•保护论坛•

中国野生大型真菌受威胁程度评估、问题和对策

刘冬梅¹ 蔡 蕾⁴ 王 科^{2,3} 李俊生^{1*} 魏铁铮² 姚一建^{2*}

1 (中国环境科学研究院国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

2 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

3 (中国科学院大学, 北京 100049)

4 (生态环境部自然生态保护司, 北京 100035)

摘要: 红色名录是制定科学、有效的物种保护战略与行动计划的基础和依据。自2000年起, 中国菌物学者开始探索真菌红色名录的制定, 包括采用IUCN评估等级和标准对中国大型真菌受威胁状况进行初步评估, 但与国际上采用的IUCN标准并未完全接轨, 且评估的物种数量少, 所涉及的地理范围较为狭窄, 难以反映中国大型真菌的整体受威胁状况。我们组织全国140余位真菌专家, 采用IUCN评估等级和标准对我国已知的227科1,298属9,302种大型真菌的受威胁状况进行了评估, 结果发现97种大型真菌处于受威胁状态, 并编制了首个国家范围的“中国大型真菌红色名录”。本文基于该评估结果, 并结合中国大型真菌保护现状, 针对存在的主要问题与挑战, 建议从5个方面加强对大型真菌的保护: (1)健全法律法规和政策体系; (2)完善就地保护体系, 提升迁地保护能力; (3)深入开展野外调查, 构建监测网络; (4)加强大型真菌的科普教育, 提高公众保护意识; (5)加大资金投入, 提升科技支撑能力。

关键词: 大型真菌; 红色名录; 受威胁评估; 保护对策

Threat assessments, problems and countermeasures of China's macrofungi

Dongmei Liu¹, Lei Cai⁴, Ke Wang^{2,3}, Junsheng Li^{1*}, Tiezheng Wei², Yijian Yao^{2*}

1 State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012

2 State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

4 Department of Nature and Ecology Conservation, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100035

Abstract: The IUCN red list assessment lays the foundation for developing effective conservation strategies and action plan for biological species based on sound science. Since 2000, Chinese mycologists have assessed the threat status of macrofungi in China by using methods that incorporated but did not fully integrate IUCN categories and criteria. Because the number of species evaluated was limited and the geographical coverages were often relatively narrow, those assessments did not accurately reflect the overall status of Chinese macrofungi. To correct this gap, a nationwide Red List assessment of macrofungi was organized and the first national Red List of 9,302 species in 1,298 genera and 227 families was announced recently. More than 140 experts throughout the country took parts in the assessment. The results showed that 97 species of macrofungi were threatened. Based on the assessment results, combined with the current status of the conservation of macrofungi in China, five major measures were suggested to strengthen the conservation of these fungi: (1) Enforce the legislation of laws, speed up the establishment of regulations and improve the policy-making system; (2) Optimize the network system for *in situ* protection of macrofungi and enhance *ex situ* protection capability; (3) Further investigate the status of macrofungi and establish a monitoring program; (4) Strengthen outreach and education about macrofungi in the popular science domain, i.e., raising public awareness of conservation of important fungal resources; (5) Increase funds for fungal conservation and to improve the supportive capability of science and technology.

Key words: macrofungi; red list; threat assessments; conservation strategies

收稿日期: 2018-08-24; 接受日期: 2018-10-23

基金项目: 环境保护部生物多样性保护专项(2096001006)

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: lijsh@craes.org.cn; yaoyj@im.ac.cn

《生物多样性公约》第6条要求各缔约国制定生物多样性保护和可持续利用的国家战略、计划和方案(<https://www.cbd.int/convention/refrhandbook.shtml>)。物种红色名录是制定科学、有效的生物多样性保护战略、计划和方案的基础和依据。大多数欧洲国家发布了本国的大型真菌或菌物红色名录,在政府决策和菌物有效保护等方面发挥了十分重要的作用,特别是在英国、荷兰、挪威、瑞典、芬兰等国家成效显著(Dahlberg et al, 2010)。中国大型真菌多样性丰富,到2010年中国已经报道真菌1.4万余种(戴玉成和庄剑云, 2010),包括936种大型食用菌(戴玉成等, 2010a)和473种药用真菌(戴玉成和杨祝良, 2008)。另据《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》评估报告记载(<http://www.zhb.gov.cn>),中国有大型真菌1万余种,其中食药食用菌1,700余种。然而由于环境变化和人类活动的影响,大型真菌受到了一定程度的威胁。中国政府已经组织实施了一些政策、规划和保护行动,大型真菌保护取得了一定成效。本文基于该领域的代表性研究成果,从受威胁评估、政策与规划、就地与迁地保护等方面,介绍中国大型真菌受威胁评估研究进展与保护现状,针对面临的主要问题和挑战,依据受威胁评估结果,提出保护对策建议。

