

吉林望天鹅自然保护区大型真菌多样性

辛琪¹, Tom Hsiang², 李玉¹, 朱兆香^{1*}, 刘淑艳^{1*}

1 吉林农业大学食药菌教育部工程研究中心, 吉林 长春 130118

2 Department of Environmental Sciences, University of Guelph, Guelph N1G 2W1, Ontario, Canada

摘要: 望天鹅自然保护区位于长白山南坡, 孕育了极为丰富的生物资源。本研究对望天鹅自然保护区中的大型真菌资源进行了详细调查, 作者于2019–2021年在该保护区内共采集大型真菌1425份。结合形态学及分子系统学方法鉴定出大型真菌161种, 隶属于2门7纲17目48科101属, 其中包含1个中国新记录种帝王鹅膏 *Amanita regalis*。该保护区内的大型真菌优势科(物种数 ≥ 10)为4个, 轴腹菌科Hydnangiaceae、红菇科Russulaceae、小菇科Mycenaceae和多孔菌科Polyporaceae, 含48种, 占该保护区物种总数的29.81%。优势属(物种数 ≥ 5)为5个, 分别是小菇属 *Mycena*、乳菇属 *Lactarius*、红菇属 *Russula*、靴耳属 *Crepidotus* 和湿伞属 *Hygrocybe*, 含31种, 占该保护区物种总数的19.25%。对不同生态类型的大型真菌进行统计, 发现针阔混交林型特有种为65种, 阔叶林特有种15种, 针叶林特有种20种, 3种林型共有种为25种。 α 多样性指数显示在所调查的3种林型中, 针阔混交林型的物种丰富度和物种多样性指数最高, 针叶林型物种分布最均匀。大型真菌资源利用价值评估表明, 保护区内有食用菌59种, 药用菌42种, 食药兼用菌26种, 毒菌27种。以上研究结果将为该地区大型真菌资源的保护、合理开发和利用提供理论依据。

关键词: 物种多样性; 优势科属; 应用价值; α 多样性分析; 新记录种

[引用本文]

辛琪, Tom Hsiang, 李玉, 朱兆香, 刘淑艳, 2023. 吉林望天鹅自然保护区大型真菌多样性. 菌物学报, 42(9): 1876-1888
Xin Q, Hsiang T, Li Y, Zhu ZX, Liu SY, 2023. Species diversity of macrofungi in Wangtian'e Nature Reserve, Jilin Province. Mycosystema, 42(9): 1876-1888

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFE0107800); 吉林省科技计划(20230402021GH)

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFE0107800) and the Science and Technology Developing Plan of Jilin Province (20230402021GH).

*Corresponding authors. E-mail: ZHU Zhaoxiang, zhuzx1985@163.com; LIU Shuyan, liussyan@163.com

ORCID: ZHU Zhaoxiang (0000-0002-8330-918X), LIU Shuyan (0000-0001-9082-1053)

Received: 2022-12-24; Accepted: 2023-01-15

Species diversity of macrofungi in Wangtian'e Nature Reserve, Jilin Province

XIN Qi¹, Tom Hsiang², LI Yu¹, ZHU Zhaoxiang^{1*}, LIU Shuyan^{1*}

¹ Engineering Research Center of Chinese Ministry of Education for Edible and Medicinal Fungi, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China

² Department of Environmental Sciences, University of Guelph, Guelph N1G 2W1, Ontario, Canada

Abstract: Wangtian'e Nature Reserve is located in the southern part of Changbai Mountains, with rich biological resources. The survey of diversity of macrofungi in Wangtian'e Nature Reserve was carried out and 1 425 specimens were collected from 2019 to 2021. Based on the morphological identification and molecular systematics, 161 species were identified, belonging to 101 genera, 48 families, 17 orders, 7 classes, and 2 phyla, including one new Chinese record *Amanita regalis*. Among them, the 48 species of 4 predominant families, Hydnangiaceae, Russulaceae, Mycenaceae, and Polyporaceae, accounted for around 29.81% of the total species, and 31 species of 5 dominant genera, *Mycena*, *Lactarius*, *Russula*, *Crepidotus*, and *Hygrocybe*, occupied 19.25% of the total species. Species of macrofungi in three different vegetation types of Wangtian'e Nature Reserve were analyzed. Plus, 65, 15, and 20 species were specific in the coniferous and broad-leaved mixed forest, broad-leaved forest, and the coniferous forest, respectively, and 25 species were in common to the three vegetation types. The alpha diversity index showed that the coniferous and broad-leaved mixed forest had the highest species richness and species diversity index, and the coniferous forest had the most uniform species distribution. The evaluation of macrofungal resources showed that 59 species were edible, 42 medicinal, 27 poisonous, and 26 simultaneously edible and medicinal. This study provided valuable information for the conservation, development, and utilization of macrofungal resources in this area.

Keywords: species diversity; dominant family and genera; application value; alpha diversity analysis; new record species

大型真菌通常是指肉眼可见、徒手可摘的真菌，主要包括担子菌门真菌和少数子囊菌门真菌。作为生态系统的重要组成部分，其在自然界中发挥着不可替代的作用(戴玉成等 2021)。我国对大型真菌的研究起步较早，已有大批学者进行了资源调查及多样性研究工作，不仅出版了许多地区性的大型真菌图鉴，还从多方面开展大型真菌多样性的研究。戴玉成(2010a)出版了《海南大型木生真菌的多样性》，记录了木生担子菌 240 种，每个物种均根据海南的材料进行了描述并附有彩色生境照片，同时还对每个物种在海南的分布和引起的腐朽类型进行了说明。陈青君和

刘松(2013)出版了《北京野生大型真菌图册》，记录了北京地区发现的 160 种大型真菌。许多大型真菌具有食用、药用的价值，戴玉成和杨祝良(2008)对我国已知的药用菌进行了总结，记录了 473 种药用菌；两年后，戴玉成等(2010)对我国已知的食用菌进行了总结，记录了 966 种食用菌。一些大型真菌含有剧毒，人或畜禽食用后会产生中毒反应，图力古尔等(2014)总结了我国已知 435 种毒蘑菇；杨祝良(2015)出版的《中国鹅膏科真菌图志》记载了我国鹅膏科 130 个分类单元(含种、变种和变型)，每个物种都附有子实体彩图及显微特征描述、生境、分布、经济价值及

与相似种的区别等信息。李玉等(2015)编写出版了《中国大型菌物资源图鉴》，记载了中国大型菌物资源 509 属 1 819 种，较为全面客观地反映了中国大型真菌的实际情况。Wu *et al.* (2019)对我国 1 662 个已知大型真菌进行了评估，包括 1 020 种食用菌、692 种药用菌和 480 种有毒蘑菇，为国内大型真菌资源的利用和开发提供了数据参考。

