-220 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bao T, Dai YC, 2015. Atlas of Chinese

- macrofungi. Zhongyuan Farmers Press, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Lin YM, Su AH, 2004. Isolation, characterization and haemagglutination of the lectin from *Fistulina hepatica*. Natural Product Research and Development, 16(5): 45-50 (in Chinese)
- Liu DM, Li JS, Xiao NW, 2018. Survey methods and indicator system of assessment for macrofungal diversity in China. Journal of Nanjing Forestry University, 42(6): 145-150 (in Chinese)
- Lü L, 2016. Study on forest structure and composition of Huangshan scenic area. Master Thesis, Xiamen University, Xiamen. 1-73 (in Chinese)
- Ma TJ, Ma WH, 1988. Preliminary study on toxic macrofungi in Huangshan and Dabieshan Mountains. Edible Fungi, 1: 6 (in Chinese)
- Men JX, Xing XK, Guo SX, 2017. A comparison of *Armillaria* spp. associated with *Polyporus umbellatus* and *Gastrodia elata* in China. Mycosystema, 36(8): 1072-1082 (in Chinese)
- Peken A, Kibar B, 2017. Investigations on the cultivation of wild edible mushroom *Macrolepiota procera*. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 3(2): 68-79
- So HM, Lee S, Baek KH, Roh HS, Kim S, Jo MS, Baek SC, Seok S, Ryoo R, Kim KH, 2021. Bioactivity-based analysis and chemical characterization of cytotoxic compounds from a poisonous mushroom, *Amanita spissacea*, in human lung cancer cells *in vitro*. Natural Product Research, 35(4): 649-654
- 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 J, Liang JF, Mehrabi-Koushki M, Krisai-Greilhuber I, Ali B, Bhatt VK, Cerna-Mendoza A, Chen B, Chen ZX, Chu HL, 2019. Fungal systematics and evolution: FUSE 5. Sydowia, 71: 141-241
- Wang XH, Nuytinck J, Verbeken A, 2015. *Lactarius vividus* sp. nov. (Russulaceae, Russulales), a widely distributed edible mushroom in central and southern China. Phytotaxa, 231(1): 63-72
- 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. Mycosystema, 40(10): 2599-2619 (in Chinese)
- Wei JC, 2010. The biodiversity of pan-fungi and the sustainable development of human beings. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 25(6): 645-650 (in Chinese)
- Wei YL, Dai YC, 2006. Three new species of *Postia* (Aphyllphorales, Basidiomycota) from China. Fungal Diversity, 23(2): 391-402
- Wei YL, Yang MF, Zou X, Liu AY, 2014. Review on bioactive components from *Isaria cicadae*. Guizhou Agricultural Sciences, 42(12): 142-148 (in Chinese)
- White TJ, Bruns TD, Lee SH, Taylor JW, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols, a guide to methods and applications. Academic Press, San Diego. 315-322
- Wu F, Dai YC, 2015. Notes on the nomenclature of the *Auricularia auricula-judae* complex. Mycosystema, 34: 604-611 (in Chinese)
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. Fungal Diversity, 98: 1-76
- Wu G, Feng B, Xu J, Zhu X, Li Y, Zeng N, Hosen MI, Yang ZL, 2014. Molecular phylogenetic analyses redefine seven major clades and reveal 22 new generic clades in the fungal family Boletaceae. Fungal Diversity, 69(1): 93-115
- Wu G, Li YC, Zhu XT, Zhao K, Han LH, Cui YY, Li F, Xu JP, Yang ZL, 2016. One hundred noteworthy boletes from China. Fungal Diversity, 81(1): 25-188
- Xu TH, Liu Q, 1989. A preliminary study of Aphyllphorales from Huangshan in Anhui. Journal of Anhui University, 1: 75-82 (in Chinese)
- Yang ZL, 2015. Atlas of the Chinese species of Amanitaceae. Science Press, Beijing. 1-213 (in Chinese)
- Zhang JW, Ma SY, Qi LL, Li Y, 2017. Macrofungal flora diversity in Liangshui Nature Reserve, Heilongjiang Province. Journal of Fungal Research, 15(3): 170-176 (in Chinese)
- Zhao K, Zhang FM, Zeng QQ, Han LH, Li YC, 2020. *Tylopilus jiangxiensis*, a new species of *Tylopilus* s. str. from China. Phytotaxa, 434(3): 281-291
- Zhou JL, Zhu L, Chen H, Cui BK, 2016. Taxonomy and phylogeny of *Polyporus* group *Melanopus* (Polyporales, Basidiomycota) from China. PLoS One, 11(8): e0159495
- Zhou LW, Wang XY, 2015. *Inonotus griseus* sp. nov. from eastern China. Mycotaxon, 130(3): 661-669

