

# 丽江老君山国家公园木腐真菌区系组成与分布特征

李俊凝<sup>1,2</sup> 李秋实<sup>1,2</sup> 魏玉莲<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所森林生态与管理重点实验室, 沈阳 110016; <sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要** 木腐真菌是自然界中以木材为主要生长基质的一类大型真菌,通过分解倒死木的木质素、纤维素和半纤维素实现森林生态系统的物质循环,是森林生态系统的重要组成部分。研究木腐真菌的生态分布及其与环境因子的关系对分析其在森林生态系统中的生态功能有重要作用。本文在野外调查的基础上对云南省丽江老君山国家公园的木腐真菌物种组成和生态习性进行了分析,共采集标本 196 份,经鉴定为 68 种,隶属于 8 目 21 科 40 属,优势科为多孔菌科、拟层孔菌科和锈革孔菌科,优势属为异担子菌属,其区系组成以北温带成分为最多 (38.2%),其次是世界广布成分,表现出明显的北温带特征。从生态习性来看,63 种为腐生菌,其中 51 种造成白色腐朽,12 种造成褐色腐朽;5 种为外生菌根菌。木腐真菌的物种组成在不同林分中存在明显差异,落叶阔叶林中种类最多,共 34 种;其次为针阔混交林,有 26 种;暗针叶林有 22 种。脆波斯特孔菌与粗毛韧革菌在 3 种林分类型中均有分布且多度较高,是该地区的优势种。

**关键词** 木腐真菌; 地理成分分析; 功能属性; 海拔分布

**Floral composition and ecological distribution of wood-decaying fungi in Laojunshan National Park, Southwest China.** LI Jun-ning<sup>1,2</sup>, LI Qiu-shi<sup>1,2</sup>, WEI Yu-lian<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shen-yang 110016, China; <sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China) .

**Abstract:** Wood-decaying fungi are important components of forest ecosystem, mainly growing on the dead wood and decomposing lignin, cellulose, and hemi-cellulose. Understanding the ecological distribution of wood-decaying fungi are necessary to reveal their ecological function. In this study, we investigated wood-decaying fungi at three sites with different altitudes in Laojunshan National Park. Fruit bodies of fungi were collected and identified based on morphological and molecular analysis. In total 68 species were recorded, belonging to 40 genera, 21 families and 8 orders. Polyporaceae, Fomitopsidaceae, and Hymenochaetaceae were dominant families. The floral composition showed a distinct north temperate character, which was the most important element among all the bio-geographical elements with the highest percentage of 38.2%. These wood-decaying fungi can be divided into two ecological types: saprophytic (63 species) and ectomycorrhizal (5 species). Among these saprophytic fungi, 51 species could cause white rot and 12 species cause brown rot. The amounts of fungal species in deciduous broad-leaf forest (DBF), coniferous broad-leaved mixed forest (CBMF) and dark coniferous forest (DCF) were 34, 26 and 22, respectively. *Postia fragilis* and *Stereum hirsutum*, distributed in all the three types of forests, were dominant species of Laojunshan National Park.

**Key words:** wood-decaying fungi; fungal flora; functional trait; ecological distribution.

木腐真菌能将木材中的木质素、纤维素和半纤维素降解,产生营养物质供自身和其他生物利用<sup>[1]</sup>,它们在森林生态系统物质循环中具有重要的

作用<sup>[2]</sup>。木腐真菌主要包括白腐真菌和褐腐真菌,其中白腐真菌能产生漆酶、木质素过氧化物酶等,是最有效的木质素分解者<sup>[3-4]</sup>。褐腐真菌能产生内、外切聚糖酶等,分解纤维素和半纤维素,其残留物能够改善土壤的理化性质,促进外生菌根的形成和非共生微生物的固氮作用,保持土壤温度,调节土壤

本文由国家自然科学基金项目(31870018)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31870018).

2019-06-04 Received, 2019-11-12 Accepted.

