



ISSN 1005-0094
CODEN SHDUEM

BIODIVERSITY SCIENCE

生物多样性

第28卷 第1期
2020年1月

Vol.28 No.1
January 2020

中国大型真菌红色名录专辑



主 办

中国科学院生物多样性委员会

中国植物学会

中国科学院植物研究所

中国科学院动物研究所

中国科学院微生物研究所

Biodiversity Committee, CAS

Botanical Society of China

Institute of Botany, CAS

Institute of Zoology, CAS

Institute of Microbiology, CAS

<http://www.biodiversity-science.net>

生物多样性

SHENGWU DUOYANGXING

第28卷 第1期 2020年1月

目次

编者按

- 1 中国大型真菌红色名录评估
姚一建
- 4 中国大型真菌红色名录评估研究进展
姚一建 魏江春 庄文颖 蔡蕾 刘冬梅
李俊生 魏铁铮 李熠 王科 吴海军
- 11 中国大型真菌红色名录评估方法和程序
王科 刘冬梅 蔡蕾 吴海军 李熠
魏铁铮 王永会 吴红梅 卫晓丹 李斌斌
李俊生 姚一建
- 20 中国大型真菌受威胁物种名录
姚一建 魏江春 庄文颖 魏铁铮 李熠
魏鑫丽 邓红 刘冬梅 蔡蕾 李俊生
王科 吴海军 李斌斌 王永会 卫晓丹
吴红梅 赵明君 杨柳 苏锦河 钟习
- 26 中国非地衣型大型子囊菌受威胁现状评估及
致危因素
庄文颖 李熠 郑焕娣 曾昭清 王新存
- 41 中国大型担子菌受威胁现状评估
魏铁铮 王科 于晓丹 李熠 吴海军
吴红梅 王永会 卫晓丹 李斌斌 蒋岚
姚一建
- 54 中国地衣的濒危等级评估
魏鑫丽 邓红 魏江春
- 66 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及
今后的对策
李熠 刘冬梅 王科 吴海军 蔡蕾
蔡磊 李俊生 姚一建
- 74 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编
制中的作用
王科 赵明君 苏锦河 杨柳 邓红
王永会 吴海军 李熠 吴红梅 卫晓丹
魏铁铮 蔡磊 姚一建
- 99 物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保
护中的应用: 以冬虫夏草为例
李熠 唐志尧 闫昱晶 王科 蔡磊
贺金生 古松 姚一建

封面: 大型真菌在地球生态系统中发挥着不可替代的作用, 也与人类生产生活密切相关。本专辑介绍了我国首次大型真菌红色名录的评估概况。封面从左至右、从上到下依次展示了6种被列入红色名录的真菌: 金耳(*Naematelia aurantialba*)、冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)、斑玉蕈(*Hypsizygus marmoreus*)、猴头菇(*Hericium erinaceus*)、牛樟芝(*Taiwanofungus camphoratus*)、庐山石耳(*Umbilicaria esculenta*)。它们都具有重要的食、药用价值, 其野外生存状况因受到人类活动和气候变化的影响已经处于受威胁状态, 亟需引起关注并采取必要的保护措施。(封面设计: 王科、姚一建; 照片拍摄者: 郝艳佳、焦磊、杨祝良、葛再伟、林进忠、魏鑫丽)

BIODIVERSITY SCIENCE

Vol. 28 No. 1 January 2020

CONTENTS

Editorial

- 1 **Red list assessment of macrofungi in China**
Yijian Yao
- 4 **Development of red list assessment of macrofungi in China**
Yijian Yao, Jiangchun Wei, Wenying Zhuang, Lei Cai, Dongmei Liu, Junsheng Li, Tiezheng Wei, Yi Li, Ke Wang and Haijun Wu
- 11 **Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China**
Ke Wang, Dongmei Liu, Lei Cai, Haijun Wu, Yi Li, Tiezheng Wei, Yonghui Wang, Hongmei Wu, Xiaodan Wei, Binbin Li, Junsheng Li and Yijian Yao
- 20 **Threatened species list of China's macrofungi**
Yijian Yao, Jiangchun Wei, Wenying Zhuang, Tiezheng Wei, Yi Li, Xinli Wei, Hong Deng, Dongmei Liu, Lei Cai, Junsheng Li, Ke Wang, Haijun Wu, Binbin Li, Yonghui Wang, Xiaodan Wei, Hongmei Wu, Mingjun Zhao, Liu Yang, Jinhe Su and Xi Zhong
- 26 **Threat status of non-lichenized macro-ascomycetes in China and its threatening factors**
Wenying Zhuang, Yi Li, Huandi Zheng, Zhaoqing Zeng and Xincun Wang
- 41 **Assessment of the threatened status of macro-basidiomycetes in China**
Tiezheng Wei, Ke Wang, Xiaodan Yu, Yi Li, Haijun Wu, Hongmei Wu, Yonghui Wang, Xiaodan Wei, Binbin Li, Lan Jiang and Yijian Yao
- 54 **Threatened categories assessment of lichens in China**
Xinli Wei, Hong Deng and Jiangchun Wei
- 66 **Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures**
Yi Li, Dongmei Liu, Ke Wang, Haijun Wu, Lei Cai, Lei Cai, Junsheng Li and Yijian Yao
- 74 **The use of Checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China**
Ke Wang, Mingjun Zhao, Jinhe Su, Liu Yang, Hong Deng, Yonghui Wang, Haijun Wu, Yi Li, Hongmei Wu, Xiaodan Wei, Tiezheng Wei, Lei Cai and Yijian Yao
- 99 **Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis***
Yi Li, Zhiyao Tang, Yujing Yan, Ke Wang, Lei Cai, Jinsheng He, Song Gu and Yijian Yao

Cover Illustration: Macrofungi play an irreplaceable role in the ecosystem and are closely related to human life. In this issue, we introduce the assessment progress of the first China's red list of macrofungi. From the left to the right, from the top to the bottom, pictures presented in the cover are six threatened fungi species: *Naematelia aurantialba*, *Ophiocordyceps sinensis*, *Hypsizygus marmoreus*, *Hericium erinaceus*, *Taiwanofungus camphoratus*, and *Umbilicaria esculenta*. The habitats of these edible and medicinal fungi have been under threat due to climate change and human activities. Sufficient attention and necessary actions are needed to protect the resources and diversity of macrofungi. (Designed by Ke Wang and Yijian Yao. The photos were taken by Yanjia Hao, Lei Jiao, Zhuliang Yang, Zaiwei Ge, Jinzhong Lin and Xinli Wei)



•编者按•

中国大型真菌红色名录评估

姚一建*

(中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

Red list assessment of macrofungi in China

Yijian Yao*

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

中华人民共和国原环境保护部联合中国科学院于2016年启动了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制工作,以全面评估中国大型真菌受威胁状况。本次评估工作设立项目组、咨询专家组和评估专家组。项目组承担项目的组织和实施,并形成评估报告。咨询专家组对整个评估过程进行指导,对评估对象、评估方法、标准使用、数据来源等重要问题进行界定。评估专家组对评估名单进行审核、提出评估意见、讨论审定有关物种的受威胁等级。项目组分地衣型真菌、大型子囊菌和大型担子菌3个课题组,分别由中国科学院微生物研究所魏江春院士、庄文颖院士和姚一建研究员主持(附录1)。咨询专家组由中国科学院植物研究所、中国科学院动物研究所、中国农业科学院农业资源与区划研究所、吉林农业大学等单位的9位权威专家组成(附录2)。评估专家组由中国科学院微生物研究所、中国科学院昆明植物研究所、广东省微生物研究所等单位的共130多位专家组成(附录3)。

项目组依照IUCN的红色名录等级与标准,首先拟定了中国大型真菌红色名录评估方法(王科等, 2020a)。本次评估的数据主要来自于中国菌物名录数据库(<http://www.fungalinfo.net>),项目组首先完成了100多本菌物学专著数字化工作,为数据库增补了10万余条菌物记录。同时对数据库中的数据进行标准化处理,整理了其中的名称、分类地位、分布、生境、用途等信息。然后,项目组依据数据库中的信息开展红色名录的初评工作,并建立了中国

大型真菌红色名录评估网站(http://124.16.146.175:8081/revise_system/portal.php),将初评结果在网上展示,开展首次专家网上评审。

2016年11月3日,在来自全国20多个单位60余位大型真菌研究专家参加的咨询会上,讨论确定了评估的类群、标准及评估方法,并由专家们按类群分组讨论了初评和函审中评出的受威胁物种的评估结果。项目组对会上专家的意见进行整理,形成复审材料展示在评估网站上,开展专家网上复审工作。复审于2016年11月底结束,项目组整合复审材料形成了中国大型真菌红色名录评估的初步结果。2017年1月12日项目通过验收。

之后,项目组继续完善评估,核定每一个被评估物种的拉丁学名、分类地位、分布等信息,修订及新拟汉语学名,编制形成《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》,并就受威胁物种作出评估说明。

2018年5月22日(国际生物多样性日),在“纪念生物多样性保护行动25周年大会”上,生态环境部和中国科学院共同发布了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》(http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/sthjbgg/201805/t20180524_441393.htm)。该名录是对整个国家范围的大型真菌受威胁状况进行的大规模全面评估,为国际首创,其研究成果和经验可供我国其他菌物类群以及动物、植物红色名录评估乃至国际上其他国家开展大型真菌、其他菌物、动物、植物受威胁状况评估参考借鉴。同时,该

名录的评估与编制将为我国大型真菌保护政策的制定以及大型真菌资源的可持续利用提供科学依据,为开展大型真菌本底调查、观测和科研提供数据基础,为公众了解和参与大型真菌多样性保护创造必要条件,有力推动《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011–2030年)的贯彻实施和《生物多样性公约》履约工作。

《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的评估工作是我国首次采用IUCN标准对大型真菌的受威胁状况进行的一次全面评估,是一项规模庞大的系统工程。本次评估汇集了全国20余家单位的140多位专家,覆盖了我国已知的大型子囊菌、大型担子菌和地衣型真菌共计9,302种,包括大型子囊菌870种,大型担子菌6,268种,地衣型真菌2,164种,是国内外迄今为止大型真菌红色名录评估涉及物种数量最大、类群范围最宽、覆盖地域最广、参与人员最多的一次评估。

本期稿件是在2018年发布的红色名录基础上,由项目组成员对中国大型真菌红色名录评估总体情况进行的系统总结(姚一建等, 2020a),详细介绍了中国大型子囊菌(庄文颖等, 2020)、大型担子菌(魏铁铮等, 2020)和地衣型真菌(魏鑫丽等, 2020)的评估结果、发现和科学意义,以及评估方法和过程(王科等, 2020a),并以开放获取期刊文献的方式发表中国大型真菌受威胁物种名录(姚一建等, 2020b),供广大读者查阅检索。

本专辑还包括3篇与评估相关的文章:李熠等(2020a)探讨了大型真菌红色名录评估中存在的问题及对策,王科等(2020b)介绍了中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用,李熠等(2020b)以冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)为例介绍了物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保护中的应用。这些文章的结集发表,可以让读者从多个层次来了解我国大型真菌红色名录及濒危物种研究的最新进展及其对我国生物多样性保护的推动作用。

致谢:“中国生物多样性红色名录——大型真菌卷”的编研项目得到了生态环境部(原环境保护部)的大力资助。生态环境部蔡蕾博士、中国环境科学研究院李俊生研究员和刘冬梅博士对项目开展情况进行指导,并共同撰写和完善了评估报告。全国20余

家单位的140多位专家学者提供物种信息和参与了评估工作。在大家的积极参与下,此项工作才得以顺利完成。在此,我们对生态环境部及参与实际评估工作,或以各种方式支持这一项目的专家、学者和各级领导表示衷心的感谢!

参考文献

- Li Y, Liu DM, Wang K, Wu HJ, Cai L, Cai L, Li JS, Yao YJ (2020a) Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures. *Biodiversity Science*, 28, 66–73. (in Chinese with English abstract) [李熠, 刘冬梅, 王科, 吴海军, 蔡蕾, 蔡磊, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策. 生物多样性, 28, 66–73.]
- Li Y, Tang ZY, Yan YJ, Wang K, Cai L, He JS, Gu S, Yao YJ (2020b) Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis*. *Biodiversity Science*, 28, 99–106. (in Chinese with English abstract) [李熠, 唐志尧, 闫显晶, 王科, 蔡磊, 贺金生, 古松, 姚一建 (2020b) 物种分布建模在大型真菌红色名录评估及保护中的应用: 以冬虫夏草为例. 生物多样性, 28, 99–106.]
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020a) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. 生物多样性, 28, 11–19.]
- Wang K, Zhao MJ, Su JH, Yang L, Deng H, Wang YH, Wu HJ, Li Y, Wu HM, Wei XD, Wei TZ, Cai L, Yao YJ (2020b) The use of Checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 74–98. (in Chinese with English abstract) [王科, 赵明君, 苏锦河, 杨柳, 邓红, 王永会, 吴海军, 李熠, 吴红梅, 卫晓丹, 魏铁铮, 蔡磊, 姚一建 (2020b) 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用. 生物多样性, 28, 74–98.]
- Wei TZ, Wang K, Yu XD, Li Y, Wu HJ, Wu HM, Wang YH, Wei XD, Li BB, Jiang L, Yao YJ (2020) Assessment of the threatened status of macro-basidiomycetes in China. *Biodiversity Science*, 28, 41–53. (in Chinese with English abstract) [魏铁铮, 王科, 于晓丹, 李熠, 吴海军, 吴红梅, 王永会, 卫晓丹, 李斌斌, 蒋岚, 姚一建 (2020) 中国大型担子菌受威胁现状评估. 生物多样性, 28, 41–53.]
- Wei XL, Deng H, Wei JC (2020) Threatened categories assessment of lichens in China. *Biodiversity Science*, 28, 54–65. (in Chinese with English abstract) [魏鑫丽, 邓红, 魏江春 (2020) 中国地衣的濒危等级评估. 生物多样性, 28, 54–65.]
- Yao YJ, Wei JC, Zhuang WY, Cai L, Liu DM, Li JS, Wei TZ,

- Li Y, Wang K, Wu HJ (2020a) Development of red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 4–10. (in Chinese with English abstract) [姚一建, 魏江春, 庄文颖, 蔡蕾, 刘冬梅, 李俊生, 魏铁铮, 李熠, 王科, 吴海军 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估研究进展. *生物多样性*, 28, 4–10.]
- Yao YJ, Wei JC, Zhuang WY, Wei TZ, Li Y, Wei XL, Deng H, Liu DM, Cai L, Li JS, Wang K, Wu HJ, Li BB, Wang YH, Wei XD, Wu HM, Zhao MJ, Yang L, Su JH, Zhong X (2020b) Threatened species list of China's macrofungi. *Biodiversity Science*, 28, 20–25. (in Chinese and in English) [姚一建, 魏江春, 庄文颖, 魏铁铮, 李熠, 魏鑫丽, 邓红, 刘冬梅, 蔡蕾, 李俊生, 王科, 吴海军, 李斌斌, 王永会, 卫晓丹, 吴红梅, 赵明君, 杨柳, 苏锦河, 钟习 (2020b) 中国大型真菌受威胁物种名录. *生物多样性*, 28, 20–25.]
- Zhuang WY, Li Y, Zheng HD, Zeng ZQ, Wang XC (2020) Threat status of non-lichenized macro-ascomycetes in China and its threatening factors. *Biodiversity Science*, 28, 26–40. (in Chinese with English abstract) [庄文颖, 李熠, 郑焕娣, 曾昭清, 王新存 (2020) 中国非地衣型大型子囊菌受威胁现状评估及致危因素 (2020) 中国大型真菌受威胁物种名录. *生物多样性*, 28, 26–40.]
- (责任编辑: 周玉荣)

附录 Supplementary Material

附录1 中国大型真菌红色名录评估项目组

Appendix 1 Project team of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019152-1.pdf>

附录2 中国大型真菌红色名录咨询专家组

Appendix 2 Advisory group of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019152-2.pdf>

附录3 中国大型真菌红色名录评估专家组

Appendix 3 Assessing experts of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019152-3.pdf>

姚一建: 中国大型真菌红色名录评估. 生物多样性, 2020, 28 (1): 1-3.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019152>

附录1 中国大型真菌红色名录评估项目组

Appendix 1 Project team of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China

| 姓名 Name | 单位 Organization | 承担工作 Work |
|------------|--------------------|---------------------------------------|
| 魏江春 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣组组长 |
| 庄文颖 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌组组长 |
| 姚一建 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌组组长 |
| 魏鑫丽 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣数据收集、整理和评估, 结果整理和核查 |
| 邓红 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣数据收集、整理和评估, 结果整理和核查 |
| 蒋淑华 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣数据整理和初评 |
| 郑焕娣 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌数据整理和初评 |
| 曾昭清 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌数据整理和初评 |
| 王新存 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌数据整理和初评 |
| 魏铁铮 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌数据收集、整理和评估 |
| 李熠 | 扬州大学 | 数据收集、整理和评估, 拉丁名核对, 结果整理和核查 |
| 杨柳 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集和整理 |
| 赵明君 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集和整理, 拉丁名核对 |
| 王科 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集、整理和评估, 拉丁名核对, 汉语学名核对和新拟, 结果整理和核查 |
| 吴海军 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集, 拉丁名、分布、用途等信息核对, 初评, 结果整理 |
| 王永会 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集和整理, 拉丁名核对 |
| 吴红梅 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集和整理, 拉丁名核对 |
| 卫晓丹 | 中国科学院微生物研究所 | 数据收集和整理, 拉丁名核对 |
| 李斌斌 | 中国科学院微生物研究所 | 项目前期准备, 资料收集 |
| 苏锦河 | 集美大学 | 数据整理, 评估网站设计和维护 |
| 钟习 | 中国科学院计算技术研究所 | 数据收集与整理 |

姚一建: 中国大型真菌红色名录评估. 生物多样性, 2020, 28 (1): 1-3.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019152>

附录2 中国大型真菌红色名录咨询专家组

Appendix 2 Advisory group of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China

| 姓名 Name | 单位 Organization | 分类阶元 Taxa |
|------------|--------------------|--------------|
| 李玉 | 吉林农业大学 | 黏菌、食药菌等 |
| 李增智 | 安徽农业大学 | 子囊菌 |
| 刘培贵 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌、子囊菌 |
| 陈建斌 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 蒋志刚 | 中国科学院动物研究所 | 脊椎动物 |
| 牛永春 | 中国农业科学院农业资源与区划研究所 | 地衣、子囊菌 |
| 覃海宁 | 中国科学院植物研究所 | 高等植物 |
| 张金霞 | 中国农业科学院农业资源与区划研究所 | 食用菌 |
| 郭顺星 | 中国医学科学院药用植物研究所 | 担子菌、子囊菌 |

附录3 中国大型真菌红色名录评估专家组

Appendix 3 Assessing experts of the Red List Assessment of Macrofungi Project in China

| 姓名 Name | 单位 Organization | 分类阶元 Taxa |
|------------|--------------------|--------------|
| 阿不都拉·阿巴斯 | 新疆大学 | 地衣 |
| 艾尼瓦尔·吐米尔 | 新疆大学 | 地衣 |
| 鲍大鹏 | 上海市农业科学院食用菌研究所 | 食用菌 |
| 蔡为民 | 江苏省农业科学院蔬菜研究所 | 食用菌 |
| 曹文敏 | 西北农林科技大学 | 担子菌 |
| 曾念开 | 海南医学院 | 担子菌 |
| 曾昭清 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |
| 陈健斌 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 陈双林 | 南京师范大学 | 担子菌、子囊菌 |
| 崔宝凯 | 北京林业大学 | 担子菌 |
| 戴玉成 | 北京林业大学 | 担子菌 |
| 邓春英 | 贵州科学院 | 担子菌 |
| 邓红 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 邓晖 | 中国农业科学院农业资源与区划研究所 | 子囊菌 |
| 邓建新 | 长江大学 | 子囊菌 |
| 邓旺秋 | 广东省微生物研究所 | 担子菌 |
| 范黎 | 首都师范大学 | 担子菌 |
| 冯邦 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 葛再伟 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 古丽博斯坦·司马义 | 新疆大学 | 地衣 |
| 郭林 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 郭守玉 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 郭威 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 何双辉 | 北京林业大学 | 担子菌 |
| 何晓岚 | 四川省农业科学院土壤肥料研究所 | 担子菌 |
| 侯成林 | 首都师范大学 | 子囊菌 |
| 胡红莉 | 福建农林大学 | 子囊菌 |
| 黄勃 | 安徽农业大学 | 子囊菌 |
| 黄晨阳 | 中国农业科学院农业资源与区划研究所 | 担子菌 |
| 黄满荣 | 北京自然博物馆 | 地衣 |
| 黄志鹏 | 福建农林大学 | 子囊菌 |
| 贾泽峰 | 聊城大学 | 地衣 |
| 姜子德 | 华南农业大学 | 子囊菌 |
| 蒋淑华 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 蒋思萍 | 西藏自治区高原生物研究所 | 担子菌 |
| 金群力 | 江苏省农业科学院蔬菜研究所 | 担子菌 |
| 康冀川 | 贵州大学农学院 | 担子菌、子囊菌 |
| 雷萍 | 陕西省微生物研究所 | 担子菌 |
| 李春如 | 泛亚集团 | 子囊菌 |
| 李国杰 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 李辉 | 西藏自治区高原生物研究所 | 子囊菌 |

| 姓名 Name | 单位 Organization | 分类阶元 Taxa |
|------------|--------------------|--------------|
| 李敏慧 | 华南农业大学 | 子囊菌 |
| 李嵘 | 中国科学院昆明植物研究所 | 子囊菌 |
| 李树红 | 云南省农业科学院 | 子囊菌 |
| 李苏 | 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部 | 地衣 |
| 李泰辉 | 广东省微生物研究所 | 担子菌 |
| 李挺 | 广东省微生物研究所 | 担子菌 |
| 李文英 | 广东省农业科学院 | 子囊菌 |
| 李艳春 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 李熠 | 扬州大学 | 子囊菌 |
| 李壮 | 山东农业大学 | 担子菌 |
| 梁俊峰 | 中国林业科学院热带林业研究所 | 担子菌 |
| 林文飞 | 浙江大学生物教学实验中心 | 担子菌、子囊菌 |
| 林英任 | 安徽农业大学 | 子囊菌 |
| 刘斌 | 广西大学 | 子囊菌 |
| 刘华杰 | 河北师范大学 | 地衣 |
| 刘淑艳 | 吉林农业大学 | 子囊菌 |
| 刘作易 | 贵州省农业科学研究院 | 子囊菌 |
| 罗晶 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |
| 吕蕾 | 山东师范大学 | 地衣 |
| 马海霞 | 中国热带农业科学院 | 子囊菌 |
| 马文章 | 中国科学院昆明植物研究所 | 地衣 |
| 帕孜来提·拜合提 | 新疆大学 | 地衣 |
| 邱君志 | 福建农林大学 | 子囊菌 |
| 冉小叶 | 首都师范大学 | 子囊菌 |
| 热依木·马木提 | 新疆大学 | 地衣 |
| 任强 | 山东师范大学 | 子囊菌 |
| 沈亚恒 | 广东省微生物研究所 | 子囊菌 |
| 宋斌 | 广东省微生物研究所 | 子囊菌 |
| 孙广宇 | 西北农林科技大学 | 子囊菌 |
| 孙剑秋 | 绍兴文理学院 | 子囊菌 |
| 唐保宏 | 安徽大学 | 担子菌 |
| 唐丽萍 | 昆明医科大学 | 担子菌 |
| 田恩静 | 吉林农业大学 | 担子菌 |
| 图力古尔 | 吉林农业大学 | 担子菌 |
| 万山平 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 王波 | 四川农业科学研究院 | 担子菌、子囊菌 |
| 王立安 | 河北师范大学 | 担子菌 |
| 王立松 | 中国科学院昆明植物研究所 | 地衣 |
| 王琦 | 吉林农业大学 | 担子菌 |
| 王术荣 | 山西农业大学食品科学与工程学院 | 担子菌、子囊菌 |
| 王伟成 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 王向华 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 王欣宇 | 中国科学院昆明植物研究所 | 地衣 |

| 姓名 Name | 单位 Organization | 分类阶元 Taxa |
|------------|--------------------|--------------|
| 王新存 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 王雪薇 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |
| 王延延 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 王有智 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |
| 王征 | 中国科学院昆明植物研究所 | 地衣 |
| 旺姆 | 西藏大学农牧学院 | 子囊菌 |
| 韦继光 | 广西大学 | 子囊菌 |
| 魏江春 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 魏生龙 | 河西学院(甘肃省应用真菌工程实验室) | 担子菌 |
| 魏铁铮 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 魏鑫丽 | 中国科学院微生物研究所 | 地衣 |
| 魏玉莲 | 中国科学院沈阳应用生态研究所 | 担子菌 |
| 文华安 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 吾尔妮莎·沙依丁 | 新疆大学 | 地衣 |
| 吴刚 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 吴兴亮 | 贵州科学院 | 担子菌、子囊菌 |
| 吴悦明 | 山东农业大学 | 子囊菌 |
| 习平根 | 华南农业大学 | 子囊菌 |
| 席娅丽 | 河西学院(甘肃省应用真菌工程实验室) | 食用菌 |
| 向梅梅 | 仲恺农业工程学院 | 子囊菌 |
| 谢宝贵 | 福建农林大学 | 担子菌 |
| 徐阿生 | 西藏大学农牧学院 | 地下菌类 |
| 徐爱国 | 西藏自治区高原生物研究所 | 担子菌 |
| 徐彪 | 塔里木大学 | 子囊菌 |
| 闫文娟 | 广东省微生物研究所 | 担子菌 |
| 杨柳 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 杨志辉 | 河北农业大学 | 子囊菌 |
| 杨祝良 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 姚一建 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 翼瑞卿 | 吉林农业大学 | 担子菌 |
| 于富强 | 中国科学院昆明植物研究所 | 担子菌 |
| 于晓丹 | 沈阳农业大学 | 担子菌 |
| 余知和 | 长江大学 | 子囊菌 |
| 袁海生 | 中国科学院沈阳应用生态研究所 | 担子菌 |
| 张波 | 吉林农业大学 | 担子菌 |
| 张璐璐 | 山东师范大学 | 地衣 |
| 张平 | 湖南师范大学 | 担子菌 |
| 张荣 | 西北农林大学 | 子囊菌 |
| 张瑞颖 | 中国农科院农业资源与区划研究所 | 担子菌 |
| 张涛 | 中国医学科学院医药生物技术研究所 | 地衣 |
| 张修国 | 山东农业大学 | 子囊菌 |
| 张英 | 北京林业大学 | 子囊菌 |
| 章卫民 | 广东省科学院微生物研究所 | 担子菌 |

姚一建: 中国大型真菌红色名录评估. 生物多样性, 2020, 28 (1): 1-3.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019152>

| 姓名 Name | 单位 Organization | 分类阶元 Taxa |
|------------|--------------------|--------------|
| 赵国柱 | 北京林业大学 | 子囊菌 |
| 赵明君 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 赵鹏 | 鲁东大学 | 子囊菌 |
| 赵琪 | 云南省农科院 | 担子菌 |
| 赵瑞琳 | 中国科学院微生物研究所 | 担子菌 |
| 赵欣 | 聊城大学 | 地衣 |
| 赵永昌 | 云南省农业科学院 | 担子菌、子囊菌 |
| 赵遵田 | 山东师范大学 | 地衣 |
| 郑焕娣 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |
| 朱兆香 | 吉林农业大学 | 子囊菌 |
| 庄文颖 | 中国科学院微生物研究所 | 子囊菌 |



•生物编目•

中国大型真菌红色名录评估研究进展

姚一建^{1*} 魏江春^{1,2} 庄文颖¹ 蔡 蕾³ 刘冬梅⁴ 李俊生⁴
魏铁铮¹ 李 熠⁵ 王 科^{1,2} 吴海军¹

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

3 (生态环境部自然生态保护司, 北京 100035)

4 (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)

5 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 大型真菌具有重要的生态价值和经济价值, 但由于环境污染、气候变化、生境丧失与破碎化, 以及资源过度利用等因素, 其生物多样性受到严重威胁。为了全面评估中国大型真菌的生存状况, 国家生态环境部(原环境保护部)联合中国科学院于2016年启动了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制工作。经广泛和全面收集文献资料, 依据IUCN物种红色名录等级与标准, 结合大型真菌特点和国内研究现状, 制定了中国大型真菌红色名录评估方法和流程, 动员和组织了全国相关研究力量, 对9,302种大型真菌的受威胁状况进行了评估。结果显示, 中国大型真菌受威胁物种(包括疑似灭绝、极危、濒危、易危)共97个, 占被评估物种总数的1.04%; 近危101种, 占总数的1.09%; 无危2,764种, 占总数的29.71%; 数据不足6,340种, 占总数的68.16%。此次评估工作汇集了全国140多位专家的智慧, 是国内外迄今为止涉及物种数量最大、类群范围最宽、覆盖地域最广、参与人员最多的一次大型真菌生存状况评估, 对我国大型真菌多样性保护与管理具有重要意义。

关键词: 大型真菌; IUCN等级与标准; 红色名录

Development of red list assessment of macrofungi in China

Yijian Yao^{1*}, Jiangchun Wei^{1,2}, Wenying Zhuang¹, Lei Cai³, Dongmei Liu⁴, Junsheng Li⁴, Tiezhen Wei¹, Yi Li⁵, Ke Wang^{1,2}, Haijun Wu¹

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

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

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

5 School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

Abstract: Macrofungi are important with both their ecological and socioeconomic values. Due to environmental pollution, climate change, habitat loss and fragmentation, and over-exploitation of resources, the diversity of macrofungi is under serious threatened. To evaluate the threatened status of macrofungi nationwide in China, the project of “Red List Assessment of Macrofungi in China” was officially launched in 2016 by the Ministry of Ecology and Environment (formerly the Ministry of Environmental Protection) in conjunction with the Chinese Academy of Sciences. Based on extensive and comprehensive collection of literature on the occurrence and distribution of macrofungi in China, and referring to the categories and criteria of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Species, the evaluation methods and process of the Red List of China's macrofungi were formulated according to the biological features of macrofungi and the current understanding of macrofungi in China. Experts on macrofungi around China were mobilized and organized to assess the threatened status of 9,302 species of macrofungi reported

收稿日期: 2019-05-24; 接受日期: 2019-07-02

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yaoyj@im.ac.cn

in China. Ninety-seven species are considered under threatened (including Possibly Extinct, Critically Endangered, Endangered and Vulnerable), accounting for 1.04% of the total number of species assessed; 101 species are Near Threatened, 2,764 species are Least Concern and 6,340 species are Data Deficient, occupying 1.09%, 29.71% and 68.16%, successively, of the species assessed. The assessment, which brings together the wisdom of more than 140 experts all over the country, is the first nationwide attempt to assess the threaten status of macrofungi in China, involving the largest number of macrofungal species, the widest range of macrofungal groups, the widest coverage of distribution area and the largest number of expert participants at home and abroad. It is of great significance to the conservation and management of the diversity of macrofungi in China.

Key words: macrofungi; IUCN Categories and Criteria; red list

1 中国大型真菌多样性及保护现状

1.1 大型真菌概况

大型真菌是指能形成肉眼可见的子实体、子座、菌核或菌体的一类真菌,分类学上隶属于子囊菌门和担子菌门的部分类群。大型真菌是生态系统中不可或缺的分解者,在地球生物圈的物质循环和能量流动中发挥着不可替代的作用,具有重要的生态价值;同时,许多食、药用菌与人类生产生活密切相关,具有重要的经济价值。

我国是真菌生物多样性最丰富的国家之一,国际菌物数据库(Species Fungorum, <http://www.speciesfungorum.org>)记录了全球14万多种已被发现和描述的菌物,而根据“中国菌物名录数据库”(<http://www.fungalinfo.net>)的记录,目前中国分布的菌物约有27,900种(含种下分类单元),其中大型真菌10,000种以上。

据统计,我国分布的食用菌有1,789种、药用菌798种(Fang et al, 2018),著名的食用菌有松口蘑(*Tricoloma matsutake*, 俗称“松茸”)、块菌(*Tuber spp.*, 俗称“松露”)、羊肚菌(*Morchella spp.*)、牛肝菌(*Boletus spp.*)和鸡油菌(*Cantharellus spp.*)等,著名的药用菌有冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)、灵芝(*Ganoderma spp.*)和茯苓(*Wolfiporia cocos*)等。食用菌产业在我国已成为继粮、油、果、蔬之后的第五大农业产业。2017年,我国食用菌产量达3,842万吨,占世界总产量的75%左右,食用菌产业为我国提供了2,500万个就业岗位,实现收入2,683亿元人民币,出口额达到38.4亿美元(中商产业研究院, 2017)。

1.2 我国大型真菌受威胁现状及保护

我国是生物多样性受威胁最严重的国家之一。

20世纪90年代以来,随着经济、社会的发展和人民日益提高的物质生活水平,我国对食药菌的需求显著提高。然而,资源过度利用、环境污染、气候变化、生境丧失与破碎化等因素正威胁着大型真菌的多样性。如分布在青藏高原及周边地区的药用菌冬虫夏草,因过度采挖,其种群密度已大幅下降,加上全球气候变暖的影响,分布区不断萎缩,许多产地已很难发现其踪迹(Yan et al, 2017; Wang et al, 2018)。

党中央和国务院高度重视生物多样性保护工作,发布了《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011–2030年)》,建立了生物物种资源保护部际联席会议制度,成立了中国生物多样性保护国家委员会,制定和实施了一系列生物多样性保护规划和计划,取得了明显的成效。然而,由于缺乏对我国大型真菌资源现状和物种受威胁状况的全面了解,保护工作缺乏系统性、科学性和针对性。因此,全面评估大型真菌受威胁状况,编制红色名录,从而提出针对性的保护策略,对于加强生物多样性保护,推动实施健康中国战略具有重要意义。

2 IUCN红色名录评估方法的应用

世界自然保护联盟(IUCN)所制定和推广的红色名录等级和标准,是目前世界上使用最广的物种受威胁等级评估体系。迄今,已经有约76个国家和地区发布了动植物或真菌物种红色名录,其中70%采用了IUCN物种红色名录评估体系(<https://www.nationalredlist.org/>)。IUCN红色名录的评估主要集中在动植物,尤其是高等动植物类群。目前, IUCN网站公布的已完成评估的大型真菌(包括地衣)物种仅91个(<https://www.iucnredlist.org/>),大型真菌红色名录的评估相对于动植物的评估进程滞后很多。

欧洲是最早运用IUCN红色名录开展大型真菌评估的地区,已有多个国家发布了大型真菌红色名录,并定期更新。此外,多个国家制定了大型真菌的法律法规和保护计划,有的国家还建立了大型真菌保护区。世界各发达国家都非常重视菌物红色名录的编制工作,菌物红色名录已成为国际菌物多样性保护研究中的一个热点。为推进国际菌物红色名录的编研工作,IUCN建立了菌物物种生存委员会(Species Survival Commission for Fungi),包括了小型真菌、大型子囊菌、地衣、大型担子菌,以及锈菌和黑粉菌等5个类群的专家组。2010年,第九届国际菌物学大会决定建立国际菌物保育学会(International Society for Fungal Conservation),旨在加强受威胁菌物物种的保育工作,世界菌物红色名录编制被列入工作日程。

全世界最早的菌物红色名录是前民主德国于1982年公布的。目前,欧洲已经有31个国家发布了各自的红色名录,包括21个官方名录和10个非官方名录或初步名录,记录大型真菌超过5,500种(Senn-Irlet et al, 2007)。在欧洲以外,仅日本和新西兰公布了各自初步的菌物红色名录(Dahlberg et al, 2010)。在已公布官方菌物红色名录的欧洲国家中,57%的国家对其公布的红色名录进行过修订和再版,其中以瑞典的菌物名录更新最为及时,已经更新到了第4版。世界各国已公布的绝大多数受威胁菌物为大型真菌,奥地利和日本等国还公布了地衣的红色名录,英国和新西兰等少数国家的红色名录包括了锈菌和黑粉菌等极少数小型菌物种类(Senn-Irlet et al, 2007)。

国际物种红色名录的编制普遍采用国际自然保护联盟(International Union for the Conservation of Nature, IUCN)的物种红色名录濒危等级和标准(IUCN, 2012a, b; IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2016)。《IUCN物种红色名录等级与标准3.1版》将物种受威胁程度划分为灭绝、野外灭绝、极危、濒危、易危、近危、无危、数据不足和未予评估等9个等级,依据对被评估物种的种群数量、分布范围、成熟个体数及野外灭绝几率等指标的观察、估计、推断或猜测,制定了各等级评估的标准。为适应不同生物类群的评估,IUCN的每个等级都制定了多项评估依据,只需满足其中任何一项,即

可将物种列入该等级。由于IUCN物种红色名录的等级划分标准主要基于个体和种群,评估包括小型菌物在内的微生物则较为困难,因此目前各国的菌物红色名录的编制大多是针对大型真菌和地衣。此外,对于菌物而言,其成熟个体数量往往难以估计,各国在依照IUCN等级和标准的同时,主要采用种群数量、分布范围和野外灭绝几率为指标进行受威胁等级评估。

欧洲的菌物红色名录的编制工作得益于其雄厚的菌物系统学研究基础、丰富的标本储备、完善的信息平台和长期的菌物多样性监测工作。欧洲菌物分类的科学研究已经有300多年历史,拥有一支高水平的菌物分类学专家团队,多数物种的分类问题已经解决,其分布情况已较为清楚。英国皇家植物园(Kew)、荷兰菌物多样性中心(CBS)等各研究机构保存的大量模式材料和经可靠鉴定的菌物标本和菌株,为欧洲菌物物种准确鉴定和有效监测提供了坚实的基础。欧洲有12个国家完成了本国的菌物物种名录编制工作,还拥有全球最大、最权威的菌物物种名称数据库——Index Fungorum和MycoBank,为其红色名录的编研建立了良好的信息平台。欧洲是全世界最早开展菌物资源监测的地区。早在1910年,荷兰就已经开始了大型真菌监测工作。英国菌物红色名录是依据自1960年以来对遍布全国的样地长期定量监测的结果。欧洲已经建立了较完善的菌物监测网络,成为其菌物红色名录评估最直接的数据来源(Senn-Irlet et al, 2007)。

3 我国大型真菌红色名录评估工作开展情况

尽管我国菌物现代科学研究起步较晚,但已经具备了红色名录编制工作的基本条件。我国现代菌物学研究已有近百年历史,已建立了一支具有一定规模的菌物学专家队伍,研究范围涵盖了菌物各主要类群,对大型真菌和地衣许多重要类群进行了深入的分类学研究。中国科学院微生物研究所建立的中国菌物名录数据库,对已报道的国内分布的菌物种类及其相关信息进行了全面汇总和系统整理。目前,已完成黏菌及卵菌、接合菌、盘菌、地衣、锈菌和黑粉菌等五册《中国生物物种名录——菌物卷》印刷版的书稿,并且前三册已经正式出版。全国馆藏菌物标本物种约100万份,同时各科研机构

还保存了大量菌物菌株, 为开展菌物红色名录编研工作积累了大量研究和凭证材料。中国科学院微生物所开发的菌物标本数据库(<http://biaobenguan.im.ac.cn>), 免费推向全国, 当前的版本附带有40多万个菌物学名和作者以及我国各省市县的地理信息。

此前, 我国未对大型真菌进行全面、大规模的红色名录评估。已有的报道主要是一些菌物学者分散开展的评估分析, 大多未采用IUCN等级和标准, 缺乏全面的系统研究。虽然我国早在20世纪80年代就开展了动、植物的大规模评估工作, 并进行多次修改, 然而我国对大型真菌受威胁状况进行的评估报道仅见于21世纪初。魏江春等(2000)首次采用IUCN标准, 对我国44种地衣的受威胁状况进行评估, 指出其中38种处于易危、濒危或极危的状态。刘培贵等(2003)分析了我国大型真菌生物多样性的关键类群, 并依据动、植物的划分方法, 将大型真菌分为濒危类群、重大科学价值类群和重要经济类群等3种类型。图力古尔和戴玉成(2004)采用IUCN标准对长白山食药木腐真菌的受威胁状况进行了评估, 30个被评估物种中有野外灭绝2种、极危3种、濒危5种、易危5种。范宇光和图力古尔(2008)对长白山保护区受威胁大型真菌进行量化评价, 涉及38种, 其中极危2种、濒危4种、易危10种、近危9种、无危13种。戴玉成等(2010)参考欧洲真菌保护标准将分布于我国20个省区的48种多孔菌列为濒危物种。魏铁铮和姚一建(2010)根据IUCN物种红色名录评估等级和标准提出我国受威胁大型真菌物种有137种, 包括子囊菌14种, 担子菌123种; 其中濒危54种、易危54种、近危29种。随后就我国菌物红色名录编制问题作了进一步的探讨(魏铁铮和姚一建, 2012)。王术荣(2014)通过对西藏地区(主要包括拉萨、林芝、色季拉山和波密)大型真菌进行抽样调查和信息统计, 初步建立了濒危物种的评价体系。王薇和图力古尔(2014)和王建瑞等(2015)采用层次分析(Analytic Hierachy Process, AHP)和专家咨询相结合的方法分别对长白山地区和山东省的大型真菌进行了优先保护评价。

2000年以来, 我国学者对大型真菌受威胁状况的评估工作进行了有益的探讨。然而, 已开展的这些评估工作所涉及的物种数量不多, 采用的评估体系和评估标准也不尽相同, 所涉及的地理区域大多比较狭窄, 难以反映我国大型真菌的整体生存状况。

在我国已报道的大型真菌中, 除了食药菌以外, 还有大量具有重要经济和生态价值的种类, 在食品、医药和环保等领域具有良好的开发前景。近年来, 由于生态系统的破坏和资源的无序开发, 我国菌物资源正面临着巨大的威胁。冬虫夏草年产量已经明显下降, 许多原产地已经很少发现其踪迹。黑龙江省是我国松口蘑(*Tricholoma matsutake*)的主产地之一, 全省松口蘑年产量从20世纪90年代到2010年的十余年间下降了44% (冯磊等, 2014)。内蒙古草原上的蒙古白丽蘑(*Leucocalocybe mongolica*)因掠夺性采集, 产量明显减少、遗传多样性降低(Lu et al, 2018)。迄今为止, 国内只有冬虫夏草和松口蘑两个物种被列入国家二级保护物种名录, 大部分菌物受威胁状况不明, 菌物资源丧失的趋势未被遏制。因此, 亟需开展我国菌物红色名录编制工作, 澄清菌物资源受威胁现状, 为我国菌物资源的保护与管理提供依据, 为履行《生物多样性公约》提供技术支撑。

2016年, 生态环境部(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》的编制工作。本项目基于已有菌物分类学研究基础, 充分利用我国菌物名录和菌物标本馆为核心的菌物资源平台, 借鉴国际经验, 对中国大型真菌的受威胁状况进行了全面的评估, 编制了物种红色名录, 为菌物资源保护与管理提供依据。

4 中国大型真菌红色名录评估的结果意义

4.1 评估结果

由于IUCN红色名录评估等级和标准不完全适用于大型真菌, 本次评估对IUCN评估标准体系做了必要的调整, 并建立了中国大型真菌红色名录评估等级和标准(王科等, 2020a), 并依此开展评估。经对我国已知的大型真菌物种拉丁和汉语学名进行了全面的整理、核对和订正后, 确定被评估的中国大型真菌有9,302种, 包括大型子囊菌870种、大型担子菌6,268种、地衣型真菌2,164种(王科等, 2020b)。评估结果显示: 中国大型真菌属于疑似灭绝(PE)的1种、极危(CR)的9种、濒危(EN)的25种、易危(VU)的62种、近危(NT)的101种、无危(LC)的2,764种、数据不足(DD)的6,340种(表1)。未评出可确认为灭绝(EX)和野外灭绝(EW)的物种。本次评估结果表明, 中国大型真菌受威胁物种(包括疑似灭绝、极危、濒危、易危)共97个, 占被评估物种总数

的1.04%。受威胁、近危以及数据不足的物种均为需要关注和保护的物种。综上,中国需关注和保护的大型真菌达6,538种,占被评估物种总数的70.29%。

评估结果揭示了大型真菌受威胁的主要原因。过度采挖和开发利用,以及不良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首要受威胁因素。此外,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。

与芬兰、瑞典等欧洲国家已发布的菌物红色名录比较,本次评估受威胁物种的数量和比例较低,数据不足的数量和比例较高。其原因主要在于:(1)中国大型真菌分类学研究基础较弱,物种名称鉴定的准确性有待提升。分类学是生物多样性红色名录评估的基础,而我国大型真菌的现代分类研究起步远远落后于西方国家,我国的不少真菌物种有待深入研究和界定。(2)物种研究的基础数据不足。大型真菌研究数据信息的积累是红色名录评估的基础,我国大型真菌缺乏足够的野外考察和长期监测,大量物种因缺乏有效数据无法确定评估等级。

与我国已发布的《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》和《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》相比,本次评估的大型真菌受威胁的物种比例(1.04%)远低于植物和动物受威胁的比例(分别为10.9%和21.4%),而数据不足的物种比例(68.16%)则显著高于植物和动物(分别为10.5%和

21.6%)。这表明我国大型真菌的研究基础和数据积累相对于高等植物和脊椎动物存在着较大差距。为了提高大型真菌红色名录评估的准确性和可靠性,必须加大其分类学研究的力度,同时应开展物种调查和监测工作。

4.2 意义

本次大型真菌红色名录评估涉及的类群、物种数量、地理范围和参与的研究人员数量是世界上规模最大的一次,对大型真菌多样性保护与管理将产生深远影响,为相关管理部门和地方政府制定大型真菌保护政策和规划提供科学依据。主要意义有:

第一,红色名录为大型真菌就地保护和迁地保护规划布局提供了科学依据。本次评估结果显示,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。除了极少数针对某一特定物种的保护区,如天佛指山国家级自然保护区(保护松口蘑及其生态系统)、小金县冬虫夏草自然保护区(地区性保护区),绝大多数保护区未将大型真菌纳入保护范畴,大型真菌的保护几近空白。掌握大型真菌受威胁物种的地理分布和种群现状,对合理布局大型真菌自然保护地体系具有重要意义。对于就地保护无法达到保护目的的物种,应加强迁地保护的菌种资源保藏工作。

第二,红色名录为制定大型真菌保护行动和保护名录提供了基础数据。本次评估明确了中国大型真菌的受威胁现状和应该重点保护和关注的物种,有助于确定中国大型真菌保护优先顺序,确定重点

表1 中国大型真菌红色名录评估结果

Table 1 Results of the red list assessment of macrofungi in China

| 评估等级 Categories | 类群 Taxa | | | 总物种数 Total species (%) |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| | 大型子囊菌 Macro-ascomycetes | 大型担子菌 Macro-basidiomycetes | 地衣型真菌 Lichens | |
| 灭绝 Extinct (EX) | 0 | 0 | 0 | 0 (0) |
| 野外灭绝 Extinct in the Wild (EW) | 0 | 0 | 0 | 0 (0) |
| 疑似灭绝 Possibly Extinct (PE) | 1 | 0 | 0 | 1 (0.01) |
| 极危 Critically Endangered (CR) | 6 | 0 | 3 | 9 (0.10) |
| 濒危 Endangered (EN) | 3 | 15 | 7 | 25 (0.27) |
| 易危 Vulnerable (VU) | 14 | 30 | 18 | 62 (0.67) |
| 近危 Near Threatened (NT) | 41 | 54 | 6 | 101 (1.09) |
| 无危 Least Concern (LC) | 189 | 1,918 | 657 | 2,764 (29.71) |
| 数据不足 Data Deficient (DD) | 616 | 4,251 | 1,473 | 6,340 (68.16) |
| 总数 Total | 870 | 6,268 | 2,164 | 9,302 (100) |

保护物种和保护区域,也为国家和地方制定物种保护策略提供依据。例如,一些虫草类、块菌等食、药用菌物种受到严重的威胁,应该作为重点类群加以保护;云南、四川不仅大型真菌多样性最为丰富,而且也是受威胁大型真菌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的地区。

第三,红色名录为开展全国物种资源本底调查提供了理论基础。本次评估中数据不足的物种比例较高,表明我国大型真菌物种资源的本底还很不清楚,迫切需要开展物种资源本底调查,摸清我国大型真菌的分布、数量和受威胁状况,为生物多样性保护与管理提供科学支撑。

第四,红色名录为开展科普教育提供了基本信息和重要素材。大型真菌红色名录不仅明确了中国大型真菌物种的受威胁现状,也在一定程度上反映了中国大型真菌的多样性现状及其分布,是开展菌物多样性科普教育的重要素材。同时大型真菌红色名录还提出了物种保护的具体措施,不仅有利于提高公众保护意识,也利于更多的菌物爱好者更有效地参与到大型真菌的保护工作中来。

第五,红色名录是中国积极履行《生物多样性公约》的具体行动。2010年《生物多样性公约》第十次缔约方大会通过了《2020年全球生物多样性爱知目标》,要求各缔约方完成生物多样性的评价、保护和恢复工作。目前,中国是世界上为数不多的对全国范围大型真菌开展全面评估的国家。通过本次红色名录的编制,我国在大型真菌生物多样性评价方面已经先行一步,使我国在履行《生物多样性公约》方面走在世界各国的前列。

参考文献

- Bau T, Dai YC (2004) Diversity and conservation of main wood-rotting fungi in Changbai Mountains. *Journal of Fungal Research*, 2(2), 26–30. (in Chinese with English abstract) [图力古尔, 戴玉成 (2004) 长白山主要食药用木腐真菌多样性及其保育. *菌物研究*, 2(2), 26–30.]
- China Business Research Institute (2017) Market Research Report of Edible Fungi Industry in China of the Year 2017. (in Chinese) [中商产业研究院 (2017) 2017年中国食用菌产业市场前景研究报告.] <http://www.askci.com/news/channel/20171215/175617114071.shtml>. (accessed on 2018-11-12)
- 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, 50e64.
- Dai YC, Cui BK, Yuan HS, Wei YL (2010) 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 (2010) 中国濒危的多孔菌. *菌物学报*, 29, 164–171.]
- 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.]
- Fang R, Kirk P, Wei JC, Li Y, Cai L, Fan L, Wei TZ, Zhao RL, Wang K, Yang ZL, Li TH, Li Y, Phurbu-Dorji, Yao YJ (2018) Country focus: China. In: *State of the World's Fungi. Report* (ed. Willis KJ), pp. 48–55. Royal Botanic Garden, Kew.
- Feng L, Yao HW, Xie CY, Zhang XY (2014) Research on resources and protection methods of *Tricholoma matsutake* in Heilongjiang Province. *Forest By-Product and Speciality in China*, (2), 67–68. (in Chinese) [冯磊, 么宏伟, 谢晨阳, 张学义 (2014) 黑龙江省松茸资源现状及保护方法研究. *中国林副特产*, (2), 67–68.]
- IUCN (2012a) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels, Version 4.0. iii + 41pp. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN (2012b) IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. 2nd edition, iv + 32pp. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2016) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria, Version 12. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>. (accessed on 2016-09-08)
- 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, 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, 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, Bao HY, Bau T (2018) Genetic diversity and population structure of endemic mushroom *Leucocalocybe mongolica* in Mongolian Plateau uncovered by EST-SSR markers. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32, 1195–1204.
- Senn-Irlet B, Heilmann-Clausen J, Genney D, Dahlberg A (2007) Guidance for the Conservation of Macrofungi in

- Europe. Document prepared for the Directorate of Culture and Cultural Heritage, Council of Europe. Document T-PVS (2007) 13 (rev). Strasbourg 17 Oct. 2007. https://www.wsl.ch/eccf/Guidance_Fungi.pdf. (accessed on 2018-02-09)
- 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.]
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020a) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. *生物多样性*, 28, 11–19.]
- Wang K, Zhao MJ, Su JH, Yang L, Deng H, Wang YH, Wu HJ, Li Y, Wu HM, Wei XD, Wei TZ, Cai L, Yao YJ (2020b) The use of Checklist of Fungi in China database in the Red List Assessment of Macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 74–98. (in Chinese with English abstract) [王科, 赵明君, 苏锦河, 杨柳, 邓红, 王永会, 吴海军, 李熠, 吴红梅, 卫晓丹, 魏铁铮, 蔡磊, 姚一建 (2020b) 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用. *生物多样性*, 28, 74–98.]
- Wang SR (2014) Studies on Macrofungi Diversity in Alpine Forest Regions of Tibet. PhD dissertation, Northeast Normal University, Changchun. (in Chinese with English abstract) [王术荣 (2014) 西藏高寒森林地区大型真菌多样性研究. 博士学位论文, 东北师范大学, 长春.]
- Wang W, Bau T (2015) Diversity of mycobiota and ecology distribution of macrofungi in Changbai Mountain. *Journal of Jilin Agricultural University*, 37, 26–36. (in Chinese with English abstract) [王薇, 图力古尔 (2015) 长白山地区大型真菌的区系组成及生态分布. *吉林农业大学学报*, 37, 26–36.]
- Wang WJ, Wang K, Wang XL, Li Y, Yao YJ (2018) Investigation on natural resources and species conservation of *Ophiocordyceps sinensis*, the famous medicinal fungus endemic to the Tibetan Plateau. *Protein Cell*, 98, 671–673.
- 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 (2010) Fungi diversity and conservation in China—A preliminary red list of macrofungi. In: Abstract of the 9th Biodiversity Conservation and Sustainable Use Symposium (ed. Chinese National Committee for DIVERSITAS), pp. 94–95. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese) [魏铁铮, 姚一建 (2010) 中国菌物多样性保护——大型真菌初步红色名录. 见: 第九届生物多样性保护与持续利用研讨会论文集(国际生物多样性计划中国委员会编), 94–95页. 中国气象出版社, 北京]
- 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 (ed. Chinese National Committee for DIVERSITAS), 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(国际生物多样性计划中国委员会编), 213–219页. 中国气象出版社, 北京.]
- Yan YJ, Li Y, Wang WJ, He JS, Yang RH, Wu HJ, Wang XL, Jiao L, Tang ZY, Yao YJ (2017) Range shifts in response to climate change of *Ophiocordyceps sinensis*, a fungus endemic to the Tibetan Plateau. *Biological Conservation*, 206, 143–150.

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 时意专)



•方法•

中国大型真菌红色名录评估方法和程序

王科^{1,2} 刘冬梅³ 蔡蕾⁴ 吴海军^{1,2} 李熠^{1,5} 魏铁铮¹ 王永会^{1,2}
 吴红梅^{1,2} 卫晓丹^{1,2} 李斌斌^{1,2} 李俊生^{3*} 姚一建^{1*}

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

3 (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)

4 (生态环境部自然生态保护司, 北京 100035)

5 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 在中国大型真菌红色名录评估过程中, 根据大型真菌与动植物在生物学特性上的差异, 对IUCN物种红色名录标准做了适当调整, 形成了“中国大型真菌红色名录评估等级与标准”, 即: (1)依据可见的分布地点和子实体数量来估计、推测或判断种群的波动以及种群成熟个体数量的变化; (2)以一定的时间段代替世代时长来计算种群的变化情况; (3)将“疑似灭绝”作为一个独立的评估等级。评估基本数据来自于中国菌物名录数据库、真菌分类文献资料和专家咨询, 评估过程包括任务分工、数据收集、评估物种确定、建立评估表、初评、专家评审和编制红色名录等步骤, 最终完成《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制。

关键词: IUCN; 红色名录等级和标准; 疑似灭绝; 大型真菌; 评估过程

Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China

Ke Wang^{1,2}, Dongmei Liu³, Lei Cai⁴, Haijun Wu^{1,2}, Yi Li^{1,5}, Tiezheng Wei¹, Yonghui Wang^{1,2}, Hongmei Wu^{1,2}, Xiaodan Wei^{1,2}, Binbin Li^{1,2}, Junsheng Li^{3*}, Yijian Yao^{1*}

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

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

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

5 School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

Abstract: In The Red List Assessment of Macrofungi in China project, the IUCN Red List Categories and Criteria were adjusted according to differences in biological characteristics among plants, animals, and macrofungi. The adjustments are as follows: (1) population fluctuation and mature population members were estimated according to visible distribution and fruiting bodies, (2) a certain time period (rather than generation time) was used to calculate population change, (3) Possibly Extinct was added as an additional threatened category. The assessed data was based on the Checklist of Fungi in China database, fungal taxonomy literature, and expert consultation. Lastly, the Red List of China's Biodiversity—Macrofungi was compiled via task assignment, data collection, assessed species verification, initial assessment, expert assessment, and red list compilation.

Key words: IUCN; red list categories and criteria; Possibly Extinct; macrofungi; assessment procedure

世界自然保护联盟(IUCN)物种红色名录评估等级与标准是评价生物物种受威胁程度和灭绝风

险的最好系统之一, 在世界各国得到广泛应用(Miller et al, 2007)。2016年, 原环境保护部联合中国

收稿日期: 2019-05-23; 接受日期: 2019-07-09

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

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

科学院启动了“中国大型真菌红色名录评估”项目,此次评估根据大型真菌的特点,对IUCN等级和标准做了必要的调整,形成“中国大型真菌红色名录评估等级和标准”,并以此为基础开展评估工作,基本步骤包括数据收集、初评、专家评审、编制红色名录等。

1 IUCN评估等级与标准及其修订

本次评估主要依据*IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1* (IUCN, 2012a)、*Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria Version 12* (IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2016)和*Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0* (IUCN, 2012b)。

IUCN红色名录(3.1版)将物种濒危等级分为以下9个: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)和未予评估(Not Evaluated, NE)。

按照IUCN红色名录的等级和标准,灭绝(EX)和野外灭绝(EW)需要有可靠的证据判定物种的最后一个个体或野外的最后一个个体已经死亡。与动植物不同,大型真菌在几年甚至是上百年内都没有任何采集或观察记录,也并不代表该物种已经灭绝,因此难以以子实体的出现情况来判断大型真菌物种的存在与否。大型真菌往往只在生活史中很短的一段时间里,在条件适宜的情况下才产生肉眼可见的子实体,而大部分时间则以孢子、菌丝、菌索、菌核等形式存在于土壤、水体、空气以及动植物的活体或残体上,并可能在很长时期内都不产生子实体。即使产生了子实体,大型真菌的个体也明显偏小,很难引起注意。加之专业研究人员不足,难以在有限的时间内发现这些物种。要确认大型真菌物种是否已经灭绝,需要组织专业人员对其原产地及可能的生境开展针对性的深入调查研究。除了采集子实体标本,还需要对生境中的菌丝体进行检测,然后才能对物种灭绝与否做出判断。

“疑似灭绝”(Possibly Extinct, PE)在*Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria*

*Version 12*中被用作“极危”等级的一个标识。针对大型真菌的特点,本次评估将其作为单独的红色名录评估等级,用于评定长期未被发现但又不能确凿证明其已经灭绝或野外灭绝的大型真菌物种。根据*Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria Version 12*中关于疑似灭绝的说明,这个评估等级仍然属于受威胁的范畴(IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2016)。

疑似灭绝(PE): 如果对某一分类单元已知和可能的栖息地经过长期(100年,包括不同年度和季节)观察和全面调查,未发现任何一个个体,但也没有确切证据表明其最后一个个体已经死亡,即认为该分类单元属于疑似灭绝。

大型真菌的生物学特性与动植物显著不同。许多动植物具有较为稳定的世代时长,而大型真菌的世代往往不明确,也没有固定时长。在外界条件不适合的情况下,大型真菌能够以各种形式蛰伏几年、几十年甚至更长的时间;而且很多种类在形成子实体后,其菌丝体还可以在地下存活很长时间,真菌的一个个体甚至可生存数千年(Smith et al, 1992)。所以在本评估中采用一定的时间段代替世代时长来计算大型真菌种群的变化,并对IUCN物种红色名录评估标准进行了调整。在使用标准A和C1进行评估时,采用较长的时间段“30年内”来代替原有的“10年内或3代内”来观测、估计、推断或猜测大型真菌种群在过去的变化。相应地,标准C1中“5年或2代内”和“3年或1代内”也分别调整为“15年内”和“10年内”。

此外,大型真菌的个体数量以及成熟个体数量等统计工作很难进行,在评估中难以直接作为判断等级的依据。因此,本次评估通过计算大型真菌物种的分布范围以及观测到的子实体数量来估计、推测或判断其数量,并较多地使用了标准B。涉及个体数量、小种群的标准C1、C2和D1等比较少用或不用。限于现有的数据和资料,需要定量分析的标准E在本次评估中也未使用。

2 中国大型真菌红色名录评估等级与标准

本次评估对中国已知的大型真菌均进行了评估,故不设未予评估等级。评估所采用的等级和标准见图1和表1。

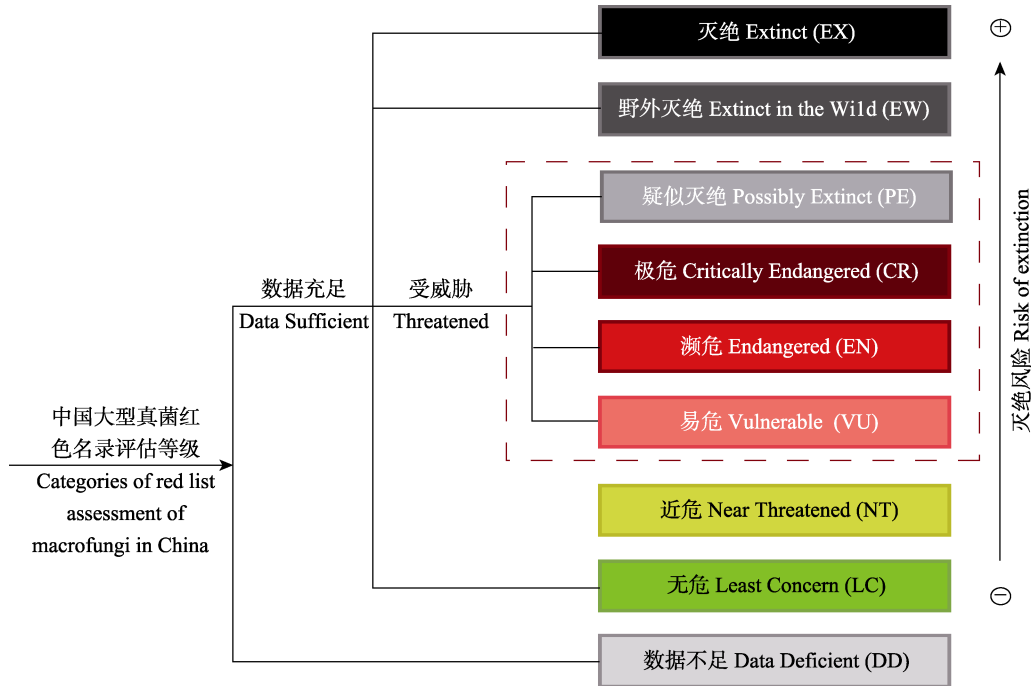


图1 中国大型真菌红色名录评估等级体系
Fig. 1 Categories of red list assessment of macrofungi in China

表1 中国大型真菌红色名录等级评估标准
Table 1 Criteria of red list assessment of macrofungi in China

| A: 种群 ¹ 减少。基于A1到A4中任何一种在30年内种群减少 Population ¹ size reduction. Population reduction (measured over the longer of 30 years) based on any of A1 to A4 | | | |
|---|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU |
| A1 | ≥ 90% | ≥ 70% | ≥ 50% |
| A2, A3 & A4 | ≥ 80% | ≥ 50% | ≥ 30% |
| A1: 通过观测、估计、推断或猜测, 种群在过去有所减少, 其致危因素是可逆转的、可理解并能终止的。Population reduction observed, estimated, inferred, or suspected in the past where the causes of the reduction are clearly reversible and understood and have ceased. A2: 通过观测、估计、推断或猜测, 种群在过去有所减少, 其致危因素是不能逆转、不能理解、也不能终止的。Population reduction observed, estimated, inferred, or suspected in the past where the causes of reduction may not have ceased or may not be understood or may not be reversible. A3: 通过观测、估计、推断或猜测, 种群在未来(最长100年内)有所减少[(a)不能用于A3]。Population reduction projected, inferred or suspected to be met in the future (up to a maximum of 100 years) [(a) cannot be used for A3]. A4: 通过观测、估计、推断或猜测, 种群必须在过去和未来(最长100年内)都有所减少, 其致危因素是不能逆转、不能理解也不能终止的。An observed, estimated, inferred, projected or suspected population reduction where the time period must include both the past and the future (up to a max. of 100 years in future), and where the causes of reduction may not have ceased or may not be understood or may not be reversible. | | | |
| B: 地理分布范围减少, 或具有少数地点、严重破碎或种群波动 Geographic range in the form of either B1 (extent of occurrence) and/or B2 (area of occupancy) | | | |
| | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU |
| B1: 分布区 Extent of occurrence (EOO) ² | < 100 km ² | < 5,000 km ² | < 20,000 km ² |
| B2: 占有面积 Area of occupancy (AOO) ³ | < 10 km ² | < 500 km ² | < 2,000 km ² |
| 以下3个条件中至少满足2条 And at least 2 of the following 3 conditions: | | | |
| (a) 生境严重破碎或已知分布点数 Severely fragmented or number of locations | = 1 | ≤ 5 | ≤ 10 |

表 1 (续) Table 1 (continued)

(b) 以下条件中任一下降或减少 Continuing decline observed, estimated, inferred or projected in any of:

(i) 分布范围 Extent of occurrence; (ii) 占有面积 Area of occupancy; (iii) 生境面积、范围和/或质量 Area, extent and/or quality of habitat; (iv) 地点或亚种群的数目 Number of locations or subpopulations; (v) 成熟个体数 Number of mature individuals。

(c) 以下条件中任一极度波动 Extreme fluctuations in any of:

(i) 分布范围 Extent of occurrence; (ii) 占有面积 Area of occupancy; (iii) 生长地点数或亚种群数 Number of locations or subpopulations; (iv) 成熟个体数 Number of mature individuals。

C: 小种群且在衰退 Small population size and decline

| | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU |
|--|--|--|--|
| 成熟个体 ⁴ 数量 Number of mature individuals | < 250 | < 2,500 | < 10,000 |
| C1和C2至少满足一个条件 And at least one of C1 or C2 | | | |
| C1: 估计持续下降的幅度 An observed, estimated or projected continuing decline of at least: | 10年内持续下降至少25% At least continuous 25% decline within 10 years | 15年内持续下降至少20% At least continuous 20% decline within 15 years | 30年内持续下降至少10% At least continuous 10% decline within 30 years |
| C2: 持续下降, 且符合以下至少1个条件 An observed, estimated, projected or inferred continuing decline and at least 1 of the following 3 conditions: | | | |
| (a) (i) 每个亚种群成熟个体数 Number of mature individuals in each subpopulation | < 50 | < 250 | < 1,000 |
| (ii) 一个亚种群个体数占总数的百分比 Percentage of mature individuals in one subpopulation | 90%–100% | 95%–100% | 100% |
| (b) 成熟个体数量极度波动 Extreme fluctuations in the number of mature individuals | | | |

D: 小种群或局限分布 Very small or restricted population

| | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU |
|--|-------|-------|---|
| D1: 种群成熟个体数 Number of mature individuals | < 50 | < 250 | < 1,000 |
| D2: 易受人类活动影响, 可能在极短时间成为极危, 甚至灭绝 Only applies to the VU category restricted area of occupancy or number of locations with a plausible future threat that could drive the taxon to CR or EX in a very short time | | | 种群占有面积 < 20 km ² 或地点 < 5 个 Typically: AOO < 20 km ² or number of locations ≤ 5 |

E: 定量分析 Quantitative analysis

| | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU |
|--|---|---|------------------------------|
| 使用定量模型评估野外灭绝率 Indicating the probability of extinction in the wild to be: | ≥ 50% (今后10年或三代内 In 10 years or 3 generations, whichever is longer) | ≥ 20% (今后20年或五代内 In 20 years or 5 generations, whichever is longer) | ≥ 10% (今后100年内 In 100 years) |

1 种群及种群大小: 红色名录中所谓种群有其特殊意义, 不同于生物学上一般的用法。在此定义为一个分类群的总个体数。

2 分布区: 一个分类群除流浪者(vagrancy)外, 所有已知、推论或预测位置的最短连续影像边界所包含的区域。分布区域的度量可排除此分类群全部分布范围内不连续或跳跃的部分(例如明显不适合的栖息地)。分布区域通常可用最小凸多边形(minimum convex polygon)度量。

3 实际占有面积: 一个分类群除流浪者外在其分布区域内实际占有的面积。一个分类群在其分布区域内可能包含不适合或未占据的栖息地, 故通常不会遍布其分布区域。实际占有面积的大小为度量尺度的函数, 应考虑与分类群相关的生物学、威胁的性质以及可用的数据以选择适当的尺度。

4 成熟个体: 指已知、估计或推测的具有生殖能力的个体数。

1 The term 'population' is used in a specific sense in the Red List Criteria that is different to its common biological usage. Population is here defined as the total number of individuals of the taxon.

