

高格斯台罕乌拉自然保护区不同阔叶林中大型真菌多样性

白慧¹, 姜海燕¹, 丛林¹, 史东明¹, 林任杰¹, 狄佳麟²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古呼和浩特 010018; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院蔬菜花卉研究所, 内蒙古呼和浩特 010031)

摘要: 【目的】以高格斯台罕乌拉自然保护区为研究区域, 调查保护区白桦 *Betula platyphylla* 林 (I)、蒙古栎 *Quercus mongolica* 林 (II)、白桦-蒙椴 *Tilia mongolica* 混交林 (III)、白桦-蒙古栎-山杨 *Populus davidiana*-黑桦 *B. platyphylla* 混交林 (IV)、山杨-蒙古栎-黑桦混交林 (V) 5 种阔叶林中大型真菌资源分布状况及其与植被的关系, 为日后保护区大型真菌保育工作提供依据。【方法】通过随机踏查和样地法采集大型真菌, 结合形态学和分子学对采集标本进行鉴定, 分析大型真菌种群分布、多样性、群落相似性及大型真菌与植物的关系。【结果】保护区大型真菌共有 213 种, 隶属于 2 门 4 纲 19 目 54 科 119 属; 优势属为红菇属 *Russula*、蘑菇属 *Agaricus*、香菇属 *Lepista* 等共 8 属; 植被类型 IV 的丰富度指数、多样性指数及均匀度指数在 5 种植被类型中为最高; 乔木层、灌木层及草本层 Shannon-Wiener 多样性指数和乔木层、草本层 Simpson 多样性指数对大型真菌各项指数影响较大; 植被总盖度、草本盖度、郁闭度及海拔对大型真菌优势属显著相关; 类型 II 与类型 IV 之间大型真菌相似性最高, 为 0.27, 类型 III 与类型 IV 之间和类型 I 与类型 II 之间的相似性最低, 均为 0.14; 从种聚类上来看, 在距离系数 25 处, 分为两大类, 在距离系数为 14 处, 可分为 3 个小聚群。【结论】植物在多样性、相似性等方面均不同程度地影响林内大型真菌分布, 且植物类型越相似, 大型真菌组成越相似。图 2 表 7 参 28

关键词: 大型真菌; 植被类型; 物种多样性; 相似性

中图分类号: Q949.3; S759.9 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2022)04-0765-10

Diversity of macrofungi in different broad-leaved forests in Gaogestai Hanwula Nature Reserve

BAI Hui¹, JIANG Haiyan¹, CONG Lin¹, SHI Dongming¹, LIN Renjie¹, DI Jialin²

(1. Forestry College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China)

Abstract: [Objective] This study, taking Gogestai Hanwula Nature Reserve as the research area, is aimed to investigate the distribution of macrofungi and its relationship with the local vegetation in five broad-leaved forests so as to provide plausible reference for the conservation of macrofungi in the future. [Method] First, macrofungi were collected from *Betula platyphylla* (Type I), *Quercus mongolica* (Type II), *B. platyphylla-Tilia mongolica* (Type III), *B. platyphylla-T. mongolica* and *B. platyphylla-Q. mongolica-Populus davidiana-B. dahurica* (Type IV), and *P. davidiana-Q. mongolica-B. dahurica* (Type V) in the nature reserve with the employment of random sampling and sample plot method. Then the collected specimens were identified from the perspectives of morphology and molecular chemistry before an analysis was conducted of the species distribution, diversity, community similarity and macrofungi-plant relationships. [Result] (1) There were 213

收稿日期: 2021-09-26; 修回日期: 2022-03-02

基金项目: 阿鲁科尔沁旗生物多样性专项调查与保护规划服务项目 (AQJYZX-2018TP047-FW); 内蒙古大学生创新创业项目 (201810129013); 教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金 (707014)

作者简介: 白慧 (ORCID: 0000-0001-6384-4559), 从事森林病理、菌物分类等研究。E-mail: 18047137732@163.com。通信作者: 姜海燕 (ORCID: 0000-0001-9367-6250), 副教授, 博士, 从事森林病理、菌物分类等研究。E-mail: jhydlm@126.com

species of macrofungi in the reserve, which can be categorized into 2 phyla, 4 classes, 19 orders, 54 families, 119 genera. (2) There were a total of 8 dominant genera including *Russula*, *Agaricus* and *Lepista*. (3) Of the five vegetation types, Type IV ranked the first in richness, diversity and evenness. (4) The diversity index and evenness index of tree layer, shrub layer and herb layer and the diversity index of tree layer and herb layer had significant influence on the indices of macrofungi. (5) The total vegetation coverage, herbage coverage, canopy closure and altitude were significantly correlated with the dominant genera of macrofungi. (6) The similarity between Type II and Type IV was the highest (0.27) whereas the one between Type III and Type IV and the one between Type I and Type II were the lowest (both being 0.14). (7) In terms of species clustering, with the distance coefficient being 25, they could be divided into two groups, while with the distance coefficient being 14, they could be divided into three clusters. [Conclusion] The diversity and similarity of plants affected the distribution of macrofungi to varying degrees, and the more similar the plant type was, the more similar the composition of macrofungi was. [Ch, 2 fig. 7 tab. 28 ref.]

Key words: macrofungi; forest types; species diversity; similarity

生物多样性被用来描述自然界多样性的程度, 是一个内容十分广泛的概念^[1]。生物多样性具有丰富的层次和内容^[2], 其中物种多样性是人类可持续发展所依赖的最重要的可再生自然资源宝库, 是生物多样性最重要的结构和功能单位, 是不可或缺的部分^[3]。物种多样性是指动物、植物和微生物种类的丰富度。物种多样性不仅可以反映植被类型或生境中物种的丰富度、变化程度或均匀度, 也可反映不同自然条件(生态系统的结构类型、稳定程度、生境差异等)与植被类型的关系^[4], 比较系统而清晰地显示生物群落的结构, 同时也可以反映生物群落和生态环境之间的关系^[5], 是衡量一定区域内生物资源丰富程度的客观指标^[6]。研究不同植被类型下大型真菌物种分布情况, 揭示大型真菌分布规律, 不仅对探明研究区大型真菌种类资源, 反映其发生变化的规律, 比较不同植被类型下大型真菌物种多样性有着重要作用, 同时可为大型真菌资源利用提供基础资料。