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weiyulian@iae.ac.cn

pH 值<sup>[5-6]</sup>。

木腐真菌的生态习性主要为腐生,也有少量兼性寄生或专性寄生的。有些寄生的木腐真菌是植物病原菌,能侵染活立木,影响树木的生长,甚至造成树木大面积死亡,如伯克利瘤孢孔菌(*Bondarzewia berkeleyi*)、杨锐孔菌(*Oxyporus populinus*)等<sup>[7]</sup>。在中国发现的木腐真菌中白腐真菌所占的比例超过70%。白腐真菌和褐腐真菌对于针叶树和阔叶树的选择性不同,褐腐真菌在针叶树上生长的种类更多<sup>[8-9]</sup>。另外,有些共生真菌也参与植物的腐解过程,如地花孔菌属(*Albatrellus*)中的一些真菌<sup>[10]</sup>。

随着物种多样性的研究越来越受到人们关注,中国木腐真菌的区系和地理成分分析也越来越广泛,中国地跨北半球的寒温带、温带、暖温带、亚热带和热带,林分类型多样,木腐真菌种类繁多,在明确各地木腐真菌种类组成的基础上,一些学者开始探讨其地理组成、区系分布及生态习性等<sup>[11-14]</sup>。Zhang<sup>[15]</sup>对云南大型真菌物种多样性开展了详细的调查,整理了老君山地区大型真菌的名录,较好地反映了老君山不同海拔地区大型真菌的分布情况,但其研究的172种大型真菌主要为伞菌类,多为土生物种,而该地区在森林生态系统倒木腐解过程中起主要作用的木腐真菌种类组成尚不明确。本研究拟探讨老君山国家公园不同海拔、不同植被类型中木腐真菌物种组成,结合环境因子分析不同种类的分布机制,揭示该地木腐真菌种群变化与海拔梯度和植被的关系。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

丽江老君山国家公园,位于丽江西部(26°38'—27°15' N,99°70'—100°0' E),玉龙纳西族自治县、剑川县与兰坪白族普米族自治县等交界处。地处横断山脉南段,云岭中支,主峰4247 m<sup>[16]</sup>。丽江处于亚热带,光、热、水资源十分丰富,温度适宜;从金沙江河谷到山顶,老君山原始森林保存完整,逐渐呈现出亚热带-寒带等典型立体气候的递变,形成完整的垂直气候分布带<sup>[17]</sup>。老君山自然保护区地形和气候复杂多样,其山脉呈现南北走向,能阻断第四季冰川南下,植物种类极为丰富,为欧亚大陆的生物提供了适宜的栖息地。

老君山国家公园受高原气候和土壤的影响,不同海拔高度树种组成完全不同,落叶阔叶林(DBF)分布于2100~2800 m,主要树种有槭属(*Acer*)、桦属

(*Betula*)、杜鹃属(*Rhododendron*)、柳属(*Salix*);针阔混交林(CBMF)分布于2800~3200 m,主要树种有槭属、樟属(*Cinnamomum*)、栗属(*Castanea*)、花椒属(*Zanthoxylum*)、桦属、冷杉属、杜鹃属、松属(*Pinus*);暗针叶林(DCF)分布于3200~3600 m,主要树种为冷杉属和松属,及云南地区特有的杜鹃属<sup>[18]</sup>。

1.2 研究方法

2018年7月,在老君山国家公园主峰林区开展木腐真菌的野外考察和采集,详细记录真菌子实体的大小、形状、颜色、质地等宏观形态特征,以及海拔高度、森林类型、寄主倒木种类和腐烂状态等,对采集的子实体进行编号,35℃低温烘干,带回实验室进行鉴定。

依托相差显微镜 Nikon80i 进行子实体鉴定,包括微观菌丝结构、担孢子形态和大小等显微分类性状。对于形态结构不能确定的种类,采用分子生物学方法鉴定:使用 Phire<sup>®</sup> Plant Direct PCR Kit (Finnzymes, Finland) 试剂盒,从标本中提取 DNA,通过 PCR 获取 ITS (PCR 扩增和测序引物: ITS4 和 ITS1-F)、LSU-rDNA (PCR 扩增和测序引物: LR0R、LR7) 等基因片段进行测序。同时从 GenBank 中获取相关的可信序列,根据相似性构建系统发育树<sup>[19-20]</sup>。

木腐真菌的很多种类具有地区特异性,其分布受地域的影响差异较大,许多种是世界广布种,在包括中国在内的世界很多地区均有分布;而中国地跨北半球的寒温带、温带、暖温带、亚热带和热带,北温带成分和泛热带成分均占有很大比例,老君山国家公园的木腐菌物种区系组成主要参考已发表文献<sup>[21-22]</sup>。

木腐真菌的腐朽类型和功能属性(寄生或腐生)主要根据对木腐真菌标本的鉴定结果,参考相关文献进行确定<sup>[23-28]</sup>。

1.3 数据处理

用 Excel 软件对种属信息及生态习性进行统计,用 R 语言和 Origin 软件完成制图。

2 结果与分析

2.1 老君山国家公园木腐真菌物种组成

野外采集木腐真菌标本196份,经鉴定为40属68种,其中,白腐真菌51种,占腐生真菌所有种类的81.0%;褐腐真菌12种,占19.0%。该保护区木腐真菌的物种组成、功能属性和地理成分如表1所示。

