

4种木材腐朽菌对白桦木材降解能力的比较*

刘 欣 王秋玉 杨传平
(东北林业大学生命科学学院 哈尔滨 150040)

关键词: 白桦; 木材腐朽菌; 木材质量损失; 木材化学成分

中图分类号: S792.153 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2009)08-0179-04

Comparison of the Decaying Ability to White Birch Wood among Four Wood Rot Fungi

Liu Xin Wang Qiuyu Yang Chuanping
(College of Life Science, Northeast Forestry University Harbin 150040)

Abstract: Four wood rot fungi were used to decay 300 mature trees of white birch in Liangshui experiment stations, and the mass loss of the samples was measured to study bio-degradability of the wood by the fungi. The decaying susceptible and resistant populations in 10 trees each with the highest and lowest mass loss were selected, in which some main chemical components in decayed and non-decayed wood such as lignin and cellulose and so on was tested. The result showed that the decomposing power of *Coriolus versicolor* to wood samples was better, and then were *Fomes fomentarius*, *Irpex lacteus* and *Pholiota adiposa* were poor. 1% NaOH extraction in decayed wood was significant higher than that in non-decayed control. Benzene-alcohol extraction in the wood decayed by *Coriolus versicolor* and *Fomes fomentarius* was significant higher than that in non-decayed control, but much lower than the control in the wood decayed by *Irpex lacteus*. The lignin decomposing rate by *Irpex lacteus*, *Pholiota adiposa* and *Fomes fomentarius* were faster than the cellulose decomposing rate, the contrary result was achieved by *Coriolus versicolor*. This paper would provide some useful information in future study in the course and mechanism of wood decaying by rot fungi, and select engineering fungi for paper-making industry and pollution control.

Key words: white birch; wood rot fungi; wood mass loss; wood chemical components

木材腐朽大多数由侵蚀木材的真菌所造成(李坚, 2002; 池玉杰, 2003)。这些菌能分泌多种酶, 把木材中的纤维素、半纤维素和木质素分解为简单的碳水化合物作为生活的养料(Kirk *et al.*, 1987; Higuchi, 1990)。由于不同的木腐菌的生理特性不同, 所分泌的酶及酶的活性各不相同(刘欣等, 2008), 因此, 不同的木腐菌所分解木材的各种成分及相对速度就各不相同(Buswell, 1987)。

腐朽是木材最严重的生物破坏, 它能引起木材结构损坏, 造成经济上的巨大损失。白桦(*Betula platyphylla*)是极易腐朽的树种(刘一星, 2004)。本研究利用4种木材腐朽菌对白桦木材进行生物降解, 在研究新鲜白桦木材主要化学成分的基础上, 比较腐朽木材主要化学成分的变化以及与木材腐朽抗性的关系, 为今后生物造纸和污染治理的木腐菌选择提供有用信息。

1 材料与方法

1.1 试验材料 2005年8月, 在黑龙江省带岭林业局凉水林场白桦天然林(20年以上)选择优树300株, 在每株白桦胸高位置用木材生长锥(直径5 mm)钻取木材样品, 按株编号登记, -20℃保存。

2005年9月, 在黑龙江省尚志地区东北林业大学帽儿山实验林场采集了4种木材腐朽菌子实体, 其基本特征见表1(池玉杰, 2003), 组织分离得到纯菌丝, 在木屑培养基(张莆安, 1992)中4℃保存。

1.2 试验方法 1) 白桦木材天然耐腐性测定 白桦木材的天然耐腐性检测参照 GB/T 13942.1-92, 适当修改。采用河砂木屑培养基, 对所采集的300份白桦木材样品, 利用4种木材腐朽菌分别进行腐朽测定, 每份木材样品3个重复。

2) 白桦木材主要化学成分测定 将木样烘干并粉碎, 40~60目, -20℃保存。用于以下指标测定, 1%氢氧化钠抽出物(GB/T 2677.5-1993)、苯醇