2 Extent of occurrence is defined as the area contained within the shortest continuous imaginary boundary which can be drawn to encompass all the known, inferred or projected sites of present occurrence of a taxon, excluding cases of vagrancy. This measure may exclude discontinuities or disjunctions within the overall distributions of taxa (e.g. large areas of obviously unsuitable habitat). Extent of occurrence can often be measured by a minimum convex polygon.

3 Area of occupancy is defined as the area within its 'extent of occurrence' which is occupied by a taxon, excluding cases of vagrancy. The measure reflects the fact that a taxon will not usually occur throughout the area of its extent of occurrence, which may contain unsuitable or unoccupied habitats. In some cases, the area of occupancy is the smallest area essential at any stage to the survival of existing populations of a taxon. The size of the area of occupancy will be a function of the scale at which it is measured and should be at a scale appropriate to relevant biological aspects of the taxon, the nature of threats and the available data.

4 The number of mature individuals is the number of individuals known, estimated or inferred to be capable of reproduction.

3 操作程序

3.1 评估分工

本次评估设立项目组、咨询专家组和评估专家组。项目组承担项目的组织和实施,并撰写评估报告。咨询专家组对整个评估过程进行指导,审定评估对象、评估方法、标准使用、数据来源等重要问题。评估专家组对评估名单进行审核、提出评估意见、讨论审定有关物种的受威胁等级。

项目组分地衣型真菌、大型子囊菌和大型担子菌3个课题组,分别由中国科学院微生物研究所魏江春院士、庄文颖院士和姚一建研究员负责。咨询专家组由9位权威专家组成。评估专家组由国内20余个单位的130多位专家组成(姚一建, 2020)。

3.2 收集数据

本次大型真菌红色名录评估的主要信息来源为中国菌物名录数据库、相关文献资料及向各类群专家咨询的信息。收集的文献资料主要涉及大型真菌的新种报道、物种分布、生态、保护及资源利用等。此外,相关领域的专家结合自身的研究成果和经验,提供其研究类群的最新信息,包括物种的分类信息、种群数量和趋势、野外生境状况、威胁因素、利用状况和保护现状等。

通过对上述数据进行整理和归纳,形成了中国大型真菌物种信息表。信息表包括物种评估所需的分类地位、地理分布、种群、野外生境状况、物种利用、受威胁状况和原因分析、保护和繁育、威胁因素,以及利用方式和保护现状等方面的信息。

3.3 确定评估对象

大型真菌是指能形成肉质、胶质或其他质地的子实体或菌核的各类真菌,是按照个体大小人为划分的,而不是系统学上的自然类群。大型真菌在基质上或地下形成子实体,其大小肉眼足以辨识,可徒手采摘。大型真菌很多种类具有较高的营养和药用价值,是菌物中最具有开发应用前景的重要类群。本次大型真菌类群的选定,经由专家初步划定,然后查阅各种文献信息,辅之以搜索图片,最终确定评估对象。

中国大型真菌红色名录评估涉及的数据资料以中国菌物名录数据库(<http://www.fungalinfo.net>)为基础。通过广泛征求各类群研究专家意见,在数据库中选择地衣型真菌、大型子囊菌和大型担子菌

类群,共收集到14,511个物种名称,参考Index Fungorum数据库(<http://www.indexfungorum.org>)的信息对物种学名进行订正。随后根据中国菌物名录数据库中的数据,对各类群的相关文献资料和信息进行整理、核对和订正,排除分类学上存在疑问的名称和已被处理为同物异名的名称,在此基础上确定中国大型真菌红色名录评估对象。本次评估涵盖了我国9,302种大型真菌,其中大型子囊菌870种、大型担子菌6,268种、地衣型真菌2,164种,分属于2门14纲62目227科1,298属(王科等, 2020)。

评估对象分为广布种和中国特有种两类,分别采用相应的评估方式。中国特有种通过Index Fungorum数据库中的模式标本产地信息来确定,模式标本原产于中国且此后没有国外报道的物种为中国特有种。同时在其他国家分布的物种为广布种。仅在中国及周边国家分布的一些物种,由于局部分布,在评估中采取接近于中国特有种的评估方式。

3.4 建立评估表

大型真菌红色名录评估信息表主要包括分类地位、评估信息、地理分布、种群、生境、商业用途、威胁因子和保护行动等内容。“分类地位”栏的内容包括参评物种所属的界、门、纲、目、科、学名、汉语学名、照片、命名人、分类备注。依据中国大型真菌实际情况,在IUCN红色名录评估信息表的基础上添加汉语学名和照片两项内容,该栏大部分信息采用Index Fungorum提供的信息。“评估信息”栏的内容包括红色名录等级与标准、评估年限、评估日期、评定人、审定人、描述。中国大型真菌红色名录等级采用IUCN红色名录等级,评估标准以IUCN红色名录评估标准为参照,结合中国大型真菌地理分布情况形成符合我国国情的大型真菌红色名录评估标准。评估日期和评定人为实际评估的日期和评估人,审定人为全国参加实际评审的专家。描述为参评物种目前所处的状态,包括分类学问题、分布范围、栖息地情况、种群情况、人类活动影响等内容。“地理分布”栏内容包括分布区、分布国家,其中分布区主要为国内的分布情况,分布国家为参评物种的世界分布情况,该栏内容根据中国菌物名录数据库中的信息汇总而成。“种群”栏内容包括种群数量、种群趋势和附加信息,该栏的信息在大部分大型真菌中较难判断,因此大多为“未知”,如有可靠参考资料则按其信息来源填写。“生

境”栏内容包括生境、生态系统、世代年限, 主要由中国菌物名录数据库提供。“商业用途”栏体现参评物种的商业用途, 也由中国菌物名录数据库提供。“威胁因子”栏填写主要的威胁因子, 即参评物种目前可能会受到的威胁, 该栏是对评估信息的整理汇总。“保护行动”栏提供参评物种目前所处的状况以及针对所受的威胁因子而采取的 necessary 保护措施, 在评估过程中整理总结(附录1)。

3.5 初步评估

本项目3个课题组依据中国菌物名录数据库中提取的信息, 结合地衣型真菌、大型子囊菌和大型担子菌自身特点, 以及我国资源研究和保护现状, 参照前文所述的中国大型真菌红色名录评估等级与标准, 拟定具体实施方法, 对相关物种逐一进行评估。

根据 IUCN 物种红色名录评估等级和标准 (IUCN, 2012a), 按照大型真菌各个参评物种的地理分布情况, 将大型真菌分为单一分布、分散分布和集中分布。

初步评估主要采用了“初步筛选归类”和“逐一分析评估”相结合的方式。“初步筛选归类”主要是根据大型真菌在中国的分布记录, 以单一分布(县级行政区域)、分散分布、集中分布三种类型结合中国特有种和世界广布种(或区域分布种)的划分对物种进行初步评估。“逐一分析评估”是基于初筛的结果, 对需要全面分析的大型真菌进行逐一评估。

(1) 单一分布

a. 仅分布于1个县级行政区域且为中国特有种, 则其受威胁等级初步评为近危或以上。

b. 仅分布于1个县级行政区域且为世界广布种(或区域分布种), 则将其评为数据不足。

(2) 分散分布

a. 分布于2个及以上县级行政区, 并且各分布点(县)之间的距离较大或分跨不同的省份, 则将其初步评为无危。

b. 包括世界广布种(或区域分布种)和中国特有种, 除非有明确证据表明其分布面积在缩小、种群在衰退, 均初步评为无危。

(3) 集中分布

分布于2个及以上县级行政区, 并且2个分布点(县)或多个点(县)集中分布在同一地区或同一省份内:

a. 评估物种为中国特有种或分布报道记录仅在1973年以前, 其受威胁等级初步评为近危或以上。

b. 若评估物种为世界广布种(或区域分布种), 则将其评为数据不足。

c. 若为10年以内发表的新种, 除特别说明外, 一般列为数据不足。

对上述初步筛选归类过程中被列为近危及受威胁程度更高的物种, 依据中国大型真菌红色名录等级和标准进行深入的分析评估, 确定初评等级。根据初步评估的结果形成了《中国大型真菌红色名录初评等级》, 提供给评估专家组进行通讯评审。

3.6 建立评估网站

项目工作组为中国大型真菌红色名录评估项目建立了专门的网站(http://124.16.146.175:8081/revise_system/portal.php), 并根据评审工作中数据信息公开情况分为目前可公开和不公开两类内容, 可公开内容设在“中国大型真菌红色名录评估项目”网站, 评审专家以及对评审工作感兴趣的人士可随时浏览此网站中的相关内容。该网站首页报道项目最新进展情况(图2)。同时可通过首页右侧链接进入“中国大型真菌红色名录评审系统”, 登录后进入评审界面(图3)。评审专家可通过其中的“评估列表”、“评估流程”、“标准与方法”、“评估类群”、“评估指南”等栏目获取相关信息和评估指导。此外, 评审系统的“联系我们”栏包含项目工作组地址、联系电话以及电子邮箱。项目工作组随时响应和解决评审专家在评审过程中提出的问题和遇到的困难。

项目工作组通过电子邮件和手机短信的形式给评审专家发送邀请函, 同时提供专家登入评估网页的用户名和密码, 供评审专家登录到“中国大型真菌红色名录评审”界面。专家可通过“评估列表”查看需要评审和已经评审过的物种列表。进行评审时, 在需要评审的物种列表中继续点击“评审”按钮即进入其对应物种的“物种评估信息表”。对物种进行评审和修改后, 点击“保存”按钮即可存储评审结果。当对某一物种无法进行可靠的评审时, 专家可在相应的参评物种列表操作列中点击“删除”按钮, 将该物种退回项目工作组。在完成评审后, 点击“提交”按钮, 即可正式提交已经保存的物种评估信息。

3.7 专家评审

每个物种的评估结果由参与初评以外的学者



图2 中国大型真菌红色名录评估网站首页
Fig. 2 Homepage of red list assessment of macrofungi in China website



图3 中国大型真菌红色名录评估网站评审系统
Fig. 3 Review system of red list assessment of macrofungi in China website

进行复查和审核。项目组邀请了咨询专家组和评估专家组的专家对初评结果进行评审, 完善评估依据, 补充评估信息, 以保证评估结果的准确性。

专家评审重点关注初评过程中被评为受威胁等级和近危的物种以及可能遗漏的受威胁物种。评审包括专家组通讯评审、专家咨询会议审议和专家

通讯复审等程序。

(1) 专家组通讯评审。借助所构建的评估网站, 依据专家组成员的研究领域, 针对各个物种的初步评估结果邀请相关专家进行通讯评审, 进一步补充评估信息, 完善评估依据。根据专家评审意见对大型真菌物种评估报告进行补充修改, 再请专家审核。经过通讯评审和补充修改, 汇总为大型真菌初步红色名录。

(2) 专家咨询会议审议。通过召开咨询会议, 邀请相关专家, 特别是关键类群的研究专家进行会议审议。来自全国20余个单位的60余位大型真菌研究专家参加了会审。根据评审专家的意见, 对评估结果进行修改和调整, 并补充相关信息, 完善评估结果。

(3) 专家通讯复审。邀请会审专家再次在评估网站进行复审, 核实受威胁物种的分类地位、分布情况、野外生境状况等信息, 进一步确认会审物种的受威胁等级。

3.8 编制红色名录和受威胁物种评估说明

在专家会审和专家通讯复审意见的基础上, 按照统一格式, 整理每个物种的信息, 编制形成《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》, 并就受威胁物种做出评估说明。受威胁物种评估说明的内容包括物种学名、中文名、科名、中文科名、评估结果(受威胁等级及标准)、受威胁因素、参考文献、图片、评估人、复核人等信息(附录1)。

4 展望

此次大型真菌红色名录评估依据本文所述的方法与流程开展, 取得了阶段性成果, 但实际操作当中仍存在问题 and 不足之处。项目组依照所收集的现有菌物信息、根据中国大型真菌红色名录评估标准提出了“初步筛选归类”的方法, 但受制于数据类型的限制, 这一方法的设计主要依据了标准B (表1), 而对其余4条标准参考较少。2019年, 全国范围的大型真菌多样性调查、观测与评估项目已逐步开展, 经由这项工作可获得丰富的大型真菌野外分布、种群变化等数据(李熠等, 2020)。在积累充足数据的基

础上, 大型真菌红色名录的评估方法可进一步补充和完善, 其评估结果也将能更准确地反映某一物种的受威胁状态。

参考文献

- IUCN (2012a) IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1, 2nd edn. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN (2012b) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels, Version 4.0. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2016) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria, Version 12. The Standards and Petitions Subcommittee. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf/>. (accessed on 2016-09-08)
- Li Y, Liu DM, Wang K, Wu HJ, Cai L, Cai L, Li JS, Yao YJ (2020) Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures. *Biodiversity Science*, 28, 66–73. (in Chinese with English abstract) [李熠, 刘冬梅, 王科, 吴海军, 蔡蕾, 蔡磊, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策. 生物多样性, 28, 66–73.]
- Miller RM, Rodríguez JP, Aniskowicz-Fowler T, Bambaradeniya C, Boles R, Eaton MA, Gärdenfors U, Keller V, Molur S, Walker S, Pollock C (2007) National threatened species listing based on IUCN criteria and regional guidelines: Current status and future perspectives. *Conservation Biology*, 21, 684–696.
- Smith ML, Bruhn JN, Anderson JB (1992) The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms. *Nature*, 356, 428–431.
- Wang K, Zhao MJ, Su JH, Yang L, Deng H, Wang YH, Wu HJ, Li Y, Wu HM, Wei XD, Wei TZ, Cai L, Yao YJ (2020) The use of Checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 74–98. (in Chinese with English abstract) [王科, 赵明君, 苏锦河, 杨柳, 邓红, 王永会, 吴海军, 李熠, 吴红梅, 卫晓丹, 魏铁铮, 蔡磊, 姚一建 (2020) 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用. 生物多样性, 28, 74–98.]
- Yao YJ (2020) Red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 1–3. (in Chinese) [姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估. 生物多样性, 28, 1–3.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 闫文杰)

附录1 物种评估信息表模板

Appendix 1 Template of assessed species information

云南假地舌菌 *Hemiglossum yunnanense*

| 分类地位 Taxonomy | | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| 界 Kingdom | 门 Phylum | 纲 Class | 目 Order | 科 Family |
| 真菌界 Fungi | 子囊菌门 Ascomycota | 锤舌菌纲 Leotiomycetes | 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertae sedis |
| 学名 Scientific Name | <i>Hemiglossum yunnanense</i> | | | |
| 汉语学名 Chinese Name | 云南假地舌菌 | | | |
| 命名人 Species Authority | Pat. | | | |
| 同物异名 Synonym(s) | = <i>Microglossum yunnanense</i> (Pat.) Sacc. | | | |
| 分类备注 Taxonomic Notes | 该物种为1890年基于采自云南大理的单一标本发表的新种, 目前全世界仅存一份标本, 此后100多年里再无新的采集记录。 | | | |
| 评估信息 Assessment Information | | | | |
| 红色名录等级及标准 Red List Category & Criteria | 疑似灭绝 PE | | | |
| 发布年份 Year Published | 2018 | | | |
| 评估日期 Date Assessed | 2016/9/27 | | | |
| 评定人 Assessor(s) | 庄文颖, 李熠 | | | |
| 审定人 Reviewer(s) | 徐阿生, 姚一建 | | | |
| 描述 Justification | 该物种自Patouillard (1890)发表后再没有被采集到。我国真菌学研究人员十分关注此物种, 多次前往模式产地(云南大理苍山)开展调查, 都未再发现。随着人类活动的影响和环境变迁, 该物种可能已处于极度濒危或更加危险的灭绝状态。本次评估将该物种列为“疑似灭绝(PE)”。该物种种群在过去减少的幅度可能超过90%, 栖息地质量下降, 分布面积 < 100 km ² , 生境严重破碎。 | | | |
| 地理分布 Geographic Range | | | | |
| 分布区 Range Description | 云南 | | | |
| 分布国家 Countries Occurrence | 中国 | | | |
| 分布图 Range Map | | | | |
| 种群 Population | | | | |
| 种群数量 Population Size | 减少 | | | |
| 种群趋势 Current Population Trend | 衰退 | | | |
| 附件信息 Additional Data | 无 | | | |
| 生境 Habitat and Ecology | | | | |
| 生境 Habitat and Ecology | | | | |
| 生态系统 Ecosystems | | | | |
| 世代年限 Generation Length (years) | | | | |
| 商业用途 Use and Trade | | | | |
| 商业用途 Use and Trade | 无 | | | |
| 威胁因子 Threats | | | | |
| 主要威胁因子 Major Threat(s) | 中国特有种, 分布区域狭小, 种群数量有限。 | | | |
| 保护行动 Conservation Actions | | | | |
| 保护行动 Conservation Actions | 该物种未被列入国家保护物种, 其分布地未被保护区覆盖。为了彻底澄清该物种的受威胁状态, 建议启动针对该物种的实地调查和监测, 并考虑必要的保护措施。 | | | |
| 参考文献 Citation | | | | |
| Patouillard NT (1890) Quelques champignons de la Chine récolté par M. l'abbé Delavay. Revue Mycologique Toulouse, 12, 133–136. | | | | |



•生物编目•

中国大型真菌受威胁物种名录

姚一建^{1*} 魏江春^{1*} 庄文颖^{1*} 魏铁铮¹ 李 熠² 魏鑫丽¹
 邓 红¹ 刘冬梅³ 蔡 蕾⁴ 李俊生³ 王 科^{1,5} 吴海军¹ 李斌斌¹
 王永会^{1,2} 卫晓丹¹ 吴红梅¹ 赵明君¹ 杨 柳¹ 苏锦河⁶ 钟 习⁷

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

3 (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)

4 (生态环境部自然生态保护司, 北京 100035)

5 (中国科学院大学, 北京 100049)

6 (集美大学, 福建厦门 361021)

7 (中国科学院计算技术研究所, 北京 100190)

为全面评估中国大型真菌受威胁状况, 原环境保护部联合中国科学院于2016年启动了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制工作。本次评估过程中制定了中国大型真菌红色名录评估等级与标准(王科等, 2020), 并依此开展评估工作。使用了以下评估等级: 灭绝(Extinct, EX)、野外灭绝(Extinct in the Wild, EW)、疑似灭绝(Possibly Extinct, PE)、极危(Critically Endangered, CR)、濒危(Endangered, EN)、易危(Vulnerable, VU)、近危(Near Threatened, NT)、无危(Least Concern, LC)和数据不足(Data Deficient, DD)。

此次评估以收集的文献资料为基础数据, 结合大型子囊菌、大型担子菌和地衣型真菌的特点以及我国资源研究和保护现状, 经过反复深入的探讨, 制定了与之相应的我国大型真菌红色名录的评估方法和程序: 即首先通过大规模的“初步筛选归类”方法评定初评等级, 然后针对需要特别关注的物种进行全面分析评估。评估过程包括任务分工、数据收集整理、建立评估表、初评、函评、会评、复审、

编制红色名录等步骤(王科等, 2020)。

按照上述步骤, 对我国分布的9,302种大型真菌(其中大型子囊菌870种、大型担子菌6,268种、地衣型真菌2,164种)受威胁状况进行了全面评估, 这些真菌分属于2门14纲62目227科1,298属。评估工作汇集了全国20余家单位140多位专家的智慧, 最终完成了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制工作, 并于2018年5月22日以中华人民共和国生态环境部、中国科学院2018年第10号公告形式正式发布(中华人民共和国生态环境部和中国科学院, 2018a, b)。

红色名录中评估结果为受威胁的大型真菌物种有97个, 包括疑似灭绝(PE) 1种、极危(CR) 9种、濒危(EN) 25种、易危(VU) 62种, 占被评估物种总数的1.04%。受威胁的大型真菌涉及子囊菌门和担子菌门的9纲24目40科63属, 其中大型子囊菌24种、大型担子菌45种、地衣型真菌28种。本文列出每个受威胁的大型真菌信息, 包含学名、中文名、特有性以及评估等级和标准等信息。

收稿日期: 2019-05-24; 接受日期: 2019-09-03

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: yaoyj@im.ac.cn; weijc2004@126.com; zhuangwy@im.ac.cn

Threatened species list of China's macrofungi

Yijian Yao^{1*}, Jiangchun Wei^{1*}, Wenyong Zhuang^{1*}, Tiezheng Wei¹, Yi Li², Xinli Wei¹, Hong Deng¹, Dongmei Liu³, Lei Cai⁴, Junsheng Li³, Ke Wang^{1,5}, Haijun Wu¹, Binbin Li¹, Yonghui Wang^{1,2}, Xiaodan Wei¹, Hongmei Wu¹, Mingjun Zhao¹, Liu Yang¹, Jinhe Su⁶, Xi Zhong⁷

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

2 *School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127*

3 *State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Eco-Process and Function Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012*

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

5 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

6 *Jimei University, Xiamen, Fujian 361021*

7 *Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*

To assess the overall threat status of macrofungi in China, the Ministry of Environmental Protection, allied with the Chinese Academy of Sciences, initiated a project compiling the Red List of China's Biodiversity—Macrofungi in 2016. Through this project, we formulated Categories and Criteria of Red List Assessment of Macrofungi in China and the following categories were applied in the assessment: Extinct (EX), Extinct in the Wild (EW), Possibly Extinct (PE), Critically Endangered (CR), Endangered (EN), Vulnerable (VU), Near Threatened (NT), Least Concern (LC), and Data Deficient (DD),

The information for assessing Red List of China's Biodiversity—Macrofungi was mainly collected from literature. According to the current understanding of macrofungi in China and the unique characteristics of macro-ascomycetes, macro-basidiomycetes and lichens, we formulated the methods and procedures for this assessment: initial assessed results were given using large scale scanning method; species grouped as NT or above in the preliminary scanning were subjected to a following full evaluation process. The "Red List of China's Biodiversity—Macrofungi" was finally compiled via task assignment, data collection, assessed species verification, initial assessment, expert

assessment, and red list compilation.

Brings together the wisdom of more than 140 experts from about 20 institutions, the threatened status of 9,302 macrofungal species (including 879 macro-ascomycetes, 6,268 macro-basidiomycetes and 2,164 lichenized fungi involving 2 phyla, 14 classes, 62 orders, 227 families and 1,298 genera) in China were assessed comprehensively. On May 22, 2018, the Red List of China's Biodiversity—Macrofungi was officially released in the form of the 10th Announcement of the Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China and the Chinese Academy of Sciences.

In the red list, 97 species, accounting for 1.04% of the total number of species evaluated, are under threatened, including 1 Possibly Extinct species, 9 Critically Endangered species, 25 Endangered species and 62 Vulnerable species, involving 9 classes, 24 orders, 40 families and 63 genera in both Ascomycota and Basidiomycota. Of the under threatened species, 24 are macro-ascomycetes, 45 macro-basidiomycetes and 28 lichenized fungi. This paper listed the threatened species of China's macrofungi containing the information of scientific name, Chinese name, endemic species or not, assessed categories and criteria.

中国大型真菌受威胁物种名录

按大型子囊菌、大型担子菌和地衣型真菌的科级分类系统排列, 各类群内按照字母顺序排列。PE: 疑似灭绝, CR: 极危, EN: 濒危, VU: 易危; *为特有种。

Threatened species list of China's macrofungi

The list contains threatened categories species of ascomycetes, basidiomycetes and lichens. Within each group, the species names are listed in alphabetical order of Latin names. PE, Possibly Extinct; CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; * Endemic species.

| 种名及分类归属 Species and classifications | 等级 Categories | 评估依据 Assessment criteria |
|---|---------------|-----------------------------------|
| 1 大型子囊菌 Ascomycetes | | |
| (1) 地舌菌科 Geoglossaceae | | |
| 粘地舌菌 <i>Glutinoglossum glutinosum</i> (Pers.) Hustad, A. N. Mill., Dentinger & P. F. Cannon | VU | B1ab(i, iii, iv)+2ab(ii, iii, iv) |
| 细小地舌菌 <i>Geoglossum pusillum</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(iii) |
| 景洪毛舌菌 <i>Trichoglossum cheliense</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 紊乱毛舌菌 <i>Trichoglossum confusum</i> E. J. Durand | EN | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 昆明毛舌菌 <i>Trichoglossum kunmingense</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 珀松毛舌菌 <i>Trichoglossum persoonii</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 罕见毛舌菌 <i>Trichoglossum rasum</i> Pat. | EN | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 中国毛舌菌 <i>Trichoglossum sinicum</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| 云南毛舌菌 <i>Trichoglossum yunnanense</i> F. L. Tai * | CR | B1ab(i, iii)+2ab(ii, iii) |
| (2) 未定科 Incertae sedis | | |
| 云南假地舌菌 <i>Hemiglossum yunnanense</i> Pat. * | PE | |
| (3) 羊肚菌科 Morchellaceae | | |
| 西藏羊肚菌 <i>Morchella tibetica</i> M. Zang * | VU | A2acd+3cd |
| (4) 线虫草科 Ophiocordycipitaceae | | |
| 老君山线虫草 <i>Ophiocordyceps laojunshanensis</i> J. Y. Chen, Y. Q. Cao & D. R. Yang * | VU | A2acd+3cd |
| 冬虫夏草 <i>Ophiocordyceps sinensis</i> (Berk.) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | VU | A2acd+3cd |
| 广东虫草 <i>Tolypocladium guangdongensis</i> (T. H. Li, Q. Y. Lin & B. Song) V. Papp * | VU | A2ad+3cd |
| (5) 火丝菌科 Pyronemataceae | | |
| 美洲粉盘菌 <i>Aleurina americana</i> W. Y. Zhuang & Korf | VU | B1ac(iii, iv) |
| (6) 核盘菌科 Sclerotiniaceae | | |
| 桦杯盘菌 <i>Ciboria betulae</i> (Woronin) W. L. White | VU | B1ab(iii) |
| 古巴散胞盘菌 <i>Encoelia cubensis</i> (Berk. & M. A. Curtis) Iturr., Samuels & Korf | VU | B1ab(i, iii, iv)+2ab(ii, iii, iv) |
| (7) 竹黄科 Shiraiaceae | | |
| 竹黄 <i>Shiraia bambusicola</i> Henn. | VU | A3cd |
| (8) 块菌科 Tuberaceae | | |
| 巨孢奇块菌 <i>Paradoxa gigantospora</i> (Y. Wang & Z. P. Li) Y. Wang * | EN | B1ab(i, iii) |
| 会东块菌 <i>Tuber huidongense</i> Y. Wang * | VU | A2acd+3cd; B1ab(i, iii) |
| 印度块菌 <i>Tuber indicum</i> Cooke & Massee | VU | A2acd+3cd; B1ab(i, iii) |
| 攀枝花块菌 <i>Tuber panzhihuanense</i> X. J. Deng & Y. Wang * | VU | A2acd+3cd; B1ab(i, iii) |
| 中华夏块菌 <i>Tuber sinoaestivum</i> J. P. Zhang & P. G. Liu * | VU | A2acd+3cd; B1ab(i, iii) |

| 种名及分类归属 Species and classifications | 等级 Categories | 评估依据 Assessment criteria |
|--|---------------|----------------------------------|
| (9) 炭角菌科 Xylariaceae | | |
| 中华肉球菌 <i>Engleromyces sinensis</i> M. A. Whalley, Khalil, T. Z. Wei, Y. J. Yao & Whalley * | VU | A3cd |
| 2 大型担子菌 Basidiomycetes | | |
| (1) 蘑菇科 Agaricaceae | | |
| 云南蘑菇 <i>Agaricus yunnanensis</i> W. F. Chiu * | EN | B2ab(iii) |
| 景洪黑蛋巢菌 <i>Cyathus cheliensis</i> F. L. Tai & C. S. Hung * | EN | B2ab(iii) |
| 紊乱黑蛋巢菌 <i>Cyathus confusus</i> F. L. Tai & C. S. Hung * | EN | B2ab(iii) |
| 五台山黑蛋巢菌 <i>Cyathus wutaishanensis</i> B. Liu, Shangguan & P. G. Yuan * | EN | B2ab(iii) |
| 中国白环蘑 <i>Leucoagaricus sinicus</i> (J. Z. Ying) Z. L. Yang * | VU | B1ab(i) |
| 变孢柄灰包 <i>Tulostoma variisporum</i> B. Liu, Z. Y. Li & Du | EN | B1ab(i, iii, iv)+2ab(i, iii, iv) |
| 榆林柄灰包 <i>Tulostoma yulinense</i> B. Liu, Z. Y. Li & Du * | VU | B1ab(i, iii, iv)+2ab(i, iii, iv) |
| (2) 鹅膏科 Amanitaceae | | |
| 绒托鹅膏 <i>Amanita tomentosivolvae</i> Z. L. Yang * | VU | D2 |
| (3) 牛肝菌科 Boletaceae | | |
| 橙香牛肝菌 <i>Boletus citrifragrans</i> W. F. Chiu & M. Zang | VU | A3cd |
| 小橙黄牛肝菌 <i>Boletus miniatoaurantiacus</i> C. S. Bi & Loh | VU | A3cd |
| (4) 丽口包科 Calostomataceae | | |
| 彭氏丽口包 <i>Calostoma pengii</i> B. Liu & Y. H. Liu * | EN | B2ab(iii) |
| 变孢丽口包 <i>Calostoma variispora</i> B. Liu, Z. Y. Li & Du * | VU | B2ab(iii) |
| 云南丽口包 <i>Calostoma yunnanense</i> L. J. Li & B. Liu * | VU | B2ab(iii) |
| (5) 鸡油菌科 Cantharellaceae | | |
| 云南鸡油菌 <i>Cantharellus yunnanensis</i> W. F. Chiu * | VU | A3cd |
| (6) 丝膜菌科 Cortinariaceae | | |
| 疏褶暗金钱菌 <i>Phaeocollybia sparsilamellae</i> P. G. Liu * | EN | B2ab(iii) |
| 云南多舌菌 <i>Pyrrhoglossum yunnanense</i> P. G. Liu * | VU | A3cd |
| (7) 花耳科 Dacrymycetaceae | | |
| 湖南胶角耳 <i>Calocera hunanensis</i> B. Liu & K. Tao * | EN | B2ab(iii) |
| 莽山胶角耳 <i>Calocera mangshanensis</i> B. Liu & L. Fan * | VU | B2ab(iii) |
| 羊肚菌状胶角耳 <i>Calocera morchelloides</i> B. Liu & L. Fan * | EN | B2ab(iii) |
| (8) 粉褶蕈科 Entolomataceae | | |
| 近杯伞状粉褶蕈 <i>Entoloma subclitocyboides</i> W. M. Zhang * | VU | B2ab(iii) |
| (9) 钉菇科 Gomphaceae | | |
| 承德高腹菌 <i>Gautieria chengdensis</i> J. Z. Ying * | VU | B2ab(iii) |
| 短孢枝瑚菌 <i>Ramaria nanispora</i> R. H. Petersen & M. Zang * | VU | A3cd |
| 拟粉红枝瑚菌 <i>Ramaria neoformosa</i> R. H. Petersen | VU | A3cd |
| 朱细枝瑚菌 <i>Ramaria rubriattenuipes</i> R. H. Petersen & M. Zang * | VU | A3cd |
| 红肉丛枝瑚菌 <i>Ramaria rubricarnata</i> Marr & D. E. Stuntz | VU | B2ab(iii) |
| (10) 猴头菌科 Hericiaceae | | |
| 小孢软齿菌 <i>Dentipellis microspora</i> Y. C. Dai * | VU | B2ab(iii) |
| 猴头菇 <i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers. | VU | A3cd |
| (11) 刺革菌科 Hymenochaetaceae | | |
| 斜生纤孔菌 <i>Inonotus obliquus</i> (Fr.) Pilát | EN | B2ab(ii) |

| 种名及分类归属 Species and classifications | 等级 Categories | 评估依据 Assessment criteria |
|--|---------------|--------------------------------------|
| (12) 未定科 Incertae sedis | | |
| 蒙古白丽蘑 <i>Leucocalocybe mongolica</i> (S. Imai) X. D. Yu & Y. J. Yao | VU | C1 |
| 牛樟芝 <i>Taiwanofungus camphoratus</i> (M. Zang & C. H. Su) S. H. Wu, Z. H. Yu, Y. C. Dai & C. H. Su * | EN | B2ab(iii) |
| (13) 丝盖伞科 Inocybaceae | | |
| 新囊靴耳 <i>Crepidotus neocystidiosus</i> P. G. Liu * | EN | B2ab(iii) |
| (14) 离褶伞科 Lyophyllaceae | | |
| 斑玉蕈 <i>Hypsizygos marmoreus</i> (Peck) H. E. Bigelow | VU | B2ab(iii) |
| 端圆蚁巢伞 <i>Termitomyces tylerianus</i> Otieno | VU | A3cd |
| (15) 小皮伞科 Marasmiaceae | | |
| 麦黄钟伞 <i>Campanella straminea</i> P. G. Liu * | EN | B2ab(iii) |
| (16) 白耳科 Naemateliaceae | | |
| 金耳 <i>Naematelia aurantialba</i> (Bandoni & M. Zang) Millanes & Wedin * | VU | A3cd |
| (17) 桩菇科 Paxillaceae | | |
| 阳城光黑腹菌 <i>Alpova yangchengensis</i> B. Liu, K. Tao & M. C. Chang * | VU | A3cd |
| (18) 鬼笔科 Phallaceae | | |
| 海南笼头菌 <i>Clathrus hainanensis</i> X. L. Wu * | EN | B2ab(iii) |
| (19) 原毛平革菌科 Phanerochaetaceae | | |
| 小孔小薄孔菌 <i>Antrodiella micra</i> Y. C. Dai * | VU | B1ab(i, iii, iv)+2ab(i, iii, iv) |
| (20) 光柄菇科 Pluteaceae | | |
| 冬小包脚菇 <i>Volvariella brumalis</i> S. C. He * | VU | A3cd |
| (21) 红菇科 Russulaceae | | |
| 长白乳菇 <i>Lactarius changbaiensis</i> Y. Wang & Z. X. Xie * | VU | B2ab(iii) |
| 迷你乳菇 <i>Lactarius minimus</i> W. G. Sm. | EN | B2ab(iii) |
| (22) 裂孔菌科 Schizoporaceae | | |
| 粉软卧孔菌 <i>Poriodontia subvinosa</i> Parmasto | VU | B2ab(iii) |
| (23) 革菌科 Thelephoraceae | | |
| 干巴菌 <i>Thelephora ganbajun</i> M. Zang * | VU | A3cd |
| (24) 口蘑科 Tricholomataceae | | |
| 松口蘑 <i>Tricholoma matsutake</i> (S. Ito & S. Imai) Singer | VU | B2ab(ii) |
| 青盖拟口蘑 <i>Tricholomopsis lividipileata</i> P. G. Liu * | VU | B2ab(iii) |
| 3 地衣 Lichens | | |
| (1) 粉衣科 Caliciaceae | | |
| 顶杯衣 <i>Acrosyphus sphaerophoroides</i> Lév. | EN | B1ab(iii)+2ab(iii) |
| (2) 石蕊科 Cladoniaceae | | |
| 戴氏石蕊 <i>Cladonia delavayi</i> Abbayes | VU | B2ab(ii); D2 |
| 拟雀石蕊 <i>Cladonia pseudoevansii</i> Asahina | CR | B1ab(iii)+2ab(iii) |
| 圆盘衣 <i>Gymnoderma coccocarpum</i> Nyl. | EN | B1ab(iii)+2ab(ii) |
| 岛圆盘衣 <i>Gymnoderma insulare</i> Yoshim. & Sharp | EN | B1ab(iii)+2ab(ii) |
| (3) 霜降衣科 Icmadophilaceae | | |
| 卧白角衣 <i>Siphula decumbens</i> Nyl. | VU | B2ab(ii); D2 |
| (4) 茶渍科 Lecanoraceae | | |
| 华脐鳞 <i>Rhizoplaca huashanensis</i> J. C. Wei * | CR | A4ac; B1ab(ii, iii)+2ab(ii, iii); D2 |

| 种名及分类归属 Species and classifications | 等级 Categories | 评估依据 Assessment criteria |
|--|---------------|----------------------------|
| (5) 梅衣科 Parmeliaceae | | |
| 裂芽厚枝衣 <i>Allocetraria isidiigera</i> Kurok. & M. J. Lai * | VU | B1ab(i) |
| 广开小孢发 <i>Bryoria divergescens</i> (Nyl.) Brodo & D. Hawksw. | VU | B2ab(ii); D2 |
| 藏岛衣 <i>Cetraria xizangensis</i> J. C. Wei & Y. M. Jiang * | VU | B2ab(i) |
| 日光山袋衣 <i>Hypogymnia nikkoensis</i> (Zahlbr.) Rass. | VU | B2ab(ii); D2 |
| 台湾高山袋衣 <i>Hypogymnia taiwanalpina</i> M. J. Lai * | EN | B1ab(iii)+2ab(iii) |
| 金丝绣球 <i>Lethariella cashmeriana</i> Krog | VU | A3d; B2ab(ii, iv); D2 |
| 金丝刷 <i>Lethariella cladonioides</i> (Nyl.) Krog | VU | A3d; B2ab(ii, iv); D2 |
| 曲金丝 <i>Lethariella flexuosa</i> (Nyl.) J. C. Wei | VU | B2ab(ii); D2 |
| 中华金丝 <i>Lethariella sinensis</i> J. C. Wei & Y. M. Jiang * | VU | B2ab(ii); D2 |
| 金丝带 <i>Lethariella zahlbruckneri</i> (Du Rietz) Krog | VU | A4ac; B2ab(ii); D2 |
| 密裂大叶梅 <i>Parmotrema myriolobulatum</i> (J. D. Zhao) J. C. Wei | CR | A4ac; B1ab(ii)+2ab(ii); D2 |
| 绿丝槽枝 <i>Sulcaria virens</i> (Gyeln.) Bystrek ex Brodo & D. Hawksw. | VU | B2ab(ii); D2 |
| (6) 蜈蚣衣科 Physciaceae | | |
| 湖北蜈蚣衣 <i>Physcia hupehensis</i> J. D. Zhao, L. W. Hsu & Z. M. Sun * | VU | B2ab(ii); D2 |
| 亚灰大孢衣 <i>Physconia perisidiosa</i> (Erichsen) Moberg | VU | |
| (7) 鳞网衣科 Psoraceae | | |
| 朝比氏鳞网衣 <i>Psora asahinae</i> Zahlbr. ex J. C. Wei * | VU | B2ab(ii); D2 |
| (8) 地图衣科 Rhizocarpaceae | | |
| 甘肃地图衣 <i>Rhizocarpon kansuense</i> H. Magn. | VU | B2ab(ii); D2 |
| (9) 石耳科 Umbilicariaceae | | |
| 阿尔泰石耳 <i>Umbilicaria altaiensis</i> J. C. Wei & Y. M. Jiang * | EN | A4ac; B1ab(ii)+2ab(ii); D2 |
| 庐山石耳 <i>Umbilicaria esculenta</i> (Miyoshi) Minks | VU | A4ad; B2ab(iv); D2 |
| 周裂石耳 <i>Umbilicaria loboperipherica</i> J. C. Wei, Y. M. Jiang & S. Y. Guo * | VU | B2ab(ii) |
| 皮芽石耳 <i>Umbilicaria squamosa</i> J. C. Wei & Y. M. Jiang * | EN | B1ab(ii)+2ab(ii); D2 |
| 太白石耳 <i>Umbilicaria taibaiensis</i> J. C. Wei & Y. M. Jiang * | EN | B1ab(i, ii)+2ab(i, ii); D2 |

参考文献

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences (2018a) Assessment Report of the Red List of China's Biodiversity—Macrofungi (in Chinese) [中华人民共和国生态环境部, 中国科学院 (2018a) 《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》评估报告]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/sthjbgg/201805/t20180524_441393.htm. (accessed on 2018-05-22)

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Chinese Academy of Sciences (2018b) Red List of China's Biodiversity—Macrofungi. (in Chinese) [中华人民共和国生态环境部, 中国科学院 (2018b) 中国生物多样

性红色名录——大型真菌卷]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/sthjbgg/201805/t20180524_441393.htm. (accessed on 2018-05-22)

Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. *生物多样性*, 28, 11–19.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 时意专)



•综述•

中国非地衣型大型子囊菌受威胁现状评估及致危因素

庄文颖^{1*} 李 熠^{1,2} 郑焕娣¹ 曾昭清¹ 王新存¹¹ (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)² (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 2018年5月22日是第25个国际生物多样性日, 生态环境部和中国科学院联合发布了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》。子囊菌是真菌界物种数量最丰富的类群, 其中小型种类居多, 此次参评的我国非地衣型大型子囊菌(以下简称“大型子囊菌”)包括870种。评估结果表明, 我国大型子囊菌受威胁物种有24种, 其中疑似灭绝1种、极危6种、濒危3种、易危14种, 受威胁物种占评估大型子囊菌物种数的2.76%。此外, 无危的大型子囊菌189种, 占评估物种数的21.72%, 数据不足的616种, 占评估物种数的70.80%。本文对中国大型子囊菌红色名录评估的方法、过程和评估结果等进行了介绍, 对其受威胁现状、受威胁物种的区域分布、致危因素等进行了总结分析, 并提出了相应的保护措施和建议。分类学研究是进行红色名录评估的基础, 在未来相当长的一段时间里, 真菌资源调查和分类学研究仍然需要引起重视并投入资金。建议分类学工作者、保护区管理人员、业余爱好者群体和生态学家合作并广泛参与大型真菌受威胁状况的评估。

关键词: 非地衣型大型子囊菌; 红色名录; 多样性; 保护生物学

Threat status of non-lichenized macro-ascomycetes in China and its threatening factors

Wenyang Zhuang^{1*}, Yi Li^{1,2}, Huandi Zheng¹, Zhaoqing Zeng¹, Xincun Wang¹¹ State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101² School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

Abstract: On May 22, 2018, the 25th International Day for Biological Diversity, a “China Biodiversity Red List—Macrofungi” was officially released by the Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China and the Chinese Academy of Sciences. The List included 870 species of non-lichenized macro-ascomycetes (as “macro-ascomycetes” below). A total of 24 species were listed as threatened including 1 Possibly Extinct, 6 Critically Endangered, 3 Endangered and 14 Vulnerable, accounting for 2.76% of the species assessed. Besides, 189 macro-ascomycetes were assessed as Least Concern and 616 as Data Deficient, accounting for 21.72% and 70.80%, respectively. The evaluation method, assessment process and results were presented herein; and the status of the China’s macro-ascomycetes, geographic distribution of the threatened species and major threatening factors were analyzed. The conservation actions and advices were also proposed. Fungal taxonomy is fundamental of and essential for evaluation of biodiversity red list of threatened species. In a relatively long period of time, field investigations and taxonomic studies are critical tasks and need continuous financial support from different sources. Future evaluations of threatened species of macrofungi in China rely on co-operations among taxonomists, workers in nature reserves, ecologists and amateurs.

Key words: non-lichenized macro-ascomycetes; red list; biodiversity; conservation biology

收稿日期: 2019-05-07; 接受日期: 2019-06-14

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhuangwy@im.ac.cn

子囊菌(Ascomycetes)是指有性生殖产生子囊孢子的真菌,是真菌中较为高等的类群,也是已知物种多样性最高的类群。根据国际真菌物种名称数据库Index Fungorum的统计,目前全世界已报道子囊菌83,837种,分属于21纲144目504科8,421属(Index Fungorum Partnership, 2018)。中国菌物名录数据库(<http://124.16.146.175:8080/checklist/checklist.html>)收录了子囊菌15,525种,分属于20纲104目345科2,368属,中国的子囊菌物种数占全世界已知物种数的近1/5,是子囊菌物种多样性较高的地区之一。此次评估涉及的非地衣型大型子囊菌(以下简称“大型子囊菌”)是指子实体或菌核肉眼可见的类群。中国大型子囊菌资源丰富,包括很多具有食药两用价值的种类,如虫草(*Cordyceps* s.l. spp.)、块菌(*Tuber* spp.)、羊肚菌(*Morchella* spp.)等,是一类重要的战略生物资源。戴玉成和杨祝良(2008)对我国药用真菌名称进行了系统考证,收录了473种,其中大型子囊菌30余种。戴玉成等(2010)报道的中国食用菌966个分类单元中,大型子囊菌有62种。吴兴亮等(2012, 2013)收录药用子囊菌150种,其中大型种类近百种。中国菌物名录数据库记载我国食用菌1,789种,药用菌798种,其中561种为食药兼用(Fang et al, 2018)。依此推测,我国具有食药两用价值的大型子囊菌种类可能更多。

真菌在农业、食品加工、生物能源、生物治理、造纸、生物制药等领域起着重要作用(Prescott et al, 2018),是生态系统物质循环中不可或缺的一部分。与动植物类似,真菌受到气候变化、环境污染、过度利用、生境退化和片断化等诸多因素的影响(Ainsworth et al, 2018),很多物种的生存状况不容乐观。相对于动植物尤其是高等动植物,真菌的保护工作起步较晚,进展缓慢。目前全球范围内完成受威胁等级评估的真菌仅56种,远少于动物的68,054种和植物的25,452种(IUCN, 2018a)。IUCN评估的56个真菌物种几乎全部为大型种类,其中包括非地衣型大型子囊菌15种(IUCN, 2018b)。

1 国内外子囊菌受威胁状态评估现状

真菌保护研究起源于欧洲,自1988年欧洲菌物保护委员会在波兰成立(Jansen & Ławrynowicz, 1991)以来,欧洲各国相继发布了官方的菌物红色名录(Senn-Irlet et al, 2007)。匈牙利1995年发布的大

型真菌红色名录中将两种大团囊菌(*Elaphomyces* spp.)列为受威胁物种,将夏块菌(*Tuber aestivum*)列为需要关注的物种(Siller & Vasas, 1995)。保加利亚最早发布的大型真菌红色名录中包含了19种子囊菌(Gyosheva et al, 2000),此后官方发布的红色名录中子囊菌物种数量有所增加(Gyosheva et al, 2006)。芬兰评估了2,000余个子囊菌物种的受威胁状态,其中区域灭绝物种1个、极危物种7个、濒危物种9个、易危物种15个、近危物种21个(Rassi et al, 2010)。瑞士的大型真菌红色名录则包含了该国分布的全部大型子囊菌。意大利最近发布了该国Umbria地区盘菌的红色名录,包括了该地区分布的所有108个盘菌物种(Wagensommer et al, 2018),其中超过60%的物种受到了不同程度的威胁。从欧洲各国发布的菌物红色名录来看,大型子囊菌是大型真菌红色名录评估的重要组成部分。

我国的大型真菌红色名录评估和保护工作起步较晚,始于地衣(魏江春等, 2000),大部分研究以担子菌为主,子囊菌涉及较少。刘培贵等(2003)将我国大型真菌关键类群分为濒危类群、重大科学价值类群和重要经济类群3类,子囊菌中评估出的关键类群以虫草、块菌、羊肚菌等为主。于富强和刘培贵(2005)评估了云南松(*Pinus yunnanensis*)林中野生食用菌的受威胁现状,评估出32个濒危种、54个易危种和30个稀有种,其中包括了5种子囊菌。范宇光和图力古尔(2008)对长白山保护区内的38种大型真菌进行了量化评价,评估出极危物种2种、濒危4种、易危10种、近危9种、无危13种,子囊菌中蛹虫草(*Cordyceps militaris*)和羊肚菌(*Morchella esculenta*)被建议列为三级保护物种。魏铁铮和姚一建(2012)采用IUCN物种红色名录等级和标准对我国大型真菌的受威胁等级进行了初步评估,提出我国受威胁大型真菌物种有137种,其中子囊菌仅14种,远少于担子菌的123种。王建瑞等(2015)采用层次分析和专家咨询相结合的方法对山东省大型真菌的受威胁状态进行了评估,子囊菌中的羊肚菌被评为濒危,建议列为一级保护物种。

尽管我国对大型真菌红色名录评估和保护工作进行了一些研究和探索,但绝大多数研究仅局限于某个地区或类群,涉及的类群和物种数量极为有限,大部分研究未按照IUCN的等级和标准进行评估,大型真菌尤其是大型子囊菌的评估和保护研究

还十分不足。有鉴于此, 2016年5月26日, 生态环境部(原环境保护部)和中国科学院联合启动“中国生物多样性红色名录——大型真菌卷”编制项目, 采用IUCN红色名录等级标准体系对我国大型真菌的受威胁现状进行了系统评估。项目涵盖大型子囊菌、大型担子菌和大型地衣型真菌三大类群, 历时2年, 2018年1月24日完成课题验收, 评估结果于2018年5月22日国际生物多样性日官方发布。此次评估囊括了大型子囊菌870个物种, 覆盖了我国已报道的大部分大型子囊菌种类。评估结果对全面了解我国大型子囊菌的物种多样性及受威胁现状具有重要意义, 也为其保护研究提供了重要参考和依据。

2 评估过程及方法

2.1 评估对象

中国菌物名录数据库是此次评估信息的主要

来源, 数据库包含物种的名录信息、地理分布、生境、寄主、标本记录、文献等可用于物种受威胁等级评估的重要信息。此外, 评估信息还包括中国菌物名录数据库尚未收录的文献资料以及评估专家掌握的物种分类、种群数量及变化趋势、野外生境状况、威胁因素、资源开发利用和保护现状等方面的信息。信息收集截止时间为2016年底, 2016年以后发表的物种除非特殊说明一般不列入本次评估。所有收录的子囊菌名称, 经过对相关文献资料和信息整理、核对和订正, 排除其中存在问题的名称后, 所余名称与Index Fungorum数据库进行比对, 除特别说明外, 取Index Fungorum上物种的现用名(current name), 剔除其中的小型种类和地衣型子囊菌, 经过系统整理后确定进入评估的种类。最终参与评估的大型子囊菌共870种, 分属于6纲10目33科107属(表1)。

表1 参与评估的非地衣型大型子囊菌各类群物种数量

Table 1 Species numbers of different groups of non-lichenized macro-ascomycetes evaluated according to the IUCN Red List categories. EX, Extinct; EW, Extinct in the Wild; PE, Possibly Extinct; CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; NT, Near Threatened; LC, Least Concern; DD, Data Deficient.

| 评估类群 Fungal groups evaluated | | 物种数 Species | 受威胁等级及物种数 Red list categories and species no. | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| | | | 灭绝 EX | 野外灭绝 EW | 疑似灭绝 PE | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU | 近危 NT | 无危 LC | 数据不足 DD |
| 座囊菌纲 Dothideomycetes | | | | | | | | | | | |
| 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertae sedis | 小碗菌属 <i>Catinella</i> | | | | | | | | | 1 |
| 胶皿菌目 Patellariales | 胶皿菌科 Patellariaceae | 皱裂菌属 <i>Rhytidhysteron</i> | | | | | | | | | 3 |
| | | 卷边盘菌属 <i>Trybliella</i> | | | | | | | | | 2 |
| 格孢腔菌目 Pleosporales | 竹黄科 Shiraiaceae | 竹黄属 <i>Shiraia</i> | | | | | | | 1 | | |
| 地舌菌纲 Geoglossomycetes | | | | | | | | | | | |
| 地舌菌目 Geoglossales | 地舌菌科 Geoglossaceae | 地舌菌属 <i>Geoglossum</i> | | | | 1 | | 1 | | 4 | 7 |
| | | 小舌菌属 <i>Microglossum</i> | | | | | | | 1 | 2 | 4 |
| | | 假地杖菌属 <i>Nothomitra</i> | | | | | | | 1 | | |
| | | 肉锤菌属 <i>Sarcoleotia</i> | | | | | | | 1 | | |
| | | 毛舌菌属 <i>Trichoglossum</i> | | | | 5 | 2 | | | 5 | 5 |
| 锤舌菌纲 Leotiomycetes | | | | | | | | | | | |
| 柔膜菌目 Helotiales | 绿杯盘菌科 Chlorociboriaceae | 绿杯盘菌属 <i>Chlorociboria</i> | | | | | | | | 2 | 1 |
| | 皮盘菌科 Dermateaceae | 绿盘菌属 <i>Chlorosplenium</i> | | | | | | | | | 2 |

表 1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Fungal groups evaluated | | 物种数 Species | 受威胁等级及物种数 Red List categories and species no. | | | | | | | 数据不足 DD | | |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|---|
| | | | 灭绝 EX | 野外灭绝 EW | 疑似灭绝 PE | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU | 近危 NT | | 无危 LC | |
| 柔膜菌目 Helotiales | | 皮盘菌属 <i>Dermea</i> | 4 | | | | | | | | 4 | |
| | | 无柄盘菌属 <i>Pezicula</i> | 8 | | | | | | | | 8 | |
| | 长孢盘菌科 Godroniaceae | 长孢盘菌属 <i>Godronia</i> | 2 | | | | | | | | 2 | |
| | 柔膜菌科 Helotiaceae | | 紫胶菌属 <i>Ascocoryne</i> | 3 | | | | | | 1 | 2 | |
| | | | 胶盘菌属 <i>Ascotremella</i> | 2 | | | | | | | 2 | |
| | | | 复柄盘菌属 <i>Cordierites</i> | 1 | | | | | | 1 | | |
| | | 聚盘菌属 <i>Ionomidotis</i> | 2 | | | | | | | | 2 | |
| | 贫盘菌科 Hemiphacidiaceae | 绿散胞盘菌属 <i>Chlorencoelia</i> | 2 | | | | | | | 1 | 1 | |
| | 毛盘菌科 Lachnaceae | 新胶鼓菌属 <i>Neobulgaria</i> | 1 | | | | | | | 1 | | |
| | 锤舌菌科 Leotiaceae | 锤舌菌属 <i>Leotia</i> | 6 | | | | | | | 2 | 4 | |
| | 蜡盘菌科 Rutstroemiaceae | 蜡盘菌属 <i>Rutstroemia</i> | 7 | | | | | | 1 | 2 | 4 | |
| | 核盘菌科 Sclerotiniaceae | | 杯盘菌属 <i>Ciboria</i> | 7 | | | | | 1 | | 2 | 4 |
| | | | 散胞盘菌属 <i>Encoelia</i> | 5 | | | | | | 1 | 1 | 3 |
| | | | 地杖菌属 <i>Mitrula</i> | 4 | | | | | | | | 4 |
| | | | 核盘菌属 <i>Sclerotinia</i> | 9 | | | | | | | 2 | 7 |
| | 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertaesedis | 假地舌菌属 <i>Hemiglossum</i> | 1 | | | 1 | | | | | |
| 白舌菌属 <i>Leucoglossum</i> | | | 1 | | | | | | | 1 | | |
| 星裂盘菌目 Phacidiales | 星裂盘菌科 Phacidiaceae | 胶鼓菌属 <i>Bulgaria</i> | 1 | | | | | | | 1 | | |
| | 芽孢盘菌科 Tympanidaceae | 胶莓盘菌属 <i>Myriodiscus</i> | 1 | | | | | | | | 1 | |
| 斑痣盘菌 Rhytismatales | 地锤菌科 Cudoniaceae | 地锤菌属 <i>Cudonia</i> | 7 | | | | | | | 2 | 5 | |
| | | 地匙菌属 <i>Spathularia</i> | 1 | | | | | | | 1 | | |
| | | 拟地匙菌属 <i>Spathulariopsis</i> | 1 | | | | | | | 1 | | |
| | 斑痣盘菌科 Rhytismataceae | 弯壳菌属 <i>Colpoma</i> | 3 | | | | | | | 1 | 2 | |
| 无丝盘菌纲 Nelectomycetes | | | | | | | | | | | | |
| 无丝盘菌目 Nelectales | 无丝盘菌科 Nelectaceae | 无丝盘菌属 <i>Nelecta</i> | 2 | | | | | | | 1 | 1 | |