表 1 老君山国家公园木腐真菌种类组成、功能属性、地理成分和林分类型

Table 1 Species, functional trait, geographical elements and forest type of wood-decaying fungi in Laojunshan National Park

种名 Species	功能属性 Functional trait	地理成分 Geographical element	林分类型 Forest type
地花菌 <i>Albatrellus confluens</i>	共生/外生菌根菌 Symbiotic/ectomycorrhizal fungi	北温带 North temperate	DBF
黄鳞地花菌 <i>Albatrellus ellisii</i>	共生/外生菌根菌 Symbiotic/ectomycorrhizal fungi	东亚-北美 East Asia-North America	DBF
云杉地花菌 <i>Albatrellus piceiphilus</i>	共生/外生菌根菌 Symbiotic/ectomycorrhizal fungi	东亚-北美 East Asia-North America	DBF
丁香地花菌 <i>Albatrellus syringae</i>	共生/外生菌根菌 Symbiotic/ectomycorrhizal fungi	亚-欧 Asia-Europe	DBF
亚红盘黏囊菌 <i>Aleurocystidiellum subcruentatum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DCF
碳淀粉伏孔菌 <i>Amyloporia carbonica</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	CBMF
沙耶淀粉韧革菌 <i>Amylostereum chailletii</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
乳白薄孔菌 <i>Antrodia leucaena</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	亚-欧 Asia-Europe	CBMF
苹果薄孔菌 <i>Antrodia malicola</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
锡特卡薄孔菌 <i>Antrodia sitchensis</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	DBF
拟黄薄孔菌 <i>Antrodia subxantha</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	中国特有 Endemic to China	CBMF
白黄小薄孔菌 <i>Antrodiella albocinnamomea</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	东亚 East Asia	CBMF
环带小薄孔菌 <i>Antrodiella zonata</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	东亚-北美 East Asia-North America	DBF
黑木耳 <i>Auricularia heimuer</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DCF
烟管孔菌 <i>Bjerkandera adusta</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
伯克利瘤孢孔菌 <i>Bondarzewia berkeleyi</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	东亚-北美 East Asia-North America	DCF
高山瘤孢孔菌 <i>Bondarzewia montana</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	东亚-北美 East Asia-North America	DCF
北方蜡革菌 <i>Ceraceomyces borealis</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	亚-欧 Asia-Europe	DCF
假囊蜡孔菌 <i>Ceriporia pseudocystidiata</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DCF
魏氏集毛孔菌 <i>Coltricia weii</i>	共生/外生菌根菌 Symbiotic/ectomycorrhizal fungi	中国特有 Endemic to China	DBF/DCF
凹痕粉孢革菌 <i>Coniophora puteana</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	CBMF/DCF
有囊科尔多革菌 <i>Cordochaete cystidiata</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	泛热带 Pantropical	CBMF
玫瑰伏革菌 <i>Corticium roseum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	CBMF
革异薄孔菌 <i>Datronia stereoides</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
稀针嗜蓝孢孔菌 <i>Fomitiporia robusta</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	北温带 North temperate	CBMF
玫瑰拟层孔菌 <i>Fomitopsis rosea</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	CBMF
淡黄粗盖孔菌 <i>Funalia cervina</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DCF
树舌灵芝 <i>Ganoderma applanatum</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	北温带 North temperate	DBF
重伞灵芝 <i>Ganoderma multipileum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	泛热带 Pantropical	CBMF
猴头菌 <i>Hericium erinaceus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DCF
淀粉孢异担子菌 <i>Heterobasidion amyloideum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DBF
岛生异担子菌 <i>Heterobasidion insulare</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	东亚 East Asia	CBMF
灵芝异担子菌 <i>Heterobasidion linzhienae</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	CBMF/DCF
小孔异担子菌 <i>Heterobasidion parviporum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
西藏异担子菌 <i>Heterobasidion tibeticum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DCF
针毡锈革菌 <i>Hymenochaete corrugata</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	CBMF
莱热锈革菌 <i>Hymenochaete legeri</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	泛热带 Pantropical	DCF
暗锈锈革菌 <i>Hymenochaete rubiginosa</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	泛热带 Pantropical	CBMF
球生锈革菌 <i>Hymenochaete sphaericola</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DCF
淡黄丝齿菌 <i>Hyphodontia flavipora</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
高山绚孔菌 <i>Laetiporus montanus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DCF
拟浅孔小大孔菌 <i>Megasporoporiella subcavernulosa</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DBF
辐射拟纤孔菌 <i>Mensularia radiata</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	北温带 North temperate	DBF
白晶齿菌 <i>Metulodontia nivea</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	CBMF
杨锐孔菌 <i>Oxyporus populinus</i>	寄生/白腐 Parasitic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	CBMF
阿拉迪木层孔菌 <i>Phellinus allardii</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	泛热带 Pantropical	DBF
铁木层孔菌 <i>Phellinus ferreus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
平滑木层孔菌 <i>Phellinus laevigatus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	CBMF/DBF
褐多孔菌 <i>Polyporus badius</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	CBMF
具皮多孔菌 <i>Polyporus cuticulatus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	CBMF
拟黑柄多孔菌 <i>Polyporus submelanopus</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	中国特有 Endemic to China	DCF