收稿日期: 2007-08-09。

基金项目: 黑龙江省科技攻关重大项目(GA06B301)。

* 王秋玉为通讯作者。

表 1 4 种木材腐朽菌的基本特征

Tab.1 The main characteristics of four wood rot fungi

木材腐朽菌 Wood rot fungi	分类地位 Classification status	腐朽类型 Decaying type	常见宿主 Habitat and host
木蹄层孔菌 <i>Fomes fomentarius</i>	非褶菌目多孔菌科层孔菌属 Aphyllphorales Polyporaceae <i>Fomes</i>	白色腐朽 White rot	白桦、枫桦等 <i>Betula platyphylla</i> , <i>Betula castata</i> , etc.
彩绒革盖菌 <i>Coriolus versicolor</i>	非褶菌目多孔菌科革盖菌属 Aphyllphorales Polyporaceae <i>Coriolus</i>	海绵状白腐至杂斑混合腐朽 From cavernous white rot to spot mixed rot	杨、桦等 <i>Populus</i> , <i>Betula</i> , etc.
白囊耙齿菌 <i>Irpex lacteus</i>	非褶菌目多孔菌科耙齿菌属 Aphyllphorales Polyporaceae <i>Irpex</i>	边材白腐 Sapwood white rot	花楷槭、毛赤杨等 <i>Acer ukurunduense</i> , <i>Alnus sibirica</i> , etc.
黄伞 <i>Pholiota adiposa</i>	伞菌目球盖菇科鳞伞菌属 Agaricales Strophariaceae <i>Pholiota</i>	杂斑块状白腐 Spot mixed white rot	杨、桦等 <i>Populus</i> , <i>Betula</i> , etc.

抽出物按(GB/T 2677.6 - 1994)、木素包括酸不溶木素和酸溶木素,酸不溶木素按(GB/T 2677.8 - 1994)的 72% 硫酸法、酸溶木素(GB/T 10337 - 1989);纤维素按刘一星(2004)的方法检测。3 次重复。

3) 腐朽木材中纤维素和木质素损失率计算
腐朽木材中纤维素损失率 $X(\%)$ 按下式计算:

$$X = \frac{Y - (1 - W) \times F}{Y} \times 100\%。$$

式中: W 为腐朽木材的质量损失率; F 为腐朽木材中的纤维素含量; Y 为健康木样中的纤维素含量。腐朽木材中木质素损失率的计算方法同上。

4) 数据处理方法 用 SPSS 软件对测得数据进行统计分析。

表 2 白桦木材经木材腐朽菌生物降解后质量损失率的基本特征

Tab.2 Basic characteristics of wood weight loss of white birch by wood decaying

	白囊耙齿菌 <i>Irpex lacteus</i>	黄伞 <i>Pholiota adiposa</i>	彩绒革盖菌 <i>Coriolus versicolor</i>	木蹄层孔菌 <i>Fomes fomentarius</i>
有效数据 Valid data	297	292	298	293
质量损失率 Mass loss/ %	29.65	27.03	74.48	47.26
变异系数 CV	31.27	29.90	7.23	24.83
极差 Range	0.47	0.44	0.31	0.68
F	1.593**	1.217*	1.036	1.499**

采用 4 种木材腐朽菌对来自凉水实验林场的 300 株白桦木样分别进行木材腐朽处理后测定木材质量损失率,分别得到 292 ~ 298 个有效数据,4 种木材腐朽菌的生物降解时间略有不同,但总降解时间均在 90 天以上。如果忽略时间上的差异,从白桦木样经木腐菌生物降解后质量损失的基本特征可见,彩绒革盖菌对白桦木材的生物降解能力最强,木样在河砂木屑培养基中腐朽 93 天,平均质量损失达 74.48%,但它的变异系数最小,仅为 7.23。木蹄层孔菌的生物降解能力中等,质量损失率为 47.26%,而白囊耙齿菌和黄伞的生物降解能力最弱。

