丰林自然保护区木材腐朽真菌发生规律及其物种多样性

张丽燕[1,2] 魏玉莲[1*]

([1]中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; [2]中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要 木材腐朽真菌是森林生态系统中的一个重要类群,通过将木材中的纤维素、半纤维素和木质素分解成为可被自身和其他生物利用的营养物质,能够促进森林生态系统中的物质循环。通过对丰林自然保护区3个不同林分内木材腐朽真菌的分布特征开展野外调查,共得到标本966份,经鉴定为122种,隶属于7目17科49属,多孔菌科为该地区优势科。物种区系地理成分以北温带成分和世界广布成分为主,具有明显的北温带成分区系特征。通过比较3个林分内木材腐朽真菌群落组成结构,发现阔叶红松混交林内褐腐菌数量较多,占总体的29.9%,杨桦林和云冷杉林内木材腐朽真菌主要为白腐菌,分别占总体的93.6%和90.6%。阔叶红松混交林中木材腐朽真菌物种多样性指数最高,Shannon指数4.60,Simpson指数0.99,Pielou均匀度指数0.99。该保护区中木材腐朽真菌多数生长在腐朽等级为2、3级的倒木上。通过比较3个林分内主要树种上木材腐朽真菌的分布特点,发现林分类型、寄主腐烂程度和直径大小是影响该地区木材腐朽真菌分布的主要因素,同样的树种在不同林分中所生长的木材腐朽真菌种类不同。

关键词 木腐真菌; 群落组成; 物种多样性; 分布特征

Species diversity and distribution characters of wood-decaying fungi in Fenglin Nature Reverse. ZHANG Li-yan[1,2], WEI Yu-lian[1*] ([1]*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang* 110016, *China*; [2]*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*).

Abstract: Wood-decaying fungi are an important group in the forest ecosystem. They can improve the material cycling by decomposing cellulose, semi-cellulose and lignin of wood into nutrition that can be absorbed easily by themselves and other organisms. An investigation about the distribution characters of wood-decaying fungi was carried in three forest types in the Fenglin Nature Reserve. Nine hundred and sixty-six specimens were collected and identified to 122 species, belonging to 49 genera, 17 families and 7 orders. The majority of the polypores in Fenglin are north temperate element and cosmopolitan element, showing a distinct north temperate character. By comparing the fungal community composition of the three forest types, we found that the number of brown rotting fungi in the broad leaved-Korean pine mixed forest was greater than that of the poplar-birch forest and fir forest, accounting for 29.9% of the whole individuals. The white rotting fungi were the major group in the other two forests with 93.6% and 90.6% of the whole individuals, respectively. The fungal biodiversity in the broad leaved-Korean pine mixed forest was the highest, with Shannon diversity index 4.60, Simpson index 0.99 and Pielou evenness index 0.99. Most of the wood-decaying fungi of Fenglin Nature Reserve preferred growing on the fallen wood with decaying degrees 2 and 3. Forest type, decaying degree and diameters of host wood were the main reasons affecting fungal community. Even growing on the same species of host, the fungal species were different in the different forest types.

Key words: wood-decaying fungi; species composition; species diversity; distribution character.

国家自然科学基金项目(31370514)和科技部基础性工作专项(2014FY210400)资助。
收稿日期: 2016-01-20 接受日期: 2016-07-01
*通讯作者 E-mail: weiyulianer@sina.com

木材腐朽真菌在森林生态系统中起着非常重要的作用,它们通过产生各种生物水解酶,将木材中的纤维素、半纤维素和木质素分解成可被自身和其他生物利用的营养物质,从而完成森林生态系统中的物质循环(魏玉莲等,2004)。多孔菌是木材腐朽真菌中的重要类群,主要指广义非褶菌目中具有孔状子实层体的种类,包括担子菌门的多孔菌目、伞菌目、锈革孔菌目、糙孢孔目、革菌目、糙孢革菌目和红菇目的孔状子实体种类。目前,中国已报道的多孔菌种类有604种(戴玉成,2009)。