续表 1  
Table 1 Continued

种名 Species	功能属性 Functional trait	地理成分 Geographical element	林分类型 Forest type
灰蓝波斯特孔菌 <i>Postia caesia</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	DBF/DCF
灰波斯特菌 <i>Postia cana</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	DBF
脆波斯特孔菌 <i>Postia fragilis</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	DCF/CBMF/DBF
爱尔兰波斯特孔菌 <i>Postia hibernica</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	北温带 North temperate	DBF
辐裂锈革菌 <i>Pseudochaete tabacina</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
胶质刺银耳 <i>Pseudohydnum gelatinosum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF/DCF
覆瓦假皱孔菌 <i>Pseudomerulius curtisii</i>	腐生/褐腐 Saprophytic/brown rot	泛热带 Pantropical	DCF
裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
齿耳菌 <i>Steccherinum murashkinskyi</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
粗毛韧革菌 <i>Stereum hirsutum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DCF/CBMF/DBF
扁韧革菌 <i>Stereum ostrea</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DBF
毛栓孔菌 <i>Trametes hirsuta</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	DBF
毡毛栓孔菌 <i>Trametes velutina</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	CBMF/DBF
云芝栓孔菌 <i>Trametes versicolor</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	CBMF/DBF
冷杉附毛孔菌 <i>Trichaptum abietinum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	DCF/CBMF/DBF
桦附毛孔菌 <i>Trichaptum pargamenum</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	世界广布 Cosmopolitan	CBMF
楷米干酪菌 <i>Tyromyces kmetii</i>	腐生/白腐 Saprophytic/white rot	北温带 North temperate	CBMF

DBF: 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaf forest; CBMF: 针阔混交林 Coniferous broad-leaved mixed forest; DCF: 暗针叶林 Dark coniferous forest.

2.2 优势科属分析

老君山国家公园木腐真菌以多孔菌科 (Polyporaceae), 拟层孔菌科 (Fomitopsidaceae) 和锈革孔菌科 (Hymenochaetaceae) 最丰富, 其中, 多孔菌科共有 10 种, 拟层孔菌科有 11 种, 锈革孔菌科共有 11 种, 3 个科共 32 种, 占有物种的 50.8%; 其次是邦氏孔菌科 (Bondarzewiaceae), 有 7 个种, 占有种类的 11.1% (表 2)。

2.3 木腐真菌的地理成分分析

老君山国家公园木腐真菌地理成分以北温带成分 (38.2%) 为主 (图 1), 其次为世界广布 (22.1%) 和中国特有成分 (16.2%), 具有明显的北温带成分区系特征。中国特有种指在中国发现的新种, 且仅在中国有分布。在 68 种木腐真菌中, 中国特有种有 11 种, 分别是拟黄薄孔菌 (*Antrodia subxantha*)、黑木耳 (*Auricularia heimuer*)、假囊蜡孔菌 (*Ceriporia pseudocystidiata*)、魏氏集毛孔菌 (*Coltricia weii*)、淡黄粗盖孔菌 (*Funalia cervina*)、淀粉孢异担子菌 (*Heterobasidion amyloideum*)、灵芝异担子菌 (*Heterobasidion linzhiense*)、西藏异担子菌 (*Heterobasidion tibeticum*)、拟浅孔小大孔菌 (*Megasporoporiella subcavernulosa*)、具皮多孔菌 (*Polyporus cuticulatus*)、拟黑柄多孔菌 (*Polyporus submelanopus*)。