高格斯台罕乌拉自然保护区的生态环境丰富, 极适宜大型野生真菌的生长和繁衍, 是野生菌菇类的天然基因库, 但保护区尚未开展全面的大型真菌调查, 仅在2005年巴图等^[7]对保护区调查并发现大型真菌44科99属160种。本研究对保护区进行了详细调查, 了解大型真菌资源、物种多样性以及子实体发生的生态特征, 完善该地阔叶林内物种资源, 以期高格斯台罕乌拉自然保护区积累必要的生物多样性基础资料。

1 材料与方法

1.1 样地设置

高格斯台罕乌拉自然保护区位于内蒙古赤峰市, 阿鲁科尔沁旗北部, 该地区年均气温为3.8℃, 年均降水量为437.3 mm, 四季分明, 生态环境良好, 物种资源多样, 保留了较为原始的景观和丰裕的生物资源。植被类型复杂, 主要的植被类型有落叶阔叶林、常绿阔叶灌丛、落叶阔叶灌丛、半灌木丛、草原、草甸和沼泽等。根据植被分类系统和各级分类单位的划分标准^[8], 该保护区植被划分为5个类型, 其中, 阔叶林可划分为1个植被型6个植被亚型7个群系组10个群系。根据保护区内大型真菌的分布及生长情况, 于2019和2020年的8—9月选取5种具代表性的类型: 类型I林内主要为白桦 *Betula platyphylla*; 类型II林内主要为蒙古栎 *Quercus mongolica*; 类型III林内主要为白桦和蒙栎 *Tilia mongolica*; 类型IV林内主要为白桦、蒙古栎、山杨 *Populus davidiana*、黑桦 *B. dahurica* 等; 类型V林内主要为山杨、蒙古栎、黑桦。设5个样地, 每个样地按照水平和垂直方向划设3~5个20 m×20 m的样方, 并测定大型真菌组成和记录采集标本的数量, 在每个样方的四角及中间设置5个5 m×5 m的灌木样方和5个1 m×1 m的草本样方, 记录植物种类及数量^[9]。5种阔叶林样地立地条件见表1。

表 1 5 种阔叶林立地条件情况

植被类型	海拔/m	湿度/%	植被总盖度/%	乔木胸径/mm	乔木树高/m	草本盖度/%	灌木盖度/%	郁闭度/%
I	749.70±3.22 a	63.03±0.97 b	63.00±6.08 a	46.33±14.84 a	6.87±0.55 a	44.00±2.08 d	75.67±2.91 a	49.67±3.38 b
II	940.07±4.02 a	75.20±0.55 a	73.67±6.36 a	35.00±3.01 a	10.50±3.76 a	75.33±3.18 b	54.33±3.84 ab	70.67±4.10 a
III	1196.34±0.52 a	47.70±1.62 c	78.33±0.88 a	51.87±1.94 a	8.60±0.31 a	81.00±0.58 b	74.00±2.08 a	74.33±2.60 a
IV	1152.05±9.23 a	50.33±0.67 c	82.00±1.53 a	36.20±1.63 a	8.83±0.42 a	62.67±4.18 c	3.33±3.33 c	81.00±1.15 a
V	1182.87±0.80 a	47.10±1.06 c	78.00±3.61 a	40.30±0.64 a	7.93±0.72 a	90.00±2.65 a	42.00±11.93 b	81.00±0.58 a

说明：数值为均值±标准误，同列不同小写字母表示Duncan氏方差检验差异显著($P < 0.05$)， $n=3$

1.2 标本采集

在样方内采集并记录种群类型及其发生的大型真菌种类。在采集过程中对大型真菌进行编号，用索尼黑卡相机对其子实体进行全方位拍照，包括生境、菌盖、菌褶、菌柄、菌环及菌托等，并记录其特征；随身携带位置记录仪，记录采集标本点的经纬度和海拔。将标本用牛皮纸袋封装好，带回烘干，保存在内蒙古农业大学林学院森林病理标本室。

1.3 标本鉴定

形态学鉴定：采用传统形态学对标本鉴定，做徒手切片，将材料置于质量分数为 5% 的氢氧化钾或蒸馏水中在光学显微镜或者电子显微镜下观察(孢子、担子、菌丝等)子实体的微观特征^[10]；用质量分数为 1% 刚果红染色剂，光学显微镜下检验孢子菌丝、菌髓是否为淀粉质和类糊精反应。孢子大小取 50 个的平均值。根据样本的宏观和微观特征，结合标本照片，根据《蕈菌分类学》《中国大型真菌原色图鉴》《赛罕乌拉自然保护区菌物资源图鉴》《中国梵净山大型真菌》《中国大型菌物资源图鉴》等有关书籍进行鉴定。

分子学鉴定：DNA 提取采用 CTAB 法，使用真菌通用引物 ITS1 (5'-TC CGTAGGTGAACCTGCGG-3')/ITS4 (5'-TCCTCCGC TTATTGATATGC-3') 对标本进行 PCR 扩增，扩增产物送北京华大基因研究中心进行测序，将自测序列输入分子数据库 GenBank 进行 BLAST 比对和同源序列的检索^[11]。

将鉴定后的大型真菌物种名在 Index Fungorum 真菌命名数据库 (<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>) 中搜索比对，确保物种拉丁学名准确，中文名及分布地参考生物物种名录^[12]，并结合相关文献^[13-14] 和《现代菌物分类系统》对鉴定出的物种进行分类统计。

1.4 大型真菌与植物多样性及不同植被类型大型真菌物种相似性

大型真菌及植物多样性采用 Simpson 多样性指数 (D)^[15] 和 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')^[16] 相结合；采用 Menhinick 的丰富度指数 (R) 和 Pielou 的均匀度指数 (E)^[17]。采用 Sorenson 相似性系数 (C_j)^[18] 计算两两植被类型间大型真菌物种的相似系数。

