

文章编号: 1001-1498(2008)04-0548-07

处理松材线虫病病死松树伐桩木腐菌的筛选

陈瑶^{1,2}, 汪来发^{1*}, 朴春根^{1*}, 朱天辉², 申相澈³, 郑荣镇³

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 四川农业大学林学院园艺学院, 四川 雅安 625014; 3. 韩国山林科学院, 首尔 130-712)

摘要:测试了木腐菌对松材线虫繁殖的影响以及对马尾松木块和松材线虫病病死树伐桩的分解能力, 结果表明, 供试菌株除裂褶菌菌株外, 其他菌株都能抑制松材线虫的繁殖, 其中松材线虫在松生拟层孔菌菌株 W10、W11、硫磺菌菌株 5452、6600、粗皮侧耳菌株 6221、虎掌菌菌株 6320、茯苓菌株 6284、灵芝菌株 6501 菌落上完全不能存活。对马尾松木块的分解试验结果表明, 松生拟层孔菌菌株 W10、W11、硫磺菌菌株 6600、杂色云芝菌株 6923、茯苓菌株 6284 对马尾松木块具有较强的分解能力。田间接种硫磺菌菌株 6600、杂色云芝菌株 6923、松生拟层孔菌菌株 W11、茯苓菌株 6284 和粗皮侧耳菌株 6221 处理松材线虫病病死树伐桩 70 d 后, 硫磺菌菌株 6600 和杂色云芝菌株 6923 表现出对松材线虫病病死树伐桩较强的分解能力, 这 2 个菌株可作为今后利用木腐菌处理松材线虫病病死树伐桩的潜力菌株。

关键词:木腐菌; 松材线虫病; 伐桩; 分解

中图分类号: S718.7

文献标识码: A

Screening of Wood-rotting Fungi to Treat Stumps of Dead Pine Trees Caused by PWN (*Bursaphelenchus xylophilus*)

CHEN Yao^{1,2}, WANG Lai-fa^{1*}, PAO Chun-gen¹, ZHU Tian-hui², SHIN Sang-chul³, CHUNG Yeong-jin³

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration,

Beijing 100091, China; 2. College of Forestry and Horticulture Landscape Architecture, Sichuan Agricultural University,

Ya'an 625014, Sichuan, China; 3. Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Public of Korea)

Abstract: In this study, the wood-rotting fungi were chosen to evaluate their relation with *Bursaphelenchus xylophilus* (PWN), the ability to decompose the wood specimens of *Pinus massoniana* and the stumps of dead pine trees caused by PWN. The results showed that all the wood-rotting fungi tested had certain nematicidal effects on PWN except *Schizophyllum commune*. Among the wood-rotting fungi, PWN could not survive on the strains of W10, W11 (*Fomitopsis pinicola*), 5452, 6600 (*Laetiporus sulphureus*), 6221 (*Pleurotus ostreatus*), 6320 (*Trametes ellodoni gelatinosum*), 6284 (*Poria cocos*), 6501 (*Ganoderma lucidum*) absolutely. The results of the experiment indicated that the strains of W10, W11 (*Fomitopsis pinicola*), 6600 (*Laetiporus sulphureus*), 6923 (*Coriolus versicolor*) and 6284 (*Poria cocos*) had higher ability to decompose *Pinus massoniana* specimens. After inoculating the strains of 6600, 6923, W11, 6284, 6221 to treat stumps for 70 d. The strains of 6600 and 6923 showed higher ability to decompose the stumps. The strains could be used to treat stumps of dead wood caused by PWN in the future.

收稿日期: 2007-11-14

基金项目: 国家科技部社会公益研究专项 (2005D B3J139)、国家“十一五”科技支撑项目 (2006BAD08A19104)、国家科技基础条件平台建设项目 (2005DKA21207) 及中韩林业科研合作课题联合资助

作者简介: 陈瑶 (1983—), 女, 贵州遵义人, 硕士研究生, 从事松材线虫病的研究。E-mail: dean1023@hotmail.com

通讯作者: 汪来发, 男, 安徽望江人, 博士, 研究员, 从事森林病理学和植物线虫学研究。E-mail: neam@forestry.ac.cn; 朴春根, 男, 吉林延吉人, 博士, 副研究员, 从事森林微生物资源工作。E-mail: cfcc@forestry.ac.cn

Key words: wood-rotting fungi; pine wilt disease (*Bursaphelenchus xylophilus*); stumps; decompose