近年来我国对大型真菌多样性的研究不断深入。王雪珊等(2020)对内蒙古罕山国家级自然保护区内的 800 余份大型真菌标本进行了系统研究，结合形态特征和 ITS 序列鉴定出 308 个物种。伍利强等(2021)对丹霞山大型真菌物种多样性进行调查，共发现大型真菌 290 种，包含 4 个中国新记录种。Ma *et al.* (2022)对海南省各自然保护区、森林公园和植物园内的木生大型真菌进行了调查，共采集标本 2 212 份，发现木生大型真菌 702 种。李国华等(2022)对海南热带雨林国家公园内 7 个管理局辖区开展了大型真菌多样性调查，采集到 1 869 份子实体标本，从中鉴定出 562 种真菌。罗侠等(2022)采用踏查法对大别山鹞落坪自然保护区、天堂寨自然保护区、仙居县和溧水区的大型真菌多样性进行调查，共采集到 600 多份样本，鉴定得到大型真菌 84 种。我国地域广阔，生态环境和植被结构复杂多样，必然孕育着丰富的真菌资源。因此，对大型真菌物种多样性的研究仍需不断探索。

除区域性的大型真菌调查和特定类群的物种多样性研究外，植物群落对大型真菌影响的相关研究也在逐步开展。Packham *et al.* (2002)通过对成熟和幼龄森林的大型真菌多样性和群落多样性进行了研究，结果发现 2 种森林内大型真菌区系明显不同，且每种森林内均有 40%左右的特有种。Ódor *et al.* (2006)在研究欧洲山毛榉森林时发现，大型真菌的发生会受到群落内枯木可用性和延续性的影响，枯木的持续增加有利于丰富腐生真菌的物种多样性。Baptista *et al.* (2010)

对葡萄牙北部板栗林下的大型真菌进行了调查，发现 73 种大型真菌，其中 82%为菌根真菌，红菇和乳菇的种类最为丰富。Gómez-Hernández *et al.* (2019)对墨西哥南部的展叶松人工林内的大型真菌进行调查，发现大型真菌多样性和分布模式主要由基质有效性和植被结构相关因素决定。可见植物群落与大型真菌的物种多样性息息相关，互相影响。

长白山是我国菌物资源的代表性地区，区域内的大型真菌种类十分丰富。近 10 年来，对长白山地区大型真菌的研究不断深入，研究主要集中在物种多样性、食药菌的保育、濒危菌类的解濒技术及不同植被类型大型真菌的分布规律等。2010–2011 年，图力古尔团队对长白山高山苔原带(范宇光和图力古尔 2010)、亚高山岳桦林带(王铁柱等 2010)、针叶林带(王耀等 2010)、针阔混交林带和阔叶林带(图力古尔等 2011a, 2011b)的大型真菌物种进行了较为全面的调查，调查大型真菌分布情况的同时还发现了多个中国新记录种。王薇和图力古尔(2015)根据长白山地区植被垂直分布特征，探究了长白山地区所选群落的区系地理组成，发现长白山地区的大型真菌主要以北温带区系分布型为主，符合当地的气候特征。目前我国长白山地区已经报道了许多大型真菌物种，在长白山地区的大型真菌多样性研究方面已经取得了一定的成果，但长白山地域广阔，菌物资源丰富，仍需继续调查探明。

吉林省白山市望天鹅自然保护区位于长白山南坡，地理环境优越，气候温和，植被茂盛，在保护区内的大片森林中，生长着多种多样的大型真菌，但对于其大型真菌资源的调查还未开展，因此对其进行菌物资源调查是十分有必要的。本研究在望天鹅自然保护区开展了大型真菌资源的调查，分析了该保护区大型真菌的物种组成、优势科属、大型真菌的经济价值、不同林型的大型真菌分布及 α 多样性差异，为该保护区内大型真菌资源利用、开发和林业保护等工作提供

基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

望天鹅自然保护区位于吉林省东南部、长白山南坡,北接抚松县,西与临江市接壤,东南与朝鲜民主主义人民共和国以鸭绿江为分界。保护区全长 38 km,海拔最低 450 m,最高 1 100 m。保护区地处中纬度,地势偏高,属亚温带大陆性季风气候。年平均气温 3.1–3.7 °C,积温 2 200–2 400 °C,无霜期 115–125 d,年降水量为 600–700 mm (苑景洪等 2020)。保护区内植被茂盛,孕育了丰富的菌物资源。

大型真菌调查时间为 2019–2021 年的 6–9 月份,根据保护区内的地理情况、交通可达性,以及大型真菌的分布地点确定调查线路,采用踏查法采集大型真菌子实体。本次调查林型共涉及 3 种:阔叶林型、针叶林型和针阔混交林型。

1.2 标本采集及鉴定

1.2.1 标本采集

野外采集子实体时,首先拍摄子实体照片,侧重于记录子实体菌盖、菌褶及菌柄等宏观特征。同时记录标本信息(采集人、采集日期及采集地点等)。用小刀切取子实体菌盖的一块扇形组织,用卫生纸包好后放入含有适量硅胶的自封袋中,带回实验室保存在–20 °C冰箱内,供后期提取真菌 DNA。对于野外子实体较丰富的种类,选择 1–2 个完整的子实体用烘箱(40–45 °C)烘干制作成标本,最后用自封袋将烘干的标本与记录的信息纸一起装袋保存,带回实验室,保存于吉林农业大学菌物标本馆(Mycological Herbarium of Jilin Agricultural University, HMJAU)。

1.2.2 标本鉴定

采用子实体形态特征与真菌 DNA 序列分析相结合的方法进行物种鉴定。形态特征包括采集时记录的宏观特征和在显微镜下观察到的微观特征。宏观特征主要包括子实体外形(圆形、

梨形、卵形、盘形等)、子实层(褶状、孔状、齿状等)、菌盖附属物(鳞片、纤毛、疣、粉末、菌裙等)、菌柄(形状、质地、是否中空)、生长基质(地上、叶表、木材或虫体上)等特征。微观形态观察则选取干净完整的子实体作为显微观察材料,镊子或刀片用 75%的乙醇消毒后,对菌褶进行取样切片,并置于提前滴入浮载剂(5% KOH)的载玻片上,必要时滴加 1%刚果红溶液进行染色,盖上盖玻片。将玻片转移到蔡司正置微分干涉显微镜下(Zeiss Axio Lab A1),用 40×目镜观察担子、担孢子、不育担子及锁状联合等结构,并用 ZEN 软件测量和记录上述各结构的大小。采用 Hi-DNAsecure Plant Kit 试剂盒提取子实体的 DNA (伍利强等 2021),用 ITS4 和 ITS5 引物扩增 ITS 全长,将阳性 PCR 产物送往生工生物工程(上海)股份有限公司测序。将有效的测序序列在 NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)上进行 BLAST 比对,同时结合标本的形态学特征进行物种分类鉴定,确定真菌名称,所有真菌的物种名称和定名人均在 Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/>)最新分类系统中进行核对(杨苗等 2021;李国华等 2022)。

