

长白山阔叶红松林水曲柳伐根分解过程中 大型真菌动态*

法 蕾^{1,2} 胡增军³ 张春雨¹ 赵秀海^{1**} 贺 伟¹ 汤志敏²

(¹北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083)

(²中国林业科学研究院华北林业实验中心 北京 102300)

(³吉林省敦化林业局 敦化 133714)

摘 要 水曲柳伐根的分解过程影响着长白山地区阔叶红松林的养分循环过程,而真菌又是显示伐根分解过程的重要因素.通过踏查的方法对水曲柳伐根上大型真菌的动态进行了研究,结果显示,水曲柳伐根上着生的大型真菌数量和种类都较多,不同分解年份的伐根上大型真菌数量相差不大,而种类则随时间变化呈现出一定的规律性,分解时间为3 a、7 a、10 a的伐根上真菌多样性程度较高,而5 a、12 a的伐根上真菌多样性较低.真菌类群主要集中在多孔菌科和炭角菌科,这两类真菌出现的频率占所有真菌的47.34%. *Scutellinia scutellata*和*Irpex lacteus*是水曲柳伐根分解过程中时间跨度最大的真菌,而数量比例最大的真菌则是*Coriolus versicolor*.水曲柳伐根上真菌数量与分解时间和光照呈负相关关系,而与桩径呈正相关关系.图4 表3 参16

关键字 水曲柳;伐根;大型真菌;分解;动态

CLC S718.81 (23)

Fungal Succession During *Fraxinus mandshurica* Stump Decomposition in Broad-leaved and Korean Pine Mixed Forest in the Changbai Mountains, China*

FA Lei^{1,2}, HU Zengjun³, ZHANG Chunyu¹, ZHAO Xiuhai^{1**}, HE Wei¹ & TANG Zhimin²

(¹Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

(²Experimental Centre of Forestry of North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China)

(³Dunhua Forestry Bureau of Jilin Province, Dunhua 133714, Jilin, China)

Abstract The decomposition of *Fraxinus mandshurica* stumps is the key factor of the nutritional cycle of broad-leaved and Korean pine mixed forest in the Changbai Mountains. Fungi are the main contributors of the stump decomposition. The fungal diversity and succession on the stumps were investigated during the stump decomposition. The result showed that the species diversity and the biomass were rich on *F. mandshurica* stumps. There was no significant fluctuation of fungal biomass, but significant variation of the species was found during the stump decomposition period. The fungal diversity was higher in 3, 7 and 10 years, but lower in 5 and 12 years. The prominent fungal species were found belonging *Polyporaceae* and *Xylariaceae* at a ratio of 47.34% among the total fungi. *Scutellinia scutellata* and *Irpex lacteus* were detected during the whole decomposing period. *Coriolus versicolor* was the largest in quantity. There was a negative correlation between the decomposition time as well as sunshine and the fungi quantity, while the positive correlation between the fungi quantity and the stump diameter during the decomposition. Fig 4, Tab 3, Ref 16

Keywords *Fraxinus mandshurica*; stump; macrofungi; decomposition; dynamic

CLC S718.81 (23)

长白山地区阔叶红松林内有很多重要的珍贵硬阔树种,如红松(*Pinus koraiensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)等.其中,水曲柳为落叶大乔木,高达30 m,胸径可达1 m以上;树皮灰色,成龄后有粗细相间的纵裂,为阳性树种.水曲柳适宜湿润型温带季风气候,多生长在河漫滩和山地河流下

游的河谷第一阶地,主要伴生树种为红松等.水曲柳稍耐盐碱,耐寒,在大兴安岭-40℃的严寒条件下发育正常,广泛应用于建筑、民航、造船、家装等行业,是重要的经济树种.阔叶红松林森林择伐后,林中会遗留下大量的水曲柳伐根.伐根的分解是一个基本的生态过程,强烈影响着森林生态系统的稳定和动态过程^[1],由于红松、水曲柳等树木径级较大,其伐根的分解过程在阔叶红松林养分循环中占据着重要的一环,对有机物和养分的流失起到了一定的缓冲作用^[2].伐根的分解过程是一个由微生物种群控制的复杂的生态过程,而微生物的活动又受化学条件、养分供给、环境条件和生物相互作用等因素影响^[3~4],对伐根分解过程中大型真菌变化动态的研究,有助于了解伐根分解的具体过程和影响因素,