[附中文参考文献]

- 边禄森, 戴玉成, 2015. 东喜马拉雅地区多孔菌区系和生态习性. 生态学报, 35(5): 1554-1563
- 柴新义, 盛硕, 于士军, 张微微, 殷培峰, 崔明霞, 2018. 牯牛降自然保护区大型真菌资源组成及分布. 西北林学院学报, 33(1): 193-201
- 柴新义, 许雪峰, 汪美英, 向玉勇, 殷培峰, 朱双杰, 2013. 安徽琅琊山大型真菌区系多样性. 生态学报, 33(7): 2314-2319
- 柴新义, 朱双杰, 殷培峰, 向玉勇, 2012. 安徽皇埔山大型真菌区系地理成分分析. 生态学杂志, 31(9): 2344-2349
- 陈言柳, 林宇岚, 苏明声, 张林平, 张扬, 陈辉敏, 2019.

- 江西齐云山国家级自然保护区大型真菌区系特征研究. 菌物研究, 17(1): 26-34
- 陈作红, 杨祝良, 图力古尔, 李泰辉, 2016. 毒蘑菇识别与中毒防治. 北京: 科学出版社. 1-308
- 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, 2018. 中国五种重要食用菌学名新注. 菌物学报, 37(12): 1572-1577
- 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
- 戴玉成, 庄剑云, 2010. 中国菌物已知种数. 菌物学报, 29(5): 625-628
- 邓旺秋, 李泰辉, 宋宗平, 张明, 徐隽彦, 黄浩, 钟祥荣, 王超群, 贺勇, 2020. 罗霄山脉大型真菌区系分析与资源评价. 生物多样性, 28(7): 896-904
- 付作霖, 曹秀文, 朱学泰, 李丹春, 赖宏杰, 汪宏波, 高智辉, 2017. 白龙江中上游林区大型真菌物种多样性与区系特征. 西北林学院学报, 32(5): 183-188
- 何炎炘, 李能树, 2013. 安徽黄山大型食药真菌资源调查. 食用菌, 5: 14-16
- 胡殿明, 刘仁林, 2008. 江西武夷山自然保护区大型真菌生态分布. 赣南师范学院学报, 29(6): 64-68
- 江枝和, 林新坚, 唐建阳, 陈惠成, 林勇, 雷锦桂, 李三署, 杨佩玉, 黄毅斌, 翁伯琦, 2001. 牛舌菌蛋白质的营养评价. 食用菌学报, 8(4): 19-23
- 柯丽霞, 刘必融, 2005. 黄山地区松树林外生菌根菌资源及生态分布. 应用生态学报, 16(3): 455-458
- 李泰辉, 宋相金, 宋斌, 张朝明, 2017. 车八岭大型真菌图鉴. 广州: 广东科技出版社. 1-220
- 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
- 林玉满, 苏爱华, 2004. 牛舌菌凝集素的分离、性质及细胞凝集活性. 天然产物研究与开发, 16(5): 45-50
- 刘冬梅, 李俊生, 肖能文, 2018. 中国大型真菌多样性评估指标体系构建与调查方法研究. 南京林业大学学报, 42(6): 145-150
- 吕霖, 2016. 黄山风景名胜区森林结构与组成研究. 厦门大学硕士论文, 厦门. 1-73
- 马庭杰, 马文惠, 1988. 黄山和大别山区有毒大型真菌初探. 食用菌, 1: 6
- 门金鑫, 邢晓科, 郭顺星, 2017. 猪苓与天麻共生蜜环菌类群的比较. 菌物学报, 36(8): 1072-1082
- 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
- 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
- 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
- 魏江春, 2010. 菌物生物多样性与人类可持续发展. 中国科学院院刊, 25(6): 645-650
- 卫亚丽, 杨茂发, 邹晓, 刘爱英, 2014. 蝉棒束孢菌的生物学活性研究进展. 贵州农业科学, 42(12): 142-148
- 吴芳, 戴玉成, 2015. 黑木耳复合群中种类学名说明. 菌物学报, 34: 604-611
- 徐天惠, 刘强, 1989. 黄山非褶菌目真菌的初步研究. 安徽大学学报, 1: 75-82
- 杨祝良, 2015. 中国鹅膏科真菌图志. 北京: 科学出版社. 1-213
- 张进武, 马世玉, 祁亮亮, 李玉, 2017. 黑龙江凉水自然保护区大型真菌的区系多样性. 菌物研究, 15(3): 170-176