1.3 物种多样性研究方法

依据分类鉴定结果分析望天鹅自然保护区的大型真菌物种组成、大型真菌优势科(物种数≥10)和优势属(物种数≥5)、不同植被群落大型真菌物种组成及差异和不同林型下的大型真菌 α 多样性指数。 α 多样性指数分析采用以下 4 个指数进行评价(马克平 1994;马克平和刘玉明 1994)。

(1) Menhinick 丰富度指数(R)

$$R = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

(2) Simpson 多样性指数(D)

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

(3) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

(4) Pielou 均匀度指数(E)

$$E = \frac{-\sum P_i \ln P_i}{\ln S}$$

式中, P_i 表示第 i 个物种的个体数占群落内总个体数的比例; S 表示物种种类总数; N 表示物种个体总数, $i=1, 2, 3, \dots, S$ 。

2 结果与分析

2.1 物种的多样性分析

2.1.1 物种的分类学鉴定

望天鹅自然保护区内的大型真菌资源丰富, 经 3 年调查, 共采集大型真菌标本 1 425 份, 具有代表性的物种见图 1。根据形态学观察和现代分子技术手段, 初步鉴定出大型真菌 161 种(附

表 1, 国家微生物科学数据中心 NMDCX0000179), 隶属于 2 门 7 纲 17 目 48 科 101 属(表 1)。其中担子菌门包含 151 种, 占物种总数的 93.8%, 隶属于 3 纲 11 目 41 科 92 属; 子囊菌门 10 种, 占物种总数的 6.2%, 隶属于 4 纲 6 目 7 科 9 属。同时发现 1 个中国新记录种, 为鹅膏属的帝王鹅膏 *Amanita regalis* (Fr.) Michael。

帝王鹅膏 中国新记录种 图 2

Amanita regalis (Fr.) Michael, Führ. Pilzfr., Die häufigst vorkomm, verdächt. giftig. Pilze (Zwickau): pl. 75 (1904) [1903]. Fig. 2

菌盖直径 6–25 cm, 幼时半球形, 后逐渐扁平, 表面黄褐色, 并覆盖茂密的淡黄色至浅色的



图 1 望天鹅自然保护区大型真菌部分种类形态图 A: 变绿杯盘菌. B: 垂头线虫草. C: 黑轮层炭壳. D: 冠状环柄菇. E: 帝王鹅膏. F: 黄盖鹅膏. G: 灰鹅膏. H: 潮湿靴耳. I: 浅黄湿伞. J: 绯红湿蜡伞. K: 金粒蜡伞. L: 网纹马勃

Fig. 1 Basidiomata of some macrofungi from Wangtian'e Nature Reserve. A: *Chlorociboria aeruginascens*. B: *Ophiocordyceps nutans*. C: *Daldinia concentrica*. D: *Lepiota cristata*. E: *Amanita regalis*. F: *Amanita subjunquillea*. G: *Amanita vaginata*. H: *Crepidotus uber*. I: *Hygrocybe flavescens*. J: *Hygrocybe coccinea*. K: *Lycoperdon chrysodon*. L: *Lycoperdon perlatum*.

表 1 望天鹅自然保护区大型真菌科、属、种的数量统计

Table 1 The families and number of subordinate genera and species of macrofungi in Wangtian'e Nature Reserve

科	属数	种数	科	属数	种数
Family	No. of genus	No. of species	Family	No. of genus	No. of species
马鞍菌科 Helvellaceae	1	1	耙齿菌科 Irpicaceae	2	2
巨囊伞科 Macrocytidiaceae	1	1	马勃科 Lycoperdaceae	2	3
多孔菌科 Polyporaceae	9	10	蘑菇科 Agaricaceae	3	6
粉褶菌科 Entolomataceae	2	3	牛肝菌科 Boletaceae	3	3
球盖菇科 Strophariaceae	3	7	盘菌科 Pezizaceae	2	2
泡头菌科 Physalacriaceae	3	4	锤舌菌科 Leotiaceae	1	1
刺孢多孔菌科 Bondarzewiaceae	1	1	齿菌科 Hydnaceae	2	2
珊瑚菌科 Clavariaceae	1	1	地星科 Geastraceae	1	1
轴腹菌科 Hydnangiaceae	5	14	丝盖伞科 Inocybaceae	2	3
丝膜菌科 Cortinariaceae	1	1	侧耳科 Pleurotaceae	2	2
小皮伞科 Marasmiaceae	3	4	假脐菇科 Tubariaceae	2	3
鬼伞科 Psathyrellaceae	4	5	粪锈伞科 Bolbitiaceae	1	1
层腹菌科 Hymenogastraceae	3	3	小菇科 Mycenaceae	4	10
花耳科 Dacrymycetaceae	2	3	鹅膏科 Amanitaceae	1	4
假杯伞科 Pseudoclitocybaceae	1	1	锈耳科 Crepidotaceae	1	5
口蘑科 Tricholomataceae	1	3	银耳科 Tremellaceae	1	1
类脐菇科 Omphalotaceae	3	6	钉菇科 Gomphaceae	1	1
离褶伞科 Lyophyllaceae	3	3	桩菇科 Paxillaceae	1	1
裂褶菌科 Schizophyllaceae	1	1	侧盘菌科 Otideaceae	1	1
线虫草科 Ophiocordycipitaceae	1	1	红菇科 Russulaceae	2	14
硬皮马勃科 Sclerodermataceae	1	1	炭团菌科 Hypoxylaceae	1	1
锈革菌科 Hymenochaetaceae	1	1	地舌菌科 Geoglossaceae	1	1
绿杯盘菌科 Chlorociboriaceae	1	1	光柄菇科 Pluteaceae	2	4
耳匙菌科 Auriscalpiaceae	2	2	科未定级 Incertae sedis	7	12
猴头菌科 Hericiaceae	1	1	总计 Total	101	161

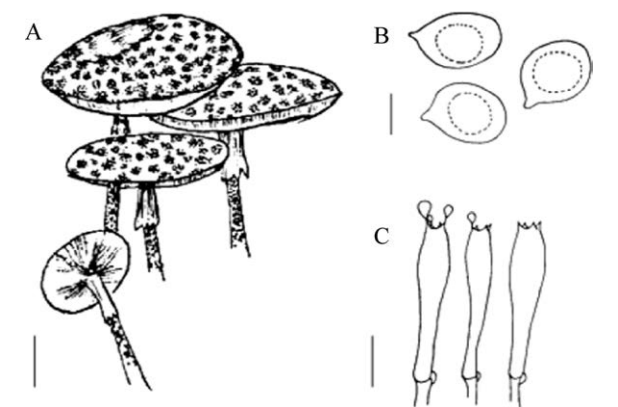


图 2 帝王鹅膏的子实体和微观形态 A: 子实体. B: 担孢子. C: 担子. 比例尺: A=5 cm, B=5 μ m, C=10 μ m

Fig. 2 Basidiomata and microscopic features of *Amanita regalis*. A: Basidiomata. B: Basidiospores. C: Basidia. Bars: A=5 cm, B=5 μ m, C=10 μ m.