2.4 老君山国家公园不同林分木腐真菌分布

老君山国家公园不同林分中的木腐真菌组成有明显的差异, 落叶阔叶林中木腐真菌种类有 34 种,

独有种类为 25 种; 针阔混交林中木腐真菌种类有 26 种, 独有种类为 21 种; 暗针叶林中木腐真菌种类有 22 种, 独有种类为 14 种 (图 2)。

不同林分中木腐真菌的优势种不同, 在落叶阔

表 2 老君山国家公园木腐真菌区系组成  
Table 2 Wood-decaying fungi composition in Laojunshan National Park

目名 Order	科名 Family	属数 Number of genera	种数 Number of species
多孔菌目	多孔菌科 Polyporaceae	7	10
Polyporales	拟层孔菌科 Fomitopsidaceae	4	11
	原毛平革菌科 Phanerochaetaceae	3	4
	皱皮菌科 Meruliaceae	3	3
	灵芝菌科 Ganodermataceae	1	2
	红菇目		
Russulales	邦氏孔菌科 Bondarzewiaceae	2	7
	地花菌科 Albatrellaceae	1	4
	韧革菌科 Stereaceae	1	2
	猴头菌科 Hericiaceae	1	1
	淀粉韧革菌科 Amylostereaceae	1	1
锈革孔菌目	未知科 Incertae sedis	1	1
Hymenochaetales	锈革孔菌科 Hymenochaetaceae	6	11
	裂孔菌科 Schizoporaceae	2	2
木耳目	未知科 Incertae sedis	1	2
Auriculariales	木耳科 Auriculariaceae	1	1
淀粉质伏革菌目	未知科 Incertae sedis	1	1
Amylocorticiales			
牛肝菌目	淀粉质伏革菌科 Amylocorticiaceae	1	1
Boletales	粉孢革菌科 Coniophoraceae	1	1
伏革菌目	桩菇科 Tapinellaceae	1	1
Corticiales			
未知目	伏革菌科 Corticiaceae	1	1
Incertae sedis	未知科 Incertae sedis	1	1

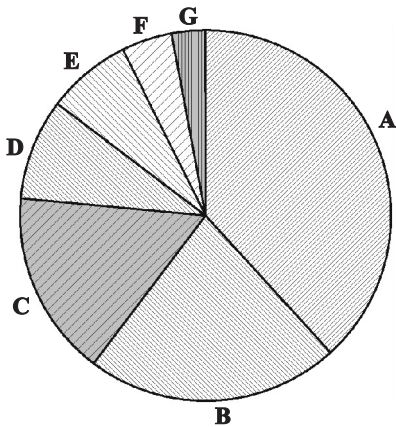


图1 老君山国家公园木腐真菌物种地理区系组成  
Fig.1 Geographical composition of wood-decaying fungi flora in Laojunshan National Park.

A: 北温带 North temperate (38.2%); B: 世界广布 Cosmopolitan (22.1%); C: 中国特有 Endemic to China (16.2%); D: 泛热带 Pan-tropical (8.8%); E: 东亚-北美 East Asia-North America (7.4%); F: 亚-欧 Asia-Europe (4.4%); G: 东亚 East Asia (2.9%).

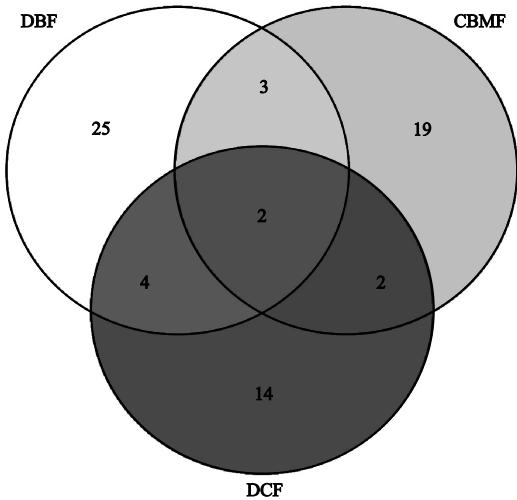


图2 老君山国家公园木腐真菌种数的林型分布  
Fig.2 Different forest distribution of wood-decaying fungi in Laojunshan National Park.

