

世界大型真菌分类系统及信息平台 <http://www.nmdc.cn/macrofungi/> 上线

贺茂强¹, 朱新宇¹, 李泰辉², 崔宝凯³, 王科⁴, 图力古尔⁵, 赵瑞琳^{1,6*}

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 广东省科学院微生物研究所 华南应用微生物国家重点实验室 广东省菌种保藏与应用重点实验室, 广东 广州 510070

3 北京林业大学生态与自然保护学院微生物研究所, 北京 100083

4 中国科学院微生物研究所菌物标本馆, 北京 100101

5 吉林农业大学菌物研究所, 吉林 长春 130118

6 中国科学院大学生命科学学院, 北京 101408

摘要: 真菌是真核生物中除植物和动物的第三类生物, 其中拥有肉眼可辨识的大型子实体的真菌被泛称为大型真菌, 即人们所熟知的蕈菌、蘑菇。分类学上大多数物种来自担子菌门, 少数来自子囊菌门。随着分子系统发育研究的开展, 真菌分类学获得了巨大的进步, 同时随着类群间进化关系认识的不断深入, 近年来真菌分类系统经历了大量的调整, 不断推陈出新, 这让使用者难以把握。近期结合分子系统学研究的最新进展, 担子菌门及子囊菌门的分类系统得以修订, 为了方便广大研究者对大型真菌分类系统的需求, 在中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室、中国科学院微生物研究所菌物标本馆、中国菌物学会、中国菌物标本馆联盟的支持下, 结合相关研究成果, 世界大型真菌分类系统及信息平台上线。该平台提供了完整的大型真菌分类系统及相关分类信息, 并在广泛的国内外合作基础上, 实现定期更新。这将满足不同领域的研究者对相关信息的需求, 并为研究者提供学术交流平台, 有力促进大型真菌分类系统的稳定性和前沿性。

关键词: 蘑菇; 蕈菌; 分类系统; 分类信息检索

[引用本文] 贺茂强, 朱新宇, 李泰辉, 崔宝凯, 王科, 图力古尔, 赵瑞琳, 2022. 世界大型真菌分类系统及信息平台 <http://www.nmdc.cn/macrofungi/> 上线. 菌物学报, 41(6): 899-905

He MQ, Zhu XY, Li TH, Cui BK, Wang K, Bau Tolgor, Zhao RL, 2022. Macrofungal classification system and information platform <http://www.nmdc.cn/macrofungi/> is launched. Mycosystema, 41(6): 899-905

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0400200); 国家自然科学基金(31961143010, 31970010, 31470152); 生态环境部生物多样性调查、观测与评估项目(2019HB2096001006)

Supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0400200), the National Natural Science Foundation of China (31961143010, 31970010, 31470152), and Biodiversity Survey and Assessment Project of the Ministry of Ecology and Environment, China (2019HB2096001006).

*Corresponding author. E-mail: zhaorl@im.ac.cn

ORCID: ZHAO Ruilin (0000-0001-8129-9339)

Received: 2019-08-30, accepted: 2021-09-29

Macrofungal classification system and information platform <http://www.nmdc.cn/macrofungi/> is launched

HE Maoqiang¹, ZHU Xinyu¹, LI Taihui², CUI Baokai³, WANG Ke⁴, BAU Tolgor⁵, ZHAO Ruilin^{1,6*}

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

2 Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, State Key Laboratory of Applied Microbiology Southern China, Institute of Microbiology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, Guangdong, China

3 Institute of Microbiology, School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 Herbarium Mycologicum Academiae Sinicae, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

5 Institute of Mycology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

6 College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China

Abstract: Fungi are one of the three main organisms in eukaryote (Fungi, Plantae and Animalia). Fungi with large fruiting bodies visible to the naked eyes and hand-pickable were commonly known as mushrooms and toadstools. Taxonomically, most of the macrofungi are of Basidiomycota and a few Ascomycota. In the past decades, development of molecular analyses and phylogeny promote great progress in fungal taxonomy and the evolutionary relationships of fungal taxa are more perfectly known than before. Thus, the taxonomic systems of macrofungi are changed accordingly, greatly, and updated constantly. However, these changes make difficulties for public users who are interested in macrofungi. To meet the public demands, we revised the taxonomic system of macrofungi based on our recent results of research on molecular phylogeny and taxonomy, and establish the Macrofungi Classification System and Information Platform. This platform is supported from State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Herbarium Mycologicum Academiae Sinicae, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Mycological Society of China, and Fungarium Union of China. This platform provides a comprehensive taxonomic system and information on macrofungi, and will be updated periodically with domestic and international mycologist's cooperation, to meet the requirements of related researchers.