痂疮疣，以几乎规则的同心环排列；菌盖肉质，成熟时边缘有条纹；菌褶离生，白色至奶油黄色，边缘微锯齿状；成熟子实体的菌柄10–20×1.5–2.0 cm，淡黄色，基部膨大成一个鳞茎，上面装饰着浅黄色卷状鳞片；中上部有一膜质菌环，下垂，表面光滑，边缘淡褐色不规则状，气味不明显(图 2A)；担孢子 9–12×7–8 μ m，椭圆形，透明或半透明，光滑(图 2B)；担子 38–46×3–13 μ m，基部有锁状联合(图 2C)。

标本信息：生于针叶林地面上，经纬度 127°56'25"E，41°33'38"N，海拔 819 m，采集日期 2021.8.29，采集人辛琪，标本号 HMJAU 63265。

讨论：此种非常罕见，常在云杉林下生长，有剧毒，人畜食用会致幻、呕吐等。皇家鹅膏可

以依靠大型的子实体和退化的菌托与近似种豹斑鹅膏 *Amanita pantherina* (DC.) Krombh.区分开, 但一些赭盖鹅膏菌 *Amanita rubescens* Pers. 的子实体与皇家鹅膏看起来非常相似, 然而, 当赭盖鹅膏菌受损时, 它的果肉会变成粉红色, 而切割皇家鹅膏不会导致其果肉发生明显的颜色变化, 可依此将二者区分开来。皇家鹅膏目前主要分布在东欧、北欧和北美, 在国内为首次发现。

2.1.2 大型真菌的优势科属统计

参照图力古尔和李玉(2000)对大型真菌多样性的分析方法, 界定物种数 ≥ 10 的为优势科, 物种数 ≥ 5 的为优势属。望天鹅自然保护区大型真菌优势科共有 4 个, 占已知科数的 8.33% (表 2), 按科下物种数量由多到少分别是轴腹菌科 Hydnangiaceae、红菇科 Russulaceae、小菇科 Mycenaceae 和多孔菌科 Polyporaceae, 该 4 科物种数 48 种, 占该保护区物种总数的 29.81%, 优势科虽然占总科数的比例不大, 但种数多, 占近三成, 有很好的研究开发价值。该保护区大型真菌优势属共有 5 个, 占已知属数的 4.95% (表 2), 按属下物种数量由多到少分别是小菇属 *Mycena*、乳菇属 *Lactarius*、红菇属 *Russula*、靴耳属 *Crepidotus* 和湿伞属 *Hygrocybe*, 该 5 属物种数 31 种, 占该保护区物种总数的 19.25%。优势属

所包含种较多, 在该地区大型真菌物种组成中占有一定地位。

2.2 不同植被类型内大型真菌的物种多样性分析

2.2.1 不同植被类型内大型真菌分布特征

本研究调查的 3 种林型中, 大型真菌的物种分布具有明显的差异, 共有种仅 25 种, 各自的特有种占有一定比例。其中针阔混交林型特有的物种为 65 种, 占其林型中物种总数的 52.4%; 阔叶林特有种 15 种, 占其林型中物种总数的 26.3%; 针叶林特有种为 20 种, 占其林型中物种总数的 30.3%。(图 3A)。将相对丰度 $\geq 2\%$ 的大型真菌在不同林型的分布情况绘制成分布条形图(图 3B), 结果显示栎裸脚伞 *Gymnopus dryophilus* (Bull.) Murrill、杯伞 *Infundibulicybe gibba* (Pers.) Harmaja 和高卢蜜环菌 *Armillaria gallica* Marxm. & Romagn.的占比相对较高, 表明它们的发生量较大, 该保护区内的生态条件适宜其生长。

结合采集的标本数量, 分析 3 种林型中共有种的发生量在各林型中的占比情况, 共有的 25 种大型真菌中, 栎裸脚伞在 3 种林型的采集标本数量中总占比最高, 在针阔混交林型中占比 9.7%, 在阔叶林型中占比 11.5%, 在针叶林型中占比

表 2 望天鹅自然保护区大型真菌优势科属统计

Table 2 The dominant family and dominant genera of macrofungi in Wangtian'e Nature Reserve

优势科	种数	占总种数比例	优势属	种数	占总种数比例
Dominant family	No. of species	Percentage (%)	Dominant genera	No. of species	Percentage (%)
轴腹菌科	14	8.69	小菇属	7	4.35
Hydnangiaceae			<i>Mycena</i>		
红菇科	14	8.69	乳菇属	7	4.35
Russulaceae			<i>Lactarius</i>		
小菇科	10	6.21	红菇属	7	4.35
Mycenaceae			<i>Russula</i>		
多孔菌科	10	6.21	靴耳属	5	3.11
Polyporaceae			<i>Crepidotus</i>		
			湿伞属	5	3.11
			<i>Hygrocybe</i>		
总计	48	29.81	总计	31	19.25
Total			Total		