松材线虫病是由松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner&Buhner) Nickle (pine wilt nematode, PWN)引起的一种毁灭性松树病害。松材线虫病病死树伐桩中含有松材线虫和松褐天牛幼虫是松材线虫病重要侵染源之一^[1]。目前对病死树伐桩的处理一般有以下几个方法:1)化学药物灌注伐桩;2)塑料袋包扎伐桩;3)剥皮挖虫;4)挖树桩烧毁^[2]。其中前两者处理效果不明显,而且长期使用化学药剂能对环境造成负面影响;后两者虽然取得一定效果,但工序复杂,花费大,不能在疫区普遍推行。于是,伐桩就成为松材线虫病除治工作中的难点,采取有效措施处理伐桩将有利于提高该病的防治效果。

木腐菌是有机体的末端分解者,可以利用从单糖到纤维素及木质素等有机大分子的多种有机化合物,具有在树木上定殖的优势^[3-5],若使用具有药用或实用价值的木腐菌接种处理病死树伐桩,不仅能够分解

伐桩而且还能够将伐桩作为药、食用真菌的栽培材料,从而变废为宝,给松材线虫病疫区带来良好的社会效益。有研究表明真菌对松材线虫的繁殖具有较强的抑杀作用^[6-10]。但有关利用木腐菌处理松材线虫病病死树伐桩的研究至今未见系统报道。

本试验的主要目的在于通过室内试验筛选出不利于松材线虫繁殖而且对马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)木块具有较强分解能力的木腐菌进一步进行田间试验,测定各个菌株对松材线虫病病死树伐桩的分解情况,最终筛选出对伐桩具有较好处理效果的菌株,以期松材线虫病病死树伐桩的处理提供一条新途径。现将本次试验有关结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 室内试验

1.1.1 菌株来源 试验所用木腐菌菌株见表 1。

表 1 试验菌株

真菌	学名	菌株	真菌	学名	菌株
松生拟层孔菌	<i>Fomitopsis pinicola</i>	W 10	粗皮侧耳	<i>Pleurotus ostreatus</i>	6221
		W 11			6222
茯苓	<i>Poria cocos</i>	6284			6223
虎掌菌	<i>Tramellodon gelatinosum</i>	6320	黑木耳	<i>Auricularia auricular</i>	5907
灵芝	<i>Ganoderma lucidum</i>	6501			5908
硫磺菌	<i>Laetiporus sulphureus</i>	5452			5909
		6090	绣球菌	<i>Sparassis crispa</i>	6828
		6600	密粘褶菌	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	5. 98
洁丽香菇	<i>Lentinus lepideus</i>	W 18	杂色云芝	<i>Coriolus versicolor</i>	6924
桦褶孔菌	<i>Lenzites betulina</i>	W 19			6923
裂褶菌	<i>Schizophyllum commune</i>	6812	绵腐卧孔菌	<i>Poria placenta</i>	5608
		6294			

表 1 中 23 株供试菌株除密粘褶菌菌株 5.98 由中国普通微生物菌种保藏管理中心 (CGMCC) 提供以外,其余菌株由中国林业微生物菌种保藏管理中心 (CFCC) 提供。斜面菌种在 4℃ 冰箱中保藏。

1.1.2 松材线虫来源 本次试验所用松材线虫由中国林业微生物菌种保藏管理中心 (CFCC) 提供。在长满盘多毛孢 (*Pestalotias* sp.) 的玉米粒培养基上接种松材线虫,于 25℃ 条件下培养 10 d 后获得大量松材线虫,放置于 4℃ 冰箱中保存备用。

1.1.3 平板培养基上不同木腐菌菌落培养 在超净工作台上,将表 1 中的 23 株在 PDA 培养基上生长良好的木腐菌菌种,切取直径为 5 mm 的同质等量菌丝块 (带有琼脂培养基),分别接入到 PDA 平板培养基的中间部位。接种后的培养基置于 25℃ 温

箱中培养 10 d,使菌种长满或基本长满平板。

1.1.4 木腐菌对松材线虫的作用 将松材线虫接入上述除绵腐卧孔菌菌株 5608 以外的 22 株木腐菌菌落上,每皿接种 1 000 条,每菌株接种 3 皿,置于恒温培养箱中,25℃ 培养 8 d,以贝尔曼漏斗法对线虫进行分离并计数^[7,11]。培养 8 d 后,将上述试验数据进行方差分析,结合方差分析的结果,将上述试验中能够分离到松材线虫而且其数量与其他各个处理分离的松材线虫数量差异显著的菌株选出继续做试验,依照上述试验方法在长满该菌株的平板培养基上接种线虫 1 000 条,在相同培养温度下延长其培养时间至 13 d,以贝尔曼漏斗法对线虫进行分离并计数。