丰林国家级自然保护区位于黑龙江省小兴安岭南坡北段,具有极为丰富的植被类型,植物群落结构多样化,其特殊的地理环境、气候条件,成为木腐菌优良的栖息地。近十年来,国内的一些菌物研究者已经开始关注中国木材腐朽真菌多样性的研究(魏玉莲等,2010;柴新义等,2013)。关于丰林自然保护区物种多样性的研究已有很多报道(王天明,2004;宋国华等,2010;金宇昌等,2011;刘林馨等,2012;王全波等,2015),但综观这些研究,主要是针对植物类群的研究,有关木材腐朽真菌物种多样性的报道相对很少,现有的关于丰林自然保护区木材腐朽真菌的报道主要侧重于木材腐朽真菌系统分类学的研究(Dai,2009;Xiong *et al.*,2009),以及大型真菌子实体的物种多样性统计(毕湘红等,2006;金宇昌,2011),对该地区木材腐朽真菌功能类群及其生态类型的报道很少。有研究表明,影响木腐菌群落分布的主要因素是寄主树木的种类以及木腐菌对基质的偏好(Zhou *et al.*,2012),而系统的研究和分析丰林自然保护区中木材腐朽真菌的物种多样性及其发生规律,能很好地认识我国北温带森林生态系统中木材腐朽真菌的分布特征,并对研究不同森林类型的木材腐朽真菌也有借鉴意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

丰林自然保护区位于黑龙江省伊春市小兴安岭南坡北段,地理位置48.08°N,129.12°E。地形平缓,海拔280~683 m,为坡状的低山丘陵地和宽广谷地,该地区四季分明,年均气温-0.5 ℃,年降水量680~750 mm。该区具有较大面积和蓄积量的地带性植被红松针阔混交林,红松(*Pinus koraiensis*)占70%,是中国目前保存最完整、面积最大的典型的北温带针阔叶混交林生态系统,针叶树种主要有松属(*Pinus*)和云杉属(*Picea*)组成;阔叶树主要有桦属(*Betula*)、槭属(*Acer*)、杨属(*Populus*)、丁香属(*Syringa*)、榛属(*Corylus*)和榆属(*Ulmus*)等组成,其中阔叶红松混交林内主要树种为红松,已有500多年历史,林中分布着大量自然死亡的红松,此外有臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、青楷槭(*Acer tegmentosum*)、红皮云杉(*Picea koraiensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、毛榛子(*Corylus mandshurica*)、山杨(*Populus davidiana*)、暴马丁香(*Syringa reticulata* var. *mandshurica*)和忍冬(*Lonicera japonica*)等。杨桦林和云冷杉林是1931年丰林原始林大火后天然更新的林分,杨桦林还保持着最初的树种组成,主要树种有杨、桦、青楷槭、毛榛子和丁香等。云冷杉林是在杨桦林的基础上演替而来的,主要有云杉、冷杉、桦、榆树、丁香和青楷槭等树种。

1.2 材料与方法

于2014年8月和2015年7月,在丰林自然保护区的3个林分(阔叶红松混交林、杨桦林、云冷杉林)采取拉网式调查和定时定量踏查的方法开展2次野外调查,采集详细记录了木材腐朽真菌的种类和生长基质及其特性,主要包括寄主名称、树干直径、腐朽等级和寄主树皮有无。采集的各真菌子实体进行整理编号,对于能在野外鉴定地物种直接写出其种名,不能直接鉴定的种类用显微镜观察子实体的外部形态、菌丝结构、孢子形态等微观特征确定到属,对于不能鉴定的种类,采用分子生物学手段,提取菌株的总DNA,PCR扩增,对DNA序列进行测序分析,将所得序列与GenBank已知序列进行比对,根据相似度利用软件构建系统发育树。结合形态特征和分子生物学分析结果确定物种种类。数据分析采用Excel表格分析,Origin作图软件绘制关系图,以及R软件(vegan包)进行物种多样性分析。腐朽等级参照Renvall(1995)和魏玉莲等(2010)对木材腐朽真菌生长基质的分级。腐朽类型参考相关文献(戴玉成,2012)。

2 结果与分析

2.1 丰林自然保护区木材腐朽真菌组成

根据调查所得到的数据进行鉴定和整理,共得到966份标本,鉴定出122种,隶属于7目17科49属,绝大多数为多孔菌类群。根据木材腐朽真菌出现的频度,对每个林分木材腐朽真菌进行多样性分析,发现阔叶红松混交林内木材腐朽真菌的物种丰

表 1 丰林自然保护区木材腐朽真菌多样性指数
Table 1 Diversity index of wood-decaying fungi in Fenglin Nature Reverse

林分	物种数	香农指数	辛普森多样性指数	Pielou 均匀度指数
阔叶红松混交林	99	4.60	0.99	0.99
云冷杉林	47	3.79	0.98	0.87
杨桦林	48	3.87	0.98	0.88