Keywords: mushrooms; toadstools; classification system; taxonomic outline

1 大型真菌概述

真菌是真核生物中除植物和动物外的第三类生物,其中拥有肉眼可辨识的大型子实体的真菌被泛称为大型真菌,包括人们熟知的蕈菌、蘑菇等。分类学上大多数物种来自于担子菌门,少数来自子囊菌门。在自然生态系统中,大型真菌和其他大部分真菌一样,营寄生、腐生和共生生

活,此外许多大型真菌具有突出的降解木质纤维素的能力,所以在全球物质循环,尤其是碳元素循环中具有不可替代的关键作用。从生物演化的角度而言,真菌是地球陆地生物演化的驱动者(Gan *et al.* 2021)。最早的陆生植物通过和真菌建立共生关系,在真菌的帮助下从贫瘠的陆地获取水分和养分,实现水生走向陆生。就目前现有的陆生植物中,约80%的陆生植物都存在菌根菌,

这些菌根菌帮助植物吸收养分、抵抗逆境及病原体(Landeweert *et al.* 2001)。除了肉眼可见的大型子实体外,在每一片森林地表之下,它们的菌丝构成了复杂树际联系网络,使不同植物和真菌之间相互沟通,从而使森林成为庞大的超级生物体,孕育了陆地丰富的生物多样性。

在生活中,大型真菌和我们的经济活动关系密切。人类对大型真菌拥有悠久的食药利用历史。在我国,早在2000年前东汉的《神农本草经》中就已把灵芝、茯苓列为上药。现今食用菌产业已成为我国农业发展最迅速的产业,自2014年起成为仅次于粮、油、果、蔬的第五大类农产品。真菌也被喻为天然的化学工厂,随着大型真菌相关研究的深入,大量的物种及新功效成分不断发现,已成为药物及保健品研发的创新动力之一。尤其是生物化学、酶工程和基因工程的发展,使大型真菌在食品、医药等方面的开发利用呈现出了全新的面貌,在现代大健康产业中展现出广阔的发展前景。除食药食用菌外,毒蘑菇亦是大型真菌中不可忽视的重要部分。毒蘑菇种类繁多,中国记录的有480余种(Wu *et al.* 2019)。我国每年都有因误食毒蘑菇中毒的报道,并且毒蘑菇中毒是食物中毒死亡的主要原因(Chen *et al.* 2014)。毒蘑菇所含的毒素多样,除了引起人中毒反应外,深入研究表明一些毒素可用于治疗癌症和精神疾病等。例如利用奥来毒素治疗肾癌,利用裸盖菇素治疗抑郁症等(Buvall *et al.* 2017; Davis *et al.* 2021)。

2 建立较为统一和完整的大型真菌分类系统的必要性

人类对真菌资源的认识还非常欠缺。全球真菌估计有220–380万种,然而被描述的只有约15万种,其中包括约4万种的大型真菌(Hawksworth & Lücking 2017; Willis 2018; He *et al.* 2019)。近期对真菌、鸟类、哺乳动物、甲

虫和植物等7个主要真核生物类群描述率进行了统计分析,其中真菌是最低的,仅为3%–6%(Wang *et al.* 2020)。因此加快真菌资源的认识和相关学科的发展显得更为紧迫和艰巨,而构建更为稳定、完整和趋于自然的分类系统是上述工作的必要基础。