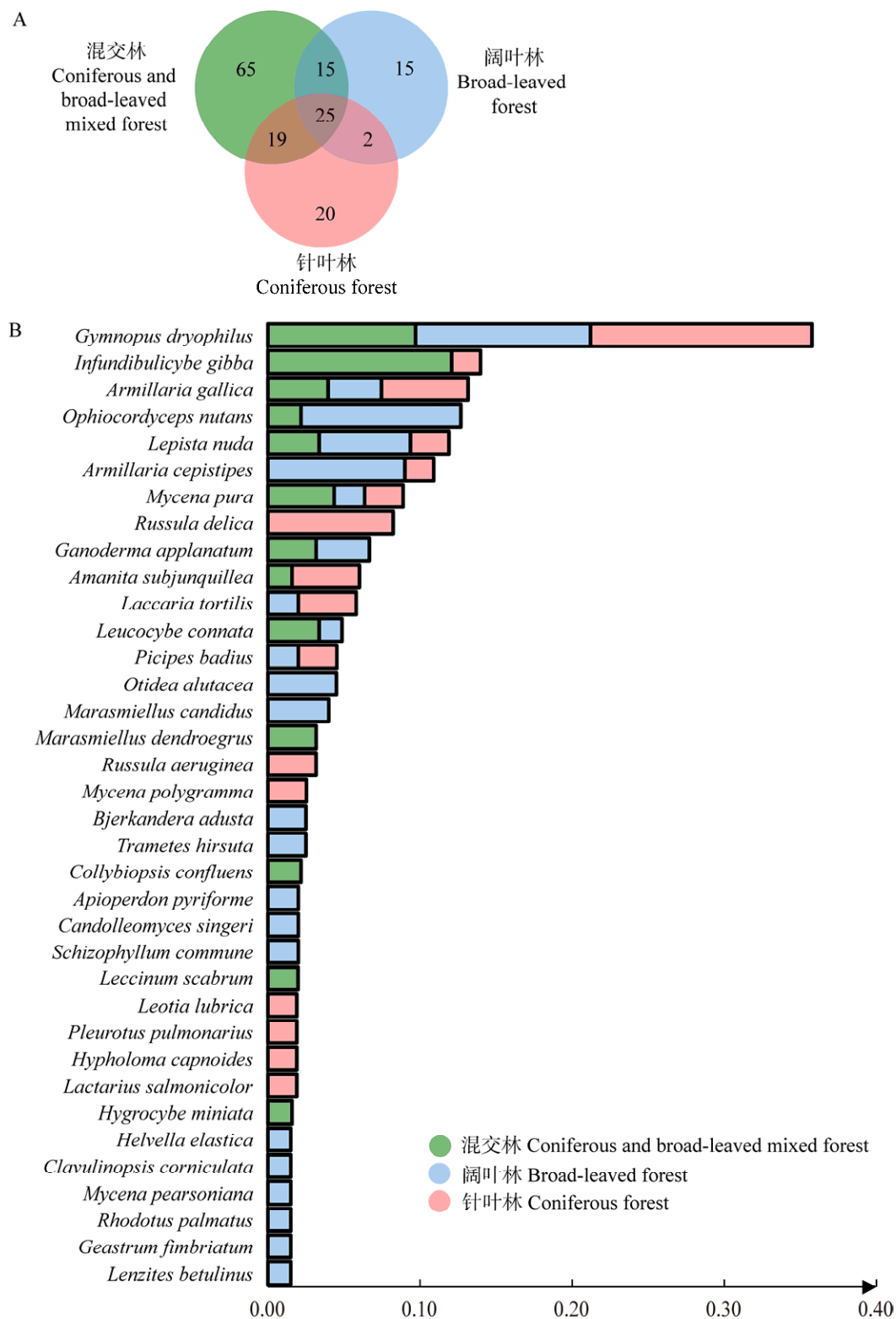


图 3 不同植被类型内大型真菌的物种多样性分析 A: 3 种林型中大型真菌物种多样性维恩图. B: 物种分布条形图. 相对丰度 $\geq 2\%$

Fig. 3 Species diversity of macrofungi in different vegetation forest types. A: Venn diagram of macrofungal species diversity. B: Bar chart of species distribution. Relative abundance $\geq 2\%$.

14.6%，总占比 22.9%。总占比第二位的是高卢蜜环菌，在针叶林型的发生最频繁，占比 5.7%，在针阔混交林型、阔叶林型也有发现，但占比很低，分别为 3.9%和 3.5%。紫丁香蘑 *Lepista nuda* (Bull.) Cooke 总占比第三位，在阔叶林型中占比 6%，针阔混交林型中占比 3.4%，针叶林型占比 2.5%。整体来看，25 种共有种在针阔混交林型的发生最丰富，共有种发生量占 3 种林型总发生量的 48.4%，阔叶林型次之，为 32.3%，针叶林型最低，为 19.3%，表明该保护区内针阔混交林型的环境更适合大型真菌生长。

2.2.2 不同植被类型内大型真菌 α 多样性差异

在 3 种林型中大型真菌的 α 多样性比较结果

见图 4，Menhiniek 丰富度指数(R)：针阔混交林型(5.517 9)>针叶林型(5.250 6)>阔叶林型(4.030 5)，表明针阔混交林型大型真菌物种较为丰富。Simpson 多样性指数(D)：针阔混交林型(0.963 4)>针叶林型(0.956 3)>阔叶林型(0.951 5)。Shannon-Wiener 多样性指数(H')：针阔混交林型(4.047 8)>针叶林型(3.702 7)>阔叶林型(3.486 8)，针阔混交林型多样性更佳。Pielou 均匀度指数(E)：针叶林型(0.883 8)>阔叶林型(0.862 4)>针阔混交林型(0.839 7)，表明 3 个植被群落中针叶林型的均匀度最高，物种分布最均匀。