富度最高,Shannon 指数为 4.60,Simpson 指数为 0.99,并且 Pielou 均匀度指数为 0.99,个体分布比较均匀(表 1)。

2.2 丰林自然保护区木材腐朽真菌区系地理成分

从图 1 可以看出,该地区木材腐朽真菌的区系地理成分以世界广布成分和北温带成分为主,其他几种区系成分也都有分布。其中世界广布种 69 种,占总体的 56.6%,北温带种类有 47 种,占总数的 38.5%,具有明显的北温带区系特征。该地区有泛热带种 4 种,占总数的 3.3%,东亚种仅两种,占总数的 1.6%。

2.3 丰林自然保护区优势科属种的分布特征

阔叶红松混交林优势科为多孔菌科(Polyporaceae),共包括 11 属 16 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 23.4%,总种数的 16.16%。其次是锈革孔菌科(Hymenochaetaceae),包括 6 属 19 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 12.77%,总种数的 19.20%,然后是拟层孔菌科(Fomitopsidaceae),共包括 6 属 15 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 12.77%,总种数的 15.15%。杨桦林优势科为多孔菌科(Polyporaceae),共包括 10 属 16 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 32.26%,总种数的 37.21%。其次是锈革孔菌科(Hymenochaetaceae),共包括6

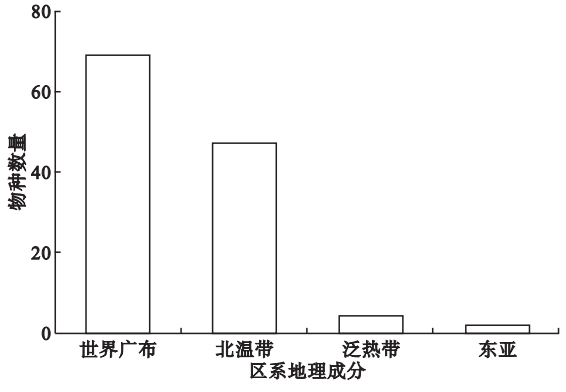


图 1 丰林自然保护区多孔菌类的物种区系地理成分分析
Fig.1 Analysis on the species flora geographical elements of wood-decaying fungi in Fenglin Nature Reserve

属 10 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 16.13%,总种数的 20.93%。云冷杉林优势科为多孔菌科(Polyporaceae),共包括 23 属 33 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 71.8%,总种数的 68.75%。其次是锈革孔菌科(Hymenochaetaceae),共包括 6 属 10 种,占该地区木材腐朽真菌总属数的 18.75%,总种数的 20.83%。

阔叶红松混交林中木材腐朽真菌个体数大于 20 的优势种有 5 种,其中褐腐菌 2 种,分别是红缘拟层孔菌(*Fomitopsis pinicola*)和玫瑰色拟层孔菌(*Fomitopsis rosea*);白腐菌 3 种:缠结锈革菌(*Hymenochaete intricata*)、云芝(*Trametes versicolor*)和冷杉附毛孔菌(*Trichaptum abietinum*)(表 2)。该林分中褐腐菌种类达到 20 种,个体数量达到 194,占总个体数的 29.89%,其中薄孔菌属(*Antrodia*)、拟层孔菌属(*Fomitopsis*)和泊氏孔菌属(*Postia*)的种类数量较多。从世界范围内看,木材腐朽真菌中只有 10%左右的真菌引起褐色腐朽(魏玉莲等,2004),阔叶红松混交林内褐色腐朽真菌的比例远高于世界水平,而且这 20 种褐色腐朽真菌全部生长在针叶树上,表明该地区的褐腐真菌在针叶树生态系统中发挥着非常重要的生态功能。杨桦林中的木材腐朽真菌以白腐菌为主,个体数量占总数的 93.6%,个体数大于 10 的优势种类均为白腐菌(表 3);该林分中共采集到 5 种褐腐菌,分别是迪氏迷孔菌(*Daedalea dickinsii*)、狭檐薄孔菌(*Antrodia serialis*)、*Antrodia* sp.、红缘拟层孔菌(*Fomitopsis pinicola*)和赤杨波斯特孔菌

表 2 阔叶红松混交林优势种
Table 2 Dominant species in *Pinus koraiensis*-broad leaved mixed forest

菌名	数量	降解方式
Fomitopsis pinicola	57	褐色腐朽
Fomitopsis rosea	35	褐色腐朽
Hymenochaete intricata	35	白色腐朽
Trametes versicolor	44	白色腐朽
Trichaptum abietinum	104	白色腐朽
总计	275	