表 1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Fungal groups evaluated | | | 物种数 Species | 受威胁等级及物种数 Red List categories and species no. | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----|----|---|
| | | | | 灭绝 EX | 野外灭绝 EW | 疑似灭绝 PE | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU | 近危 NT | 无危 LC | 数据不足 DD | | | |
| 盘菌纲 Pezizomycetes | | | | | | | | | | | | | | | |
| 盘菌目 Pezizales | 粪盘菌科 Ascobolaceae | 粪盘菌属 <i>Ascobolus</i> | 1 | | | | | | | | | | | 1 | |
| | 裂皮盘菌科 Chorioactidaceae | 沃尔夫盘菌属 <i>Wolfina</i> | 1 | | | | | | | | | | | 1 | |
| | 平盘菌科 Discinaceae | 平盘菌属 <i>Discina</i> | 5 | | | | | | | | | 1 | | 4 | |
| | | 鹿花菌属 <i>Gyromitra</i> | 9 | | | | | | | | 1 | 2 | | 6 | |
| | | 腔块菌属 <i>Hydnotrya</i> | 6 | | | | | | | | | | 1 | 5 | |
| | 马鞍菌科 Helvellaceae | 胶枞块菌属 <i>Balsamia</i> | 1 | | | | | | | | | | | 1 | |
| | | 马鞍菌属 <i>Helvella</i> | 44 | | | | | | | | | 2 | 13 | 29 | |
| | | 伞盘菌属 <i>Paxina</i> | 2 | | | | | | | | | | | 2 | |
| | | 小丛耳属 <i>Wynnella</i> | 2 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| | 未定科 Incertae sedis | 裸盘菌属 <i>Psilopezia</i> | 6 | | | | | | | | | | 1 | 5 | |
| | 羊肚菌科 Morchellaceae | 皱盘菌属 <i>Disciotis</i> | 1 | | | | | | | | | | | 1 | |
| | | 羊肚菌属 <i>Morchella</i> | 23 | | | | | | | 1 | 2 | 6 | | 14 | |
| | | 钟菌属 <i>Verpa</i> | 3 | | | | | | | | | | 2 | 1 | |
| | 盘菌科 Pezizaceae | 厚盘菌属 <i>Pachyella</i> | 2 | | | | | | | | | | | 2 | |
| | | 盘菌属 <i>Peziza</i> | 50 | | | | | | | | | | 7 | 43 | |
| | | 摺盘菌属 <i>Plicaria</i> | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| | | 球肉盘菌属 <i>Sarcosphaera</i> | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| | | 地菇属 <i>Terfezia</i> | 2 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| | 火丝菌科 Pyronemataceae | 小孢盘菌属 <i>Acervus</i> | 4 | | | | | | | | | | 1 | 3 | |
| | | 网孢盘菌属 <i>Aleuria</i> | 6 | | | | | | | | | | 1 | 5 | |
| | | 饰孢盘菌属 <i>Aleurina</i> | 5 | | | | | | | 1 | | | 1 | 3 | |
| | | 绣球盘菌属 <i>Ascosparassis</i> | 2 | | | | | | | | | | | | 2 |
| | | 缘刺盘菌属 <i>Cheilymenia</i> | 8 | | | | | | | | | | 4 | 4 | |
| | | 假基块菌属 <i>Genabea</i> | 2 | | | | | | | | | | | | 2 |
| | | 囊被块菌属 <i>Genea</i> | 3 | | | | | | | | | | | | 3 |

表 1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Fungal groups evaluated | | | 物种数 Species | 受威胁等级及物种数 Red List categories and species no. | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|---|----|
| | | | | 灭绝 EX | 野外灭绝 EW | 疑似灭绝 PE | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU | 近危 NT | 无危 LC | 数据不足 DD | | |
| 盘菌目 Pezizales | 火丝菌科 Pyronemataceae | 地孔菌属 <i>Geopora</i> | 7 | | | | | | | | 1 | 6 | | |
| | | 地杯菌属 <i>Geopyxis</i> | 4 | | | | | | | | 3 | 1 | | |
| | | 土盘菌属 <i>Humaria</i> | 4 | | | | | | | | 1 | 3 | | |
| | | 腔囊块菌属 <i>Hydnocystis</i> | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| | | 南费盘菌属 <i>Jafnea</i> | 2 | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| | | 弯毛盘菌属 <i>Melastiza</i> | 4 | | | | | | | | 2 | 2 | | |
| | | 毛氏盘菌属 <i>Moravecchia</i> | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| | | 侧盘菌属 <i>Otidea</i> | 22 | | | | | | | | 5 | 17 | | |
| | | 瑰丽盘菌属 <i>Rhodoscypba</i> | 1 | | | | | | | | 1 | | | |
| | | 盾盘菌属 <i>Scutellinia</i> | 38 | | | | | | | 3 | 10 | 25 | | |
| | | 索氏盘菌属 <i>Sowerbyella</i> | 6 | | | | | | | | 3 | 3 | | |
| | | 疣杯菌属 <i>Tarzetta</i> | 2 | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| | | 薄毛盘菌属 <i>Tricharina</i> | 1 | | | | | | | | 1 | | | |
| | | 根盘菌科 Rhiziniaceae | 肉杯菌科 Sarcoscyphaceae | 根盘菌属 <i>Rhizina</i> | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | | | | 耳盘菌属 <i>Aurophora</i> | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | | | | 毛杯菌属 <i>Cookeina</i> | 6 | | | | | | | | 4 | 2 |
| | | | | 小口盘菌属 <i>Microstoma</i> | 5 | | | | | | | | 2 | 3 |
| | | | | 歪盘菌属 <i>Phillipsia</i> | 11 | | | | | | | | 1 | 10 |
| | | | | 柏小艳盘菌属 <i>Pithya</i> | 1 | | | | | | | | 1 | |
| 肉杯菌属 <i>Sarcoscypha</i> | 10 | | | | | | | | | | 3 | 7 | | |
| 丛耳属 <i>Wynnea</i> | 5 | | | | | | | | | | 2 | 3 | | |
| 肉盘菌科 Sarcosomataceae | | | | 盖尔盘菌属 <i>Galiella</i> | 4 | | | | | | | | 1 | 3 |
| | | | | 暗盘菌属 <i>Plectania</i> | 6 | | | | | | | | 2 | 4 |
| | | 假黑盘菌属 <i>Pseudoplectania</i> | 2 | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| | | 肉盘菌属 <i>Sarcosoma</i> | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| | | 脚瓶盘菌属 <i>Urnula</i> | 2 | | | | | | | | 1 | 1 | | |

表 1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Fungal groups evaluated | | | 物种数 Species | 受威胁等级及物种数 Red List categories and species no. | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|---|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----|
| | | | | 灭绝 EX | 野外灭绝 EW | 疑似灭绝 PE | 极危 CR | 濒危 EN | 易危 VU | 近危 NT | 无危 LC | 数据不足 DD | |
| 盘菌目 Pezizales | 块菌科 Tuberaceae | 猪块菌属 <i>Choiromyces</i> | 2 | | | | | | | 1 | | 1 | |
| | | 奇块菌属 <i>Paradoxa</i> | 1 | | | | 1 | | | | | | |
| | | 块菌属 <i>Tuber</i> | 70 | | | | | 4 | 19 | | | 47 | |
| 粪壳纲 Sordariomycetes | | | | | | | | | | | | | |
| 肉座菌目 Hypocreales | 麦角菌科 Clavicipitaceae | 麦角菌属 <i>Claviceps</i> | 2 | | | | | | | | 1 | 1 | |
| | | 绿僵虫草属 <i>Metacordyceps</i> | 2 | | | | | | 1 | 1 | | | |
| | | 绿僵菌属 <i>Metarhizium</i> | 7 | | | | | | | 3 | 4 | | |
| | 虫草科 Cordycipitaceae | 虫草属 <i>Cordyceps</i> | 59 | | | | | | | 5 | 6 | 48 | |
| | | 棒束孢属 <i>Isaria</i> | 2 | | | | | | | | | 2 | |
| | | 植生虫草属 <i>Phytocordyceps</i> | 1 | | | | | | | | | 1 | |
| | | 锥壳属 <i>Torrubiella</i> | 1 | | | | | | | | | 1 | |
| | 肉座菌科 Hypocreaceae | 肉座菌属 <i>Hypocrea</i> | 14 | | | | | | | 1 | 1 | 12 | |
| | | 肉座壳属 <i>Podostroma</i> | 4 | | | | | | | | | 4 | |
| | 线虫草科 Ophiocordycipitaceae | 掘氏梅里霉属 <i>Drechmeria</i> | 1 | | | | | | | | 1 | | |
| | | 线虫草属 <i>Ophiocordyceps</i> | 58 | | | | | | 2 | | | 23 | 33 |
| | | 多年虫草属 <i>Perennicordyceps</i> | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | | 多头菌属 <i>Polycephalomyces</i> | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | | 弯颈霉属 <i>Tolypocladium</i> | 9 | | | | | | 1 | | 5 | 3 | |
| | | 炭角菌目 Xylariales | 炭角菌科 Xylariaceae | 轮层炭壳属 <i>Daldinia</i> | 11 | | | | | | | | 1 |
| 肉球菌属 <i>Engleromyces</i> | 1 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 炭团菌属 <i>Hypoxylon</i> | 45 | | | | | | | | | 2 | 43 | | |
| 炭角菌属 <i>Xylaria</i> | 108 | | | | | | | | | 22 | 86 | | |

从类群看, 评估的大型子囊菌主要集中在盘菌纲和粪壳纲, 其中盘菌纲411种、粪壳纲327种, 分别占参与评估的大型子囊菌总种数的47.24%和37.59% (图1); 评估物种数最多的目为盘菌目, 包括盘菌纲的全部参评种; 评估物种数最多的科为粪壳纲炭角菌目中的炭角菌科, 包括165种, 占参评

大型子囊菌总数的18.97%; 炭角菌属(*Xylaria*)为评估物种数最多的属, 达108种, 占评估大型子囊菌物种数的12.41% (表1)。

2.2 评估方法与过程

大型子囊菌红色名录评估的等级和标准主要依据《中国大型真菌红色名录评估方法和程序》(王

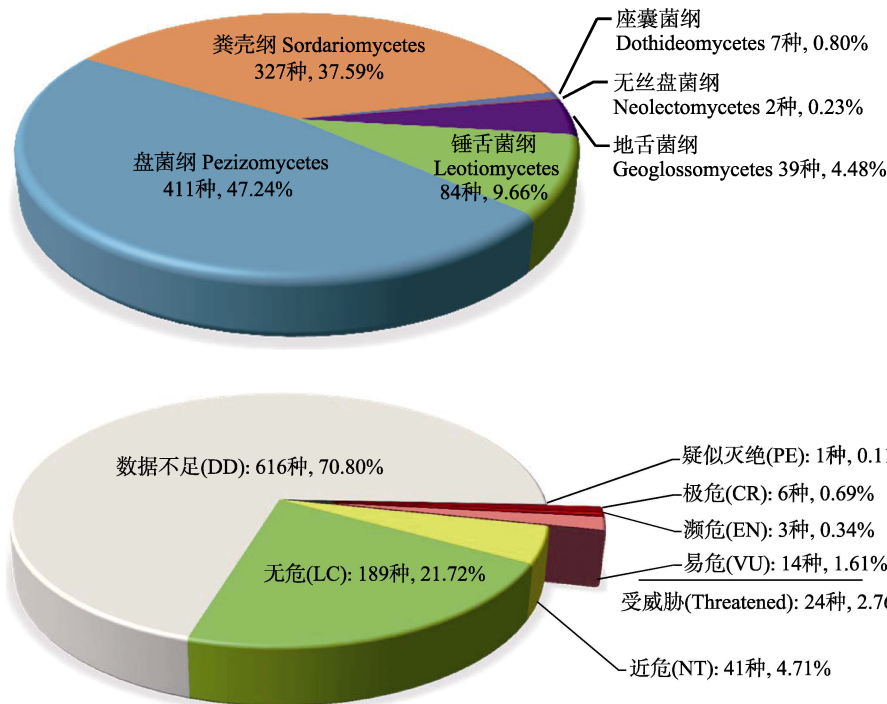


图1 参与评估的非地衣型大型子囊菌各个纲的物种数量及其比例
Fig. 1 Species number and the percentage of individual classes of non-lichenized macro-ascomycetes evaluated

图2 非地衣型大型子囊菌各评估等级物种数及其比例
Fig. 2 Species number of non-lichenized macro-ascomycetes evaluated and their percentages according to the IUCN Red List categories. DD, Data Deficient; LC, Least Concern; PE, Possibly Extinct; CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; NT, Near Threatened.

科等, 2020), 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(Lowest Concern, LC)、数据不足(Data Deficient, DD)、未予评估(Not Evaluated, NE) (IUCN, 2012)。《IUCN物种红色名录等级和标准使用指南(第12版)》曾提出“疑似灭绝”(Possibly Extinct, PE)等级, 用于表示已知物种长期未被发现, 但又不能确凿证明其已经灭绝或野外灭绝的状况(IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2010)。大型真菌灭绝或野外灭绝很难判断, 为了保证评估结果的严谨性, 本次评估将疑似灭绝作为正式的评估等级, 与极危、濒危、易危并列为受威胁的4个等级(王科等, 2020)。

大型子囊菌的评估过程依照《中国大型真菌红色名录评估方法和程序》(王科等, 2020), 包括初评、函评、会评、复审、形成评估说明书5个步骤。大型子囊菌的初评由项目组完成, 函评有来自全国34个单位的66位专家参与, 函评结果由全国20余个单位的60余位大型子囊菌研究专家集中审议(会评)。评估组根据会评专家提出的反馈信息和意见对相关物种的评估结果和信息进行修订, 并邀请会评专家进行复审, 对受威胁物种的分类地位、分布情况、野外生存状况等信息进行核实, 并确认物种的受威

胁等级。在专家会审和专家通讯复审意见的基础上, 项目组按照统一的格式对每个物种的信息进行整理, 形成评估结果, 并对受威胁物种作出评估说明。

3 评估结果及分析

3.1 评估结果

本次评估包括大型子囊菌870种, 结果表明, 受威胁物种24种, 占评估物种数的2.76% (图2), 其中疑似灭绝1种、极危6种、濒危3种、易危14种(图2)。此外, 近危物种41种, 占评估种数的4.71%; 无危189种, 占评估种数的21.72%; 数据不足616种, 占评估种数的70.80% (图2)。除了无危等级, 其余评估等级的物种均被视为需要保护或关注的对象, 我国需要保护和关注的大型子囊菌达681种, 占被评估大型子囊菌总数的78.28%。

在参与评估的大型子囊菌各纲中, 盘菌纲评估了411种, 其中1种濒危、6种易危、28种近危、91种无危、285种数据不足, 受威胁物种占该纲参与评估物种数量的1.70%; 粪壳纲评估了327种, 其中4种易危、8种近危、65种无危、250种数据不足, 受威胁物种占该纲评估物种数的1.22%; 锤舌菌纲评估物种数为84种, 其中1种疑似灭绝、2种易危、2种近危、21种无危、58种数据不足, 受威胁物种占该纲评估物种数的3.57%; 地舌菌纲评估了39种,

其中6种极危、2种濒危、1种易危、3种近危、11种无危、16种数据不足,受威胁物种比例在参评的纲中最高,达23.08%;座囊菌纲仅评估了7个物种,其

中1种易危、6种数据不足,受威胁物种占比14.29%。无丝盘菌纲的2个参评物种中,1个无危、1个数据不足。大型子囊菌的受威胁物种见表2。

表2 受威胁的非地衣型大型子囊菌物种信息

Table 2 The IUCN Red List category, taxonomic family, distribution and usage of each threatened species of non-lichenized macro-ascomycetes. CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable, PE, Possibly Extinct.

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemism | 用途 Usage |
|---|------------------|------------------------------|--|-------------------|-----------------------------|
| 美洲饰孢盘菌 <i>Aleurina americana</i> | 易危 VU | 火丝菌科 Pyronemataceae | 中国吉林; 美国 China: Jinlin; USA | 否 No | |
| 桦杯盘菌 <i>Ciboria betulae</i> | 易危 VU | 核盘菌科 Sclerotiniaceae | 中国内蒙古; 俄罗斯 China: Neimenggu; Russia | 否 No | |
| 古巴散孢盘菌 <i>Encoelia cubensis</i> | 易危 VU | 核盘菌科 Sclerotiniaceae | 中国广东、广西; 哥伦比亚; 圭亚那; 委内瑞拉 China: Guangdong, Guangxi; Columbia; Guyana; Venezuela | 否 No | |
| 中华肉球菌 <i>Engleromyces sinensis</i> | 易危 VU | 炭角菌科 Xylariaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | 食药用 Edible, Medicinal |
| 细小地舌菌 <i>Geoglossum pusillum</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国江西 China: Jiangxi | 是 Yes | |
| 粘地舌菌 <i>Glutinoglossum glutinosum</i> | 易危 VU | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国四川、云南; 印度; 日本; 芬兰; 德国; 爱尔兰; 意大利; 挪威; 俄罗斯; 瑞典; 英国; 加拿大; 哥斯达黎加; 美国; 澳大利亚; 新西兰 China: Sichuan, Yunnan; India; Japan; Finland; Germany; Ireland; Italy; Norway; Russia; Sweden; United Kingdom; Canada; Costa Rica; USA; Australia; New Zealand | 否 No | |
| 云南假地舌菌 <i>Hemiglossum yunnanense</i> | 疑似灭绝 PE | 未定科 Incertae sedis | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 西藏羊肚菌 <i>Morchella tibetica</i> | 易危 VU | 羊肚菌科 Morchellaceae | 中国云南、西藏 China: Yunnan, Xizang | 是 Yes | 食用 Edible |
| 老君山线虫草 <i>Ophiocordyceps laojunshanensis</i> | 易危 VU | 线虫草科 Ophiocordycipitaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | 食药用 Edible, medicinal |
| 冬虫夏草 <i>Ophiocordyceps sinensis</i> | 易危 VU | 线虫草科 Ophiocordycipitaceae | 中国甘肃、青海、四川、云南、西藏; 不丹; 印度; 尼泊尔 China: Gansu, Qinghai, Sichuan, Yunnan, Xizang; Bhutan; India; Nepal | 否 No | 食药用 Edible, medicinal |
| 巨孢奇块菌 <i>Paradoxa gigantospora</i> | 濒危 EN | 块菌科 Tuberaceae | 中国四川、云南 China: Sichuan, Yunnan | 是 Yes | 食用 Edible |
| 竹黄 <i>Shiraia bambusicola</i> | 易危 VU | 竹黄科 Shiraiaceae | 中国陕西、安徽、浙江、江西、湖南、四川、贵州、云南、福建; 日本 China: Shaanxi, Anhui, Zhejiang, Jiangxi, Hunan, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Fujian; Japan | 否 No | 药用 Medicinal |
| 广东虫草 <i>Tolypocladium guangdongense</i> | 易危 VU | 线虫草科 Ophiocordycipitaceae | 中国广东 China: Guangdong | 是 Yes | 食药用 Edible, medicinal |
| 景洪毛舌菌 <i>Trichoglossum cheliense</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 紊乱毛舌菌 <i>Trichoglossum confusum</i> | 濒危 EN | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国江苏; 美国 China: Jiangsu; USA | 否 No | |
| 昆明毛舌菌 <i>Trichoglossum kunmingense</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 珀松毛舌菌 <i>Trichoglossum persoonii</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |

表 2 (续) Table 2 (continued)

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemism | 用途 Usage |
|---|------------------|-----------------------|---|-------------------|--------------|
| 罕见毛舌菌 <i>Trichoglossum rasum</i> | 濒危 EN | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国浙江、云南; 印度尼西亚; 波兰; 百慕大; 古巴; 巴拿马; 美国; 新喀里多尼亚 China: Zhejiang, Yunnan; Indonesia; Poland; Bermuda; Cuba; Panama; USA; New Caledonia | 否 No | |
| 中国毛舌菌 <i>Trichoglossum sinicum</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 四孢毛舌菌 <i>Trichoglossum tetrasporum</i> | 极危 CR | 地舌菌科 Geoglossaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 会东块菌 <i>Tuber huidongense</i> | 易危 VU | 块菌科 Tuberaceae | 中国四川、云南 China: Sichuan, Yunnan | 是 Yes | 食用 Edible |
| 印度块菌 <i>Tuber indicum</i> | 易危 VU | 块菌科 Tuberaceae | 中国北京、甘肃、四川、云南; 印度 China: Beijing, Gansu, Sichuan, Yunnan; India | 否 No | 食用 Edible |
| 攀枝花块菌 <i>Tuber panzhihuanense</i> | 易危 VU | 块菌科 Tuberaceae | 中国四川、云南 China: Sichuan, Yunnan | 是 Yes | 食用 Edible |
| 中华夏块菌 <i>Tuber sinoaestivum</i> | 易危 VU | 块菌科 Tuberaceae | 中国四川 China: Sichuan | 是 Yes | 食用 Edible |

3.2 各评估等级物种概况

3.2.1 疑似灭绝

云南假地舌菌(*Hemiglossum yunnanense*)是此次评估大型子囊菌乃至整个大型真菌中唯一的疑似灭绝物种,也是所有大型真菌评估物种中受威胁等级最高的物种。该种系法国学者1890年基于采自云南的单一标本发表,此后的100多年中无新的采集记录,目前全世界仅存1份标本,即该种的模式标本,现保存于美国哈佛大学标本馆,笔者20世纪80年代曾借阅模式标本并观察该种的形态解剖结构。我国相关类群的研究人员对此物种十分关注,多次前往模式标本原产地云南大理苍山开展调查,均未再次发现,故将其评估为疑似灭绝物种。为了确认该物种是否已经灭绝,需要对其模式标本原产地及周边类似的生境展开更加深入细致的调查,并检测土壤中是否存在该种的菌丝体,进而明确其受威胁状态。

3.2.2 极危

被评为极危的6种大型子囊菌如下:细小地舌菌(*Geoglossum pusillum*)、景洪毛舌菌(*Trichoglossum cheliense*)、昆明毛舌菌(*T. kunmingense*)、珀松毛舌菌(*T. persoonii*)、中国毛舌菌(*T. sinicum*)和四孢毛舌菌(*T. tetrasporum*)。以上极危物种均属于地舌菌科,自1944年真菌学家戴芳澜先生描述以来(Tai, 1944),均无新增标本记录。其中细小地舌菌仅在江西省分布,其他5种毛舌菌只在云南省报道,它们的分布

范围极为狭窄,系中国特有种。气候变化、栖息地质量退化等可能是威胁这些物种生存的主要因素。

3.2.3 濒危

在3种濒危大型子囊菌中,紊乱毛舌菌(*Trichoglossum confusum*)和罕见毛舌菌(*T. rasum*)属于地舌菌科,前者仅在江苏省报道过一次(邓叔群, 1963);后者分布稍广,但正如其名称所示,极为罕见,少有报道记录。巨孢奇块菌(*Paradoxa gigantospora*)属于块菌科,为地下生真菌,仅在我国云南、四川等地发现(Wang & Hu, 2008),一般生长于云南松和栎树(*Quercus* sp.)林下石灰质土壤中,有一定的食用价值,在产地很可能被当作块菌采挖。巨孢奇块菌分布范围狭窄,种群数量相对于其他块菌更为稀少,一旦遭受人类过度采挖,物种的生存状况将面临严重威胁,因此被评为濒危。需要指出的是,巨孢奇块菌的分类学地位尚存在争议, Vizzini (2003)认为该物种是巨孢块菌(*Tuber gigantosporum*)的异名, Index Fungorum目前将*Tuber gigantosporum*作为该物种的现用名。但物种的定名不影响物种受威胁等级的评估,巨孢奇块菌是一个需要关注和保护的物种,名称问题可在以后的红色名录版本中修订。相信随着研究的深入,类似的情况还有更多,大型真菌的保护不应受名称的限制。

3.2.4 易危

易危大型子囊菌有14种,包括9种食用菌和5种药用菌(其中4种药食兼用)。在4种药食兼用的大型

子囊菌中,3种为虫草类真菌,即冬虫夏草、老君山线虫草(*Ophiocordyceps laojunshanensis*)和广东虫草(*Tolypocladium guangdongense*);其中以冬虫夏草最为典型,有学者曾提议将其列为真菌保护的旗舰物种(Cannon, 2011)。冬虫夏草分布于我国青海、西藏、四川、云南和甘肃五省,以及与我国相邻的喜马拉雅山南麓的国家或地区,如尼泊尔、不丹和印度北部的部分地区(Li et al, 2011)。相对于其他虫草类真菌,其分布范围较广、种群密度和生物量更高,但由于受长期过度采挖和气候变化的影响,其数量不断减少,分布范围也在逐渐萎缩。根据物种分布模型的预测,冬虫夏草的分布面积因青藏高原气候变化的影响可能在未来三、五十年内丧失30%以上(Yan et al, 2017)。老君山线虫草主要分布于滇西北老君山、玉龙雪山等地的冷杉(*Abies fabri*)林下,尽管2011年才被作为新种描述(Chen et al, 2011),但在产地一直被当作冬虫夏草采挖。与冬虫夏草类似,老君山线虫草也面临着气候变化和过度采挖的双重影响,资源趋于匮乏,而其分布范围极为狭窄,局限于滇西北的部分高海拔地区,被评为易危物种,但其实际的受威胁程度可能更高。广东虫草发表于2008年(Lin et al, 2008),2013年获批为新资源食品(原卫生部和国家卫生计生委2013年1号公告),已实现人工栽培,但野生资源量少,仅在广东报道,地理分布范围狭窄,受气候变化和人类活动的影响,栖息地可能退化,因此被评为易危。除了以上3种虫草,中华肉球菌(*Engleromyces sinensis*)是另外一种被评为易危的药食兼用大型子囊菌,发表于2010年(Whalley et al, 2010),主要分布在我国云南西北部高海拔地区,寄生在高山竹类上,种群数量小,成熟个体数量少,作为药用菌在彝族等少数民族地区有较长的使用历史,也可食用。该种具有较高的经济价值(2018年产地调查每公斤鲜品100元左右),被大量采集,特别是近年来当地大力发展旅游业,流动人口增多,旅游带动的需求增加,其生存状况可能会不断恶化,此次被评为易危。此外,评为易危的具有药用价值的大型子囊菌还有竹黄(*Shiraia bambusicola*)。竹黄的分布范围相对较广,作为重要的传统中药材,有很长的应用历史,目前主要依赖野生资源,大量的采集已对其生存造成了显著的威胁。

其余5种被评为易危的大型可食用子囊菌有4种为块菌属成员,包括会东块菌(*Tuber huidongen-*

se)、印度块菌(*T. indicum*)、攀枝花块菌和中华夏块菌。这4种块菌主要分布在我国云南、四川等地,具有较高的经济价值,近年来受过度采挖和不良采挖方式的影响,种群数量和成熟个体数量有明显下降,生存状况不容乐观。西藏羊肚菌(*Morchella tibetica*)是另一种可食用的易危大型子囊菌,分布范围较窄,据报道仅分布于西藏林芝及邻近的滇西北地区,种群数量少,如果不限制采集,很可能受到严重威胁。

除了食药菌,易危的大型子囊菌还包括美洲饰孢盘菌(*Aleurina americana*)、桦杯盘菌(*Ciboria betulae*)、古巴散胞盘菌(*Encoelia cubensis*)和细小地舌菌(*Geoglossum pusillum*)。上述物种不具有明显的食药价值,不受采挖的影响,但是由于其分布范围狭窄,种群数量少且规模小,人类活动导致其栖息地出现不同程度的退化。

这里需要特别说明,在14个评为易危的大型子囊菌中,攀枝花块菌(*Tuber panzhihuanense*)和中华夏块菌(*T. sinoaestivum*)发表于2013年,广东虫草和老君山线虫草作为新种发表也不足10年。按照此次评估的规定,发表不足10年的物种一般列为数据不足,但由于这些物种具有经济重要性,根据当前对它们信息的掌握情况(地理分布、种群数量、生境质量以及目前面临的威胁等)较其他大部分子囊菌物种更为充足,出于保护的目也进行了评估。

3.2.5 近危

近危等级的大型子囊菌包括41种:19种块菌、7种虫草,此外还有猪块菌(*Choiromyces* spp.)、马鞍菌(*Helvella* spp.)、羊肚菌和盾盘菌(*Scutellinia* spp.)等属的部分种类。其中块菌、虫草以及羊肚菌等具有较高的食用或药用价值,人类采挖对其生存影响较大,已经受到一定程度的威胁,如不加以控制并采取保护措施,这些物种很可能在未来很短的时间内上升为易危、濒危甚至极危的等级。

3.2.6 无危和数据不足

此次评估,无危的大型子囊菌共189种,仅占评估大型子囊菌物种数的21.72%。数据不足的达616种,是物种数量最多的评估等级,占评估大型子囊菌物种数的70.80%。无危的大型子囊菌一般分布广泛、个体数量多,分布于两个及以上县级行政区,并且各分布点(县)之间的距离较大或分跨不同省份,大部分为世界广布种(或区域分布种),少量为中国特有种。数据不足的物种可分为3种情况:其

一, 分类学研究不足导致物种的鉴定和分类地位不明确, 有关报道的物种存疑; 其二, 现有的物种地理分布范围、种群数量、种群变化趋势等研究数据不足, 难以对物种的受威胁状况进行准确判断; 其三, 近期发表的新种, 由于对其认识和熟悉程度较低, 现有的报道不足以支持对这些新种的受威胁状态进行评估(王科等, 2020)。我国大型真菌研究基础相对薄弱, 可用于红色名录评估的物种信息偏少, 大部分数据不足的物种均属于上述第二种情况。

3.3 受威胁物种的地理分布

受威胁大型子囊菌物种在各省(区、市)的分布存在明显的差异。云南是受威胁大型子囊菌分布最为集中的省份, 受威胁物种达17种, 占受威胁大型子囊菌物种总数的70.83%; 其次为四川, 有8个种。此外, 甘肃、浙江、江西、西藏和广东各2种, 吉林、内蒙古、北京、陕西、青海、安徽、江苏、湖南、贵州和福建各1种(表2)。在24种受威胁的大型子囊菌中, 有15种是中国特有种, 包括云南假地舌菌、广东虫草、中华肉球菌、细小地舌菌、西藏羊肚菌、老君山线虫草、巨孢奇块菌、景洪毛舌菌、昆明毛舌菌、珀松毛舌菌、中国毛舌菌、四孢毛舌菌、会东块菌、攀枝花块菌和中华夏块菌, 特有种占受威胁种数的62.50%。在这些特有种中, 目前有12种在云南报道, 4种在四川有分布, 此外广东、江西和西藏各1种。其余9个广布的大型子囊菌受威胁物种中, 5个分布在云南, 4个在四川(表2)。云南和四川两省大型子囊菌的保护应引起重视, 可以考虑设立大型子囊菌优先保护区。

3.4 致危因素分析

对大型子囊菌受威胁因素的分析结果显示, 分布狭窄、种群数量少等特点是导致物种受威胁的内在因素, 如极危物种细小地舌菌、景洪毛舌菌、昆明毛舌菌、珀松毛舌菌、中国毛舌菌、四孢毛舌菌, 濒危物种巨孢奇块菌、紊乱毛舌菌、罕见毛舌菌等。这些物种分布范围局限, 难以适应环境的快速变迁, 土地开发利用、城市化等造成的栖息地丧失和退化都可能导致其濒危或灭绝。而对冬虫夏草、老君山线虫草、会东块菌、印度块菌、攀枝花块菌以及中华夏块菌等食药菌来说, 过度采挖和不合理的采挖方式(在子实体成熟、散发孢子之前的采挖)都是重要的威胁因素。此外, 气候变化也是重要的威胁因素之一, 如全球气候变暖导致的冬虫夏草分布区

萎缩(Yan et al, 2017)。气候变化对大型子囊菌的影响可能比我们了解的更为严重, 但物种对气候变化的响应还需要深入研究。

4 小结与展望

红色名录是物种和生物多样性保护重要的基础性参考文献。通过此次评估, 不仅掌握了我国大型子囊菌的物种多样性和分布, 也初步了解了其受威胁现状。此次评估涵盖我国已报道的大部分大型子囊菌, 评估出疑似灭绝物种1种、极危6种、濒危3种、易危14种、近危41种、无危189种。但评为数据不足的物种多达616种, 占比70.80%, 远高于脊椎动物的21.6% (蒋志刚, 2016)和高等植物的13.42% (覃海宁和赵莉娜, 2017), 也略高于大型担子菌的67.82% (魏铁铮等, 2020)和地衣的68.07% (魏鑫丽等, 2020), 表明我国大型真菌尤其是大型子囊菌资源调查和分类学等基础生物学研究与高等动植物相比存在明显差距。

随着人口的增长和全球经济与社会的发展, 森林及其他自然生态系统严重退化甚至丧失, 不同地区、不同类群的生物多样性都受到了不同程度的威胁。英国皇家植物园出版的*State of the World's Fungi 2018* (Willis, 2018)显示, 2017年全球描述真菌新物种2,189个, 其中子囊菌新种1,481个, 占比68%, 远高于担子菌(684种, 31%)和其他类群的真菌(不足1%)。近年来, 描述真菌新物种的速度有所增长, 但与学者们全球200万真菌物种有待描述的估计相比, 还存在巨大差距(Hawksworth & Lücking, 2017), 很多潜在的真菌资源可能在被发现之前就已濒临灭绝或消失了。在未来相当长的一段时间里, 真菌资源调查、分类学研究仍然是一个需要引起重视和投入资金的领域。

分类学研究是进行红色名录评估的基础, 分类学工作者是提供大型真菌红色名录评估信息的主体。从此次评估过程中不难看出, 物种信息相对丰富的类群, 如虫草、块菌等, 往往具有一定的经济价值, 研究者较多, 研究较为深入。评为数据不足的616种大型子囊菌, 其中一部分分类学研究不足, 导致物种分类地位不够明确, 身份存疑, 绝大多数物种(包括近10年发表的物种)缺乏较详尽的地理分布范围、种群数量、种群变化趋势等信息, 难以对其受威胁状况进行判断。近年来, 科技部先后启动

了青藏高原、西南喀斯特、东北等地区的真菌资源调查项目,上述项目的实施将为以后的评估积累丰富的数据。总体上,目前我国大型真菌的标本记录约100万条(Fang et al, 2018),低于英国的相关记录。英国大型真菌红色名录评估尚且存在评估信息不足的问题,我国更应当加强全方位的资源调查和收集工作。对研究薄弱地区、生物多样性热点地区、研究薄弱类群、有重要经济价值和有理论研究价值的子囊菌类群的调查迫在眉睫。资源调查和动态监测数据的缺失是很多大型子囊菌物种无法进行有效评估的重要原因。

对冬虫夏草的研究表明,物种分布模型可以有效预测物种的当前分布、全球气候变化影响下未来分布区的变化等(Yan et al, 2017),为物种的受威胁等级评估提供更多依据。在获得充足调查数据的基础上,可以应用模型分析的方法,对物种过去的分布面积变化、种群动态等作出合理预测,其结果也可作为红色名录评估的重要依据。相信物种分布模型以及其他模型分析方法将在大型子囊菌的红色名录评估和保护工作中发挥重要作用(李熠等, 2020b)。

在高等动植物的红色名录评估中,除了分类学家和生态学家提供的评估信息,保护区管理人员以及业余爱好者群体也提供了大量可供参考的信息(杨永等, 2017)。而大型子囊菌评估信息的提供者全部为分类学家,非专业人员很难对其进行准确鉴定。在当前评估信息严重缺乏的情况下,保护区管理人员、爱好者群体以及生态学家的广泛参与具有重要意义。可考虑建立与IUCN红色名录评估网站(<https://www.iucnredlist.org/>)类似的信息整合及互动平台(网站、公众号等),及时公布红色名录评估结果,引导更多的参与者提供信息。开发适用于公众的大型真菌物种鉴定工具(App),获取更多的有效信息,促进大型真菌保护事业的发展(李熠等, 2020a)。

参考文献

- Ainsworth AM, Canteiro C, Dahlberg A, Douglas B, Furci G, Minter D, Mueller GM, Scheidegger C, Senn-Irlet B, Wilkins T, Williams E (2018) Conservation of fungi. In: State of the World's Fungi 2018. Report (ed. Willis KJ), pp. 70–77. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Cannon PF (2011) The caterpillar fungus, a flagship species for conservation of fungi. *Fungal Conservation*, (1), 35–39.
- Chen JY, Cao YQ, Yang DR, Li MH (2011) A new species of *Ophiocordyceps* (Clavicipitales, Ascomycota) from southwestern China. *Mycotaxon*, 115, 1–4.
- 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, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH (2010) 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 (2010) 中国食用菌名录. *菌物学报*, 29, 1–21.]
- 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.]
- Fang R, Kirk P, Wei JC, Li Y, Cai L, Fan L, Wei TZ, Zhao RL, Wang K, Yang ZL, Li TH, Li Y, Phurbu-Dorji, Yao YJ (2018) Country focus: China. In: State of the World's Fungi 2018. Report (ed. Willis KJ). Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 48–55.
- Gyosheva MM, Denchev CM, Dimitrova EG, Assyov B, Petrova RD, Stoichev GT (2006) Red list of fungi in Bulgaria. *Mycologia Balcanica*, 3, 81–87.
- Gyosheva MM, Fakirova VI, Denchev CM (2000) Red list and threat status of Bulgarian macromycetes. *Historia Naturalis Bulgarica*, 11, 139–145.
- Hawksworth DL, Lücking R (2017) Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*, 5(4), doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
- IUCN (2012) IUCN Red List Categories and Criteria, Version 3.1. Second Edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN (2018a) Table 1: Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996–2018). <http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics>. (accessed on 2018-07-06)
- IUCN (2018b) Table 3c: Status category summary by major taxonomic group (other groups). <http://www.iucnredlist.org/about/summary-statistics>. (accessed on 2018-07-05)
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2010) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria, Version 8.1. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee in March 2010. Downloadable from <http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/RedListGuidelines.pdf>. (accessed on 2014-03-01)
- Jansen AE, Ławrynowicz M (1991) Conservation of Fungi and Other Cryptogams in Europe. Łódź Society of Sciences and Arts, Łódź, Poland.
- Jiang ZG (2016) Assessing the surviving status of vertebrates in China. *Biodiversity Science*, 24, 495–499. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚 (2016) 中国脊椎动物生存现状研究. *生物多样性*, 24, 495–499.]
- Li Y, Liu DM, Wang K, Wu HJ, Cai L, Cai L, Li JS, Yao YJ

- (2020a) Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures. *Biodiversity Science*, 28, 66–73. (in Chinese with English abstract) [李熠, 刘冬梅, 王科, 吴海军, 蔡蕾, 蔡磊, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策. *生物多样性*, 28, 66–73.]
- Li Y, Tang ZY, Yan YJ, Wang K, Cai L, He JS, Gu S, Yao YJ (2020b) Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis*. *Biodiversity Science*, 28, 99–106. (in Chinese with English abstract) [李熠, 唐志尧, 闫昱晶, 王科, 蔡磊, 贺金生, 古松, 姚一建 (2020b) 物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保护中的应用: 以冬虫夏草为例. *生物多样性*, 28, 99–106.]
- Li Y, Wang XL, Jiao L, Jiang Y, Li H, Jiang SP, Lhotsumtseiring N, Fu SZ, Dong CH, Zhan Y, Yao YJ (2011) A survey of the geographic distribution of *Ophiocordyceps sinensis*. *The Journal of Microbiology*, 49, 913–919.
- Lin QY, Li TH, Song B (2008) *Cordyceps guangdongensis* sp. nov. from China. *Mycotaxon*, 103, 373.
- 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.]
- Prescott T, Wong J, Panaretou B, Boa E, Bond A, Chowdhury S, Davies L, Østergaard L (2018) Useful fungi. In: Willis KJ (ed.), *State of the World's Fungi 2018. Report*. Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 24–31.
- Qin HN, Zhao LN (2017) Evaluating the threat status of higher plants in China. *Biodiversity Science*, 25, 696–744. (in Chinese and English) [覃海宁, 赵莉娜 (2017) 中国高等植物受威胁物种名录. *生物多样性*, 25, 696–744.]
- Rassi P, Hyvärinen E, Juslén A, Mannerkoski I (2010) The 2010 Red List of Finnish Species. Ministry of the Environment & Finnish Environment Institute, Helsinki.
- Senn-Irlet B, Heilmann-Clausen J, Genney D, Dahlberg A (2007) *Guidance for Conservation of Macrofungi in Europe*. ECCF, Strasbourg.
- Siller I, Vasas G (1995) Red list of macrofungi of Hungary (revised edition). *Studia Botanica Hungarica*, 26, 7–14.
- Tai FL (1944) *Studies in the Geoglossaceae of Yunnan*. *Lloydia*, 7, 146–162.
- Teng SQ (1963) *Fungi of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [邓叔群 (1963) 中国的真菌. 科学出版社, 北京.]
- Vizzini A (2003) Il genere *Tuber*: la sua posizione nelle Pezizales (origine dei taxa ipogei nelle Pezizales). *Bollettino Del Gruppo Micologico Giacomo Bresadola*, 46, 97–153.
- Wagensommer RP, Bistocchi G, Arcangeli A, Rubini A, Perini C, Venanzoni R, Angelini P (2018) An assessment of red list data for the Pezizomycotina (Ascomycota): Umbria (Italy) as a test case. *Plant Biosystems*, 152, 1329–1337.
- 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.]
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. *生物多样性*, 28, 11–19.]
- Wang Y, Hu HT (2008) *Paradoxa gigantospora* comb. nov. from China. *Mycotaxon*, 106, 199–202.
- 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, Wang K, Yu XD, Li Y, Wu HJ, Wu HM, Wang YH, Wei XD, Li BB, Jiang L, Yao YJ (2020) Assessment of the threatened status of macro-basidiomycetes in China. *Biodiversity Science*, 28, 41–53. (in Chinese with English abstract) [魏铁铮, 王科, 于晓丹, 李熠, 吴海军, 吴红梅, 王永会, 卫晓丹, 李斌斌, 蒋岚, 姚一建 (2020) 中国大型担子菌受威胁现状评估. *生物多样性*, 28, 41–53.]
- 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.]
- Wei XL, Deng H, Wei JC (2020) Threatened categories assessment of lichens in China. *Biodiversity Science*, 28, 54–65. (in Chinese with English abstract) [魏鑫丽, 邓红, 魏江春 (2020) 中国地衣的濒危等级评估. *生物多样性*, 28, 54–65.]
- Whalley MA, Khalil AMA, Wei TZ, Yao YJ, Whalley AJS (2010) A new species of *Engleromyces* from China, a second species in the genus. *Mycotaxon*, 112, 317–323.
- Willis KJ (2018) *State of the World's Fungi 2018. Report*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Wu XL, Mao XL, Song B, Li TH, Bau T, Zhao YX, Zeng NK, Huang SZ (2012) Study on species diversity and chemical

- composition of medicinal Ascomycota in China. *Guizhou Science*, 30(2), 1–20. (in Chinese with English abstract) [吴兴亮, 卯晓岚, 宋斌, 李泰辉, 图力古尔, 赵友兴, 曾念开, 黄圣卓 (2012) 中国药用真菌(子囊菌)多样性及其化学成分. *贵州科学*, 30(2), 1–20.]
- Wu XL, Mao XL, Song B, Wen TC, Li TH, Bau T, Zhao YX, Zeng NK, Huang SZ, Ma HX (2013) Study on species diversity and chemical composition of medicinal Ascomycota in China II. *Guizhou Science*, 31(2), 1–22. (in Chinese with English abstract) [吴兴亮, 卯晓岚, 宋斌, 文庭池, 李泰辉, 图力古尔, 赵友兴, 曾念开, 黄圣卓, 马海霞 (2013) 中国药用真菌(子囊菌)多样性及其化学成分II. *贵州科学*, 31(2), 1–22.]
- Yan Y, Li Y, Wang WJ, He JS, Yang RH, Wu HJ, Wang XL, Jiao L, Tang ZY, Yao YJ (2017) Range shifts in response to climate change of *Ophiocordyceps sinensis*, a fungus endemic to the Tibetan Plateau. *Biological Conservation*, 206, 143–150.
- Yang Y, Liu B, Njenga DM (2017) Red list assessment and conservation status of gymnosperms from China. *Biodiversity Science*, 25, 758–764. (in Chinese with English abstract) [杨永, 刘冰, Njenga DM (2017) 中国裸子植物物种濒危和保育现状. *生物多样性*, 25, 758–764.]
- 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.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 时意专)



•研究报告•

中国大型担子菌受威胁现状评估

魏铁铮¹ 王科^{1,2} 于晓丹³ 李熠⁴ 吴海军¹ 吴红梅¹ 王永会^{1,2}
卫晓丹¹ 李斌斌¹ 蒋岚¹ 姚一建^{1*}

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

3 (沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳 110866)

4 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 基于文献和标本信息以及专家提供的数据, 依据中国大型真菌评估的标准和程序, 对中国范围内已知大型担子菌进行了受威胁状态评估。结果显示, 在评估的6,268种担子菌中, 受威胁(疑似灭绝、极危、濒危、易危)的物种有45种, 受威胁比例为0.72%。受威胁的大型担子菌物种中食药菌比例达1/3以上, 且大部分物种仍无法人工栽培, 主要依赖野生资源。我国受威胁担子菌主要集中在西南和东北地区。人类活动导致的物种栖息地萎缩和破坏是我国大型担子菌受威胁的首要因子, 过度采挖是食药菌受威胁的重要原因。此外, 数据不足的大型担子菌共4,251种, 占被评估大型担子菌总数的67.82%, 表明我国大型担子菌物种多样性及相关研究还存在不足。

关键词: 真菌; 红色名录; 受威胁物种; 食药菌

Assessment of the threatened status of macro-basidiomycetes in China

Tiezheng Wei¹, Ke Wang^{1,2}, Xiaodan Yu³, Yi Li⁴, Haijun Wu¹, Hongmei Wu¹, Yonghui Wang^{1,2}, Xiaodan Wei¹, Binbin Li¹, Lan Jiang¹, Yijian Yao^{1*}

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 College of Bioscience and Biotechnology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866

4 School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

Abstract: A red list assessment of macrofungi was performed to determine the threatened status of known macro-basidiomycetes in China. Forty-five species were considered threatened, with species classified as either Possibly Extinct (PE), Critically Endangered (CR), Endangered (EN) or Vulnerable (VU). These species account for 0.72% of the 6,268 macro-basidiomycete species. More than one-third of the threatened species are edible or medicinal fungi, and most of them are uncultivable, meaning they only grow in the wild. The threatened basidiomycete species are mainly distributed across Southwest and Northeast China. The main threats to these species are shrinking and destruction of habitat caused by human activities, although excessive picking is a major threat for the edible and medicinal species. However, there were insufficient data for 4,251 macro-basidiomycetes species, 67.82% of all species, which suggests that this red list assessment is incomplete.

Key words: fungi; red list; threatened species; edible or medicinal fungi

担子菌是有性生殖在称为担子的产孢结构上形成外生担孢子(basidiospores)的一类真菌的统称(Alexopoulos et al, 1996)。Catalogue of Life (<http://www.catalogueoflife.org/col/info/totals>, 截至2019年

6月20日)已收录全球担子菌门真菌超过4.8万种, 它们是物种数量仅次于子囊菌门的真菌第二大类群。担子菌中的大多数种类具有肉眼可见的子实体, 目前已发现的大型真菌绝大多数属于担子菌(Mueller

收稿日期: 2019-05-14; 接受日期: 2019-07-09

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yaoyj@im.ac.cn

et al, 2007)。大型担子菌分布极为广泛, 生物量巨大, 与动植物形成密不可分的关系, 在自然生态系统中发挥着重要的作用。大型担子菌中的许多类群, 如鹅膏属(*Amanita*)、牛肝菌属(*Boletus*)、口蘑属(*Tricholoma*)等, 能与树木形成外生菌根, 与宿主植物之间建立互惠共生关系(Singer, 1986)。多孔菌属(*Polyporus*)等木材腐朽菌在森林系统的物质循环中具有重要作用。大型担子菌与人类的生产生活关系密切, 双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)、美味牛肝菌(*Boletus edulis*)、蚁巢伞(*Termitomyces* spp.)等重要食用菌, 灵芝(*Ganoderma sichuanense*)、茯苓(*Wolfiporia cocos*)、牛樟芝(*Taiwanofungus camphoratus*)等药用菌, 以及鸡油菌(*Cantharellus cibarius*)、猴头菇(*Hericium erinaceum*)、松口蘑(*Tricholoma matsutake*)等食药两用真菌在食用菌产业和医疗保健等领域发挥着日益重要的作用。除有益作用外, 致命鹅膏(*Amanita exitialis*)、裸盖菇(*Psilocybe* spp.)等一些有毒的大型担子菌还威胁着人类的生命安全。

我国大型担子菌资源十分丰富, 其中不乏重要的食药用品种。迄今为止, 国内已报道的野生食药用品大型担子菌超过1,600种, 占我国全部大型食药用品真菌的约93% (Fang et al, 2018), 食药用品真菌在我国农业中占据日益突出的地位。然而, 相对于其丰富的物种多样性, 我国大型真菌资源保护工作存在严重不足, 物种受威胁程度评估近年来才刚刚起步。开展大型真菌红色名录评估, 是我国生物多样性保护的重要工作内容。2018年5月, 国家生态环境部(原环境保护部)和中国科学院共同发布了我国第一部大型真菌红色名录。本文报道该名录中大型担子菌的评估结果及分析, 以期推进我国真菌多样性保护的相关工作。

1 国内外担子菌受威胁状态评估现状

欧洲是最早运用世界自然保护联盟(International Union For Conservation of Nature, IUCN)红色名录评估方法开展大型真菌红色名录评估的地区, 已有多个国家制定了大型真菌保护的计划政策和法律法规, 有的国家还建立了大型真菌保护地。全世界最早的菌物红色名录由前民主德国于1982年公布。乌克兰在其第二版植物红色名录中加入了真菌的受威胁类群, 包含了26个担子菌物种(Senn-Irlet et al, 2007)。保加利亚发布的首版大型真

菌红色名录中包含了106种大型担子菌(Gyosheva et al, 2000)。意大利首先完成了本国担子菌的物种名录, 并以此为基础提出了93个稀有或受威胁的担子菌类群(Senn-Irlet et al, 2007)。目前, 已经有31个欧洲国家发布了各自的红色名录, 57%的国家对其公布的红色名录进行过修订和再版(Senn-Irlet et al, 2007)。欧洲完善的菌物红色名录编研工作主要得益于其雄厚的菌物分类与系统学研究基础、丰富的标本储备、完善的信息平台和长期的菌物多样性监测工作。早在1910年, 荷兰就已经开始大型真菌的监测工作。英国菌物红色名录是依据自1960年以来对遍布全国的样地长期定量监测的结果。欧洲已经建立了较完善的菌物监测网络, 成为其菌物红色名录最直接的数据来源。

目前, 我国还未对包括大型担子菌在内的大型真菌进行全面、大规模的评估。已有的主要是一些菌物学者开展的零散的评估分析, 且评估体系大多未采用IUCN等级和标准, 也缺乏全面系统的研究。国内的大型担子菌受威胁状况评估始于2003年, 刘培贵等(2003)依据动、植物的划分方法, 将大型真菌分为濒危类群、重大科学价值类群和重要经济类群等3类, 担子菌中的蚁巢伞属(*Termitomyces*)、松茸群(*Tricholoma matsutake-group*)和有药用价值的多孔菌等被划入濒危类群。戴玉成(2003)列举了长白山森林生态系统中的稀有和濒危多孔菌27种。范宇光和图力古尔(2008)对长白山国家级自然保护区受威胁大型真菌物种进行量化评价, 涉及大型担子菌36种, 其中极危2种、濒危4种、易危10种、近危9种、无危11种。廖宇静等(2008)探讨了重庆金佛山国家级自然保护区大型真菌多样性及资源保护与可持续利用问题, 将15种大型担子菌列为濒危。戴玉成等(2010)发现分布于我国20个省区的48种多孔菌为濒危物种。魏铁铮和姚一建(2010)根据世界自然保护联盟物种红色名录等级和标准提出我国受威胁大型真菌物种有137种(濒危54种, 易危54种, 近危29种), 其中担子菌123种。王建瑞等(2015)采用层次分析(analytic hierarchy process, AHP)和专家咨询相结合的方法确定了评价层次的目标权重, 并对山东省175种大型真菌的濒危程度和优先保育进行了评估, 其中建议列为一二级保护的物种都是担子菌的类群。21世纪以来, 我国专家学者对部分大型真菌的受威胁状况开展了评估工作, 其中涉及到部

分大型担子菌类群。然而, 已开展的这些评估工作所涉及的物种数量少, 而且所涉及的地理区域大多比较狭窄, 难以反映我国大型担子菌的整体生存状况。

2 评估方法及流程

大型担子菌红色名录评估的等级和标准依据《中国大型真菌红色名录评估方法和程序》(王科等, 2020)进行。评估等级主要包括灭绝(Extinct, EX)、野外灭绝(Extinct in the Wild, EW)、疑似灭绝(Possibly Extinct, PE)、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)。该标准和规范参考IUCN红色名录评估等级标准(IUCN, 2012a, 2012b; IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2016), 同时结合我国大型真菌资源现状、已有研究、开发利用及资源保护的具体情况而制定。

表1 大型担子菌评估类群及评估等级

Table 1 Assessed groups and categories of macro-basidiomycetes

| 评估类群 Taxa | 物种数 No. of species | 受威胁等级及物种数 Threatened categories and number of species | | | | |
|-----------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| | | 濒危 Endangered | 易危 Vulnerable | 近危 Near Threatened | 无危 Least Concern | 数据不足 Data Deficient |
| 蘑菇纲 Agaricomycetes | 6,158 | 13 | 28 | 54 | 1,880 | 4,183 |
| 蘑菇目 Agaricales | 2,926 | 8 | 11 | 17 | 838 | 2,052 |
| 蘑菇科 Agaricaceae | 445 | 5 | 2 | 1 | 148 | 289 |
| 鹅膏科 Amanitaceae | 157 | | 1 | 1 | 78 | 77 |
| 粪伞科 Bolbitiaceae | 43 | | | | 14 | 29 |
| 珊瑚菌科 Clavariaceae | 53 | | | | 15 | 38 |
| 丝膜菌科 Cortinariaceae | 221 | 1 | 1 | | 16 | 203 |
| 挂钟菌科 Cyphellaceae | 3 | | | | 3 | |
| 粉褶蕈科 Entolomataceae | 224 | | 1 | | 30 | 193 |
| 牛排菌科 Fistulinaceae | 5 | | | | 3 | 2 |
| 轴腹菌科 Hydnangiaceae | 27 | | | 2 | 10 | 15 |
| 蜡伞科 Hygrophoraceae | 99 | | | | 37 | 62 |
| 腹菌科 Hymenogastraceae | 138 | | | | 32 | 106 |
| 丝盖伞科 Inocybaceae | 179 | 1 | | | 46 | 132 |
| 离褶伞科 Lyophyllaceae | 64 | | 2 | 5 | 19 | 38 |
| 小皮伞科 Marasmiaceae | 184 | 1 | | | 50 | 133 |
| 小菇科 Mycenaceae | 147 | | | | 33 | 114 |
| 类脐菇科 Omphalotaceae | 96 | | | | 22 | 74 |
| 歧裂灰包科 Phelloriniaceae | 2 | | | | 1 | 1 |

大型担子菌红色名录评估过程依照中国大型真菌红色名录评估操作程序开展, 包括初评、函评、会评、复审、形成评估说明书5个步骤(王科等, 2020)。评估数据主要来源于中国菌物名录数据库(<http://www.fungalinfo.net/>)和相关领域专家提供的咨询信息。

3 大型担子菌评估结果与分析

3.1 评估结果

本次评估的大型担子菌共6,268种, 分属于3纲23目106科841属。评估物种数量最多的是蘑菇纲, 达6,158种, 占被评估大型担子菌物种总数的98.25%; 其次为银耳纲和花耳纲, 分别为56种和52种; 此外还有未定纲2种。评估物种数量最多的目是蘑菇目, 达2,926种, 占被评估大型担子菌物种总数的46.68%。评估物种数量最多的科是多孔菌科, 达478种, 占被评估大型担子菌物种总数的7.63%。我国大型担子菌类群及受威胁状况评估结果见表1。

表1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Taxa | 物种数 No. of species | 受威胁等级及物种数 Threatened categories and number of species | | | | |
|--------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| | | 濒危 Endangered | 易危 Vulnerable | 近危 Near Threatened | 无危 Least Concern | 数据不足 Data Deficient |
| 泡头菌科 Physalacriaceae | 67 | | | 1 | 20 | 46 |
| 侧耳科 Pleurotaceae | 66 | | | 3 | 19 | 44 |
| 光柄菇科 Pluteaceae | 69 | | 1 | | 22 | 46 |
| 皮孔菌科 Porotheleaceae | 4 | | | | 2 | 2 |
| 小脆柄菇科 Psathyrellaceae | 116 | | | | 25 | 91 |
| 羽瑚菌科 Pterulaceae | 19 | | | | 2 | 17 |
| 裂褶菌科 Schizophyllaceae | 3 | | | | 1 | 2 |
| 球盖菇科 Strophariaceae | 158 | | | 2 | 85 | 71 |
| 口蘑科 Tricholomataceae | 284 | | 2 | 2 | 85 | 195 |
| 假脐菇科 Tubariaceae | 4 | | | | | 4 |
| 核瑚菌科 Typhulaceae | 11 | | | | | 11 |
| 未定科 Incertae sedis | 38 | | 1 | | 20 | 17 |
| 淀粉伏革菌目 Amylocorticiales | 10 | | | | 4 | 6 |
| 淀粉伏革菌科 Amylocorticiaceae | 10 | | | | 4 | 6 |
| 木耳目 Auriculariales | 72 | | | | 30 | 42 |
| 木耳科 Auriculariaceae | 57 | | | | 25 | 32 |
| 未定科 Incertae sedis | 15 | | | | 5 | 10 |
| 牛肝菌目 Boletales | 562 | 1 | 5 | 4 | 209 | 343 |
| 牛肝菌科 Boletaceae | 390 | | 2 | 2 | 129 | 257 |
| 褶孔牛肝菌科 Boletinellaceae | 5 | | | | 2 | 3 |
| 丽口包科 Calostomataceae | 16 | 1 | 2 | | 3 | 10 |
| 粉孢革菌科 Coniophoraceae | 5 | | | | 2 | 3 |
| 双被地星科 Diplocystidiaceae | 3 | | | | 2 | 1 |
| 腹孢菌科 Gastrosporiaceae | 1 | | | | | 1 |
| 铆钉菇科 Gomphidiaceae | 16 | | | 2 | 8 | 6 |
| 圆孔牛肝菌科 Gyroporaceae | 12 | | | | 6 | 6 |
| 拟蜡伞科 Hygrophoropsidaceae | 2 | | | | 1 | 1 |
| 桩菇科 Paxillaceae | 25 | | 1 | | 7 | 17 |
| 须腹菌科 Rhizopogonaceae | 10 | | | | 6 | 4 |
| 硬皮马勃科 Sclerodermataceae | 20 | | | | 9 | 11 |
| 硬皮腹菌科 Sclerogastraceae | 2 | | | | | 2 |
| 干腐菌科 Serpulaceae | 4 | | | | 3 | 1 |
| 乳牛肝菌科 Suillaceae | 45 | | | | 27 | 18 |
| 小塔氏菌科 Tapinellaceae | 6 | | | | 4 | 2 |
| 鸡油菌目 Cantharellales | 56 | | 1 | 2 | 17 | 36 |
| 滑瑚菌科 Aphelariaceae | 3 | | | | 1 | 2 |
| 鸡油菌科 Cantharellaceae | 33 | | 1 | 2 | 12 | 18 |
| 锁瑚菌科 Clavulinaceae | 10 | | | | 3 | 7 |
| 齿菌科 Hydnaceae | 9 | | | | 1 | 8 |
| 胶膜菌科 Tulasnellaceae | 1 | | | | | 1 |
| 伏革菌目 Corticiales | 26 | | | | 4 | 22 |
| 伏革菌科 Corticiaceae | 26 | | | | 4 | 22 |

表1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Taxa | 物种数 No. of species | 受威胁等级及物种数 Threatened categories and number of species | | | | |
|--------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| | | 濒危 Endangered | 易危 Vulnerable | 近危 Near Threatened | 无危 Least Concern | 数据不足 Data Deficient |
| 地星目 Geastrales | 25 | | | | 15 | 10 |
| 地星科 Geastraceae | 25 | | | | 15 | 10 |
| 粘褶菌目 Gloeophyllales | 18 | | | 1 | 8 | 9 |
| 粘褶菌科 Gloeophyllaceae | 18 | | | 1 | 8 | 9 |
| 钉菇目 Gomphales | 140 | | 5 | 17 | 41 | 77 |
| 棒瑚菌科 Clavariadelphaceae | 9 | | | | 4 | 5 |
| 钉菇科 Gomphaceae | 125 | | 5 | 17 | 37 | 66 |
| 木瑚菌科 Lentariaceae | 6 | | | | | 6 |
| 刺革菌目 Hymenochaetales | 430 | 1 | 1 | | 86 | 342 |
| 刺革菌科 Hymenochaetales | 340 | 1 | | | 57 | 282 |
| 新小薄孔菌科 Neoantrodidiaceae | 2 | | | | 1 | 1 |
| 重担菌科 Repetobasidiaceae | 8 | | | | 2 | 6 |
| 裂孔菌科 Schizoporaceae | 58 | | 1 | | 18 | 39 |
| 未定科 Incertae sedis | 22 | | | | 8 | 14 |
| 辐片包目 Hysterangiales | 20 | | | | 4 | 16 |
| 辐片包科 Hysterangiaceae | 16 | | | | 4 | 12 |
| 栓心包科 Mesophelliaceae | 1 | | | | | 1 |
| 鬼笔腹菌科 Phallogastraceae | 2 | | | | | 2 |
| 川普包科 Trappeaceae | 1 | | | | | 1 |
| 夏氏伏革菌目 Jaapiales | 1 | | | | 1 | |
| 夏氏伏革菌科 Jaapiaceae | 1 | | | | 1 | |
| 鬼笔目 Phallales | 70 | 1 | | 1 | 20 | 48 |
| 闭腹菌科 Claustulaceae | 3 | | | | | 3 |
| 鬼笔科 Phallaceae | 67 | 1 | | 1 | 20 | 45 |
| 多孔菌目 Polyporales | 1,078 | 1 | 1 | 10 | 355 | 711 |
| 囊韧革菌科 Cystostereaceae | 5 | | | | 1 | 4 |
| 拟层孔菌科 Fomitopsidaceae | 146 | | | 4 | 57 | 85 |
| 脆孔菌科 Fragiliporiaceae | 1 | | | | | 1 |
| 灵芝科 Ganodermataceae | 129 | | | 4 | 51 | 74 |
| 肉孔菌科 Meripilaceae | 21 | | | | 8 | 13 |
| 干朽菌科 Meruliaceae | 156 | | | | 38 | 118 |
| 原毛平革菌科 Phanerochaetaceae | 123 | | 1 | | 23 | 99 |
| 多孔菌科 Polyporaceae | 478 | | | 2 | 172 | 304 |
| 绣球菌科 Sparassidaceae | 6 | | | | 1 | 5 |
| 刺孢齿耳菌科 Steccherinaceae | 6 | | | | 2 | 4 |
| 侧担菌科 Xenasmataceae | 3 | | | | 1 | 2 |
| 未定科 Incertae sedis | 4 | 1 | | | 1 | 2 |
| 红菇目 Russulales | 560 | 1 | 3 | 2 | 211 | 329 |
| 地花菌科 Albatrellaceae | 21 | | | | 5 | 16 |
| 淀粉韧革菌科 Amylostereaceae | 2 | | | | 2 | |
| 耳匙菌科 Auriscalpiaceae | 19 | | | 1 | 8 | 10 |
| 刺孢多孔菌科 Bondarzewiaceae | 37 | | | | 12 | 25 |