1.5 分析方法

大型真菌数量统计依靠地上子实体个数，多度采用数量统计的方法；乔木的胸径采用胸径尺测量；乔木树高采用 CGQ-1 型林业测高器进行测量；空气湿度采用 Kestrel 2500 风速气象仪测定；海拔使用 GPS 定位获得；灌木冠幅使用普通卷尺测量；林冠郁闭度、草本盖度采用目测估算。大型真菌的物种组成根据研究区域所采集的标本数据在 Excel 中进行科、属的统计及多样性分析；按照图力古尔等^[19] 对优势属的定义，将物种数 ≥ 5 的属定为优势属；采用 SPSS 25 对样地立地条件及植物多样性进行 Duncan 氏方差检验分析，对不同植被类型间相似系数进行系统聚类分析；采用 Canoco 5 对不同植被类型优势科与立地条件进行冗余分析；对植物多样性与大型真菌多样性进行相关分析；采用 OriginPro 2020 制作不同植被类型中大型真菌物种相似性韦恩图。

2 结果与分析

2.1 大型真菌种群结构及组成分析

2.1.1 大型真菌种群结构 由表 2 可见：保护区阔叶林内大型真菌资源丰富，经鉴定隶属于 2 门 4 纲 19 目 54 科 119 属 213 种。其中，32 科只有单一属级分类单元，为暗银耳科、齿菌科、刺孢齿耳菌科等，共占总科数的 59.3%。依据《菌物词典》第 10 版，将刺银耳属 *Pseudohydnum*、附毛菌属 *Trichaptum*、

表2 高格斯台罕乌拉自然保护区阔叶林大型真菌科、属和种的数量统计

Table 2 Total number of families, genera and species of macrofungi in Gaogesitai Hanwula Nature Reserve

科名	属数	种数	科名	属数	种数	科名	属数	种数
暗银耳科 Phaeotremellaceae	1	1	肉座菌科 Hypocreaceae	1	1	拟层孔菌科 Fomitopsidaceae	2	4
齿菌科 Hydnaceae	1	1	小塔氏菌科 Tapinellaceae	1	1	小皮伞科 Marasmiaceae	2	4
刺孢齿耳菌科 Steccherinaceae	1	1	原毛平革菌科 Phanerochaetaceae	1	1	钉菇科 Gomphaceae	2	4
伏革菌科 Corticiaceae	1	1	黏褶菌科 Gloeophyllaceae	1	1	光柄菇科 Pluteaceae	2	5
腹菌科 Hymenogastraceae	1	1	桩菇科 Paxillaceae	1	1	类脐菇科 Omphalotaceae	2	5
干腐菌科 Serpulaceae	1	1	鹅膏科 Amanitaceae	1	2	韧革菌科 Stereaceae	2	5
革菌科 Thelephoraceae	1	1	锁瑚菌科 Clavulinaceae	1	2	刺革菌科 Hymenochaetaceae	3	3
隔孢伏革菌科 Peniophoraceae	1	1	银耳科 Tremellaceae	1	2	粉褶菌科 Entolomataceae	3	3
挂钟菌科 Cyphellaceae	1	1	地星科 Geastraceae	1	3	泡头菌科 Physalacriaceae	3	3
鸡油菌科 Cantharellaceae	1	1	小菇科 Mycenaceae	1	3	干朽菌科 Meruliaceae	5	6
块菌科 Tuberales	1	1	蜡伞科 Hygrophoraceae	1	5	球盖菇科 Strophariaceae	6	7
裂褶菌科 Schizophyllaceae	1	1	轴腹菌科 Hydnangiaceae	1	5	丝盖伞科 Inocybaceae	4	9
灵芝科 Ganodermataceae	1	1	红菇科 Russulaceae	1	14	小脆柄菇科 Psathyrellaceae	5	11
铆钉菇科 Gomphidiaceae	1	1	侧耳科 Pleurotaceae	2	2	蘑菇科 Agaricaceae	3	15
木瑚菌科 Lentariaceae	1	1	火丝菌科 Pyrenomataceae	2	2	口蘑科 Tricholomataceae	8	22
盘菌科 Pezizaceae	1	1	离褶伞科 Lyophyllaceae	2	2	多孔菌科 Polyporaceae	20	28
柔膜菌科 Helotiaceae	1	1	牛肝菌科 Boletaceae	2	2	未定科	3	5
乳牛肝菌科 Suillaceae	1	1	粪伞科 Bolbitiaceae	2	3	共计	119	213
丝膜菌科 Cortinariaceae	1	1	木耳科 Auriculariaceae	2	3			

斑褶菇属 *Panaeolus* 归为科地位未定属。

2.1.2 大型真菌优势属 由表3可知：物种相对丰富的属有8个，分别为红菇属 *Russula* 14种，蘑菇属 *Agaricus*、马勃属 *Lycoperdon*、香蘑属 *Lepista* 及杯伞属 *Clitocybe* 各6种，蜡蘑属 *Laccaria*、蜡伞属 *Hygrophorus* 及栓菌属 *Trametes* 各5种，共计53种，占总物种数的24.9%，而属数仅占总属数的6.7%。

表3 高格斯台罕乌拉自然保护区大型真菌优势属

Table 3 Statistics of dominant genera (≥ 5 species) of macrofungi in Gaogesitai Hanwula Nature Reserve

属名	种数	占比/%	属名	种数	占比/%
栓菌属	5	2.3	马勃属	6	2.8
蜡伞属	5	2.3	蘑菇属	6	2.8
蜡蘑属	5	2.3	红菇属	14	6.6
杯伞属	6	2.8	共计	53	24.9
香蘑属	6	2.8			

2.2 不同植被类型大型真菌与植物的关系

2.2.1 不同植被类型大型真菌多样性 由表4可见：不同植被类型中，大型真菌丰富度、多样性指数不同。大型真菌丰富度从高到低依次为IV、V、II、III、I，其中类型IV中大型真菌丰富度最高(7.6818)，类型I丰富度指数最小(2.7500)；多样性指数 D 和 H' 的高到低依次为IV、V、II、I、III，可见在2种多样性测度方法下，多样性指数变化趋势是一致的；从均匀度指数 E 看，各植被类型中真菌分布相对比较均匀，从高到低依次为IV、V、II、I、III，其中类型IV均匀度指数最高(0.9839)。