表 3 杨桦林常见种
Table 3 Dominant species in the popular-birch forest

菌名	数量	降解方式
Daedaleopsis tricolor	10	白色腐朽
Fomes fomentarius	15	白色腐朽
Junghuhnia nitida	13	白色腐朽
Trametes versicolor	10	白色腐朽
总计	48	

表4 云冷杉林常见种
Table 4 Dominant species in the spruce-fir forest

菌名	数量	降解方式
Fomes fomentarius	16	白色腐朽
Fomitopsis pinicola	12	白色腐朽
Hymenochaete intricata	10	白色腐朽
总计	38	

(*Postia alni*)。云冷杉林中采集到个体数大于10的木腐真菌物种有3种,分别是红缘拟层孔菌、木蹄层孔菌(*Fomes fomentarius*)和缠结锈革菌(表4)。该林分中共采集到4种褐腐真菌,分别是棉絮薄孔菌(*Antrodia gossypium*)、粉拟层孔菌(*Fomitopsis cajanderi*)、红缘拟层孔菌和赤杨波斯特孔菌,占总个体数的9.4%。

2.4 不同腐朽阶段上的功能类群

参考Renvall(1995)将木材腐朽真菌的生长基质按照不同腐朽程度分为5个等级(表5)。发现3个林分的木材腐朽真菌多数分布在2级腐烂倒木上,其次为3级腐烂倒木,即腐朽阶段的中后期,且木材腐朽真菌种类和数量均远高于其他3个腐烂等级(图2),如红缘拟层孔菌(*Fomitopsis pinicola*)、玫瑰色拟层孔菌(*Fomitopsis rosea*)、扁韧革菌(*Stereum ostrea*)分布在2级倒木上的木腐菌数量远高于其他等级的基质上。不同腐朽等级的物种在森林生态系统中演替过程是顺序出现的,其各个阶段物种功能是不同的,生长在活立木、枯立木上的物种是该地区的先锋物种,如硫小木层孔菌(*Phellinidium sulphurascens*)。调查发现,也有部分物种近分布在4级腐烂基质上,如浅黄锐孔菌(*Oxyporus cervinogilvus*),它能利用中期物种残余物为营养,主要分布在腐烂后期的倒木上。初级物种具有较强分解生物侵染能力,中期物种能够利用的物质形态较多,后期物种可以将腐烂倒木彻底降解,分布在2、3级倒木上的木材腐朽真菌是丰林自然保护区中的主要降解功能群。

表5 树木基质的腐朽等级
Table 5 Decaying stage of substrate

阶段	基质特征
0	活立木,生长势良好
1	枯立木,死后未倒,未腐烂
2	树木倒折,树皮和木材刚开始腐烂,木材较硬
3	树木倒折,无树皮,木材中度腐烂,但还能保持倒木的原有形状,木材稍硬
4	树木倒折,无树皮,木材深度腐烂,不能保持倒木的原有形状,木材很软

2.5 不同林分中木材腐朽真菌分布特点

丰林自然保护区3个不同林分的共有种为23种,其中阔叶红松混交林特有种57种,占总体的46%,杨桦林特有种9种,占总体的7.3%,云冷杉林特有种11种,占总体的8.9%(图4)。各林分树种组成有差异,阔叶红松混交林内树种类型丰富,林内伴有柞树、椴树、枫桦、丁香等树种,它们是该林内主要的伴生树种,与主要树种土长在一起,并能促进主要树种生长。它们对该区域的生态位空间具有较大的适应性和占领能力,因此生物多样性高。通过研究伴生树上特有种的分布可以更好地解释植被类型是影响木材腐朽真菌分布的一个主要因素。而杨桦林和云冷杉林物种树种组成较为单一。

2.6 优势树种上木材腐朽真菌分布特征

由图4可以看出,3个林分在桦树上发生的木材腐朽真菌共有种5种,分别为*Fomes fomentarius*、*Trametes versicolor*、*Phellinus laevigatus*、*Fomitopsis pinicola*、*Trichaptum pargamenum*,均为该地区常见种。阔叶红松混交林特有种17种,杨桦林特有种15种,云冷杉林特有种4种,分别占各林分木材腐朽真菌总物种数的37.8%、33.3%、8.9%。3个林分环境各不相同,植物群落间的木材腐朽真菌多样性有差异。阔叶红松混交林树种组成多元化、林内湿度大、倒木多,这就为更多的木材腐朽真菌提供了一个优良的生长环境,尤其是林内的树种组成。调查发现,在以槭属、桦属、落叶松为主的树种的倒木上生长着大量的常见木材腐朽真菌。因此,研究这些地方的木材腐朽真菌分布特征有助于解释木材腐朽真菌的生长机理,生态类型以及对寄主的偏好等。