叶林中特有的优势种是淀粉孢异担子菌、淡黄丝齿菌 (*Hyphodontia flavipora*) 和扁韧革菌 (*Stereum ostrea*); 在针阔混交林中特有的优势种是杨锐孔菌 (*Oxyporus populinus*); 在暗针叶林中特有的优势种是球生锈革菌 (*Hymenochaete sphaericola*)。在不同林分中共同分布的优势种有: 魏氏集毛孔菌、灵芝异担子菌、平滑木层孔菌 (*Phellinus laevigatus*)、脆波斯特孔菌 (*Postia fragilis*)、粗毛韧革菌 (*Stereum hirsutum*)、云芝栓孔菌 (*Trametes versicolor*)、冷杉附毛孔菌 (*Trichaptum abietinum*)。其中脆波斯特孔菌和粗毛韧革菌是在三种林分中均有分布的优势种。脆波斯特孔菌的寄主单一, 只生长在冷杉属的倒木上; 粗

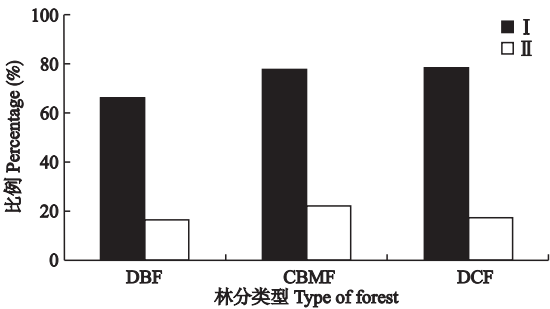


图3 不同林分中白、褐腐真菌的比例  
Fig.3 Percentage of white-rot and brown-rot fungi in three different forests.  
I: 白腐真菌 White-rot fungi; II: 褐腐真菌 Brown-rot fungi.

毛韧革菌能生长在杜鹃属、桦属和冷杉属的倒木上。不同林分的白、褐腐真菌真菌所占比例存在差异 (图3), 白腐真菌在落叶阔叶林中所占比例最低 (67.7%), 在暗针叶林中所占比例最高 (77.3%)。褐腐真菌在针阔混交林中所占比例最高 (23.1%), 在落叶阔叶林中所占的比例最低 (17.6%)。

3 讨 论

老君山国家公园地处我国的西南部, 年均气温在 10~25 ℃, 原始森林保存完整, 倒木的数量较多, 木腐真菌物种多样性丰富。采样区域从海拔 2100 至 3600 m, 可以分为三种林分, 即落叶阔叶林、针阔混交林和暗针叶林。其中, 落叶阔叶林中的木腐真菌种类最多, 暗针叶林的种类最少, 呈现出木腐真菌种类随海拔的升高而减少的趋势。随海拔升高, 林分组成变得相对单一, 造成木腐真菌的种数减少。本文对各个林分中的优势种进行了统计, 共 12 种, 其中 5 种只是单一林分中的优势种, 7 种在两种或两种以上的林分中共存。两种真菌脆波斯特孔菌、粗毛韧革菌在各林分中均有分布, 是各林分中的优势种。其中脆波斯特孔菌只有单一寄主冷杉属, 粗毛韧革菌的寄主有杜鹃属、桦属和冷杉属三种。能生长在不同种寄主上的木腐真菌通常较单一寄主的分布广, 当地冷杉属植物数量较多且分布较广, 使分解冷杉属倒木的脆波斯特孔菌成为当地优势种。老君山国家公园内的中国特有成分的木腐真菌种类较多, 有 11 种, 占 16.2%, 仅次于世界广布成分 (22.1%), 说明其中的木腐真菌组成具有一定的特殊性, 这是由于老君山从低海拔到高海拔地区呈现出亚热带-寒带的垂直气候递变, 形成了特殊的林分类型。本研究中的寄生真菌有 7 种, 均为植物病原菌, 占木腐真菌总数的 11.1%, 低于引起我国植物病

害的种类占全部木材腐朽菌的比例,说明老君山国家公园的植被比较健康,对病原真菌的抵抗能力较强。但其中杨锐孔菌是针阔混交林中的优势种,主要寄生在冷杉属和槭属的寄主上,可能会对该林分的植物多样性造成一定影响。

老君山国家公园处于亚热带地区,与浙江古田山国家级自然保护区在纬度上比较接近,古田山的植被类型以常绿阔叶林为主,其区系地理成分表现出明显的热带-亚热带特征<sup>[29]</sup>。而地处北温带的大兴安岭针叶林,木腐真菌区系地理成分表现出明显的北温带特征<sup>[30]</sup>。滇黔桂属于亚热带季风性气候,整体的木腐真菌地理区系分布以热带-亚热带为主,而老君山国家公园的木腐真菌却以北温带成分为主。海拔因素引起的林分组成变化是产生这种区系分布情况的主要原因。由于不同的木腐真菌对于不同寄主的选择性不同<sup>[31]</sup>,所以不同的林分类型会引起木腐真菌组成的变化。该保护区由于海拔高而常年温度较低,产生了具有温带森林特点的植被类型,造成该地木腐真菌以北温带成分为主。