2.2.2 不同植被类型植物多样性 由表5可见：各层次多样性指数 D 和 H' 从大到小均依次为草木层、灌木层、乔木层；均匀度指数 E 从大到小依次为乔木层、灌木层、草本层。乔木层多样性指数 D 在类型IV中最高，由于该类型以山杨为优势种乔木层物种种类复杂多样，相比较于其他类型，各种的个体分配较均匀，导致该类型多样性指数 D 最高，多样性指数 H' 在类型V中最高(0.5163)，均匀度指数类型II最低，为0.1244；从灌木层来看，多样性指数 D 和 H' 分别在类型I和类型IV最高，分别为0.7404

和 0.699 1, 类型 II 均匀度指数 E 最低, 为 0.111 4; 草本层多样性指数 H' 类型 I 最高, 为 0.864 5, 多样性指数 D 类型 IV 最高, 为 0.723 3, 均匀度指数 E 在类型 III 最高, 为 0.007 6。

2.2.3 不同植被类型大型真菌优势属与立地条件的关系 图 1 显示: 草本盖度为主要影响第 2 轴的因子, 并且单独解释量最大, 解释了变量的 13.5% ($P=0.002<0.05$), 银耳属、附毛菌属、香蘑属等与草本盖度有较强的正相关, 随着植被总盖度和郁闭度的增加, 红菇属、杯伞属、蜡伞属等种数增加。小菇属 *Mycena*、红菇属、层孔菌属 *Fomes* 等对海拔、湿度、植被总盖度等 8 个立地条件因子选择性较低。乔木树高、胸径、湿度及灌木冠幅对优势属无显著影响。

2.2.4 大型真菌多样性与植被不同层次多样性的关系 由表 6 可见: 在类型 I 中, 草本层多样性各项指数与大型真菌各项指数均呈正相关, 其中, 大型真菌多样性指数 H' 与草本层多样性指数 D 和均匀度指数 E 为极显著正相关 ($P<0.01$), 乔木层多样性指数 D 与大型真菌指数 H' 呈现极显著负相关 ($P<0.01$); 类型 II 中, 除灌木层多样性指数 H' 外, 大型真菌多样性指数 D 与其他层次各项指数均呈正相关, 多样性指数 H' 与灌木层均匀度指数 E 呈极显著负相关 ($P<0.01$), 大型真菌均匀度指数 E 与乔木层多样性指数 H' 呈极显著负相关 ($P<0.01$); 类型 III 大型真菌多样性指数 D 与灌木层多样性指数 H' 呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与 3 种层次均匀度指数 E 及草本层多样性指数 H' 呈负相关, 草本层的 3 种指数与大型真菌多样性指数 H' 和均匀度指数 E 呈正相关; 类型 IV 中大型真菌均匀度指数 E 与乔木层和草本层多样性指数 D 呈极显著正相关 ($P<0.01$), 大型真菌多样性指数 H' 与草本层多样性指数 H' 呈显著正相关 ($P<0.05$); 类型 V 中大型真菌多样性指数 H' 随灌木层多样性指数 H' 的增高而降低, 且呈现显著水平。从整体看, 草本层各项多样性指数是影响大型真菌多样性的主要因素。

表 4 高格斯台罕乌拉自然保护区不同植被类型大型真菌多样性

Table 4 Macrofungi diversity in different vegetation type in Gaogesitai Hanwula Nature Reserve

植被类型	物种数	标本总数	丰富度指数	多样性指数		均匀度指数 E
				D	H'	
I	22	64	2.750 0	0.939 5	2.930 7	0.948 1
II	35	79	3.937 8	0.960 7	3.384 1	0.951 8
III	24	46	3.538 6	0.930 1	2.935 8	0.923 8
IV	129	282	7.681 8	0.991 0	4.781 8	0.983 9
V	87	197	6.198 5	0.984 6	4.315 7	0.966 4

表 5 高格斯台罕乌拉自然保护区不同植被类型植物多样性

Table 5 Plant diversity in different vegetation types in Gaogesitai Hanwula Nature Reserve

植被类型	层次	多样性指数		均匀度指数 E
		D	H'	
I	乔木层	0.238 4±0.013 2 cE	0.338 3±0.037 7 cC	0.242 4±0.002 7 aA
	灌木层	0.740 4±0.009 7 bA	0.558 6±0.007 7 bB	0.190 2±0.008 7 aB
	草本层	0.864 5±0.007 8 aA	0.690 5±0.002 8 aB	0.066 9±0.025 2 bA
II	乔木层	0.192 9±0.000 8 cE	0.239 8±0.005 8 cE	0.124 4±0.005 0 aC
	灌木层	0.682 7±0.003 6 bB	0.498 7±0.022 3 bC	0.111 4±0.005 8 aD
	草本层	0.784 8±0.003 4 aC	0.623 9±0.010 9 aB	0.050 6±0.009 2 bA
III	乔木层	0.288 0±0.005 0 cD	0.366 7±0.128 9 bC	0.134 1±0.003 4 aC
	灌木层	0.356 9±0.014 7 bD	0.395 7±0.005 3 bD	0.115 7±0.002 2 bD
	草本层	0.732 3±0.001 5 aE	0.604 1±0.009 1 aA	0.077 6±0.004 3 cA
IV	乔木层	0.641 6±0.003 2 cB	0.489 3±0.007 9 cC	0.179 5±0.004 1 aB
	灌木层	0.706 4±0.002 4 bC	0.699 1±0.003 4 bA	0.140 1±0.004 7 bC
	草本层	0.762 1±0.006 2 aD	0.723 3±0.006 4 aA	0.036 1±0.002 3 cA
V	乔木层	0.461 6±0.007 0 cA	0.516 3±0.007 5 bC	0.233 7±0.004 2 aA
	灌木层	0.588 6±0.006 0 bC	0.530 3±0.012 7 bC	0.169 4±0.000 3 bB
	草本层	0.826 0±0.000 7 aB	0.683 6±0.004 7 aA	0.052 2±0.006 7 cA

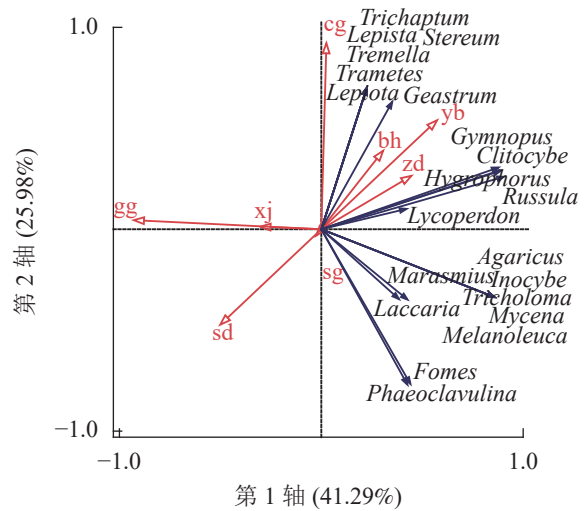
说明: 不同小写字母表示同一林型不同层间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示同层不同林型间差异显著 ($P<0.05$)