2.3 大型真菌资源评价

经调查和查阅相关报道(Wu *et al.* 2019)，将

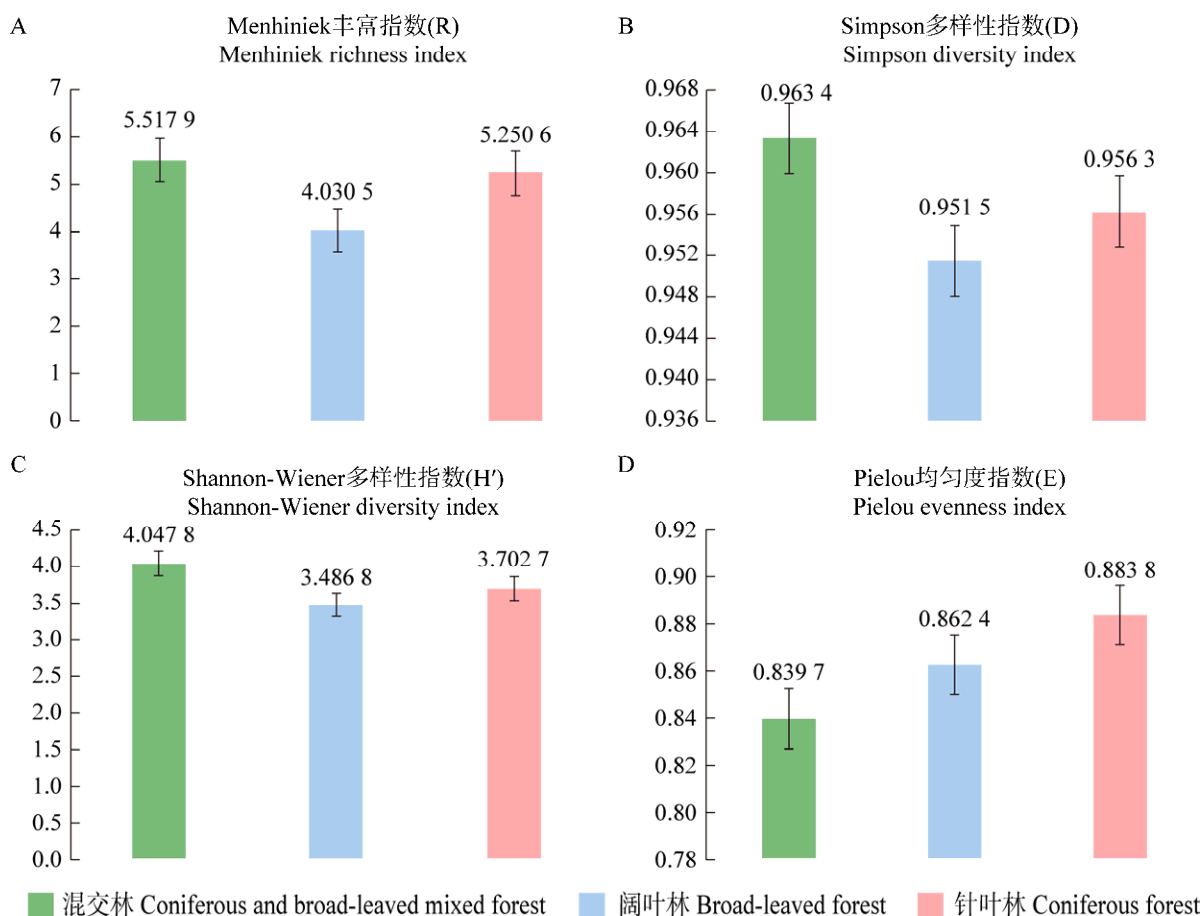


图 4 三种林型大型真菌的 α 多样性比较 A: Menhiniek 丰富度指数. B: Simpson 多样性指数. C: Shannon-Wiener 多样性指数. D: Pielou 均匀度指数

Fig. 4 A comparison of alpha diversity of macrofungi in three vegetation types. A: Menhiniek richness index. B: Simpson diversity index. C: Shannon-Wiener diversity index. D: Pielou evenness index.

该保护区大型真菌资源按照食用菌、药用菌、食药兼用菌和毒菌 4 大类进行统计。结果显示食用菌共有 59 种, 占总种数的 36.65%; 药用菌共有 42 种, 占总种数的 26.09%; 食药兼用菌共 26 种, 占总种数的 16.15%; 毒菌 27 种, 占总种数的 16.77%。统计得出 102 种有经济价值的大型真菌, 说明该保护区的大型真菌资源具有很好的利用开发价值。

2.3.1 食用菌

经调查, 该保护区食用菌共有 59 种, 常见的有黄小蜜环菌 *Armillaria cepistipes* Velen.、美味牛肝菌 *Boletus edulis* Bull.、肉色黄丽蘑 *Calocybe carnea* (Bull.) Kühner、冠锁瑚菌 *Clavulina coralloides* (L.) J. Schröt.、角拟锁瑚菌 *Clavulinopsis corniculata* (Schaeff.) Corner、斜盖粉褶菌 *Entoloma abortivum* (Berk. & M.A. Curtis) Donk、双色蜡蘑 *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orton、小红湿伞 *Hygrocybe miniata* (Fr.) P. Kumm. 和金粒蜡伞等(戴玉成等 2010)。

2.3.2 药用菌

经调查, 该保护区药用菌共有 42 种, 主要包括可以抑肿瘤的鳞皮扇菇 *Panellus stipticus* (Bull.) P. Karst.、簇生垂暮菇 *Hypholoma fasciculare* (Fr.) P. Kumm.、亚砖红垂暮菇 *Hypholoma sublateritium* (Schaeff.) Quél.、三色拟迷孔菌 *Daedaleopsis tricolor* (Bull.: Mérat) Bondartsev & Singer、褐紫附毛孔菌 *Trichaptum fuscoviolaceum* (Ehrenb.: Fr.) Ryvarden、辐毛小鬼伞 *Coprinellus radians* (Desm.) Vilgalys et al.、漏斗多孔菌 *Polyporus arcularius* Batsch: Fr.、毛栓孔菌 *Trametes hirsuta* (Wulfen: Fr.) Pilát、黑管孔菌 *Bjerkandera adusta* (Willd.: Fr.) P. Karst.、亚黑管孔菌 *Bjerkandera fumosa* (Pers.: Fr.) P. Karst. 和木蹄层孔菌 *Fomes fomentarius* (L.: Fr.) Fr.; 还有可以止血的有毛咀地星 *Geastrum fimbriatum* Fr., 可以治疗尿少, 浮肿, 腰痛, 血压升高等症; 具抗炎活性的白囊耙齿菌 *Irpex lacteus* (Fr.: Fr.) Fr.

等(戴玉成和杨祝良 2008)。

2.3.3 食药兼用菌

经调查, 该保护区食药兼用菌共有 26 种, 常见的有高卢蜜环菌, 可以治疗神经衰弱, 失眠, 四肢麻木等; 可以抑肿瘤, 抗病毒, 降血糖, 增强免疫的树舌灵芝 *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat.; 可以抑肿瘤的齿菌 *Hydnum repandum* L.、蜡蘑 *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke、柄条蜡蘑 *Laccaria proxima* (Boud.) Pat.、刺孢蜡蘑 *Laccaria tortilis* (Bolton) Cooke、洁小菇 *Mycena pura* (Pers.) P. Kumm.、黄干脐菇 *Xeromphalina campanella* (Batsch) Maire、肺形侧耳 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél.、粘皮鳞伞 *Pholiota lubrica* (Pers.) Singer 和黄褐鳞伞 *Pholiota spumosa* (Fr.) Singer; 可以治疗神经衰弱、消炎和抑肿瘤的裂褶菌 *Schizophyllum commune* Fr. 等(戴玉成和杨祝良 2008; 戴玉成等 2010)。

2.3.4 毒菌

经调查, 该保护区毒菌共有 27 种, 如可以引起胃肠炎型、神经精神型、肝脏损害型和呼吸循环衰竭型疾病的黄盖鹅膏; 可以引起胃肠炎型、神经精神型疾病的灰鹅膏和变黑湿伞 *Hygrocybe conica* (Schaeff.) P. Kumm.; 含有毒伞毒肽、鹅膏毒肽、环肽、鬼笔毒肽和鹅膏肽类毒素的纹缘盔孢菌 *Galerina marginata* (Batsch) Kühner; 可以引起神经精神型疾病的青绿湿伞 *Gliophorus psittacinus* (Schaeff.) Herink; 含有鹿花菌素, 可以引起胃肠炎型、溶血型疾病的皱柄白马鞍菌 *Helvella crispa* (Scop.) Fr. 等(图力古尔等 2014)。

3 讨论

大型真菌的多样性是生物多样性的的重要组成部分。国内关于大型真菌多样性的研究已有很多报道, 特别是在东北部的长白山地区, 开展了较多的真菌资源调查工作(戴玉成 2003a, 2003b, 2010b)。近年来随着物种多样性的研究越来越受

到人们的关注,大型真菌与植被群落之间关系的分析也越来越多(范宇光和图力古尔 2010; 王铁柱等 2010; 王耀等 2010; 图力古尔等 2011a, 2011b; 戴玉成等 2021; 李国华等 2022; 武英达等 2022)。研究地植被群落类型涵盖了高山苔原带、亚高山岳桦林带、针叶林带、针阔混交林带及阔叶林带等。本研究选择的 3 种调查植被群落中,针阔混交林型大型真菌资源最为丰富,图力古尔等(2011a)在对长白山 4 种不同典型植被中的大型真菌调查中同样发现针阔混交林带是大型真菌物种最丰富的区域,反映出该林型在大型真菌物种承载方面的环境优势。