1 中国大型真菌受威胁评估研究进展

世界自然保护联盟(IUCN)制定和推广的红色名录等级和标准,是当前世界上使用最广的物种受威胁评估体系。评估等级主要包括灭绝(Extinct, EX)、野外灭绝(Extinct in the Wild, EW)、极危(Critically Endangered, CR)、濒危(Endangered, EN)、易危(Vulnerable, VU)、近危(Near Threatened, NT)、无危(Least Concern, LC)、数据不足(Data Deficient, DD)、未予评估(Not Evaluated, NE) 9个等级(IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2017)。评估标准涉及种群减少、地理分布范围缩小、小种群且在衰退、小种群或局限分布和定量分析5个方面(IUCN Species Survival Commission, 2012a, b; IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2017)。迄今,在IUCN评估过的57种大型真菌中,有7种在中国有分布,即帕氏蘑菇(*Agaricus pattersoniae*)、雕柄蜜环菌(*Armillaria ectypa*)、黄绿丝膜菌(*Cortinarius citrino-olivaceus*)、香味全缘孔菌(*Haploporus*

odorus)、岛圆盘衣(*Gymnoderma insulare*)、毛边黑蜈蚣衣(*Phaeophyscia hispidula*)和酸涩口蘑(*Tricholoma acerbum*)(IUCN Species Survival Commission, 2018)。

自2000年以来,中国菌物学者对部分大型真菌的受威胁状况进行了一些研究。魏江春等(2000)首次根据IUCN评估等级和标准,并结合中国实际情况,拟定了中国地衣物种濒危等级划分标准,对中国45种地衣进行了受威胁评估,提出了第一批中国濒危地衣物种红色名录,包括极危种8种、濒危种10种、易危种20种、低危种7种。刘培贵等(2003)在探讨大型真菌关键类群时,将大型真菌划分为濒危类群、重大科学价值类群和重要经济类群3种类型。其中,濒危类群指在近年的考察和报告中发现的数量急剧减少或由于过度的采集资源明显受到威胁的种类,包括松口蘑(*Tricholoma matsutake*, 俗称“松茸”)和干巴菌(*Thelephora ganbajun*)等。戴玉成(2003)报道了我国东北长白山地区的稀有和濒危多孔菌。于富强和刘培贵(2005)报道在云南松林野生食用菌中,濒危种有32种,易危种有54种,稀有种有30种。2008年,图力古尔团队建立了长白山自然保护区大型真菌物种濒危等级和优先保护量化评价体系,采用层次分析与专家咨询相结合的方法确定各指标的权重,评估了38种大型真菌,其中极危种2种,濒危种4种,易危种10种,近危种9种,无危种13种(范宇光和图力古尔, 2008)。此后,又将该评价方法应用于山东省大型真菌珍稀物种濒危评估。在被评估的175种中,濒危种有4种,脆危种(vulnerable species)有34种,敏感种(lower risk species)有74种,安全种(safety species)有63种(王建瑞等, 2015)。戴玉成等(2010b)参照欧洲真菌保护协会关于濒危和稀有真菌的研究方法,结合中国的情况,如生态习性、寄主、分布区域和发生频次,将多孔菌分为3种类型,即常见种、偶见种和广义稀有种。广义稀有种分为濒危种和稀有种,并列出了48种濒危多孔菌。魏铁铮和姚一建(2012)根据IUCN标准对我国137种大型真菌(14种子囊菌、123种担子菌)做了初步评估,其中濒危54种、易危54种、近危29种,并就我国菌物红色名录编制问题作了进一步的探讨。然而,这些工作评估的物种数量不多,尚未完全与国际采用的IUCN标准接轨,而且所涉及的地理范围比较狭窄,难以反映我国大型真菌的整体受威胁