2.3 不同植被类型大型真菌相似性

2.3.1 不同植被类型大型真菌分布 不同植被类型大型真菌分布情况不同, 类型 I 中分布有宽褶革菌 *Lenzites platyphyllus*、丁香金黄孔菌 *Xanthoporus syringae*、锈口蘑 *Tricholoma pessundatum*、布莱萨蘑菇 *Agaricus bresadolanus*、桦拟层孔菌 *Fomitopsis betulina*、槐栓菌 *Trametes robiniophila*、硬毛栓菌 *Trametes hirsuta*、血根草红菇 *Russula sanguinaria*、沼泽红菇 *Russula paludosa*、橄榄色绒盖伞 *Simocybe sumptuosa*、药用拟层孔菌 *Fomitopsis officinalis*、网纹马勃 *Lycoperdon perlatum*、干小皮伞 *Marasmius siccus* 等 22 种大型真菌。其中, 干小皮伞为该类型内的优势种, 占总类型大型真菌内物种总数的 10.9%。

类型 II 中有亚致密韧伞 *Lentinus substrictus*、鲑贝耙菌 *Irpex consors*、天蓝红菇 *Russula azurea*、铜绿红菇 *Russula aeruginea*、芳香杯伞 *Clitocybe fragrans*、条纹口蘑 *Tricholoma virgatum*、腐木硬柄菇 *Ossicaulis lignatilis*、血红色钉菇 *Chroogomphus rutilus*、细木耳 *Auricularia heimuer*、褐疣柄牛肝菌 *Leccinum scabrum*、布罗德韦田头菇 *Agrocybe broadwayi*、袋形地星 *Geastrum saccatum*、干小皮伞等 35 种。其中, 袋形地星和干小皮伞为类型 II 的优势种, 占类型内物种总数的 7.6%

类型 III 中分布单色下皮黑孔菌 *Cerrena unicolor*、冬生韧伞 *Lentinus brumalis*、偏肿栓菌 *Trametes gibbosa*、软帕氏孔菌 *Parmastomyces mollissimus*、烟管菌 *Bjerkandera adusta*、树脂薄皮孔菌 *Ischnoderma*



bh. 海拔; sd. 湿度; zd. 植被总盖度; xj. 乔木胸径; sg. 乔木树高; cg. 草本盖度; gj. 灌木盖度; yb. 郁闭度

图 1 不同植被类型大型真菌优势属与立地条件的冗余分析

Figure 1 RDA analysis of dominant genera and site conditions of macrofungi in different vegetation types

表 6 大型真菌多样性与植物多样性的关系

Table 6 Relationship between macrofungal diversity and plant diversity

植被类型	大型真菌多样性	植物多样性								
		乔木层			灌木层			草本层		
		D	H'	E	D	H'	E	D	H'	E
I	D	-0.865	-0.640	-0.543	0.010	-0.242	-0.242	0.756	0.958	0.493
	H'	-1.000**	-0.941	-0.894	-0.497	0.282	0.282	0.983**	0.971	0.866**
	E	-0.779	-0.516	-0.410	0.162	-0.387	-0.387	0.648	0.903	0.356
II	D	0.460	0.916	0.717	0.996	-0.812	0.306	0.616	0.508	0.978
	H'	0.696	-0.671	-0.888	-0.396	-0.296	-1.000**	0.552	0.656	-0.109
	E	-0.032	-0.999*	-0.948	-0.936	0.481	-0.687	-0.216	-0.087	-0.791
III	D	0.699	0.978	-0.276	0.907	1.000**	-0.597	0.323	-0.942	-0.920
	H'	-0.225	-0.727	-0.264	-0.557	-0.854	0.093	0.216	0.979	0.583
	E	0.045	-0.516	-0.514	-0.313	-0.682	-0.178	0.471	0.889	0.343
IV	D	-0.787	0.605	0.771	-0.533	0.856	0.584	-0.775	0.997	-0.157
	H'	-0.863	0.707	0.850	-0.643	0.918	0.469	-0.854	0.999*	-0.290
	E	0.919**	-0.789	-0.909	0.733	-0.960	-0.357	0.911**	-0.984	0.405
V	D	-0.939	-0.574	-0.302	0.368	-0.760	-0.982	0.054	0.025	0.327
	H'	-0.937	-0.968	-0.849	0.884	-1.000**	-0.870	-0.608	-0.631	-0.365
	E	0.884	0.458	0.171	-0.239	0.665	0.947	-0.189	-0.160	-0.452

说明: **为极显著相关($P < 0.01$), *为显著相关($P < 0.05$)

resinosum、松生拟层孔菌 *Fomitopsis pinicola*、大趋木菌 *Xylobolus princeps*、皱皮囊皮菇 *Cystoagaricus strobilomyces*、半卵形斑褶菇 *Panaeolus semiovatus*、二胶化孔菌 *Gelatoporia dichroa*、裂褶菌 *Schizophyllum commune*、白刺马勃 *Lycoperdon wrightii*、淡色冬菇 *Flammulina rossica*、双色蜡蘑 *Laccaria bicolor*、二形附毛菌 *Trichaptum bifforme*、淡黄枝瑚菌 *Ramaria lutea*、毛嘴地星 *Geastrum fimbriatum*、网纹马勃等 24 种。其中，毛嘴地星为优势种，占类型内物种总数的 17.4%，网纹马勃次之 (10.9%)。