表1 (续) Table 1 (continued)

| 评估类群 Taxa | 物种数 No. of species | 受威胁等级及物种数 Threatened categories and number of species | | | | |
|------------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
| | | 濒危 Endangered | 易危 Vulnerable | 近危 Near Threatened | 无危 Least Concern | 数据不足 Data Deficient |
| 木齿菌科 Echinodontiaceae | 2 | | | | 1 | 1 |
| 粘齿菌科 Gloeodontiaceae | 1 | | | | | 1 |
| 猴头菌科 Hericiaceae | 12 | | 2 | | 4 | 6 |
| 茸瑚菌科 Lachnocladiaceae | 16 | | | | 2 | 14 |
| 隔孢伏革菌科 Peniophoraceae | 35 | | | | 1 | 34 |
| 红菇科 Russulaceae | 335 | 1 | 1 | | 161 | 172 |
| 冠孢革菌科 Stephanosporaceae | 4 | | | | | 4 |
| 韧革菌科 Stereaceae | 61 | | | | 12 | 49 |
| 未定科 Incertae sedis | 16 | | | 1 | 3 | 12 |
| 蜡壳菌目 Sebaciales | 9 | | | | 1 | 8 |
| 蜡壳菌科 Sebacinaceae | 9 | | | | 1 | 8 |
| 拟韧革菌目 Stereopsidales | 6 | | | | 2 | 4 |
| 拟韧革菌科 Stereopsidaceae | 6 | | | | 2 | 4 |
| 革菌目 Thelephorales | 73 | | 1 | | 15 | 57 |
| 坂氏齿菌科 Bankeraceae | 36 | | | | 9 | 27 |
| 革菌科 Thelephoraceae | 37 | | 1 | | 6 | 30 |
| 糙孢孔菌目 Trechisporales | 23 | | | | 1 | 22 |
| 刺孢菌科 Hydnodontaceae | 23 | | | | 1 | 22 |
| 胶瑚菌目 Tremellodendropsidales | 2 | | | | | 2 |
| 胶瑚菌科 Tremellodendropsidaceae | 2 | | | | | 2 |
| 未定目 Incertae sedis | 50 | | | | 18 | 32 |
| 未定科 Incertae sedis | 50 | | | | 18 | 32 |
| 花耳纲 Dacrymycetes | 52 | 2 | 1 | | 19 | 30 |
| 花耳目 Dacrymycetales | 52 | 2 | 1 | | 19 | 30 |
| 花耳科 Dacrymycetaceae | 52 | 2 | 1 | | 19 | 30 |
| 银耳纲 Tremellomycetes | 56 | | 1 | | 19 | 36 |
| 胶珊瑚目 Holtermanniales | 2 | | | | 2 | |
| 胶珊瑚科 Holtermanniaceae | 2 | | | | 2 | |
| 银耳目 Tremellales | 54 | | 1 | | 17 | 36 |
| 布勒掷孢酵母科 Bulleraceae | 2 | | | | | 2 |
| 明木耳科 Hyaloriaceae | 2 | | | | 2 | |
| 白耳科 Naemateliaceae | 3 | | 1 | | | 2 |
| 暗银耳科 Phaeotremellaceae | 2 | | | | 1 | 1 |
| 栅菌科 Phragmoxeniaceae | 1 | | | | | 1 |
| 链担耳科 Sirobasidiaceae | 3 | | | | 2 | 1 |
| 银耳科 Tremellaceae | 41 | | | | 12 | 29 |
| 未定纲 Incertae sedis | 2 | | | | | 2 |
| 未定目 Incertae sedis | 2 | | | | | 2 |
| 未定科 Incertae sedis | 2 | | | | | 2 |

评估结果表明,受威胁大型担子菌共45种,占被评估大型担子菌物种总数的0.72%,其中包括濒危15种、易危30种(表1和表2)。近危的大型担子菌

共54种,占被评估大型担子菌总数的0.86%。无危的大型担子菌共1,918种,占被评估大型担子菌物种总数的30.60%。数据缺乏的大型担子菌共4,251种,

表2 大型担子菌受威胁物种评估等级、分布及用途

Table 2 Categories, distribution and usage of the threatened species of macro-basidiomycetes

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemic to China | 用途 Usage |
|---|------------------|-----------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| 云南蘑菇 <i>Agaricus yunnanensis</i> | 濒危 Endangered | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国云南、四川 China: Yunnan, Sichuan | 是 Yes | |
| 阳城光黑腹菌 <i>Alpova yangchengensis</i> | 易危 Vulnerable | 桩菇科 Paxillaceae | 中国山西 China: Shanxi | 是 Yes | |
| 绒托鹅膏 <i>Amanita tomentosivolva</i> | 易危 Vulnerable | 鹅膏科 Amanitaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 小孔小薄孔菌 <i>Antrodiella micra</i> | 易危 Vulnerable | 原毛平革菌科 Phanerochaetaceae | 中国吉林、福建 China: Jilin, Fujian | 是 Yes | |
| 橙香牛肝菌 <i>Boletus citrifragrans</i> | 易危 Vulnerable | 牛肝菌科 Boletaceae | 中国四川、云南、西藏; 缅甸; 泰国 China: Sichuan, Yunnan, Xizang; Burma; Thailand | 否 No | 食用 Edible |
| 小橙黄牛肝菌 <i>Boletus miniatoaurantiacus</i> | 易危 Vulnerable | 牛肝菌科 Boletaceae | 中国广东; 北美洲 China: Guangdong; North America | 否 No | 食用 Edible |
| 湖南胶角耳 <i>Calocera hunanensis</i> | 濒危 Endangered | 花耳科 Dacrymycetaceae | 中国湖南 China: Hunan | 是 Yes | |
| 莽山胶角耳 <i>Calocera mangshanensis</i> | 易危 Vulnerable | 花耳科 Dacrymycetaceae | 中国湖南、云南 China: Hunan, Yunnan | 是 Yes | |
| 羊肚菌状胶角耳 <i>Calocera morchelloides</i> | 濒危 Endangered | 花耳科 Dacrymycetaceae | 中国福建 China: Fujian | 是 Yes | |
| 彭氏丽口包 <i>Calostoma pengii</i> | 濒危 Endangered | 丽口包科 Calostomataceae | 中国湖南 China: Hunan | 是 Yes | |
| 变孢丽口包 <i>Calostoma variispora</i> | 易危 Vulnerable | 丽口包科 Calostomataceae | 中国辽宁 China: Liaoning | 是 Yes | |
| 云南丽口包 <i>Calostoma yunnanense</i> | 易危 Vulnerable | 丽口包科 Calostomataceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 麦黄钟伞 <i>Campanella straminea</i> | 濒危 Endangered | 小皮伞科 Marasmiaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 云南鸡油菌 <i>Cantharellus yunnanensis</i> | 易危 Vulnerable | 鸡油菌科 Cantharellaceae | 中国贵州、云南、广西 China: Guizhou, Yunnan, Guangxi | 是 Yes | 食用 Edible |
| 海南笼头菌 <i>Clathrus hainanensis</i> | 濒危 Endangered | 鬼笔科 Phallaceae | 中国海南 China: Hainan | 是 Yes | |
| 新囊靴耳 <i>Crepidotus neocystidiosus</i> | 濒危 Endangered | 丝盖伞科 Inocybaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 景洪黑蛋巢菌 <i>Cyathus cheliensis</i> | 濒危 Endangered | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 紊乱黑蛋巢菌 <i>Cyathus confusus</i> | 濒危 Endangered | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国宁夏、云南 China: Ningxia, Yunnan | 是 Yes | |
| 五台山黑蛋巢菌 <i>Cyathus wutaishanensis</i> | 濒危 Endangered | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国山西 China: Shanxi | 是 Yes | |
| 小孢软齿菌 <i>Dentipellis microspora</i> | 易危 Vulnerable | 猴头菌科 Hericiaceae | 中国吉林 China: Jilin | 是 Yes | |
| 近杯伞状粉褶蕈 <i>Entoloma subclitocyboides</i> | 易危 Vulnerable | 粉褶蕈科 Entolomataceae | 中国贵州、海南、湖南 China: Guizhou, Hainan, Hunan | 是 Yes | |
| 承德高腹菌 <i>Gautieria chengdensis</i> | 易危 Vulnerable | 钉菇科 Gomphaceae | 中国河北、湖北 China: Hebei, Hubei | 是 Yes | |
| 猴头菇 <i>Hericium erinaceus</i> | 易危 Vulnerable | 猴头菌科 Hericiaceae | 中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山东、甘肃、湖南、四川、贵州、云南; 日本; 亚洲; 欧洲; 北美洲 China: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Hebei, Shandong, Gansu, Hunan, Sichuan, Guizhou, Yunnan; Japan; Asia; Europe; North America | 否 No | 食药 Edible and medicinal |

表2 (续) Table 2 (continued)

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemic species | 用途 Usage |
|---|------------------|--------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|
| 斑玉蕈 <i>Hypsizygus marmoreus</i> | 易危 Vulnerable | 离褶伞科 Lyophyllaceae | 中国黑龙江、吉林、辽宁、河北、山西、浙江、福建、台湾、香港; 日本; 欧洲 China: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Hebei, Shanxi, Zhejiang, Fujian, Taiwan, Hong Kong; Japan; Europe | 否 No | 食药用 Edible and medicinal |
| 斜生纤孔菌 <i>Inonotus obliquus</i> | 濒危 Endangered | 刺革菌科 Hymenochaetaceae | 中国黑龙江、吉林、内蒙古、陕西、青海、新疆; 日本; 芬兰; 波兰; 俄罗斯 China: Heilongjiang, Jilin, Inner Mongolia, Shaanxi, Qinghai, Xinjiang; Japan; Finland; Poland; Russia | 否 No | 药用 Medicinal |
| 长白乳菇 <i>Lactarius changbaiensis</i> | 易危 Vulnerable | 红菇科 Russulaceae | 中国吉林、云南 China: Jilin, Yunnan | 是 Yes | |
| 迷你乳菇 <i>Lactarius minimus</i> | 濒危 Endangered | 红菇科 Russulaceae | 中国广东; 英国 China: Guangdong; Britain | 否 No | |
| 中国白环蘑 <i>Leucoagaricus sinicus</i> | 易危 Vulnerable | 光柄菇科 Pluteaceae | 中国浙江 China: Zhejiang | 是 Yes | |
| 蒙古白丽蘑 <i>Leucocalocybe mongolica</i> | 易危 Vulnerable | 分类位置未定 Incertae sedis | 中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、甘肃、青海、新疆; 蒙古 China: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Hebei, Gansu, Qinghai, Xinjiang; Mongolia | 否 No | 食用 Edible |
| 金耳 <i>Naematelia aurantialba</i> | 易危 Vulnerable | 白耳科 Naemateliaceae | 中国内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、湖南、四川、云南、西藏 China: Inner Mongolia, Shaanxi, Ningxia, Gansu, Qinghai, Hunan, Sichuan, Yunnan, Xizang | 是 Yes | 食药用 Edible and medicinal |
| 疏褶暗金钱菌 <i>Phaeocollybia sparsilamellae</i> | 濒危 Endangered | 丝膜菌科 Cortinariaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 粉软卧孔菌 <i>Poriodontia subvinosa</i> | 易危 Vulnerable | 裂孔菌科 Schizoporaceae | 中国黑龙江、吉林、四川; 俄罗斯 China: Heilongjiang, Jilin, Sichuan; Russia | 否 No | |
| 云南多舌菌 <i>Pyrrhoglossum yunnanense</i> | 易危 Vulnerable | 丝膜菌科 Cortinariaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 短孢枝瑚菌 <i>Ramaria nanispora</i> | 易危 Vulnerable | 钉菇科 Gomphaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 拟粉红枝瑚菌 <i>Ramaria neoformosa</i> | 易危 Vulnerable | 钉菇科 Gomphaceae | 中国青海、四川、云南; 意大利 China: Qinghai, Sichuan, Yunnan; Italy | 否 No | |
| 朱细枝瑚菌 <i>Ramaria rubriattenuipes</i> | 易危 Vulnerable | 钉菇科 Gomphaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | 食用 Edible |
| 红肉枝瑚菌 <i>Ramaria rubricarnata</i> | 易危 Vulnerable | 钉菇科 Gomphaceae | 中国云南; 美国 China: Yunnan; USA | 否 No | |
| 牛樟芝 <i>Taiwanofungus camphoratus</i> | 濒危 Endangered | 分类位置未定 Incertae sedis | 中国台湾 China: Taiwan | 是 Yes | 药用 Medicinal |
| 端圆蚁巢伞 <i>Termitomyces tylerianus</i> | 易危 Vulnerable | 离褶伞科 Lyophyllaceae | 中国湖南、四川、云南、西藏、广东; 非洲 China: Hunan, Sichuan, Yunnan, Xizang, Guangdong; Africa | 否 No | 食用 Edible |
| 干巴菌 <i>Thelephora ganbajun</i> | 易危 Vulnerable | 革菌科 Thelephoraceae | 中国甘肃、河南、安徽、江西、四川、云南、西藏、广东、广西 China: Gansu, Henan, Anhui, Jiangxi, Sichuan, Yunnan, Xizang, Guangdong, Guangxi | 是 Yes | 食用 Edible |
| 松口蘑 <i>Tricholoma matsutake</i> | 易危 Vulnerable | 口蘑科 Tricholomataceae | 中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、陕西、甘肃、青海、湖北、四川、贵州、云南、西藏、广西; 日本; 欧洲 China: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Shanxi, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Hubei, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Xizang, Guangxi; Japan; Europe | 否 No | 食药用 Edible and medicinal |

表2 (续) Table 2 (continued)

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemic species | 用途 Usage |
|--|------------------|--------------------|--|--------------------------|-------------|
| 青盖拟口蘑 <i>Tricholomopsis lividipileata</i> | 易危 Vulnerable | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国山西、甘肃、四川 China: Shanxi, Gansu, Sichuan | 是 Yes | |
| 变孢柄灰包 <i>Tulostoma variisporum</i> | 濒危 Endangered | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国内蒙古; 蒙古 China: Inner Mongolia; Mongolia | 否 No | |
| 榆林柄灰包 <i>Tulostoma yulinense</i> | 易危 Vulnerable | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国内蒙古、陕西 China: Inner Mongolia, Shaanxi | 是 Yes | |
| 冬小包脚菇 <i>Volvariella brumalis</i> | 易危 Vulnerable | 蘑菇科 Agaricaceae | 中国贵州 China: Guizhou | 是 Yes | |

占被评估大型担子菌物种总数的67.82%。我国需要关注和保护的大型担子菌达4,350种, 占被评估大型担子菌物种总数的69.40%。

本次评估的蘑菇纲有13种濒危、28种易危、54种近危、1,880种无危、4,183种数据不足, 受威胁物种数占该纲被评估物种总数的0.67%。花耳纲有2种濒危、1种易危、19种无危、30种数据不足, 受威胁物种数量占该纲被评估物种总数的5.77%。银耳纲有1种易危、19种无危、36种数据不足, 受威胁物种数量占该纲被评估物种总数的1.79% (表1)。

3.2 各评估等级物种概况

3.2.1 濒危

濒危的大型担子菌共15种(表2), 其中, 牛樟芝和斜生纤孔菌(*Inonotus obliquus*, 原称“桦褐孔菌”)为药用菌。牛樟芝分布在我国台湾地区, 目前已经可以人工栽培, 但其野外种群受人类采挖利用的影响极为严重, 几乎无成熟子实体存在, 物种的生存状况十分堪忧。斜生纤孔菌的分布范围相对较广, 但人类的过度采挖使其生存状况受到严重威胁。此外, 濒危的大型担子菌中有紊乱黑蛋巢菌(*Cyathus confusus*)、云南蘑菇(*Agaricus yunnanensis*)等12个中国特有种。紊乱黑蛋巢菌的分布区域狭小, 种群数量有限, 目前仅保存一份采自云南昆明的模式标本。尽管有报道它在其他地区也有分布, 但缺乏可靠的标本证据。受人类活动及气候变化的影响, 该物种的生存受到威胁, 处于濒危状态。景洪黑蛋巢菌(*Cyathus cheliensis*)和五台山黑蛋巢菌(*C. wutaihanensis*)与紊乱黑蛋巢菌的情况类似, 分布范围狭窄, 易受人类活动及气候变化的影响, 为濒危物种。其余10种濒危担子菌除云南蘑菇在云南、四川两地分布以外, 其余物种已知的分布范围均局限在一个省, 报道的分布点极少, 种群数量有限, 易受

人类活动以及气候变化等的影响, 因此评为濒危。

3.2.2 易危

易危的大型担子菌包括松口蘑、金耳(*Naematelia aurantialba*)、湖南胶角耳(*Calocera hunanensis*)、莽山胶角耳(*C. mangshanensis*)和羊肚菌状胶角耳(*C. morchelloides*)等30种。松口蘑是一种名贵的野生食用菌, 具有很高的经济价值, 大量出口日本。松口蘑除了在日本四岛和朝鲜半岛有分布外, 在中国主要形成“藏东南-横断山区”和“大兴安岭-长白山”两大分布区。然而, 在西南和东北主产区的大部分地区, 松口蘑是当地百姓的重要经济来源, 过度采挖现象并未得到有效遏制。虽然它的分布范围相对较广, 种群密度和生物量也较大, 但目前种群密度已大幅下降, 达到易危等级。

受威胁的食药大型担子菌共13种, 其中猴头菇(或称“猴头菌”)、斑玉蕈(*Hypsizygus marmoreus*)、金耳、松口蘑等可以食药两用(表2)。这些物种中, 松口蘑、橙香牛肝菌(*Boletus citrifragrans*)、牛肝菌、云南鸡油菌(*Cantharellus yunnanensis*)、干巴菌(*Thelephora ganbajun*, 或称“干巴革菌”)等目前仍无法人工栽培, 其开发和利用主要依赖野生资源。部分种类虽已经开始规模化栽培, 但野生资源仍然显著衰减, 面临着严重威胁。以牛樟芝为例, 这种药用真菌仅分布在台湾, 野生子实体价格极其昂贵, 虽然已经人工培植, 但自然种群分布区狭窄, 野生资源受到极为严重的破坏, 很难在野外再找到成熟的子实体, 物种已经处于濒危状态。此外, 猴头菇野生种群也受到严重威胁, 但因其分布区域较广, 种群数量相对较大, 处于易危状态。

3.2.3 近危

近危的大型担子菌共54种, 分布在蘑菇属(*Agaricus*)、假芝属(*Amauroderma*)、牛肝菌属(*Boletus*)、

鸡油菌属(*Cantharellus*)、灵芝属(*Ganoderma*)、侧耳属(*Pleurotus*)、枝瑚菌属(*Ramaria*)、蚁巢伞属等28个属,其中枝瑚菌属物种最多,达16种;蚁巢伞属次之,有5种。这些物种大多数具有一定的食药用价值,因而受到人类活动影响较严重,但由于地理分布相对广泛,种群数量相对较多,资源较为丰富,处于近危等级。此外,块菌、蚁巢伞、灵芝等一些物种种群开始出现衰退的迹象,如不合理控制采挖量和采挖方式,并采取一定的保护措施,这些物种很可能在不远的将来陷入受威胁状态。

3.3 受威胁物种的地理分布

大型担子菌受威胁物种在各省(区、市)的分布不均匀。云南省是受威胁大型担子菌分布最为集中的省份,受威胁物种多达22种,占受威胁大型担子菌物种总数的近1/2;其次为四川10种,吉林9种;此外,内蒙古和湖南各7种,黑龙江和甘肃各6种,辽宁、山西、青海和贵州各5种,河北、陕西、西藏和广东各4种,福建和广西各3种,宁夏、新疆、浙江、湖北、台湾和海南各2种,山东、河南、安徽、江西和香港各1种(表2)。可见我国西南和东北是受威胁大型担子菌分布相对集中的地区,应重点关注。

在45种受威胁的大型担子菌中,有32种是中国特有种,占受威胁大型担子菌物种总数的71.11%,高于地衣型真菌和大型子囊菌受威胁物种中的特有种比例。在受威胁的中国特有种中,目前16种在云南有报道,占受威胁特有种的50%。此外,四川、湖南、贵州等省也有多种受威胁的中国特有大型担子菌分布。

3.4 大型担子菌受威胁因素分析

大型担子菌的受威胁因素与子囊菌类似,很多分布狭窄的中国特有种,如云南蘑菇、绒托鹅膏(*Amanita tomentosivolva*)、湖南胶角耳、麦黄钟伞(*Campanella straminea*)、海南笼头菌(*Clathrus hainanensis*)、云南多舌菌(*Pyrrhoglossum yunnanense*)等,不仅分布区域局限,而且种群数量少、子实体发生频率低。全球气候变化和人类活动导致的栖息地缩小和破坏是威胁这些物种生存的重要因素。本次评估中,受威胁大型担子菌物种中食药用菌比例达1/3以上。对于一些目前尚无法人工栽培的重要野生食药用菌来说,过度采挖是导致这些物种受到威胁的主要原因。受经济利益的驱动,松口蘑的采挖大部分在子实体成熟之前,孢子还来不及散发,导致土壤

中的菌源得不到有效补充,加剧了其受威胁程度。

3.5 物种评估实例

3.5.1 蒙古白丽蘑 *Leucocalocybe mongolica* (S. Imai) X. D. Yu & Y. J. Yao *Afr. J. Microbiol. Res.* 5(31): 5751 (2011) (图1)

形态特征:菌盖直径1.5–17 cm,幼时菌盖边缘内卷,成熟后渐平展,表面奶油色带黄色调,光滑。菌褶弯生,宽2.0–4.0 mm,近白色,密,具小菌褶。菌柄长2.0–9 cm,直径1.5–4 cm,基部稍膨大,表面近白色,中实。菌肉致密,白色,厚1.0–2.0 cm。孢子印白色。味道鲜美,有香气。孢子 $7.0-9.5 \times 5.0-6.0 \mu\text{m}$, $Q = 1.21$,近椭圆形,薄壁,表面有微小突起,近透明,非淀粉质。担子棒状,具四个孢子梗。菌髓菌丝规则,所有的菌丝具有锁状联合。

模式产地:蒙古。

地理分布:中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、甘肃、青海、新疆;蒙古。

研究标本:内蒙古:赤峰,克什克腾旗,白音敖包国家级自然保护区,4 IX 2018,魏铁铮,彭泽文,庄剑云和刘铁志,8794, HMAS 281506;锡林浩特,锡林郭勒盟,西乌珠穆沁旗,草地上,21 X 2017,于晓丹, SYAU-FUNGI-17244;呼伦贝尔,陈巴尔虎旗,草地上,7 IX 2017,于晓丹, SYAU-FUNGI-17209;河北:张北草原,草地上, VIII 1987, Tian Shao-yi & Gao Shi-jin, HMAS 60305。

评估等级及依据:易危Vulnerable, C1。

讨论:蒙古白丽蘑的主要特征是子实体粗壮,菌盖边缘常内卷,具有香气,是中国北方名贵的野生食用菌。这是由日本菌物学家Imai (1938)最早报道的,由于该种具有口蘑状的子实体,因此最初将



图1 蒙古白丽蘑, SYAU-FUNGI-17209。标尺: 1 cm。

Fig. 1 *Leucocalocybe mongolica*, SYAU-FUNGI-17209. Bar, 1 cm.

其归入口蘑属(*Tricholoma*)。后来,于晓丹等(2011)基于nLSU序列片段的分析结果以及该种的腐生特征明显不同于其他外生菌根菌口蘑属种类的特征,将其从口蘑属中独立出来,并以该种为模式种成立新属白丽蘑属(*Leucocalocybe* X. D. Yu and Y. J. Yao, gen. nov.),目前蒙古白丽蘑是该属的唯一成员。后来的研究结果也证实了该种的分类地位(董冬和图力古尔,2013)。

生存状况:蒙古白丽蘑主要分布在我国内蒙古、河北北部地区草原上(邓叔群,1963;卯晓岚,2000;李玉等,2015),俗称白蘑、大白蘑等,味道鲜美,深受人们的喜爱,是我国北方草原盛产的“口蘑”中的上品(卯晓岚,2000),田绍义和杨发茂(1992)报道成功驯化栽培蒙古口蘑,但缺乏人工栽培后续报道,其开发利用仍只能依靠野生资源,因此导致野生蒙古白丽蘑的售价一路攀升,最高达到1,600元/kg。随着市场需求的增加,以及近年来的草原退化、过度采挖等原因,该种在草原的生态环境被破坏严重,分布范围减少(董冬,2013^①;鲁铁,2018),在评估中认为该种产量持续下降了至少10%,达到了易危等级。而且目前的研究结果发现该种的野生资源遗传多样性水平较低(鲁铁,2018),生境被大量片断化,生存环境亟需得到有效保护。

保护建议:加强物种资源调查,摸清家底,针对集中分布区域和生境破坏区域建立自然保护区,开展人工保育工作。各级政府和相关部门应建立和完善物种保护的相关法规,从根源上制止过度采挖和栖息地破坏等各种不良现象,从根本上扭转种群不断下降的局面。

3.5.2 松口蘑 *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer, *Annls mycol.* 41(1/3): 77 (1943) (图2)

形态特征:子实体口蘑状,菌盖直径6–25 cm,幼时呈子弹头状,后渐平展,中央稍突起,表面黄褐色,中间褐色,边缘颜色渐浅,表面被黄褐色纤维状鳞片。菌褶弯生,宽2–4 mm,近白色,密,具小菌褶。菌柄长10–20 cm,直径1.5–3 cm,圆柱形,与菌盖同色,具有相似鳞片。具有白色菌环,位于菌柄上部。菌肉厚,致密,近白色,味鲜美,有浓郁香气。孢子 $6.5\text{--}7.5 \times 5.5\text{--}6.5 \mu\text{m}$, $Q = 1.16$,宽椭圆形,



图2 松口蘑, HMAS251027。标尺: 1 cm。

Fig. 2 *Tricholoma matsutake*, HMAS251027. Bar, 1 cm.

薄壁,透明,非淀粉质。担子棒状,具四个孢子梗。菌髓菌丝规则,无锁状联合。

模式产地:日本。

地理分布:中国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、陕西、甘肃、青海、湖北、四川、贵州、云南、广西;日本。

研究标本:中国:西藏,波密县,26 VII 2010,魏铁铮1548, HMAS 251027;四川,阿坝州,小金县美沃乡双河村干沟,松栎混交林中松树根下,9 VIII 2003,邓晖, DH 309, HMAS 96669;凉山州,德昌县巴洞乡团结九队,16 VIII 2003,邓晖和姚一建, DH 362, HMAS 96530;楚雄,紫溪山茶花园附近山上,2,500 m,13 VIII 2004, DH 561, HMAS 96563;辽宁:丹东,栎树林,10 IX 2018,郭洪波, SYAU-FUNGI-18031。

评估等级及依据:易危Vulnerable, B2ab(ii)。

讨论:松口蘑,俗称松茸,该种主要特征是子实体呈黄褐色,具有浓郁的香气,松口蘑喜与松、杉、栎等树种形成外生菌根菌。群生或散生,或形成蘑菇圈,子实体形态上易与傻松口蘑(*Tricholoma bakamatsutake*)相混淆,但傻松口蘑的子实体稍小,而且分布范围更广,子实层具有明显的囊状体结构(邓晖等,2003)。

生存状况:在中国,松口蘑主要分布在两大地区,即“藏东南–横断山区”和“大兴安岭–长白山”,其中“藏东南–横断山区”地区包括云南、四川(中国科学院青藏高原综合科学考察队,1996)、西藏(中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983)、甘肃(卯晓岚和庄剑云,1997),“大兴安岭–长白山”地区包括黑龙江、吉林、辽宁(李玉等,2015)、内蒙古(图力古

① 董冬(2013)蒙古白丽蘑资源及其遗传多样性研究. 硕士学位论文,吉林农业大学,长春。

尔, 2016)。此外, 曾经还有松口蘑分布于台湾、福建(上海农业科学院食用菌研究所, 1991; 卯晓岚, 2000)的报道, 但缺乏标本的印证; 后来的研究认为在这两个地区没有松口蘑的分布(李玉等, 2015)。松口蘑具有极高的经济价值, 在国内的分布地区多, 种群密度和生物量较大, 但由于该种的巨大食用价值, 加上至今无法实现人工栽培, 导致该种的野生资源被人类长期过度采挖, 致使种群密度持续下降; 并且栖息地质量下降, 种群占有面积、分布范围减少, 其生境破坏程度和分布面积已经达到了易危等级的评估标准。目前, 松口蘑已被列入国家二级保护物种, 并且在吉林省延边朝鲜族自治州龙井境内的天佛指山建立了以松口蘑为主要保护对象的国家级自然保护区。

保护建议: 针对该物种的保护措施已有一定成效, 但面对日益扩大的市场需求, 仍需进一步加大人工保育力度。加强该种资源的调查工作, 明确其分布和种群数量, 建立长期野外监测体系, 评估其种群的变化, 在采集区进行科普宣传, 指导采集者合理采挖和利用。

4 我国未来大型担子菌资源的评估与展望

当前, 气候变化、人类活动干扰和过度利用对各类大型担子菌及其栖息地存在着普遍的威胁, 因此迫切需要全面掌握我国大型担子菌受威胁状况, 为制定和实施有效的保护措施提供科学依据。然而, 我国超过67%的已报道大型担子菌物种相关数据缺乏, 成为该类真菌物种受威胁程度评估面临的难题, 原因在于资源调查、分类和生物多样性研究不足。为推进大型担子菌受威胁物种评估工作, 亟需深入开展包括大型担子菌在内的我国真菌资源的普查和编目工作, 摸清其物种多样性及资源现状。以往大部分相关的文献报道缺乏标本引证, 给后续的分类研究、物种核对和数据整理造成很大困难。近年来, 形态学和分子系统学手段相结合的方法已在真菌分类研究中得到广泛应用。在未来的资源与多样性调查中, 应重视和加强标本等凭证材料的收集和保存, 特征性基因序列的测定, 以及物种相关信息数据的收集和整理工作。此外, 对于大型担子菌的重要类群, 尤其是那些物种资源比较丰富的目和科, 应重点加强系统学及生物多样性的研究。

参考文献

- Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M (1996) *Introductory Mycology*, 4th edn. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bau T (2016) List of agarics and boletoid fungi from Eastern Inner Mongolia (II). *Journal of Fungal Research*, 14(1), 8–21. (in Chinese with English abstract) [图力古尔 (2016) 内蒙古东部伞菌和牛肝菌名录(续). *菌物研究*, 14(1), 8–21.]
- Comprehensive Scientific Expedition to Qinghai-Tibet Plateau, Academia Sinica (1983) *Fungi of Xizang*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院青藏高原综合科学考察队 (1983) 西藏真菌. 科学出版社, 北京.]
- Comprehensive Scientific Expedition to Qinghai-Tibet Plateau, Academia Sinica (1996) *Fungi of the Hengduan Mountains*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院青藏高原综合科学考察队 (1996) 横断山区真菌. 科学出版社, 北京.]
- 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, Cui BK, Yuan HS, Wei YL (2010) 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 (2010) 中国濒危的多孔菌. *菌物学报*, 29, 164–171.]
- Deng H, Cao ZM, Yao YJ (2003) Research on *Tricholoma bakamatsutake* in China. *Mycosystema*, 22, 132–136. (in Chinese) [邓晖, 曹哲明, 姚一建 (2003) 中国傻松口蘑研究概况. *菌物系统*, 22, 132–136.]
- Dong D, Bau T (2013) A study on the taxonomic position of *Tricholoma mongolicum*. *Journal of Fungal Research*, 11(3), 172–175. (in Chinese with English abstract) [董冬, 图力古尔 (2013) 蒙古口蘑分类地位研究. *菌物研究*, 11(3), 172–175.]
- Edible Fungi Research Institute of Shanghai Academy of Agricultural Sciences (1991) *Edible Fungal Flora of China*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [上海农业科学院食用菌研究所 (1991) 中国食用菌志. 中国林业出版社, 北京.]
- 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.]
- Fang R, Kirk P, Wei JC, Li Y, Cai L, Fan L, Wei TZ, Zhao RL, Wang K, Yang ZL, Li TH, Li Y, Phuru-Dorji, Yao YJ (2018) Country focus: China. In: *Status of the World Fungi* (ed. Willis KJ), pp. 48–55. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Gyosheva M, Fakirova V, Denchev C (2000) Red list and

- threat status of Bulgarian macromycetes. *Historia Naturalis Bulgarica*, 11, 139–145.
- Imai S (1938) On an edible Mongolian fungus “pai-mo-ku”. *Proceedings of the Imperial Academy (Tokyo)*, 13, 280–282.
- IUCN (2012a) Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN (2012b) IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. 2nd edn. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2016) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 12. <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf/>. (accessed on 2017-09-07).
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC (2015) Atlas of Chinese Macrofungi Resources. Central China Farmer's Publishing House, Zhengzhou. (in Chinese) [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. 中原农民出版社, 郑州.]
- 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 (2018) Genetic Diversity and Conservation Science of *Leucocalocybe mongolicum*. PhD dissertation, Jilin Agricultural University, Changchun. (in Chinese with English abstract) [鲁铁 (2018) 蒙古白丽蘑的遗传多样性及其保育学研究. 博士学位论文, 吉林农业大学, 长春.]
- Mao XL (2000) The Macrofungi in China. Henan Science and Technology Press, Zhengzhou. (in Chinese) [卯晓岚 (2000) 中国大型真菌. 河南科学技术出版社, 郑州.]
- Mao XL, Zhuang JY (1997) Fungi of the Qinling Mountains. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing. (in Chinese) [卯晓岚, 庄剑云 (1997) 秦岭真菌. 中国农业科技出版社, 北京.]
- Mueller GM, Schmit JP, Leacock PR, Buyck B, Cifuentes J, Desjardin DE, Halling RE, Hjorstam K, Iturriaga T, Larsson KH, Lodge DJ, May TW, Minter D, Rajchenberg M, Redhead SA, Ryvarden L, Trappe JM, Watling R, Wu QX (2007) Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity Conservation*, 16, 37–48.
- Senn-Irlet B, Heilmann-Clausen J, Genney D, Dahlberg A (2007) Guidance for Conservation of Macrofungi in Europe. ECCF, Strasbourg.
- Singer R (1986) The Agaricales in Modern Taxonomy, 4th edn. Koeltz Scientific Books, Keonigstein.
- Teng SC (1963) Fungi of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [邓叔群 (1963) 中国的真菌. 科学出版社, 北京.]
- Tian SY, Yang FM (1992) Domestication and cultivation of *Tricholoma mongolicum*. *Mycosystema*, 11, 146–149. (in Chinese with English abstract) [田绍义, 杨发茂 (1992) 蒙古口蘑驯化栽培成功. *真菌学报*, 11, 146–149.]
- 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.]
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. *生物多样性*, 28, 11–19.]
- Wei TZ, Yao YJ (2010) Fungi diversity and conservation in China - a preliminary red list of macrofungi. In: Abstract of the 9th Biodiversity Conservation and Sustainable Use Symposium (ed. Chinese National Committee for DIVERSITAS), 94–95. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese) [魏铁铮, 姚一建 (2010) 中国菌物多样性保护——大型真菌初步红色名录. 见: 第九届生物多样性保护与持续利用研讨会论文摘要集(国际生物多样性计划中国委员会编), 94–95页.]
- Yu XD, Deng H, Yao YJ (2011) *Leucocalocybe*, a new genus for *Tricholoma mongolicum* in Agaricales (Basidiomycota). *African Journal of Microbiology Research*, 5, 5750–5756.

(责任编辑: 陈双林 责任编辑: 黄祥忠)



•研究报告•

中国地衣的濒危等级评估

魏鑫丽¹ 邓红¹ 魏江春^{1,2*}

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 地衣是大型真菌的重要组成部分, 是中国大型真菌红色名录评估的主要对象之一。本次评估的地衣共2,164种, 其中子囊菌地衣2,145种, 担子菌地衣19种, 分属于2门9纲34目92科352属。评估结果显示, 地衣受威胁物种共28种, 占被评估地衣物种总数的1.29%, 其中极危3种, 濒危7种, 易危18种; 近危6种, 无危657种, 而数据不足的物种达1,473种。这类因为缺乏足够的资料而未能进一步评估其生存状态和红色名录等级的物种占评估地衣总数的68.07%, 凸显了我国地衣学研究的严峻形势及对地衣分类学人才的迫切需要。对受威胁物种的分析表明, 地衣由于自身生长缓慢和对环境污染敏感, 并且绝大多数分布区域狭窄, 种群数量少, 对生境退化的适应和恢复生长的能力弱, 人类活动和气候变化导致的栖息地破坏和碎片化使得这些地衣的生存受到严重威胁。值得注意的是, 评为易危的一些地衣, 因具有较大的食药用价值而被过度采挖利用, 如不采取有效保护措施, 其受威胁程度将进一步加剧。

关键词: IUCN红色名录; 受威胁类群; 评估; 地衣; 中国

Threatened categories assessment of lichens in China

Xinli Wei¹, Hong Deng¹, Jiangchun Wei^{1,2*}

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Lichens are important components of macrofungi, and thus they are also main subjects in the Red List Assessment of Macrofungi in China. A total of 2,164 lichen species were evaluated here, including 2,145 ascomycete lichen species and 19 basidiomycete lichen species. These species were organized into 2 phyla, 9 classes, 34 orders, 92 families and 352 genera. The results showed that, of the 28 species identified as threatened, 3 species were Critically Endangered (CR), 7 species were Endangered (EN) and 18 species were Vulnerable (VU). These 28 represented 1.29% of all evaluated species, with 6 other species considered to be Near Threatened (NT) and 657 species assessed as Least Concern (LC). More than half the species, 1,473 (68.07%), were Data Deficient (DD) and could not be further evaluated due to lack of data. This highlights the severe lack of lichen research and the urgent need for lichen taxonomists in China. The extremely slow growth, weak adaptability to habitat degradation, particular sensitivity to air pollution, narrow distribution and small population size characteristic of lichens all contribute to the susceptible state of lichens that face habitat destruction caused by human activities. In addition, it is worth noting that some lichen species evaluated as Vulnerable here, have since been overexploited due to their edibility and well-known medicinal value. These species' conservation status will be further aggravated if they continue to lack effective protection.

Key words: IUCN red list; endangered taxa; assessment; lichen; China

地衣是由地衣型真菌作为建群种(constructive species)与相应的藻类或蓝细菌作为伴生种(com-

panion species)而结成的稳定胞外共生生命支撑系统, 即菌藻共生群落。至于建群种和伴生种之外的

收稿日期: 2019-05-07; 接受日期: 2019-07-11

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)和国家自然科学基金(31770022)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: weijc2004@126.com

所谓第三种生命(Spribile et al, 2016)则为偶见种(accidental species), 如地衣体的内衣癭和外衣癭中的蓝细菌、地衣体的内生真菌(endolichenic fungi)、外生真菌(lichenicolous fungi)以及外生地衣(lichenicolous lichens)等。有的偶见种稳定出现在个别地衣上, 有的则偶然与不同地衣相关联。因此, 在稳定的地衣菌藻共生群落中, 除建群种和伴生种之外的多种多样的偶见种并不限于第三种生命, 而是生物多样性无处不在的实际表现。世界范围已知地衣分隶于8纲39目115科995属, 共19,387种(Lücking et al, 2017), 约占已知真菌物种总数的20% (Hawksworth, 1991), 子囊菌的40% (Kirk et al, 2008)。我国已报道的地衣共3,082种(Wei, 2020), 约占中国大型真菌总数(约1万种)的30%, 占全世界已报道地衣总种数的15%。

地衣是岩石风化和土壤形成的先锋生物(Lindsay, 1978; Chen et al, 2000), 尤其在地球南北极地和高寒地区以及干旱荒漠为优势类群, 所占陆地面积为地球总面积的8%以上(Larson, 1987), 具有重要的生态功能。地衣中含有独特的次生代谢产物, 在抗艾滋病(Neamati et al, 1997)、抗癌(Mitrović et al, 2011; Pavlovic et al, 2012)、抗菌(Ranković et al, 2008)及提高人体免疫力(Pavlovic et al, 2012)等方面也具有有良好的应用潜力。

由于地衣的结构特点和生理特性, 如缺乏植物那样具保护作用的真皮层及蜡质层, 且光合共生物多为共球藻(*Trebouxia* sp.), 地衣体结构脆弱易损坏, 对大气污染极度敏感。空气中的二氧化硫、氟化物、重金属离子以及放射性物质等都是敏感的污染源。因此, 地衣多分布于远离空气污染的南北两极、高山、原始森林和荒漠等环境。人类活动的不断加剧, 尤其是自然生态系统的破坏及对那些具有医药用途及保健作用的地衣的过度采挖, 使地衣生物多样性受到严重破坏。地衣在自然界中生长极为缓慢, 受到破坏后很难恢复。对地衣生物多样性现状进行评估, 首先需要了解其生存状态。

1 国内外地衣受威胁状态评估现状

世界自然保护联盟(IUCN)从20世纪80年代开始起草与制定《生物多样性公约》, 并于1992年讨论通过, 旨在保护地球生物多样性和可持续利用生物资源(Glowka et al, 1997)。了解生物多样性现状需要对物种濒危状况进行评估, 这是实施生物多样性

优先保护的重要前提(Mace & Lande, 1991; Vié et al, 2008), 对于制订物种保护管理策略尤为重要。1964年, IUCN建立了濒危物种红色名录(简称“IUCN红色名录”), 它是评价生物物种濒危和灭绝风险的最好系统之一, 在世界各国得到广泛应用(de Grammont & Cuarón, 2006; Miller et al, 2007)。

Church等(1997)出版的《英国地衣红皮书》, 首次利用IUCN标准对英国地衣生存状态进行了评估。Woods和Coppins (2003, 2012)出版了英国地衣保育评估的专著, 其中2012版还包括了地衣生真菌, 评估结果显示69.4%的物种状态为无危。Randlane (1998)对爱沙尼亚的110种大型地衣进行了濒危状况评估, 占该国大型地衣物种数的约33%。Baillie等(2004)发布的*IUCN Red List of Threatened Species™. A Global Species Assessment*表明, 在所有已评估物种中, 共有16,118种被视为受威胁种, 其中动物7,725种, 植物8,390种, 地衣及菇类3种。Randlane等(2008)第二次对爱沙尼亚地衣进行了评估, 参考和依据了2001、2003和2006年的IUCN评估标准及流程, 评估对象包括地衣、地衣生真菌及与地衣亲缘关系较近的腐生真菌共464种, 占爱沙尼亚上述物种总数的45.5%, 其中251种被评为无危; 在213种被列于不同等级的红色名录中, 濒危状态的地衣有113种。爱沙尼亚对地衣的保护工作开始时间也较早, 从2004年起, 即有51种地衣被列入爱沙尼亚官方保护的名单中。日本京都2015年发布了本地的地衣红色名录, 在评估的163种地衣中, 有23种处于受威胁状态(<http://www.pref.kyoto.jp/>)。

从2004年开始中国启动中国物种红色名录编制后, 共分为六卷进行了出版和发布, 其中第一卷为9,000多个动植物的红色名录, 包括物种名称(学名、中文名、英文名)、中国分布占全球的比例、评估的濒危等级以及所依据的标准和理由、IUCN全球评估等级等; 后五卷分别为脊椎动物、无脊椎动物和植物卷册。2015年中国科学院和环境保护部联合发布《中国生物物种名录》和《中国生物多样性红色名录》。

云南省环境保护厅联合中国科学院昆明植物研究所和昆明动物研究所从2016年起启动云南省生物物种红色名录的编制工作, 其中包括云南地衣1,067种, 历时一年于2017年出版和发布, 是我国发布的首个省级生物物种红色名录, 填补了我国地衣

红色名录空白。在该名录中,共有13种地衣被评为云南省省级受威胁物种,其中极危1种(金丝带*Lethariella zahlbruckneri*),濒危3种(圆盘衣*Gymnoderma coccocarpum*、木生红盘衣*Ophioparma handelii*和曲金丝*Lethariella flexuosa*),易危6种(顶杯衣*Acrosyphus sphaerophoroides*、分枝柱衣*Pilophorus fruticosus*、毛面衣*Erioderma meiocarpum*、密枝小孢发*Bryoria fastigiata*、金丝刷*Lethariella cladonioides*和绿丝槽枝*Sulcaria virens*),近危3种(雪地茶*Thamnolia subuliformis*、地茶*T. vermicularis*和广开小孢发*Bryoria divergescens*),其他绝大部分物种被评为数据不足。

2 评估标准及流程

为全面评估中国大型真菌包括地衣的受威胁状况,原环境保护部联合中国科学院于2016年启动了“中国生物多样性红色名录——大型真菌卷”(包括大型子囊菌、大型担子菌和地衣型真菌等分卷)的编制工作。本次评估以中国菌物名录数据库和搜集的文献资料为基础,通过大规模的快速筛选和初步归类,然后针对需要特别关注的物种,依据中国大型真菌红色名录评估等级与标准(王科等, 2020)

进行评估,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)和未予评估(Not Evaluated, NE)(IUCN, 2012)。

评估过程依照《中国大型真菌红色名录评估方法和程序》(王科等, 2020)开展,包括数据收集整理、初评、函评、会评、复审、形成评估说明书等步骤。全国从事地衣相关研究的30多位科研人员参与评估,共同完成评估任务。

3 评估结果

本次评估地衣2,164种,其中子囊菌地衣2,145种、担子菌地衣19种,分属于2门9纲34目92科352属。评估物种数最多的纲为茶渍纲,达1,933种,占被评估地衣物种总数的89.33%;评估物种数最多的目为茶渍目,有866种;评估物种数最多的科为梅衣科,有469种(表1)。

评估结果表明,地衣受威胁物种共28种,占被评估地衣物种总数的1.29%(表2)。其中极危3种,濒危7种,易危18种。此外,近危的地衣共6种,占被评

表1 地衣评估类群物种数及不同评估等级物种数。CR: 极危; EN: 濒危; VU: 易危; NT: 近危; LC: 无危; DD: 数据不足。
Table 1 The species number of evaluated lichen taxa and different evaluated categories. CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; NT, Near Threatened; LC, Least Concern; DD, Data Deficient.

| 目 Order | 科 Family | 物种数 No. of species | CR | EN | VU | NT | LC | DD |
|------------------------------|-------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|
| 子囊菌门 Ascomycota | | | | | | | | |
| 斑衣纲 Arthoniomycetes | | 50 | | | | | | |
| 斑衣目 Arthoniales | 斑衣科 Arthoniaceae | 21 | | | | | 5 | 16 |
| | 金絮衣科 Chrysotrichaceae | 3 | | | | | 1 | 2 |
| | 黑斑衣科 Melaspilaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 孔文衣科 Opegraphaceae | 2 | | | | | 1 | 1 |
| | 染料衣科 Roccellaceae | 23 | | | | | 3 | 20 |
| 粉头衣纲 Coniocybomycetes | | 2 | | | | | | |
| 粉头衣目 Coniocybales | 粉头衣科 Coniocybaceae | 2 | | | | | 1 | 1 |
| 座囊菌纲 Dothideomycetes | | 36 | | | | | | |
| 纤柔菌目 Abrothallales | 纤柔菌科 Abrothallaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertae sedis | 5 | | | | | 1 | 4 |
| 衣外菌目 Lichenociales | 衣外菌科 Lichenociales | 2 | | | | | | 2 |
| 单芽菌目 Monoblastiales | 单芽菌科 Monoblastiaceae | 10 | | | | | | 10 |
| 球囊菌目 Mycosphaerellales | 球囊菌科 Mycosphaerellaceae | 2 | | | | | | 2 |
| 格袍腔菌目 Pleosporales | 星核衣科 Arthopyreniaceae | 2 | | | | | | 2 |
| 叶上衣目 Strigulales | 叶上衣科 Strigulaceae | | | | | | | |
| 乳嘴衣目 Trypetheliales | 乳嘴衣科 Trypetheliaceae | 10 | | | | | | 10 |

表1 (续) Table 1 (continuous)

| 目 Order | 科 Family | 物种数 No. of species | CR | EN | VU | NT | LC | DD |
|----------------------------|--------------------------|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|
| 散囊菌纲 Eurotiomycetes | | 94 | | | | | | |
| 类胶目 Collemopsidiales | 黄核衣科 Xanthopyreniaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 粉衣目 Mycocaliciales | 粉衣科 Mycocaliciaceae | 4 | | 1 | | 1 | | 4 |
| 小核衣目 Pyrenulales | 干瘤菌科 Celotheliaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 小核衣科 Pyrenulaceae | 14 | | | | | | 14 |
| 瓶口衣目 Verrucariales | 瓶口衣科 Verrucariaceae | 74 | | | | | 8 | 66 |
| 未定纲 Incertae sedis | | 1 | | | | | | |
| 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertae sedis | 1 | | | | | 1 | |
| 茶渍纲 Lecanoromycetes | | 1,933 | | | | | | |
| 微孢衣目 Acarosporales | 微孢衣科 Acarosporaceae | 30 | | | | | 11 | 19 |
| 极地衣目 Arctomiales | 极地衣科 Arctomiaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 羊角衣目 Baeomycetales | 柄盘衣科 Anamylopsoraceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 羊角衣科 Baeomycetaceae | 7 | | | | | 1 | 6 |
| | 褐边衣科 Trapeliaceae | 13 | | | | | 2 | 11 |
| | 木刻衣科 Xylographaceae | 3 | | | | | 2 | 1 |
| 粉衣目 Caliciales | 粉衣科 Caliciaceae | 60 | | | | | 10 | 49 |
| 黄烛衣目 Candelariales | 黄烛衣科 Candelariaceae | 15 | | | | | 2 | 13 |
| 膜衣目 Hymeneliales | 膜衣科 Hymeneliaceae | 6 | | | | | | 6 |
| 未定目 Incertae sedis | 珠节衣科 Arthrorhaphidaceae | 4 | | | | | | 4 |
| | 锈疣衣科 Brigantiaeaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 炭菌科 Carbonicolaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 盘耳衣科 Elixiaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 棕网盘科 Fuscideaceae | 4 | | | | | 1 | 3 |
| | 未定科 Incertae sedis | 3 | | | | | 1 | 2 |
| | 盾叶衣科 Ophioparmaceae | 2 | | | | | 1 | 1 |
| | 原乳衣科 Protothelenellaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 锥形孢科 Ropalosporaceae | 2 | | | | | 1 | 1 |
| | 乳衣科 Thelenellaceae | 2 | | | | | | 2 |
| 茶渍目 Lecanorales | 小蜡盘科 Biatorellaceae | 2 | | | | | | 2 |
| | 旋衣科 Byssolomataceae | 29 | | | | | | 29 |
| | 石蕊科 Cladoniaceae | 109 | 1 | 2 | 1 | 2 | 55 | 50 |
| | 棉絮衣科 Crocyniaceae | 2 | | | | | | 2 |
| | 赤星衣科 Haematommataceae | 4 | | | | | 1 | 3 |
| | 茶渍科 Lecanoraceae | 111 | 1 | | | | 27 | 83 |
| | 柄座衣科 Malmideaceae | 3 | | | | | | 3 |
| | 托盘衣科 Megalariaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 黑红衣科 Mycoblastaceae | 2 | | | | | | 2 |
| | 梅衣科 Parmeliaceae | 469 | 1 | 1 | 10 | 1 | 182 | 272 |
| | 裸衣科 Psilolechiaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 鳞网衣科 Psoraceae | 8 | | | 1 | | 1 | 6 |
| | 树花科 Ramalinaceae | 75 | | | | | 15 | 60 |
| | 果衣科 Ramboldiaceae | 3 | | | | | | 3 |
| | 缘孢衣科 Scoliciosporaceae | 3 | | | | | | 3 |
| | 球粉衣科 Sphaerophoraceae | 4 | | | | | 3 | 1 |
| | 多孢衣科 Sporastatiaceae | 2 | | | | | | 2 |

表1 (续) Table 1 (continuous)

| 目 Order | 科 Family | 物种数 No. of species | CR | EN | VU | NT | LC | DD |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|----|----|----|----|----|-----|
| | 鳞茶渍科 Squamarinaceae | 6 | | | | | 2 | 4 |
| | 珊瑚枝科 Stereocaulaceae | 31 | | | | | 4 | 27 |
| | 峡孢菌科 Strangosporaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 网衣目 Lecideales | 网衣科 Lecideaceae | 48 | | | | | 9 | 39 |
| 绒枝目 Leprocaulales | 绒枝科 Leprocaulaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 厚顶盘目 Ostropales | 绒衣科 Coenogoniaceae | 6 | | | | | 1 | 5 |
| | 楔形衣科 Gomphillaceae | 12 | | | | | 1 | 11 |
| | 文字衣科 Graphidaceae | 184 | | | | | 60 | 124 |
| | 凹盘衣科 Gyalectaceae | 5 | | | | | | 5 |
| | 疱衣菌科 Phlyctidaceae | 2 | | | | | 1 | 1 |
| | 污核衣科 Porinaceae | 15 | | | | | | 15 |
| | 点盘菌科 Stictidaceae | 5 | | | | | | 5 |
| 地卷目 Peltigerales | 瓦衣科 Coccocarpiaceae | 3 | | | | | 3 | |
| | 胶衣科 Collemataceae | 69 | | | | | 33 | 36 |
| | 肺衣科 Lobariaceae | 55 | | | | | 15 | 40 |
| | 肾盘衣科 Nephromataceae | 12 | | | | | 2 | 10 |
| | 鳞叶衣科 Pannariaceae | 23 | | | | | 9 | 14 |
| | 地卷科 Peltigeraceae | 42 | | | | | 25 | 17 |
| | 胎座衣科 Placynthiaceae | 4 | | | | | | 4 |
| 鸡皮衣目 Pertusariales | 球孔衣科 Coccotremataceae | 1 | | | | | | |
| | 霜降衣科 Icmadophilaceae | 8 | | | 1 | | 1 | 5 |
| | 大孢衣科 Megasporaceae | 42 | | | | | 15 | 27 |
| | 肉疣衣科 Ochrolechiaceae | 31 | | | | | 15 | 16 |
| | 鸡皮衣科 Pertusariaceae | 74 | | | | | 37 | 36 |
| 地图衣目 Rhizocarpaceae | 腊肠衣科 Catillariaceae | 10 | | | | | | 10 |
| | 地图衣科 Rhizocarpaceae | 24 | | | 1 | | 5 | 18 |
| 黄枝衣目 Teloschistales | 多极孢衣科 Letrouitiaceae | 1 | | | | | | 1 |
| | 大孢衣科 Megalosporaceae | 4 | | | | | | 4 |
| | 蜈蚣衣科 Physciaceae | 131 | | | 2 | | 52 | 77 |
| | 黄枝衣科 Teloschistaceae | 49 | | | | | 13 | 36 |
| 石耳目 Umbilicariales | 石耳科 Umbilicariaceae | 49 | | 3 | 2 | 3 | 12 | 32 |
| 垂舌菌纲 Leotiomycetes | | 2 | | | | | | |
| 维氏衣目 Vezdaeales | 维氏衣科 Vezdaeaceae | 2 | | | | | | 2 |
| 异极衣纲 Lichinomycetes | | 27 | | | | | | |
| 异极衣目 Lichinales | 异极衣科 Lichinaceae | 15 | | | | | 1 | 14 |
| | 盾衣科 Peltulaceae | 12 | | | | | 1 | 11 |
| 担子菌门 Basidiomycota | | | | | | | | |
| 蘑菇纲 Agaricomycetes | | 18 | | | | | | |
| 蘑菇目 Agaricales | 蜡伞科 Hygrophoraceae | 5 | | | | | 2 | 3 |
| | 口蘑科 Tricholomataceae | 1 | | | | | | 1 |
| 鸡油菌目 Cantharellales | 锁珊瑚科 Clavulinaceae | 7 | | | | | 1 | 6 |
| 伏革菌目 Corticiales | 伏革菌科 Corticiaceae | 1 | | | | | | 1 |
| 未定目 Incertae sedis | 未定科 Incertae sedis | 4 | | | | | | 4 |
| 银耳纲 Tremellomycetes | | 1 | | | | | | |
| 银耳目 Tremellales | 银耳科 Tremellaceae | 1 | | | | | | 1 |

表2 地衣型真菌受威胁物种评估等级、分布及用途

Table 2 The evaluated categories, distribution and usage of threatened lichen species. CR, Critically Endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable.

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemic to China | 用途 Usage |
|---|------------------|---------------------|--|------------------------------|--|
| 顶杯衣 <i>Acrosyphus sphaerophoroides</i> | 濒危 EN | 粉衣科 Caliciaceae | 中国四川、云南、西藏; 印度; 日本; 尼泊尔; 美国 China: Sichuan, Yunnan, Tibet; India; Japan; Nepal; America | 否 No | |
| 裂芽厚枝衣 <i>Allocetraria isidiigera</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国西藏 China: Tibet | 是 Yes | |
| 广开小孢发 <i>Bryoria divergens</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国四川、云南、台湾 China: Sichuan, Yunnan, Taiwan | 是 Yes | |
| 藏岛衣 <i>Cetraria xizangensis</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国西藏 China: Tibet | 是 Yes | |
| 戴氏石蕊 <i>Cladonia delavayi</i> | 易危 VU | 石蕊科 Cladoniaceae | 中国陕西、四川、云南、西藏; 尼泊尔 China: Shaanxi, Sichuan, Yunnan, Tibet; Nepal | 否 No | 药用 Medicinal |
| 拟雀石蕊 <i>Cladonia pseudoevansii</i> | 极危 CR | 石蕊科 Cladoniaceae | 中国吉林; 日本 China: Jilin; Japan | 否 No | |
| 圆盘衣 <i>Gymnoderma coccocarpum</i> | 濒危 EN | 石蕊科 Cladoniaceae | 中国湖南、云南、西藏、台湾、广西; 印度、 日本; 朝鲜; 韩国; 蒙古; 菲律宾; 泰国; 马来 西亚 China: Hunan, Yunan, Tibet, Taiwan, Guangxi; India; Japan; North Korea; South Korea; Mongolia; the Philippines; Thailand; Malaysia | 否 No | |
| 岛圆盘衣 <i>Gymnoderma insulare</i> | 濒危 EN | 石蕊科 Cladoniaceae | 中国台湾; 日本 China: Taiwan; Japan | 否 No | |
| 日光山袋衣 <i>Hypogymnia nikkoensis</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国内蒙古; 日本 China: Inner Mongolia; Japan | 否 No | |
| 台湾高山袋衣 <i>Hypogymnia taiwanalpina</i> | 濒危 EN | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国云南、台湾; 东亚 China: Yunnan, Taiwan; East Asia | 否 No | |
| 金丝绣球 <i>Lethariella cashmeriana</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国甘肃、四川、西藏; 印度 China: Gansu, Sichuan, Tibet; India | 否 No | |
| 金丝刷 <i>Lethariella cladonioides</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国山西、陕西、甘肃、青海、四川、 云南、西藏; 印度; 尼泊尔 China: Shanxi, Shaanxi, Gansu, Qinghai, Sichuan, Yunnan, Tibet; India; Nepal | 否 No | 药用; 石蕊试剂 原料 Medicinal and raw material of litmus reagent |
| 曲金丝 <i>Lethariella flexuosa</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国甘肃、四川、云南、西藏 China: Gansu, Sichuan, Yunnan, Tibet | 是 Yes | 药用及藏香原料 Medicinal and raw material of Tibetan incense |
| 中华金丝 <i>Lethariella sinensis</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国西藏 China: Tibet | 是 Yes | |
| 金丝带 <i>Lethariella zahlbruckneri</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国山西、陕西、四川、贵州、云南、 西藏 China: Shanxi, Shaanxi, Sichuan, Guizhou, Yunnan, Tibet | 是 Yes | 药用 Medicinal |
| 密裂大叶梅 <i>Parmotrema myriolobulatum</i> | 极危 CR | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国云南 China: Yunnan | 是 Yes | |
| 湖北蜈蚣衣 <i>Physcia hupehensis</i> | 易危 VU | 蜈蚣衣科 Physciaceae | 中国湖北 China: Hubei | 是 Yes | |
| 亚灰大孢衣 <i>Physconia perisidiosa</i> | 易危 VU | 蜈蚣衣科 Physciaceae | 中国河北、新疆; 德国 China: Hebei, Xinjiang; Germany | 否 No | |
| 朝比氏鳞网衣 <i>Psora asahinae</i> | 易危 VU | 鳞网衣科 Psoraceae | 中国黑龙江 China: Heilongjiang | 是 Yes | |

表2 (续) Table 2 (continuous)

| 物种 Species | 等级 Categories | 科 Family | 地理分布 Distribution | 中国特有种 Endemic to China | 用途 Usage |
|--|------------------|-------------------------|--|------------------------------|----------------------------|
| 甘肃地图衣 <i>Rhizocarpon kansuense</i> | 易危 VU | 地图衣科 Rhizocarpaceae | 中国甘肃; 中亚 China: Gansu; Central Asia | 否 No | |
| 华脐鳞 <i>Rhizoplaca huashanensis</i> | 极危 CR | 茶渍科 Lecanoraceae | 中国陕西 China: Shaanxi | 是 Yes | |
| 卧白角衣 <i>Siphula decumbens</i> | 易危 VU | 霜降衣科 Icmadophilaceae | 中国台湾、江西; 新西兰 China: Taiwan, Jiangxi; New Zealand | 否 No | |
| 绿丝槽枝 <i>Sulcaria virens</i> | 易危 VU | 梅衣科 Parmeliaceae | 中国四川、云南、西藏、台湾; 印度; 尼泊尔; 斯里兰卡 China: Sichuan, Yunnan, Tibet, Taiwan; India; Nepal; Sri Lanka | 否 No | 药用 Medicinal |
| 阿尔泰石耳 <i>Umbilicaria altaiensis</i> | 濒危 EN | 石耳科 Umbilicariaceae | 中国新疆 China: Xinjiang | 是 Yes | |
| 庐山石耳 <i>Umbilicaria esculenta</i> | 易危 VU | 石耳科 Umbilicariaceae | 中国黑龙江、吉林、辽宁、安徽、浙江、江西、湖南、湖北、云南、西藏、广西; 日本; 朝鲜; 韩国 China: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Anhui, Zhejiang, Jiangxi, Hunan, Hubei, Yunnan, Tibet, Guangxi; Japan; North Korea; South Korea | 否 No | 食药 Edible and medicinal |
| 周裂石耳 <i>Umbilicaria loboperipherica</i> | 易危 VU | 石耳科 Umbilicariaceae | 中国吉林、辽宁、内蒙、陕西、河北、云南 China: Jilin, Liaoning, Inner Mongolia, Shaanxi, Hebei, Yunnan | 是 Yes | |
| 皮芽石耳 <i>Umbilicaria squamosa</i> | 濒危 EN | 石耳科 Umbilicariaceae | 中国云南、西藏、广西 China: Yunnan, Tibet, Guangxi | 是 Yes | |
| 太白石耳 <i>Umbilicaria taibaiensis</i> | 濒危 EN | 石耳科 Umbilicariaceae | 中国陕西、云南、四川 China: Shaanxi, Yunnan, Sichuan | 是 Yes | |

估地衣物种总数的0.28%; 无危657种, 占比30.36%; 数据不足1,473种, 占比68.07%。我国需要关注和保护的地衣达1,507种(指受威胁、近危和数据不足的物种), 占被评估地衣物种总数的69.64%。

4 各受威胁等级的物种情况

4.1 极危

在本次评估中, 被评为极危的地衣有3种, 为拟雀石蕊(*Cladonia pseudoevansii*)、密裂大叶梅(*Parmotrema myriolobulatum*)和华脐鳞(*Rhizoplaca huashanensis*)。其中拟雀石蕊属于石蕊科, 在我国仅分布于吉林长白山西南坡, 其生境退化, 生存状况堪忧。密裂大叶梅属于梅衣科, 仅分布于云南, 分布范围狭窄, 种群数量少, 作为新种发表后鲜有新增的采集记录。华脐鳞属于茶渍科, 仅分布于陕西华山, 自报道新种描述以来, 亦鲜有新增的采集记录。三种极危地衣的具体信息如下(图1)。

4.1.1 拟雀石蕊

Cladonia pseudoevansii Asahina, Journal of Japanese Botany 16: 187 (1940) (图1A)

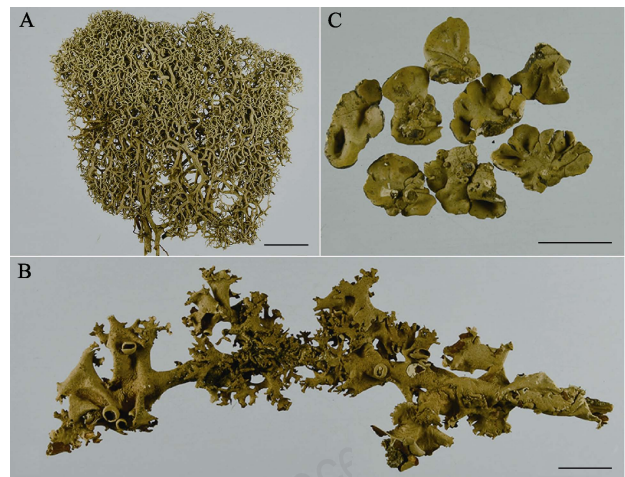


图1 三种极危地衣的形态图。(A)拟雀石蕊(HMAS-L-16743); (B)密裂大叶梅(HMAS-L-18613); (C)华脐鳞(主模式, HMAS-L-3747)。标尺均为1 cm。

Fig. 1 Morphology of three Critically Endangered lichen species. (A) *Cladonia pseudoevansii* (HMAS-L-16743); (B) *Parmotrema myriolobulatum* (HMAS-L-18613); (C) *Rhizoplaca huashanensis* (holotype, HMAS-L-3747). Scale bars = 1 cm.