在真菌学家的不懈努力下,随着分子系统发育研究的普及,真菌分类学获得了巨大的进步,具体表现在近年来大量新分类单元的发表。就绝大多数大型真菌所在的担子菌门而言,近十年来,已新认定1个亚门Wallemiomycotina;发表2个新纲Malasseziomycetes和Moniliellomycetes;9个新目Holtermanniales、Trichosporonales、Golubeviales、Robbauerales、Unilacrymales、Amylocorticiales、Jaapiales、Stereopsidales和Lepidostromatales;63个新科;438个新属(Fell *et al.* 2000; Binder *et al.* 2010; Wuczkowski *et al.* 2011; Shirouzu *et al.* 2013; Hodkinson *et al.* 2014; Sjökvist *et al.* 2014; Wang *et al.* 2014, 2015; Zhao *et al.* 2017; He *et al.* 2019)。同时随着对类群间进化关系认识的不断深入,真菌分类系统经历了大量的调整,不断推陈出新,这让使用者难以把握。同时相同类群却拥有不同分类系统的问题也很普遍(Justo *et al.* 2017; Hapuarachchi *et al.* 2019)。分类系统的不稳定给名称使用者及资源的开发利用者带来极大的困扰。

近五年来,Zhao *et al.* (2017)在构建担子菌门多基因和基因组的系统发育图谱、担子菌门分子钟分析基础上,结合担子菌门所有属的分类信息梳理,联合国内外65位真菌学家,修订了担子菌门完整的分类系统,提供了担子菌门从亚门到所有属的详细分类系统(He *et al.* 2019; 戴玉成等 2021; 王科等 2021)。而子囊菌门自从1986年就开始构建整个门的分类系统(Eriksson 1986),随着研究的深入,分类系统保持持续更新(Eriksson 1986, 1991, 1998; Eriksson & Winka

1997; Eriksson *et al.* 2003, 2004), 这为稳定类群
的分类系统起到了积极的作用。目前以真菌系统
进化研究为基础的相关分类系统已初步完成
(Wijayawardene *et al.* 2020)。

3 大型真菌分类系统及信息平台 上线

为了满足广大研究者对大型真菌分类系统
的需求,以及提供较为稳定、完整的大型真菌
分类系统工作平台,上述研究成果在中国科学
院微生物研究所大数据中心的网络技术支持
下,建成了世界大型真菌分类系统及信息平台
http://www.nmdc.cn/mac fungi/ (图1)。同时该平
台也在中国科学院微生物研究所菌物标本馆
(https://nmdc.cn/fungalname/)、中国菌物标本馆
联盟(https://nmdc.cn/fuc/)、中国菌物学会(http://
www.mscfungi.org.cn/)网站上同时上线。该平台

提供的信息有:

(1) 大型真菌从门至每个属的系统、完整的
分类大纲。以点击下拉式展示大型真菌物种所
涉及的担子菌门所有属及科目纲亚门的分类大
纲(4亚门、18纲、68目、241科、1 928属,涉
及41 270个种)和子囊菌门中涉及大型真菌的
5个目所有属到科目(分属3个纲)的分类大纲。

(2) 网站设定属名检索。通过检索属名,可
获得每个属的异名、分类地位、物种数、模式
种、重要经济种类(食药用品、植物病原等)、可靠
分子数据来源、重要系统学研究成果和物种世
界分布等信息。