状况。

为全面评估中国大型真菌受威胁状况,2016年原环境保护部联合中国科学院启动了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》编制工作。中国环境科学研究院和中国科学院微生物研究所组织全国140余位专家对我国已知的227科1,298属9,302种大型真菌(大型子囊菌870种、大型担子菌6,268种及地衣型真菌2,164种)的受威胁状况进行了评估。结果表明,1种疑似灭绝,即云南假地舌菌(*Hemiglossum yunnanense*),近130年未重新发现;受威胁的大型真菌97种,包括大型子囊菌24种、大型担子菌45种和地衣28种,总体受威胁率为1.04%;受威胁的中国特有大型真菌有57种,占中国特有大型真菌物种总数的4.20%;需关注和保护的大型真菌高达6,538种,占被评估物种总数的70.29%。在2018年5月22日“生物多样性日”,生态环境部联合中国科学院发布了国家层面的首个官方大型真菌红色名录。

本次大型真菌受威胁评估是世界上迄今为止评估物种数量最大、类群范围最宽、覆盖地域最广、参与专家人数最多的一次。通过评估不仅掌握了我国大型真菌的受威胁状况,还明晰了大型真菌受威胁的主要原因,即过度采挖、开发利用和不科学的采挖方式是食药大型真菌的主要威胁因子;环境污染和生境退化是地衣的主要威胁因素;全球气候变暖、土地利用、森林砍伐导致的栖息地丧失也是影响大型真菌生存的重要因素。此外,本次评估还根据大型真菌的生物学特性,对世界自然保护联盟(IUCN)评估标准体系做了必要的调整,建立了“中国大型真菌红色名录评估技术规范”,填补了我国大型真菌红色名录评估标准的空白,为国际大型真菌红色名录评估工作贡献了中国智慧。

几乎与此同时,云南省环保厅、中国科学院昆明植物研究所和昆明动物研究所联合编制了《云南省生物物种红色名录(2017版)》(http://www.cas.cn/yx/201705/t20170522_4602412.shtml),其中云南省大型真菌红色名录评估涵盖了122科604属2,759种,量化评估了云南省大型真菌物种的灭绝风险,是中国首个省级大型真菌红色名录。评估结果显示,云南大型真菌中,极危种2种,濒危种9种,易危种48种,近危种56种,无危种2,573种,数据不足71种。

2 中国大型真菌保护现状

2.1 政策与规划

在1999年农业部和国家林业局颁布的《国家重点保护野生植物名录(第一批)》中,冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)和松口蘑被列为国家二级重点保护物种。为加强生物物种资源保护和管理,国务院批准成立了以原环境保护总局牵头、17个部委组成的生物物种资源保护部际联席会议制度,负责研究审议国家生物物种资源(包括生物遗传资源)保护和管理的方针、政策、法规和标准,研究审议国家生物物种资源保护的各项规划和行动计划等。其中的生物物种资源包含了大型真菌物种资源。为全面加强生物物种资源保护和管理,原环境保护总局联合生物物种资源保护部际联席会议成员单位共同编制并印发了《全国生物物种资源保护与利用规划纲要》(http://www.mep.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172479.htm)。在其中的“微生物资源保护与利用”部分,提出了微生物资源保护的近期、中期和远期的目标和任务,并制定了“加快微生物资源的调查和编目、建立国家微生物资源库与共享体系”等保护措施,在一定程度上推进了中国大型真菌资源调查和菌种保藏等工作。

为落实《生物多样性公约》的相关规定,进一步加强我国生物多样性保护工作,有效应对中国生物多样性保护面临的新问题、新挑战,2010年原环境保护部印发了《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011–2030年)(http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201009/t20100921_194841.htm),提出了我国未来20年生物多样性保护的总体目标、战略任务和优先行动。在大型真菌保护方面,规定“开展野生食用、药用菌种资源的调查和收集整理,并存入国家种质资源库;加强微生物资源的收集、保护、保藏的能力建设,建立国家微生物资源库及共享体系”。此外,根据我国的自然条件、社会经济状况、自然资源以及主要保护对象分布特点等因素,将全国划分为8个自然区域,其中“冬虫夏草种群及其栖息地保护”是青藏高原高寒区的保护重点之一;松口蘑和冬虫夏草种群及其栖息地的保护是西南高山峡谷区的保护重点之一。