≡ *Cladina pseudoevansii* (Asahina) Hale & W. L. Culb., Bryologist 73 (3): 510 (1970).

初生地衣体未见。果柄近直立,灰白色,直径0.5–1 mm,缺乏皮层,分枝繁茂,树枝状,等二叉多次分枝,外形貌似一堆绣球或群集的小鸟;果柄圆筒形,中空,顶端无杯状扩大,在主要分叉处具圆孔。子囊盘和分生孢子器未见。

化学: 含有松萝酸和珠光酸。

基物: 地上。

凭证标本: 吉林长白山, 1,750 m, 1980. 9. 1, 胡玉琛 2461 (HMAS-L-16743); 2,200 m, 1982. 8. 19, 胡玉琛 3641 (HMAS-L-21057); 2,000 m, 1983. 8. 1, 魏江春和陈健斌 6399-1 (HMAS-L-6600); 1,600 m, 1983. 8. 5, 魏江春和陈健斌 6620 (HMAS-L-6602), 6621 (HMAS-L-6597); 1,540 m, 1983. 8. 7, 魏江春和陈健斌 6,696 (HMAS-L-6596); 1,600-1,700 m, 1983. 8. 9, 魏江春和陈健斌 6780-1 (HMAS-L-6603); 1,500 m, 1994. 8. 4, 魏江春等94254 (HMAS-L-18153)。

国内文献记载: 吉林(Ahti, 1961, p.26; 陈锡龄等, 1981, p.133; Wei et al, 1986, p.241)。

分布: 中国(吉林), 日本。

地理成分: 东亚成分。

讨论: 该种最初以*Cladonia pseudoevansii*发表(Asahina, 1940), 依据的模式标本于1923年采集自日本。Hale和Culberson (1970)将其组合至*Cladina*属中。但很多地衣学家并不认可*Cladina*属, 尤其是系统发育分析结果显示*Cladina*属处于*Cladonia*属的分支内, 并未形成单系(Stenroos et al, 2002, 2015, 2019; Guo & Kashiwadani, 2004)。Athukorala等(2016)基于ITS和线粒体小亚基(mtSSU)序列分析支持Stenroos等(2002)的结果。因此该种仍以*Cladonia pseudoevansii*为正名。*Cladonia pseudoevansii*的汉语名为拟雀石蕊, 该种与雀石蕊(*Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda)地衣体外形非常相似, 但因该种的果柄具明显的二叉分枝特征可与雀石蕊相区分。

拟雀石蕊在国内的报道仅见于吉林长白山(Ahti, 1961; 陈锡龄等, 1981; Wei et al, 1986), 其中Ahti (1961)在报道中提到的采集地点“Changpai-san”、“Chang-pei-shan”和“Pehtausan”实际均为长白山。虽然该种属于东亚成分, 但在进行红色名录评估过程中, 主要还是依据其地理分布范围(分布区和占有面积)非常有限, 按照IUCN红色名录受威胁等级评估标准中的B1ab(iii)和2ab(iii), 而将其评定为极危

(CR)。但随着后续参考文献的不断更新及完善, 我们发现Athukorala等(2016)对北美石蕊类地衣的系统发育学分析所用的实验材料中包括了产自阿拉斯加的拟雀石蕊标本, 因此拟雀石蕊的分布地范围需进一步确认, 如确定该种分布地包括日本、中国和北美, 其目前审定的受威胁等级为极危的结果需调整。

4.1.2 密裂大叶梅

Parmotrema myriolobulatum (J. D. Zhao) J. C. Wei, An Enumeration of Lichens in China: 178-179 (1991) (图1B)

≡ *Parmelia myriolobulata* J. D. Zhao, Acta Phytotaxonomica Sinica 9 (2): 165 (1964).

地衣体叶状, 宽度可达15 cm, 较疏松地着生于基物; 裂片不规则分裂, 5–10 mm宽, 顶端多齿裂, 边缘重复分裂小裂片状, 1–2 mm宽, 顶端稍平或渐尖, 呈珊瑚状; 上表面灰色至灰绿色, 久置标本室后呈淡灰黄色或淡烟色; 髓层白色, 下表面黑色, 周边裸露带淡褐色至褐色, 具网纹或皱褶; 假根稀少, 黑色, 单一不分叉, 极短, 长度约0.5 mm。子囊盘有短柄, 盘状或杯状, 盘径2–8 mm, 盘缘完整, 稍向内卷, 盘面褐色至深褐色, 无穿孔, 果托表面较光滑至明显白斑, 无缘毛和小裂片。子囊宽棒状, 大小为37.5 × 20–22.5 μm; 子囊孢子单胞, 无色, 长椭圆形, 大小为20–22.5 × 7.5–10 μm。

化学: 含有黑茶渍素、氯黑茶渍素、原岛衣酸和维任西酸。

基物: 树皮。

凭证标本: 云南西双版纳景洪勐养, 1960. 11. 24, 赵继鼎和陈玉本3587 (HMAS-L-18613), 3573 (HMAS-L-10619), 3574 (HMAS-L-120618); 思茅, 1960. 11, 赵继鼎和陈玉本 3649 (HMAS-L-16175), 3695a (HMAS-L-16176)。

国内文献记载: 云南(赵继鼎等, 1982, p.53; Chen et al, 2005, p.104; 陈健斌, 2015, p.191)。

分布: 中国云南。

地理成分: 中国特有种。

讨论: 该种的主要特征为裂片呈珊瑚状, 无缘毛, 边缘具有重复分裂的小裂片; 上表面无粉芽和裂芽, 子囊盘盘面无穿孔, 果托表面常有白斑, 髓层含有的主要化学成分为原岛衣酸。该种与*Parmotrema merrillii* (Vain.) Hale地衣体外形相似, 但

*Parmotrema merrillii*的子囊盘果托上有缘毛和小裂片;而该种主模式标本的子囊盘果托表面光滑,副模式标本的果托常有明显白斑和网状皱褶,但未见缘毛和小裂片。该种最初以*Parmelia myriolobulata* J. D. Zhao (赵继鼎, 1964)报道,后被Wei (1991)组合至大叶梅属(*Parmotrema*)中,现名为密裂大叶梅(*Parmotrema myriolobulatum*)。该种为中国特有种,已知仅分布于云南景洪市和思茅区。

在进行红色名录评估过程中,因该种的生存状态为:分布点集中于同一省份内相互毗邻的两县级行政单位;作为中国特有种,自1964年(距今55年)以*Parmelia myriolobulata* (标本采集于1960年)发表后,在其他相关的记录和研究中(赵继鼎等, 1982; Chen et al, 2005, 陈健斌, 2015)再无新增任何标本。依据IUCN红色名录受威胁等级评估标准中的A4ac、B1ab(ii) + 2ab(ii)和D2,并参考作为新种发表后未再发现的年限(30–50年),将该种的受威胁等级评定为极危(CR)。

4.1.3 华脐鳞

Rhizoplaca huashanensis J. C. Wei, Acta Mycologica Sinica 3 (4): 208 (1984) (图1C)

地衣体盾叶状,近圆形,单叶型,厚而坚硬,直径可达1.5 cm;裂片宽4–8 mm;上表面黄绿色,光滑,向外辐射有裂纹,中央凹陷,周围鼓起;下表面黑色,无光泽,中央具脐状物使地衣体固着于基物表面。子囊盘茶渍型,幼小时盘面与地衣体上表面同色,成熟后呈褐色至黑色,直径可达近3 mm,常覆盖白色粉霜层。子囊棍棒状,大小为50–62.5 × 11.25–12.5 μm;子囊孢子单胞,无色,长椭圆形,大小为11.25–15 × 5–7.5 μm。

化学:含有松萝酸。

基物:岩石。

凭证标本:陕西华山,1964.6.15,魏江春 59 (holotype, HMAS-L-3747); 1,500–1,700 m, 1998. 7. 31, 魏江春等 s. n. (HMAS-L-21174, 21175, 21176, 21177, 113683, 113685); 1998. 8. 1, 魏江春等 s. n. (HMAS-L-21178, 21179, 113684); 1999. 10. 5, 魏江春 s. n. (HMAS-L-18357)。

国内文献记载:陕西(魏江春 1984, p. 208)。

分布:中国陕西。

地理成分:中国特有种。

讨论:该种与垫脐鳞(*Rhizoplaca melanophth-*

alma (DC.) Leuckert)和盾脐鳞(*Rhizoplaca peltata* (Ramond) Leuckert & Poelt)相似,但是,该种地衣体为单叶型,下表面为黑色,而垫脐鳞的地衣体为复叶型,呈垫状,其下表面脐周为褐色,叶缘为蓝黑色;该种地衣体下表面光滑,含有松萝酸,而盾脐鳞的地衣体下表面粗糙,含泽屋萼(魏江春, 1984)。该种为中国特有种,分布地极为狭窄,仅已知分布于陕西华山。本文作者魏江春曾试图通过移植法,将采集自陕西华山的华脐鳞连带基物移至河北雾灵山,以扩大其分布范围达到保育的目的,但未获成功。

在进行红色名录评估过程中,因该种的生存状态为:分布点仅1个;作为中国特有种,自1984年(距今35年)发表后,新增标本信息较少。依据IUCN红色名录受威胁等级评估标准中的A4ac、B1ab(ii, iii) + 2ab(ii, iii)和D2,并参考作为新种发表后发生量少(最近采集记录距今20年),将该种的受威胁等级评定为极危(CR)。

4.2 濒危

被评为濒危的地衣共7种,其中2种属于石蕊科,3种属于石耳科,1种属于梅衣科,1种属于粉衣科(表2)。石耳科中的阿尔泰石耳(*Umbilicaria altaiensis*)仅分布于新疆,太白石耳(*U. taibaiensis*)分布于陕西、云南及四川,皮芽石耳(*U. squamosa*)分布于云南、西藏和广西,均为中国特有种,分布较为狭窄。阿尔泰石耳和皮芽石耳种群数量少,新种发表后鲜有新增的采集记录。太白石耳只在太白山的部分区域分布,自1984年作为新种描述发表之后,研究人员在该模式产地最近的采集记录为1998年,之后未见报道。粉衣科中的顶杯衣属(*Acroscyphus*)为单种属,仅顶杯衣一种,具有较高的学术研究价值,分布于我国云南、西藏、四川等省有限的几个地点,且其栖息地严重退化和碎片化,处于濒危状态。

4.3 易危

被评为易危的地衣共18种(表2),其中6种是中国特有种,即裂芽厚枝衣(*Allocetraria isidiigera*)、藏岛衣(*Cetraria xizangensis*)、中华金丝(*Lethariella sinensis*)、湖北蜈蚣衣(*Physcia hupehensis*)、朝比氏鳞网衣(*Psora asahinae*)和周裂石耳(*Umbilicaria loboperipherica*)。这些物种大多分布范围较窄,只在一个或两个省区有报道,但种群及个体数量相对较多,且受人类干扰程度较低,处于易危状态。此

外, 金丝刷、金丝带、绿丝槽枝和庐山石耳(*U. esculenta*)分布相对广泛, 但由于具有一定的食药价值而遭受不同程度的采挖破坏, 种群出现波动、个体数量减少, 如不采取保护措施, 可能陷入濒危甚至极危状态。

4.4 近危

被评为近危的地衣共6种, 包括球孔衣(*Cocotrema cucurbitula*)、长丝萝(*Dichousnea longissima*)、近祁连鸡皮衣(*Pertusaria paraqilianensis*)、地茶(*Thamnomia vermicularis*)、亚直角松萝(*Usnea subrectangulata*)和亚粗壮松萝(*U. subrobusta*)。其中地茶和松萝具有一定的药用价值, 开发利用对其造成一定影响, 但由于其分布较广、资源储量较大, 尚未达到受威胁状态。若人为干扰无法得到有效遏制, 这些物种则可能受到威胁。

4.5 受威胁物种的地理分布

上述受威胁的28种地衣在各省区呈不均匀分布。以西藏和云南分布的物种最多, 均有12种, 占受威胁地衣物种数的42.86%。其他各省区依次为四川8种, 陕西6种, 台湾5种, 甘肃4种, 新疆3种, 黑龙江、吉林、山西、江西、湖南、湖北和广西各2种, 辽宁、内蒙古、河北、青海、安徽、浙江和贵州各1种(表2)。西藏、云南、四川和陕西是受威胁地衣集中分布的地区, 是地衣保护需重点关注的地区。在受威胁的地衣中, 有11种是中国特有种, 包括裂芽厚枝衣、藏岛衣、中华金丝、密裂大叶梅、湖北蜈蚣衣、朝比氏鳞网衣、华脐鳞、阿尔泰石耳、周裂石耳、皮芽石耳和太白石耳等(表2), 占受威胁地衣的39.29%。受威胁的11种中国特有地衣分布分散, 除周裂石耳、皮芽石耳和太白石耳分布于3个省区以上外, 其余种均仅分布于一个省区, 即西藏分布3种, 云南、陕西、新疆、黑龙江和湖北各分布1种。

4.6 与已有评估结果的对比

本次评估出的28种受威胁地衣, 与2017年公布的云南省生物物种红色名录中的13种云南省省级受威胁物种相比, 仅3种评估等级相似, 比如: 云南省濒危的圆盘衣在全国范围也属于濒危, 云南省易危的金丝刷和绿丝槽枝在全国也属于易危。评估受威胁程度不同的4种, 如云南省极危种金丝带在全国范围属于易危, 云南省濒危的曲金丝在全国范围属于易危, 云南省易危的顶杯衣和近危的广开小孢发在全国范围属于濒危。云南省其他6种受威胁地

衣在本次全国范围评估中不在受威胁等级之列。

5 对地衣生物多样性保护的展望及建议

本次评估中地衣受威胁种数占总评估种数的比例极低, 仅为1.29%; 不受威胁的无危物种也仅占30.36%, 而68.07%的物种属于数据不足。这一数据凸显了我国地衣学研究的严峻形势及对地衣分类学人才的迫切需要。首先, 中国地衣分类学研究基础较弱, 物种名称鉴定的准确度不高; 其次, 物种研究的基础数据不足, 缺乏足够的野外考察和长期监测的基本数据, 导致大量物种的现有数据信息不足以支持可靠的红色名录等级评定; 第三, 因地衣分类学与明显的国计民生联系不紧密, 加之评价体系的弊端, 使得潜心钻研地衣分类学、综合能力强、整体素质高的青年人才匮乏。

地衣自身生长缓慢, 对环境污染敏感, 并且绝大多数分布区域狭窄, 种群数量少, 对生境退化的响应和恢复生长的能力较弱, 因此人类活动导致的栖息地破坏是使地衣物种受威胁的主要原因。典型的如戴氏石蕊(*Cladonia delavayi*)仅分布于西藏少数几个地点以及陕西秦岭太白山的一个小台地上; 华脐鳞由于受环境变化以及旅游开发的影响, 栖息地退化, 生存受到严重威胁, 目前已难觅其踪迹。而庐山石耳、金丝刷等具有食药价值的地衣, 不受控制的大规模采收利用已经使其种群受到很大影响, 前者甚至在庐山等分布区已几近绝迹。此外, 很多地衣对基物的要求苛刻, 特异性较强, 如药用地衣金丝刷, 只在特定的高山植物树枝上生长, 森林砍伐对其造成严重威胁。

对于中国地衣生物多样性的保护我们有以下建议: (1)参考本次评估中地衣的受威胁等级, 出台专门的政策法规, 扩大地衣资源的保护区范围, 同时加强保护区对受威胁物种的保护力度, 防止过度采集和开发利用地衣资源, 平衡生物资源保护与利用的关系, 实现对地衣资源的可持续利用。(2)加大研究经费的投入力度, 对中国地衣的多样性及分布进行更为深入的本底调查, 提升对其受威胁程度的客观评估能力, 避免因缺乏研究而导致数据不足, 最终造成保护不利的后果。(3)目前开发利用的对象主要是自然界中的地衣体, 一般生长极其缓慢, 过度采集后极难恢复, 会有引发灭绝的风险。因此若要永续利用地衣资源, 必须转向实验室内人工培养,

从物种、化学及基因等不同层次研发地衣资源利用新技术。最终做到保护与开发应用并行, 在人类健康和绿色农业等领域最大程度挖掘地衣资源的利用价值和开发潜力。

致谢: 本研究得到姚一建研究员的大力支持, 全国地衣专家学者及部分青年学生提供地衣物种信息并协助审核地衣红色名录。在此, 我们对上述各位专家、老师和同事同行表示衷心的感谢!

参考文献

- Ahti T (1961) Taxonomic studies on reindeer lichens (*Cladonia*, subgenus *Cladina*). *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae* 'Vanamo', 32, 1–160.
- Asahina Y (1940) Mikrochemischer Nachweis der Flechtenstoffe. XI. Mitteilung. *Journal of Japanese Botany*, 16, 185–193.
- Athukorala SNP, Pino-Bodas R, Stenroos S, Ahti T, Piercey-Normore MD (2016) Phylogenetic relationships among reindeer lichens of North America. *Lichenologist*, 48, 209–227.
- Baillie JEM, Hilton-Taylor C, Stuart SN (2004) 2004 IUCN Red List of Threatened Species™. A Global Species Assessment. IUCN, Gland, Switzerland & Cambridge, UK.
- Chen J, Blume H, Beyer L (2000) Weathering of rocks induced by lichen colonization — A review. *Catena*, 39, 121–146.
- Chen JB (2015) *Flora Lichenum Sinicorum*, Vol. 4, Parmeliaceae (I). Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈健斌 (2015) 中国地衣志第四卷: 梅衣科(I). 科学出版社, 北京.]
- Chen JB, Wang SL, Elix JA (2005) *Parmeliaceae (Ascomycota) lichens in China's mainland III. The genus Parmotrema*. *Mycotaxon*, 91, 93–113.
- Chen XL, Zhao CF, Luo GY (1981) A list of lichens in N. E. China. *Journal of North-Eastern Forestry Institute*, 3, 127–135. (in Chinese with English abstract) [陈锡龄, 赵从福, 罗光裕 (1981) 东北地衣名录. 东北林学院学报, 3, 127–135.]
- Church JM, Coppins BJ, Gilbert OL, James PW, Stewart NF (1996) *Red Data Books of Britain and Ireland: Lichens. Volume 1: Britain*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- de Grammont PC, Cuarón AD (2006) An evaluation of threatened species categorization systems used on the American continent. *Conservation Biology*, 20, 14–27.
- Glowka L, Burhenne-Guilmin F, Syngé H, McNeely JA, Gündling L (translated by Scientific Committee of Endangered Species of the People's Republic of China, Committee on Biodiversity, Chinese Academy of Sciences) (1997) *A Guide to the Convention on Biological Diversity*, pp. 1–131. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国濒危物种科学委员会, 中国科学院生物多样性委员会(译) (1997) 生物多样性公约指南. 科学出版社, 北京.]
- Guo SY, Kashiwadani H (2004) Recent study on the phylogeny of the genus *Cladonia* (s. lat.) with the emphasis on the integrative biology. *National Science Museum Monographs*, Tokyo, 24, 207–225.
- Hale ME, Culberson WL (1970) A fourth checklist of the lichens of the continental United States and Canada. *Bryologist*, 73, 499–543.
- Hawksworth DL (1991) The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research*, 6, 641–655.
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers JA (2008) *Dictionary of the Fungi*. 10th edn. CAB International, Wallingford
- Larson DW (1987) The absorption and release of water by lichens. In: *Progress and Problems in Lichenology in the Eighties*, *Bibliotheca Lichenologica*, 25 (ed. Peveling E), pp. 351–360. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- Lindsay D (1978) The role of lichens in Antarctic ecosystems. *Bryologist*, 81, 268–276.
- Lücking R, Hodkinson BP, Leavitt SD (2017) The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *Bryologist*, 119, 361–416.
- Mace GM, Lande R (1991) Assessing extinction threats: Toward a re-evaluation of IUCN threatened species categories. *Conservation Biology*, 5, 148–157.
- Miller RM, Rodríguez JP, Aniskowicz-Fowler T, Bambaradeniya C, Boles R, Eaton MA, Gårdenfors U, Keller V, Molur S, Walker S, Pollock C (2007) National threatened species listing based on IUCN criteria and regional guidelines: Current status and future perspectives. *Conservation Biology*, 21, 684–696.
- Mitrović T, Stamenković S, Cvetković V, Tošić S, Stanković M, Radojević I, Stefanović O, Comić L, Dačić D, Curčić M, Marković S (2011) Antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of five lichen species. *International Journal of Molecular Sciences*, 12, 5428–5448.
- Neamati N, Hong H, Mazumder A, Wang S, Sunder S, Nicklaus MC, George WAM, Proksa B, Pommier Y (1997) Depsides and depsidones as inhibitors of HIV-1 integrase: Discovery of novel inhibitors through 3D database searching. *Journal of Medicinal Chemistry*, 40, 942–951.
- Pavlovic V, Stojanovic I, Jadrantin M, Vajs V, Djordjevic I, Smelcerovic A, Stojanovic G (2012) Effect of four lichen acids isolated from *Hypogymnia physodes* on viability of rat thymocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 51, 160–164.
- Randlane T, Jüriado I, Suija A, Lõhmus P, Leppik E (2008) Lichens in the new Red List of Estonia. *Folia Cryptogamica Estonica*, 44, 113–120.
- Randlane T (1998) Red list of Estonian macrolichens. *Folia Cryptogamica Estonica*, 32, 75–79.
- Ranković B, Mišić M, Sukdolac S (2008) The antimicrobial activity of substances derived from the lichens *Physcia aipolia*, *Umbilicaria polyphylla*, *Parmelia caperata* and

- Hypogymnia physodes*. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 24, 1239–1242.
- Spribile T, Tuovinen V, Resl P, Vanderpool D, Wolinski H, Aime MC, Schneider K, Stabentheiner E, Toome-Heller M, Thor G, Mayrhofer H, Johannesson H, McCutcheon JP (2016) Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. Science, 353, 488–491.
- Stenroos S, Hyvonen J, Myllys L, Thell A, Ahti T (2002) Phylogeny of the genus *Cladonia* s. lat. (*Cladoniaceae*, *Ascomycetes*) inferred from molecular, morphological, and chemical data. Cladistics, 18, 237–278.
- Stenroos S, Pino-Bodas R, Weckman D, Ahti T (2015) Phylogeny of *Cladonia uncialis* (*Cladoniaceae*, *Lecanoromycetes*) and its allies. Lichenologist, 47, 215–223.
- Stenroos S, Pino-Bodas R, Hyvonen J, Lumbschc HT, Ahti T (2019) Phylogeny of the family *Cladoniaceae* (*Lecanoromycetes*, *Ascomycota*) based on sequences of multiple loci. Cladistics, 35, 351–384.
- Vié JC, Hilton-Taylor C, Pollock C, Ragle J, Smart J, Stuart SN, Tong R (2008) The IUCN Red List: A key conservation tool. In: The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species (eds Vié JC, Hilton-Taylor C, Stuart SN). IUCN, Gland, Switzerland.
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. Biodiversity Science, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. 生物多样性, 28, 11–19.]
- Wei JC (1984) A preliminary study of the lichen genus *Rhizoplaca* from China. Acta Mycologica Sinica, 3, 207–213. (in Chinese with English abstract) [魏江春 (1984) 中国脐鳞属地衣的初步研究. 真菌学报, 3, 207–213.]
- Wei JC (1991) An Enumeration of Lichens in China. International Academic Publishers, Beijing.
- Wei JC (2020) The Enumeration of Lichenized Fungi in China. China Forestry Publishing House, Beijing (*in press*).
- Wei JC, Chen JB, Jiang YM (1986) Studies on lichen family *Cladoniaceae* in China. Acta Mycologica Sinica, 5, 240–250.
- Woods RG, Coppins BJ (2003) A Conservation Evaluation of British Lichens. British Lichen Society, London.
- Woods RG, Coppins BJ (2012) A Conservation Evaluation of British Lichens and Lichenicolous Fungi. Species Status 13. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Zhao JD (1964) A preliminary study on Chinese *Parmelia*. Acta Phytotaxonomica Sinica, 9, 139–166. (in Chinese with English abstract) [赵继鼎 (1964) 中国梅花衣属的初步研究. 植物分类学报, 9, 139–166.]
- Zhao JD, Xu LW, Sun ZM (1982) Prodromus Lichenum Sini-corum. Science Press, Beijing. (in Chinese) [赵继鼎, 徐连旺, 孙增美 (1982) 中国地衣初编. 科学出版社. 北京.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 黄祥忠)



•综述•

中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策

李 熠^{1,2#} 刘冬梅^{3#} 王 科^{2,4} 吴海军²
蔡 蕾⁵ 蔡 磊² 李俊生^{3*} 姚一建^{2*}

1 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

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)

4 (中国科学院大学, 北京 100049)

5 (生态环境部自然生态保护司, 北京 100035)

摘要: 2018年5月22日国际生物多样性日, 生态环境部和中国科学院联合发布了“中国生物多样性红色名录——大型真菌卷”, 对9,302种大型真菌的受威胁现状进行了评估。根据大型真菌的生物学特性, 此次评估还对IUCN红色名录评估等级标准体系进行了适当调整。本文总结了评估过程中发现的问题: (1)部分物种的分类学地位存在争议, 缺少汉语学名; (2)大量物种的地理分布、种群数量及动态变化等信息缺乏; (3) IUCN的部分评估标准在大型真菌中难以使用; (4)物种的受威胁因素不明确, 缺乏科学定量的分析。针对以上问题, 我们建议: (1)加强真菌分类学研究, 按命名规范拟定物种的汉语学名; (2)加强大型真菌的资源调查, 对重要物种和多样性热点区域进行长期定点监测; (3)引入物种分布建模等定量分析方法, 完善IUCN的评估标准, 使之更适用于大型真菌的评估; (4)鼓励公众参与, 建立交流互动平台, 扩大红色名录工作的影响, 加强大型真菌多样性保护。

关键词: 大型真菌; 红色名录; IUCN; 真菌保护; 濒危

Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures

Yi Li^{1,2#}, Dongmei Liu^{3#}, Ke Wang^{2,4}, Haijun Wu², Lei Cai⁵, Lei Cai², Junsheng Li^{3*}, Yijian Yao^{2*}

1 School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

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

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

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

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

Abstract: On the International Day for Biological Diversity in 2018, the *Red List of China's Biodiversity—Macrofungi* was officially released by the Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China and the Chinese Academy of Sciences. The *List* assessed the threatened status of 9,302 macro-fungal species. To better fit the evaluation of macrofungi, adjustments have been made to *IUCN Red List Categories and Criteria*. This study assessed the main problems in the assessment, which can be summarized as follows: (1) taxonomic problems and the lack of available Chinese scientific names for part of species, (2) insufficient geographic distribution, population, and ecological information for various investigated species, (3) difficulty in *IUCN Red List Categories and Criteria* usage, and (4) uncertainty and missing data for threatening factors of macrofungi. For the mentioned problems, we suggest: (1) an improvement in fungal taxonomic studies, utilizing Chinese scientific names for fungal species, (2) encouragement for

收稿日期: 2019-05-27; 接受日期: 2019-07-09

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

共同第一作者 Co-first authors

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

continuous field monitoring of fungal resources, (3) utilization of species distribution models to improve the IUCN Red List assessment for fungal red-listing, and (4) the use of public platforms to encourage communication and interaction to access information and increase the social impact of the List.

Key words: macrofungi; red list; IUCN; fungal conservation; endangered

1 中国菌物多样性及大型真菌红色名录评估概况

中国拥有丰富的菌物资源, 中国菌物名录数据库(<http://www.fungalinfo.net>)记录约27,900种菌物, 隶属于15门56纲192目585科3,534属, 占世界已知菌物种数(~144,000; Willis, 2018)的近20%。大型真菌一般指产生肉眼可见(一般大于2 mm)孢子果(sporocarp)的真菌类型(Senn-Irlet et al, 2007)。迄今, 我国报道的菌物物种有近一半为大型真菌。很多大型真菌物种具有重要的食药两用价值, 与人类生活息息相关。我国是食药两用菌资源最为丰富的国家, 中国菌物名录数据库收录我国食用菌1,789种、药用菌798种, 其中561种为食药兼用。近年来, 受气候变化以及人类活动等影响, 我国的部分菌物资源在不断萎缩, 而菌物资源和多样性的保护工作却相对滞后。

欧洲是较早关注真菌保护的地区, 20世纪七、八十年代即已成立欧洲真菌保护理事会(European Council for the Conservation of Fungi, ECCF), 开展真菌特别是大型真菌的保护研究。自1982年民主德国发布首个国家级的大型真菌红色名录以来, 欧洲各国相继发布了官方的红色名录, 瑞典、丹麦、芬兰等国的大型真菌红色名录已经过多次修订(Senn-Irlet et al, 2007)。欧洲之外, 日本、新西兰等少数国家也发布了官方的大型真菌红色名录(Dahlberg & Mueller, 2011)。我国的菌物红色名录评估工作起步较晚, 仅有少数针对特定地区或类群的大型真菌受威胁等级的评估报道(魏江春等, 2000; 范宇光和图力古尔, 2008; 戴玉成等, 2010; 魏铁铮和姚一建, 2012)。

鉴于此, 2016年原环境保护部和中国科学院联合启动“中国生物多样性红色名录——大型真菌卷”编制项目, 历时两年, 对我国9,302种大型真菌进行了评估, 评估结果于2018年5月22日国际生物多样性日正式发布, 是我国首次官方发布的国家级大型真菌红色名录, 也是我国首次依据IUCN红色名录评估等级标准体系对大型真菌受威胁状况进行的

一次全面系统的评估。本文对大型真菌红色名录评估中存在的问题进行了系统总结, 并提出了未来的研究方向和工作重点, 以期为我国大型真菌资源的保护和可持续利用提供参考。

2 大型真菌红色名录评估中存在的问题

2.1 评估信息不足

完善的物种分布、种群数量及动态变化信息是物种受威胁等级评估的基础和重要依据。此次评估中, 多达68.16%的物种评估为数据不足。大型真菌评估中的数据不足一般包括以下3种情况:

(1)分类学研究不足导致物种的鉴定和分类地位不明, 相关报道的物种定名存在疑问。此种情况在高等植物和脊椎动物的红色名录评估中也普遍存在(曹亮等, 2016; 何强和贾渝, 2017; 洪德元等, 2017)。大型真菌分类学研究基础相对薄弱、鉴定难度更大。鉴定工作需要专业的研究人员和类群研究专家参与, 部分物种的鉴定还需要借助分子生物学手段, 物种鉴定和分类地位不明导致的数据不足与动植物相比可能更为普遍。在英国的牛肝菌类(Boletaceae)红色名录评估中, 就存在部分物种由于分类学的争议, 之前的分布及研究报道信息不准确而被列为数据不足的情况(Ainsworth et al, 2013)。最早出现在IUCN红色名录上的大型真菌物种白灵侧耳(*Pleurotus nebrodensis*)^①, 也由于分类学的问题, 被IUCN红色名录评估网站剔除(Ainsworth et al, 2018)。此次评估涉及的酸涩口蘑(*Tricholoma acerbum*)和香味全缘孔菌(*Haploporus odorus*)虽在IUCN红色名录中也进行过评估, 在中国也有报道, 但这些报道可能代表不同的物种, 因此将其列为数据不足。

(2)发表时间不足10年。近期描述的物种, 一般引证标本数量较少, 对其生物学和生态学特性的认识和熟悉程度较低, 现有数据无法支持对这些物种的受威胁等级评估, 需要进行深入研究, 积累数据

^① 戴玉成, 杨祝良 (2018) 认为“白灵侧耳”这一汉名应该用于最初描述于我国新疆的*Pleurotus tuoliensis* (C.J. Mou) M.R. Zhao & Jin X. Zhang上。

信息。为了加强对重要大型真菌资源的保护,我们对广东虫草(*Tolypocladium guangdongense*)、中华肉球菌(*Engleromyces sinensis*)、老君山线虫草(*Ophiocordyceps laojunshanensis*)等少数发表时间不足10年的物种进行了初步评估(庄文颖等, 2020)。(a)广东虫草发表于2008年,已实现人工栽培,2013年获批为新资源食品,仅在广东省部分地区有分布报道,已知的地理分布范围狭窄,野生资源量少,考虑到其明显的药用价值和经济价值,未来有可能受到人为因素的干扰,需要加以保护,因此评为易危。(b)中华肉球菌发表于2010年,主要分布在我国云南西北部地区,严格寄生于高山竹类,种群数量小,成熟个体较少;作为药用菌使用有较长的历史,也可食用,受过度采集的影响,物种的生存状态不容乐观,如不加以限制和保护,生存状态有可能进一步恶化。中华肉球菌是肉球菌属(*Engleromyces*)仅有的两个物种之一,另一个物种为竹生肉球菌(*Engleromyces goetzei*),分布在非洲,也是当地重要的药用菌。考虑到中华肉球菌潜在的研究价值、药用价值及可能的生态价值,结合物种的受威胁现状,我们也对其进行了评估。(c)老君山线虫草发表于2011年,在滇西北地区一直被当作冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)采集和出售,研究人员对该物种已经持续关注近20年,经过多年的调查基本明确了其地理分布。相对于冬虫夏草,其分布范围更为狭窄,生物量更小,受威胁程度可能更为严重,从物种保护的角度出发,也对其进行了评估。

(3)已有的物种地理分布范围、种群数量、种群变化趋势等数据信息不足以支撑对受威胁状况进行判断。通常,物种的分布和种群动态信息与其受关注程度有关,如大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)等受关注程度较高的物种,评估信息较为充足。对大型真菌而言,除了极少数有明显食药价值的种类,如冬虫夏草、松茸(*Tricholoma matsutake*)、块菌(*Tuber spp.*)等,其他物种受关注程度较低,评估信息相对缺乏。本次评为数据不足的物种绝大部分属于此种情况。尽管已有部分区域性的或针对重要类群的大型真菌资源调查活动(例如:范宇光和图力古尔, 2008;戴玉成等, 2010;王建瑞等, 2015),但我国大型真菌资源的本底调查工作还未全面展开,尚未建立任何针对大型真菌物种的监测站,在一定时期内评估信息缺失

的状况还难以得到实质性改善。

此次评估中,大型真菌受威胁物种数量少、比例低,还不能反映我国大型真菌真实的受威胁状况。在数据不足的物种中,可能有相当一部分已经受到不同程度的威胁,应予以关注。

2.2 名称及分类学问题

物种的正确界定是红色名录评估的前提,准确的拉丁学名和汉语学名在学术交流和研究中极为重要。在评估过程中,我们发现文献中很多物种的拉丁学名书写不规范或存在错误,部分物种由于分类学研究的发展,名称出现了变化或归并。中文名称的使用则更为混乱,平均每个拉丁学名对应近3个中文名称。评估过程中,参考最新的分类系统和分类学研究结果,对物种的拉丁学名进行了系统整理,使用Index Fungorum数据库中的现用名(current name)作为物种的拉丁学名。同时,依据第二届全国真菌、地衣学大会1986年通过的《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国植物学会真菌学会, 1987)与科学出版社出版的《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1976)采用“一菌一名(One Fungus One Name)”的原则对评估物种的汉语学名进行清理、修订或新拟(王科等, 2020b)。我国大型真菌现代分类研究起步较晚,大量的物种鉴定主要对照西方国家的物种描述,物种定名可能存在较多问题。很多大型真菌尤其是评为数据不足的种类,物种概念不清,分类学地位还存在争议,需要加强大型真菌分类学研究的力度,更好地服务于红色名录评估和大型真菌的保护工作。

2.3 IUCN红色名录评估标准在大型真菌中的适用性

IUCN红色名录评估体系始建于1966年,最早在哺乳动物中使用,很多评估标准是根据高等动物的特点制定的,尽管在脊椎动物以及高等植物中得到了很好的应用,但在小型的生物类群如苔藓(何强和贾渝, 2017)、昆虫以及真菌中应用时却遇到了诸多困难。针对此次大型真菌红色名录评估,存在的难题主要包括:(1)大型真菌灭绝或野外灭绝等级难以判定。大型真菌往往只在生活史的特定阶段、条件适宜的情况下才产生肉眼可见的子实体,大部分时间以孢子、菌丝、菌索、菌核等形式存在于土壤、水体、空气以及动植物的活体或残体上。即使产生子实体,由于专业研究人员不足、大众关注度

低,也很难被发现和识别。要确认大型真菌物种是否灭绝,需要专业研究人员对其可能的生境开展全面深入的调查,并对生境中的菌丝体进行检测。(2)大型真菌往往没有固定的世代时长(*generation time*)。在外界条件不适合的情况下,能够以各种形式在土壤中蛰伏几年、几十年甚至更长时间;很多种类在形成子实体后,菌丝体还可以在地下继续存活,真菌的个体甚至可存活上千年(Smith et al, 1992)。(3)大型真菌个体数量及成熟个体数难以准确统计,与此相关的评估标准难以使用。

针对以上问题,在大型真菌红色名录评估过程中,我们对IUCN的等级和标准进行了适当调整:将*Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria Version 8.1* (IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2010)中“极危”等级受威胁状态中的“疑似灭绝”(Possibly Extinct, PE)标识作为单独的红色名录评估等级,用于表明已知大型真菌物种长期未被发现,但又不能确凿证明其已经灭绝或野外灭绝的状况;在使用标准A和C1进行评估时,采用较长的时间段“30年内”来代替原有的“10年内或3代内”来观测、估计、推断或猜测大型真菌种群在过去的变化。相应地,将标准C1中的“5年或2代内”和“3年或1代内”分别调整为“15年内”和“10年内”;通过大型真菌物种的分布范围以及观测到的子实体数量来估计、推测或判断其数量,并较多地使用标准B。涉及个体数量、小种群的标准C1、C2和D1等比较少用或不用。限于现有的数据和资料,通过定量分析的标准E在本次评估中也未使用。随着大型真菌保护生物学研究的不断深入,相信IUCN的等级和标准会得到适当调整,更适用于大型真菌的评估。

2.4 受威胁因素及其对物种的影响不明

受威胁因素是红色名录评估的重要内容,只有明确了受威胁因素,才能制定合理有效的保护措施。从欧洲的情况来看,土地利用、空气污染和土壤富营养化、气候变化是威胁大型真菌的三大因素(Senn-Irlet et al, 2007)。长期的监测研究表明,子实体的采集活动对大型真菌的产量和多样性影响并不大(Egli et al, 2005),但最近对冬虫夏草的研究揭示,过度采挖导致了物种产量的下降(Hopping et al, 2018)。可见采集活动对物种的影响可能与不同类型真菌物种的特性及采集方式有关,物种间可能存在

差异。中国有悠久的食药菌采集和利用历史,有食药菌价值的种类易受无节制采挖的影响。此次评估出的受威胁物种,绝大多数都列出了明确的受威胁因素,但各个受威胁因素对物种的影响程度并不明晰,缺乏可靠的研究数据支持。不同类型的物种,如腐生菌、寄生菌和植物共生菌等,其受威胁因素可能存在较大的差异,开展实地调查和监测是明确受威胁因素及其影响程度的必要途径。

3 展望

3.1 评估机制

此次发布的大型真菌红色名录是我国首次依据IUCN红色名录评估等级和标准完成的针对大型真菌类群的评估结果。尽管取得了阶段性成果,但仍存在不足。其一,数据不足物种比例偏高;其二,在评估过程中,部分评估人员可能对IUCN红色名录评估等级和标准理解不够全面准确,在一定程度上导致部分物种的受威胁等级与实际受威胁状况存在偏差。红色名录评估是一个长期的工作,物种的受威胁等级也是一个动态变化的过程。一方面,随着分类学的发展,会不断有新物种发表,已知物种的分类地位以及物种的界定也可能发生变化,相关物种的评估信息需要重新整理,物种的受威胁等级可能因此而改变;另一方面,随着信息的不断积累,特别是大范围资源调查和监测工作的实施,物种的地理分布和种群动态变化信息可能更加完善,数据不足物种的比例也会降低。此外,对受威胁物种实施有效保护可能导致物种受威胁等级下调,而原本评估为无危或近危的物种也可能受环境或人为因素的影响成为受威胁物种。为了及时更新物种的红色名录评估等级,更正评估错误,实现生物多样性的有效保护,应定期开展红色名录再评估工作(董仕勇等, 2017)。根据IUCN(2016)的建议,红色名录应每隔10年予以重新评估,条件允许的情况下,也可5年评估一次。

基于大型真菌红色名录评估工作的重要性和目前评估机制中存在的问题,我们建议:(1)加大对大型真菌红色名录评估和保护研究的投入力度,成立大型真菌红色名录评估委员会,负责协调、组织大型真菌红色名录评估工作,制定我国大型真菌红色名录评估和保护计划,促进与周边国家以及IUCN全球红色名录项目之间的合作;(2)建立稳定

的评估队伍,成立各个类群的评估工作组,建立专家数据库,由评估工作组负责汇总、管理和维护各类群物种的评估信息,定期对相关类群的红色名录进行更新;(3)定期组织培训班和学术会议,对评估人员进行培训,对我国大型真菌红色名录评估和保护工作进行研讨,促进交流和合作。

瑞典早在1990年就已成立稳定的大型真菌红色名录评估队伍(Svensson, 1993),定期对红色名录进行更新。相对于高等植物和脊椎动物,我国大型真菌的红色名录评估和保护工作刚刚起步,稳定的研究队伍和经费投入是此项工作得以延续的保证。

3.2 大型真菌资源普查和监测

充足的物种分布和种群动态变化信息是红色名录评估的重要保证。英国的国土面积和大型真菌多样性远低于我国,且保存的标本记录十分丰富,尚无法开展有效评估,我国的大型真菌红色名录评估工作任务任重道远。近年来科学技术部先后启动针对青藏高原、西南喀斯特、东北大小兴安岭等地区的菌物资源调查项目,生态环境部也于2019年全面启动了“生物多样性调查、观测与评估”项目,其中包括了对重要的大型真菌物种和陆域生物多样性保护优先区域大型真菌多样性的调查。这些项目的实施将在一定程度上弥补评估信息的不足,但我国幅员辽阔,相当一部分地区还未进行系统的调查研究,亟需开展全国范围内的资源本底调查工作。除了静态的资源普查,对物种及其生境的长期监测也是开展红色名录评估和保护的前提。目前我国尚未建立任何针对大型真菌及其栖息地的监测点,已建立的保护区及生物多样性监测站点也未将大型真菌列入监测范畴。大型真菌在生态系统物质循环中起着不可替代的作用,与动植物关系密切,其多样性是生态系统健康与否的重要指标(Senn-Irlet et al, 2007)。因此建议将大型真菌纳入已有保护区和野外研究站点的监测范畴,加强野外生存现状及其栖息地的质量调查研究,将重要大型真菌类群列为保护区的重点监测和保护对象。在充分调查研究的基础上,识别大型真菌多样性热点地区,明确区系划分,建立监测网络,划定优先保护区,实现资源的合理有效保护。

本次评估的信息主要来源于中国菌物名录数据库中的文献报道和专家经验,未包括馆藏标本信息。根据动植物以及其他国家和地区的评估经验,

馆藏标本在红色名录评估和物种保护研究中发挥着重要作用。中国科学院菌物标本馆收藏菌物标本52万余号,是亚洲收藏量最大的菌物标本馆,连同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和吉林农业大学菌物标本馆等,我国各大标本馆收藏的大型真菌标本可能接近100万号(Fang et al, 2018)。由于目前我国菌物标本馆信息化程度普遍较低,标本鉴定的准确率还有待提高,本次评估未采用馆藏标本信息。组织专业研究力量对馆藏标本进行系统的核查和清理,实现标本信息数字化是利用馆藏标本信息的前提,也是获取大型真菌多样性信息的快速、有效途径。

3.3 分类学研究

分类学研究是红色名录评估的基石,没有深入的分類研究便没有可靠的红色名录物种评估,正确的物种界定是评估的前提。白灵侧耳曾被认为仅分布在意大利西西里岛北部山区,分布区狭窄,种群数量少、规模小且在不断萎缩,成熟个体数少于250个, *Venturella* 2006年将其评为极危物种,是最早完成评估的大型真菌物种之一,但后来的分类学研究表明该物种分布范围很广,物种界定也发生了变化,此前的评估信息只能反映西西里地区种群(原亚种)的生存状况,不代表整个物种的生存状况,因此不再被IUCN红色名录收录(Venturella, 2006; Ainsworth et al, 2018)。参加此次评估的人员及信息提供者几乎全部为各个类群的分類学专家,在一定程度上保证了评估结果的准确性。但大型真菌种类繁多,部分物种和类群的分類学特征不明显,存在大量形态上难以区分的物种(复合种),甚至一些我国重要的食用菌在分类学上都有名称变化(戴玉成和杨祝良, 2018),对这些物种进行评估有一定的难度。要解决分类学遗留问题,需要广泛的野外调查和取样,借助分子标记甚至是基因组测序等现代研究手段。近年来,我国越来越多的大型真菌新物种被描述,这些物种往往生物量小、发生频率低,分布在较为偏远的地区。对这些新发表物种开展评估和保护,也是大型真菌红色名录评估和保护生物学研究的重要内容。

3.4 模型分析方法的应用

物种地理分布调查、种群动态监测等信息的获取需要长时间的积累。此次评估发现,由于评估信息不足,许多大型真菌物种的受威胁等级无法评估,

评估出的受威胁物种也在一定程度上存在缺乏可靠评估依据的问题。如何利用有限的的数据得到相对可靠的评估结果是大型真菌保护需要解决的问题。从冬虫夏草的实例中我们可以看到,物种分布模型(species distribution modeling)分析在一定程度上可弥补数据不足的影响,在大型真菌受威胁等级评估和保护中具有重要的应用价值(李熠等, 2020)。在充分了解物种的地理分布、生境以及生物学特性的前提下,熟练掌握模型分析的方法和原理、对分布数据的质量进行把控,模型分析完全可以提供有价值的评估信息。

3.5 IUCN评估标准的调整和完善

IUCN红色名录等级和标准体系主要基于物种过去、现在和未来的威胁因子对灭绝风险进行评估,评估依据包括种群大小及其变动趋势、成熟个体数量、种群分布面积等,是目前世界各国广泛采用的物种受威胁等级评价体系,在保护生物学研究中发挥着重要作用。IUCN红色名录等级和标准体系采用了量化的评估标准,同时考虑到评估信息和评估过程的不确定性,既减少了主观判断,又保持了一定的可操作性。然而,IUCN红色名录等级和标准体系在大型真菌中的应用中也存在一些问题(Dahlberg & Mueller, 2011)。此次评估建立了中国大型真菌红色名录评估方法和程序(王科等, 2020a),完善了IUCN红色名录评估标准体系,对IUCN评估等级和标准的调整得到了国内外菌物学家和菌物保护工作者的认可。随着研究的深入,IUCN红色名录评估等级和标准体系还会不断完善,使之更适合大型真菌的评估。

3.6 国际合作及公众参与

在评估过程中,我们与Index Fungorum数据库管理者建立了密切的合作关系,利用该数据库对物种名称进行核对,协助判定中国特有种等,大大提高了评估效率和准确性。国外的很多标本馆和数据库如英国皇家植物园标本馆、荷兰CBS-KNAW菌种保藏中心、全球生物多样性信息网络(GBIF)等保存了大量有价值的信息,这些信息对我国大型真菌红色名录评估有重要价值。未来应加强与国外菌物标本馆、菌种保藏中心、多样性信息库的合作,促进信息的交流与共享。同时,也应与IUCN、国际真菌保护协会(International Society for Fungal Conservation)等国际组织开展交流与合作。2013年,IUCN成

立了全球菌物红色名录行动计划(The Global Fungal Red List Initiative, iucn.ekoo.se/en/iucn),旨在促进菌物红色名录评估工作,目前已完成数百个物种的初步评估。

除了与国际组织建立联系,公众的参与也很重要。参与此次大型真菌红色名录评估的全部是真菌分类学家,保证了评估结果的可靠性,但仍需扩大信息的获取途径。大型真菌红色名录评估结果应在专门的网站平台发布,开放互动功能,邀请分类学从业人员、生态学家、保护区管理员以及业余爱好者群体参与信息收集和共享。目前,国内已有大量的观鸟、野生花卉、动植物摄影等爱好者群体,他们大多受过一定的科学训练,拍摄的照片、记录的物种分布信息在高等植物和脊椎动物的红色名录评估中发挥了一定作用。近年来,国内也出现了不少蘑菇(大型真菌)摄影爱好者,业余从事蘑菇标本的采集和拍摄,该群体的人数甚至可能多于专业分类人员。大型真菌有别于高等植物和脊椎动物,物种难以准确鉴定,只有经过专业的培训或指导,业余爱好者采集的信息才具备科学价值,可为红色名录评估和保护生物学研究服务。此外,生态学家、保护区管理员及业余爱好者的广泛参与有利于扩大红色名录工作的影响,促进大型真菌保护工作的开展。英国皇家植物园领导的“The Lost and Found Fungi”(<http://fungi.myspecies.info/content/lost-found-fungi-project>)计划,鼓励志愿者参与对在英国分布的约100个稀有真菌物种进行搜寻,取得了良好的效果,充实了物种的分布记录,部分消失50余年的物种又被重新发现。

总之,在此次大型真菌红色名录评估的基础上,还有很多相关工作需要开展。国家层面应加大对大型真菌保护和相关基础研究的投入,推动大型真菌多样性和野生真菌资源的有效保护和可持续利用。

参考文献

- Ainsworth AM, Canteiro C, Dahlberg A, Douglas B, Furci G, Minter D, Mueller GM, Scheidegger C, Senn-Irlet B, Wilkins T, Williams E (2018) Conservation of fungi. In: State of the World's Fungi 2018 (ed. Willis KJ), pp. 70–77. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Ainsworth AM, Smith JH, Boddy L, Dentinger BTM, Jordan M, Parfitt D, Rogers HJ, Skeates SJ (2013) Red List of Fungi for Great Britain: Boletaceae: A Pilot Conservation

- Assessment Based on National Database Records, Fruit Body Morphology and DNA Barcoding. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.
- Cao L, Zhang E, Zang CX, Cao WX (2016) Evaluating the status of China's continental fish and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 598–609. (in Chinese with English abstract) [曹亮, 张鄂, 臧春鑫, 曹文宣 (2016) 通过红色名录评估研究中国内陆鱼类受威胁现状及其成因. 生物多样性, 24, 598–609.]
- Chinese Society of Botanist and Mycologist (1987) Nomenclature Code of Fungal Chinese Names of Mycology & Lichenology. *Acta Mycologica Sinica*, 6, 61–64. (in Chinese) [中国植物学会真菌学会 (1987) 真菌、地衣汉语学名命名法规. 真菌学报, 6, 61–64.]
- Dahlberg A, Mueller GM (2011) Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species. *Fungal Ecology*, 4, 147–162.
- Dai YC, Cui BK, Yuan HS, Wei YL (2010) 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 (2010) 中国濒危的多孔菌. 菌物学报, 29, 164–171.]
- Dai YC, Yang ZL (2018) Notes on the nomenclature of five important edible fungi in China. *Mycosystema*, 37, 1572–1577. (in Chinese with English abstract) [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, 1572–1577.]
- Dong SY, Zuo ZY, Yan YH, Xiang JY (2017) Red list assessment of the lycophytes and ferns in China. *Biodiversity Science*, 25, 765–773. (in Chinese with English abstract) [董仕勇, 左政裕, 严岳鸿, 向建英 (2017) 中国石松类和蕨类植物的红色名录评估. 生物多样性, 25, 765–773.]
- Egli S, Peter M, Buser C, Stahel W, Ayer F (2005) Mushroom picking does not impair future harvests—Results of a long-time study. *Biological Conservation*, 129, 271–276.
- 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.]
- Fang R, Kirk PM, Wei JC, Li Y, Cai L, Fan L, Wei TZ, Zhao RL, Wang K, Yang ZL, Li TH, Li Y, Phurbu-Dorji, Yao YJ (2018) Country focus: China. In: *State of the World's Fungi 2018* (ed. Willis KJ), pp. 48–55. Royal Botanic Gardens, Kew.
- He Q, Jia Y (2017) Assessing the threat status of China's bryophytes. *Biodiversity Science*, 25, 774–780. (in Chinese with English abstract) [何强, 贾渝 (2017) 中国苔藓植物濒危等级的评估原则和评估结果. 生物多样性, 25, 774–780.]
- Hong DY, Zhou SL, He XJ, Yuan JH, Zhang YL, Cheng FY, Zeng XL, Wang Y, Zhang XX (2017) Current status of wild tree peony species with special reference to conservation. *Biodiversity Science*, 25, 781–793. (in Chinese with English abstract) [洪德元, 周世良, 何兴金, 袁军辉, 张延龙, 成仿云, 曾秀丽, 王雁, 张秀新 (2017) 野生牡丹的生存状况和保护. 生物多样性, 25, 781–793.]
- Hopping KA, Chignell SM, Lambin EF (2018) The demise of caterpillar fungus in the Himalayan region due to climate change and overharvesting. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 115, 11489–11494.
- Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences (1976) *A Glossary of Terms and Names of Fungi*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院微生物研究所 (1976) 真菌名词及名称. 科学出版社, 北京.]
- IUCN (2016) *Rules of Procedure for IUCN Red List Assessment 2017–2020 (Version 3.0)*. <https://www.iucnredlist.org/resources/rules-of-procedure/>. (accessed on 2018-05-02)
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee (2010) *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria, Version 8.1*. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee in March 2010. <http://intranet.iucn.org/webfiles/doc/SSC/RedList/RedListGuidelines.pdf>. (accessed on 2014-03-01)
- Li Y, Tang ZY, Yan YJ, Wang K, Cai L, He JS, Gu S, Yao YJ (2020) Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis*. *Biodiversity Science*, 28, 99–106. (in Chinese with English abstract) [李熠, 唐志尧, 闫昱晶, 王科, 蔡磊, 贺金生, 古松, 姚一建 (2020) 物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保护中的应用: 以冬虫夏草为例. 生物多样性, 28, 99–106.]
- Senn-Irlet B, Heilmann-Clausen J, Genney D, Dahlberg A (2007) *Guidance for the Conservation of Macrofungi in Europe*. Document prepared for the Directorate of Culture and Cultural Heritage, Council of Europe. https://www.wsl.ch/eccf/Guidance_Fungi.pdf. (accessed on 2018-02-09)
- Smith ML, Bruhn JN, Anderson JB (1992) The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms. *Nature*, 356, 428–431.
- Svensson S (1993) Red data lists, mapping, monitoring and conservation of fungi in Sweden. In: *Conservation of Fungi in Europe: Proceedings of the Second Meeting of the European Council for the Conservation of Fungi* (eds Arnolds EJM, Kreisel H), pp. 31–34. Ernst Moritz Arndt Universität, Vilm.
- Venturella G (2006) *Pleurotus nebrodensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2006: e.T61597A12506882. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T61597A102952148.en/>. (accessed on 2018-05-02)
- 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.]

- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020a) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. *生物多样性*, 28, 11–19.]
- Wang K, Zhao MJ, Su JH, Yang L, Deng H, Wang YH, Wu HJ, Li Y, Wu HM, Wei XD, Wei TZ, Cai L, Yao YJ (2020b) The use of Checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 74–98. (in Chinese with English abstract) [王科, 赵明君, 苏锦河, 杨柳, 邓红, 王永会, 吴海军, 李熠, 吴红梅, 卫晓丹, 魏铁铮, 蔡磊, 姚一建 (2020b) 中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用. *生物多样性*, 28, 74–98.]
- 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* (eds Zhou WH, Lin JY), 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(周文豪, 林俊义主编), 307–316页. 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.]
- Willis KJ (2018) *State of the World's Fungi 2018*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Zhuang WY, Li Y, Zheng HD, Zeng ZQ, Wang XC (2020) Threat status of non-lichenized macro-ascomycetes in China and its threatening factors. *Biodiversity Science*, 28, 26–40. [庄文颖, 李熠, 郑焕娣, 曾昭清, 王新存 (2020) 中国非地衣型大型子囊菌受威胁现状评估及致危因素 (2020) 中国大型真菌受威胁物种名录. *生物多样性*, 28, 26–40.]

(责任编辑: 杨祝良 责任编辑: 闫文杰)



•研究报告•

中国菌物名录数据库在大型真菌红色名录编制中的作用

王科^{1,2} 赵明君¹ 苏锦河³ 杨柳¹ 邓红¹ 王永会^{1,2} 吴海军¹
李熠⁴ 吴红梅¹ 卫晓丹¹ 魏铁铮¹ 蔡磊¹ 姚一建^{1*}

1 (中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室, 北京 100101)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

3 (集美大学计算机工程学院, 福建厦门 361021)

4 (扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 长期以来, 分类学的研究成果主要以平面的方式发表在各种纸质文献资料中。近年来, 随着计算机和人工智能等新兴技术的发展和运用, 平面资料信息的数字化成为一种趋势, 世界各国都非常重视本国生物资源信息的收集汇总, 构建了多种数据库, 为科学研究、政府决策、资源保护、合理利用和科学传播提供了重要的信息基础。本研究探索并建立从菌物学平面资料信息构建数据库的流程和方法, 并在中国菌物名录数据库和Index Fungorum所收集数据的基础上进行数据挖掘和分析。通过软件操作和程序设计, 在数据库中提取相关信息, 辅助完成了《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》的编制工作, 同时梳理和规范了菌物拉丁和汉语学名, 为菌物分类研究和资源评估与保护提供基础。

关键词: 文献数字化; 菌物数据库; 红色名录初评; 菌物汉语学名

The use of Checklist of Fungi in China database in the red list assessment of macrofungi in China

Ke Wang^{1,2}, Mingjun Zhao¹, Jinhe Su³, Liu Yang¹, Hong Deng¹, Yonghui Wang^{1,2}, Haijun Wu¹, Yi Li⁴, Hongmei Wu¹, Xiaodan Wei¹, Tiezheng Wei¹, Lei Cai¹, Yijian Yao^{1*}

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Computer Engineering College, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021

4 School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

Abstract: Taxonomic research has, to date, mainly been published in peer-based journals and books. Recently, with the development of emerging technology, document digitization has become a new trend and a variety of databases have been established to provide useful information for scientific research, government decisions, resource protection and utilization, and science communication. During the Red List Assessment of Macrofungi in China project, The Checklist of Fungi in China and Index Fungorum were used for data mining and programming methods to compile the *Red List of China's Biodiversity—Macrofungi*. Both Latin and Chinese scientific names of assessed species were revised and corrected, providing a useful example for established database importance in taxonomic research, evaluation, and biological conservation.