由图5可以看出,3个林分在槭属树上发生的木材腐朽真菌共有种3种,分别为*Hymenochaete intricata*、*Daedaleopsis tricolor*、*Junghuhnia nitida*。阔叶红松混交林特有种29种,杨桦林特有种4种,云冷杉林特有种8种,分别占木材腐朽真菌总数的58%、8%、16%。槭属树种为该地区主要树种之一,阔叶红松混交林中的槭属树木的环境更适合多孔菌的生长,林区内,土壤湿度大,地面倒木多,温度适宜,槭属树种为木材腐朽真菌的生长提供了更好的环境。

由图6可以看出,槭属树种、桦树、云杉和红松树上特有种分别为29、23、14和25种,分别占木材腐朽真菌总数的22%、17.4%、10.6%和18.9%。槭树与桦树上的物种重叠最多,有15种,占总数的

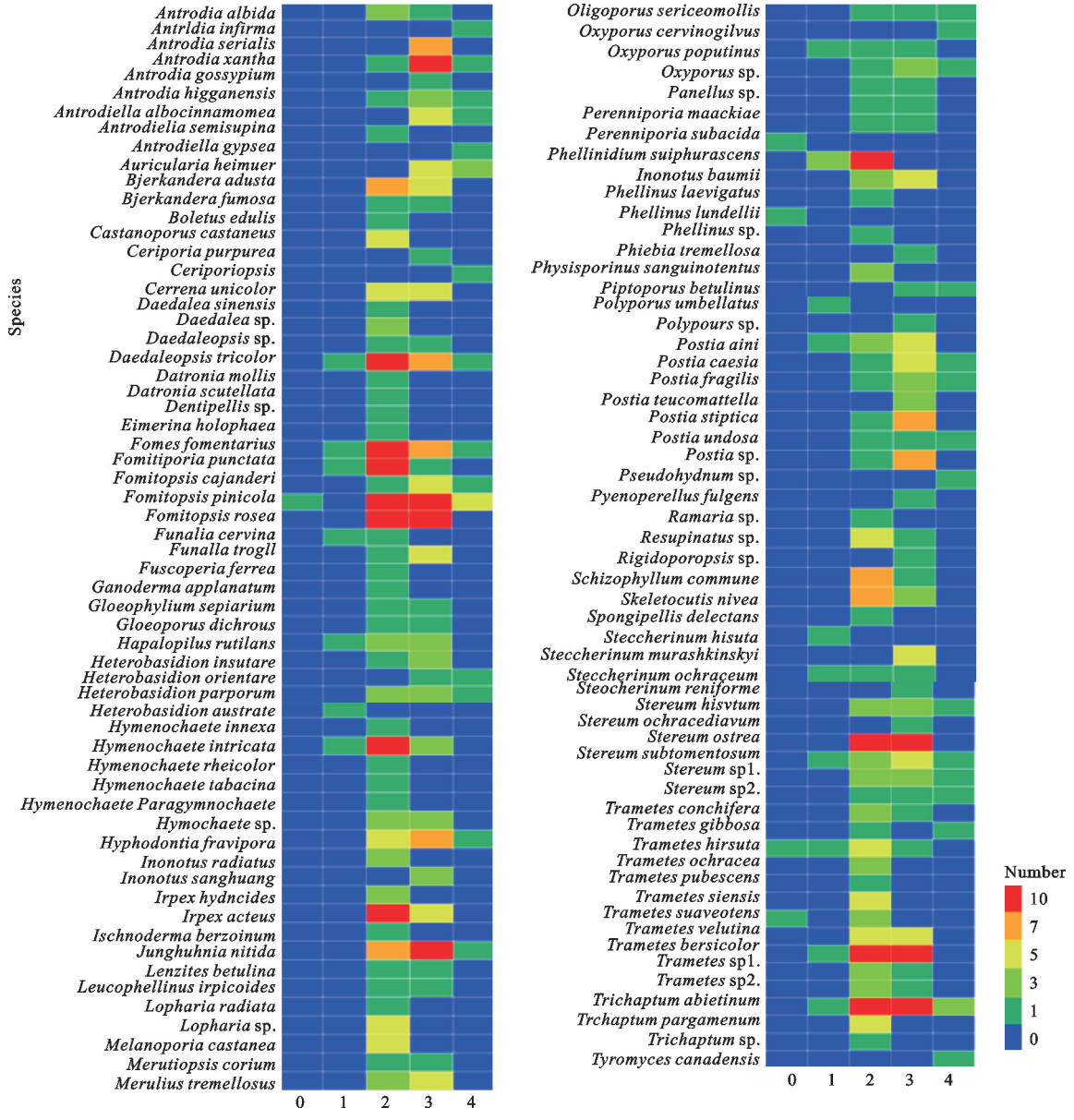


图 2 丰林自然保护区木材腐朽真菌不同腐烂程度基质分布特征

Fig.2 Distribution characteristics of wood-decaying fungi in different decaying stages in Fenglin Nature Reserve

最下方数字表示 0 至 4 这五个腐烂等级,带颜色小块表示木腐菌数量。

11.4%,14 种白腐菌和 1 种褐腐菌,褐腐菌为 *Fomitopsis pinicola*。云杉树与其他 3 种树种均有重叠,且与松树上的物种重叠最多,有 20 种,占总数的 14.1%,7 种白腐菌和 13 种褐腐菌,褐腐菌数量较多,是因为红松阔叶混交林的缘故。红松是该区域地带性顶极群落的建群种,4 种树种为林中主体树种,林区伴生树种的不同以及林内气候因子、自然干扰(温度)和人为干扰影响了木材腐朽真菌的空间格局分布,例如人为过度采伐一些珍贵的菌种资源以及当地旅游业的发展,都影响着林区内的微环境。