植被类型也同样影响白、褐腐真菌种类的比例。老君山国家公园分布的木腐真菌大多是白腐真菌,白腐真菌的种类在落叶阔叶林中比例最低,在暗针叶林中比例最高。但在暗针叶林中,脆波斯特孔菌作为该林分的主要褐腐真菌,在该林分中的丰度较高,对该林分的倒木腐解过程也具有重要的生态功能。褐腐真菌的种类在针阔混交林中比例最高,在落叶阔叶林中比例最低。

木腐真菌能腐解倒木,促进生态系统的能量流动和物质循环,是迄今为止唯一能彻底分解木质素的生物。同时,木腐真菌能产生大型的子实体,为微生物提供栖息地,被木腐真菌腐解的倒木也能成为昆虫或鸟类的栖息地<sup>[32]</sup>,从而提高整个生态系统的多样性。目前随着人类活动对森林的干扰和破坏,一些真菌种类面临濒危境地,提高对木腐真菌物种多样性的保护,对于整个森林生态系统具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] 魏玉莲,戴玉成. 木材腐朽菌在森林生态系统中的功能. 应用生态学报, 2004, **15**(10): 1935-1938 [Wei Y-L, Dai Y-C. Ecological function of wood-inhabiting fungi in forest ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**(10): 1935-1938]
- [2] 张丽燕,魏玉莲. 丰林自然保护区木材腐朽真菌发生规律及其物种多样性. 生态学杂志, 2016, **35**(10): 2745-2751 [Zhang L-Y, Wei Y-L. Species diversity and distribution characters of wood-decaying fungi in Fenglin Nature Reserve. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, **35**(10): 2745-2751]
- [3] 骆静怡,傅威锐,潘程远. 木腐真菌的鉴定及对不同木材的腐朽能力. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(1): 1-10 [Luo J-Y, Fu W-R, Pan C-Y. Identification of wood-rotting fungi and their decay capability in six wood species. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2015, **32**(1): 1-10]
- [4] Paterson A, Lundquist K. Polymer biochemistry: Radical breakdown of lignin. *Nature*, 1985, **316**: 575-576
- [5] 李敬文,魏玉莲. 中国东北地区多孔菌的区系组成及分布特征. 生态学杂志, 2014, **33**(1): 125-131 [Li J-W, Wei Y-L. Floral composition and distribution characteristics of polypores in Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(1): 125-131]
- [6] Cui BK, Wang Z, Dai YC. *Albatrellus piceiphilus* sp. nov. on the basis of morphological and molecular characters. *Fungal Diversity*, 2008, **28**: 41-48
- [7] 戴玉成. 中国木本植物病原木材腐朽菌研究. 菌物学报, 2012, **31**(4): 493-509 [Dai Y-C. Pathogenic wood-decaying fungi on woody plants in China. *Mycosystema*, 2012, **31**(4): 493-509]
- [8] Dai YC. Polypore diversity in China with an annotated checklist of Chinese polypores. *Mycoscience*, 2012, **53**: 49-80
- [9] Zhou LW, Hao ZQ, Wang Z, et al. Comparison of ecological patterns of polypores in three forest zones in China. *Mycology*, 2011, **2**: 260-275
- [10] 郑焕娣,刘培贵. 地花菌属的研究概况和进展. 微生物学通报, 2006, **33**(6): 104-107 [Zheng H-D, Liu P-G. Research status and prospect of the genus *Albatrellus*. *Microbiology China*, 2006, **33**(6): 104-107]
- [11] Cui BK, Wei YL, Dai YC. Polypores from Zijin Mountain, Jiangsu province. *Mycosystema*, 2006, **25**: 9-14
- [12] Li J, Wei YL, Dai YC. Polypores from Houhe Nature Reserve in Hubei Province. *Journal of Fungal Research*, 2007, **5**: 198-201
- [13] 边禄森,戴玉成. 东喜马拉雅地区多孔菌区系和生态习性. 生态学报, 2013, **35**(5): 1554-1563 [Bian L-S, Dai Y-C. Mycota and ecology of polypores in eastern Himalayas. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(5): 1554-1563]
- [14] 周绪申,张胜红,林超,等. 广西地区木腐菌物种多样性的初步研究. 西南农业学报, 2010, **23**(4): 1257-1263 [Zhou X-S, Zhang S-H, Lin C, et al. Preliminary studies on species diversity of wood-decaying fungi from Guangxi Autonomous Region. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, **23**(4): 1257-1263]
- [15] Zhang Y. New records and distribution of macrofungi in Laojun Mountain, Northwest Yunnan, China. *Mycosystema*, 2012, **31**: 196-212
- [16] 李永飞,贺杰,李春海,等. 云南丽江老君山表土花粉与植被关系的研究. 微体古生物学报, 2018, **35**(1): 51-64 [Li Y-F, He J, Li C-H, et al. Pollen and vegetation relationship of Laojunshan Topsoil in Lijiang,