Key words: digitization; fungal databases; initial assessment; fungal Chinese name

菌物是自然界中物种多样性最为丰富的生物类群之一, 据估计, 世界上分布的菌物物种可达

220–380万种(Hawksworth & Lucking, 2017)。早在18世纪初欧洲国家就开始了菌物分类学研究, 迄今为

收稿日期: 2019-05-13; 接受日期: 2019-07-09

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)和中国科学院科技促进发展局特别支持项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yaoyj@im.ac.cn

止世界范围内已发现超过14万个菌物物种(Species Fungorum, <http://www.speciesfungorum.org>, 数据获取于2019年6月20日), 发表了大量菌物学专著和文献, 如*Systema Mycologicum* (Fries, 1823)和*Sylloge Fungorum: Omnium Hucusque Cognitorum* (Saccardo, 1898)等。中国菌物学研究起始于20世纪初, 其后近百年的发展过程中积累了如《中国的真菌》(邓叔群, 1963)、《中国真菌总汇》(戴芳澜, 1979)、《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986)和《孢子植物名词及名称》(郑儒永等, 1990)等一系列著作, 为菌物分类学的发展积攒了丰富的资料。

随着计算机与信息技术的高速发展, 互联网以其搜索快捷、信息量大、更新速度快等特点逐步成为人们获取信息的主要渠道。基于网络传播的数字化文献已逐渐成为新的趋势, 也为科学研究工作提供了便利。在菌物方面, 世界各国已不同程度地开展了文献数字化工作并建立了与菌物分类学相关的物种名录数据库、分类学名称数据库、生物多样性数据库等, 如Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>)、Mycobank (<http://www.mycobank.org>)、Bibliography of Systematic Mycology (<http://www.speciesfungorum.org/BSM/bsm.htm>)等。中国的菌物文献数字化工作起步较晚, 相关的数据库数量较少或仍在建设完善之中。2011年, 在中国科学院生物多样性委员会支持下, 中国菌物名录数据库(<http://www.fungalinfo.net>)在中国科学院微生物研究所建立。该数据库是对文献报道的中国分布的菌物种类及其相关信息进行全面汇总和系统整理的数据集合, 包括中国已知菌物各物种的学名、同物异名、分类地位、国内外分布、参考文献、生境、宿主或寄主、

标本或培养物信息等。此外, 该数据库的菌物名称注册系统Fungal Names (<http://www.fungalinfo.net/fungalname/>)已被国际菌物命名委员会授权为官方接受的菌物名称注册网站, 且受到《国际藻类、菌物和植物命名法规》认可(McNeil & Turland, 2011; Turland et al, 2018)。中国菌物名录数据库的建立, 为我国菌物系统学、生物多样性及相关领域的学术研究、产业发展、物种保护和资源可持续利用构建了最为全面的信息平台。

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》的编制工作, 红色名录的评估在很大程度上依赖于对某一特定的地理或行政区域内特定物种发生的数量和变化趋势的掌握。中国菌物名录数据库所收录的内容为本次评估工作提供了详实的基础数据, 本文将详细介绍该数据库在此次大型真菌红色名录评估过程中所发挥的作用, 为数据库在科学研究过程中的使用提供实例。

1 文献数字化和数据库扩充

中国菌物名录数据库中收录的数据主要来自于数字化的文献和书籍。在早期工作中大多依靠人工进行信息录入, 为了解决人工录入效率低、错误率高等问题, 本研究构建了菌物平面文献数字化的流程和方法, 以进一步补充此次红色名录评估的基础数据(图1)。

对于所收集的纸质版文献与书籍, 利用扫描技术将其逐页转化为图像并存储在电子文献库中。相较于手工录入、语音识别等其他数字化方法, 扫描技术不仅速度快、费用低, 还尽可能地保持了文档

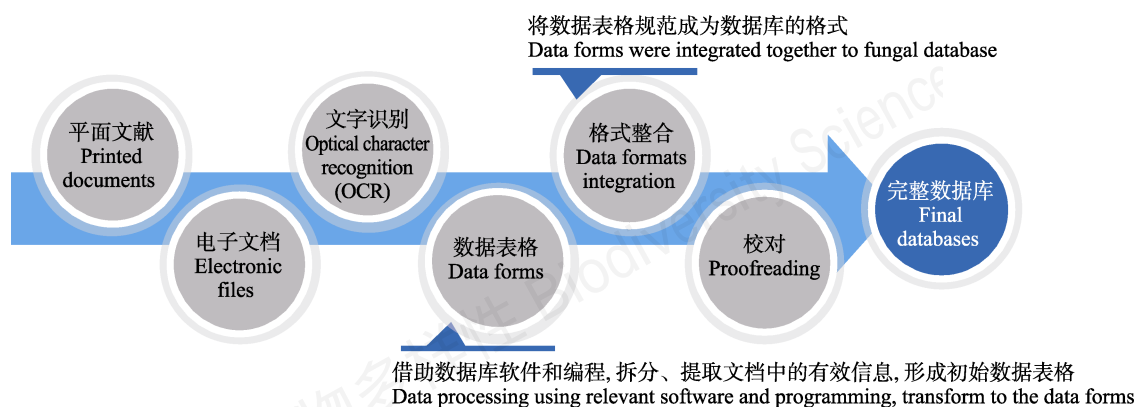


图1 菌物文献数字化的流程与方法

Fig. 1 Procedures and methods of fungal literature digitization

的原貌,同时也把表格、图片等非文本部分完整地保留下来(姚雪红,2011)。扫描生成的电子文档均为图片格式,仍不便于信息检索与数据挖掘,需利用文字识别软件(ABBYY FineReader 11.0)对其进行格式转换,文字识别的过程是利用计算机技术与光学技术,对印刷或书写的文本图像进行分析处理,获取其文字及版面信息(寇清华和郑巧红,2012)。近年来,文字识别软件对分辨率较高图像的识别准确率可达99%以上(陈杰等,2010)。然而,对于分辨率较低电子文档,文字识别软件的出错率远高于手工录入和语音输入等人工方法,因此,对识别后的文档进行验证与校对工作十分必要。

校对完成后,将电子文档列入到数字文档库中,以方便管理和查阅。为了进一步提高文献资源的利用效率,需对数字文献进行信息挖掘。首先对书籍或文献的内容和编排格式进行分析,挖掘其有效信息,借助文本处理软件(Notepad++ v7.5.6和Word 2016)和编程软件(Python 3.5),利用文档的编排规律,插入相应的识别符(如文档中未出现过的特殊符号),然后使用数据库软件(Access 2016和Excel 2016)读取文档数据,按识别符分字段写入数据库,并对数据内容进行编辑处理,去除冗余数据,统一数据格式,构建出标准、规范的菌物信息数据库。最后,将所构建的数据库信息导入中国菌物名录数据库中,实现文献资源的有效利用与共享。以《中国真菌志 第十八卷 灵芝科》(赵继鼎和张小青,2000)为例,根据其书中内容设计和编排格式,其中信息可拆分为汉语学名、拉丁名、命名人、异名、描述、报道地点、世界分布、生境、标本、讨论等项目,将其信息分别提取并写入数据库中,完成对该书的数字化(数字化示例见附录1)。

按照上述方法,大型真菌红色名录评估项目组

(以下简称“项目组”)完成了对《中国菌物总汇》、《中国真菌志》、《真菌名词及名称》等128本纸质菌物专著数字化,为中国菌物名录数据库增添菌物记录125,556条。数据库扩充之后,中国菌物名录数据库中收录了来自372个国内外期刊的7,000多篇论文和200多部专著的24万多条菌物记录信息,涉及中国分布的菌物物种约2.79万种(Fang et al, 2018)。

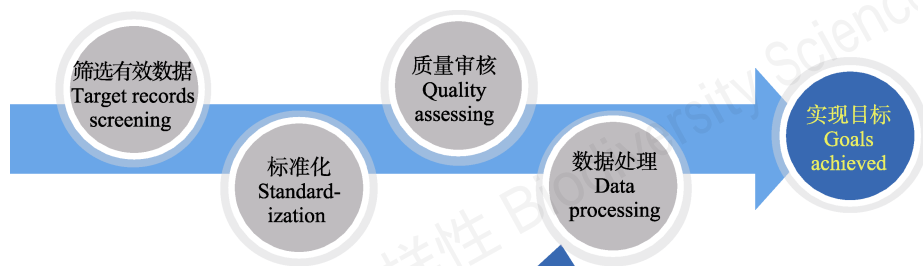
2 数据库在红色名录评估中的应用

2.1 数据挖掘与分析的方法

对于数据库中大量的菌物数据,项目组构建了数据分析与挖掘的流程与方法(图2),以充分利用其有效信息。首先,针对特定的目标,以数据库为基础,根据需求对数据进行关键词筛选,输出有效数据。该步骤需要尽可能地扩大选择范围,将可能相关的数据全部涵盖在内。随后,对筛选出的数据进行标准化处理,使数据栏目格式统一并填补空缺,便于后续的处理。第三步,对数据进行质量审核,剔除无用的数据,并修订错误,以确保信息的可靠性。最后,对审核完成的数据进行分析和处理,根据需求,借助数据库软件、编程等方法对数据进行格式转换、统计分析、自动排版等操作,从而达成所需目标和结果。

2.2 评估物种的确定

此次红色名录所评估的类群是大型真菌。大型真菌是指能形成肉眼可见的子实体、子座、菌核或菌体的一类真菌,包括大型子囊菌、大型担子菌和地衣型真菌等。根据上述特点,项目组划定的大型真菌的类群范围:担子菌门下除黑粉菌纲、锈菌纲、担子菌酵母以外的类群,以及子囊菌门下107个具有大型子实体的属和An Enumeration of Lichens in China (Wei, 1991)收录的地衣类群。根据上述类群



借助数据库软件与编程进行数据格式转换、统计分析,实现自动排版
Data processing using relevant software and programming, transform to publishing formats

图2 数据挖掘与分析的流程与方法

Fig. 2 Procedures and methods of data mining and analysis

范围, 依照图2的方法从中国菌物名录数据库中筛选出相关数据, 共提取出大型担子菌记录117,338条, 大型子囊菌记录10,213条, 地衣记录37,838条, 涉及菌物名称共14,511个, 经比对Index Fungorum数据库, 对物种学名进行核对, 排除有问题的名称302个, 去除或合并分类学异名4,907个, 最终剩余菌物名称9,302个, 确定为被评估物种。从Index Fungorum数据库调取这些物种的最新分类地位, 统计得出评估物种涵盖了我国9,302种大型真菌, 其中大型子囊菌870种, 大型担子菌6,268种, 地衣型真菌2,164种, 分属于2门14纲62目227科1,298属(表1)。

2.3 菌物汉语学名的选定、修订和新拟

分析9,302个评估物种在数据库中的信息发现, 这些物种的汉语学名普遍存在着使用不统一、命名不规范等问题。其中6,971个物种检索到28,200个中文名称, 涉及文献及专著共1,635部/篇, 剩余2,331个物种则没有汉语学名, 需要新拟。为了规范汉语学名的使用, 项目组以《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986)为命名基准, 参照《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987), 并提出了“汉语学名优先律”, 以解决评估物种的汉语学名问题。

汉语学名优先律如下(排序靠前的条目具有较高优先度):

(1)《真菌名词与名称》中出现的汉语学名。

(2)新组合名的基原名或较早组合名如在《真菌名词及名称》中出现, 其种加词译法应以《真菌名词及名称》为准, 除非新组合所在的属中该汉语种加词已被占用。

(3)除《真菌名词与名称》外, 其他文献中出现的且符合《真菌、地衣汉语学名命名法规》规定的汉语学名。

(4)新组合名的基原名或较早组合名如在除《真

菌名词与名称》外的文献中出现, 其种加词译法应以文献中记载的为准, 除非新组合所在的属中该汉语种加词已被占用。

(5)新拟汉语学名。根据拉丁名的词根, 特别是新分类单元发表时所依据的词源学(Etymology), 尽可能反映属的特征来拟定汉语学名。部分拉丁词根可参考《真菌名词及名称》的名词部分, 但更多的词根要查阅专门的词典。

针对每一个拉丁学名, 依照以上的优先律顺序确定其对应的汉语学名。例如: *Bovista pusilla* (Batsch) Pers. 没有找到符合优先律(1)的汉语学名, 但是其基原名 *Lycoperdon pusillum* Batsch 出现在《真菌名词与名称》中, 对应的汉语学名为“小马勃”, 根据优先律(2)种加词译法“小”被采用, “小”这一译法在灰球菌属(*Bovista*)中没有被占用, 所以 *Bovista pusilla* 的汉语学名确定为“小灰球菌”。

项目组依照《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986)、《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)和“汉语学名优先律”, 借助数据库软件(Microsoft Office 2016)和程序编写(Python 3.5), 对每一个评估物种的汉语学名进行选定、修订和新拟工作, 同时设置条件进行质量控制, 检测每一个名称是否符合《真菌、地衣汉语学名命名法规》中提出的命名规则。修订名称示例如下:

“茶薪菇”在多篇文献中均用作拉丁种名 *Agrocybe chaxingu* N. L. Huang 的汉语学名(上海农业科学院食用菌研究所, 1991; 林晓民等, 2005; 张家辉和邓洪平, 2011), 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》第6条规则, 该名称缺少属主名, 而“*Agrocybe*”的汉语属名为“田头菇属”(中国科学院微生物研究所, 1986), 故将该种的汉语学名修订为“茶薪田头菇”。

通过上述处理, 9,302个评估物种均有了唯一的汉语学名, 其中1,268个物种的汉语学名来自《真菌

表1 评估的大型真菌类群统计

Table 1 The statistics of assessed macrofungi groups

| 类群 Groups | 纲 Class | 目 Order | 科 Family | 属 Genus | 种 Species |
|----------------------------|---------|---------|----------|---------|-----------|
| 大型子囊菌 Macro-ascomycetes | 6 | 10 | 33 | 107 | 870 |
| 大型担子菌 Macro-basidiomycetes | 3 | 23 | 106 | 841 | 6,268 |
| 地衣型真菌 Lichenized fungi | 9 | 34 | 93 | 352 | 2,164 |
| 总计 Total* | 14 | 62 | 227 | 1,298 | 9,302 |

* 地衣型真菌在属及以上高阶分类单元分别与大型子囊菌和大型担子菌重合, 所以总计的数量为实际分类单元数, 与表中各类群数量之和不一致。The higher taxa (genus level or higher) of lichenized fungi overlaps with macro-ascomycetes and macro-basidiomycetes respectively, so the Total is the actual number of all taxon, which is inconsistent with the sum of each groups in the table.

名词及名称》，2,174个物种的汉语学名来自 *An Enumeration of Lichenized & Lichenicolous Fungi in China* (Wei, 2018), 3,937个物种的汉语学名选自自己发表的其他文献, 其余2,331个物种没有对应的汉语学名或者汉语学名不符合《真菌、地衣汉语学名命名法规》，对其进行了组合和新拟处理, 一共组合汉语学名1,140个, 新拟属名262个, 新拟种名1,191个, 新拟的汉语学名名单见附录2。新拟汉语学名示例如下:

拉丁种名 *Agaricus velutinus* Pers. 在《真菌名词及名称》和其他文献中均没有相对应的中文名记载, 根据其种加词的拉丁词根“velutinous”意为“被短绒毛的、丝绒状的”, 为其拟定汉语学名“丝绒蘑菇”。

2.4 初评

本次评估依照“中国大型真菌红色名录评估等级与标准”(王科等, 2020)展开, 构建了“初步筛选归类”的模型方法, 用于大型真菌红色名录的初评工作。项目组根据中国菌物名录数据库中各评估物种的地理分布、发表时间、种群变化等信息, 构建了“初步筛选归类”模型的算法和实施流程(图3), 依照流程图对9,302种大型菌物评定了初评等级(表2)。初评结果与最终结果比较发现, 6,524个评估物种的最终结果与初评结果相同, 占到总数的70.14%。而剩余评估等级不一致的2,778个物种中, 发生情况最多的是由无危调整为数据不足(2,628个)。

3 问题及展望

3.1 文献数字化的校对问题

为了保证数字化的电子文档仍与原文档保持一致, 校对是整个过程最为关键的环节, 需要耗费大量的时间和人工。除此之外, 文献数字化过程中的文档扫描、文字识别、信息分类、写入数据库等步骤都可通过操作计算机完成, 只需少量人工辅助工作。根据原始文献的分辨率高低, 文字识别的错误率有所不同, 大约在0.1%–5%之间。以《中国真菌志 第十六卷》(张天宇, 2003)为例, 全书有286页, 共420,000字, 其文字识别错误率在0.5%左右, 对其进行完整的人工校对花费了约7 h, 而除此之外的其他数字化步骤可在2 h内完成。针对这种情况, 或许从两个方面可以提高校对效率。首先, 改进文字识别方法, 提高文字识别软件的正确率(孙华和张航, 2010; 邱立松和黄继风, 2013)。其次, 提高校对效率, 借助数据库技术进行自动或半自动校对, 项目组对于菌物学名、分布地等信息的校对就采取了这种方案。依照菌物学名和地名的标准清单, 借助编程和数据库软件操作对本次数字化并写入数据库的125,556条菌物记录实现了批量比对和订正, 极大地提高了工作效率。

3.2 菌物汉语学名勘误

由于菌物汉语学名整理工作步骤繁琐、耗时较

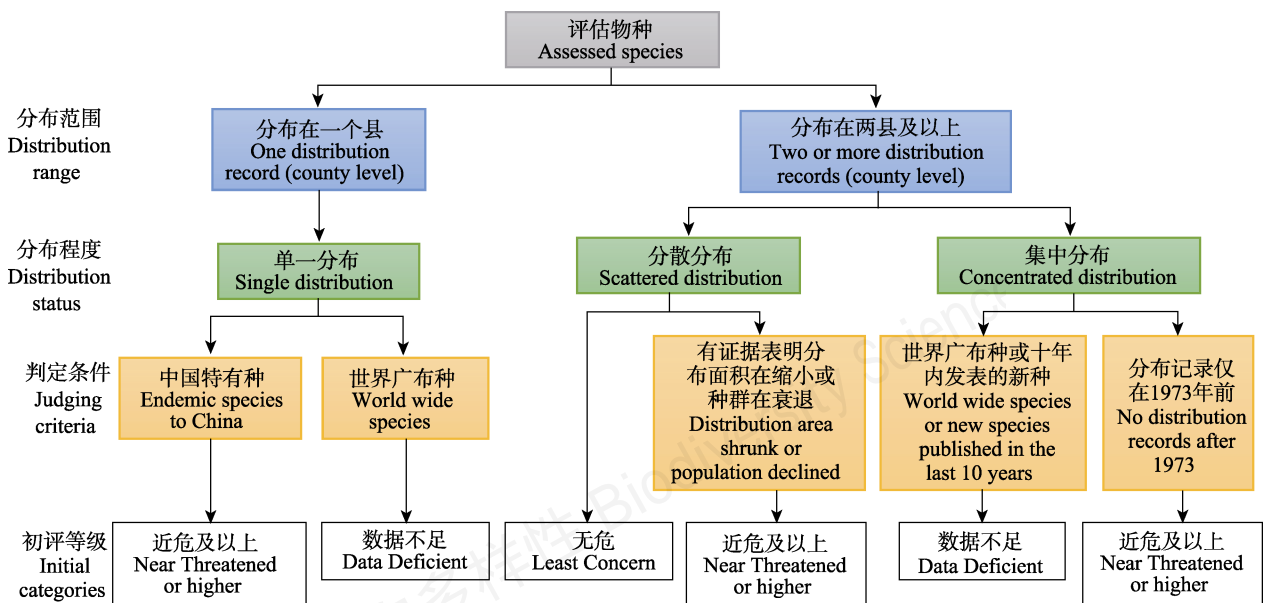


图3 中国大型真菌红色名录初步筛选归类方法流程图

Fig. 3 Flowchart of the preliminary screening methods for the red list assessment of macrofungi in China

表2 中国大型真菌红色名录初评结果与最终结果

Table 2 Preliminary and final results of the red list assessment of macrofungi in China

| 等级 Categories | 初评物种数 Preliminary number of species (%) | 最终物种数 Final number of species (%) |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| 灭绝 Extinct (EX) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| 野外灭绝 Extinct in the Wild (EW) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| 疑似灭绝 Possibly Extinct (PE) | 0 (0.00) | 1 (0.01) |
| 极危 Critically Endangered (CR) | 0 (0.00) | 9 (0.10) |
| 濒危 Endangered (EN) | 14 (0.15) | 25 (0.24) |
| 易危 Vulnerable (VU) | 106 (1.14) | 62 (0.67) |
| 近危 Near Threatened (NT) | 167 (1.80) | 101 (1.09) |
| 无危 Least Concern (LC) | 4,925 (52.95) | 2,764 (29.71) |
| 数据不足 Data Deficient (DD) | 4,090 (43.97) | 6,340 (68.16) |
| 总数 Total | 9,302 (100) | 9,302 (100) |

长, 难免会出现谬误和疏漏。在整理稿件的过程中, 项目组对《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》进行了再次核对和修订, 共订正20处, 改动的名称在附录3中列出。

3.3 初评结果与最终评估结果的对比

利用数据库信息的初评结果与最终结果比较发现(表2), 结果不一致的占到总数的29.86%, 说明初评的模型和算法还有进一步优化的空间。这可能是由多方面的因素造成的:

(1)我国菌物资源信息并不充足, 90%以上的评估物种在数据库中缺乏种群信息和生态情况, 仅仅有分布报道。分布地的数量在一定程度上可以反映一个物种的受威胁情况, 但是对于一些地区性特有种, 了解其在各个分布地的种群情况及栖息地状况才能更好地进行红色名录评级。比如青藏高原特有种冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*), 据报道其国内分布涉及西藏、青海、四川、云南和新疆5个省(自治区)的100多个分布点(Li et al, 2011), 依照图3所示模型, 其评估等级将落在无危, 但是考虑到气候变化、种群数量等诸多因素, 冬虫夏草最终被评定为易危(Yan et al, 2017; 李熠等, 2020b)。

(2)中国大型真菌红色名录等级评估标准中涉及到5个类型的11条判定标准(王科等, 2020), 而此次初评模型只使用了其中的一条(B1: 分布区)作为判定依据。其中的根源仍是评估数据不充足造成的, 大量的物种缺乏分布地之外的评估依据。由于初评的目的是大批量、快速地对评估物种进行分级和归类, 只能基于现有的较为充分的数据来设计模型。若能够积极开展大型真菌物种调查监测、加大对分类学研究的投入, 获取充足的大型真菌物种信息

(李熠等, 2020a), 这一模型方法也会随之得到优化和完善。

(3)此次初评的方法仅考虑了分布地、特有种等有限的因素, 而忽略了不同类型、不同用途的物种, 这些物种的受威胁因素可能有所不同。一些食药菌虽然分布广泛, 但是由于受到人为采挖的影响, 更容易受到威胁。而一些用途不明的物种, 往往在野外无人问津, 虽然分布有限, 但其在各个分布地种群数量相对稳定, 不易受到威胁。

总的来说, 随着评估经验的增加、分类学信息的积累和数据库的进一步完善, 大型真菌红色名录的评估方法会更加完善、准确且快速。

致谢: 在汉语学名新拟过程中, 中国科学院微生物研究所庄文颖院士和庄剑云研究员提出了建设性意见并修订了部分汉语属名, 在此表示衷心感谢!

参考文献

- Chen J, Sun ZG, Zhou SF (2010) Applying image classification using wavelets to digitization of document information. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 5, 185–188. (in Chinese with English abstract) [陈杰, 孙忠贵, 周书锋 (2010) 小波的文本图像区分及其在文献信息数字化中的应用. *智能系统学报*, 5, 185–188.]
- Edible Fungi Research Institute of Shanghai Academy of Agricultural Sciences (1991) *Edible Fungal Flora of China*. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [上海农业科学院食用菌研究所 (1991) 中国食用菌志. 中国林业出版社, 北京.]
- Fang R, Kirk P, Wei JC, Li Y, Cai L, Fan L, Wei TZ, Zhao RL, Wang K, Yang ZL, Li TH, Li Y, Phurbu-Dorji, Yao YJ (2018) Country focus: China. In: *State of the World's Fungi* (ed. Willis KJ), pp. 48–55. Royal Botanic Gardens, Kew.

- Fries EM (1823) *Systema Mycologicum*. Gryphiswald Mauritius, Lund.
- Hawksworth DL, Lucking R (2017) Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum*, 5(4), 79–80.
- Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences (1986) *A Glossary of Terms and Names of Fungi*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院微生物研究所 (1986) 真菌名词及名称. 科学出版社, 北京.]
- Kou QH, Zheng QH (2012) Study of the digitalization technologies of documents and their improving directions analysis. *Microcomputer Information*, 28(5), 109–110, 157. (in Chinese with English abstract) [寇清华, 郑巧红 (2012) 文献数字化技术的特点及其发展趋势分析. 微计算机信息, 28(5), 109–110, 157.]
- Li Y, Liu DM, Wang K, Wu HJ, Cai L, Cai L, Li JS, Yao YJ (2020a) Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures. *Biodiversity Science*, 28, 66–73. (in Chinese with English abstract) [李熠, 刘冬梅, 王科, 吴海军, 蔡蕾, 蔡磊, 李俊生, 姚一建 (2020a) 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策. 生物多样性, 28, 66–73.]
- Li Y, Tang ZY, Yan YJ, Wang K, Cai L, He JS, Gu S, Yao YJ (2020b) Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis*. *Biodiversity Science*, 28, 99–106. (in Chinese with English abstract) [李熠, 唐志尧, 闫昱晶, 王科, 蔡磊, 贺金生, 古松, 姚一建 (2020b) 物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保护中的应用: 以冬虫夏草为例. 生物多样性, 28, 99–106.]
- Li Y, Wang XL, Jiao L, Jiang Y, Li H, Jiang SP, Lhosumtseiring N, Fu SZ, Dong CH, Zhan Y, Yao YJ (2011) A survey of the geographic distribution of *Ophiocordyceps sinensis*. *Journal of Microbiology*, 49, 913–919.
- Lin XM, Li ZQ, Hou J (2005) *The Diversity of Macrofungi in China*. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [林晓民, 李振歧, 侯军 (2005) 中国大型真菌的多样性. 中国农业出版社, 北京.]
- McNeil J, Turland NJ (2011) Major changes to the Code of Nomenclature—Melbourne, July 2011. *Taxon*, 60, 1495–1497.
- Mycological Society of China (1987) *Nomenclature Code of Fungal Chinese Names*. *Acta Mycologica Sinica*, 6, 61–64. (in Chinese) [中国菌物学会 (1987) 真菌、地衣汉语学名命名法规. 真菌学报, 6, 61–64.]
- Qiu LS, Huang JF (2013) Feature extraction and recognition of information in document image. *Computer & Digital Engineering*, 41, 1981–1984. (in Chinese with English abstract) [邱立松, 黄继风 (2013) 文本图像信息的提取与识别. 计算机与数字工程, 41, 1981–1984.]
- Saccardo PA (1898) *Sylloge Fungorum: Omnium Hucusque Cognitorum*. Lipsiae Fratres Borntraeger, New York.
- Sun H, Zhang H (2010) Survey on Chinese character recognition method. *Computer Engineering*, 36(20), 194–197. (in Chinese with English abstract) [孙华, 张航 (2010) 汉字识别方法综述. 计算机工程, 36(20), 194–197.]
- Tai FL (1979) *Sylloge Fungorum Sinicorum*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [戴芳澜 (1979) 中国真菌总汇. 科学出版社, 北京.]
- Teng SC (1963) *Fungi of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [邓叔群 (1963) 中国的真菌. 科学出版社, 北京.]
- Turland NJ, Wiersema JH, Barrie FR, Greuter W, Hawksworth DL, Herendeen PS, Knapp S, Kusber WH, Li DZ, Marhold K, May TW, McNeill J, Monro AM, Prado J, Price MJ, Smith GF (2018) *International Code of Nomenclature for Algae, Fungi, and Plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017*. *Regnum Vegetabile* 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books. <https://doi.org/10.12705/Code.2018>.
- Wang K, Liu DM, Cai L, Wu HJ, Li Y, Wei TZ, Wang YH, Wu HM, Wei XD, Li BB, Li JS, Yao YJ (2020) Methods and procedures of the red list assessment of macrofungi in China. *Biodiversity Science*, 28, 11–19. (in Chinese with English abstract) [王科, 刘冬梅, 蔡蕾, 吴海军, 李熠, 魏铁铮, 王永会, 吴红梅, 卫晓丹, 李斌斌, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估方法和程序. 生物多样性, 28, 11–19.]
- Wei JC (1991) *An Enumeration of Lichens in China*. International Academic Publishers, Beijing.
- Wei JC (2018) *An Enumeration of Lichenized & Lichenicolous Fungi in China*. China Forestry Publishing House, Beijing.
- Yan YJ, Li Y, Wang WJ, He JS, Yang RH, Wu HJ, Wang XL, Jiao L, Tang ZY, Yao YJ (2017) Range shifts in response to climate change of *Ophiocordyceps sinensis*, a fungus endemic to the Tibetan Plateau. *Biological Conservation*, 206, 143–150.
- Yao XH (2011) Practice and exploration of the literature digitalization. *Information Science*, 29, 1838–1840. (in Chinese with English abstract) [姚雪红 (2011) 文献数字化的实践与探索. 情报科学, 29, 1838–1840.]
- Zhang JH, Deng HP (2011) *Primary Color Atlas of Fungi in Jinyun Mountain*. Southwest Normal University Press, Chongqing. (in Chinese) [张家辉, 邓洪平 (2011) 缙云山蕈菌原色图集. 西南师范大学出版社, 重庆.]
- Zhang TY (2003) *Flora Fungorum Sinicorum, Vol. 16, Alternaria*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张天宇 (2003) 中国真菌志 第十六卷 链格孢属. 科学出版社, 北京.]
- Zhao JD, Zhang XQ (2000) *Flora Fungorum Sinicorum, Vol. 18, Ganodermataceae*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [赵继鼎, 张小青 (2000) 中国真菌志 第十八卷 灵芝科. 科学出版社, 北京.]
- Zheng RY, Wei JC, Hu HJ, Yu YN, Wu PC, Xing GX, Liu B (1990) *A Glossary of Terms and Names of Cryptogamia*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑儒永, 魏江春, 胡鸿钧, 余永年, 吴鹏程, 邢公侠, 刘波 (1990) 孢子植物名词及名称. 科学出版社, 北京.]

附录1 《中国真菌志 第十八卷 灵芝科》数字化示例

Appendix 1 Digitized example of *Flora Fungorum Sinicorum* (Vol. 18): *Ganodermataceae*

茶病灵芝 图 41

Ganoderma theaecolum J. D. Zhao, Acta Mycol. Sinica 3 (1): 16, Fig. 2, Pl. 1—2, 1984; Zhao, The Ganodermataceae in China (Chinese edition). p. 93, Fig. 32, 1989.

担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。菌盖半圆形或近扇形, 表面红褐色到紫褐色, 具有很强的似漆样光泽, 有时光泽稍弱, 10—14×6—8cm, 厚 7—15mm; 边缘与菌盖同色或呈淡黄白色, 具不显著的宽同心环沟, 平滑或钝, 下面不孕; 菌肉厚 4—8mm, 分层不明显, 上层淡白褐色, 下层淡褐色到褐色; 菌管长 3—7mm, 淡褐色到褐色; 孔面污白色、淡黄色或黄色; 管口略圆形或近角形, 每毫米 4—5 个。

皮壳构造呈不规则的拟子实层型, 淡黄褐色, 组成菌丝棍棒状, 顶端膨大部分宽 5—7 μm, 长 25—30 μm, 易与菌肉组织分离。

菌丝系统三体型: 生殖菌丝无色透明, 薄壁, 直径 3—4 μm; 骨架菌丝淡黄褐色到浅褐色, 厚壁到实心, 树状分枝, 骨架干直径 4—5 μm, 分枝末端形成鞭毛状无色缠绕菌丝; 缠绕菌丝无色, 厚壁, 分枝, 弯曲, 直径 1—2 μm。

担孢子稀少, 卵圆形或顶端平截, 双层壁, 外壁无色透明, 平滑, 内壁淡黄褐色, 小刺稀少或不清楚, 7—9×5.2—6.2 μm。

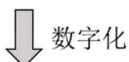
模式产地: 中国 (海南)。

生境: 生茶树根部, 引起茶树红根病。有时生台湾相思树上。

研究标本: 湖北应山 (37909); 海南琼中县 (42788 模式)、临高县 (42785)、海口市 (47540)、尖峰岭 (37881); 广西弄岗 (42786); 云南下关 (48243); 香港 (62560)。

世界分布: 中国。

讨论: 此种的特点是引起茶树红根病。该种担子果无柄, 具有很强的似漆样光泽。菌肉分层, 但层次不清楚。它与 *G. lucidum* 相近似, 但后者担孢子较大, 可达 8.5—11.2 (—12.1) × 5.2—6.9 μm。通常具有较长的菌柄, 并有类灰球菌型的缠绕菌丝。



| 拉丁名 | 命名人 | 中文名 | 俗名 | 国内分布 | 生境 | 寄主 | 用途 | 描述 | 备注 |
|----------------------------|-----------|------|----|-------|------------------|----|----|-------------------------|----------------|
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 湖北应山 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 海南琼中县 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 海南临高县 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 海南海口 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 海南尖峰岭 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 广西弄岗 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 云南下关 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |
| <i>Ganoderma theaecola</i> | J.D. Zhao | 茶病灵芝 | | 香港 | 茶树根部, 有时生于台湾相思树上 | 茶树 | | 担子果一年生, 无柄或具短柄, 木栓质到木质。 | 此种的特点是引起茶树红根病。 |

附录2 《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》中新拟汉语学名名单

Appendix 2 List of new fungal Chinese names in Red List of China's Biodiversity—Macrofungi