采用 4 种木材腐朽菌分别进行木材腐朽处理后的木材质量损失率的相关分析见表 3,木蹄层孔菌和黄伞的木材降解率间达到极显著正相关,也就

2 结果与分析

2.1 4 种木材腐朽菌对白桦木材的降解能力分析
对木材腐朽菌降解白桦木材后的质量损失率分别菌种进行个体间方差分析,研究显示白囊耙齿菌(*Irpex lacteus*)、黄伞(*Pholiota adiposa*)、彩绒革盖菌(*Coriolus versicolor*)和木蹄层孔菌(*Fomes fomentarius*)降解的白桦木材质量损失率在株间差异除彩绒革盖菌外均达极显著水平, $F = 1.593^{**}, 1.506^{**}, 1.217^{*}$ (表 2),这与 Hamrick 等(1992)、Martti 等(2004)的研究结果基本相符,说明可以通过木腐菌对白桦木材进行生物降解,并从中筛选出相应的抗腐朽和易腐朽的白桦个体。

表 3 白桦木材经不同木腐菌腐朽后质量损失的相关性

Tab.3 Correlation among wood weight loss of white birch decaying by different fungi

相关系数 Correlation coefficient	彩绒革盖菌 <i>Coriolus versicolor</i>	白囊耙齿菌 <i>Irpex lacteus</i>	黄伞 <i>Pholiota adiposa</i>
白囊耙齿菌 <i>Irpex lacteus</i>	0.148*		
黄伞 <i>Pholiota adiposa</i>	0.254**	- 0.003	
木蹄层孔菌 <i>Fomes fomentarius</i>	0.130*	- 0.058	0.171**

是说易受木蹄层孔菌侵染的白桦个体也易受黄伞的侵染。通过对它们的木质素降解酶表达活性的检测,木蹄层孔菌和黄伞表达出的酶活特性有很多相似处(刘欣等,2008),这暗示它们的木材降解途径有相似的部分,或者它们腐朽木材时对同类物质敏感,

其原因还有待于进一步研究。

彩绒革盖菌腐朽木样的质量损失率与其他 3 种真菌腐朽木样的质量损失率呈显著或极显著相关,也就是说,容易被彩绒革盖菌腐朽的木样也容易被其他 3 种真菌腐朽。

2.2 白桦木材腐朽后的主要化学成分分析 对白桦腐朽木样进行木材主要化学成分的检测,以相同生长锥健康木样为对照,其结果见表 4,经白囊耙齿菌腐朽后的木材中,1% NaOH 抽出物含量要远高于健康木样,差异极显著, $t = 17.809^{**}$; 苯醇抽出物含量显著低于健康木样, $t = 2.098^{**}$ 。说明白囊耙齿菌分解木材大分子成分的速度低于其消耗这些分解产物的速度,在腐朽木材中没有积聚的分解产物,而且还将木材中原本溶于苯醇的物质消耗了很多。白囊耙齿菌腐朽白桦木样后,腐朽材中纤维素含量略低于健康木样,因此白囊耙齿菌在腐朽过程中降解纤

维素的相对速度略高于其木材平均降解速度;腐朽材中木质素含量极显著低于健康木样, $t = 2.788^{**}$,白囊耙齿菌在腐朽过程中降解木质素的相对速度远高于其木材平均降解速度。说明白囊耙齿菌降解木质素的相对速度要比降解纤维素的相对速度快。

经黄伞腐朽后的木材中,1% NaOH 抽出物含量要远高于健康木样,差异极显著, $t = 13.216^{**}$; 黄伞腐朽的木材中苯醇抽出物含量与健康木样相比未呈现明显差异,说明黄伞分解木材所生成的分解产物的速度与消耗这些分解产物的速度几乎相等。腐朽材中纤维素和木质素含量低于健康木样,差异极显著, $t = 4.758^{**}$, 3.994^{**} ,黄伞在腐朽过程中降解纤维素和木质素的相对速度高于其木材平均降解速度。因为黄伞在腐朽过程中纤维素损失率是 31.20%,木质素损失率是 46.53%,因此黄伞降解木质素的速度要比降解纤维素的速度快。

表 4 白桦木材主要化学成分分析
Tab.4 Analysis of main chemical components in the wood of white birch