为组织实施好“2010国际生物多样性年”的相关活动,中国政府成立了由国务院分管副总理亲任主

席、25个部门共同组成的“2010国际生物多样性年中国国家委员会”。2011年,国务院批准将“2010国际生物多样性年中国国家委员会”更名为“中国生物多样性保护国家委员会”。2014年中国生物多样性保护国家委员会会议审议通过了《加强生物遗传资源管理国家工作方案(2014–2020年)》和《生物多样性保护重大工程实施方案(2014–2020年)》等,对进一步做好生物多样性保护工作做出了部署。《生物多样性保护重大工程实施方案(2014–2020年)》提出要开展微生物资源、微生物遗传资源及相关传统知识的调查与评估,查明动态变化趋势,建立县域数据库和信息平台。原环境保护部已经组织开展了县域大型真菌调查与评估试点示范,并发布了有关技术规定。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》强调“加强生态保护修复,实施生物多样性保护重大工程;开展生物多样性本底调查与评估,完善观测体系;科学规划和建设生物资源保护圃,建设野生动植物人工种群保育基地和基因库;推进自然生态系统保护与修复,构建生态廊道和生物多样性保护网络”。十九大报告提出“建立以国家公园为主体的自然保护地体系。实施重要生态系统保护和修复重大工程,优化生态安全屏障体系,构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统质量和稳定性”。这些工作的具体内容涵盖了大型真菌多样性调查与评估、就地保护和迁地保护等。

2.2 就地保护现状

自然保护区、森林公园、风景名胜区等自然保护地为大型真菌提供了良好的生长环境,在大型真菌多样性保护中发挥了重要作用。截至2015年底,全国共建立各种类型、不同级别的自然保护区2,740个,面积约10,595.2万ha,其中森林生态系统类型的自然保护区占总数的52.04% (<http://www.mee.gov.cn/stbh/zrbhq/qgzrbhqml>)。据中国履行《生物多样性公约》第五次国家报告(<http://cncbc.mep.gov.cn/zlxdjh/gjxd/pg/201506/P020150626396644161511.pdf>),截至2012年底,建立森林公园2,855处,其中国家级764处、省级1,315处;建立国家级风景名胜区225处,面积约10.4万km²;建立自然保护小区5万多处,面积1.5万多km²。其中2002年国务院批复成立的吉林天佛指山国家级自然保护区的主要保护

对象是松口蘑等大型真菌及其生境,也是中国第一个珍贵食用菌类自然保护区,总面积7.7万ha,其中松口蘑生长分布区面积3.2万ha(许广波等, 2003)。虽然大部分自然保护区未将大型真菌作为主要保护对象,但在保护其他类群的同时,也在一定程度上间接保护了大型真菌。如重庆金佛山自然保护区有濒危大型真菌20种,其中18种为食药食用菌(廖宇静等, 2008)。此外,地方政府和一些科研机构也致力于大型真菌就地保护,如国家农业现代技术体系资助建立了黑龙江东宁中俄边境黑木耳保育区、吉林图们市中朝边境黑木耳保育区、雅江县格希沟自然保护区内大型菌物保育区和若干保护小区。