收稿日期: 2009-02-03 接受日期: 2009-05-06

*国家自然科学基金项目(No. 30270222)、财政部林业公益性行业科研专项(No. 20090422)和“十一五”国家科技支撑项目(No. 2006BAD03A0804)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30270222), the Special Fund of Ministry of Finance of China for Nonprofit Research of Forestry Industry (No. 20090422) and the Key S & T Project of the National “11th Five-year” Plan of China (No. 2006BAD03A0804)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn)

完善森林生态系统养分循环链条中的缺失环节,从而为阔叶红松林养分循环过程的研究提供依据. 目前国外关于伐根分解过程的研究较为深入,而国内较少,将伐根的分解与大型真菌的活动结合起来的研究更是少见. 因此,对阔叶红松林伐根分解过程中大型真菌的活动状态进行研究,可以填补国内在相关领域研究的空白,为进一步深入开展森林生态系统结构、功能和生产力的研究提供基础数据和理论依据.

1 样地概况

调查采样地点为吉林省红石林业局下属的白山林场(约42°34'~43°17'E, 126°51'~127°44'N),面积为24 092 hm². 林区内群山起伏,地形复杂,为明显中低山区,海拔400~1 200 m;属季风影响的温带大陆性山地气候,主要特点是春季干燥多风、夏季温热多雨、冬季漫长寒冷;常年多西南风,年平均气温3.9℃,年平均降雨量632.8~782.4 mm,集中在6~8月,年平均相对湿度73%,年无霜期118~132 d,土壤为暗棕壤,土层厚度20~100 cm. 本伐区保留有50 a的伐区设计资料,可以方便地识别0~40 a的伐根.

样地的林型为阔叶红松林,其中主要的乔木有:红松(*P. koraiensis*)、水曲柳(*F. mandshurica*)、色木槭(*Acer mono*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Pobulus davidiana*)等针、阔叶树种,郁闭度为0.8. 灌木主要有东北溲疏[*Deutzia amurensis* (Regel) Airy-Shaw]、毛榛(*Corylus mandshurica*)、忍冬(*Lonicera japonica* Thunb.)等. 草本有山茄子(*Brachybotrys paridiformis*)、水金凤(*Impatiens nolitangere*)、苔草(*Carex* spp.)和各种蕨类等.

2 研究方法

2.1 野外采样

根据林场的采伐记录,于2004年和2006年6~8月生长季节多次进行外业调查及取样.

采用踏查的方法对林内伐根上肉眼可见的真菌子实体进行数码摄像和采集. 伐根上的每一个菌种,都作为一个菌株进行记录,同时测量伐根的桩径,并记录周围环境状况(光照、湿度等基本因素). 然后在驻地对采回的子实体进行组织分离,得到纯菌种,并将菌种纯种保存在试管内带回,作为真菌鉴定时的参考依据. 剩余的子实体组织放在干燥通风的地方尽快晾干,选择形态完好的作为鉴定依据带回.

2.2 调查时间段划分

水曲柳材质较硬,属于耐腐树种. 林中的水曲柳伐根,直径大多比较粗. 由于径级大,木质硬,伐根的分解过程较为缓慢,着生了较多的大型真菌的子实体. 根据林内伐根的分解状态,设计了5个分解调查时段,分别是:3 a、5 a、7 a、10 a、12 a. 每个分解年限调查的水曲柳伐根数目为16~19个,共计89个.