Packham *et al.* (2002)对成熟和幼龄森林的大型真菌多样性和群落多样性进行研究,结果发现 2 种森林内大型真菌区系明显不同,并且在每种森林内均有 40%左右的特有种。在探究望天鹅自然保护区内大型真菌物种多样性与植物群落的关系时发现,在不同植物群落中同样存在特有种。以本研究发现的中国新记录种皇家鹅膏为例,该种对生长环境要求十分严格,通常只生于云杉林下的针叶腐殖质上,可见大型真菌的发生与植物群落密切相关。

从对望天鹅自然保护区进行大型真菌物种的调查结果发现,优势科 4 科 48 种,占该保护区物种总数的 29.81%,其中轴腹菌科 *Hydnangiaceae* 和红菇科 *Russulaceae* 种数最多,但单科单种的物种也是不可忽略的重要组成成分,如马鞍菌科 *Helvellaceae*、巨囊伞科 *Macrocystidiaceae* 和珊瑚菌科 *Clavariaceae*; 优势属有 5 个,占已知属数的 4.95%,其中乳菇属 *Lactarius* 和红菇属 *Russula* 的大部分物种与松科 *Pinaceae* 等植物为共生关系,这与已有相关研究结果(王薇和图力古尔 2015; 王雪珊等 2020)相一致。

通过对该保护区 3 种林型的大型真菌 α 多样性进行比较发现,针阔混交林型的 Menhiniek 丰富度指数、Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均是最高,表明其大型真

菌物种组成最丰富,可能是由于针阔混交林型植被组成复杂,为大型真菌的物种多样性提供了有利条件; 3 个植被群落中针叶林型的 Pielou 均匀度指数最高,物种分布最均匀,可能是由于针叶林型地势相对平坦且林型内低矮灌木较少,有利于菌物的传播分散。

大型真菌中许多类群具有重要的经济价值,其中食药菌具有多种营养和生物活性成分,是宝贵的生物资源,调查其野生种质资源分布,摸清“家底”是合理保护和开发利用的基础。本研究在望天鹅保护区发现食用菌 59 种,药用菌 42 种,食药兼用菌 26 种,毒菌 27 种,但当地人主要采食蜜环菌和牛肝菌类,对于其他具有食用价值的野生真菌没有很好地认识、利用和开发。除食药菌外,有毒真菌也应该得到重视,我国每年都有吃蘑菇而中毒的事件发生,因此,弄清毒蘑菇的种类和中毒类型,对于预防和治疗具有重要意义。

望天鹅自然保护区作为观光人数庞大的自然风光景点,在开发旅游业的过程中,同样需要重视菌物资源的保护,减少人为干扰对菌物的影响。同时也应适当科普菌物知识,提高群众对菌物的认识,避免误食毒菌的事件发生。

致谢

感谢图力古尔老师在新记录种及疑难标本分类鉴定方面的帮助,感谢张波老师在采集方面的指导,感谢孙月老师在相关实验方面的帮助,感谢刘鑫、杨俊和李昱环在标本采集时的辛苦付出。

[REFERENCES]

- Baptista P, Martins A, Tavares RM, Lino-Neto T, 2010. Diversity and fruiting pattern of macrofungi associated with chestnut (*Castanea sativa*) in the Trás-os-Montes region (northeast Portugal). *Fungal Ecology*, 3(1): 9-19
- Bau T, Bao HY, Li Y, 2014. A revised checklist of poisonous mushrooms in China. *Mycosystema*, 33(3): 517-548 (in

- Chinese)
- Bau T, Kang GP, Fan YG, Wang Y, Liang H, 2011a. Checklist of macrofungi collected from different forests in Changbai Mountain (IV): coniferous and broad-leaved mixed forest. *Journal of Fungal Research*, 9(1): 21-36 (in Chinese)
- Bau T, Li Y, 2000. Study on fungal flora diversity in Daqinggou Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 8(1): 73-80 (in Chinese)
- Bau T, Liu WZ, Fan YG, Kang GP, 2011b. A checklist of macrofungi collected from different forests in Changbai Mountains (V): deciduous forest. *Journal of Fungal Research*, 9(2): 77-87, 99 (in Chinese)
- Chen QJ, Liu S, 2013. Atlas of wild macrofungi in Beijing. China Forestry Press, Beijing. 1-176 (in Chinese)
- Dai YC, 2003a. The new knowledge on the medicinal fungus—*Phellinus baumii*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 34: 94-95 (in Chinese)
- Dai YC, 2003b. Rare and threatened polypores in the ecosystem of Changbaishan Nature Reserve of northeastern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14: 1015-1018 (in Chinese)
- Dai YC, 2010a. Diversity of woody macrofungi in Hainan. Science Press, Beijing. 1-248 (in Chinese)
- Dai YC, 2010b. Species diversity of wood-decaying fungi in northeast China. *Mycosystema*, 29: 801-818 (in Chinese)
- Dai YC, Yang ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China. *Mycosystema*, 27(6): 801-824 (in Chinese)
- 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)
- Dai YC, Zhou LW, Yang ZL, Wen HA, Bau T, Li TH, 2010. A revised checklist of edible fungi in China. *Mycosystema*, 29(1): 1-21 (in Chinese)
- Fan YG, Bau T, 2010. Checklist of macrofungi collected from different forests in Changbai Mountain (I): Alpine zone. *Journal of Fungal Research*, 8(1): 32-34, 47 (in Chinese)
- Gómez-Hernández M, Ramírez-Antonio K, Gándara E, 2019. Ectomycorrhizal and wood-decay macromycete communities along development stages of managed *Pinus patula* stands in southwest Mexico. *Fungal Ecology*, 39: 109-116.
- Li GH, Guo XY, Li LM, Ren MX, Wan L, Ding Q, Li JL, 2022. Macrofungal diversity in different vegetation types of Hainan Tropical Rainforest National Park. *Biodiversity Science*, 30: 22110 (in Chinese)
- Li Y, Li TH, Yang ZL, Bau T, Dai YC, 2015. Atlas of Chinese macrofungal resources. Zhongyuan Farmers Press, Zhengzhou. 1-1351 (in Chinese)
- Luo X, Shen YY, Chen Q, Li WW, Wang YY, Zhao JH, 2022. Macrofungal diversity in Dabie Mountain, Xianju County and Lishui district. *Biotic Resources*, 44(4): 383-395 (in Chinese)
- Ma HX, Si J, Dai YC, Zhu AH, Cui BK, Fan YG, Yuan Y, He SH, 2022. Diversity of wood-inhabiting macrofungi in Hainan Province, South China. *Mycosystema*, 41(5): 695-712
- Ma KP, 1994. Measuring method of biodiversity I α measuring methods of diversity (Part 1). *Biodiversity Science*, 2(3): 162-168 (in Chinese)
- Ma KP, Liu YM, 1994. Measuring method of biodiversity I α measuring methods of diversity (Part 2). *Biodiversity Science*, 2(4): 231-239 (in Chinese)
- Ódor P, Heilmann-Clausen J, Christensen M, Aude E, van Dort KW, Piltaver A, Siller I, Veerkamp MT, Walley N, Standovář T, van Hees AFM, Kosec J, Matočec N, Kraigher H, Grebenc T, 2006. Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. *Biological Conservation*, 131(1): 58-71
- Packham JM, May TW, Brown MJ, Wardlaw TJ, Mills AK, 2002. Macrofungal diversity and community ecology in mature and regrowth wet eucalypt forest in Tasmania: a multivariate study. *Austral Ecology*, 27: 149-161
- Wang TZ, Liang H, Bau T, 2010. Checklist of macrofungi collected from different forests in Changbai Mountain (II): Subalpine *Betula ermanii* forest. *Journal of Fungal Research*, 8(2): 66-70 (in Chinese)
- Wang W, Bau T, 2015. Diversity of mycobiota and ecological distribution of macrofungi in Changbai Mountain. *Journal of Jilin Agricultural University*, 37(1): 26-36 (in Chinese)
- Wang XS, Bau T, Bao JS, Bao H, Feng J, 2020. Macrofungal diversity in Hanwula National Nature Reserve, Inner Mongolia. *Mycosystema*, 39(4): 695-706 (in Chinese)
- Wang Y, Fan YG, Bau T, 2010. Checklist of macrofungi collected from different forests in Changbai Mountain (III): Coniferous forest. *Journal of Fungal Research*, 8(4): 200-210 (in Chinese)
- 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: 1-76
- Wu LQ, Xu JY, Zhang M, Chen ZX, Liu ZX, Li TH, 2021. Species diversity of macrofungi in Danxia Mountain and four new records in China. *Acta Edulis Fungi*, 28(3): 135-146 (in Chinese)
- Wu YD, Man XW, Yuan Y, Dai YC, 2022. Species diversity, distribution and composition of polypores occurring in