2.3 迁地保护现状

大型真菌的迁地保护主要通过菌种与标本保藏来实现,菌种保藏方法主要有常规低温继代保藏、液氮超低温保藏、冷冻干燥保藏、-86℃深度低温保藏等(张瑞颖等, 2010; 孔维丽等, 2015)。中国大型真菌菌种主要保藏在中国普通微生物菌种保藏管理中心、中国农业微生物保藏中心上海食用菌分中心、中国西南野生生物种质资源库—大型真菌菌种库(<http://www.genobank.org>)、农业部微生物肥料和食用菌菌种质检中心建立的国家食用菌标准菌株库、福建省食(药)用菌种质资源库、河南食用菌菌种保藏中心、山东食用菌菌种保藏中心等。中国普通微生物菌种保藏管理中心(<http://www.cgmcc.net>)是我国主要的微生物资源保藏和共享利用机构之一,目前保存各类微生物资源超过5,000种,4.6万余株,用于专利程序的生物材料7,100余株,包括大量大型真菌菌种。中国西南野生生物种质资源库的大型真菌菌种库主要长期、安全、有效地保存西南地区具有重要经济价值的大型真菌种质资源,目前已收集保藏大型真菌菌种43种7,645株。中国农业微生物保藏中心上海食用菌分中心主要收集、保藏我国野生和栽培的食(药)用真菌菌种,共63属125种近2,000株食、药用真菌菌株,其中已公开发表的有1,141株,主要属于担子菌亚门和子囊菌亚门(崔星明, 2000)。福建省食(药)用菌种质资源库建有液氮超低温保藏库、液体石蜡低温保藏库和低温保藏库,目前共收集、保藏了52种食药食用菌、843个菌株,其中商业性栽培菌株439份、育种材料(单孢菌株)404份(朱坚等, 2005)。

具有一定规模的中国大型真菌标本保藏机构

主要有中国科学院菌物标本馆、中国科学院昆明植物研究所标本馆、广东省微生物研究所真菌标本馆、吉林农业大学菌物标本馆、新疆大学生命科学与技术学院标本馆、西藏自治区高原生物研究所真菌标本馆等。中国科学院菌物标本馆是亚洲收藏量最大的菌物标本馆,建有菌物标本库、菌物DNA库、中国菌物名录数据库、国际菌物名称注册网站、“真菌与人类”科普展厅等,已收集保藏菌物标本52万余号。其中中国菌物名录数据库已录入菌物名称2万余个、25余万条记录,为开展大型真菌红色名录评估等奠定了坚实的数据基础。中国科学院昆明植物研究所标本馆真菌标本室主要采集保存我国特别是西南地区的大型真菌标本,已保存大型担子菌和大型子囊菌等菌物标本10.1万份,为研究我国西南地区丰富的大型真菌物种多样性积累了基本资料。

3 存在的主要问题与挑战

3.1 法律法规和政策体系不健全

我国已颁布实施《中华人民共和国野生动物保护法》、《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》、《中华人民共和国野生植物保护条例》等,而野生大型真菌保护方面的法律法规还是空白。目前只有2个易危物种——冬虫夏草和松口蘑被列入国家重点保护野生植物名录,还未颁布“国家重点保护野生大型真菌名录”,疑似灭绝物种和其余受威胁物种的保护与管理尚无依据。新近,云南省率先出台了《云南省生物多样性保护条例》,该地方性法规对健全我国生物多样性保护法规体系、推动国家开展相关立法将起到积极促进作用。

3.2 大型真菌就地保护体系尚未建成

生态环境部与中国科学院联合发布的大型真菌受威胁评估结果显示,现有自然保护区对大型真菌受威胁物种分布区的覆盖程度很低。仅有吉林天佛指山国家级自然保护区等极少数针对大型真菌的保护区,绝大多数保护区未将大型真菌纳入保护范畴,导致一些重要的食药菌和中国特有种的生存受到威胁。目前,已经有29种食药菌受到威胁,中国特有大型真菌受威胁率为4.3%。如鲁铁和图力古尔(Lu & Bau, 2017)对内蒙古草原特有物种蒙古口蘑(*Leucocalocybe mongolica*)的研究指出,如不采取有效保护措施,这些特有物种可能面临灭绝。

3.3 调查与监测相对滞后

野外大型真菌种群多样性调查方面,在内蒙古大青沟国家级自然保护区和吉林长白山国家级自然保护区有较为成熟的研究案例(图力古尔和李玉, 2000a, b; 图力古尔等, 2010a, b),然而与动物和植物多样性研究相比,大型真菌的调查与评估相对滞后,且缺乏系统性,导致68.2%的大型真菌数据不足,无法进行生存与受威胁状况评估。大型真菌监测样地稀少、监测能力严重不足,导致我国大型真菌多样性动态变化趋势不明。野外调查和长期监测数据的缺乏,难以为管理部门决策提供有效支撑。