2.3 影响因素调查

调查时,尽可能地注意坡向、光照、距离林地边缘的距离等等,选择环境相似的点,以减少由于小环境差异带来的影响^[5]. 由于调查时间为每年的6~8月,气候差异不大,因此将影响伐根大型真菌种类和数量的影响因素定为桩径和光照两个.

2.4 内业处理

将采集到的真菌纯种,进行室内培养,并依据子实体形态、菌丝系统、担孢子特征等,观察分离菌的菌落形态和生长速度;同时观察真菌子实体及其照片,根据赵继鼎的《中国真菌志 第三卷 多孔菌科》、贺晓岚《中国大型真菌》、黄年来《中国大型真菌原色图鉴》等,鉴定出其中一部分真菌^[6-12].

3 结果

3.1 水曲柳伐根上着生的主要真菌种类和数量

3.1.1 真菌类群 在水曲柳伐根分解的12 a过程中,伐根上

表1 水曲柳伐根上着生的真菌类群
Table 1 Fungi attached on *F. mandshurica* stumps

真菌科名 Fungal family	各菌种出现频次 Occurring frequency	各类别菌种出现频次的比例 Rate of frequency (r/%)	对分解过程的影响程度 Influence degree
多孔菌科 Polyporaceae	62	32.63	***
炭角菌科 Xylariaceae	28	14.74	***
白蘑科 Tricholomataceae	17	8.95	**
硬皮马勃科 Sclerodermataceae	13	6.84	**
盘菌科 Pezizaceae	12	6.32	**
地舌科 Geoglossaceae	7	3.68	*
灵芝科 Ganodermataceae	5	2.63	*
锤舌菌科 Leotiaceae	5	2.63	*
银耳科 Tremellaceae	4	2.11	*
鬼伞科 Coprinaceae	4	2.11	*
粪锈伞科 Bolbitiaceae	2	1.05	*
肉盘菌科 Sarcosomataceae	1	0.53	—
球盖菇科 Strophariaceae	1	0.53	—
木耳科 Auriculariaceae	1	0.53	—
蘑菇科 Agaricaceae	1	0.53	—
裂褶菌科 Schizophyllaceae	1	0.53	—
链担耳科 Sirobasidiaceae	1	0.53	—
革菌科 Thelephoraceae	1	0.53	—
伏革菌科 Corticiaceae	1	0.53	—
刺革菌科 Hymenochaetaceae	1	0.53	—

表2 不同分解年份水曲柳伐根上着生的主要大型真菌种类
Table 2 Main macrofungi on *F. mandshurica* stumps in different decomposition periods

分解时间 Decomposition period	水曲柳伐根上的主要真菌种类 Main macrofungi on <i>Fraxinus mandshurica</i> stumps
3 a	<i>Coriolus versicolor</i> , <i>Amyloporus campbellii</i> , <i>Psathyrella hydrophila</i> , <i>Scleroderma citrinum</i> Pers., <i>Lenzites betulina</i> , <i>Scutellinia scutellata</i> , <i>Lenzites platyphylla</i> Lev, <i>tremella lutescens</i> Fr., <i>Schizophyllum commune</i> Fr., <i>Irpex lacteus</i> , <i>Chlorociboria aeruginosa</i>
5 a	<i>Coriolus versicolor</i> , <i>Xylaria polymorpha</i> , <i>X. sanchezii</i> Lloyd, <i>Armillariella mellea</i> , <i>Hypoxyylon deustum</i> , <i>Scleroderma citrinum</i> Pers., <i>Scutellinia scutellata</i> , <i>Lenzites betulina</i> , <i>Ascocoryne cylichnium</i> , <i>Tremella pulvinalis</i> Kobayasi, <i>Tremella lutescens</i> Fr., <i>Coriolus hirsutus</i> , <i>Phellinus gilvus</i> , <i>Heterobasidium insulare</i> , <i>Lenzites platyphylla</i> Lev, <i>Irpex lacteus</i>
7 a	<i>Hypoxyylon deustum</i> , <i>Coriolus versicolor</i> , <i>Scleroderma citrinum</i> Pers., <i>Irpex lacteus</i> , <i>Ascocoryne cylichnium</i> , <i>Tremella pulvinalis</i> Kobayasi, <i>Polyporellus picipes</i> , <i>Chlorociboria aeruginosa</i> , <i>Scutellinia scutellata</i> , <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>Armillariella mellea</i> , <i>Hymenochaete mougeotii</i> (<i>Pseudocoprinus disseminatus</i>)
10 a	<i>Ascocoryne cylichnium</i> , <i>Hypoxyylon deustum</i> , <i>Scleroderma citrinum</i> Pers., <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>Scutellinia scutellata</i> , <i>Armillariella mellea</i> , <i>Irpex lacteus</i> , <i>Sirobasidium magnum</i> Boed., <i>Polyporellus picipes</i>
12 a	<i>Hypoxyylon deustum</i> , <i>Bisporella sulfurina</i> , <i>Mycena alcalina</i> , <i>Irpex lacteus</i> , <i>Polyporellus picipes</i> , <i>Armillariella mellea</i> , <i>Scutellinia scutellata</i>

