•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价值, 与人类生活息息相关。我国是食药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 odoratus*)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,没有深入的分类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类学专家,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类学特征不明显,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)