3.4 大型真菌保护意识薄弱

一些相关政府工作人员、科研人员和普通大众对大型真菌多样性及其保护还比较陌生。由于保护意识薄弱,过度采挖和不当的采挖方式仍是食药菌大型真菌受威胁的主要原因。我国与大型真菌资源相关的对外合作交流日趋活跃,但由于保护意识不强,对外合作与交流中出现了大型真菌流失问题,致使国家利益遭受损害。

3.5 资金投入与科技支撑能力不足

用于大型真菌多样性保护的資金不足,导致一些珍稀濒危、关键的物种未能得到有效保护。与动物和植物多样性科研财政投入相比,大型真菌科研資金少,相关学科发展相对较慢,大型真菌分类学研究基础还较弱、生态学研究也相对滞后,不利于大型真菌多样性调查与监测能力的提升。

4 加强中国大型真菌保护的建議

4.1 健全法律法规和政策体系

加强大型真菌保护与利用的监管立法。依据《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》,确定我国大型真菌保护优先顺序,重点关注受威胁的虫草类、块菌等食药菌,发布“国家重点保护野生大型真菌物种名录”。云南、四川是大型真菌多样性最为丰富的地区,也是受威胁物种分布最为集中的省份,应作为大型真菌多样性保护重点关注地区。

4.2 完善就地保护体系,提升迁地保护能力

依据大型真菌受威胁物种的地理分布和种群现状,将其纳入现有自然保护区的保护范畴。基于大型真菌就地保护空缺,合理布局以自然保护区为主的大型真菌自然保护地体系,在受威胁大型真菌分布较为集中的地区或分布点建立新的自然保护

区或保护小区。鼓励分离和保藏大型真菌的菌种资源, 加强对具有重要经济价值、生态价值和科研价值的大型真菌种质资源的收集保藏, 完善大型真菌种质资源库, 使国家战略性大型真菌资源得到较好保存。

4.3 深入开展野外调查, 构建监测网络

依托“生物多样性调查与评估”专项, 尽快完成全国大型真菌物种多样性野外调查与评估, 重点关注疑似灭绝、受威胁和数据不足等级的物种, 基本查明我国大型真菌本底。尽快发布大型真菌红色名录评估技术规范, 统一我国大型真菌受威胁评估标准。针对受威胁物种设立物种调查专项, 特别是疑似灭绝和极危物种, 深入开展野外调查和地下菌丝检测, 进一步澄清其生存状况。建立布局合理、功能完善的监测网络体系, 掌握大型真菌多样性动态变化趋势。

4.4 加强大型真菌的科普教育, 提高公众保护意识

基于大型真菌红色名录反映的我国大型真菌多样性现状及其分布状况, 编制大型真菌保护宣传材料, 利用各种新闻媒体, 结合民族饮食文化宣传和普及大型真菌保护与合理利用知识, 提升公众参与保护大型真菌多样性的积极性和主动性。在自然保护区、森林公园、菌物标本馆等具有科普宣传意义的区域进行大型真菌宣传标识体系建设, 建立科普教育示范基地。分区、分步推动大型真菌多样性保护主流化, 特别是大型真菌丰富且受威胁严重的地区, 逐渐在相关部门、行业、企业的具体工作中得以贯彻落实, 形成全国保护大型真菌多样性, 建设生态文明的良好氛围。

4.5 加大资金投入, 提升科技支撑能力

各级各部门加大对大型真菌多样性保护的投入力度, 设立大型真菌多样性保护专项资金。在“生物多样性保护”专项、“生物多样性调查与评估”以及国家重大科技专项等项目立项中, 对大型真菌多样性保护给予倾斜, 加大支持力度。鼓励企业履行社会责任, 开辟新的资金投入渠道。加强大型真菌分类学和菌种分离保藏技术研究, 构建完善迁地保藏菌种评价技术方法体系, 提升我国大型真菌保护与可持续利用的研发能力, 推动科技创新, 促进绿色发展。