定殖的大型真菌数量较多, 隶属于担子菌亚门和子囊菌亚门, 其中, 担子菌亚门包括15个科, 占真菌总数的60.53%, 子囊菌亚门5个科, 占真菌总数的27.89% [6-12]。水曲柳伐根上真菌的类群及其比例见表1。

水曲柳伐根上着生的大型真菌子实体主要集中在多孔菌科和炭角菌科, 这两类真菌出现的频率占调查真菌的47.34%; 其次是白蘑科、硬皮马勃科和盘菌科, 占调查真菌的22.11%; 其余如地舌科、灵芝科、锤舌菌科、银耳科、鬼伞科和粪锈伞科的真菌数量较少, 占14.21%; 剩下各类真菌, 仅在水曲柳伐根上出现一次, 占4.74%, 属于偶尔出现的菌种, 其对伐根分解过程的影响可以忽略不计。

具体鉴定到种的有: 彩绒革盖菌 (*Coriolus versicolor*)、喜湿小柄脆菇 (*Psathyrella hydrophila*)、桦褶孔菌 (*Lenzites betulina*)、白耙齿菌 (*Irpex lacteus*)、红毛盘菌 (*Scutellinia scutellata*)、橙黄银耳 (*Tremella lutescens*)、多形炭角菌 (*Xylaria polymorpha*)、焦色炭团菌 (*Hypoxyylon deustum*)、蜜环菌 (*Armillariella mellea*)、紫色囊盘菌 (*Ascocoryne cylichnium*)、淡黄木层孔菌 (*Phellinus gilvus*)、青顶拟多孔菌 (*Polyporellus picipes*)、扁芝 (*Ganoderma applanata*)、大链担耳 (*Sirobasidium magnum*)、鲜黄双孢菌 (*Bisporella sulfurina*)、橙黄硬皮马勃 (*Scleroderma citrinum*)、垫状银耳 (*Tremella pulvinalis*)、毛云芝 (*Coriolus hirsutus*)、笔形炭角菌 (*Xylaria sanchezii* Lloyd)、绿杯菌 (*Chlorociboria aeruginosa*)、宽褶孔菌 (*Lenzites platyphylla*)、褐小菇

(*Mycena alcalina*) 等。不同真菌在伐根上出现的时间不同, 呈现出一定的演替规律。真菌出现的具体时间见表2。

3.1.2 真菌数量 水曲柳伐根上着生的大型真菌的数量, 会随伐根的分解时间不同而发生相应的变化。总体来说, 每个伐根上着生的真菌数量都有所不同。但是在长达12 a的分解时间内, 伐根上着生的真菌数量变化幅度不大, 平均每个伐根上的真菌子实体数量变化不超过1株。而真菌类群的变化体现出一定的时间性, 3 a、7 a、10 a的伐根上真菌种类较多, 5 a、12 a的伐根真菌种类较少 (图1)。