(3) 提供自从2008年(Kirk *et al.* 2008)以来,
涉及相关分类信息3 000余篇参考文献名录。

(4) 为保证分类系统的不断更新及学术可
靠性,成立了大型真菌分类系统国际专家咨询
组(表1),负责分类系统的维护和持续更新(每
两年更新一次)。

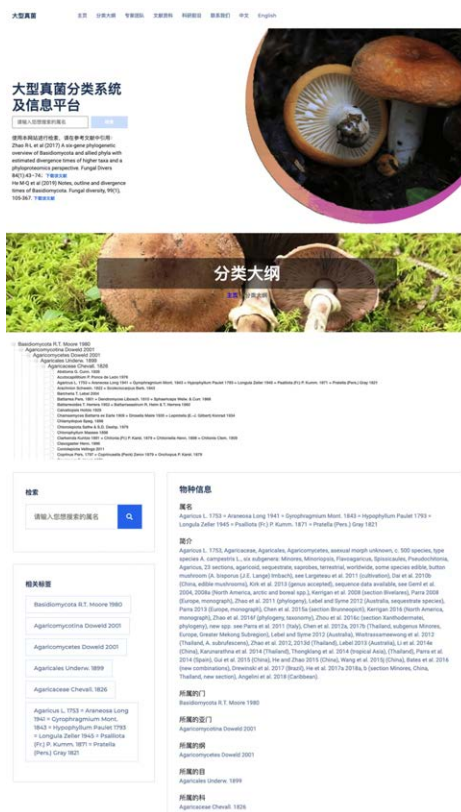


图1 世界大型真菌分类系统及信息平台主页面、大型真菌分类大纲及属信息展示页

Fig. 1 Home page, outline and notes of Macrofungi Classification System and Information Platform.

表 1 大型真菌分类系统专家咨询组成员信息表

Table 1 Name list of specialists of Macrofungal Classification System and Information Platform

姓名 Name	负责类群 Research field	单位 Affiliation
ZHAO Ruilin (赵瑞琳)	总负责及蘑菇目 Agaricales	中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室 State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences
Kevin D. Hyde	大型子囊菌 Ascomycota	泰国皇太后大学卓越真菌研究中心 Center of Excellence in Fungal Research, Mae Fah Luang University, Thailand
YAO Yijian (姚一建)	蘑菇目 Agaricales	中国科学院微生物研究所真菌学国家重点实验室/标本馆 State Key Laboratory of Mycology/ Herbarium Mycologicum Academiae Sinicae, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences
Teun Boekhout	担子菌酵母 Basidiomycetous yeast	荷兰韦斯特迪克真菌生物多样性研究所 Westerdijk Fungal Biodiversity Centre in Utrecht, The Netherlands
Bart Buyck	红菇目 Russulales	法国国家自然历史博物馆 Muséum national d'Histoire naturelle, France
CUI Baokai (崔宝凯)	多孔菌类 Polyporales	北京林业大学生态与自然保护学院微生物研究所 School of Ecology and Nature Conservation, Institute of Microbiology, Beijing Forestry University
Bau Tolgor (图力古尔)	蘑菇目 Agaricales	吉林农业大学菌物研究所 Institute of Mycology, Jilin Agricultural University
Naveed Davoodian	牛肝菌类 Boletales	维多利亚皇家植物园 Royal Botanic Gardens Victoria, Victoria
József Geml	蘑菇目 Agaricales	匈牙利埃斯特哈西查尔斯大学 Eszterházy Károly University, Hungary
HE Maoqiang (贺茂强)	蘑菇目 Agaricales	中科院微生物研究所真菌学国家重点实验室 State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences
Makoto Kakishima	锈菌 Rust fungi	日本筑波大学 University of Tsukuba, Japan
LI Taihui (李泰辉)	蘑菇目 Agaricales	广东省菌种保藏与应用重点实验室, 广东微生物研究所华南应用微生物国家重点实验室 Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, State Key Laboratory of Applied Microbiology Southern China, Institute of Microbiology, Guangdong Academy of Sciences
Eric H.C. McKenzie	锈菌 Rust fungi	新西兰马纳基威努亚土地保护研究所 Manaaki Whenua-Landcare Research, New Zealand
Olivier Raspé	牛肝菌类 Boletales	泰国皇太后大学卓越真菌研究中心 Center of Excellence in Fungal Research, Mae Fah Luang University, Thailand
Else C. Vellinga	蘑菇目 Agaricales	美国加利福尼亚大学 University of California, USA
Annemieke Verbeke	红菇目 Russulales	比利时根特大学 Ghent University, Belgium
Alfredo Vizzini	蘑菇目 Agaricales	意大利都灵大学 University of Turin, Italy
ZHU Xinyu (朱新宇)	网站管理 Website management	中科院微生物研究所真菌学国家重点实验室 State Key Laboratory of Mycology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences
WANG Ke (王科)	网站管理 Website management	中科院微生物研究所菌物标本馆 Herbarium Mycologicum Academiae Sinicae, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences

(5) 后续将提供大型真菌研究前沿信息, 包括系统分类学、基因组学研究进展等。

大型真菌分类系统及信息平台提供了完整的大型真菌分类系统及相关分类信息, 并在广泛的国内外合作基础上, 实现定期更新。这将满足来自不同领域的研究者对相关信息的需求, 并为研究者提供学术交流的平台, 确保大型真菌分类系统的稳定性和前沿性。

[REFERENCES]

- Binder M, Larsson K, Matheny PB, Hibbett DS, 2010. Amylocorticiales ord. nov. and Jaapiiales ord. nov.: early diverging clades of Agaricomycetidae dominated by corticioid forms. *Mycologia*, 102(4): 865-880
- Buvall L, Hedman H, Khramova A, Najar D, Bergwall L, Ebefors K, Sihlbom C, Lundstam S, Herrmann A, Wallentin H, 2017. Orellanine specifically targets renal clear cell carcinoma. *Oncotarget*, 8(53): 91085
- Chen Z, Zhang P, Zhang Z, 2014. Investigation and analysis of 102 mushroom poisoning cases in Southern China from 1994 to 2012. *Fungal Diversity*, 64(1): 123-131
- Dai YC, Yang ZL, Cui BK, Wu G, Yuan HS, Zhou LW, He SH, Ge ZW, Wu F, Wei YL, Yuan Y, Si J, 2021. Diversity and systematics of the important macrofungi in Chinese forests. *Mycosystema*, 40(4): 770-805 (in Chinese)
- Davis AK, Barrett FS, May DG, Cosimano MP, Sepeda ND, Johnson MW, Finan PH, Griffiths RR, 2021. Effects of psilocybin-assisted therapy on major depressive disorder: a randomized clinical trial. *Jama Psychiatry*, 78(5): 481-489
- Eriksson O, 1986. Outline of the Ascomycetes. *Systema Ascomycetum*, 5: 185-324
- Eriksson O, 1991. Outline of the Ascomycetes-1990. *Systema Ascomycetum*, 9: 39-271
- Eriksson O, 1998. Outline of the Ascomycetes-1998. *Systema Ascomycetum*, 16: 83-296
- Eriksson O, Baral H, Currah R, Hansen K, Kurtzman C, Rambold G, Læssøe T, 2003. Outline of Ascomycota-2005. *Myconet*, 9: 1-189
- Eriksson O, Baral H, Currah R, Hansen K, Kurtzman C, Rambold G, Læssøe T, 2004. Outline of Ascomycota-2004. *Myconet*, 10: 1-99
- Eriksson OE, Winka K, 1997. Supraordinal taxa of Ascomycota. *Myconet*, 1: 1-16
- Fell JW, Boekhout T, Fonseca A, Scorzetti G, Statzell-Tallman A, 2000. Biodiversity and systematics of basidiomycetous yeasts as determined by large-subunit rDNA D1/D2 domain sequence analysis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 50: 1351-1371
- Gan T, Luo T, Pang K, Zhou C, Xiao S, 2021. Cryptic terrestrial fungus-like fossils of the early Ediacaran Period. *Nature Communications*, 12(1): 1-12
- Hapuarachchi K, Karunaratna S, Phengsintham P, Yang HD, Kakumyan P, Hyde KD, Wen TC, 2019. Ganodermataceae (Polyporales): diversity in Greater Mekong Subregion countries (China, Laos, Myanmar, Thailand and Vietnam). *Mycosphere*, 10: 221-309
- Hawksworth DL, Lücking R, 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology spectrum*, 5(4): 5-4
- He MQ, Zhao RL, Hyde KD, *et al.*, 2019. Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. *Fungal Diversity*, 99(1): 105-367
- Hodkinson BP, Moncada B, Lücking R, 2014. Lepidostromatales, a new order of lichenized fungi (Basidiomycota, Agaricomycetes), with two new genera, *Ertzia* and *Sulzbacheromyces*, and one new species, *Lepidostroma winklerianum*. *Fungal Diversity*, 64(1): 165-179
- Justo A, Miettinen O, Floudas D, Ortiz-Santana B, Sjökvist E, Lindner D, Nakasone K, Niemelä T, Larsson K, Ryvarden L, 2017. A revised family-level classification of the Polyporales (Basidiomycota). *Fungal Biology*, 121(9): 798-824
- Kirk PM, Cannon P, Minter D, Stalpers J, 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10th ed. CAB International, Wallingford. 1-771
- Landeweert R, Hoffland E, Finlay RD, Kuyper TW, Breemen NV, 2001. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(5): 248-254
- Shirouzu T, Hirose D, Oberwinkler F, Shimomura N, Maekawa N, Tokumasu S, 2013. Combined molecular and morphological data for improving phylogenetic hypothesis in Dacrymycetes. *Mycologia*, 105(5): 1110-1125
- Sjökvist E, Pfeil BE, Larsson E, Larsson KH, 2014. Stereopsidales-a new order of mushroom-forming fungi. *PLoS One*, 9: e95227
- Wang K, Chen SL, Dai YC, Jia ZF, Li TH, Liu TZ, Phurbu D, Mamut R, Sun GY, Bau T, Wei SL, Yang ZL, Yuan HS, Zhang XG, Cai L, 2021. Overview of China's nomenclature novelties of fungi in the new century (2000-2020). *Mycosystema*, 40(4): 822-833 (in Chinese)
- Wang K, Kirk PM, Yao YJ, 2020. Development trends in taxonomy, with special reference to fungi. *Journal of*