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|--------|---|----------|
| <i>Abundisporus mollissimus</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 软多孢孔菌 | <i>Aleurina nigrodisca</i> Sawada | 黑粉盘菌 |
| <i>Acanthobasidium penicillatum</i> (Burt) Sheng H. Wu | 帚状刺担菌 | <i>Aleurodiscus botryosus</i> Burt | 葡萄盘革菌 |
| <i>Acanthofungus rimosus</i> Sheng H. Wu, Boidin & C. Y. Chien | 裂纹刺囊革菌 | <i>Aleurodiscus cremicolor</i> Hjortstam & Ryvar den | 奶油色盘革菌 |
| <i>Agaricus amanitifformis</i> Wasser | 鹅膏状蘑菇 | <i>Aleurodiscus diffissus</i> (Sacc.) Burt | 罕见盘革菌 |
| <i>Agaricus angustus</i> Pers. | 狭蘑菇 | <i>Amanita anisata</i> (Murrill) Murrill | 异形鹅膏 |
| <i>Agaricus bisporatus</i> Contu | 二孢蘑菇 | <i>Amanita australis</i> G. Stev. | 南方鹅膏 |
| <i>Agaricus brunneolus</i> (J. E. Lange) Pilát | 褐蘑菇 | <i>Amanita baccata</i> (Fr.) Gillet | 浆果鹅膏 |
| <i>Agaricus chaetodes</i> Berk. & M. A. Curtis | 毛蘑菇 | <i>Amanita bivolvata</i> Peck | 双托鹅膏 |
| <i>Agaricus cladophyllus</i> Lév. | 枝生蘑菇 | <i>Amanita cheelii</i> P. M. Kirk | 朱氏鹅膏 |
| <i>Agaricus compernis</i> Fr. | 康珀蘑菇 | <i>Amanita cothurnata</i> G. F. Atk. | 具鞘鹅膏 |
| <i>Agaricus cupreobrunneus</i> (Jul. Schäff. & Steer) Pilát | 铜褐蘑菇 | <i>Amanita puella</i> Gonn. & Rabenh. | 美鹅膏 |
| <i>Agaricus dactyliotus</i> Berk. & Mont. | 枝蘑菇 | <i>Amanita spadicea</i> Pers. | 枣褐鹅膏 |
| <i>Agaricus depauperatus</i> (F. H. Møller) Pilát | 萎缩蘑菇 | <i>Amanita verrucosa</i> Lam. | 多疣鹅膏 |
| <i>Agaricus fabaceus</i> Berk. | 蚕豆蘑菇 | <i>Amauroderma insulare</i> (Har. & Pat.) Torrend | 岛乌芝 |
| <i>Agaricus flocculosipes</i> R. L. Zhao, Desjardin, Guinb. & K. D. Hyde | 卷毛蘑菇 | <i>Amauroderma perplexum</i> Corner | 惑乌芝 |
| <i>Agaricus glaucobrunneus</i> Berk. & M. A. Curtis | 绿褐蘑菇 | <i>Amylocorticium cremeoisabellinum</i> (Litsch.) Spirin & Zmitr. | 浅黄小淀粉伏革菌 |
| <i>Agaricus guizhouensis</i> Y. Gui, Zuo Y. Liu & K. D. Hyde | 贵州蘑菇 | <i>Amylocortici um indicum</i> K. S. Thind & S. S. Rattan | 印度淀粉伏革菌 |
| <i>Agaricus hondensis</i> Murrill | 本田蘑菇 | <i>Amylocortici um subincarnatum</i> (Peck) Pouzar | 亚肉质淀粉伏革菌 |
| <i>Agaricus longistipes</i> Y. Gui, Zuo Y. Liu, Callac, L. A. Parra & K. D. Hyde | 长柄蘑菇 | <i>Amylocortici um subsulphureum</i> (P. Karst.) Pouzar | 亚硫色淀粉伏革菌 |
| <i>Agaricus macrosporoides</i> Bohus | 似大孢蘑菇 | <i>Amylospor us rubellus</i> (Y. C. Dai) Y. C. Dai, Jia J. Chen & B. K. Cui | 红粉孢菌 |
| <i>Agaricus megalocarpus</i> Y. Gui, Zuo Y. Liu, Callac, L. A. Parra & K. D. Hyde | 大果蘑菇 | <i>Amylospor us ryvar denii</i> Stalpers | 吕氏孢孢菌 |
| <i>Agaricus minimus</i> (Ricken) Pilát | 迷你蘑菇 | <i>Anellaria ochroleuca</i> Sawada | 黄白斑褶伞 |
| <i>Agaricus ochraceosquamulosus</i> Heinem. | 红褐鳞蘑菇 | <i>Anellaria planiuscula</i> Sawada | 平斑褶伞 |
| <i>Agaricus perturbans</i> E. Ludw. & W. Pohl | 扰乱蘑菇 | <i>Anthraco phyllum lateritium</i> (Berk. & M. A. Curtis) Singer | 砖红炭褶菌 |
| <i>Agaricus phaeolepidotus</i> F. H. Møller | 暗鳞蘑菇 | <i>Antrodia lalashana</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 拉拉山薄孔菌 |
| <i>Agaricus pocillator</i> Murrill | 莲座蘑菇 | <i>Antrodia mappa</i> (Overh. & J. Lowe) Miettinen & Vlasák | 地貌状薄孔菌 |
| <i>Agaricus poigenus</i> Berk. & M. A. Curtis | 早熟禾蘑菇 | <i>Antrodiella nanospora</i> H. S. Yuan | 微孢小薄孔菌 |
| <i>Agaricus pseudopratisensis</i> (Bohus) Wasser | 拟草地蘑菇 | <i>Antrodiella pendulina</i> H. S. Yuan | 下垂小薄孔菌 |
| <i>Agaricus spodophyllus</i> Krombh. | 灰褶蘑菇 | <i>Antrodiella ussurii</i> Y. C. Dai & Niemelä | 乌苏里小薄孔菌 |
| <i>Agaricus velutinus</i> Pers. | 丝绒蘑菇 | <i>Aphanobasidium pseudotsugae</i> (Burt) Boidin & Gilles | 假铁杉丝瑚菌 |
| <i>Agaricus xantholepis</i> F. H. Møller | 黄鳞蘑菇 | <i>Armillaria subcava</i> (Schumach.) Sacc. | 亚空蜜环菌 |
| <i>Agrocybe firma</i> (Peck) Singer | 紧实田头菇 | <i>Arrhenia discorosea</i> (Pilát) Zvyagina, Aleks. & Bulyonk. | 分离健孔菌 |
| <i>Albatrellopsis flettii</i> (Morse ex Pouzar) Audet | 蓝黄拟地花菌 | <i>Arrhenia lobata</i> (Pers.) Kühner & Lamoure ex Redhead | 裂片健孔菌 |
| <i>Albatrellus citrinus</i> Ryman | 橘黄地花菌 | <i>Artomyces cristatus</i> (Kauffman) Jülich | 冠密瑚菌 |
| <i>Albatrellus jianfenglingensis</i> G. Y. Zheng | 尖峰岭地花菌 | <i>Ascobolus scatigenus</i> (Berk. & M. A. Curtis) Brumm. | 寡纹粪盘菌 |
| <i>Aleuria bicucullata</i> Boud. | 双勺网孢盘菌 | <i>Ascocoryne trichophora</i> (A. L. Sm.) Seifert | 产丝胞囊盾菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|---------|--|----------|
| <i>Aspicilia annulata</i> (Lyngé) J. W. Thomson | 环状平茶渍 | <i>Boreostereum sulphuratum</i> (Berk. & Ravenel) G. Y. Zheng & Z. S. Bi | 硫北方韧革菌 |
| <i>Aspicilia anseris</i> (Lyngé) J. W. Thomson | 异形平茶渍 | <i>Bothia castanella</i> (Peck) Halling, T. J. Baroni & Manfr. Binder | 栗色博氏牛肝菌 |
| <i>Aspicilia cupreoglaucula</i> B. de Lesd. | 铜绿平茶渍 | <i>Bothia fujianensis</i> N. K. Zeng & Zhu L. Yang | 福建博氏牛肝菌 |
| <i>Aspicilia lacunosa</i> Mereschk. | 拉康平茶渍 | <i>Bovista bovistoides</i> (Cooke & Masee) S. Ahmad | 近灰球菌 |
| <i>Aspicilia plicigera</i> (Zahlbr.) Räsänen | 褶平茶渍 | <i>Bovista delicata</i> Berk. & M. A. Curtis | 柔美灰球菌 |
| <i>Aspidella zangii</i> (Zhu L. Yang, T. H. Li & X. L. Wu) Vizzini & Contu | 臧氏圆盾伞 | <i>Bovistella utriformis</i> (Bull.) Demoulin & Rebriv | 龟裂静灰球菌 |
| <i>Atheloderma orientale</i> Parmasto | 东方无乳头皮菌 | <i>Brunneocorticium pyriforme</i> Sheng H. Wu | 梨形褐伏革菌 |
| <i>Aureoboletus auriflammeus</i> (Berk. & M. A. Curtis) G. Wu & Zhu L. Yang | 朱红金牛肝菌 | <i>Bryoria implexa</i> (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw. | 非网状小孢发 |
| <i>Aureoboletus duplicatoporus</i> (M. Zang) G. Wu & Zhu L. Yang | 重孔金牛肝菌 | <i>Buchwaldoboletus lignicola</i> (Kallenb.) Pilát | 木生小腐生牛肝菌 |
| <i>Aureoboletus gentilis</i> (Quél.) Pouzar | 氏族金牛肝菌 | <i>Buchwaldoboletus parvulus</i> (Natarajan & Purush.) Both & B. Ortiz | 红管腐生牛肝菌 |
| <i>Aureoboletus longicollis</i> (Ces.) N. K. Zeng & Ming Zhang | 长柄金牛肝菌 | <i>Buchwaldoboletus sphaerocephalus</i> (Barla) Watling & T. H. Li | 球盖腐生牛肝菌 |
| <i>Aureoboletus mirabilis</i> (Murrill) Halling | 绒盖金牛肝菌 | <i>Buellia leptoclinoides</i> (Nyl.) J. Steiner | 类薄黑瘤衣 |
| <i>Aureoboletus shichianus</i> (Teng & L. Ling) G. Wu & Zhu L. Yang | 小金牛肝菌 | <i>Buellia polyspora</i> (Willey) Vain. | 多孢黑瘤衣 |
| <i>Aureoboletus viscidipes</i> (Hongo) G. Wu & Zhu L. Yang | 粘盖金牛肝菌 | <i>Butyriboletus appendiculatus</i> (Schaeff.) D. Arora & J. L. Frank | 缘盖黄肉牛肝菌 |
| <i>Aureoboletus viscosus</i> (C. S. Bi & Loh) G. Wu & Zhu L. Yang | 粘胶金牛肝菌 | <i>Butyriboletus peckii</i> (Frost) Kuan Zhao & Zhu L. Yang | 彼氏黄肉牛肝菌 |
| <i>Austroboletus purpurascens</i> (Heinem.) E. Horak | 变紫褐南牛肝菌 | <i>Byssomerulius albostramineus</i> (Torrend) Hjortstam | 藁白絮干朽菌 |
| <i>Baorangia bicolor</i> (Kuntze) G. Wu, Halling & Zhu L. Yang | 双色薄瓢牛肝菌 | <i>Cabalodontia cretacea</i> (Romell ex Bourdot & Galzin) Piątek | 白垩近射脉菌 |
| <i>Bogbodia uda</i> (Pers.) Redhead | 沼泽棕菇 | <i>Caloboletus calopus</i> (Pers.) Vizzini | 丽柄美牛肝菌 |
| <i>Boidinia aculeata</i> (Sheng H. Wu) E. Larss. & K. H. Larss. | 刺博氏菇 | <i>Caloboletus firmus</i> (Frost) Vizzini | 坚实美牛肝菌 |
| <i>Boidinia borbonica</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 波尔本博氏菇 | <i>Caloboletus inedulis</i> (Murrill) Vizzini | 非美味美牛肝菌 |
| <i>Boidinia cana</i> Sheng H. Wu | 灰博氏菇 | <i>Calocera bambusicola</i> Sheng H. Wu | 竹生胶角耳 |
| <i>Boidinia granulata</i> Sheng H. Wu | 颗粒博氏菇 | <i>Caloplaca albovariegata</i> (B. de Lesd.) Wetmore | 白斑橙衣 |
| <i>Boidinia lacticolor</i> (Bres.) Hjortstam & Ryvarde | 乳白博氏菇 | <i>Calostoma berkeleyi</i> Masee | 伯克利丽口包 |
| <i>Boidinia luteola</i> Sheng H. Wu | 淡黄博氏菇 | <i>Calvatia flava</i> (Masee) Kreisel | 黄秃马勃 |
| <i>Boidinia macrospora</i> Sheng H. Wu | 大孢博氏菇 | <i>Calvatia lepidophora</i> (Ellis & Everh.) Coker & Couch | 鳞秃马勃 |
| <i>Boidinia propinqua</i> (H. S. Jacks. & Dearden) Hjortstam & Ryvarde | 邻博氏菇 | <i>Candelabrochaete africana</i> Boidin | 非洲叠生星毛革菌 |
| <i>Bolbitius coprophilus</i> (Peck) Hongo | 粪生粪伞 | <i>Candelabrochaete cirrata</i> Hjortstam & Ryvarde | 卷叠生星毛革菌 |
| <i>Bolbitius reticulatus</i> (Pers.) Ricken | 网纹粪伞 | <i>Candelabrochaete verruculosa</i> Hjortstam | 疣叠生星毛革菌 |
| <i>Boletinellus exiguus</i> (Singer & Digilio) Watling | 短小褶孔牛肝菌 | <i>Cantharellus amethysteus</i> (Quél.) Sacc. | 紫晶鸡油菌 |
| <i>Boletus dictyocephalus</i> Peck | 网顶牛肝菌 | <i>Cantharellus appalachiensis</i> R. H. Petersen | 阿巴拉契亚鸡油菌 |
| <i>Boletus hypohaemeticus</i> Singer | 红底牛肝菌 | <i>Cantharellus candidus</i> Peck | 雪白鸡油菌 |
| <i>Boletus lewisii</i> (Singer ex Both) Bessette, Roody & A. R. Bessette | 路易斯牛肝菌 | <i>Cantharellus subcibarius</i> Corner | 亚鸡油菌 |
| <i>Boletus meiweiniuganjan</i> Dentinger | 中国美味牛肝菌 | <i>Cellypha goldbachii</i> (Weinm.) Donk | 哥氏假挂钟菌 |
| <i>Boletus tomentososquamulosus</i> Lj. N. Vassiljeva | 毛鳞牛肝菌 | <i>Cericium luteoincrustatum</i> (Hjortstam & Ryvarde) Hjortstam | 硬壳黄囊革菌 |
| <i>Bondarevomyces taxi</i> (Bondartsev) Parmasto | 紫杉邦氏菌 | <i>Cerioporus chosenaiae</i> (Vassilkov) Zmitr. & Kovalenko | 钻天柳蜡孔菌 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|---|--------|
| <i>Ceriporia davidii</i> (D. A. Reid) M. Pieri & B. Rivoire | 大卫蜡卧孔菌 | <i>Clitocybula lignicola</i> (Lj. N. Vassiljeva) E. F. Malysheva & O. V. Morozova | 木生小杯伞 |
| <i>Ceriporia jiangxiensis</i> B. S. Jia & B. K. Cui | 江西蜡卧孔菌 | <i>Collybia cirrhata</i> (Schumach.) Quél. | 卷金钱菌 |
| <i>Ceriporiopsis lavendula</i> B. K. Cui | 薰衣草拟蜡孔菌 | <i>Collybia velutinopunctata</i> Lj. N. Vassiljeva | 丝绒金钱菌 |
| <i>Cerocorticium molle</i> (Berk. & M. A. Curtis) Jülich | 莫尔蜡伏革菌 | <i>Coltricia spina</i> Y. C. Dai | 刺集毛菌 |
| <i>Cerrena aurantiopora</i> J. S. Lee & Y. W. Lim | 金黄孢下皮黑孔菌 | <i>Conferticium ochraceum</i> (Fr.) Hallenb. | 赭黄集革菌 |
| <i>Chaenothecopsis hunanensis</i> Rikkinen & Tuovila | 湖南类口果粉衣 | <i>Coniophora fusispora</i> (Cooke & Ellis) Cooke | 梭孢粉孢革菌 |
| <i>Chaenothecopsis khayensis</i> Rikkinen & Tuovila | 非洲楝类口果粉衣 | <i>Conocybe aberrans</i> (Kühner) Kühner | 畸锥盖伞 |
| <i>Chaenothecopsis perforata</i> Rikkinen & Tuovila | 穿孔类口果粉衣 | <i>Conocybe brunnea</i> J. E. Lange & Kühner ex Watling | 褐锥盖伞 |
| <i>Chaenothecopsis resinophila</i> Rikkinen & Tuovila | 胶类口果粉衣 | <i>Conocybe cyanopus</i> (G. F. Atk.) Kühner | 暗蓝锥盖伞 |
| <i>Cheilymenia vitellina</i> (Pers.) Dennis | 蛋黄缘刺盘菌 | <i>Conocybe fibrillosipes</i> Watling | 纤丝锥盖伞 |
| <i>Chlorophyllum alborubescens</i> (Hongo) Vellinga | 变红青褶伞 | <i>Conocybe filaris</i> (Fr.) Kühner | 线锥盖伞 |
| <i>Chlorophyllum sphaerosporum</i> Z. W. Ge & Zhu L. Yang | 球孢青褶伞 | <i>Conocybe incarnata</i> (Jul. Schäff.) Hauskn. & Arnolds | 肉色锥盖伞 |
| <i>Chromosera cyanophylla</i> (Fr.) Redhead, Ammirati & Norvell | 蓝紫褶菇 | <i>Conocybe mesospora</i> Kühner ex Watling | 中孢锥盖伞 |
| <i>Chroogomphus sibiricus</i> (Singer) O. K. Mill. | 西伯利亚色钉菇 | <i>Conocybe mutabilis</i> Watling | 多变锥盖伞 |
| <i>Cladonia luteoalba</i> A. Wilson & Wheldon | 黄白石蕊 | <i>Conocybe pilosella</i> (Pers.) Kühner | 绒毛锥盖伞 |
| <i>Cladonia magyarica</i> Vain. ex Gyeln. | 鳞杯石蕊 | <i>Conocybe rickeniana</i> P. D. Orton | 里肯锥盖伞 |
| <i>Cladonia melanocaulis</i> S. Stenroos | 黑柄石蕊 | <i>Conocybe semiglobata</i> Kühner & Watling | 半圆锥盖伞 |
| <i>Clavaria flavipes</i> Pers. | 黄珊瑚菌 | <i>Conocybe siemophylla</i> (Berk. & Broome) Singer ex Chiari & Papetti | 赭叶锥盖伞 |
| <i>Clavaria gelatinosa</i> Coker | 胶质珊瑚菌 | <i>Conocybe utiformis</i> P. D. Orton | 龟裂锥盖伞 |
| <i>Clavaria paludicola</i> Lib. | 沼生珊瑚菌 | <i>Coprinellus flocculosus</i> (DC.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson | 卷毛小鬼伞 |
| <i>Clavaria rubicundula</i> Leathers | 深红珊瑚菌 | <i>Coprinellus heptemerus</i> (M. Lange & A. H. Sm.) Vilgalys, Hopple & Jacq. Johnson | 无锁小鬼伞 |
| <i>Clavaria spiculospora</i> G. F. Atk. | 尖孢珊瑚菌 | <i>Coprinellus marculentus</i> (Britzelm.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 灰糠小鬼伞 |
| <i>Clavariadelphus americanus</i> (Corner) Methven | 美洲棒瑚菌 | <i>Coprinopsis alopecia</i> (Lasch) La Chiusa & Boffelli | 秃拟鬼伞 |
| <i>Clavicorona taxophila</i> (Thom) Doty | 紫衫冠瑚菌 | <i>Coprinopsis jonesii</i> (Peck) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 琼斯拟鬼伞 |
| <i>Clavulicium macoumii</i> (Burt) J. Erikss. & Boidin ex Parmasto | 梅孔似锁瑚菌 | <i>Coprinopsis lagopides</i> (P. Karst.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 白毛拟鬼伞 |
| <i>Clavulina castaneipes</i> (G. F. Atk.) Corner | 栗色锁瑚菌 | <i>Coprinopsis melanthina</i> (Fr.) Örstadius & E. Larss. | 黑拟鬼伞 |
| <i>Clavulinopsis laeticolor</i> (Berk. & M. A. Curtis) R. H. Petersen | 悦色拟锁瑚菌 | <i>Coprinopsis narcotica</i> (Batsch) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 麻醉拟鬼伞 |
| <i>Clavulinopsis umbrinella</i> (Sacc.) Corner | 赭色拟锁瑚菌 | <i>Coprinopsis neolagopus</i> (Hongo & Sagara) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 新白绒拟鬼伞 |
| <i>Clitocella fallax</i> (Quél.) Kluting, T. J. Baroni & Bergemann | 假灰红褶菌 | <i>Coprinopsis novorugosobispora</i> Fukiharu & Yamakoshi | 双孢拟鬼伞 |
| <i>Clitocybe fasciculata</i> H. E. Bigelow & A. H. Sm. | 簇生杯伞 | <i>Coprinopsis stercorea</i> (Fr.) Redhead, Vilgalys & Moncalvo | 粪生拟鬼伞 |
| <i>Clitocybe fuscusquamula</i> J. E. Lange | 暗鳞杯伞 | <i>Coprinus ornatus</i> Copel. | 纹饰鬼伞 |
| <i>Clitocybe hydrogramma</i> (Bull.) P. Kumm. | 湿纹杯伞 | <i>Coprinus squamosus</i> Morgan | 鳞鬼伞 |
| <i>Clitocybe strigosa</i> Harmaja | 硬毛杯伞 | <i>Cordyceps coccinea</i> Penz. & Sacc. | 绯红虫草 |
| <i>Clitocybe subalutacea</i> (Batsch) P. Kumm. | 亚淡黄杯伞 | <i>Cordyceps deflectens</i> Penz. & Sacc. | 弯曲虫草 |
| <i>Clitocybe subinvoluta</i> (Batsch) Sacc. | 亚内卷杯伞 | <i>Cordyceps flavobrunnescens</i> Henn. | 棕黄虫草 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|--|---------|--|----------|
| <i>Cordyceps lacroixii</i> Har. & Pat. | 拉克虫草 | <i>Cortinarius sphaerospermus</i> Kauffman | 球子丝膜菌 |
| <i>Cordyceps scottianus</i> Olliff | 斯科特虫草 | <i>Cortinarius splendens</i> Rob. Henry | 光泽丝膜菌 |
| <i>Cordyceps variegata</i> Moureau | 彩斑虫草 | <i>Cortinarius sublatisporus</i> Svrček | 亚宽孢丝膜菌 |
| <i>Coronicium proximum</i> (H. S. Jacks.) Jülich | 近轴冕瑚菌 | <i>Cortinarius triumphans</i> Fr. | 凯旋丝膜菌 |
| <i>Corticium rubrocanum</i> Thüm. | 红伏革菌 | <i>Cortinarius umbrinolens</i> P. D. Orton | 茶褐丝膜菌 |
| <i>Cortinarius alnetorum</i> (Velen.) M. M. Moser | 赤杨丝膜菌 | <i>Cortinarius urbicus</i> (Fr.) Fr. | 城市丝膜菌 |
| <i>Cortinarius alneus</i> M. M. Moser | 桤木丝膜菌 | <i>Cortinarius violaceo-olivaceus</i> M. M. Moser | 紫绿丝膜菌 |
| <i>Cortinarius argenteopileatus</i> Nezdobjm. | 银盖丝膜菌 | <i>Cortinarius xantho-ochraceus</i> P. D. Orton | 黄橄榄色丝膜菌 |
| <i>Cortinarius balaustinus</i> Fr. | 石榴丝膜菌 | <i>Cotylidia pannosa</i> (Sowerby) D. A. Reid | 毡状杯革菌 |
| <i>Cortinarius betulinus</i> J. Favre | 桦生丝膜菌 | <i>Cotylidia undulata</i> (Fr.) P. Karst. | 波状杯革菌 |
| <i>Cortinarius boudieri</i> Rob. Henry | 布迪耶丝膜菌 | <i>Craterellus floccosus</i> Boud. | 卷毛喇叭菌 |
| <i>Cortinarius candellaris</i> Fr. | 烛丝膜菌 | <i>Craterellus minimus</i> Saut. | 微喇叭菌 |
| <i>Cortinarius cereifolius</i> (M. M. Moser) M. M. Moser | 蜡叶丝膜菌 | <i>Crepidotus carpaticus</i> Pilát | 喀尔巴阡靴耳 |
| <i>Cortinarius colus</i> Fr. | 共同丝膜菌 | <i>Crepidotus caspari</i> Velen. | 卡斯珀靴耳 |
| <i>Cortinarius crassifolius</i> (Velen.) Kühner & Romagn. ex Bon | 厚丝膜菌 | <i>Crepidotus citrinus</i> Petch | 柠檬黄靴耳 |
| <i>Cortinarius croceus</i> (Schaeff.) Gray | 杏黄丝膜菌 | <i>Crepidotus croceotinctus</i> Peck | 杏黄靴耳 |
| <i>Cortinarius crystallinus</i> Fr. | 晶体丝膜菌 | <i>Crepidotus latifolius</i> Peck | 广叶靴耳 |
| <i>Cortinarius cyanites</i> Fr. | 暗蓝丝膜菌 | <i>Crepidotus stipitatus</i> Kauffman | 柄靴耳 |
| <i>Cortinarius decoratus</i> Bataille | 纹饰丝膜菌 | <i>Crinipellis iopus</i> Singer | 紫罗兰毛皮伞 |
| <i>Cortinarius dilutus</i> (Pers.) Fr. | 淡色丝膜菌 | <i>Crinipellis piceae</i> Singer | 云杉毛皮伞 |
| <i>Cortinarius elegantissimus</i> Rob. Henry | 美丽丝膜菌 | <i>Crinipellis setipes</i> (Peck) Singer | 刚毛毛皮伞 |
| <i>Cortinarius erythrinus</i> (Fr.) Fr. | 红丝膜菌 | <i>Crocinoletus rufoaureus</i> (Masse) N. K. Zeng, Zhu L. Yang & G. Wu | 金红橙牛肝菌 |
| <i>Cortinarius fasciatus</i> Fr. | 簇生丝膜菌 | <i>Crucispora sinensis</i> | 中国十字孢伞 |
| <i>Cortinarius flexipes</i> (Pers.) Fr. | 弯柄丝膜菌 | <i>Crustoderma dryinum</i> (Berk. & M. A. Curtis) Parmasto | 栎壳皮革菌 |
| <i>Cortinarius glaucopus</i> (Schaeff.) Gray | 蓝绿丝膜菌 | <i>Crustomyces expallens</i> (Bres.) Hjortstam | 苍白壳革菌 |
| <i>Cortinarius helvolus</i> (Bull.) Fr. | 赭黄丝膜菌 | <i>Cudonia convoluta</i> Yasuda | 卷地锤菌 |
| <i>Cortinarius illibatus</i> Fr. | 狭丝膜菌 | <i>Cunninghammyces umbonatus</i> (G. Cunn.) Stalpers | 脐突坎氏菌 |
| <i>Cortinarius incisus</i> (Pers.) Fr. | 锐裂丝膜菌 | <i>Cyathia rufipes</i> (Ellis & Everh.) V. S. White | 隆纹间型黑蛋巢菌 |
| <i>Cortinarius livor</i> Fr. | 肝色丝膜菌 | <i>Cyclocybe parasitica</i> (G. Stev.) Vizzini | 寄生环伞 |
| <i>Cortinarius ochroleucus</i> (Schaeff.) Fr. | 淡赭丝膜菌 | <i>Cycloderma indicum</i> Klotzsch | 印度环皮包 |
| <i>Cortinarius olympianus</i> A. H. Sm. | 奥林匹亚丝膜菌 | <i>Cystidiodontia isabellina</i> (Berk. & Broome) Hjortstam & Ryvarde | 古铜囊齿革菌 |
| <i>Cortinarius polymorphus</i> Rob. Henry | 复型丝膜菌 | <i>Cystidiodontia laminifera</i> (Berk. & M. A. Curtis) Hjortstam | 薄囊齿革菌 |
| <i>Cortinarius porphyropus</i> (Alb. & Schwein.) Fr. | 岩红柄丝膜菌 | <i>Cystodermella australis</i> (A. H. Sm. & Singer) Vizzini | 南方小囊皮菌 |
| <i>Cortinarius pseudovariicolor</i> Damblon & Lambinon | 假变色丝膜菌 | <i>Cystodermella japonica</i> (Thoen & Hongo) Harmaja | 日本小囊皮菌 |
| <i>Cortinarius rickenianus</i> Maire | 里肯丝膜菌 | <i>Cystodermella terryi</i> (Berk. & Broome) Bellù | 特里小囊皮菌 |
| <i>Cortinarius rigens</i> (Pers.) Fr. | 刚丝膜菌 | <i>Cystolepiota adulterina</i> (F. H. Møller) Bon | 小鳞囊小伞 |
| <i>Cortinarius rubellus</i> Cooke | 微红丝膜菌 | <i>Cystolepiota eriophora</i> (Peck) Knudsen | 刺囊小伞 |
| <i>Cortinarius rubricosus</i> (Fr.) Fr. | 红肉丝膜菌 | <i>Cystolepiota hetieri</i> (Boud.) Singer | 哈氏囊小伞 |
| <i>Cortinarius russeus</i> Rob. Henry | 锈红丝膜菌 | <i>Cystolepiota hetieriana</i> (Locq.) Bresinsky & H. Haas | 类哈氏囊小伞 |
| <i>Cortinarius saturninus</i> (Fr.) Fr. | 土星丝膜菌 | <i>Cystolepiota moelleri</i> Knudsen | 穆勒囊小伞 |
| <i>Cortinarius scaurus</i> (Fr.) Fr. | 翘鳞丝膜菌 | <i>Cystolepiota squamulosa</i> (T. Bau & Yu Li) Zhu L. Yang | 红鳞囊小伞 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|--|---------|
| <i>Dacryobolus phalloides</i> Manjón, Hjortstam & G. Moreno | 鬼笔状耳壳菌 | <i>Echinoderma pseudoasperulum</i> (Knudsen) Bon | 假褐鳞环柄菇 |
| <i>Dacryobolus sudans</i> (Alb. & Schwein.) Fr. | 苏丹耳壳菌 | <i>Efibula ginnsii</i> (Sheng H. Wu) Zmitr. & Spirin | 吉恩无锁革菌 |
| <i>Dacryopinax fissus</i> G. W. Martin | 裂纹假花耳 | <i>Efibula lutea</i> Sheng H. Wu | 土黄无锁革菌 |
| <i>Daldinia caldariorum</i> Henn. | 狭球层炭壳 | <i>Efibula subodontoidea</i> (Sheng H. Wu) Zmitr. & Spirin | 亚齿状无锁革菌 |
| <i>Daldinia carpinicola</i> Lar. N. Vassiljeva & M. Stadler | 鹅耳枥层炭壳 | <i>Efibulobasidium albescens</i> (Sacc. & Malbr.) K. Wells | 白无锁担耳 |
| <i>Daldinia gelatinoides</i> Lar. N. Vassiljeva | 胶质层炭壳 | <i>Eichleriella shearii</i> (Burt) Spirin & Malysheva | 席氏盘革耳 |
| <i>Datronia decipiens</i> (Bres.) Ryvar den | 迷惑异薄孔菌 | <i>Entoloma aeruginosum</i> Hiroë | 铜绿粉褶草 |
| <i>Datronia glabra</i> Ryvar den | 光异薄孔菌 | <i>Entoloma araneosum</i> (Quél.) M. M. Moser | 蛛丝粉褶草 |
| <i>Datronia perstrata</i> (Corner) T. Hatt. & Sotome | 俯卧异薄孔菌 | <i>Entoloma concavosericeum</i> Corner & E. Horak | 绢状凹陷粉褶草 |
| <i>Datronia sepiicolor</i> (Corner) T. Hatt. & Sotome | 淡黑异薄孔菌 | <i>Entoloma corvinum</i> (Kühner) Noordel. | 乌黑粉褶草 |
| <i>Deconica phillipsii</i> (Berk. & Broome) Noordel. | 菲氏黄囊菇 | <i>Entoloma decolorans</i> E. Horak | 脱色粉褶草 |
| <i>Deconica phyllogena</i> (Sacc.) Noordel. | 叶生黄囊菇 | <i>Entoloma dinghuense</i> T. H. Li & Chuan H. Li | 鼎湖粉褶草 |
| <i>Deflexula ulmi</i> (Peck) Corner | 榆龙爪菌 | <i>Entoloma dysthales</i> (Peck) Sacc. | 铁刀粉褶草 |
| <i>Dendrocorticium polygonioides</i> (P. Karst.) M. J. Larsen & Gilb. | 多角树状革菌 | <i>Entoloma flavidum</i> (Masse) Corner & E. Horak | 黄粉褶草 |
| <i>Dendrothele alliacea</i> (Quél.) P. A. Lemke | 洋葱味树状皮革菌 | <i>Entoloma gasteromycetoides</i> Co-David & Noordel. | 腹粉褶草 |
| <i>Dendrothele commixta</i> (Höhn. & Litsch.) J. Erikss. & Ryvar den | 混合树状皮革菌 | <i>Entoloma gnaphalodes</i> (Berk. & Broome) E. Horak | 鼠曲草粉褶草 |
| <i>Dentipellicula leptodon</i> (Mont.) Y. C. Dai & L. W. Zhou | 薄膜齿菌 | <i>Entoloma griseocyanum</i> (Fr.) P. Kumm. | 灰蓝粉褶草 |
| <i>Dentocorticium ussuricum</i> (Parmasto) M. J. Larsen & Gilb. | 乌苏里齿伏革菌 | <i>Entoloma hesleri</i> Morgan-Jones | 赫氏粉褶草 |
| <i>Dermea acerina</i> (Peck) Rehm | 槭生皮盘菌 | <i>Entoloma infuscatum</i> Hesler | 带褐粉褶草 |
| <i>Dermea ariae</i> (Pers.) Tul. & C. Tul. ex P. Karst. | 阿里皮盘菌 | <i>Entoloma jubatum</i> (Fr.) P. Karst. | 鬃粉褶草 |
| <i>Descolea alba</i> (Klotzsch) Kuhar, Nouhra & M. E. Sm. | 白圆头伞 | <i>Entoloma juncinum</i> (Kühner & Romagn.) Noordel. | 接合粉褶草 |
| <i>Descolea macrospora</i> (G. Cunn.) Kuhar, Nouhra & M. E. Sm. | 大孢圆头伞 | <i>Entoloma kauffmanii</i> Malloch | 考夫曼粉褶草 |
| <i>Descolea pretiosa</i> E. Horak | 普雷蒂圆头伞 | <i>Entoloma leptoniisporum</i> (Richon) J. M. Vidal & P.-A. Moreau | 薄孢粉褶草 |
| <i>Deviodontia pilaecystidiata</i> (S. Lundell) Hjortstam & Ryvar den | 细囊弯齿革菌 | <i>Entoloma longistriatum</i> (Peck) Noordel. | 长条纹粉褶草 |
| <i>Dextrinodontia molliuscula</i> Hjortstam & Ryvar den | 软糊精齿菌 | <i>Entoloma mammulatum</i> Hesler | 凸粉褶草 |
| <i>Dichomitus sinuolatus</i> H. S. Yuan | 波状叉丝孔菌 | <i>Entoloma mastoideum</i> T. H. Li & Xiao L. He | 乳头状粉褶草 |
| <i>Dichostereum boreale</i> (Pouzar) Ginns & M. N. L. Lefebvre | 北方双叉韧革菌 | <i>Entoloma neglectum</i> (Lasch) Arnolds | 疏忽粉褶草 |
| <i>Dictyonema irrigatum</i> (Berk. & M. A. Curtis) Lücking | 灌溉云片衣 | <i>Entoloma nigrosquamosum</i> Hesler | 黑鳞粉褶草 |
| <i>Dictyophora speciosa</i> Meyen | 美竹荪 | <i>Entoloma parasiticum</i> (Quél.) Kreisel | 寄生粉褶草 |
| <i>Discina ancilis</i> (Pers.) Sacc. | 平盘菌 | <i>Entoloma parkensis</i> (Fr.) Noordel. | 公园粉褶草 |
| <i>Discina caroliniana</i> (Bosc) Eckblad | 肉色平盘菌 | <i>Entoloma proprium</i> E. Horak | 固有粉褶草 |
| <i>Ditiola abieticola</i> D. A. Reid | 冷杉韧钉耳 | <i>Entoloma rusticoides</i> (Gillet) Noordel. | 锈红粉褶草 |
| <i>Duportella kuehneroides</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 类克氏硬孔革菌 | <i>Entoloma sphagnorum</i> (Romagn. & J. Favre) Bon & Courtec. | 泥炭藓粉褶草 |
| <i>Duportella miranda</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 黄纱硬孔革菌 | <i>Entoloma strigosissimum</i> (Rea) Noordel. | 硬毛粉褶草 |
| <i>Duportella tristiculoides</i> Sheng H. Wu & Z. C. Chen | 类毛硬孔革菌 | <i>Epithele macarangae</i> Boidin & Lanq. | 瘦弱上皮孔菌 |
| <i>Echinoderma carinii</i> (Bres.) Bon | 棕色鳞环柄菇 | <i>Epithele nikau</i> G. Cunn. | 尼考上皮孔菌 |
| <i>Echinoderma echinaceum</i> (J. E. Lange) Bon | 刺鳞环柄菇 | <i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach. | 普氏扁枝衣 |
| <i>Echinoderma jacobi</i> (Vellinga & Knudsen) Gminder | 锥鳞环柄菇 | <i>Exidiopsis alliciens</i> (Berk. & Cooke) K. Wells | 毛缘光滑拟黑耳 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|--|----------|
| <i>Exidiopsis galzinii</i> (Bres.) Killerm. | 蜡拟黑耳 | <i>Geastrum quadrifidum</i> DC. ex Pers. | 四裂地星 |
| <i>Exidiopsis pallida</i> K. Wells & Raitv. | 苍白拟黑耳 | <i>Geopora tenuis</i> (Fuckel) T. Schumach. | 薄地孔菌 |
| <i>Fibricium rude</i> (P. Karst.) Jülich | 皱索革菌 | <i>Gerronema reclinis</i> (Fr.) Clémençon | 拱垂老伞 |
| <i>Fistulinella nana</i> (Masse) E. Horak | 微小牛排菌 | <i>Globulicium hiemale</i> (Laurila) Hjortstam | 冬生珊瑚菌 |
| <i>Flammula picea</i> Velen. | 云杉火菇 | <i>Gloeocystidiellum aspellum</i> Hjortstam | 阿地胶囊伏革菌 |
| <i>Flammulaster ferrugineus</i> Maire ex Watling | 锈色暗皮伞 | <i>Gloeocystidiellum compactum</i> Sheng H. Wu | 致密胶囊伏革菌 |
| <i>Flammulaster muricatus</i> (Fr.) Watling | 粗糙暗皮伞 | <i>Gloeocystidiellum convolvens</i> (P. Karst.) Donk | 共托胶囊伏革菌 |
| <i>Flammulaster siparius</i> (Fr.) Watling | 锈褐暗皮伞 | <i>Gloeocystidiellum formosanum</i> Sheng H. Wu | 台湾胶囊伏革菌 |
| <i>Flammulaster wieslandri</i> (Fr.) M. M. Moser | 韦氏暗皮伞 | <i>Gloeocystidiellum heimii</i> Boidin | 黑姆胶囊伏革菌 |
| <i>Flaviporus hydrophilus</i> (Berk. & M. A. Curtis) Ginns | 喜湿黄孔菌 | <i>Gloeocystidiellum laxum</i> Sheng H. Wu | 松胶囊伏革菌 |
| <i>Flaviporus stramineus</i> (Bres.) Ginns | 麦黄黄孔菌 | <i>Gloeocystidiellum moniliforme</i> Sheng H. Wu | 念珠胶囊伏革菌 |
| <i>Fomes fasciatus</i> (Sw.) Cooke | 簇生层孔菌 | <i>Gloeocystidiellum purpureum</i> Sheng H. Wu | 紫胶囊伏革菌 |
| <i>Fomes nigrolaccatus</i> (Cooke) Sacc. | 黑漆层孔菌 | <i>Gloeocystidiellum tabacinum</i> Sheng H. Wu | 烟草色胶囊伏革菌 |
| <i>Fomitella supina</i> (Sw.) Murrill | 仰卧小层孔菌 | <i>Gloeodontia subasperispora</i> (Litsch.) E. Larss. & K. H. Larss. | 糙孢粘齿菌 |
| <i>Fomitiporella caviphila</i> L. W. Zhou | 空小层卧孔菌 | <i>Gloeohyphnicium analogum</i> (Bourdote & Galzin) Hjortstam | 相似粘纹菌 |
| <i>Fomitiporia pentaphylacis</i> L. W. Zhou | 五角层卧孔菌 | <i>Gloeomyces ginnsii</i> Sheng H. Wu | 吉恩粘革菌 |
| <i>Fomitiporia tenuitubus</i> L. W. Zhou | 薄管层卧孔菌 | <i>Gloeomyces graminicola</i> Sheng H. Wu | 禾生粘革菌 |
| <i>Fomitopsis persoonii</i> (Fr.) Imaz. | 珀松拟层孔菌 | <i>Gloeomyces moniliformis</i> (N. Maek.) Sheng H. Wu | 念珠粘革菌 |
| <i>Frantisekia abieticola</i> H. S. Yuan | 冷杉弗兰孔菌 | <i>Gloiothele citrina</i> (Pers.) Ginns & G. W. Freeman | 柠檬黄黏革菌 |
| <i>Fulvifomes membranaceus</i> (J. E. Wright & Blumenf.) Baltazar & Gibertoni | 膜黄褐层孔菌 | <i>Gloiothele citrinoidea</i> Sheng H. Wu | 近柠檬黄黏革菌 |
| <i>Fuscoporia longisetulosa</i> (Bondartseva & S. Herrera) Bondartseva & S. Herrera | 长刺褐孔菌 | <i>Gloiothele globosa</i> Sheng H. Wu | 球黏革菌 |
| <i>Galera campanulata</i> Masse | 钟形帽伞 | <i>Grammothelopsis subtropica</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 亚热带拟线齿菌 |
| <i>Galerella plicatella</i> (Peck) Singer | 褶皱小帽伞 | <i>Grandinia muscicola</i> (Pers.) Bres. ex Bourdot & Galzin | 苔生格兰齿菌 |
| <i>Galerina atkinsoniana</i> A. H. Sm. | 爱其逊盔孢伞 | <i>Guepinia buccina</i> Sacc. | 贝状桂花耳 |
| <i>Galerina badipes</i> (Pers.) Kühner | 褐盔孢伞 | <i>Guepiniopsis alpina</i> (Earle) Brasf. | 高山胶盘耳 |
| <i>Galerina cerina</i> A. H. Sm. & Singer | 蜡黄盔孢伞 | <i>Guepiniopsis estonica</i> (Raitv.) M. Dueñas | 爱沙尼亚胶盘耳 |
| <i>Galerina evelata</i> (Singer) A. H. Sm. & Singer | 无菌幕盔孢伞 | <i>Gymnopilus hybridus</i> (Gillet) Maire | 杂裸伞 |
| <i>Galerina salicicola</i> P. D. Orton | 柳盔孢伞 | <i>Gymnopilus castaneus</i> M. Villarreal, Heykoop & Esteve-Rav. | 栗色裸柄伞 |
| <i>Galerina sphagnorum</i> (Pers.) Kühner | 泥炭藓盔孢伞 | <i>Gymnopilus fuscotramus</i> Mešić, Tkalčec & Chun Y. Deng | 暗裸柄伞 |
| <i>Galerina stylifera</i> (G. F. Atk.) A. H. Sm. & Singer | 柱盔孢伞 | <i>Gymnopilus impudicus</i> (Fr.) Antonín, Halling & Noordel. | 厌裸柄伞 |
| <i>Galerina triscopa</i> (Fr.) Kühner | 三域盔孢伞 | <i>Gyrophanopsis polonensis</i> (Bres.) Stalpers & P. K. Buchanan | 波兰拟圆柱菌 |
| <i>Galerina uncialis</i> (Britzelm.) Kühner | 钩形盔孢伞 | <i>Hebeloma album</i> Peck | 白粘滑菇 |
| <i>Galiella japonica</i> (Yasuda) Y. Otani | 日本盖尔盘菌 | <i>Hebeloma birrus</i> (Fr.) Gillet | 活力粘滑菇 |
| <i>Galiella sinensis</i> J. Z. Cao | 中国盖尔盘菌 | <i>Hebeloma ingratum</i> Bruchet | 短柄粘滑菇 |
| <i>Ganoderma adpersum</i> (Schulzer) Donk | 广布灵芝 | <i>Hebeloma pusillum</i> J. E. Lange | 小粘滑菇 |
| <i>Gastroleccinum scabrosum</i> (Mazzer & A. H. Sm.) Thiers | 粗糙腹疣柄牛肝菌 | <i>Hebeloma vaccinum</i> Romagn. | 暗褐粘滑菇 |
| <i>Gautieria xinjiangensis</i> T. Bau | 新疆高腹菌 | <i>Helvella exarata</i> Gillet | 斑纹马鞍菌 |
| <i>Geastrum lageniforme</i> Vittad. | 葫芦形地星 | <i>Hemileccinum indecorum</i> (Masse) G. Wu & Zhu L. Yang | 无饰半疣柄牛肝菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|---------|---|--------|
| <i>Hemimycena cucullata</i> (Pers.) Singer | 帽形半小菇 | <i>Hygrocybe quieta</i> (Kühner) Singer | 安静湿伞 |
| <i>Hemimycena hirsuta</i> (Tode) Singer | 硬毛半小菇 | <i>Hygrocybe subceracea</i> Murrill | 蜡湿伞 |
| <i>Hemimycena pseudolactea</i> (Kühner) Singer | 假白半小菇 | <i>Hygrocybe swanetica</i> Singer | 丝旺尼湿伞 |
| <i>Hemimycena rickenii</i> (A. H. Sm.) Singer | 里肯半小菇 | <i>Hygrophorus albidus</i> P. Karst. | 白蜡伞 |
| <i>Hemipholiota heteroclita</i> (Fr.) Bon | 异果半鳞伞 | <i>Hygrophorus lindtneri</i> M. M. Moser | 林特纳蜡伞 |
| <i>Henningsomyces leptus</i> Y. L. Wei & Y. C. Dai | 小哈宁管菌 | <i>Hygrophorus miniaceus</i> Beck | 亮红蜡伞 |
| <i>Heterobasidion abietinum</i> Niemelä & Korhonen | 冷杉异担子菌 | <i>Hygrophorus pictus</i> Berk. & M. A. Curtis | 着色蜡伞 |
| <i>Heterochaete spinulosa</i> (Berk. & M. A. Curtis) D. A. Reid | 细刺刺皮菌 | <i>Hygrophorus pustulatus</i> (Pers.) Fr. | 疱突蜡伞 |
| <i>Heterorepetobasidium ellipsoideum</i> Oberw. & Chee J. Chen | 椭圆异重担菌 | <i>Hygrophorus queletii</i> Bres. | 凯莱蜡伞 |
| <i>Heterorepetobasidium subglobosum</i> Chee J. Chen & Oberw. | 亚球孢异重担菌 | <i>Hymenochaete acerosa</i> S. H. He & Hai J. Li | 槭生刺革菌 |
| <i>Hjortstamia novae-granata</i> (A. L. Welden) Hjortstam & Ryvarden | 晶约氏革菌 | <i>Hymenochaete borealis</i> Burt | 北方刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia approximans</i> (Peck) Singer | 紧靠亚侧耳 | <i>Hymenochaete odontoides</i> S. H. He & Y. C. Dai | 齿状刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia concurrens</i> (Drechsler) Thorn | 并发亚侧耳 | <i>Hymenochaete quercicola</i> S. H. He & Hai J. Li | 栎生刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia cyphelliformis</i> (Berk.) O. K. Mill. | 杯点亚侧耳 | <i>Hymenochaete semistupposa</i> Petch | 半卷毛刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia haptoclada</i> (Drechsler) Thorn | 硬亚侧耳 | <i>Hymenochaete tenuis</i> Peck | 纤细刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia horakii</i> Courtec. | 霍氏亚侧耳 | <i>Hymenochaete ustulata</i> G. A. Escobar | 枯焦刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia leiospora</i> (Drechsler) Thorn | 平孢亚侧耳 | <i>Hymenochaetopsis latesetosa</i> (S. H. He & Hai J. Li) S. H. He & Jiao Yang | 砖红拟刺革菌 |
| <i>Hohenbuehelia leptospora</i> (Drechsler) Thorn | 薄孢亚侧耳 | <i>Hymenopellis colensoi</i> (Dörfelt) R. H. Petersen | 科伦索长根菇 |
| <i>Hohenbuehelia longipes</i> (Boud.) M. M. Moser | 长柄亚侧耳 | <i>Hymenopellis vinocontusa</i> (R. H. Petersen & Nagas.) R. H. Petersen | 酒红长根菇 |
| <i>Hohenbuehelia mastrucata</i> (Fr.) Singer | 灰黄鳞亚侧耳 | <i>Hyphoderma albicans</i> (Pers.) Nakasone | 白丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia myxotricha</i> (Lév.) Singer | 粘毛亚侧耳 | <i>Hyphoderma amoenum</i> (Burt) Donk | 怡丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia pinacearum</i> Thorn | 松亚侧耳 | <i>Hyphoderma ayresii</i> (Berk. ex Cooke) Boidin & Gilles | 埃尔斯丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia subreniformis</i> (Thorn & G. L. Barron) Thorn | 亚肾形亚侧耳 | <i>Hyphoderma clavatum</i> Sheng H. Wu | 棒丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia tremula</i> (Schaeff.) Thorn & G. L. Barron | 胶质亚侧耳 | <i>Hyphoderma cremeum</i> Sheng H. Wu | 奶油丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia tripolitania</i> (Giurma & R. C. Cooke) Thorn | 的黎亚侧耳 | <i>Hyphoderma definitum</i> (H. S. Jacks.) Donk | 明确丝皮菌 |
| <i>Hohenbuehelia tylospora</i> (Drechsler) Thorn | 黑灰孢亚侧耳 | <i>Hyphoderma densum</i> Sheng H. Wu | 密丝皮菌 |
| <i>Homophron cernuum</i> (Vahl) Örstadius & E. Larss. | 俯垂类脆柄菇 | <i>Hyphoderma hjortstamii</i> Sheng H. Wu | 霍氏丝皮菌 |
| <i>Hydnellum caeruleum</i> (Hornem.) P. Karst. | 蓝亚齿菌 | <i>Hyphoderma malenconii</i> (Manjón & G. Moreno) Manjón, G. Moreno & Hjortstam | 玛氏丝皮菌 |
| <i>Hydnellum regium</i> K. A. Harrison | 桃红亚齿菌 | <i>Hyphoderma moniliforme</i> (P. H. B. Talbot) Manjón, G. Moreno & Hjortstam | 念珠丝皮菌 |
| <i>Hydnellum scrobiculatum</i> (Fr.) P. Karst. | 蜂窝亚齿菌 | <i>Hyphoderma nemorale</i> K. H. Larss. | 林生丝皮菌 |
| <i>Hydnellum spongiosipes</i> (Peck) Pouzar | 海绵亚齿菌 | <i>Hyphoderma occidentale</i> (D. P. Rogers) Boidin & Gilles | 西方丝皮菌 |
| <i>Hydnocristella himantia</i> (Schwein.) R. H. Petersen | 扇索状刺顶菌 | <i>Hyphoderma rimulosum</i> Sheng H. Wu | 裂纹丝皮菌 |
| <i>Hydnotrya laojunshanensis</i> Lin Li, Y. C. Zhao, X. Lei Zhang, Shu H. Li & D. Q. Zhou | 老君山腔块菌 | <i>Hyphoderma subclavatum</i> Sheng H. Wu | 亚棒状丝皮菌 |
| <i>Hydropus fuliginarius</i> (Batsch) Singer | 烟煤湿柄伞 | <i>Hyphoderma subsetigerum</i> Sheng H. Wu | 亚刚毛丝皮菌 |
| <i>Hygrocybe cruenta</i> (Hongo) Hongo | 血色湿伞 | <i>Hyphoderma tenue</i> (Pat.) Donk | 纤细丝皮菌 |
| <i>Hygrocybe cystidiata</i> Arnolds | 囊湿伞 | <i>Hyphoderma typhicola</i> (Burt) Donk | 香蒲丝皮菌 |
| <i>Hygrocybe insipida</i> (J. E. Lange) M. M. Moser | 淡湿伞 | <i>Hyphoderma variolosum</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 颗粒丝皮菌 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|---------|---|--------|
| <i>Hyphodontia cineracea</i> (Bourdot & Galzin) J. Erikss. & Hjortstam | 灰产丝齿菌 | <i>Hypoxylon musceum</i> J. D. Rogers | 粘炭团菌 |
| <i>Hyphodontia dimorpha</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 二型产丝齿菌 | <i>Hypoxylon parksianum</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 木槿炭团菌 |
| <i>Hyphodontia microspora</i> J. Erikss. & Hjortstam | 小孢产丝齿菌 | <i>Hypoxylon retpela</i> Van der Gucht & Van der Veken | 粉红炭团菌 |
| <i>Hyphodontia mollis</i> Sheng H. Wu | 软产丝齿菌 | <i>Hypoxylon subgilvum</i> Berk. & Broome | 亚铜色炭团菌 |
| <i>Hyphodontia propinqua</i> Hjortstam | 邻产丝齿菌 | <i>Hypoxylon trugodes</i> Berk. & Broome | 松杉炭团菌 |
| <i>Hyphodontia septocystidiata</i> H. X. Xiong, Y. C. Dai & Sheng H. Wu | 隔壁产丝齿菌 | <i>Hypoxylon ulmophilum</i> Lar. N. Vassiljeva | 榆炭团菌 |
| <i>Hyphodontia subpallidula</i> H. X. Xiong, Y. C. Dai & Sheng H. Wu | 亚淡色产丝齿菌 | <i>Hypoxylon vogesiacum</i> (Pers. ex Curr.) Sacc. | 卷边炭团菌 |
| <i>Hyphodontia subspatulata</i> (H. Furuk.) N. Maek. | 亚匙形产丝齿菌 | <i>Hypoxylon yunnanense</i> Hai X. Ma, Lar. N. Vassiljeva & Yu Li | 云南炭团菌 |
| <i>Hypholoma acutum</i> (Sacc.) E. Horak | 尖垂幕菇 | <i>Imleria obscurebrunnea</i> (Hongo) Xue T. Zhu & Zhu L. Yang | 暗棕褐牛肝菌 |
| <i>Hypholoma elatum</i> Masee | 弹丝垂幕菇 | <i>Imperator rhodopurpureus</i> (Smotl.) Assyov, Bellanger, Bertéa, Courtec., Koller, Loizides, G. Marques, J. A. Muñoz, Oppicelli, D. Puddu, F. Rich. & P.-A. Moreau | 朱孔皇牛肝菌 |
| <i>Hypholoma elongatipes</i> C. S. Parker | 长柄垂幕菇 | <i>Inflatostereum glabrum</i> (Pat.) D. A. Reid | 光膨大韧革菌 |
| <i>Hypholoma elongatum</i> (Pers.) Ricken | 长垂幕菇 | <i>Inocybe acuta</i> Boud. | 尖丝盖伞 |
| <i>Hypochnicium erikssonii</i> Hallenb. & Hjortstam | 爱立逊纹革菌 | <i>Inocybe albomarginata</i> Velen. | 银边丝盖伞 |
| <i>Hypocrea aurantia</i> Henn. | 橙黄肉座菌 | <i>Inocybe amethystina</i> Kuyper | 紫晶丝盖伞 |
| <i>Hypocrea brunneolutea</i> Yoshim. Doi | 褐肉座菌 | <i>Inocybe brunneotomentosa</i> Huijsman | 褐茸丝盖伞 |
| <i>Hypocrea flavovirens</i> Berk. | 黄绿肉座菌 | <i>Inocybe chalcodoxantha</i> Grund & D. E. Stuntz | 铜黄丝盖伞 |
| <i>Hypocrea megalosulphurea</i> Yoshim. Doi | 大硫色肉座菌 | <i>Inocybe fraudans</i> (Britzelm.) Sacc. | 长柄丝盖伞 |
| <i>Hypocrea muroiana</i> I. Hino & Katum. | 竹生肉座菌 | <i>Inocybe fuscidula</i> Velen. | 黑丝盖伞 |
| <i>Hypocrea nigricans</i> (S. Imai) Yoshim. Doi | 黑肉座菌 | <i>Inocybe fuscodisca</i> (Peck) Masee | 暗盘丝盖伞 |
| <i>Hypocrea pachybasioides</i> Yoshim. Doi | 厚担肉座菌 | <i>Inocybe glabripes</i> Ricken | 光柄丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon brevisporum</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 短孢炭团菌 | <i>Inocybe langei</i> R. Heim | 兰格丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon cercidicola</i> (Berk. & M. A. Curtis ex Peck) Y. M. Ju & J. D. Rogers | 废退炭团菌 | <i>Inocybe leptocystis</i> G. F. Atk. | 薄囊丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon cinnabarinum</i> (Henn.) Henn. | 朱红炭团菌 | <i>Inocybe margaritipora</i> (Berk.) Sacc. | 珍珠丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon crocopeplum</i> Berk. & M. A. Curtis | 杏黄炭团菌 | <i>Inocybe mixtilis</i> (Britzelm.) Sacc. | 混杂丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon dearnessii</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 戴氏炭团菌 | <i>Inocybe miyiensis</i> T. Bau & Y. G. Fan | 米易丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon dengii</i> Hai X. Ma, Lar. N. Vassiljeva & Yu Li | 邓氏炭团菌 | <i>Inocybe muricellata</i> Bres. | 糙柄丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon duranii</i> J. D. Rogers | 杜兰炭团菌 | <i>Inocybe niigatensis</i> Hongo | 新潟丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon fendleri</i> Berk. ex Cooke | 芬德勒炭团菌 | <i>Inocybe nobilis</i> (R. Heim) Alessio | 高贵丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon fraxinophilum</i> Pouzar | 白蜡炭团菌 | <i>Inocybe obscurobadia</i> (J. Favre) Grund & D. E. Stuntz | 遮蔽丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon fuscopurpureum</i> (Schwein.) M. A. Curtis | 暗紫炭团菌 | <i>Inocybe ochroalba</i> Bruyl. | 黄白丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon griseocinctum</i> (Starbäck) P. M. D. Martin | 灰炭团菌 | <i>Inocybe perlata</i> (Cooke) Sacc. | 光泽丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon hubeiense</i> Hai X. Ma, Lar. N. Vassiljeva & Yu Li | 湖北炭团菌 | <i>Inocybe posterula</i> (Britzelm.) Sacc. | 后腔丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon investiens</i> (Schwein.) M. A. Curtis | 坚硬炭团菌 | <i>Inocybe sindonia</i> (Fr.) P. Karst. | 毒丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon kariii</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 卡尔炭团菌 | <i>Inocybe sororia</i> Kauffman | 成堆丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon kretzschmarioides</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 克雷炭团菌 | <i>Inocybe splendens</i> R. Heim | 光亮丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon laschii</i> Nitschke | 拉什炭团菌 | <i>Inocybe subcarpta</i> Kühner & Boursier | 亚果丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon lienhwacheense</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 台湾炭团菌 | <i>Inocybe tenebrosa</i> Quéf. | 阴暗丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon lividicolor</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 铅色炭团菌 | <i>Inocybe whitei</i> (Berk. & Broome) Sacc. | 怀特丝盖伞 |
| <i>Hypoxylon macrosporum</i> P. Karst. | 巨孢炭团菌 | <i>Inonotus acutus</i> B. K. Cui & Y. C. Dai | 尖纤孔菌 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|--|---------|
| <i>Inonotus canariicola</i> Y. C. Dai | 贾纳尔纤孔菌 | <i>Leccinum leucophaeum</i> (Pers.) Bon | 白疣柄牛肝菌 |
| <i>Inonotus chilanshanus</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 赤兰山纤孔菌 | <i>Lecidea atrobrunnea</i> (DC.) Schaer. | 黑棕网衣 |
| <i>Inonotus indurescens</i> Y. C. Dai | 变硬纤孔菌 | <i>Lecidea hypocrita</i> A. Massal. | 伪网衣 |
| <i>Inonotus magnisetus</i> Y. C. Dai | 巨毛纤孔菌 | <i>Lentinellus micheneri</i> (Berk. & M. A. Curtis) Pegler | 米切纳螺壳菌 |
| <i>Inonotus splitgerberi</i> (Mont.) Ryvarden | 斯氏纤孔菌 | <i>Lentinellus tridentinus</i> (Sacc. & P. Syd.) Singer | 三齿螺壳菌 |
| <i>Ionomidotis irregularis</i> (Schwein.) E. J. Durand | 畸聚盘菌 | <i>Lentinula boryana</i> (Berk. & Mont.) Pegler | 卷木菇 |
| <i>Ioplaca pindarensis</i> (Räsänen) Poelt & Hinter. | 粉胎座衣 | <i>Lentinula novae-zelandiae</i> (G. Stev.) Pegler | 新西兰木菇 |
| <i>Jaapia ochroleuca</i> (Bres.) Nannf. & J. Erikss. | 黄白夏氏伏革菌 | <i>Lentinus levis</i> (Berk. & M. A. Curtis) Murrill | 光滑韧伞 |
| <i>Jacksonomyces pseudocretaceus</i> Sheng H. Wu & Z. C. Chen | 假石灰杰氏孔菌 | <i>Lentinus odorus</i> Quéf. | 芳香韧伞 |
| <i>Jansia boninensis</i> Lloyd | 博尼疣盖鬼笔 | <i>Lentinus substrictus</i> (Bolton) Zmitr. & Kovalenko | 亚致密韧伞 |
| <i>Jansia elegans</i> Penz. | 雅致疣盖鬼笔 | <i>Lepiota albissima</i> (Murrill) Murrill | 变环柄菇 |
| <i>Junghuhnia flabellata</i> H. S. Yuan & Y. C. Dai | 扇形容氏孔菌 | <i>Lepiota augustana</i> (Britzelm.) Sacc. | 大紫环柄菇 |
| <i>Kavinia alboviridis</i> (Morgan) Gilb. & Budington | 变绿凯文菌 | <i>Lepiota boudieri</i> Bres. | 布迪耶环柄菇 |
| <i>Kneiffiella serpentiniformis</i> (Langer) Riebesehl & Langer | 蛇皮奈氏齿菌 | <i>Lepiota echinella</i> Quéf. & G. E. Bernard | 缘毛环柄菇 |
| <i>Kneiffiella sinensis</i> (H. X. Xiong, Y. C. Dai & Sheng H. Wu) Riebesehl & Langer | 中国奈氏齿菌 | <i>Lepiota grangei</i> (Eyre) Kühner | 格兰环柄菇 |
| <i>Laccaria acanthospora</i> A. W. Wilson & G. M. Muell. | 棘孢蜡蘑 | <i>Lepiota neophana</i> Morgan | 新环柄菇 |
| <i>Laccaria bullipellis</i> A. W. Wilson & G. M. Muell. | 泡状蜡蘑 | <i>Lepiota otsuensis</i> (Hongo) Hongo | 褐紫鳞环柄菇 |
| <i>Laccaria negrimarginata</i> A. W. Wilson & G. M. Muell. | 棕黑蜡蘑 | <i>Lepiota praetervisa</i> Hongo | 瞭望环柄菇 |
| <i>Laccaria ohiensis</i> (Mont.) Singer | 俄亥俄蜡蘑 | <i>Lepiota pseudofelina</i> J. E. Lange | 假细环柄菇 |
| <i>Laccaria salmonicolor</i> A. W. Wilson & G. M. Muell. | 鲑色蜡蘑 | <i>Lepiota rhachoderma</i> (Berk. & Broome) Sacc. | 脊环柄菇 |
| <i>Lactarius albocarneus</i> Britzelm. | 白肉色乳菇 | <i>Lepiota rufipes</i> Morgan | 暗红环柄菇 |
| <i>Lactarius areolatus</i> Hesler & A. H. Sm. | 网隙乳菇 | <i>Lepiota subalba</i> Kühner ex P. D. Orton | 亚白环柄菇 |
| <i>Lactarius aurantiaco-ochraceus</i> Lj. N. Vassiljeva | 橙赭乳菇 | <i>Lepiota thrombophora</i> (Berk. & Broome) Sacc. | 栓孢环柄菇 |
| <i>Lactarius castanopsidis</i> Hongo | 栲乳菇 | <i>Lepiota tomentella</i> J. E. Lange | 鸾毛环柄菇 |
| <i>Lactarius delicatus</i> Burl. | 柔美乳菇 | <i>Lepiota virescens</i> (Speg.) Morgan | 变绿环柄菇 |
| <i>Lactarius fulvissimus</i> Romagn. | 褐乳菇 | <i>Lepiota wasseri</i> Bon | 瓦塞尔环柄菇 |
| <i>Lactarius grandisporus</i> Lj. N. Vassiljeva | 大孢乳菇 | <i>Lepiota xanthophylla</i> P. D. Orton | 黄叶环柄菇 |
| <i>Lactarius nigroviolascens</i> G. F. Atk. | 黑紫乳菇 | <i>Leptogium caesium</i> (Ach.) Vain. | 蓝猫耳衣 |
| <i>Lactarius obscuratus</i> (Lasch) Fr. | 暗乳菇 | <i>Leucoagaricus atosquamulosus</i> (Hongo) Z. W. Ge & Zhu L. Yang | 黑鳞白环蘑 |
| <i>Lactarius sakamotoi</i> S. Imai | 坂本乳菇 | <i>Leucoagaricus brunneocingulatus</i> (P. D. Orton) Bon | 肉褐鳞白环蘑 |
| <i>Lactarius vinaceorufescens</i> A. H. Sm. | 酒红乳菇 | <i>Leucoagaricus georginae</i> (W. G. Sm.) Candusso | 若尔然白环蘑 |
| <i>Langermannia maxima</i> (Schaeff.) Pázmány | 大马线菇 | <i>Leucoagaricus lateritiopurpureus</i> (Lj. N. Vassiljeva) E. F. Malysheva, Svetash. & Bulakh | 砖红紫白环蘑 |
| <i>Lanmaoa fragrans</i> (Vittad.) Vizzini, Gelardi & Simonini | 芳香兰茂牛肝菌 | <i>Leucoagaricus meleagris</i> (Gray) Singer | 西方平盖白环蘑 |
| <i>Laternea columnata</i> Nees | 柱状拱门菌 | <i>Leucoagaricus purpureoruber</i> (Z. S. Bi, T. H. Li & G. Y. Zheng) Z. W. Ge & Zhu L. Yang | 紫红白环蘑 |
| <i>Lauriliella taxodii</i> (Lentz & H. H. McKay) S. H. He & Nakasone | 紫杉小劳里菌 | <i>Leucoagaricus sericifer</i> (Locq.) Vellinga | 小褐白环蘑 |
| <i>Lecanora sulphurescens</i> Fée | 近硫色茶渍 | <i>Leucocoprinus straminellus</i> (Bagl.) Narducci & Caroti | 麦黄白鬼伞 |
| <i>Leccinellum pseudoscabrum</i> (Kallenb.) Mikšik | 假糙小疣柄牛肝菌 | <i>Leucogaster nudus</i> (Hazsl.) Hollós | 裸白腹菌 |
| <i>Leccinum barrowsii</i> A. H. Sm., Thiers & Watling | 巴氏疣柄牛肝菌 | <i>Leucopaxillus nauseosodulcis</i> (P. Karst.) Singer & A. H. Sm. | 臭味白桩菇 |
| <i>Leccinum flavostipitatum</i> E. A. Dick & Snell | 黄柄疣柄牛肝菌 | <i>Lignosus superpositus</i> (Berk.) Lloyd. | 叠生木孔菌 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|--|--------|---|--------|
| <i>Lycoperdon decipiens</i> Durieu & Mont. | 迷惑马勃 | <i>Montagnea haussknechtii</i> Rabenh. | 霍氏蒙塔假菇 |
| <i>Lycoperdon echinulatum</i> Berk. & Broome | 小刺马勃 | <i>Morchella canina</i> Leuba | 尖羊肚菌 |
| <i>Lycoperdon fucatum</i> Lév. | 光滑白马勃 | <i>Morchella deqinensis</i> Shu H. Li, Y. C. Zhao, H. M. Chai & M. H. Zhong | 德清羊肚菌 |
| <i>Lycoperdon muscorum</i> Morgan | 苔生马勃 | <i>Morchella ovalis</i> (Wallr.) Boud. | 卵形羊肚菌 |
| <i>Lycoperdon nigrescens</i> Pers. | 变黑马勃 | <i>Morchella tridentina</i> Bres. | 三齿羊肚菌 |
| <i>Lycoperdon norvegicum</i> Demoulin | 挪威马勃 | <i>Mutatoderma heterocystidia</i> (Burt) C. E. Gómez | 异囊丝皮革菌 |
| <i>Lycoperdon papillatum</i> Schaeff. | 乳突马勃 | <i>Mutatoderma populneum</i> (Peck) C. E. Gómez | 杨丝皮革菌 |
| <i>Lycoperdon polycephalum</i> Lloyd | 多头马勃 | <i>Mycena amicta</i> (Fr.) Quél. | 长柄小菇 |
| <i>Lyomyces capitatozystidiatus</i> (H. X. Xiong, Y. C. Dai & Sheng H. Wu) Riebesehl & Langer | 头囊疏伏革菌 | <i>Mycena californiensis</i> (Berk. & M. A. Curtis) Sacc. | 加州小菇 |
| <i>Lyomyces pruni</i> (Lasch) Riebesehl & Langer | 李生疏伏革菌 | <i>Mycena citrinomarginata</i> Gillet | 橘色凹小菇 |
| <i>Lyomyces tenuissimus</i> (Yurchenko & Sheng H. Wu) Riebesehl & Langer | 薄疏伏革菌 | <i>Mycena coracina</i> Maas Geest. | 乌黑小菇 |
| <i>Macrocybe titans</i> (H. E. Bigelow & Kimbr.) Pegler, Lodge & Nakasone | 巨型大口蘑 | <i>Mycena dryopteriphila</i> Lj. N. Vassiljeva & M. M. Nazarova | 栎小菇 |
| <i>Marasmiellus chamaecyparidis</i> (Hongo) Hongo | 矮生微皮伞 | <i>Mycena egregia</i> Maas Geest. | 异常小菇 |
| <i>Marasmiellus phaeophyllus</i> (Kühner) Singer | 褐褶微皮伞 | <i>Mycena erubescens</i> Höhn. | 变红小菇 |
| <i>Marasmiellus tricolor</i> (Alb. & Schwein.) Singer | 三色微皮伞 | <i>Mycena latifolia</i> (Peck) A. H. Sm. | 广叶小菇 |
| <i>Marasmiellus vaillantii</i> (Pers.) Singer | 瓦氏微皮伞 | <i>Mycena lohwegii</i> Singer | 洛氏小菇 |
| <i>Marasmius alboburpureus</i> T. H. Li & C. Q. Wang | 银紫小皮伞 | <i>Mycena maculata</i> P. Karst. | 斑点小菇 |
| <i>Marasmius alutaceus</i> Berk. & M. A. Curtis | 淡棕小皮伞 | <i>Mycena meliigena</i> (Berk. & Cooke) Sacc. | 楝小菇 |
| <i>Marasmius asiaticus</i> Mešić & Tkalčec | 亚洲小皮伞 | <i>Mycena mellea</i> Lj. N. Vassiljeva | 蜜黄小菇 |
| <i>Marasmius caryotae</i> (Berk.) Petch | 核小皮伞 | <i>Mycena niveipes</i> (Murrill) Murrill | 白柄小菇 |
| <i>Marasmius limosus</i> Quél. | 泥小皮伞 | <i>Mycena overholtsii</i> A. H. Sm. & Solheim | 奥氏小菇 |
| <i>Marasmius parvulus</i> Berk. & M. A. Curtis | 细小皮伞 | <i>Mycena phlogina</i> Maas Geest. & E. Horak | 焰小菇 |
| <i>Marasmius plicatus</i> Wakker | 摺扇小皮伞 | <i>Mycena pruni</i> Velen. | 普兰小菇 |
| <i>Marasmius sparsifolius</i> Chun Y. Deng & T. H. Li | 疏叶小皮伞 | <i>Mycena pterigena</i> (Fr.) P. Kumm. | 蕨秆生小菇 |
| <i>Marasmius subviridiphyllus</i> Chun Y. Deng, Y. H. Yang & T. H. Li | 亚草绿小皮伞 | <i>Mycena septentrionalis</i> Maas Geest. | 北方小菇 |
| <i>Marasmius wynneae</i> Berk. & Broome | 维恩小皮伞 | <i>Mycena stellaris</i> Har. Takah., Taneyama & Hadano | 星状小菇 |
| <i>Megasporia ellipsoidea</i> (B. K. Cui & P. Du) B. K. Cui & Hai J. Li | 椭圆巨孔菌 | <i>Mycena stipata</i> Maas Geest. & Schwöbel | 密小菇 |
| <i>Megasporia violacea</i> (B. K. Cui & P. Du) B. K. Cui, Y. C. Dai & Hai J. Li | 紫巨孔菌 | <i>Mycena strobilicola</i> J. Favre & Kühner | 球果小菇 |
| <i>Melanogaster intermedius</i> (Berk.) Zeller & C. W. Dodge | 间型黑腹菌 | <i>Mycena tenerrima</i> (Berk.) Quél. | 柔弱小菇 |
| <i>Melanohalea laciniatula</i> (Flagey ex H. Olivier) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. & Lumbsch | 条裂黑尔衣 | <i>Mycena tintinnabulum</i> (Paulet) Quél. | 铃铛小菇 |
| <i>Melanoleuca congregata</i> Bertault ex Contu | 聚生钵囊蘑 | <i>Mycena ulmicola</i> A. H. Sm. | 榆小菇 |
| <i>Melanoleuca humilis</i> (Pers.) Pat. | 矮钵囊蘑 | <i>Mycena vexans</i> Sacc. | 针芽小菇 |
| <i>Melanoleuca tabularis</i> Konrad | 扁盖钵囊蘑 | <i>Mycenella bryophila</i> (Voglino) Singer | 藓生孢微菇 |
| <i>Melanophyllum eyrei</i> (Masse) Singer | 艾尔暗褶伞 | <i>Mycoacia angustata</i> H. S. Yuan | 狭针菌 |
| <i>Meruliopsis bella</i> (Berk. & M. A. Curtis) Ginns | 美丽拟干朽菌 | <i>Mycoacia fuscoatra</i> (Fr.) Donk | 暗针菌 |
| <i>Merulius insignis</i> Wakef. | 突干朽菌 | <i>Mycoacia odontoidea</i> (Sheng H. Wu) Spirin & Zmitr. | 齿状针菌 |
| <i>Metarhizium owariense</i> (Kobayasi) Kepler, S. A. Rehner & Humber | 尾张绿僵菌 | <i>Mycobilimbia sabuletorum</i> (Schreb.) Hafellner | 沙地菌盘衣 |
| <i>Mitremyces formosanus</i> Sawada | 台湾丽球包 | <i>Mycocleptodonoides vassiljevae</i> Nikol. | 娃氏类小齿菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|--|----------|--|-----------|
| <i>Naucoria bohemica</i> Velen. | 波地脆伞 | <i>Peniophora reidii</i> Boidin & Lanq. | 里德隔孢伏革菌 |
| <i>Naucoria escharioides</i> (Fr.) P. Kumm. | 污白脆伞 | <i>Peniophora scintillans</i> G. Cunn. | 闪烁隔孢伏革菌 |
| <i>Naucoria spadicea</i> D. A. Reid | 枣褐脆伞 | <i>Peniophora septentrionalis</i> Laurila | 北方隔孢伏革菌 |
| <i>Naucoria subconspersa</i> Kühner ex P. D. Orton | 亚簇生脆伞 | <i>Peniophora spathulata</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 匙形隔孢伏革菌 |
| <i>Neoaleurodiscus monilifer</i> (Malençon) Sheng H. Wu | 念珠新盘革菌 | <i>Peniophora taiwanensis</i> Sheng H. Wu | 台湾隔孢伏革菌 |
| <i>Neoboletus sinensis</i> (T. H. Li & M. Zang) Gelardi, Simonini & Vizzini | 中国新牛肝菌 | <i>Peniophorella baculorubrens</i> (Gilb. & M. Blackw.) K. H. Larss. | 红杆形小隔孢伏革菌 |
| <i>Neofomitella fumosipora</i> (Corner) Y. C. Dai, Hai J. Li & Vlasák | 烟色新小层孔菌 | <i>Peniophorella echinocystis</i> (J. Erikss. & Å. Strid) K. H. Larss. | 刺囊小隔孢伏革菌 |
| <i>Nidularia deformis</i> (Willd.) Fr. | 变形鸟巢菌 | <i>Peniophorella guttulifera</i> (P. Karst.) K. H. Larss. | 油小隔孢伏革菌 |
| <i>Nidularia pulvinata</i> (Schwein.) Fr. | 垫状鸟巢菌 | <i>Peniophorella neopubera</i> (Sheng H. Wu) K. H. Larss. | 软毛小隔孢伏革菌 |
| <i>Odontia fibrosa</i> (Berk. & M. A. Curtis) Kõljalg | 纤维裂齿菌 | <i>Peniophorella subpraetermissa</i> (Sheng H. Wu) K. H. Larss. | 亚坚实小隔孢伏革菌 |
| <i>Odonticum canoluteum</i> (Sheng H. Wu) Zmitr. & Spirin | 土黄裂齿革菌 | <i>Peniophorella tsugae</i> (Burt) K. H. Larss. | 铁杉小隔孢伏革菌 |
| <i>Odonticum flabelliradiatum</i> (J. Erikss. & Hjortstam) Zmitr. | 扇形裂齿革菌 | <i>Perenniporia cystidiata</i> Y. C. Dai, W. N. Chou & Sheng H. Wu | 囊多年卧孔菌 |
| <i>Omphalotus guepiniformis</i> (Berk.) Neda | 棕褶类脐菇 | <i>Perenniporia hainaniana</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 海南多年卧孔菌 |
| <i>Ophiocordyceps corallomyces</i> (Möller) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | 珊瑚线虫草 | <i>Perenniporia lacerata</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 裂多年卧孔菌 |
| <i>Ophiocordyceps entomorrhiza</i> (Dicks.) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | 虫根线虫草 | <i>Perenniporia luteola</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 浅黄多年卧孔菌 |
| <i>Ophiocordyceps forquignonii</i> (Quél.) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | 福基尼翁线虫草 | <i>Perenniporia macropora</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 大孔多年卧孔菌 |
| <i>Ophiocordyceps petchii</i> (Mains) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | 佩奇线虫草 | <i>Perenniporia phloiophila</i> Gilb. & M. Blackw. | 树皮多年卧孔菌 |
| <i>Oudemansiella crassifolia</i> Corner | 厚小奥德蘑 | <i>Perenniporia subtephropora</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 亚白灰孢多年卧孔菌 |
| <i>Oudemansiella globospora</i> (R. H. Petersen & Nagas.) Zhu L. Yang, G. M. Muell., G. Kost & Rexer | 球孢小奥德蘑 | <i>Perenniporia tianmuensis</i> B. K. Cui & C. L. Zhao | 天目多年卧孔菌 |
| <i>Pachylepyrium carbonicola</i> (A. H. Sm.) Singer | 炭生厚壁孢伞 | <i>Pezicula ericae</i> (Sigler) P. R. Johnst. | 欧石楠无柄盘菌 |
| <i>Panellus orientalis</i> (Kobayasi) Corner | 东方扇菇 | <i>Pezicula magnispora</i> Z. H. Zhong & Zheng Wang | 巨孢无柄盘菌 |
| <i>Paxillus filamentosus</i> (Scop.) Fr. | 丝桩菇 | <i>Pezicula rubi</i> (Lib.) Niessl | 鲁布无柄盘菌 |
| <i>Peltigera sibirica</i> Gyeln. | 西伯利亚地卷 | <i>Pezicula sporulosa</i> Verkley | 多孢无柄盘菌 |
| <i>Peltigera subincusa</i> (Gyeln.) Inumaru | 亚霜地卷 | <i>Peziza aurata</i> (Le Gal) Spooner & Y. J. Yao | 黄盘菌 |
| <i>Peniophora alba</i> Burt | 白隔孢伏革菌 | <i>Peziza badiofusca</i> (Boud.) Dennis | 暗褐盘菌 |
| <i>Peniophora albobadia</i> (Schwein.) Boidin | 白褐隔孢伏革菌 | <i>Peziza cinatica</i> Pfister | 糠状盘菌 |
| <i>Peniophora aurantiaca</i> (Bres.) Höhn. & Litsch. | 橙黄隔孢伏革菌 | <i>Peziza gerardii</i> Cooke | 杰勒德盘菌 |
| <i>Peniophora bicornis</i> Hjortstam & Ryvarde | 双角隔孢伏革菌 | <i>Peziza hongkongensis</i> Berk. & M. A. Curtis | 香港盘菌 |
| <i>Peniophora borbonica</i> Boidin & Gilles | 波尔本隔孢伏革菌 | <i>Peziza limnaea</i> Maas Geest. | 青萍盘菌 |
| <i>Peniophora ericina</i> Bourdot | 直立隔孢伏革菌 | <i>Peziza natrophila</i> A. Z. M. Khan | 喜碱盘菌 |
| <i>Peniophora incarnata</i> (Pers.) P. Karst. | 肉色隔孢伏革菌 | <i>Peziza ostracoderma</i> Korf | 壳状盘菌 |
| <i>Peniophora malaiensis</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 马来隔孢伏革菌 | <i>Peziza psammobia</i> Rifai | 沙生盘菌 |
| <i>Peniophora manshurica</i> Parmasto | 满洲隔孢伏革菌 | <i>Peziza queletii</i> Medardi, Lantieri & Cacialli | 凯莱盘菌 |
| <i>Peniophora ovalispora</i> Boidin, Lanq. & Gilles | 卵孢隔孢伏革菌 | <i>Peziza rufescens</i> Saut. | 暗红盘菌 |
| <i>Peniophora pseudonuda</i> Hallenb. | 假裸隔孢伏革菌 | <i>Peziza verrucosa</i> Pers. | 多疣盘菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|---|----------|
| <i>Phaeoclavulina decolor</i> (Berk. & M. A. Curtis) Giachini | 脱色暗锁瑚菌 | <i>Phellinus betulinus</i> (Murrill) Parmasto | 桦木层孔菌 |
| <i>Phaeoclavulina mutabilis</i> (Schild & R. H. Petersen) Giachini | 多变暗锁瑚菌 | <i>Phellinus caryophylleus</i> (Cooke) Ryvarden | 石竹木层孔菌 |
| <i>Phaeodaedalea incerta</i> (Curr.) Tura, Zmitr., Wasser & Spirin | 未定暗迷孔菌 | <i>Phellinus cyclobalanopsidis</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 楮木层孔菌 |
| <i>Phaeomarasmius erinaceus</i> (Fr.) Scherff. ex Romagn. | 尖刺暗小皮伞 | <i>Phellinus deuteroprunicola</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 李形木层孔菌 |
| <i>Phaeomarasmius rimulincola</i> (Rabenh.) Scherff. | 裂纹暗小皮伞 | <i>Phellinus formosanus</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 台湾木层孔菌 |
| <i>Phaeophyscia confusa</i> Moberg | 混黑蜈蚣衣 | <i>Phellinus neoquercinus</i> M. J. Larsen | 新栎木层孔菌 |
| <i>Phaeophyscia denigrata</i> (Hue) Moberg | 变黑蜈蚣衣 | <i>Phellinus pseudolaevigatus</i> Parmasto ined. | 假光滑木层孔菌 |
| <i>Phaeophyscia pyrrophora</i> (Poelt) D. D. Awasthi & M. Joshi | 火红黑蜈蚣衣 | <i>Phellinus shoushanus</i> T. T. Chang & W. N. Chou | 寿山木层孔菌 |
| <i>Phaeotellus roseolus</i> (Quél.) E. Horak | 玫红褐蘑 | <i>Phellinus sonorae</i> Gilb. | 亮金木层孔菌 |
| <i>Phaeotremella neofoliacea</i> (Chee J. Chen) Millanes & Wedin | 新茶暗银耳 | <i>Phellinus sublaevigatus</i> (Cleland & Rodway) P. K. Buchanan & Ryvarden | 亚光滑木层孔菌 |
| <i>Phallus maderensis</i> Calonge | 马德拉鬼笔 | <i>Phellodon fuliginosalbus</i> (J. C. Schmidt) R. E. Baird | 褐白栓齿菌 |
| <i>Phanerochaete aculeata</i> Hallenb. | 刺原毛平革菌 | <i>Phellorinia herculeana</i> (Pers.) Kreisel | 赫氏歧裂灰包 |
| <i>Phanerochaete alba</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 白原毛平革菌 | <i>Phlebia coccineofulva</i> Schwein. | 红桂射脉菌 |
| <i>Phanerochaete albida</i> Sheng H. Wu | 微白原毛平革菌 | <i>Phlebia dictyophoroides</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 网柄射脉菌 |
| <i>Phanerochaete angustocystidiata</i> Sheng H. Wu | 狭囊原毛平革菌 | <i>Phlebia pellucida</i> Hjortstam & Ryvarden | 透明射脉菌 |
| <i>Phanerochaete argillacea</i> Sheng H. Wu | 土色原毛平革菌 | <i>Phlebia tuberculata</i> (Berk. & M. A. Curtis) Tura, Zmitr., Wasser & Spirin | 瘤射脉菌 |
| <i>Phanerochaete brunnea</i> Sheng H. Wu | 褐原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis brunneocystidiata</i> (Sheng H. Wu) Miettinen | 褐囊拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete capitata</i> Sheng H. Wu | 头状原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis flavidoalba</i> (Cooke) Hjortstam | 黄白拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete commixtoides</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 混合原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis himalayensis</i> Dhingra | 喜马拉雅拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete eburnea</i> Sheng H. Wu | 象牙白原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis lamprocystidiata</i> (Sheng H. Wu) Sheng H. Wu & Hallenb. | 光囊拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete flavidogrisea</i> Sheng H. Wu | 黄原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis laxa</i> (Sheng H. Wu) Miettinen | 松拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete fulva</i> Sheng H. Wu | 红黄原毛平革菌 | <i>Phlebiopsis pilatii</i> (Parmasto) Spirin & Miettinen | 皮拉特拟射脉菌 |
| <i>Phanerochaete globosa</i> Sang H. Lin & Z. C. Chen | 球原毛平革菌 | <i>Pholiota conissans</i> (Fr.) Kuyper & Tjall.-Beuk. | 硫黄鳞伞 |
| <i>Phanerochaete hyphocystidiata</i> Sheng H. Wu | 丝囊原毛平革菌 | <i>Pholiota cubensis</i> Earle | 古巴鳞伞 |
| <i>Phanerochaete inflata</i> (B. S. Jia & B. K. Cui) Miettinen | 肿原毛平革菌 | <i>Pholiota jahni</i> Tjall.-Beuk. & Bas | 扬氏鳞伞 |
| <i>Phanerochaete intertexta</i> Sheng H. Wu | 间型原毛平革菌 | <i>Pholiota parva</i> A. Pearson | 细鳞伞 |
| <i>Phanerochaete ontoidea</i> Sheng H. Wu | 齿状原毛平革菌 | <i>Pholiota pedicellatum</i> (Peck.) A. H. Smith & Hesler | 小梗鳞伞 |
| <i>Phanerochaete parmastoi</i> Sheng H. Wu | 帕氏原毛平革菌 | <i>Pholiota squarrosipes</i> Cleland | 糠秕鳞伞 |
| <i>Phanerochaete reflexa</i> Sheng H. Wu | 反卷原毛平革菌 | <i>Phylloporia oblongospora</i> Y. C. Dai & H. S. Yuan | 长孢叶状层菌 |
| <i>Phanerochaete suballantoidea</i> Sheng H. Wu | 亚腊肠原毛平革菌 | <i>Phylloporia spathulata</i> (Hook.) Ryvarden | 匙形叶状层菌 |
| <i>Phanerochaete subglobosa</i> Sheng H. Wu | 亚球孢原毛平革菌 | <i>Phylloporus rhodophaeus</i> Heinem. & Rammeloo | 玫红褶孔菌 |
| <i>Phaneroites subquercinus</i> (Henn.) Hjortstam & Ryvarden | 亚栎原刺革菌 | <i>Physalacria maipoensis</i> Inderb. & Desjardin | 迈坡泡头菌 |
| <i>Phellinidium orientale</i> (Bondartseva & S. Herrera) Bondartseva & S. Herrera | 东方小木层孔菌 | <i>Physcia convexella</i> Moberg | 凸蜈蚣衣 |
| <i>Phellinopsis helwingiae</i> L. W. Zhou & W. M. Qin | 青莱叶拟木层孔菌 | <i>Platygramme lueckingii</i> Z. F. Jia & Kalb | 吕金凸唇衣 |
| <i>Phellinus bambusicola</i> L. W. Zhou & B. S. Jia | 竹生木层孔菌 | <i>Platygramme muelleri</i> (A. W. Archer) Staiger | 米勒凸唇衣 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|--------|---|----------|
| <i>Pleuroflammula chocoruensis</i> Singer | 卓克拉侧火菇 | <i>Psathyrella sphagnicola</i> (Maire) J. Favre | 泥炭蕨小脆柄菇 |
| <i>Pleurotus badius</i> (Murrill) Murrill | 栗褐侧耳 | <i>Psathyrella spintrigera</i> (Fr.) Konrad & Maubl. | 连接小脆柄菇 |
| <i>Pleurotus subareolatus</i> Peck | 网隙侧耳 | <i>Psathyrella trepida</i> (Fr.) Gillet | 胆小小脆柄菇 |
| <i>Pleurotus tuoliensis</i> (C. J. Mou) M. R. Zhao & Jin X. Zhang | 托里侧耳 | <i>Pseudoboletus astraeicola</i> (Imazeki) Šutara | 星假牛肝菌 |
| <i>Pluteus cinereofuscus</i> J. E. Lange | 棕灰光柄菇 | <i>Pseudoboletus parasiticus</i> (Bull.) Šutara | 寄生假牛肝菌 |
| <i>Pluteus exiguus</i> (Pat.) Sacc. | 短小光柄菇 | <i>Pseudopiptoporus chocolatus</i> (Lloyd) Decock & Ryvarden | 巧克力假滴孔菌 |
| <i>Pluteus hiatulus</i> Romagn. | 裂光柄菇 | <i>Pseudotomentella atrofusca</i> M. J. Larsen | 黑褐假小垫革菌 |
| <i>Pluteus luctuosus</i> Boud. | 卷缘光柄菇 | <i>Pseudotomentella flavovirens</i> (Höhn. & Litsch.) Svrček | 黄绿假小垫革菌 |
| <i>Pluteus luteus</i> (Redhead & B. Liu) Redhead | 土黄光柄菇 | <i>Pseudotomentella tristis</i> (P. Karst.) M. J. Larsen | 暗假小垫革菌 |
| <i>Pluteus purpureofuscus</i> Jiang Xu, T. H. Li & Z. W. Ge | 紫褐光柄菇 | <i>Pseudotremella nivalis</i> (Chee J. Chen) X. Z. Liu, F. Y. Bai, M. Groenew. & Boekhout | 雪白假银耳 |
| <i>Pluteus romellii</i> (Britzelm.) Sacc. | 罗梅尔光柄菇 | <i>Psilocybe cinnamomea</i> Yang K. Li, Y. Ye & J. F. Liang | 肉桂色裸盖菇 |
| <i>Pluteus roseocandidus</i> G. F. Atk. | 粉白光柄菇 | <i>Psilocybe paupera</i> Singer | 贫穷裸盖菇 |
| <i>Podoscypha brasiliensis</i> D. A. Reid | 巴西柄杯菌 | <i>Psilocybe subaeruginascens</i> Höhn. | 亚铜绿裸盖菇 |
| <i>Podoscypha parvula</i> (Lloyd) D. A. Reid | 小柄杯菌 | <i>Psilopezia nummularia</i> Berk. | 硬币裸盘菌 |
| <i>Podoscypha thozetii</i> (Berk.) Boidin | 托塞柄杯菌 | <i>Pulveroboletus atkinsonianus</i> (Murrill) L. D. Gómez | 爱其逊粉末牛肝菌 |
| <i>Podostroma giganteum</i> S. Imai | 大肉座壳 | <i>Radulodon subvinosus</i> (Berk. & Broome) Stalpers | 亚酒红齿舌革菌 |
| <i>Podostroma leucopus</i> P. Karst. | 白肉座壳 | <i>Ramalina pertusa</i> Kashiw. | 穿孔树花 |
| <i>Polyporus cristulatus</i> Speg. | 鸡冠多孔菌 | <i>Ramalina requienii</i> (De Not.) Jatta | 安魂树花 |
| <i>Polyporus formosus</i> Laubert | 美丽多孔菌 | <i>Ramaria americana</i> (Corner) R. H. Petersen | 美洲枝瑚菌 |
| <i>Polyporus lipsiensis</i> (Batsch) E. H. L. Krause | 利普西多孔菌 | <i>Ramaria brunneicontusa</i> R. H. Petersen | 褐枝瑚菌 |
| <i>Polyporus subadmirabilis</i> Bondartsev | 亚奇多孔菌 | <i>Ramaria cystidiophora</i> (Kauffman) Corner | 囊托枝瑚菌 |
| <i>Polyporus tuckahoe</i> (Güssow) Lloyd | 茯苓多孔菌 | <i>Ramaria daucipes</i> R. H. Petersen | 胡萝卜状枝瑚菌 |
| <i>Polystictus formosae</i> Lloyd | 美丽云芝 | <i>Ramaria flavicingula</i> R. H. Petersen | 黄环枝瑚菌 |
| <i>Polystictus persoonii</i> (Mont.) Cooke | 珀松云芝 | <i>Ramaria flavosaponaria</i> R. H. Petersen | 黄肥皂草枝瑚菌 |
| <i>Porphyrellus atrofuscus</i> E. A. Dick & Snell | 黑褐红牛肝菌 | <i>Ramaria foetida</i> R. H. Petersen | 臭枝瑚菌 |
| <i>Porphyrellus formosanus</i> K. W. Yeh & Z. C. Chen | 台湾红牛肝菌 | <i>Ramaria incognita</i> R. H. Petersen | 隐枝瑚菌 |
| <i>Porphyrellus fumosipes</i> (Peck) Snell | 污柄红牛肝菌 | <i>Ramaria lacteobrunnescens</i> Schild | 乳褐枝瑚菌 |
| <i>Porphyrellus holophaeus</i> (Corner) Y. C. Li & Zhu L. Yang | 烟褐红牛肝菌 | <i>Ramaria largentii</i> Marr & D. E. Stuntz | 拉根特枝瑚菌 |
| <i>Porphyrellus indecisus</i> (Peck) E.-J. Gilbert | 橙变红牛肝菌 | <i>Ramaria myceliosa</i> (Peck) Corner | 菌丝状枝瑚菌 |
| <i>Postia brunnea</i> Rajchenb. & P. K. Buchanan | 褐泊氏孔菌 | <i>Ramaria pallida</i> (Schaeff.) Ricken | 苍白枝瑚菌 |
| <i>Postia subplacenta</i> B. K. Cui | 饼形泊氏孔菌 | <i>Ramaria pinicola</i> (Burt) Corner | 松生枝瑚菌 |
| <i>Protodontia piceicola</i> (Kühner ex Bourdot) G. W. Martin | 云杉原齿菌 | <i>Ramaria pulcherrima</i> (Lj. N. Vassiljeva) Lj. N. Vassiljeva ined. | 美极枝瑚菌 |
| <i>Psalliota sagata</i> (Fr.) S. Petersen | 佐方腹蕈 | <i>Ramaria purpurissima</i> R. H. Petersen & Scates | 紫枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella fusca</i> (J. E. Lange) A. Pearson | 暗小脆柄菇 | <i>Ramaria rubella</i> (Schaeff.) R. H. Petersen | 血红枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella gordonii</i> (Berk. & Broome) A. Pearson & Dennis | 戈登小脆柄菇 | <i>Ramaria rubrievanescens</i> Marr & D. E. Stuntz | 红枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella lutensis</i> (Romagn.) Bon | 卢特小脆柄菇 | <i>Ramaria sandaracina</i> Marr & D. E. Stuntz | 三陀罗枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella pertinax</i> (Fr.) Örstadius | 胶小脆柄菇 | <i>Ramaria soluta</i> (P. Karst.) Corner | 溶解枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella pseudocasca</i> (Romagn.) Kits van Wav. | 假皮小脆柄菇 | <i>Ramaria testaceoflava</i> (Bres.) Corner | 硬砖红枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella scobinacea</i> (Fr.) Konrad & Maubl. | 锯屑小脆柄菇 | <i>Ramariopsis asperulospora</i> (G. F. Atk.) Corner | 散孢拟枝瑚菌 |
| <i>Psathyrella sphaerocystis</i> P. D. Orton | 球囊小脆柄菇 | <i>Ramariopsis pulchella</i> (Boud.) Corner | 小丽拟枝瑚菌 |