1.1.5 木腐菌分解能力测定 根据中华人民共和

国家标准《木材天然耐久性试验方法:木材天然耐久性实验室试验方法》(1993)(以下简称标准),采用常规质量分析法,以木材受木腐菌分解试验前后的质量减少百分率为评定木腐菌的木材分解能力的依据^[12-13]。木腐菌对针叶树材的分解能力可分别分为以下 4 级^[14],见表 2。

表 2 木腐菌对针叶树材分解能力等级

等级	针叶树材
分解能力强	质量减少百分率 >15%
分解能力较强	质量减少百分率 10~15%
分解能力中等	质量减少百分率 5~10%
分解能力弱	质量减少百分率 0~5%

具体试验方法参照参考文献 [12] 和 [14] 作适当修改。将马尾松边材用电锯削成 2 cm × 2 cm × 1 cm 的小块,试验样品,进行编号,放入温度为 100 ± 5 的烘箱中烘至恒质量,每块用电子天平称质量(精确到 0.01 g),然后用多层纱布包好,在高压灭菌锅中灭菌(0.12 MPa 下灭菌 30 min),这样可以使试样含水量达到 40%~60%。按照 1.1.3 的方法分别培养 23 株木腐菌,在无菌操作台上将已灭菌木块放入已长满木腐菌菌丝的 PDA 平板培养基中,每一个平板培养基中按照三个不同方位放入 3 个木块,将培养皿放入 25 恒温箱中培养使木块受菌侵染,培养期间用白瓷盘加水放入恒温箱中使温箱内保持一定的湿度。将绵腐卧孔菌 5608 菌株设置为对照菌株。培养 46 d 以后,取出附带菌丝体的木块,用毛刷除去木块表面菌丝后,放入 100 ± 5 的烘箱中烘至恒质量,每块用电子天平称质量(精确到 0.01 g)。计算受菌分解后木材样品质量减少百分率,与对照作比较观察不同菌株对马尾松木材的分解情况。

每块试样受菌侵染分解后的质量减少百分率,以百分数计算表示。计算公式如下:

$$\text{试样质量减少百分率} = [(W_1 - W_2) \div W_1] \times 100\%$$

式中, W_1 为木块样品试验前的绝干质量; W_2 为木块样品试验后的绝干质量。

另外,木材样品受菌侵染时间可以从 30 d 到 80 d 不等,本试验马尾松木块样品受菌侵染时间为 46 d^[14]。

1.2 田间试验

1.2.1 试验地概况 马鞍山市林场位于安徽省东南部,长江东岸,属于北亚热带南缘的季风气候。阳光充足,雨量充沛,气候温和。年均温 15.8,极端

最高温 41.1,极端最低气温 -13,10 以上常年积温 3 062。年均降水量 1 003.6 mm,雨热同季,相对湿度 78%。试验点设在林场的戴山上,海拔一般 100 m 左右。试验所选伐桩均为当年感染松材线虫病后砍伐留下的马尾松新伐桩,与正常伐桩无异样。

1.2.2 菌株的选择 根据室内试验条件筛选出松生拟层孔菌菌株 W10、硫磺菌菌株 6600、杂色云芝菌株 6923、茯苓菌株 6284 和粗皮侧耳菌株 6221 进行田间试验。

1.2.3 接种材料的准备

1.2.3.1 菌株的液体扩大培养 在 300 mL 三角瓶中装入 100 mL 液体培养基(成分为:玉米粉 3 g,蛋白胨 1.5 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.05 g, KH_2PO_4 0.1 g,水 100 mL),透气封口膜封口,高温灭菌(121, 30 min)后冷却至室温,在无菌条件下将培养于斜面培养基上的上述 5 个菌株分别接种在液体培养基中。置温度为 27,转速为 120 r · min⁻¹ 的恒温摇床中振荡培养 7 d。