类型 IV 中分布的大型真菌为红褐隔孢伏革菌 *Peniophora rufa*、新粗毛革耳 *Panus neostrigosus*、科普兰齿舌革菌 *Radulomyces copelandii*、光亮红菇 *Russula nitida*、薄盖蜡孔菌 *Ceriporus leptoccephalus*、粉红蜡伞 *Hygrophorus pudorinus*、钩刺马勃 *Lycoperdon penicillatum*、软皮马勃 *Lycoperdon dermoxanthum*、红毛盾盘菌 *Scutellinia scutellata*、拟白林地蘑菇 *Agaricus silvicolae-similis*、烟色韧革菌 *Stereum gausapatum*、霍氏绒盖伞 *Simocybe haustellaris*、红射脉菌 *Phlebia rufa*、宽丝刺顶菌 *Hydnocristella latihypha*、软靴耳 *Crepidotus mollis*、地疣杯菌 *Tarzetta catinus*、纳雷姆玉成孔菌 *Yuchengia narymica*、阿帕锥盖伞 *Conocybe apala*、茶暗银耳 *Phaeotremella foliacea*、木蹄层孔菌 *Fomes fomentarius*、直柄钰囊蘑 *Melanoleuca strictipes*、大型小皮伞 *Marasmius maximus* 等 129 种。其中，木蹄层孔菌、直柄钰囊蘑、大型小皮伞为类型 IV 的优势种 (1.8%)。

类型 V 中共分布悬垂箭皮菌 *Oxydontia copeladii*、蓝灰干酪菌 *Tyromyces caesius*、毒蝇鹅膏 *Amanita muscaria*、灰鹅膏 *Amanita vaginata*、密簇斜盖伞 *Clitopilus caespitosus*、李状粉褶蕈 *Entoloma prunuloides*、伏果干腐菌 *Serpula lacrymans*、帽盖光柄菇 *Pluteus petasatus*、拟苞小包脚菇 *Volvariella pseudovolvacea*、血红菇 *Russula sanguinea*、异白桩菇 *Leucopaxillus paradoxus*、梭孢环柄菇 *Lepiota magnispora*、多汁盘菌 *Peziza succosa*、热带小奥德蘑 *Oudemansiella canarii*、淡黄鳞伞 *Pholiota flavida*、朱红凹壳菌 *Nectria cinnabarina*、墨汁拟鬼伞 *Coprinopsis atramentaria*、珠芽小脆柄菇 *Psathyrella piluliformis*、竹生钟伞 *Campanella junghuhnii*、耳状小塔氏菌 *Tapinella panuoides*、毛嘴地星、褐皮马勃 *Lycoperdon fuscum* 等 87 种。其中，毛嘴地星、褐皮马勃是类型 V 的优势种，为 3.5%。

2.3.2 大型真菌种的相似性及聚类分析 保护区阔叶林内共有大型真菌 213 种，分布在 5 种不同植被类型的种相似系数见表 7。由表 7 可见：发现在类型 II 与类型 IV 之间相似性最高，为 0.27；在类型 III 与类型 IV 之间和类型 I 与类型 II 之间的相似性最低，均为 0.14。说明植被类型相似性高，大型真菌物种相似性也高。由图 2A 聚类图看：在距离系数最大处 (25 处)，聚类图可分为两大类，分别为 A 类，包含类型 I 和类型 III；B 类，包含类型 II、类型 IV 和类型 V。A、B 两类平均相关系数为 0.225。在距离系数为 14 处，可分为 3 个小聚群：类型 I 和类型 III，相似系数为 0.22；类型 V、类型 II，相似系数为 0.20 和类型 V。按照地理位置、调查程度及相似系数等多重作用下，5 种不同植被类型下大型真菌分类相对合理。图 2B 可以看出：5 种植被类型中无共有种，类型 I~V 中特有种分别为 6、5、7、83 和 52 种。类型 IV 的特有种所占比例较大。

表 7 高格斯台罕乌拉自然保护区各植被类型内大型真菌物种的相似系数

Table 7 Similarity coefficients of various macrofungi in Gaogesitai-Hanwula National Nature Reserve

植被类型	I	II	III	IV	V
I	1.00	0.14	0.22	0.17	0.18
II	0.14	1.00	0.20	0.27	0.20
III	0.22	0.20	1.00	0.14	0.16
IV	0.17	0.27	0.14	1.00	0.22
V	0.18	0.20	0.16	0.22	1.00

3 结论与讨论

高格斯台罕乌拉自然保护区植被属于山地森林、草原，且森林植被的组成及群落类型是多样的，山体上部的阴坡立地条件最湿润，一般发育形成白桦、黑桦林及山杨林，或桦杨混生林，复杂多样的植被情况为大型真菌生长发育提供了有利环境。经鉴定，保护区 5 种不同阔叶林内大型真菌有 2 门 4 纲 19 目 54 科 119 属 213 种，其中，优势属 8 个，包含 53 个物种。阔叶林内大型真菌物种资源较为丰富，可能与该区良好的生态环境和多样的植被类型有关，这与王雪珊^[20]对罕山自然保护区大型真菌调查的结果一致。不同植被类型下大型真菌多样性指数的结果表明：白桦-蒙古栎-山杨-黑桦林内大型真菌物种丰

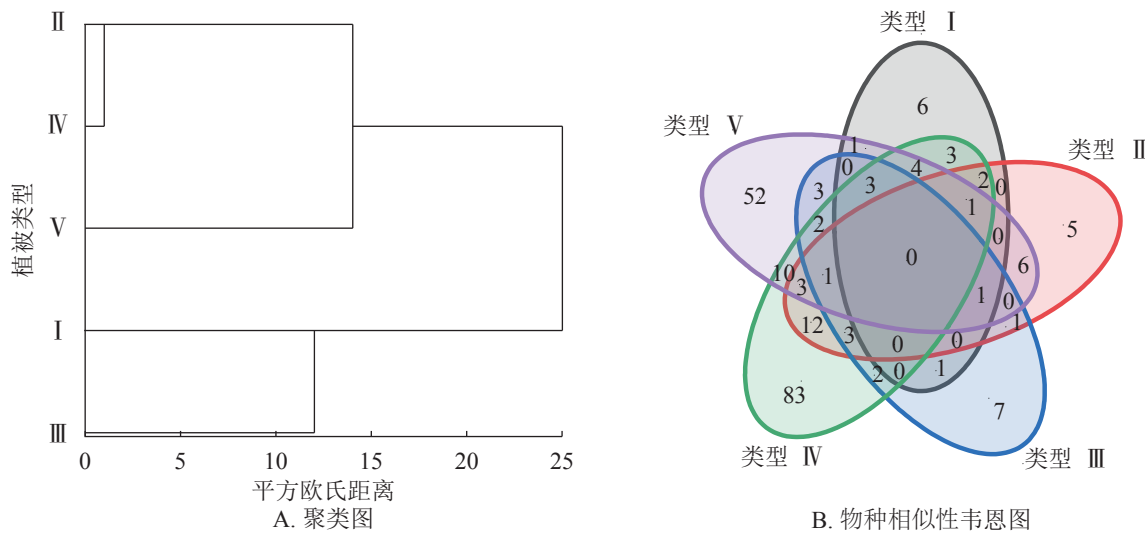


图2 不同植被类型大型真菌种相似性系数聚类及物种相似性韦恩图

Figure 2 Clustering of similarity coefficient of macrofungus species with different vegetation types and Venn diagram of species similarity