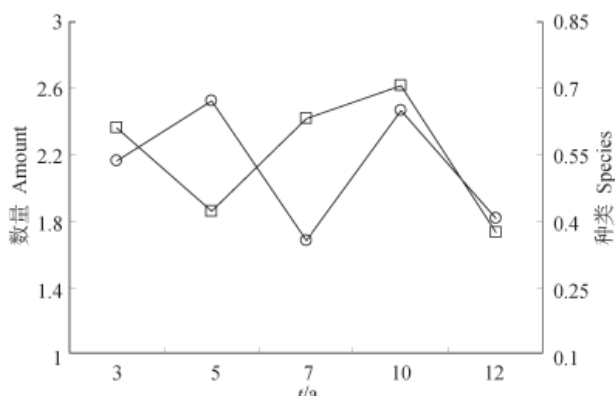


图1 水曲柳伐根分解过程中真菌数量 (O) 和种类 (□) 的变化
Fig. 1 Changes in fungi quantity (O) and species (□) on *F. mandshurica* stumps

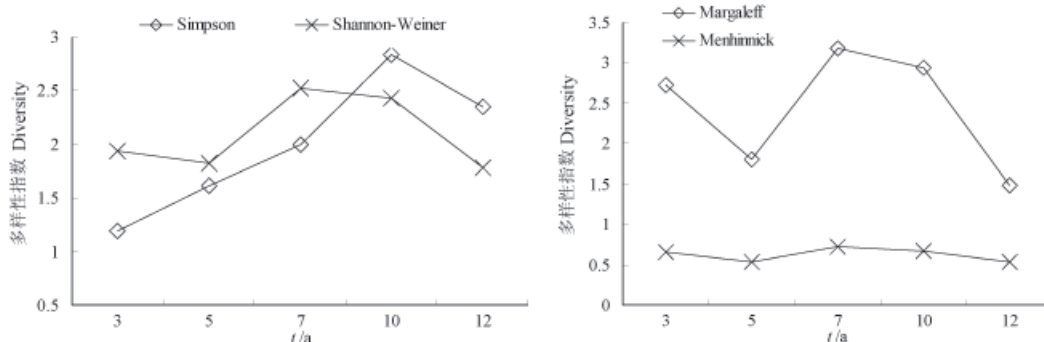


图2 水曲柳伐根真菌多样性的时间动态曲线
Fig. 2 Fungi diversity on *F. mandshurica* stumps

3.2 水曲柳伐根上大型真菌的多样性与动态

利用几种生态学多样性计算方法, 对水曲柳伐根上大型真菌子实体的多样性进行了计算. 主要采用的多样性指数有Simpson指数、Shannon-Weiner指数、Margaleff多样性指数和Mehinnick多样性指数^[13]. Simpson多样性指数显示水曲柳伐根上的真菌多样性随分解时间的增加而增加, Shannon-Weiner指数、Margaleff指数和Menhinnick多样性指数则显示为7 a和10 a多样性程度比较高, 其余年份较低(图2).

3.3 水曲柳伐根上主要真菌的演替规律

植物有机残体的分解实质上是一个酶解过程. 转化酶、淀粉酶在有机残体的最初分解阶段发挥着重要作用, 参与易分解成分(简单含C化合物)的转化和分解, 而参与有机残体木质纤维素(多糖物质)分解的酶主要是C1酶、Cx酶、 β -葡萄糖苷酶、木聚糖酶和多酚氧化酶. 不同真菌分泌的酶物质不同, 因而在伐根分解过程中出现的时间和所起的作用也不尽相同^[14], 在伐根分解的过程中呈现出一定的演替动态.