样品类型 Type	菌种 Fungi	1% NaOH 抽出物 1% NaOH extraction		苯醇抽出物 Benzene-alcohol extraction		纤维素 Cellulose		木质素 Lignin	
		平均值 Mean/ %	标准差 S. D.	平均值 Mean/ %	标准差 S. D.	平均值 Mean/ %	标准差 S. D.	平均值 Mean/ %	标准差 S. D.
健康木样 Fresh wood	空白 None	12.55	0.024	3.05	0.006	50.58	0.021	30.67	0.034
	白囊耙齿菌 <i>Irpex lacteus</i>	45.3	0.016	2.4	0.009	48.76	0.028	21.58	0.020
腐朽木样 Decayed wood	黄伞 <i>Pholiota adiposa</i>	38.0	0.003	2.8	0.006	46.73	0.021	19.54	0.009
	彩绒革盖菌 <i>Coriolus versicolor</i>	42.0	0.010	8.0	0.014	36.47	0.018	29.09	0.004
	木蹄层孔菌 <i>Fomes fomentarius</i>	36.3	0.004	6.8	0.004	50.89	0.041	23.32	0.021

经彩绒革盖菌腐朽后的木材中,1% NaOH 抽出物含量要远高于健康木样,差异极显著, $t = 21.015^{**}$; 苯醇抽出物含量极显著高于健康木样, $t = 12.854^{**}$ 。彩绒革盖菌腐朽木样 93 天后,腐朽材中纤维素含量极显著低于健康木样, $t = 16.961^{**}$,彩绒革盖菌腐朽木材过程中降解纤维素的相对速度高于降解木材的平均速度;腐朽材中木质素含量略高于健康木样,彩绒革盖菌腐朽木材过程中降解木质素的相对速度略低于降解木材的平均速度;同时,说明彩绒革盖菌分解纤维素的相对速度要比分解木质素的速度快。

经木蹄层孔菌腐朽后的白桦木样中,1% NaOH 抽出物含量要远高于健康木样,差异极显著, $t = 12.771^{**}$; 苯醇抽出物含量极显著高于健康木样, $t = 14.530^{**}$ 。说明彩绒革盖菌和木蹄层孔菌分解木材所生成的分解产物的速度要高于其消耗这些分解产物的速度,导致多余的分解产物在腐朽木材中积累。木蹄层孔菌腐朽 97 天后,腐朽材中纤维素含量

略高于健康木样,木蹄层孔菌腐朽木材过程中降解纤维素的相对速度略低于降解木材的平均速度;腐朽木材中木质素含量低于健康木样,木蹄层孔菌腐朽木材过程中降解木质素的相对速度略高于降解木材的平均速度。说明木蹄层孔菌降解木质素的相对速度要比降解纤维素的速度快,但未达到显著性水平。

计算腐朽木材中的纤维素和木质素的损失率,也就是木材腐朽菌腐朽过程中降解的纤维素和木质素占腐朽前健康木样中纤维素和木质素的比例。由图 1 可见,不同木腐菌降解木材中 2 种主要成分的相对速度是不同的。其中彩绒革盖菌腐朽的木样纤维素和木质素损失率最大,而且纤维素的损失高于木质素;其次是木蹄层孔菌,其纤维素损失率相比于木材质量损失率和木质素损失率低;白囊耙齿菌和黄伞腐朽的木样纤维素和木质素损失率均很低,而且后 3 种菌腐朽木样的纤维素损失率均远低于木质素损失率。

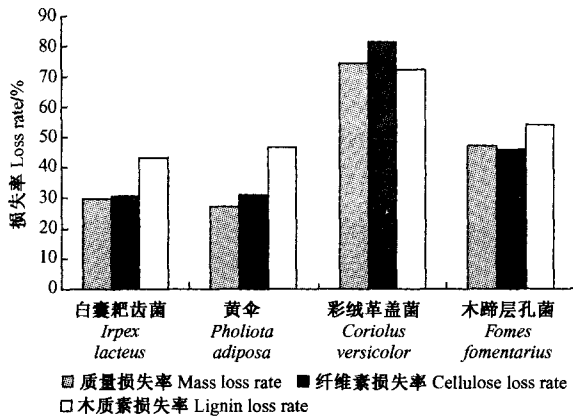


图1 白桦木材生物降解后主要化学成分损失情况

Fig. 1 Main chemical components loss of the birch after wood decaying

3 结论

用4种木材腐朽菌对300株白桦木材进行生物降解处理,根据白桦木材腐朽后的质量损失率,彩绒革盖菌对白桦木材的生物降解能力最强,木蹄层孔菌的生物降解能力中等,而白囊耙齿菌和黄伞的生物降解能力最弱。