丰富度明显高于其他植被类型，可能与林内植被种类、郁闭度、地表腐殖质、温湿度等因素有关，这与相关研究^[21-22]的结果一致；但在白桦林内由于部分物种聚群密度偏高、种间个体数目相差大等，造成林内物种总个体数基数偏大，从而导致大型真菌物种丰富度指数偏低；乔木植物种类相似、林内结构相似的植被类型，大型真菌物种丰富度指数也较接近。因此生态一致的植被类型，大型真菌多样性差异小，反之，差异大。此观点与马绍宾等^[23]得出不同的生态系统、生态环境中大型真菌多样性差异很大的观点较为一致。从不同植被类型间植物各层之间的差异性可以看出各类型之间的植物多样性有较大差别^[24]。在同一林型内，植物各层多样性指数变化从大到小均为草本层、灌木层、乔木层，由于林内乔木分布较均匀、林间透光性强等因素，导致草本和灌木生长较好。阔叶混交林植物多样性指数较高，是由于林内植被复杂多样，植物物种生长发育好^[25]。在2种阔叶树纯林内，虽灌木种类较其他3种植被类型复杂，但由于乔木树种单一，海拔较高，灌草层物种分布和生长发育受到影响，与乔木之间资源利用的竞争更加剧烈，林内通风性强，光照充足，导致一些阴生物种缺乏，从而影响林内灌草层的物种种类。

林内立地条件影响大型真菌优势属的分布，其中，草本盖度对大型真菌优势属分布情况解释率最大，是影响大型真菌优势属分布的主要因子。草本植物丰富、盖度大的类型，可为大型真菌生长发育提供优良环境，从而大型真菌优势属种类分布较多；从整体看，乔木层分布均匀，草本层和大型真菌分布也较均匀，且草本多样性指数是影响大型真菌多样性的主要因素，这点与杜红居等^[26]观点一致。不同植被类型中大型真菌多样性组成存在一定差异性，且与植物多样性有关，这与图力古尔等^[27]对长白山阔叶红松 *Pinus koraiensis* 林大型真菌多样性分析结果一致。保护区不同植被类型间有不同程度的联系，植被类型相互间界限明显，虽然在水平结构上差异显著，但内部结构相对单一，物种丰富度指数偏低，致使不同植被类型之间的相似系数降低^[28]，表明不同植被类型的林内植物结构影响大型真菌相似性，不同植被类型间的林内植物结构相似性高的样地，大型真菌物种相似性也高。按照地理位置、调查程度及相似性系数等多重作用下，5种不同植被类型下大型真菌分类相对合理。

本研究通过对高格斯台罕乌拉自然保护区大型真菌调查，在一定程度上反映了该区阔叶林内大型真菌物种多样性。大型真菌丰富程度与植被、立地条件有关，且草本层是影响大型真菌物种的主要因子。

4 参考文献

- [1] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. *生物多样性*, 1993, 1(1): 20-22.
MA Keping. On the concept of biodiversity [J]. *Biodiversity Sci*, 1993, 1(1): 20-22.
- [2] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义[J]. *地理学报*, 1996, 51(5): 454-462.
FU Bojie, CHEN Liding. Landscape diversity types and their ecological significance [J]. *Acta Geogr Sin*, 1996, 51(5): 454-462.