- botanical gardens in China. Biodiversity Science, 30(7): 230-236 (in Chinese)
- Yang M, Zhang J, Bai JW, Guo JG, Qu YH, Li HP, 2021. Species diversity of macrofungi in the Wuling Mountain National Nature Reserve. Biodiversity Science, 29(9): 1229-1235 (in Chinese)
- Yang ZL, 2015. Atlas of Amanitaceae fungi in China. Science Press, Beijing. 1-213 (in Chinese)
- Yuan JQ, Li CH, Gao C, Wang MF, Zhou MM, Sun H, Lan XH, Yu ZL, Du FG, 2020. Age structure and regeneration characteristics of natural *Thuja koraiensis* Nakai population in Swan-watching Nature Reserve. Journal of Bei Hua University (Natural Science), 21: 712-717 (in Chinese)
- [附中文参考文献]**
- 陈青君, 刘松, 2013. 北京野生大型真菌图册. 北京: 中国林业出版社. 1-176
- 戴玉成, 2003a. 药用担子菌——鲍氏层孔菌(桑黄)的新认识. 中草药, 34: 94-95
- 戴玉成, 2003b. 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
- 戴玉成, 2010a. 海南大型木生真菌的多样性. 北京: 科学出版社. 1-248
- 戴玉成, 2010b. 中国东北地区木材腐朽菌的多样性. 菌物学报, 29: 801-818
- 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(6): 801-824
- 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, 员媛, 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
- 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): 1-21
- 范宇光, 图力古尔, 2010. 长白山不同植被带大型真菌多样性调查名录 I 高山苔原带. 菌物研究, 8(1): 32-34, 47
- 李国华, 郭向阳, 李霖明, 任明迅, 万玲, 丁琼, 李娟玲, 2022. 海南热带雨林国家公园不同植被类型的大型真菌多样性. 生物多样性, 30: 22110
- 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. 郑州: 中原农民出版社. 1-1351
- 罗侠, 沈玉玉, 陈强, 李稳稳, 王依依, 赵佳慧, 2022. 大别山、仙居县和溧水区大型真菌多样性. 生物资源, 44(4): 383-395
- 马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 2(3): 162-168
- 马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231-239
- 图力古尔, 包海鹰, 李玉, 2014. 中国毒蘑菇名录. 菌物学报, 33(3): 517-548
- 图力古尔, 康国平, 范宇光, 王耀, 梁晗, 2011a. 长白山大型真菌物种多样性调查名录IV针阔混交林带. 菌物研究, 9(1): 21-36
- 图力古尔, 李玉, 2000. 大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究. 生物多样性, 8(1): 73-80
- 图力古尔, 刘文钊, 范宇光, 康国平, 2011b. 长白山大型真菌物种多样性调查名录V阔叶林带. 菌物研究, 9(2): 77-87, 99
- 王铁柱, 梁晗, 图力古尔, 2010. 长白山不同植被带大型真菌多样性调查名录II亚高山岳桦林带. 菌物研究, 8(2): 66-70
- 王薇, 图力古尔, 2015. 长白山地区大型真菌的区系组成及生态分布. 吉林农业大学学报, 37(1): 26-36
- 王雪珊, 图力古尔, 宝金山, 宝虎, 丰洁, 2020. 内蒙古罕山国家级自然保护区大型真菌多样性. 菌物学报, 39(4): 695-706
- 王耀, 范宇光, 图力古尔, 2010. 长白山不同植被带大型真菌多样性调查名录III针叶林带. 菌物研究, 8(4): 200-210
- 伍利强, 徐隽彦, 张明, 陈再雄, 刘祝祥, 李泰辉, 2021. 丹霞山大型真菌物种多样性调查及四个中国新记录种. 食用菌学报, 28(3): 135-146
- 武英达, 满孝武, 员媛, 戴玉成, 2022. 中国各省植物园中多孔菌种类、分布和组成. 生物多样性, 30(7): 230-236
- 杨苗, 张杰, 白嘉伟, 郭建刚, 曲亚辉, 李会平, 2021. 雾灵山国家级自然保护区大型真菌物种多样性. 生物多样性, 29(9): 1229-1235
- 杨祝良, 2015. 中国鹅膏科真菌图志. 北京: 科学出版社. 1-213
- 苑景淇, 李成宏, 高纯, 王梅芳, 周梅妹, 孙华, 兰雪涵, 于忠亮, 杜凤国, 2020. 望天鹅保护区天然朝鲜崖柏种群年龄结构及更新特征. 北华大学学报(自然科学版), 21: 712-717