3 讨 论

丰林自然保护区 3 个不同林分中的木材腐朽真菌的组成具有很大区别,其中阔叶红松混交林中真菌物种最为丰富,Shannon 指数达到 4.60,Pielou 均匀度指数 0.99,说明该林分中木腐真菌不但物种数量多,个体数量大,而且很多物种出现的频次也较高,分布比较均匀;相比而言,杨桦林和云冷杉林的 Shannon 指数分别是 3.87 和 3.79,而 Pielou 均匀度指数分别是0.88和0.87,说明这两个林分中的木腐

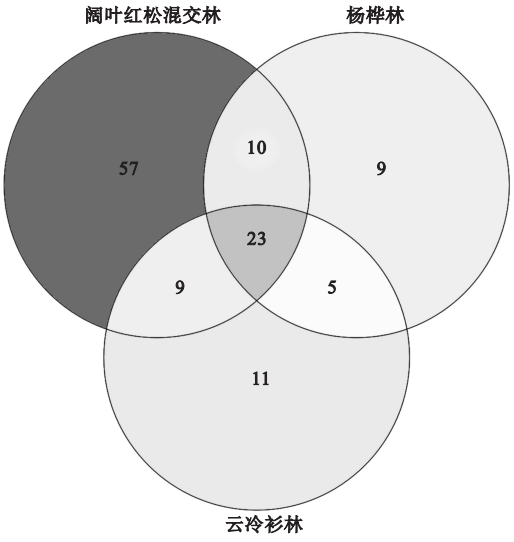


图 3 三个林分木材腐朽真菌组成差异

Fig.3 Distribution characteristics of wood-decaying fungi in three kinds of forests

重叠区的数字代表共有物种数量。

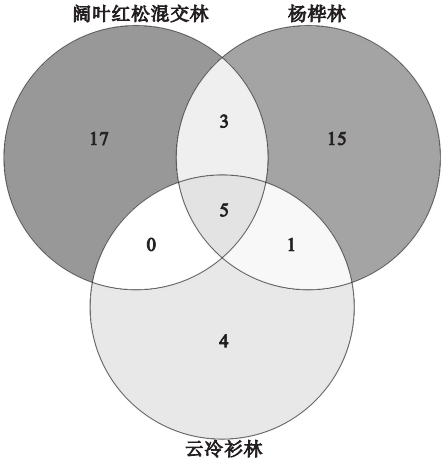


图 4 三个林分桦树上木材腐朽真菌分布特点

Fig.4 Distribution characteristics of wood-decaying fungi on *Betula* in three forests

重叠区的数字代表共有物种数量。

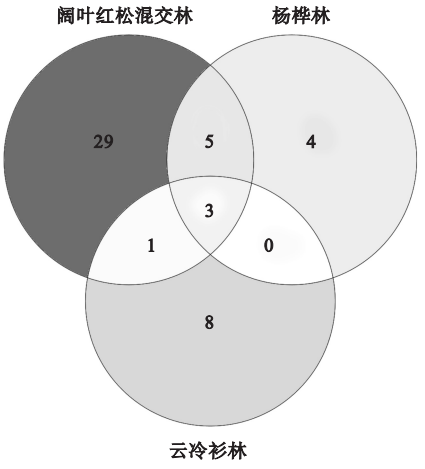


图 5 三个林分槭属树上木材腐朽真菌分布特点

Fig.5 Distribution characteristics of wood-decaying fungi on *Acer* in three forests