- [3] 于占湖. 大型真菌多样性及在森林生态系统中的作用[J]. *中国林副特产*, 2007, **88**(3): 81 – 85.
YU Zhanhu. Macrofungal diversity and its role in forest ecosystems [J]. *For By-Prod Spec China*, 2007, **88**(3): 81 – 85.
- [4] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落的多样性研究[J]. *生物多样性*, 2000, **8**(4): 361 – 369.
ZHANG Lixia, ZHANG Feng, SHANGGUAN Tieliang. Study on the diversity of plant community in Luya Mountain [J]. *Biodiversity Sci*, 2000, **8**(4): 361 – 369.
- [5] 君珊, 王东波, 周健华, 等. 拉萨河流域浮游植物群落结构特征及与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2019, **39**(3): 787 – 798.
JUN Shan, WANG Dongbo, ZHOU Jianhua, *et al.* Community structures of phytoplankton and its relationship with environmental factors in the Lhasa River [J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, **39**(3): 787 – 798.
- [6] 图力古尔, 李玉. 大青沟自然保护区大型真菌物种多样性的研究[J]. *吉林农业大学学报*, 1999, **21**(3): 36 – 45.
Tolgor, LI Yu. Species diversity of macrofungi studies in Daqinggou Nature Reserve [J]. *J Jilin Agric Univ*, 1999, **21**(3): 36 – 45.
- [7] 巴图, 乌云高娃, 图力古尔. 内蒙古高格斯台罕乌拉自然保护区大型真菌区系调查[J]. *吉林农业大学学报*, 2005, **27**(1): 29 – 34, 42.
BA Tu, Oyongowa, Tolgor. Statistics of mycobiota of macrofungi in Gaogustahenwula Nature Reserve of Inner Mongolia [J]. *J Jilin Agric Univ*, 2005, **27**(1): 29 – 34, 42.
- [8] 方精云, 郭柯, 王国宏, 等. 《中国植被志》的植被分类系统、植被类型划分及编排体系[J]. *植物生态学报*, 2000, **44**(2): 96 – 110.
FANG Jingyun, GUO Ke, WANG Guohong, *et al.* Vegetation classification system and classification of vegetation types used for the compilation of vegetation of China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2000, **44**(2): 96 – 110.
- [9] 张秀华, 齐海鹰, 王仁卿, 等. 山东省自然保护区植物多样性研究[J]. *山东大学学报(理学版)*, 2019, **54**(7): 1 – 10.
ZHANG Xiuhua, QI Haiying, WANG Renqing, *et al.* Plant diversity in nature reserves of Shandong Province [J]. *J Shandong Univ Nat Sci*, 2019, **54**(7): 1 – 10.
- [10] 张清洋. 辽宁仙人洞国家级自然保护区大型真菌多样性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
ZHANG Qingyang. *Studies on Macrofungi Diversity in Xianrendong National Nature Reserve in Liaoning Province*[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014.
- [11] NA Q, BAU T. Mycena section Sacchariferae: three new species with basal discs from China [J]. *Mycol Prog*, 2019, **18**(3): 483 – 493.
- [12] 姚一建. 中国大型真菌红色名录评估[J]. *生物多样性*, 2020, **28**(1): 1 – 3.
YAO Yijian. Red list assessment of macrofungi in China [J]. *Biodiversity Sci*, 2020, **28**(1): 1 – 3.
- [13] WIJAYAWARDENE N N, HYDE K D, LUMBSCH HT, *et al.* Outline of Ascomycota: 2017 [J]. *Fungal Diversity*, 2018, **88**(1): 167 – 263.
- [14] MAHARACHCHIKUMBURA S S N, HYDE K D, JONES E B G, *et al.* Families of Sordariomycetes [J]. *Fungal Diversity*, 2016, **79**(1): 1 – 317.
- [15] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 (I) α 多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994, **2**(4): 231 – 239.
MA Keping, LIU Yuming. Measurement methods of community diversity (I) α diversity measurement methods (II) [J]. *Biodiversity Sci*, 1994, **2**(4): 231 – 239.
- [16] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. *Comput Commun Rev*, 2001, **5**(1): 3 – 55.
- [17] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 (I) α 多样性的测度方法(上)[J]. *生物多样性*, 1994, **2**(3): 162 – 168.
MA Keping. Measurement methods of community diversity (I) α diversity measurement methods (I) [J]. *Biodiversity Sci*, 1994, **2**(3): 162 – 168.
- [18] WHITTAKER R H. Evolution of measurement of species diversity [J]. *Axon*, 1972, **21**(2/3): 213 – 251.
- [19] 图力古尔, 李玉. 大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究[J]. *生物多样性*, 2000, **8**(1): 73 – 80.
Tolgor, LI Yu. Study on fungal flora diversity in Daqinggou Nature Reserve [J]. *Biodiversity Sci*, 2000, **8**(1): 73 – 80.
- [20] 王雪珊. 内蒙古罕山国家级自然保护区大型真菌多样性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020, **39**(4): 695 – 706.
WANG Xueshan. *Studies on Macrofungal Diversity in Hanwula National Nature Reserve, Inner Mongolia*[D].

- Changchun: Jilin Agricultural University, 2020, **39**(4): 695 – 706.
- [21] 杨滢, 赵兰, 陈言柳, 等. 江西抚河源自然保护区大型真菌多样性与区系特征[J]. 西北林学院学报, 2022, **37**(2): 164 – 169.
YANG Ying, ZHAO Lan, CHEN Yanliu, *et al.* Diversity and flora of macrofungi in the Fuheyuan Nature Reserve in Jiangxi Province [J]. *J Northwest For Univ*, 2022, **37**(2): 164 – 169.
- [22] 王术荣, 王德利, 王琦, 等. 西藏东南高寒森林大型真菌多样性与植被及环境的关系[J]. 菌物学报, 2016, **35**(3): 279 – 289.
WANG Shurong, WANG Deli, WANG Qi, *et al.* Relationship of macrofungal diversity and vegetation and environments in al-pine forests of Southeastern Tibet [J]. *Mycosystema*, 2016, **35**(3): 279 – 289.
- [23] 马绍宾, 冯云利, 马明, 等. 白马雪山曲宗贡地区 9 种群落类型中的大型真菌多样性研究[J]. 中国食用菌, 2019, **38**(9): 7 – 12.
MA Shaobin, FENG Yunli, MA Ming. Study on the macrofungi diversity in 9 communities of Quzonggong area in Baima Snow Mountain [J]. *Edible Fungi China*, 2019, **38**(9): 7 – 12.
- [24] 王铮屹, 戴其林, 柏宸, 等. 天目山皆伐毛竹林自然更新群落类型与多样性分析[J]. 浙江农林大学学报, 2020, **37**(4): 710 – 719.
WANG Zhengyi, DAI Qilin, BAI Cheng, *et al.* Types and diversity of natural regeneration community after clear cutting of *Phyllostachys edulis* forests in Mount Tianmu, China [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2020, **37**(4): 710 – 719.
- [25] 毛玉明, 吴初平, 黄玉洁, 等. 钱塘江源头水源林林分结构与功能分析[J]. 浙江林业科技, 2015, **35**(5): 1 – 5.
MAO Yuming, WU Chuping, HUANG Yujie, *et al.* Structure and function of forest for water conservation in Kaihua [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2015, **35**(5): 1 – 5.
- [26] 杜红居. 小兴安岭大型真菌多样性及其与林分特征的耦合关系[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
DU Hongju. *Macrofungi Diversity and Their Association with Forest Characters in Xiao Xing'an Mountains, NE China*[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018.
- [27] 图力古尔, 陈今朝, 王耀, 等. 长白山阔叶红松林大型真菌多样性[J]. 生态学报, 2010, **30**(17): 4549 – 4558.
BAU Tolgor, CHEN Jinzhao, WANG Yao, *et al.* Macrofungal diversity in broad-leaved Korean pine forest in the Changbaishan National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(17): 4549 – 4558.
- [28] 陈继东, 李东胜, 贾哲, 等. 燕山北部山地 4 种植物群落结构组成及相似性研究[J]. 河北林果研究, 2013, **28**(1): 49 – 54.
CHEN Jidong, LI Dongsheng, JIA Zhe, *et al.* Study on the structure characteristics and comparability in different plant communities in the north region of Yanshan Mountain [J]. *Hebei J For Orchard Res*, 2013, **28**(1): 49 – 54.