1.2.3.2 接种材料的制备 用直径 12 cm,长 22 cm 的聚丙烯原种袋装袋,每袋装 300 g 滑石粉或 100 g 木屑、4 g 葡萄糖、4 g 玉米粉、1 g 蛋白胨、0.6 g KH_2PO_4 、0.3 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、4 g 果胶和 4 g L 谷氨酸钠,装袋后将材料混合均匀并封口。在高压灭菌锅中重复灭菌(0.12 MPa)2 次,每次 40 min。待接种材料冷却后,在无菌条件下将 1.2.3.1 中准备好的各个木腐菌菌液按照每袋 100 mL 的接种量加入到各袋中混合均匀,排出袋内空气并封口。在最初的 3 个星期每天都要翻动接种材料,之后每个星期翻动 2 次,这样的接种材料可以在室温下至少保存 1 a 的时间而不破坏其菌种活性。在进行田间接种试验以前,要对袋内菌种进行活性检测,在无菌操作台上取少许袋内材料在 PDA 培养基上看其是否生长良好,菌丝生长良好具有活性的菌种可进行田间试验。在伐桩上接种木腐菌之前每个袋内都要加入 200 mL 浓度为 1% 的葡萄糖溶液、100 mL 植物油和少许鸡蛋,混合均匀后进行接种。

1.2.4 伐桩的准备 选择直径 15 cm 以上没虫蛀、未脱皮腐烂的伐桩 150 个并作标记。在接种木腐菌前一个星期用 20% 的石灰水涂抹伐桩表面,防止杂菌生长,同时在伐桩周围 1 m 范围内喷洒灭白蚁药水(商品名奋斗呐)。其中 126~150 号伐桩不接菌作为对照。

1.2.5 接种木腐菌 接种应选择晴天午后或阴天进行,根据各个木腐菌的栽培特点在伐桩上进行接种,接种时将事先准备好的接种材料涂抹在伐桩表面,然后盖上透气薄膜以利保湿,一袋接种材料接种 4~5 个伐桩。每株木腐菌接种处理 25 个伐桩。接菌处理时间为 70 d。

1.2.6 木腐菌分解能力的测定 接菌处理 70 d 后,将供试伐桩样品带回实验室做进一步分析,采样时取每个伐桩接菌部位木样,每一个伐桩样品均制成规则的木块试样(2 cm × 2 cm × 1 cm)各 3 个,编号后放入 100 ± 5 的烘箱中烘干至恒质量后称取每个木块的质量,与对照伐桩木块试样作比较,分析每个木腐菌菌株对伐桩的分解情况。

1.3 数据分析

室内试验中木腐菌对松材线虫的作用结果运用 DPS v6.55 软件进行差异显著性检验,测定采用新复极差法,字母相同为差异不显著,字母不同为差异显著,水平为 0.05。其他数据运用 SPSS 13.0 软件进行方差分析、差异显著性检验及多重比较。

2 结果与分析

2.1 室内实验

2.1.1 木腐菌对松材线虫的作用 将松材线虫接入 22 株木腐菌菌落上,培养 8 d 后分离的松材线虫数量列入表 3。

由表 3 知,松生拟层孔菌菌株 W10、W11,洁丽香菇菌株 W18,桦褶孔菌菌株 W19,黑木耳菌株 5907、5908、5909,硫磺菌菌株 5452、6090、6600,密粘褶菌菌株 5.98,粗皮侧耳菌株 6221、6222、6223,杂色云芝菌株 6924,绣球菌菌株 6828,虎掌菌菌株 6320,茯苓菌株 6284 和灵芝菌株 6501 对松材线虫的数量增加有抑制作用。其中从菌株 W18、W19、5907、5908、5909、6090、5.98、6222、6223、6924 和菌株 6828 菌落上只分离到少量的松材线虫,从菌株 W10、W11、5452、6600、6221、6320、6284 和菌株 6501 菌落上完全没有分离到松材线虫,这 8 个菌株完全抑制了松材线虫的数量增加。培养 8 d 后从菌株 6294、6812 和菌株 6923 菌落上分离到松材线虫而且

其数量与其他各处理分离的松材线虫数量存在明显差异 ($P < 0.05$),选择这 3 个菌株继续试验,延长培养时间至 13 d,从这 3 个菌株的菌落上分离的松材线虫数量列入表 4。