致谢: 感谢李玉院士提供国家农业现代技术体系资助建立的大型真菌保育区数据; 感谢杨祝良研究员

提供中国科学院昆明植物研究所大型真菌标本和中国西南野生生物种质资源库的大型真菌菌种库数据。

参考文献

- Bau T, Li Y (2000a) Study on fungal flora diversity in Daqinggou Nature Reserve. *Chinese Biodiversity*, 8, 73–80. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 李玉 (2000a) 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, 73–80.]
- Bau T, Li Y (2000b) Fungal community diversity in Daqinggou Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 20, 986–991. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 李玉 (2000b) 大青沟自然保护区大型真菌群落多样性的研究. *生态学报*, 20, 986–991.]
- Bau T, Chen JZ, Wang Y, Fan YG (2010a) Macrofungal diversity in broad-leaved Korean pine forest in the Changbaishan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 4549–4558. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 陈今朝, 王耀, 范宇光 (2010a) 长白山阔叶红松林大型真菌多样性. *生态学报*, 30, 4549–4558.]
- Bau T, Fan YG, Hu JW (2010b) Biological characteristics and endangerment mechanisms of *Hypsizygus marmoreus*. *Journal of Northeast Forestry University*, 38(7), 100–102. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 范宇光, 胡建伟 (2010b) 长白山斑玉蕈的生物学特性及致濒机理. *东北林业大学学报*, 38(7), 100–102.]
- Cui XM (2000) A study on germplasm resources of edible and medicinal fungi I. *Acta Agriculturae Shanghai*, 16(3), 94–96. (in Chinese with English abstract) [崔星明 (2000) 食(药)用真菌种质资源研究(一). *上海农业学报*, 16(3), 94–96.]
- Dahlberg A, Genney DR, Heilmann-Clausen J (2010) Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: Current status and future needs. *Fungal Ecology*, 3(2), 50–64.
- Dai YC (2003) Rare and threatened polypores in the ecosystem of Changbaishan Nature Reserve of northeastern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14, 1015–1018. (in Chinese with English abstract) [戴玉成 (2003) 长白山森林生态系统中的稀有和濒危多孔菌. *应用生态学报*, 14, 1015–1018.]
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH (2010a) A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29, 1–21. (in Chinese with English abstract) [戴玉成, 周丽伟, 杨祝良, 文华安, 图力古尔, 李泰辉 (2010a) 中国食用菌名录. *菌物学报*, 29, 1–21.]
- Dai YC, Cui BK, Yuan HS, Wei YL (2010b) A red list of polypores in China. *Mycosystema*, 29, 164–171. (in Chinese with English abstract) [戴玉成, 崔宝凯, 袁海生, 魏玉莲 (2010b) 中国濒危的多孔菌. *菌物学报*, 29, 164–171.]