重叠区的数字代表共有物种数量。

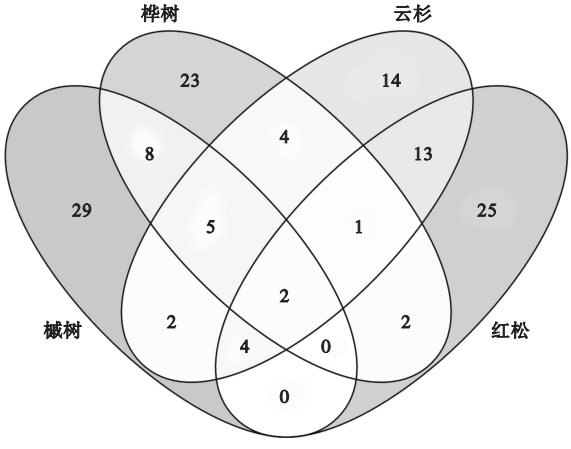


图 6 优势树种上木材腐朽真菌比较

Fig. 6 Contrasting analysis of wood-decaying fungi on dominant tree species

重叠区的数字代表共有物种数量。

真菌种类数相对于阔叶红松混交林较少,而且物种的分布不够均匀,一些物种仅出现一次。分析其原因可能主要是由于林内植物群落类型差异较大,阔叶红松混交林植被类型丰富,除了针叶树红松以外,林内伴生柞树、椴树、枫桦、丁香等阔叶树,与红松长在一起,并能促进建群种的生长。它们对该区域的生态位空间具有较大的适应性和占领能力。通过研究伴生树上特有种的分布可以更好地解释植被类型是影响木材腐朽真菌分布的一个主要因素。同时林内土壤湿度大,地面倒木多,为多孔菌的生长提供了一个良好的环境。研究表明,林中倒木数量和木材腐朽真菌的物种多样性具有显著正相关性(Simila *et al.*,2006;Berglund *et al.*,2008);基于物种-面积关系的研究,人们发现,森林生态系统中 90% 倒木基质的清除导致了 50% 木生真菌的消失(Siitonen,2001)。而倒木体积的大小与真菌子实体的个数之间也存在密切相关性(Renvall, 1995; Heilmann-Clausen *et al.*,2004;Kutszegi *et al.*,2015),是今后重点探讨的问题。

3 个林分中木材腐朽真菌主要生长在腐烂阶段的中后期的基质上,此类型基质上生长的木材腐朽真菌数量和种类都最高,说明这些后续降解者是发挥降解作用中数量最多和多样性最高的一个类群(王小燕等,2015)。此外,初期腐烂阶段上生长的

先锋物种的数量和种类很少,该类物种具有较强的降解能力,优先在新鲜倒木上生长,从而让后续降解者更容易发挥作用。从真菌物种的腐朽类型来看,该地区有 21 种褐腐菌,个体数量达到 218 份,比例高于其他地区的平均比例,而且这 21 种褐色腐朽真菌全部生长在针叶树上。表明该地区的褐腐真菌在针叶林生态系统中发挥着非常重要的生态功能。

槭属、桦属、红松和云杉属是该地的优势树种,是木材腐朽真菌优先选择的寄主。槭属上生长的多孔菌数量最多,其次是红松和桦树,其上生长的木材腐朽真菌物种多样性也很高。调查中发现,数量很少的丁香属上的真菌多样性也很高。这说明多孔菌数量较少的基质也需要保护。实际上,在野外调查中我们也发现树种相对单一的林分中(杨桦林、云冷杉林)木材腐朽真菌的种类数量较少且种类多为常见种,特别是云冷杉林,而树种组成丰富的阔叶红松混交林中多孔菌的多样性最高。粗死木质残体是指所有地上和地下小头直径>2.5 cm 的死木质物,是森林树木更新的良好介质,在生物多样性保持方面发挥着不可替代的作用,推动着森林生态系统的小循环(侯平等,2001;潘开文等,2004;何东进等,2009)。调查中发现,少数稀有物种生长在直径大于 2.5 cm 小枝上,这些多孔菌物种很可能与森林更新有着密切关系。因此,保护森林生态系统的生物多样性应当给予充分的重视,是今后研究工作的重点,对于指示森林动态变化过程有重要意义。

致谢 感谢丰林世界生物圈保护区宋国华老师和黄华老师在野外采样过程中给予的帮助和指导;感谢东北林业大学金光泽教授及其团队在丰林大样地调查过程中给予的帮助。

参考文献

毕湘红, 魏 霞, 邓 勋. 2006. 黑龙江省天然红松林大型真菌的生态分布与资源评价. 林业科技, **31**(5): 26-30.