- Yunnan. *Acta Micropaleontologica Sinica*, 2018, **35** (1): 51–64]
- [17] 李昊民, 周德群. 丽江老君山国家公园. 世界环境, 2008(6): 84–85 [Li H-M, Zhou D-Q. Lijiang Laojunshan national park. *World Environment*, 2008(6): 84–85]
- [18] 杨桂芳. 老君山景区生态旅游植物资源及其保护. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2003, **23**(12): 185–188 [Yang G-F. Ecological tourism plant resources and protection in Laojunshan Scenic Area. *Journal of Yunnan Normal University*, 2003, **23**(12): 185–188]
- [19] Gardes M, Bruns TD. ITS primers with enhanced specificity for Basidiomycetes: Application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology*, 2008, **2**: 113–118
- [20] Qin WM, Wang XW, Sawahata T, *et al.* *Phylloporia lonicerae* (Hymenochaetales, Basidiomycota), a new species on *Lonicera japonica* from Japan and an identification key to worldwide species of *Phylloporia*. *Mycology*, 2018, **30**: 17–30
- [21] Dai YC. Hymenochaetaceae (Basidiomycota) in China. *Fungal Diversity*, 2010, **45**: 131–343
- [22] 周丽伟, 戴玉成. 中国多孔菌多样性初探: 物种、区系和生态功能. 生物多样性, 2013, **21**(4): 499–506 [Zhou L-W, Dai Y-C. Chinese polypore diversities: Species, mycota and ecological functions. *Biodiversity Science*, 2013, **21**(4): 499–506]
- [23] Dai YC, Yuan HS, Wang HC, *et al.* Polypores (Basidiomycota) from Qin Mts. in Shaanxi Province, Central China. *Annales Botanici Fennici*, 2009, **46**: 54–61
- [24] Yuan HS, Dai YC. Wood-inhabiting fungi in southern China. 6. Polypores from Guangxi Autonomous Region. *Annales Botanici Fennici*, 2012, **49**: 341–351
- [25] Dai YC. A revised checklist of corticioid and hydroid fungi in China for 2010. *Mycoscience*, 2011, **52**: 69–79
- [26] 戴玉成. 中国多孔菌名录. 菌物学报, 2009, **28**(3): 315–327 [Dai Y-C. A checklist of polypores in China. *Mycosystema*, 2009, **28**(3): 315–327]
- [27] Dai YC, Wei YL, Wang Z. Wood-inhabiting fungi in southern China 2. Polypores from Sichuan Province. *Annales Botanici Fennici*, 2003, **41**: 319–329
- [28] 李通, 李俊凝, 魏玉莲. 我国温带次生林生态系统中木腐真菌群落组成特征. 生态学杂志, 2017, **36**(11): 3199–3208 [Li T, Li J-N, Wei Y-L. Community composition characteristics of wood-decaying fungi in temperate secondary forest ecosystems in China. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, **36**(11): 3199–3208]
- [29] 李通, 李俊凝, 魏玉莲. 古田山国家级自然保护区木腐真菌物种多样性及分布. 生物多样性, 2019, **27**(1): 85–91 [Li T, Li J-N, Wei Y-L. Species diversity and distribution of wood-decaying fungi in Gutianshan National Nature Reserve. *Biodiversity science*, 2018, **27**(1): 85–91]
- [30] 崔宝凯, 余长军. 大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构. 生态学报, 2010, **31**(13): 3700–3709 [Cui B-K, Yu C-J. Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **31**(13): 3700–3709]
- [31] Björn N, Ryberg M, Frank G, *et al.* Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broad-leaf forests. *Biological Conservation*, 2004, **117**: 1–10
- [32] 戴玉成, 徐存宝, 刘春静, 等. 小兴安岭丰林自然保护区的多孔菌. 中国森林病虫, 2001, **20**(1): 3–5 [Dai Y-C, Xun C-B, Liu C-J, *et al.* The checklist of polypores in Fenglin Nature Reserve, Xiaoxing'an Mts. *Forest Pest and Disease*, 2001, **20**(1): 3–5]

作者简介 李俊凝, 女, 1995 年生, 硕士研究生。主要从事森林生态系统木腐真菌多样性研究。E-mail: lijunning17@mails.ucas.ac.cn

责任编辑 肖 红

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