- Dai YC, Yang ZL (2008) A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27, 801–824. (in Chinese with English abstract) [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, 801–824.]
- Dai YC, Zhuang JY (2010) Numbers of fungal species hitherto known in China. *Mycosystema*, 29, 625–628. (in Chinese with English abstract) [戴玉成, 庄剑云 (2010) 中国菌物已知种数. 菌物学报, 29, 625–628.]
- Fan YG, Bau T (2008) Quantity evaluation on priority conservation of macrofungi in Changbai Mountain Nature Reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 36(11), 86–87, 91. (in Chinese with English abstract) [范宇光, 图力古尔 (2008) 长白山自然保护区大型真菌物种优先保护的量化评价. 东北林业大学学报, 36(11), 86–87, 91.]
- IUCN Species Survival Commission (2012a) IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1, 2nd edn. <http://www.iucnredlist.org/technical-documents/categories-and-criteria>. (accessed on 2016-03-30)
- IUCN Species Survival Commission (2012b) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. <http://www.iucnredlist.org/technical-documents/categories-and-criteria>. (accessed on 2016-03-30)
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2017) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 13. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>. (accessed on 2017-12-15)
- IUCN Species Survival Commission (2018) IUCN Red List. <http://www.iucnredlist.org>. (accessed on 2018-03-20)
- Kong WL, Yuan RQ, Kong WW, Zhang YT, Kang YC, Han YE (2015) Research progress, history and current situation of spawn preservation of edible fungus. *Edible Fungi of China*, 34(5), 1–5. (in Chinese with English abstract) [孔维丽, 袁瑞奇, 孔维威, 张玉亭, 康源春, 韩玉娥 (2015) 食用菌菌种保藏历史、现状及研究进展概述. 中国食用菌, 34(5), 1–5.]
- Liao YJ, Yu FF, Liu ZY, Xie DM (2008) The biodiversity, conservation and sustainable utilization of macrofungi resources in the Jinfo Mountain Nature Reserve in Chongqing. *Ecological Science*, 27(1), 42–45. (in Chinese with English abstract) [廖宇静, 于飞飞, 刘正宇, 谢德明 (2008) 重庆金佛山自然保护区大型真菌多样性及资源保护与可持续利用. 生态科学, 27(1), 42–45.]
- Liu PG, Wang XH, Yu FQ, Zheng HD, Chen J (2003) Key taxa of larger member in higher fungi of biodiversity from China. *Acta Botanica Yunnanica*, 25, 285–296. (in Chinese with English abstract) [刘培贵, 王向华, 于富强, 郑焕娣, 陈娟 (2003) 中国大型高等真菌生物多样性的关键类群. 云南植物研究, 25, 285–296.]
- Lu T, Bau T (2017) *De novo* assembly and characterization of the transcriptome of a wild edible mushroom *Leucocalocybe mongolica* and identification of SSR markers. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31, 1148–1159.
- Wang JR, Liu Y, Bau T (2015) Evaluation of endangered status and conservation priority of macrofungi in Shandong Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 837–848. (in Chinese with English abstract) [王建瑞, 刘宇, 图力古尔 (2015) 山东省大型真菌物种濒危程度与优先保育评价. 生态学报, 35, 837–848.]
- Wei JC, Jiang YM, Guo SY (2000) Lichen conservation biology and sustainable utilization of resources. In: *Proceedings of the 2000 Cross-Strait Symposium on Biodiversity and Conservation*, pp. 307–316. Museum of Natural Science, Taizhong. (in Chinese) [魏江春, 姜玉梅, 郭守玉 (2000) 地衣保育生物学及其资源的持续利用. 见: 2000年海峡两岸生物多样性与保育研讨会论文集, 307–316页. “国立”自然科学博物馆, 台中.]
- Wei TZ, Yao YJ (2012) A proposal on fungal red list of China. In: *Advances in Biodiversity Conservation and Research in China IX: Proceedings of the Ninth National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in China*, pp. 213–219. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese) [魏铁铮, 姚一建 (2012) 中国菌物红色名录编制设想. 见: 中国生物多样性保护与研究进展IX——第九届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集, 213–219页. 气象出版社, 北京.]
- Xu GB, Fu WJ, Liu WL, Li WS, Ma SC, Yan JC (2003) The attribute and sustainable development of resources of *Tricholoma matsutake* in Tianfozhi Mountain. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 4(1), 70–73. (in Chinese with English abstract) [许广波, 傅伟杰, 刘文利, 李万石, 马绍常, 延京春 (2003) 天佛指山松茸资源属性及其可持续发展. 北华大学学报(自然科学版), 4(1), 70–73.]
- Yu FQ, Liu PG (2005) Species diversity of wild edible mushrooms from *Pinus yunnanensis* forests and conservation strategies. *Biodiversity Science*, 13, 58–69. (in Chinese with English abstract) [于富强, 刘培贵 (2005) 云南松林野生食用菌物种多样性及保护对策. 生物多样性, 13, 58–69.]
- Zhang RY, Hu DD, Zuo XM, Gu JG (2010) Advances in the preservation of edible mushroom cultures. *Acta Edulis Fungi*, 17(4), 84–88. (in Chinese with English abstract) [张瑞颖, 胡丹丹, 左雪梅, 顾金刚 (2010) 食用菌菌种保藏技术研究进展. 食用菌学报, 17(4), 84–88.]
- Zhu J, Zheng LW, Lin BD, Huang ZL, Zheng Z, Xu NN, Gao W, Xie BG (2005) Outlook for Fujian Edible-medicinal Fungi Germplasm Bank and variety identification technique. *Mycosystema*, 24, 33–36. (in Chinese with English abstract) [朱坚, 郑立威, 林伯德, 黄志龙, 郑昭, 徐宁宁, 高巍, 谢宝贵 (2005) 福建食(药)用菌种质资源库及品种鉴别技术的应用前景. 菌物学报, 24, 33–36.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 闫文杰)