柴新义, 许雪峰, 汪美英, 等. 2013. 安徽琅琊山大型真菌区系多样性. 生态学报, **33**(7): 2314-2319.

戴玉成. 2009. 中国多孔菌名录. 菌物学报, **28**(3): 315-327.

戴玉成. 2012. 中国木本植物病原木材腐朽真菌研究. 菌物学报, **31**(4): 493-509.

何东进, 何小娟, 洪 伟, 等. 2009. 森林生态系统粗死木质残体的研究进展. 林业科学研究, **22**(5): 715-721.

侯 平, 潘存德. 2001. 森林生态系统中的粗死木质残体及其功能. 应用生态学报, **12**(2): 309-314.

金宇昌, 李 玉. 2011. 黑龙江丰林自然保护区大型真菌群落多样性研究. 菌物研究, **9**(3): 126-135.

金宇昌. 2011. 黑龙江丰林自然保护区大型真菌多样性研究(硕士学位论文). 长春: 吉林农业大学.

刘林馨, 刘传照, 毛子军. 2012. 丰林自然保护区种子植物区系研究. 北京林业大学学报, **34**(1): 126-135.

潘开文, 何 静, 吴 宁. 2004. 森林凋落物对林地微生境的影响. 应用生态学报, **15**(1): 153-158.

宋国华, 毕连柱, 张 华, 等. 2010. 丰林自然保护区红松针阔混交林空间格局分布及保护的重要性. 黑龙江生态工程职业学院学报, **23**(1): 32-34.

王全波, 毕连柱, 张海军, 等. 2015. 丰林自然保护区红松林内大型真菌种类组成及区系分布. 黑龙江农业科学, (4): 143-145.

王天明. 2004. 丰林自然保护区阔叶红松林生物多样性研究(硕士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学.

王小燕, 魏玉莲. 2015. 我国西北和东南地区多孔菌种群差异. 应用生态学报, **26**(10): 1-7.

魏玉莲, 戴玉成, 袁海生, 等. 2010. 长白山阔叶红松林样地槭属树木木生真菌的群落组成和分布. 生态学报, **30**(23): 6348-6354.

魏玉莲, 戴玉成. 2004. 木材腐朽真菌在森林生态系统中的功能. 应用生态学报, **15**(10): 1935-1938.

Berglund H, Gunnar Jonsson B. 2008. Assessing the extinction vulnerability of wood-inhabiting fungal species in fragmented northern Swedish boreal forests. *Biological Conversation*, **141**: 3029-3039.

Dai YC. 2009. *Phellinidium* (Basidiomycota, Hymenochaetales) in China. *Mycosystema*, **28**: 25-28.

Heilmann Clausen J, Christensen M. 2004. Does size matter? On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest Ecology and Management*, **201**: 105-117.

Kutszegi G, Siller I, Dima B, *et al*. 2015. Drivers of macrofungal species composition in temperate forests, West Hungary: Functional groups compared. *Fungal Ecology*, **17**: 69-83.

Renvall P. 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting Basidiomycetes on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia*, **35**: 1-51.

Siitonen J. 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins*, **49**: 11-41.

Simila M, Kouki J, Monkkonen M, *et al*. 2006. Co-variation and indicators of species diversity: Can richness of forest-dwelling species be predicted in northern boreal forests. *Ecological Indicators*, **6**: 686-700.

Xiong HX, Dai YC. 2009. Notes on lignicolous corticioid fungi in China. 3. Phanerochaete (Basidiomycota, Polyporales) in China. *Mycosystema*, **28**: 29-35.

Zhou LW, Dai YC. 2012. Recognizing ecological patterns of wood-decaying polypores on gymnosperm and angiosperm trees in northeast China. *Fungal Ecology*, **5**: 230-235.

作者简介 张丽燕,女,1989 年生,硕士研究生,主要从事真菌生态学研究。E-mail: 627376952@ qq.com

责任编辑 魏中青