木蹄层孔菌和黄伞的木材降解率间达到极显著的正相关,彩绒革盖菌的木材降解率与其他3种真菌呈显著或极显著相关。

本试验中4种木腐菌腐朽白桦木样的1% NaOH抽出物均显著高于健康木样,与杜甫佑等(2005)的试验结论相符。彩绒革盖菌和木蹄层孔菌腐朽木样的苯醇抽出物含量显著高于健康木样,而黄伞和白囊耙齿菌腐朽木样的苯醇抽出物含量低于或显著低于健康木样。表明这4种木材腐朽菌分解木材成分和消耗利用这些分解产物的速度各不相同。白囊耙齿菌、黄伞和木蹄层孔菌降解木质素的速度要比降解纤维素的速度快,这是白腐菌的典型特征,腐朽木材为白色。彩绒革盖菌降解纤维素的速度要比降解木质素的速度快,木质素损失略低于木样的质量损失,腐朽木材仍近似于白色,这与它混合腐朽的类型相符。

白囊耙齿菌、黄伞和木蹄层孔菌在腐朽过程中

分解木质素的相对速度比纤维素高,其中木蹄层孔菌的木材腐朽能力较强,腐朽木材过程中降解木质素的速度高于降解纤维素速度,是这4种木材腐朽菌中最适宜的菌种,可以对其进行人工诱变,继续提高降低木质素的能力,降低降解纤维素的能力,改造成为用于造纸业原料处理的工程菌。彩绒革盖菌的木材降解能力最强,而且降解木材的速度最快,但腐朽木样后的纤维素含量远低于其他3种菌,因此不适用于生物辅助造纸,但可以用于其他污染物治理。

这4种木腐菌对木材各主要成分分解的相对速度表现出差异。木材抽出物含有700多种化合物等(彭万喜,2004),1% NaOH抽出物和苯醇抽出物都是非常复杂的混合物,不同的木材腐朽菌是对其中一种物质敏感,还是对几种物质的综合效果敏感,还需要进一步研究。

参 考 文 献

- 池玉杰. 2003. 木材腐朽与木材腐朽菌. 北京: 科学出版社.
- 杜甫佑, 张晓昱, 王宏勋, 等. 2005. 白腐菌降解木质纤维素顺序规律的研究. 纤维素科学与技术, 13(1): 17-25.
- 李 坚. 2002. 木材科学. 北京: 高等教育出版社.
- 刘 欣, 赵 敏, 王秋玉. 2008. 5种木材腐朽菌的生物学特性及对白桦木材腐朽能力的分析. 东北林业大学学报, 36(3): 41-44.
- 刘一星. 2004. 中国东北地区木材性质与用途手册. 北京: 化学工业出版社.
- 彭万喜, 朱同林, 郑真真, 等. 2004. 木材抽提物的研究现状与趋势. 林业科技开发, 18(5): 6-9.
- 张蕾安. 1992. 食用菌制种指南. 上海: 上海科学技术出版社.
- Buswell J A. 1987. Lignin biodegradation. CRC Crit Rev Biotechnol, 6: 1-61.
- Hamrick J L, Godt M J W, Sherman-Broyles S L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forests, 6: 95-124.
- Higuchi T. 1990. Lignin biochemistry: biosynthesis and biodegradation. Wood Sci Technol, 24: 23-63.
- Kirk T K, Farrell R L. 1987. Enzymatic "combustion": the microbial degradation of lignin. Annu Rev Microbiol, 41: 465-505.
- Marti V, Anni M H, Pekka S, et al. 2004. The concentration of phenolics in brown-rot decay resistant and susceptible Scots pine heartwood. Wood Sci Technol, 38: 109-118.

(责任编辑 石红青)