- Systematics and Evolution, 58(4): 406-412
- Wang QM, Begerow D, Groenewald M, Liu XZ, Theelen B, Bai FY, Boekhout T, 2015. Multigene phylogeny and taxonomic revision of yeasts and related fungi in the Ustilaginomycotina. *Studies in Mycology*, 81: 55-83
- Wang QM, Theelen B, Groenewald M, Bai FY, Boekhout T, 2014. Moniliellomycetes and Malasseziomycetes, two new classes in Ustilaginomycotina. *Persoonia*, 33: 41-47
- Wijayawardene NN, Hyde KD, Al-Ani LKT, *et al.*, 2020. Outline of fungi and fungus-like taxa. *Mycosphere*, 11(1): 1060-1456
- Willis K, 2018. State of the World's fungi 2018 report. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Wu F, Zhou LW, Yang ZL, Bau T, Li TH, Dai YC, 2019. Resource diversity of Chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98(1): 1-76
- Wuczkowski M, Passoth V, Turchetti B, Andersson AC, Olstorpe M, Laitila A, Theelen B, van Broock M, Buzzini P, Prillinger H, 2011. Description of *Holtermanniella* gen. nov., including *Holtermanniella takashimae* sp. nov. and four new combinations, and proposal of the order Holtermanniales to accommodate tremellomycetous yeasts of the *Holtermannia* clade. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61(3): 680-689
- Zhao RL, Li GJ, Sánchez-Ramírez S, Stata M, Yang ZL, Wu G, Dai YC, He SH, Cui BK, Zhou JL, 2017. A six-gene phylogenetic overview of Basidiomycota and allied phyla with estimated divergence times of higher taxa and a phyloproteomics perspective. *Fungal Diversity*, 84(1): 43-74

[附中文参考文献]

- 戴玉成, 杨祝良, 崔宝凯, 吴刚, 袁海生, 周丽伟, 何双辉, 葛再伟, 吴芳, 魏玉莲, 员瑗, 司静, 2021. 中国森林大型真菌重要类群多样性和系统学研究. *菌物学报*, 40(4): 770-805
- 王科, 陈双林, 戴玉成, 贾泽峰, 李泰辉, 刘铁志, 普布多吉, 热衣木·马木提, 孙广宇, 图力古尔, 魏生龙, 杨祝良, 袁海生, 张修国, 蔡磊, 2021. 新世纪中国菌物新名称发表概况(2000-2020). *菌物学报*, 40(4): 822-833