•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

Wenying 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 and 信息的整理、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
座囊菌纲 Dothideomycetes											
未定目 Incertae sedis	未定科 Incertae sedis	小碗菌属 <i>Catinella</i>	1								1
胶皿菌目 Patellariales	胶皿菌科 Patellariaceae	皱裂菌属 <i>Rhytidhysteron</i>	3								3
		卷边盘菌属 <i>Trybliidiella</i>	2								2
格孢腔菌目 Pleosporales	竹黄科 Shiraiaceae	竹黄属 <i>Shiraia</i>	1						1		
地舌菌纲 Geoglossomycetes											
地舌菌目 Geoglossales	地舌菌科 Geoglossaceae	地舌菌属 <i>Geoglossum</i>	13				1		1		4 7
		小舌菌属 <i>Microglossum</i>	7							1	2 4
		假地杖菌属 <i>Nothomitra</i>	1							1	
		肉锤菌属 <i>Sarcoleotia</i>	1							1	
		毛舌菌属 <i>Trichoglossum</i>	17				5	2			5 5
锤舌菌纲 Leotiomyces											
柔膜菌目 Helotiales	绿杯盘菌科 Chlorociboriaceae	绿杯盘菌属 <i>Chlorociboria</i>	3								2 1
	皮盘菌科 Dermateaceae	绿盘菌属 <i>Chlorosplenium</i>	2								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.								
				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
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						
			白舌菌属 <i>Leucoglossum</i>								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 Neoelectomycetes												
无丝盘菌目 Neoelectales	无丝盘菌科 Neoelectaceae	无丝盘菌属 <i>Neoelecta</i>	2								1	1

表 1 (续) Table 1 (continued)

评估类群 Fungal groups evaluated			物种数 Species	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>Rhodoscypha</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 Rhizinaceae	根盘菌属 <i>Rhizina</i>	1								1	
	肉杯菌科 Sarcoscyphaceae	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	
		炭角菌科 Xylariaceae										
	炭角菌目 Xylariales	炭角菌科 Xylariaceae	轮层炭壳属 <i>Daldinia</i>	11							1	10
			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(Least 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	
古巴散胞盘菌 <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,素乱毛舌菌(*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 huidongense*)、

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, Lhosumtseirang 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)