3.3.1 水曲柳伐根上的真菌类群演替 水曲柳伐根上不同时段出现的真菌种类不同. 分解3 a的伐根上真菌包括多孔菌科、鬼伞科、硬皮马勃科、盘菌科、裂褶菌科、革菌科、伏革菌科、蘑菇科、银耳科、木耳科、锤舌菌科; 5 a的真菌种类有多孔菌科、炭角菌科、盘菌科、白蘑科、硬皮马勃科、银耳科、灵芝科、地舌科; 7 a的真菌种类有多孔菌科、白蘑科、炭角菌科、硬皮马勃科、粪锈伞科、鬼伞科、盘菌科、锤舌菌科、地舌科、灵芝科、刺革菌科、银耳科; 10 a的真菌种类有多孔菌科、地舌科、炭角菌科、盘菌科、硬皮马勃科、灵芝科、白蘑科、链担耳科、肉盘菌科、粪锈伞科、球盖菇科、灵芝科; 12 a的真菌种类有白蘑科、锤舌菌科、多孔菌科、炭角菌科、盘菌科、硬皮马勃科(图3).

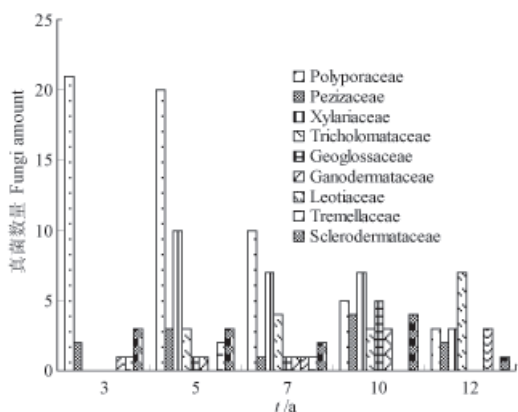


图3 水曲柳伐根分解过程中的真菌类群及数量
Fig. 3 Fungi attached on *F. mandshurica* stumps

在水曲柳伐根的分解过程中, 多孔菌科、盘菌科和硬皮马勃科真菌贯穿于我们观察的分解年限始终, 属于常见真菌, 占有所有真菌的45.79%; 炭角菌科和白蘑科在其中4个年份出现过, 也属于比较常见的菌种, 占有全部真菌的23.68%. 在3个分解年份出现的菌种有锤舌菌科、地舌科、银耳科、灵芝科, 占有全部真菌的11.05%; 只在2个分解年限出现的真菌类群有鬼伞科和粪锈伞科, 占有所有真菌的3.16%; 只有一个分解

年份出现的真菌, 也就是随机性最大真菌, 这类真菌种类最多, 包括革菌科、伏革菌科、肉盘菌科、球盖菇科、木耳科、蘑菇科、刺革菌科、裂褶菌科、链担耳科等, 占有全部真菌的4.74%.

3.3.2 水曲柳伐根上的真菌种类演替 就已鉴定出的具体的真菌种类而言, *Scutellinia scutellata* 和 *Irpex lacteus* 出现在5个调查年份中, *Armillariella mellea*、*Scleroderma citrinum* 和 *Hypoxylon deustum* 出现在4个调查年份中, *Polyporellus picipes*、*Coriolus versicolor* 和 *Ascocoryne cylichnium* 出现在3个调查年份中, *Ganoderma applanatum*、*Tremella lutescens*、*Lenzites platyphylla* 和 *Tremella pulvinaris* 出现在2个调查年份中.

Scutellinia scutellata 和 *Irpex lacteus* 的数量分别是10个和8个, 但是跨越了5个调查年份, 分布时段很广. *Coriolus versicolor* 出现的时间集中在3~7 a, 但是数量很多, 在调查中出现17次. *Scleroderma citrinum*、*Hypoxylon deustum* 出现的数量都为13个, 分别是3~10 a和5~12 a. *Polyporellus picipes*、*Ascocoryne cylichnium* 的数量分别是3个和7个, 出现在7~12 a和5~10 a, *Ganoderma applanatum*、*Tremella lutescens*、*Lenzites platyphylla* 和 *Tremella pulvinaris* 的调查数量分别是3、2、4、2个, 主要集中在7~10 a、3~5 a、3~5 a和5~7 a(图4).