附录2(续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|--------|--|---------|
| <i>Ramariopsis subtilis</i> (Pers.) R. H. Petersen | 精细拟枝瑚菌 | <i>Saproamanita flavofloccosa</i> (Nagas. & Hongo) Redhead, Vizzini, Drehmel & Contu | 黄鳞腐生鹅膏 |
| <i>Ramariopsis tenuicula</i> (Bourdot & Galzin) R. H. Petersen | 纤细拟枝瑚菌 | <i>Saproamanita praegraveolens</i> (Murrill) Redhead, Vizzini, Drehmel & Contu | 臭味腐生鹅膏 |
| <i>Ramariopsis tenuiramosa</i> Corner | 细枝拟枝瑚菌 | <i>Sarcodon fennicus</i> (P. Karst.) P. Karst. | 芬氏肉齿菌 |
| <i>Rectipilus fasciculatus</i> (Pers.) Agerer | 簇生似挂钟菌 | <i>Sarcodon leucopus</i> (Pers.) Maas Geest. & Nannf. | 白肉齿菌 |
| <i>Repetobasidium intermedium</i> Oberw. | 间型重担菌 | <i>Sarcodon martioflavus</i> (Snell, K. A. Harrison & H. A. C. Jacks.) Maas Geest. | 黄肉齿菌 |
| <i>Resinomyceia japonica</i> Redhead & Nagas. | 日本脂小菇 | <i>Sarcodon thwaitesii</i> (Berk. & Broome) Maas Geest. | 大黄肉齿菌 |
| <i>Resupinatus striatulus</i> (Pers.) Murrill | 条纹伏褶菌 | <i>Sarcodon underwoodii</i> Banker | 波状肉齿菌 |
| <i>Rhizomarasmius setosus</i> (Sowerby) Antonín & A. Urb. | 刚毛根皮伞 | <i>Scleroderma australe</i> Masee | 南方硬皮马勃 |
| <i>Rhodophana nitellina</i> (Fr.) Papetti | 丽红柱菇 | <i>Scleroderma poltaviense</i> Sosin | 波地硬皮马勃 |
| <i>Rickenella swartzii</i> (Fr.) Kuyper | 斯瓦氏藓菇 | <i>Sclerotinia borealis</i> Bubák & Vleugel | 北方核盘菌 |
| <i>Rigidoporus aureofulvus</i> (Lloyd) P. K. Buchanan & Ryvarde | 黄褐硬孔菌 | <i>Sclerotinia schinseng</i> | 参核盘菌 |
| <i>Rigidoporus fibulatus</i> H. S. Yuan & Y. C. Dai | 扣状硬孔菌 | <i>Scutellinia parvispora</i> J. Moravec | 小孢盾盘菌 |
| <i>Rigidoporus undatus</i> (Pers.) Donk | 波状硬孔菌 | <i>Scutellinia subcervorum</i> Svrček | 亚黄褐盾盘菌 |
| <i>Rimbachia arachnoidea</i> (Peck) Redhead | 蛛丝缝伞 | <i>Scutellinia superba</i> (Velen.) Le Gal | 超盾盘菌 |
| <i>Rinodina roboris</i> (Dufour ex Nyl.) Arnold | 栎饼干衣 | <i>Scytinostroma lusitanicum</i> (Trotter) P. M. Kirk | 卢西革垫菌 |
| <i>Roridomyces lamprosporus</i> (Corner) Rexer | 光孢黏柄小菇 | <i>Sebacina epigaea</i> (Berk. & Broome) Bourdot & Galzin | 地生蜡壳菌 |
| <i>Rossbeevera yunnanensis</i> Orihara & M. E. Sm. | 云南罗叶腹菌 | <i>Sidera lowei</i> (Rajchenb.) Miettinen | 洛伊晶星革菌 |
| <i>Russula alnetorum</i> Romagn. | 赤杨红菇 | <i>Sidera lunata</i> (Romell ex Bourdot & Galzin) K. H. Larss. | 新月晶星革菌 |
| <i>Russula amoenolens</i> Romagn. | 怡人红菇 | <i>Simocybe haustellaris</i> (Fr.) Watling | 霍氏绒盖伞 |
| <i>Russula brunneola</i> Burl. | 褐红菇 | <i>Sinoboletus magnisporus</i> M. Zang & C. M. Chen | 巨孢华牛肝菌 |
| <i>Russula changbaiensis</i> G. J. Li & H. A. Wen | 长白红菇 | <i>Sistotrema subconfluens</i> L. W. Zhou | 亚汇白齿菌 |
| <i>Russula chiui</i> G. J. Li & H. A. Wen | 裘氏红菇 | <i>Sistotremella perpusilla</i> Hjortstam | 极小小白齿菌 |
| <i>Russula cuprea</i> Krombh. | 铜色红菇 | <i>Skeletocutis inflata</i> B. K. Cui | 肿干皮孔菌 |
| <i>Russula jilinensis</i> G. J. Li & H. A. Wen | 吉林红菇 | <i>Skeletocutis substellae</i> Y. C. Dai | 亚星状干皮孔菌 |
| <i>Russula laeta</i> Jul. Schäff. | 悦色红菇 | <i>Skvortzovia furfurella</i> (Bres.) Bononi & Hjortstam | 鳞斯氏壳菌 |
| <i>Russula luteoviridans</i> C. Martín | 黄绿红菇 | <i>Sowerbyella imperialis</i> (Peck) Korf | 壮丽索氏盘菌 |
| <i>Russula maculata</i> Quél. | 斑点红菇 | <i>Steccherinum albofibrillosum</i> (Hjortstam & Ryvarde) Hallenb. & Hjortstam | 白绒齿耳 |
| <i>Russula megaspora</i> (Rodway) T. Lebel | 巨孢红菇 | <i>Steccherinum cremicolor</i> H. S. Yuan & Sheng H. Wu | 奶油色齿耳 |
| <i>Russula odorata</i> Romagn. | 香红菇 | <i>Steccherinum elongatum</i> H. S. Yuan & Sheng H. Wu | 长齿耳 |
| <i>Russula olivina</i> Ruots. & Vauras | 橄榄绿红菇 | <i>Stereum membranaceum</i> Fr. | 膜韧革菌 |
| <i>Russula pelargonica</i> Niole | 天竺葵红菇 | <i>Stereum ochraceoflavum</i> (Schwein.) Sacc. | 黄褐韧革菌 |
| <i>Russula persicina</i> Krombh. | 桃红菇 | <i>Stereum rugosiusculum</i> Berk. & M. A. Curtis | 皱纹韧革菌 |
| <i>Russula polychroma</i> Singer ex Hora | 杂色红菇 | <i>Stropharia hardii</i> G. F. Atk. | 哈德球盖菇 |
| <i>Russula subcompacta</i> Britzelm. | 亚致密红菇 | <i>Stropharia pseudocyanea</i> (Desm.) Morgan | 假蓝球盖菇 |
| <i>Russula verna</i> Singer | 春生红菇 | <i>Subulicystidium brachysporum</i> (P. H. B. Talbot & V. C. Green) Jülich | 短孢锥囊菌 |
| <i>Russula vinosobrunnea</i> (Bres.) Romagn. | 酒红褐红菇 | <i>Subulicystidium meridense</i> Oberw. | 梅里德锥囊菌 |
| <i>Russula zhejiangensis</i> G. J. Li & H. A. Wen | 浙江红菇 | <i>Suillellus pictiformis</i> Murrill | 着色小乳牛肝菌 |
| <i>Rutstroemia firma</i> (Pers.) P. Karst. | 坚实蜡盘菌 | <i>Suillellus rhodoxanthus</i> (Krombh.) Blanco-Dios | 红黄小乳牛肝菌 |
| <i>Rutstroemia juglandis</i> Raitv. | 脊蜡盘菌 | <i>Suillus flavoluteus</i> (Snell) Singer | 黄褐乳牛肝菌 |
| <i>Rutstroemia petiolorum</i> (Roberge ex Desm.) W. L. White | 小柄蜡盘菌 | <i>Suillus rubricontextus</i> M. R. Ding & H. A. Wen | 红肉乳牛肝菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|---------|--|---------|
| <i>Sutorius hainanensis</i> (T. H. Li & M. Zang) G. Wu & Zhu L. Yang | 海南紫盖牛肝菌 | <i>Tremella laciniata</i> With. | 条裂银耳 |
| <i>Sutorius junquilleus</i> (Quél.) G. Wu & Zhu L. Yang | 容氏紫盖牛肝菌 | <i>Tremella mesenterella</i> Bandoni & Ginns | 肠膜状银耳 |
| <i>Sutorius obscureumbrinus</i> (Hongo) G. Wu & Zhu L. Yang | 赭盖紫盖牛肝菌 | <i>Tremella occultifuroidea</i> Chee J. Chen & Oberw. | 隐叉银耳 |
| <i>Sutorius tomentulosus</i> (M. Zang, W. P. Liu & M. R. Hu) G. Wu & Zhu L. Yang | 烟绒紫盖牛肝菌 | <i>Tremella resupinata</i> Chee J. Chen | 扁平银耳 |
| <i>Sutorius venenatus</i> (Nagas.) G. Wu & Zhu L. Yang | 有毒紫盖牛肝菌 | <i>Tremella sulcariae</i> Diederich & M. S. Christ. | 沟纹银耳 |
| <i>Taiwanofungus salmoneus</i> (T. T. Chang & W. N. Chou) Sheng H. Wu, Z. H. Yu, Y. C. Dai & C. H. Su | 鲑色牛樟芝 | <i>Tremella taiwanensis</i> Chee J. Chen | 台湾银耳 |
| <i>Tephroclype mephitica</i> (Fr.) M. M. Moser | 恶臭灰顶伞 | <i>Tremella tropica</i> Chee J. Chen | 热带银耳 |
| <i>Tephroclype putida</i> (P. Karst.) M. M. Moser | 腐败灰顶伞 | <i>Tretopileus sphaerophorus</i> (Berk. & M. A. Curtis) S. Hughes & Deighton | 球梗孔盖革菌 |
| <i>Tephroclype stripilea</i> (Fr.) Donk | 斯氏灰顶伞 | <i>Trichaptum perrottetii</i> (Lév.) Ryvarden | 佩氏附毛菌 |
| <i>Termitomyces congolensis</i> (Beeli) Singer | 刚果蚁巢伞 | <i>Tricholoma bambusarum</i> Corner | 竹生口蘑 |
| <i>Termitomyces indicus</i> Natarajan | 印度蚁巢伞 | <i>Tricholoma striatum</i> (Schaeff.) Quél. | 具纹口蘑 |
| <i>Termitomyces rutilans</i> (Fr.) Sing. | 红橙蚁巢伞 | <i>Tricholoma tenue</i> P. W. Graff | 纤细口蘑 |
| <i>Termitomyces sagittiformis</i> (Kalchbr. & Cooke) D. A. Reid | 箭型蚁巢伞 | <i>Trichosporum goniospermum</i> (Bres.) Guzmán ex T. J. Baroni | 棱孢十字孢口蘑 |
| <i>Termitomyces titanicus</i> Pegler & Pearce | 巨大蚁巢伞 | <i>Tubaria pellucida</i> (Bull.) Sacc. | 透明假脐菇 |
| <i>Termitomyces umkooaan</i> (Cooke & Massee) D. A. Reid | 乌姆科瓦蚁巢伞 | <i>Tuber hubeiense</i> L. Fan | 湖北块菌 |
| <i>Thelephora multifida</i> Klotzsch | 多瓣裂革菌 | <i>Tuber xanthomonosporum</i> Qing & Yun Wang bis | 黄孢块菌 |
| <i>Thelephora penicillata</i> (Pers.) Fr. | 帚革菌 | <i>Tubulicium vermiferum</i> (Bourdot) Oberw. ex Jülich | 虫状管齿菌 |
| <i>Thelephora xerantha</i> Berk. & M. A. Curtis | 干革菌 | <i>Tubulicrinis borealis</i> J. Erikss. | 北方筒毛革菌 |
| <i>Tomentella bryophila</i> (Pers.) M. J. Larsen | 藓生小垫革菌 | <i>Tubulicrinis confusus</i> K. H. Larss. & Hjortstam | 紊乱筒毛革菌 |
| <i>Tomentella coerulea</i> Höhn. & Litsch. | 蓝小垫革菌 | <i>Tubulicrinis hamatus</i> (H. S. Jacks.) Donk | 钩筒毛革菌 |
| <i>Tomentella ellisii</i> (Sacc.) Jülich & Stalpers | 埃尔默小垫革菌 | <i>Tubulicrinis sceptrifer</i> (H. S. Jacks. & Weresub) Donk | 杖杖筒毛革菌 |
| <i>Tomentella ferruginea</i> (Pers.) Pat. | 锈小垫革菌 | <i>Tubulicrinopsis farinacea</i> (Boidin, Lanq. & Gilles) Kotir. & Hjortstam | 粉拟筒毛革菌 |
| <i>Tomentella lateritia</i> Pat. | 砖红小垫革菌 | <i>Tulostoma obesum</i> Cooke & Ellis | 肉质柄灰包 |
| <i>Tomentella lilacinogrisea</i> Wakef. | 灰紫小垫革菌 | <i>Tulostoma simulans</i> Lloyd | 相似柄灰包 |
| <i>Tomentella stuposa</i> (Link) Stalpers | 卷毛小垫革菌 | <i>Tylopilus atripurpureus</i> (Corner) E. Horak | 暗紫粉孢牛肝菌 |
| <i>Tomentella terrestris</i> (Berk. & Broome) M. J. Larsen | 地生小垫革菌 | <i>Tylopilus cervinicoccineus</i> (Corner) E. Horak | 朱红粉孢牛肝菌 |
| <i>Tomentellopsis echinospora</i> (Ellis) Hjortstam | 刺孢拟小垫革菌 | <i>Tylopilus cutifractus</i> (Corner) E. Horak | 皱盖粉孢牛肝菌 |
| <i>Torrubiella rostrata</i> (Henn.) Sacc. & D. Sacc. | 喙锥壳 | <i>Tylopilus griseipurpureus</i> (Corner) E. Horak | 灰紫粉孢牛肝菌 |
| <i>Trametes hirta</i> (P. Beauv.) Zmitr., Wasser & Ezhov | 多硬毛栓菌 | <i>Tylopilus tristiculus</i> (Massee) E. Horak | 绒表粉孢牛肝菌 |
| <i>Trametes marianna</i> (Pers.) Ryvarden | 玛丽安栓菌 | <i>Typhula fistulosa</i> (Holmsk.) Olariaga | 空管核瑚菌 |
| <i>Trametes mimetes</i> (Wakef.) Ryvarden | 米梅栓菌 | <i>Typhula phacorrhiza</i> (Reichard) Fr. | 透根核瑚菌 |
| <i>Trametes neaniscus</i> Berk. | 黄褐栓菌 | <i>Typhula variabilis</i> Riess | 多变核瑚菌 |
| <i>Trechispora cohaerens</i> (Schwein.) Jülich & Stalpers | 联柄糙孢孔菌 | <i>Usnea diplotypa</i> Vain. | 双型松萝 |
| <i>Trechispora dimitica</i> Hallenb. | 二菌丝糙孢孔菌 | <i>Usnea flavocardia</i> Räsänen | 黄褐松萝 |
| <i>Trechispora praeformata</i> (Bourdot & Galzin) Liberta | 球孢糙孢孔菌 | <i>Vararia vassilievae</i> Parmasto | 娃氏叉丝革菌 |
| <i>Trechispora rigida</i> (Berk.) K. H. Larss. | 硬糙孢孔菌 | <i>Veluticeps ambigua</i> (Peck) Hjortstam & Tellería | 含糊绒柄革菌 |
| <i>Trechispora suberosa</i> H. S. Yuan & Y. C. Dai | 亚缺刻糙孢孔菌 | <i>Verrucospora flavofusca</i> (Henn.) Jülich | 黄褐疣孢伞 |
| <i>Tremella cerebriformis</i> Chee J. Chen | 脑形银耳 | <i>Volvariella surrecta</i> (Knapp) Singer | 立起小包脚菇 |
| <i>Tremella flava</i> Chee J. Chen | 金黄银耳 | <i>Waitea circinata</i> Warcup & P. H. B. Talbot | 旋卷似串担革菌 |
| <i>Tremella fuscosuccinea</i> Chee J. Chen | 琥珀银耳 | <i>Wrightoporia nigrolimitata</i> Jia J. Chen | 黑边赖特卧孔菌 |

附录2 (续) Appendix 2 (continued)

| 拉丁学名 | 汉语学名 | 拉丁学名 | 汉语学名 |
|---|----------|---|---------|
| <i>Wrightoporia pouzarii</i> A. David & Rajchenb. | 鲍扎尔赖特卧孔菌 | <i>Xylaria jiangsuensis</i> G. Huang & L. Guo | 江苏炭角菌 |
| <i>Wynnea sinensis</i> B. Liu, M. H. Liu & J. Z. Cao | 中国丛耳 | <i>Xylaria juruensis</i> Henn. | 茹鲁阿炭角菌 |
| <i>Xanthoconium separans</i> (Peck) Halling & Both | 裂管金孢牛肝菌 | <i>Xylaria leprosa</i> Speg. | 粗糙炭角菌 |
| <i>Xanthoparmelia coreana</i> (Gyeln.) Hale | 朝鲜黄梅 | <i>Xylaria melanaxis</i> Ces. | 黑轴炭角菌 |
| <i>Xenasma pruinosum</i> (Pat.) Donk | 粉侧担菌 | <i>Xylaria moelleroclavus</i> J. D. Rogers, Y. M. Ju & Hemmes | 棒炭角菌 |
| <i>Xenasma tulasnelloideum</i> (Höhn. & Litsch.) Donk | 涂氏侧担菌 | <i>Xylaria multiplex</i> (Kunze) Fr. | 簇炭角菌 |
| <i>Xenasmatella vaga</i> (Fr.) Stalpers | 不定形小侧担菌 | <i>Xylaria myosurus</i> Mont. | 松球炭角菌 |
| <i>Xerocomellus intermedius</i> (A. H. Sm. & Thiers) Svetash., Simonini & Vizzini | 间型小绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria ochraceostroma</i> Y. M. Ju & H. M. Hsieh | 赭子座炭角菌 |
| <i>Xerocomellus porosporus</i> (Imler ex Watling) Šutara | 孔孢小绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria papulis</i> Lloyd | 乳突炭角菌 |
| <i>Xerocomellus zelleri</i> (Murrill) Klofac | 泽勒小绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria papyrifera</i> (Link) Fr. | 纸质炭角菌 |
| <i>Xerocomus calocystides</i> (Corner) E. Horak | 美囊体绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria primorskensis</i> Y. M. Ju, H. M. Hsieh, Lar. N. Vassiljeva & Akulov | 普氏炭角菌 |
| <i>Xerocomus junghuhnii</i> (Höhn.) Singer | 容氏绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria regalis</i> Cooke | 庄严炭角菌 |
| <i>Xerocomus satisfactus</i> (Corner) E. Horak | 多褶绒盖牛肝菌 | <i>Xylaria schreuderiana</i> Van der Byl | 斯克德勒炭角菌 |
| <i>Xerotus fuliginosus</i> Berk. & M. A. Curtis | 烟煤干菌 | <i>Xylaria schwackei</i> Henn. | 施魏克炭角菌 |
| <i>Xerotus pusillus</i> Berk. & M. A. Curtis | 小干菌 | <i>Xylaria semiglobosa</i> G. Huang & L. Guo | 半圆炭角菌 |
| <i>Xylaria acuminatolongissima</i> Y. M. Ju & H. M. Hsieh | 长尖炭角菌 | <i>Xylaria sphaerica</i> G. Huang & L. Guo | 球炭角菌 |
| <i>Xylaria alboareolata</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 白纹炭角菌 | <i>Xylaria striata</i> Pat. | 具纹炭角菌 |
| <i>Xylaria apoda</i> (Berk. & Broome) J. D. Rogers & Y. M. Ju | 无柄炭角菌 | <i>Xylaria telfairii</i> (Berk.) Sacc. | 戴尔菲炭角菌 |
| <i>Xylaria atrodivaricata</i> Y. M. Ju & H. M. Hsieh | 变黑炭角菌 | <i>Xylaria wulaiensis</i> Y. M. Ju & Tzean | 乌兰炭角菌 |
| <i>Xylaria badia</i> Pat. | 褐炭角菌 | <i>Xylodon anmashanensis</i> (Yurchenko, H. X. Xiong & Sheng H. Wu) Riebesehl, Yurchenko & Langer | 鞍山山趋木齿菌 |
| <i>Xylaria bambusicola</i> Y. M. Ju & J. D. Rogers | 竹生炭角菌 | <i>Xylodon apacheriensis</i> (Gilb. & Canf.) Hjortstam & Ryvarde | 阿帕奇趋木齿菌 |
| <i>Xylaria cirrata</i> Pat. | 弯炭角菌 | <i>Xylodon echinatus</i> (Yurchenko & Sheng H. Wu) Riebesehl, Yurchenko & Langer | 刺趋木齿菌 |
| <i>Xylaria dichotoma</i> (Mont.) Mont. | 二叉炭角菌 | <i>Xylodon flaviporus</i> (Berk. & M. A. Curtis ex Cooke) Riebesehl & Langer | 浅黄趋木齿菌 |
| <i>Xylaria escharoidea</i> (Berk.) Sacc. | 污白炭角菌 | <i>Xylodon hallenbergii</i> (Sheng H. Wu) Hjortstam & Ryvarde | 哈氏趋木齿菌 |
| <i>Xylaria formosana</i> Y. M. Ju & Tzean | 台湾炭角菌 | <i>Xylodon heterocystidiatus</i> (H. X. Xiong, Y. C. Dai & Sheng H. Wu) Riebesehl, Yurchenko & Langer | 异囊趋木齿菌 |
| <i>Xylaria glebulosa</i> (Ces.) Y. M. Ju & J. D. Rogers | 产孢炭角菌 | <i>Xylodon nudisetus</i> (Warcup & P. H. B. Talbot) Hjortstam & Ryvarde | 裸趋木齿菌 |
| <i>Xylaria griseosepiacea</i> Y. M. Ju & H. M. Hsieh | 灰黑炭角菌 | <i>Xylodon ovisporus</i> (Corner) Riebesehl & Langer | 卵孢趋木齿菌 |
| <i>Xylaria hypoglossa</i> Speg. | 光底炭角菌 | <i>Xylodon subclavatus</i> (Yurchenko, H. X. Xiong & Sheng H. Wu) Riebesehl, Yurchenko & Langer | 亚棒趋木齿菌 |
| <i>Xylaria intracolorata</i> (J. D. Rogers, Callan & Samuels) J. D. Rogers & Y. M. Ju | 色心炭角菌 | <i>Xylodon taiwanianus</i> (Sheng H. Wu) Hjortstam & Ryvarde | 台湾趋木齿菌 |
| <i>Xylaria intraflava</i> Y. M. Ju & H. M. Hsieh | 黄肉炭角菌 | | |

附录3 《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》中菌物汉语学名修订
Appendix 3 Revised fungal Chinese names in *Red List of China's Biodiversity—Macrofungi*

| 拉丁学名 Scientific names | 原汉语学名 Original Chinese names | 修订名 Revised Chinese names | 修订说明 Revised notes |
|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| <i>Albatrellus citrinus</i> | 桔黄地花菌 | 橘黄地花菌 | 误用字订正 |
| <i>Entoloma placidum</i> | 温和粉褶蕈 | 怡人粉褶蕈 | 遵循优先律(2), 根据 <i>Rhodophyllum placidus</i> 怡人赤褶菇(中国科学院微生物研究所, 1986)组合 |
| Hemiphacidiaceae | 绿杯盘菌科 | 贫盘菌科 | 遵循优先律(1), 来自《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986) |
| <i>Ithyphallus rugulosus</i> | 皱白鬼笔 | 细皱白鬼笔 | 遵循优先律(2), 根据 <i>Phallus rugulosus</i> 细皱鬼笔(中国科学院微生物研究所, 1986)组合 |
| <i>Lactarius aurantiacus</i> | 桔色乳菇 | 橘色乳菇 | 误用字订正 |
| <i>Marasmius umboalbus</i> | 脐状白小皮伞 | 白凸小皮伞 | 遵循优先律(3), 来自《中国大型菌物资源图鉴》(李玉等, 2015) |
| <i>Matula</i> | 杯座菌属 | 杯座孢属 | 遵循优先律(1), 来自《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986) |
| <i>Matula poroniiforme</i> | 孔形杯座菌 | 孔形杯座孢 | 遵循优先律(1), 来自《真菌名词及名称》(中国科学院微生物研究所, 1986) |
| <i>Mycena citrinomarginata</i> | 桔色凹小菇 | 橘色凹小菇 | 误用字订正 |
| <i>Phallus aurantiacus</i> | 桔红鬼笔 | 橘红鬼笔 | 误用字订正 |
| <i>Phillipsia inaequalis</i> | 桔色歪盘菌 | 橘色歪盘菌 | 误用字订正 |
| <i>Picipes badius</i> | 黄褐黑斑根孔菌 | 褐黑斑根孔菌 | 遵循优先律(4), 根据 <i>Polyporus badius</i> 褐多孔菌(张东柱等, 1989)修订 |
| <i>Pleurotus badius</i> | 褐侧耳 | 栗褐侧耳 | 原拟定汉语学名已被 <i>Pleurotus australis</i> (孔祥辉等, 2008)使用, 重新拟定 |
| <i>Sidera lenis</i> | 晶星革菌 | 柔晶星革菌 | 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)第7条修订 |
| Steccherinaceae | 刺孢齿耳菌科 | 齿耳科 | 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)第5条和 <i>Steccherinum</i> 齿耳属(中国科学院微生物研究所, 1986)修订 |
| <i>Stropholoma aurantiacum</i> | 桔黄球盖菇 | 橘黄球盖菇 | 误用字订正 |
| <i>Termitomyces citriophyllus</i> | 桔褶蚁巢伞 | 橘褶蚁巢伞 | 误用字订正 |
| <i>Tricholoma aurantium</i> | 桔黄口蘑 | 橘黄口蘑 | 误用字订正 |
| <i>Ungulidaedalea fragilis</i> | 蹄迷孔菌 | 脆蹄迷孔菌 | 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)第7条修订 |
| <i>Urmula helvelloides</i> | 脚瓶盘菌 | 马鞍状脚瓶盘菌 | 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)第7条修订 |
| <i>Xanthoporia radiata</i> | 辐射状金黄卧孔菌 | 辐射金黄卧孔菌 | 根据《真菌、地衣汉语学名命名法规》(中国菌物学会, 1987)第11条修订 |

参考文献

- Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences (1986) A Glossary of Terms and Names of Fungi. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院微生物研究所 (1986) 真菌名词及名称. 科学出版社, 北京.]
- Kong XH, Zhang JC, Ma QF, Han ZH, Zhang PQ, Yang ZX (2008) Advances in the study of Ribonucleases proteins and peptides of mushrooms. *Journal of Fungal Research*, 6, 119–124. (in Chinese) [孔祥辉, 张介驰, 马庆芳, 韩增华, 张丕奇, 杨志兴 (2008) 蕈菌核糖核酸酶蛋白和肽的研究进展. *菌物研究*, 6, 119–124.]
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC (2015) Atlas of Chinese Macrofungal Resources. Central China Farmer's Publishing House, Zhengzhou. (in Chinese) [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. 中原农民出版社, 郑州.]
- Mycological Society of China (1987) Nomenclature Code of Fungal Chinese Names. *Acta Mycologica Sinica*, 6, 61–64. (in Chinese) [中国菌物学会 (1987) 真菌、地衣汉语学名命名法规. *真菌学报*, 6, 61–64.]
- Zhang DZ, Zhou WN, Wu ML, Wang YZ (1989) Macrofungi of Fushan. Agriculture Committee of the "Executivment", Taipei. (in Chinese) [张东柱, 周文能, 吴美丽, 王也珍 (1989) 福山大型真菌. "行政院"农业委员会, 台北.]



•综述•

物种分布模型在大型真菌红色名录评估及保护中的应用：以冬虫夏草为例

李 熠^{1,2} 唐志尧³ 闫昱晶^{3,4} 王 科^{2,5} 蔡 磊²
贺金生³ 古 松⁶ 姚一建^{2*}

1 (扬州大学食品科学与工程学院, 扬州, 江苏 225127)

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 (北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

4 (Center for Macroecology, Evolution and Climate, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Denmark)

5 (中国科学院大学, 北京 100049)

6 (南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要: 我国大型真菌资源丰富, 由于受气候变化和人类活动等的影响, 近年来很多物种受到不同程度的威胁, 亟待保护。红色名录评估是物种保护的第一步, 为有效保护我国大型真菌多样性, 2016年生态环境部和中国科学院联合启动中国大型真菌红色名录评估项目。合理的评估依赖于完善的物种地理分布、种群数量规模及其动态变化信息。大型真菌评估信息较少, 需要引入新的方法解决评估信息不足的问题。冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)是一种重要的食药菌, 具有较高的经济价值, 受到全世界的广泛关注, 评估信息相对充足, 此次被评为易危物种。利用物种分布模型对冬虫夏草未来分布区变化的预测在评估过程中发挥了重要作用。为了将物种分布模型分析方法引入大型真菌的受威胁等级评估, 本文以我们利用物种分布模型预测冬虫夏草的潜在分布区及其对气候变化响应的研究为例, 介绍了应用物种分布模型预测大型真菌的潜在分布区、未来气候变化情景下分布区变化趋势的方法和流程, 以及在应用中可能存在的问题和解决方案。通过本文的分析, 我们认为物种分布模型在大型真菌的红色名录评估和保护中具有重要的应用潜力, 值得推广应用。

关键词: 物种分布模型; 冬虫夏草; 真菌保护; 生物多样性

Incorporating species distribution model into the red list assessment and conservation of macrofungi: A case study with *Ophiocordyceps sinensis*

Yi Li^{1,2}, Zhiyao Tang³, Yujing Yan^{3,4}, Ke Wang^{2,5}, Lei Cai², Jinsheng He³, Song Gu⁶, Yijian Yao^{2*}

1 College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127

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

3 College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871

4 Center for Macroecology, Evolution and Climate, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Denmark

5 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

6 College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071

Abstract: China is rich in macrofungal biodiversity. However, many species have been threatened in recent years by human activity and climate change. Red list assessment is the first step towards species conservation. To protect this group of fungi, the Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China and the Chinese Academy of Sciences launched the Red List Assessment of Macrofungi in China in 2016. A reasonable assessment largely relies on the sufficient information of species' geographic information, population numbers and sizes and population dynamics, which is lacked in most of macrofungal species. It is

收稿日期: 2019-05-08; 接受日期: 2019-08-01

基金项目: 生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yaoyj@im.ac.cn

therefore necessary to employ new approaches to find and utilize more information for the assessment. Among the assessed species, *Ophiocordyceps sinensis*, which is an edible and medicinal fungus endemic to the Tibetan Plateau and its surrounding regions, has relatively abundant information. This species gained attention worldwide due to its obvious economic value and its importance to local societies. A species distribution modeling has also been an important component of its red list assessment. Here, we call on a previous study that aimed to predict the current potential distribution and to project the future distribution of *Ophiocordyceps sinensis*, and then we discuss how this modeling method can be employed in red list assessments to predict the current potential distribution and the range shifts of other macrofungal species in response to climate change. Challenges of using the model and possible solutions are also discussed. The species distribution modeling method is considered to have great potential for red list assessments and the subsequent conservation of macrofungi.

Key words: species distribution models; *Ophiocordyceps sinensis*; fungal conservation; biodiversity

1 中国大型真菌红色名录评估概况

2016年,原环境保护部和中国科学院联合启动中国大型真菌红色名录评估项目,2018年5月22日,《中国生物多样性红色名录——大型真菌卷》官方发布。该名录首次对我国已知的9,302个大型真菌物种的受威胁状况进行了评估,由于缺少评估信息,6,340个物种被评为数据不足(DD),占评估物种总数的68.16%(姚一建等,2020)。

冬虫夏草(*Ophiocordyceps sinensis*)是一种重要的珍稀食药菌,由真菌侵染鳞翅目蝙蝠蛾科部分昆虫(Wang & Yao, 2011)的地下幼虫形成,仅分布在我国青海、西藏、四川、云南、甘肃5省区,以及喜马拉雅山南麓尼泊尔、印度、不丹等国的部分地区(Li et al, 2011)。冬虫夏草的利用在青藏高原及周边国家和地区有着悠久的历史,是产区农牧民重要的经济收入来源,在维持青藏高原生态系统的稳定性方面发挥着重要作用。受全球气候变化和过度采挖等因素的影响,冬虫夏草的分布范围和产量近年来出现萎缩。采挖冬虫夏草带来的社会和生态问题(Sharma, 2004; Negi et al, 2006; Winkler et al, 2008; Cannon et al, 2009)以及气候变化对冬虫夏草的影响(Shrestha et al, 2014; Yan et al, 2017; Hopping et al, 2018)等近年来引起了国际社会的广泛关注。鉴于冬虫夏草的重要性及其在真菌生物资源保护研究中的代表性,为更好促进大型真菌整体的保护,有人提议将冬虫夏草作为真菌保护生物学研究的旗舰物种(Cannon, 2011),我国也有学者提议将其作为中国的国菌(Zhang et al, 2012)。

冬虫夏草是此次评估中评估信息较为充足的物种之一,物种分布模型(species distribution models, SDMs)分析在冬虫夏草受威胁等级评估中发挥了重要作用,提供了重要的数据信息。为促进大型真菌红色名录的评估和保护工作,本文以冬虫夏草为例,介绍了应用物种分布模型预测大型真菌潜在分布区以及未来气候变化情景下分布区变化趋势的程序和方法,以及应用中可能存在的问题及解决方案,探讨物种分布模型在大型真菌受威胁等级评估和物种保护中的应用潜力,为大型真菌红色名录的评估和保护提供参考。

2 物种分布模型与冬虫夏草红色名录评估

物种分布模型又称环境生态位模型(environmental niche models, ENMs)、生境适宜度模型(habitat suitability models, HSMs)、潜在生境分布模型(potential habitat distribution models, PHDMs)等(Guisan et al, 2013),主要依据物种现有的分布信息和环境变量数据,运用特定的算法建立二者之间的定量关系,估计物种生存所需的环境条件,包括温度、降水、土壤、植被等,进而模拟物种潜在的地理分布以及全球气候变化情景下物种分布区的变化等,是生态学、生物地理学、进化生物学、保护生物学中常用的研究方法。SDMs分析在冬虫夏草受威胁等级评估中提供的物种当前分布、气候变化情景下物种分布区的变化等信息,是此次评估的重要依据。

2.1 建模方法及过程

物种分布模型分析包括基础分布数据(occu-

rence data)的获取、环境变量(environmental variables)的选择和数据处理、模型选择和评价、未来气候情景(representative concentration pathways, RCPs)及扩散模式的选择、建模分析等几个阶段。Yan等(2017)对冬虫夏草物种分布模型分析方法及过程见图1, 相关代码已在网站https://github.com/salt paw/OS_distribution_modeling/上公布。

2.2 模型分析结果及其验证

模型结果包含了冬虫夏草的适生生境、潜在分布区及未来气候变化情景下冬虫夏草分布区的变化趋势, 并通过一系列方法对上述结果进行验证。Yan等(2017)对冬虫夏草物种分布的分析结果及验证方法见图2。

2.3 冬虫夏草受威胁等级评估

在此次中国大型真菌红色名录评估中, 冬虫夏草是评估信息相对充足的物种之一。其地理分布明确, 生物学特性研究较多, 大量研究人员及当地的农牧民积累了多年的种群动态变化信息。根据模型预测, 气候变化可能对冬虫夏草种群和分布产生较大影响(Yan et al, 2017)。除了气候变化, 过度采挖也是影响冬虫夏草产量和分布的重要因素(Hopping et al, 2018)。此外, 过度放牧、采挖活动(搭建帐篷、砍伐灌木、遗留不可降解生活垃圾)、基础设施建设

框图1: Yan等(2017)对冬虫夏草物种分布模型分析方法及过程:

1. 基础分布数据: Yan等(2017)共使用了分布于中国和尼泊尔境内的覆盖冬虫夏草不同分布区和生境类型的218条详细分布记录。
2. 环境变量的选择: Yan等(2017)从29个气候、植被、土壤变量中去除了共线性后选取了17个环境变量, 并将所有数据图层空间分辨率取30 s (近似1 km × 1 km)。
3. 模型分析方法和模型构建: Yan等(2017)利用分类树分析(classification tree analysis, CTA)、广义加性模型(generalized additive models, GAM)、广义线性模型(generalized linear models, GLM)、多元自适应样条回归(multivariate adaptive regression, MARS)、最大熵模型(maximum entropy, MaxEnt)、随机森林(random forest, RF) 6种算法构建了72个模型, 经模型优度比较后筛选出1种MaxEnt模型和3种RF模型构建组合模型(ensemble model, Araújo & New, 2007)进行最后的建模分析。
4. 未来气候变化情景选择: 根据对不同气候模型在青藏高原地区模拟效果的评估结果(Su et al, 2013), Yan等(2017)选择5个大气环流模型(general circulation models, GCMs)及其平均值对未来气候变化情景下冬虫夏草分布区的变化进行预测。未来气候变化情景取RCP2.6、RCP8.5两种极端碳排放假设, 预测的时间节点为2050年及2070年。

框图2: Yan等(2017)对冬虫夏草物种分布模型分析结果及其验证:

1. 模型分析结果表明最暖季降水(PWAQ)、最暖季均温(MTWQ)、最湿季降水(PWEQ)和草本植物覆盖度(HV)是影响冬虫夏草分布的主要环境因素, 适生生境类型包括高山草甸和亚高山灌丛, 适生地土壤类型为薄层土和冻土; 冬虫夏草当前潜在分布区包括我国青海、西藏、四川、云南、甘肃5省区以及喜马拉雅山脉南麓尼泊尔、印度、不丹以及缅甸的部分地区; 在零扩散情景(non-dispersal scenario)下, 冬虫夏草分布区在未来三、五十年内将萎缩36%–39%, 青藏高原边缘及低海拔地区将不再适合冬虫夏草生长。
2. 经检验, 模型预测的环境变量与分布点气象站实测数据接近; 模型预测出的潜在分布区与此前实地调查和文献记录一致(Li et al, 2011); 模型预测出的各个国家和中国五省区的分布比例与目前了解到的各产区的产量基本一致; 冬虫夏草分布的海拔范围以及各海拔梯度所占的比例也与实地调查结果接近。从以上4个角度可以说明模型分析的可靠性。

等人为因素也在不同程度上导致了冬虫夏草分布地生境的退化。根据IUCN红色名录评估标准中的A类标准, 如果物种的种群在过去或未来有所减少, 不管这种减少的趋势是来源于观测还是估计、推断或猜测的结果, 减少的幅度 $\geq 80\%$ 即可评为极危, $\geq 50\%$ 可评为濒危, $\geq 30\%$ 评为易危。在我们多年来对冬虫夏草产地的实地调查过程中, 不同产区的采集者均反映冬虫夏草单位面积的产量明显减少。通过模型预测, 冬虫夏草的分布区受气候变化的影响在未来三、五十年内可能萎缩36%–39% (Yan et al, 2017), 而这一影响是不可逆的。如果考虑所有可能的影响因素, 冬虫夏草分布区和种群的萎缩可能接近或超过50% (对应濒危等级)。鉴于冬虫夏草相对于同类真菌来说分布面积较广, 且生物量相对较大, 综合各因素考虑, 我们将其受威胁等级定为易危, 评估主要依据的标准为“A2acd + 3cd” (表1)。

3 模型分析的局限性及解决方案

3.1 分布数据

大量研究表明, SDMs分析在预测物种的生态位、潜在分布区以及未来气候变化情景下分布区的变化等方面可以提供重要参考信息。但在实际操作过程中, 模型预测结果的可靠性受分析方法、分布数据等诸多因素影响(Morán-Ordóñez et al, 2017)。分布数据是SDMs分析的基础, 建模所用的分布地点数据越多越准确, 对物种分布范围以及生境类型的覆盖越全面, 模型预测的结果越可靠。而错误的

分布记录,尤其是那些落到物种实际分布区外的分布点信息则可能导致预测结果出现严重偏差(Foody, 2011)。由于相关文献中冬虫夏草分布地点的记录往往不够精确,缺少必要的经纬度和海拔信息,部分文献中甚至出现由于物种鉴定错误或信息记录错误等原因导致的不可靠的分布记录(Li et al, 2011),比如部分海拔低于3,000 m的分布点(郝剑瑾等, 2009)等,因此我们在预测时主要采用了本研究组实地调查记录的分布点信息,以及少量经过确认的文献报道的分布点数据。对其他大型真菌来说,由于资源调查力度和基础研究的不足,大量物种的分布信息还很缺乏(李熠等, 2020),SDMs分析在一定程度上还需要依赖文献或标本记录。文献记录、馆藏标本以及其他来源的分布数据中可能存在的错误一方面可以通过模型分析等方法剔除(Aggarwal, 2013; Liu et al, 2018),另一方面分类学家也可以参与对数据质量的把控。利用SDMs分析尽管在一定程度上可以降低红色名录评估中对物种分布和种群动态变化数据的依赖,但目前对绝大多数真菌物种来说,已有的分布数据还不足以进行SDMs分析,未来还需要加强大型真菌的调查和监测研究。对标本馆藏标本的系统整理、鉴定和信息化也是获得更多物种分布数据的有效途径。

3.2 模型预测的准确性及结果的合理解释和运用

除了受基础分布数据的影响,模型选择、建模方法等诸多因素也会影响模型预测的可靠性。由于模型分析未能考虑生物间的相互作用等因素,模型预测出的分布范围和面积在大多数情况下比实际的分布范围更广(overestimation, Pineda & Lobo, 2009)。在冬虫夏草的建模分析过程中,我们得到的物种当前潜在分布除了文献报道的地点外,还有多达64个县是无调查记录和文献报道数据支持的,这其中除了极个别地点需要进一步调查以外,其余大部分特别是远离青藏高原的地点以及海拔低于3,000 m的地区是不大可能有冬虫夏草分布的(Li et al, 2011; Yan et al, 2017)。预测出的冬虫夏草适生区总面积 $3.54 \times 10^5 \text{ km}^2$ 可能远大于实际的分布面积,模型预测的结果应当审慎采用。尽管物种的分布范围和分布面积在SDMs分析中可能会或多或少地被高估,但模型预测提供的种群和分布区变化幅度等信息在物种受威胁等级评估中仍可发挥重要作用,尤其是在大型真菌评估信息缺乏且难以获取的情

况下,SDMs分析提供的分布区和种群变化信息显得尤为重要。

要获得相对可靠的预测结果,减少模型的高估,除了分布数据的准确性和覆盖度外,模型的选择、建模分析方法等也很重要。模型的选择是SDMs分析的核心,不同的模型可能产生差异极大的结果。自SDMs分析方法建立以来,已有多种不同的模型被开发和应用(许仲林等, 2015),建模分析过程中对不同模型的评价是必不可少的,ROC (receiver operating characteristic)和TSS (true skill statistic)值检测是模型检验的常用方法(Hanley & McNeil, 1982; Allouche et al, 2006)。除此之外,采用机器学习算法(machine-learning algorithms)以及组合模型(ensemble/ consensus model)也是提高预测结果准确性的有效方式(Marmion et al, 2009; Kindt, 2018)。Shrestha和Bawa (2014)曾经采用单一模型最大熵模型对气候变化情景下尼泊尔冬虫夏草产地的变化进行预测,其结果与采用组合模型预测的结果(Yan et al, 2017; Hopping et al, 2018)存在显著差异,前者的预测结果与实地观测以及采挖人员的长期经验明显不符,产生这种差异的原因,除了所用分布数据不同外,模型选择也是重要的影响因素。

物种分布模型对物种适生地及其变化的预测通常仅考虑环境因子,而忽略物种相互作用、物种的迁移扩散能力、物种适应新环境的能力等其他影响物种分布的重要因素(李国庆等, 2013)。腐生的真菌受物种相互作用的影响可能小于寄生和共生真菌,对温度、水分等环境条件要求较高的物种适应新环境的能力更弱,而大型真菌的迁移扩散能力往往跟孢子的扩散方式相关。对冬虫夏草来说,尽管其菌丝体可以在土壤中存活,但其有性生殖需要寄主的参与。冬虫夏草的寄主很多都是狭域分布物种(Wang & Yao, 2011),迁移能力有限,这在很大程度上会影响物种的扩散和适应新环境的能力。因此,我们在冬虫夏草的研究中倾向于采用零扩散假设(non-dispersal scenario),将预测出的新增分布区视为无效分布区,预测的丧失面积即为净丧失面积(Yan et al, 2017)。目前尽管还没有有效方法对物种的相互作用与物种迁移扩散能力之间的关系进行研究,但在应用SDMs预测结果对大型真菌进行受威胁等级评估时,应根据实际情况选择零扩散、不受限扩散、有限扩散等不同的假设。

表1 冬虫夏草评估信息表

Table 1 Assessment information of *Ophiocordyceps sinensis*

| 分类地位 Taxonomy | | | | |
|---|---|----------------------|------------------|---------------------------|
| 界 Kingdom | 门 Phylum | 纲 Class | 目 Order | 科 Family |
| 真菌界 Fungi | 子囊菌门 Ascomycota | 座囊菌纲 Sordariomycetes | 肉座菌目 Hypocreales | 线虫草科 Ophiocordycipitaceae |
| 学名 Scientific name | <i>Ophiocordyceps sinensis</i> | | | |
| 中文名 Chinese name | 冬虫夏草 | | | |
| 命名人 Species authority | (Berk.) G.H. Sung, J.M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora | | | |
| 分类备注 Taxonomic notes | ≡ <i>Cordyceps sinensis</i> (Berk.) Sacc. ≡ <i>Sphaeria sinensis</i> Berk. 无性型名称 <i>Hirsutella sinensis</i> X.J. Liu, Y.L. Guo, Y.X. Yu & W. Zeng anamorph: <i>Hirsutella sinensis</i> X.J. Liu, Y.L. Guo, Y.X. Yu & W. Zeng | | | |
| 评估信息 Assessment information | | | | |
| 红色名录等级及标准 Red list category & criteria | 易危 Vulnerable (VU), A2acd + 3cd | | | |
| 评估年份 Year published | 2016 | | | |
| 评估日期 Date assessed | 2016/9/27 | | | |
| 评定人 Assessor(s) | 庄文颖, 李熠 Wen-Ying Zhuang, Yi Li | | | |
| 审定人 Reviewer(s) | 吴兴亮, 李春如 Xing-Liang Wu, Chun-Ru Li | | | |
| 描述 Justification | <p>相对于其他虫草类真菌, 冬虫夏草分布范围较广、种群密度和生物量更高, 由于受到人类过度采挖的影响, 其种群密度明显下降, 气候变化也影响了其分布范围。根据模型预测的结果, 气候变化导致的冬虫夏草分布区的丧失在未来的三、五十年内可能达到30%以上。</p> <p><i>Ophiocordyceps sinensis</i> has a wider distribution, higher population density and biomass comparing with other <i>Cordyceps</i> s. l. species. The population density was observed to decline due to over-harvesting, and its distribution was also reported to be affected by climate change. According to a study with species distribution modeling, over 30% of its current habitats will be lost in the next 30 to 50 years in response to future climate change.</p> | | | |
| 地理分布 Geographic range | | | | |
| 分布区 Range description | 甘肃、青海、四川、云南、西藏 Gansu, Qinghai, Sichuan, Yunnan, Tibet | | | |
| 分布国家 Countries occurrence | 中国、尼泊尔、印度、不丹 China, Nepal, India, Bhutan | | | |
| 分布图 Range map | | | | |
| 种群 Population | | | | |
| 种群数量 Population size | | | | |
| 种群趋势 Current population trend | 衰退 Decreasing | | | |
| 附件信息 Additional data | | | | |
| 生境 Habitat | | | | |
| 生境 Habitat | 高寒草甸、高山灌丛 Alpine meadow, alpine shrub | | | |
| 生态系统 Ecosystems | | | | |
| 世代年限 Generation length (years) | | | | |
| 商业用途 Use and trade | | | | |
| 商业用途 Use and trade | 珍稀食药食用菌 A precious edible and medicinal fungus | | | |
| 威胁因子 Threats | | | | |
| 主要威胁因子 Major threat (s) | 气候变化、过度采挖 Climate change and over harvesting | | | |
| 保护行动 Conservation actions | | | | |
| 保护行动 Conservation actions | <p>该物种1999年被原林业部和农业部列为国家二级保护物种, 其分布地部分被保护区覆盖。建议对物种的种群动态进行监测, 选择合适的地点建立保护地, 采取必要的保护措施, 尤其是防止过度采挖利用, 减少采挖活动对其生境的影响。</p> <p><i>Ophiocordyceps sinensis</i> has been listed as endangered species under the Chinese Second Class of State Protection by the State Forestry Administration and Ministry of Agriculture since 1999. Part of its distribution areas is now covered by nature reserves. Suggested conservation actions include monitoring the bacterial population dynamics, selecting suitable distribution sites as natural reserves, developing essential protection measures to reduce the influence of collecting activity to its natural habitats, especially to prevent over-harvesting.</p> | | | |

3.3 其他因素

SDMs分析结果仅能反映气候变化对物种的影响, 人类活动导致的种群退化目前还无法通过SDMs进行有效评估。对冬虫夏草来说, 过度采挖、过度放牧导致的栖息地质量退化对冬虫夏草的种群和分布也有一定的影响(Yan et al, 2017; Hopping et al, 2018)。大型真菌的生存状况与栖息地的质量密切相关, 我国有使用食药真菌的传统, 很多物种长期以来被过度采挖, 不科学的采挖方式也影响了物种的繁殖和种群的稳定。建立监测点, 对重要物种进行长期监测是了解人类活动对大型真菌影响的重要途径。

4 物种分布模型在大型真菌中的应用展望

冬虫夏草的SDMs分析实践表明, 在确保物种分布数据的准确性和覆盖度的前提下, 完全可以在大型真菌中推广使用SDMs, 为大型真菌受威胁等级评估和物种保护研究提供有价值的信息。尽管SDMs分析在实际应用中还存在各种问题(Araújo & Guisan, 2006), 但其在确立物种的生态位、适生地预测、适生地未来变化趋势等方面有着不可替代的作用。在动植物中, SDMs被广泛应用于物种潜在分布区的预测(崔绍朋等, 2018; 李灿等, 2018)、气候变化情景下物种分布区的变化(Barrows et al, 2010; Liu et al, 2014; Luo et al, 2015)、受威胁物种的保护和管理(张先锋等, 1994)等。在真菌中, 类似的研究报道还很少, 目前仅见于冬虫夏草(Shrestha & Bawa, 2014; Yan et al, 2017; Hopping et al, 2018)和猪苓(*Polyporus umbellatus*, 刘蒙蒙等, 2014; Guo et al, 2019)和松口蘑(*Tricholoma matsutake*, Guo et al, 2017)等少数几个物种。随着国家对大型真菌保护的重视, 以及SDMs分析方法的不断完善, 相信SDMs在大型真菌保护中会有越来越广泛的应用, SDMs分析方法在大型真菌受威胁等级评估、灭绝风险评估、生物多样性保护、优先保护区确立等方面将会有更多的研究报道。除此之外, SDMs分析结果结合物种的多样性分布分析还可以对物种未来的多样性分布格局进行预测, 为保护区的选址、保护策略的制定提供参考。SDMs分析结果结合物种种群密度及其动态变化的实地监测结果还有助于我们了解大型真菌的资源储量, 实现大型真菌资源的合理利用。

参考文献

- Aggarwal CC (2013) *Outlier Analysis*. Springer, New York.
- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R (2006) Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43, 1223–1232.
- Araújo MB, Guisan A (2006) Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33, 1677–1688.
- Araújo MB, New M (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 42–47.
- Barrows CW, Rotenberry JT, Allen MF (2010) Assessing sensitivity to climate change and drought variability of a sand dune endemic lizard. *Biological Conservation*, 143, 731–736.
- Cannon PF (2011) The caterpillar fungus, a flagship species for conservation of fungi. *Fungal Conservation*, 1, 35–39.
- Cannon PF, Hywel-Jones NL, Maczey N, Norbu L, Tshitila, Samdup T, Lhendup P (2009) Steps towards sustainable harvest of *Ophiocordyceps sinensis* in Bhutan. *Biodiversity and Conservation*, 18, 2263–2281.
- Cui SP, Luo X, Li CW, Hu HJ, Jiang ZG (2018) Predicting the potential distribution of white-lipped deer using the MaxEnt model. *Biodiversity Science*, 26, 171–176. (in Chinese with English abstract) [崔绍朋, 罗晓, 李春旺, 胡慧建, 蒋志刚 (2018) 基于MaxEnt模型预测白唇鹿的潜在分布区. *生物多样性*, 26, 171–176.]
- Foody GM (2011) Impacts of imperfect reference data on the apparent accuracy of species presence-absence models and their predictions. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 498–508.
- Guisan A, Tingley R, Baumgartner JB, Naujokaitis-Lewis I, Sutcliffe PR, Tulloch AI, Regan TJ, Brotons L, McDonald-Madden E, Mantyka-Pringle C, Martin TG, Rhodes JR, Maggini R, Setterfield SA, Elith J, Schwartz MW, Wintle BA, Broennimann O, Austin M, Ferrier S, Kearney MR, Possingham HP, Buckley YM (2013) Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, 16, 1424–1435.
- Guo YL, Li X, Zhao ZF, Wei HY, Gao B, Gu W (2017) Prediction of the potential geographic distribution of the ectomycorrhizal mushroom *Tricholoma matsutake* under multiple climate change scenarios. *Scientific Reports*, 7, 46221.
- Guo YL, Li X, Zhao ZF, Nawaz Z (2019) Predicting the impacts of climate change, soils and vegetation types on the geographic distribution of *Polyporus umbellatus* in China. *Science of the Total Environment*, 648, 1–11.
- Hanley JA, McNeil BJ (1982) The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve.

- Radiology, 143, 29–36.
- Hao JJ, Cheng Z, Liang HH, Yang XL, Li S, Zhou TS, Zhang WJ, Chen JK (2009) Genetic differentiation and distributing pattern of *Cordyceps sinensis* in China revealed by rDNA ITS sequences. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 40, 112–116. (in Chinese with English abstract) [郝剑瑾, 程舟, 梁洪卉, 杨晓伶, 李珊, 周铜水, 张文驹, 陈家宽 (2009) 基于rDNA ITS序列探讨我国冬虫夏草的遗传分化及分布格局. 中草药, 40, 112–116.]
- Hopping KA, Chignell SM, Lambin EF (2018) The demise of caterpillar fungus in the Himalayan region due to climate change and overharvesting. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 115, 11489–11494.
- Kindt R (2018) Ensemble species distribution modelling with transformed suitability values. Environmental Modelling & Software, 100, 136–145.
- Li C, Liu XA, Wang J, Peng PH, Shao HY, Xian W (2018) Potential distribution and habitat suitability assessment of *Taxus chinensis* based on MaxEnt in Sichuan Province. Forest Inventory and Planning, 43(1), 22–29. (in Chinese with English abstract) [李灿, 刘贤安, 王娟, 彭培好, 邵怀勇, 仙巍 (2018) 基于MaxEnt模型的四川省红豆杉潜在分布区分析及适宜性评价. 林业调查规划, 43(1), 22–29.]
- Li GQ, Liu CC, Liu YG, Yang J, Zhang XS, Guo K (2013) Advances in theoretical issues of species distribution models. Acta Ecologica Sinica, 33, 4827–4835. (in Chinese with English abstract) [李国庆, 刘长成, 刘玉国, 杨军, 张新时, 郭柯 (2013) 物种分布模型理论研究进展. 生态学报, 33, 4827–4835.]
- Li Y, Wang XL, Jiao L, Jiang Y, Li H, Jiang SP, Lhosumtseiring N, Fu SZ, Dong CH, Zhan Y, Yao YJ (2011) A survey of the geographic distribution of *Ophiocordyceps sinensis*. The Journal of Microbiology, 49, 913–919.
- Li Y, Liu DM, Wang K, Wu HJ, Cai L, Cai L, Li JS, Yao YJ (2020) Red list assessment of macrofungi in China: Challenges and measures. Biodiversity Science, 28, 66–73. (in Chinese with English abstract) [李熠, 刘冬梅, 王科, 吴海军, 蔡蕾, 蔡磊, 李俊生, 姚一建 (2020) 中国大型真菌红色名录评估中存在的问题及今后的对策. 生物多样性, 28, 66–73.]
- Liu C, White M, Newell G (2018) Detecting outliers in species distribution data. Journal of Biogeography, 45, 164–176.
- Liu MM, Xing YM, Guo SX (2015) Habitat suitability assessment of medicinal *Polyporus umbellatus* in China based on MaxEnt modeling. China Journal of Chinese Materia Medica, 40, 2792–2795. (in Chinese with English abstract) [刘蒙蒙, 邢咏梅, 郭顺星 (2015) 基于MaxEnt生态位模型预测药用真菌猪苓在中国潜在适生区. 中国中药杂志, 40, 2792–2795.]
- Liu YP, Yu DY, Xun B, Sun Y, Hao RF (2014) The potential effects of climate change on the distribution and productivity of *Cunninghamia lanceolata* in China. Environmental Monitoring and Assessment, 186, 135–149.
- Luo ZH, Zhou SR, Yu WD, Yu HL, Yang JY, Tian YH, Zhao M, Wu H (2015) Impacts of climate change on the distribution of Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in Shennongjia area, China. American Journal of Primatology, 77, 135–151.
- Marmion M, Parviainen M, Luoto M, Heikkinen RK, Thuiller W (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. Diversity and Distributions, 15, 59–69.
- Morán-Ordóñez A, Lahoz-Monfort JJ, Elith J, Wintle BA (2017) Evaluating 318 continental-scale species distribution models over a 60-year prediction horizon: What factors influence the reliability of predictions? Global Ecology and Biogeography, 26, 371–384.
- Negi CS, Koranga PR, Ghinga HS (2006) Yar tsa Gumba (*Cordyceps sinensis*): A call for its sustainable exploitation. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 13, 165–172.
- Pineda E, Lobo JM (2009) Assessing the accuracy of species distribution models to predict amphibian species richness patterns. Journal of Animal Ecology, 78, 182–190.
- Sharma S (2004) Trade of *Cordyceps sinensis* from high altitudes of the Indian Himalaya: Conservation and biotechnological priorities. Current Science, 86, 1614–1619.
- Shrestha UB, Bawa KS (2014) Impact of climate change on potential distribution of Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in Nepal Himalaya. PLoS ONE, 9, e106405.
- Su F, Duan X, Chen D, Hao Z, Cuo L (2013) Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. Journal of Climate, 26, 3187–3208.
- Wang XL, Yao YJ (2011) Host insect species of *Ophiocordyceps sinensis*: A review. ZooKeys, 127, 43–59.
- Winkler D (2008) Yartsa Gunbu (*Cordyceps sinensis*) and the fungal commodification of Tibet's rural economy. Economic Botany, 62, 291–306.
- Xu ZL, Peng HH, Peng SZ (2015) The development and evaluation of species distribution models. Acta Ecologica Sinica, 35, 557–567. (in Chinese with English abstract) [许仲林, 彭焕华, 彭守璋 (2015) 物种分布模型的发展及评价方法. 生态学报, 35, 557–567.]
- Yan YJ, Li Y, Wang WJ, He JS, Yang RH, Wu HJ, Wang XL, Jiao L, Tang ZY, Yao YJ (2017) Range shifts in response to climate change of *Ophiocordyceps sinensis*, a fungus endemic to the Tibetan Plateau. Biological Conservation, 206, 143–150.
- Yao YJ, Wei JC, Zhuang WY, Cai L, Liu DM, Li JS, Wei TZ, Li Y, Wang K, Wu HJ (2020) Development of red list assessment of macrofungi in China. Biodiversity Science,

28, 4–10. (in Chinese with English abstract) [姚一建, 魏江春, 庄文颖, 蔡蕾, 刘冬梅, 李俊生, 魏铁铮, 李熠, 王科, 吴海军 (2020) 中国大型真菌红色名录评估研究进展. 生物多样性, 28, 4–10.]

Zhang XF, Wang D, Wang KX (1994) VORTEX model and its application on the management of Chinese river dolphin (*Lipotes vexillifer*) population. *Chinese Biodiversity*, 2, 133–139. (in Chinese with English abstract) [张先锋, 王丁,

王克雄 (1994) 漩涡模型及其在白暨豚种群管理中的应用. 生物多样性, 2, 133–139.]

Zhang YJ, Li EW, Wang CS, Li YL, Liu XZ (2012) *Ophiocordyceps sinensis*, the flagship fungus of China: Terminology, life strategy and ecology. *Mycology*, 3, 2–10.

(责任编辑: 郭良栋 责任编辑: 黄祥忠)