•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两用种类。迄今为止, 国内已报道的野生食药两用大型担子菌超过1,600种, 占我国全部大型食药两用真菌的约93% (Fang et al, 2018), 食药两用菌产业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。

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 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

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 Gasterosporiaceae	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 Sebacinales	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 Phragmoxenidiaceae	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 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 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 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. wutai-shanensis*)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 tomentosivolv*)、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, 子实体形态上易与假松口蘑(*Tricholoma bakamatsutake*)相混淆, 但假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, Hjorstad 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)