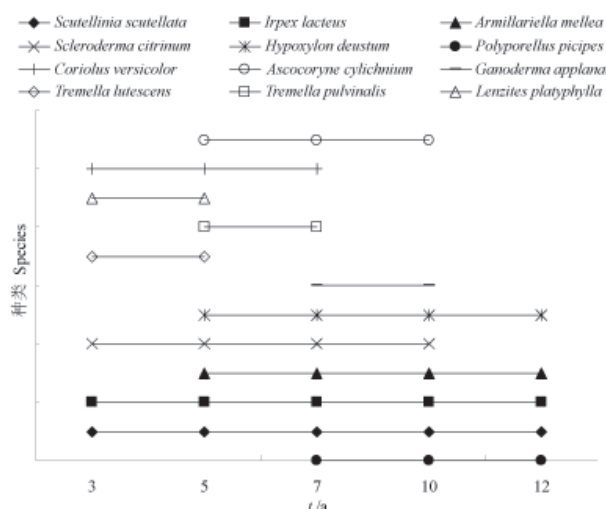


图4 水曲柳伐根上几种主要木腐真菌出现的时间跨度图
Fig. 4 Main wood-rotting fungi on *F. mandshurica* stumps

3.4 影响因素调查

影响伐根上微生物生长的主要因素有时间、温度、湿度、光照、营养源等. 对伐根的桩径和光照进行了测定, 并对水曲柳伐根上定殖的真菌数量与分解时间、伐根桩径以及光照进行了相关性分析, 见表3, 在0.05的显著性标准下, 经双尾检验, 可以看出, 水曲柳伐根上的大型真菌数量与时间呈负相关, 但相关性不显著; 与桩径呈正相关, 相关性显著; 真菌数量与光照呈负相关, 相关性显著.

4 结论与讨论

伐根的分解过程主要是通过真菌菌丝分泌的各种酶将伐根木材的主要成分——纤维素、半纤维素和木质素分解

表3 水曲柳伐根真菌数量与时间及桩径的相关性分析
Table 3 Correlation analysis between fungi quantity and stump diameter of *F. mandshurica*

变量 Variable	Pearson相关分析 Pearson correlation analysis	Spearman相关分析 Spearman correlation analysis
分解时间 Time	-0.068	-0.049
桩径 Stump diameter	0.197**	0.242**
光照 Illumination	-0.418**	-0.241

**Significant difference at 0.05

成真菌能够吸收代谢的简单化合物. 在水曲柳伐根的分解过程中, 伐根上定殖的大型真菌种类和数量都很多, 主要隶属于担子菌亚门的多孔菌科和子囊菌亚门的炭角菌科; 平均每个伐根上着生约3个大型真菌, 不同分解年限伐根上大型真菌数量的差异也很小. 但总体看来, 当水曲柳伐根分解时间为3 a、7 a、10 a的时候, 大型真菌种类数目较多, 而分解时间为5 a、12 a的伐根真菌种类相对较少. 通过对多样性指数的计算, 显示出水曲柳伐根7 a和10 a的真菌多样性程度较高.

由于在伐根分解过程中, 不同大型真菌对木质素、纤维素和半纤维素利用的能力不同, 因而不同真菌在伐根分解过程中出现的顺序也不同, 呈现出一定的演替动态^[15]. 在所有的真菌中, 多孔菌科、盘菌科和硬皮马勃科属于常见菌种, 贯穿于12 a的分解过程中, 占有所有真菌的45.79%; 其次是炭角菌科和白蘑科, 在4个调查年份出现过, 占全部真菌的25.68%; 其余真菌比例较小. 其中, *Scutellinia scutellata*和*Irpex lacteus*是水曲柳伐根分解过程中分布时间最广的真菌, 而数量比例最大的真菌则是*Coriolus versicolor*.

水曲柳伐根上的真菌数量与时间呈负相关, 与桩径呈显著性正相关, 与光照呈负相关. 作为伐根的主要分解者, 可以看出, 水曲柳伐根上真菌的分解效率是随时间递增而递减的; 另一方面, 营养源的供给也是决定伐根真菌多少的重要因素, 伐根桩径越大, 供给真菌的营养源越丰富, 真菌数量和种类也越多; 而光照越强, 真菌的数量越少, 伐根的分解效率也就越低. 所以, 在光照较弱的早期, 伐根分解效率高, 随着分解的逐步进行, 伐根养分不断消耗, 分解效率逐渐降低, 直至最后伐根完全被分解掉.

大型真菌动态只能从一个角度说明水曲柳伐根的分解过程, 伐根的分解过程还会受到昆虫活动、气候变化、物理环境等的影响. 另外, 大型真菌分解活动的强度以及其子实体自身的成长过程, 都要受养分供给状况的影响^[16]. 因此, 要全面说明伐根的分解过程, 伐根分解过程中的养分动态是一个不可或缺的测定因素. 结合伐根养分的流失状况和其周围土壤养分含量的变化, 可以更为细致地说明伐根地动态分解过程, 因此还需作进一步深入的研究.

References

- Moorhead DL, Sinsabaugh RL, Linkins AE, Reynolds F. Decomposition processes: Modeling approaches and applications. *Sci Total Environ*, 1996, **183**: 137~149
- Fahey TJ, Hughes JW, Pu M, Arthur MA. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvest of northern hardwood forest. *For Sci*, 1988, **34** (3): 744~768
- Heal OW, Anderson JM, Swift MJ. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In: Cadish G, Giller KE ed. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CAB International, Wallingford, USA, 1997. 3~30
- Moorhead DL, Sinsabaugh RL. A theoretical model of litter decay and microbial interaction. *Ecol Monogr*, 2006, **76** (2): 151~174
- Heilmann-clausen J, Christensen M. Fungal diversity on decaying beech logs –implications for sustainable forestry. *Biodiv & Conserv*, 2003, **12**: 953~973
- Liu XD (刘旭东). *Coloratlas of the Wild Macrofungi in China 1*. Beijing, China (北京): China Forestry Publishing House, 2002
- Li Y (李玉), Tolgor (图力古尔). *Mushrooms of Changbai Mountains*. Beijing, China (北京): Science Press, 2003
- Zhao JD (赵继鼎). *Flora Fungorum sinicorum*. Vol 3. Polyporaceae. Beijing, China (北京): Science Press, 1998
- Chi YJ (池玉杰). A cultural study of 10 wood-rooting fungi growing on coniferous and broad-leaf trees. *Mycosystema* (菌物系统), 2002, **21** (1): 116~119
- Mao XL (贾晓岚). *The Macrofungi in China*. Zhengzhou, China (郑州): Henan Science Technique Press, 2000
- Dai YC (戴玉成). *Colored Illustrations of China Forest Pathogenic Rooting Fungi*. Beijing, China (北京): Science Press, 2005
- Huang NL (黄年来). *Colored Illustrations of Macrofungi (Mushrooms) of China*. Beijing, China (北京): Agricultural Press, 1998
- Tolgor (图力古尔), Li Y (李玉). Fungal community diversity in Daqinggou Nature Reserve. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2000, **20** (6): 986~991
- Chi YJ (池玉杰). *Wood Rotting and Wood-rotting Fungi*. Beijing, China (北京): Science Press, 2003
- Chi YJ (池玉杰), Liu Zh (刘智会), Bao FC (鲍甫成). Populations and communities of microorganisms growing on wood and their succession regulations. *J Fungal Res* (菌物研究), 2004, **2** (3): 51~57
- Humar M, Pohleven F. Influence of a nitrogen supplement on the growth of wood decay fungi and decay of wood. *Intern Biodeter & Biodegr*, 2005, **56**: 34~39