表 3 松材线虫在木腐菌菌落上培养 8 d 的数量

真菌	菌株	线虫数量/条
松生拟层孔菌 <i>Fomitopsis pinicola</i>	W10	0 ± 0 a
	W11	0 ± 0 a
茯苓 <i>Poria cocos</i>	6284	0 ± 0 a
虎掌菌 <i>Tramellodon gelatinosum</i>	6320	0 ± 0 a
灵芝 <i>Ganoderma lucidum</i>	6501	0 ± 0 a
硫磺菌 <i>Laetiporus sulphureus</i>	5452	0 ± 0 a
	6090	15.7 ± 7.3 a
	6600	0 ± 0 a
粗皮侧耳 <i>Pleurotus ostreatus</i>	6221	0 ± 0 a
	6222	4 ± 1 a
	6223	4.3 ± 2.3 a
洁丽香菇 <i>Lentinus lepideus</i>	W18	10.7 ± 6.1 a
桦褶孔菌 <i>Lenzites betulina</i>	W19	13.7 ± 7.3 a
黑木耳 <i>Auricularia auricular</i>	5907	4.7 ± 1.5 a
	5908	5.3 ± 2.9 a
	5909	8.3 ± 1.2 a
绣球菌 <i>Spaerassia crispa</i>	6828	2.3 ± 0.9 a
密粘褶菌 <i>Gloeophyllum trabeum</i>	5.98	17.3 ± 5.7 a
杂色云芝 <i>Coriolus versicolor</i>	6924	30.7 ± 6.6 a
	6923	99 ± 30.1 c
裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	6812	60 ± 20.8 b
	6294	141.3 ± 22 d

注:表中的数字后字母均为新复极差测验结果,不同小写英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

表 4 的试验结果表明,将松材线虫接入菌株 6294 和 6812 上并延长其培养时间至 13 d,松材线虫开始出现繁殖的迹象,此时分离出的松材线虫数量比培养 8 d 后分离的松材线虫数量多,而且从中分离到大量的松材线虫幼虫,从菌株 6294 上分离到的松材线虫量接近 500 条,其中松材线虫幼虫为 339 条,所占比例为 68.7%;从菌株 6812 上分离的平均线虫量为 275.7 条,其中松材线虫幼虫为 142.2 条,所占比例为 51.6%;从菌株 6923 菌落上培养松材线虫 13 d 后,分离出的松材线虫数量比培养 8 d 后分离的松材线虫数量少,平均仅为 9.7 条,没有分离到松材线虫幼虫,说明菌株 6923 对松材线虫的繁殖也有抑制作用。在培养 13 d 的情况下,这 3 株菌株对松材线虫数量的影响存在显著差异 ($P < 0.05$)。

表 4 松材线虫在木腐菌菌落上培养 13 d 的数量

真菌	菌株	线虫数量/条	幼虫数量/条	幼虫所占比例/%
裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	6294	493.3 ± 49.4 a	339 ± 53 a	68.7
	6812	275.7 ± 40.3 b	142.2 ± 19.4 b	51.6
杂色云芝 <i>Coriolus versicolor</i>	6923	9.7 ± 2.7 c	0 ± 0 c	0

注:表中的数字后字母均为新复极差测验结果,不同小写英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.1.2 木腐菌对马尾松木块的分解作用 23 株木腐菌处理马尾松木材样品 46 d 后木材样品质量损失百分率的结果、引起木材腐朽的类型以及主要寄主树种见表 5。

表 5 23 株木腐菌对马尾松分解能力

真菌	菌株	野外腐朽类型和主要寄主树种	木材样品质量损失百分率 / %
松生拟层孔菌 <i>Fomitopsis pinicola</i>	W10	褐腐, 针叶树	10.3 ± 0
	W11	褐腐, 针叶树	25.5 ± 1.0
洁丽香菇 <i>Lentinus lepideus</i>	W18	褐腐, 针叶树	7.1 ± 0.9
桦褶孔菌 <i>Lenzites betulina</i>	W19	白腐, 阔叶树	8.3 ± 0.4
黑木耳 <i>Auricularia auricular</i>	5907	白腐, 阔叶树	5.2 ± 0.1
	5908	白腐, 阔叶树	4.2 ± 0.3
	5909	白腐, 阔叶树	6.1 ± 0.3
硫磺菌 <i>Laetiporus sulphureus</i>	5452	褐腐, 针叶树	2.3 ± 0.3
	6090	褐腐, 针叶树	7.0 ± 0.5
	6600	褐腐, 针叶树	10.6 ± 1.8
裂褶菌 <i>Schizophyllum commune</i>	6294	白腐, 阔叶树	3.7 ± 0.1
	6812	白腐, 阔叶树	4.3 ± 0.5
粗皮侧耳 <i>Pleurotus ostreatus</i>	6221	白腐, 阔叶树	5.8 ± 0.3
	6222	白腐, 阔叶树	3.2 ± 0.1
	6223	白腐, 阔叶树	3.5 ± 0.2
杂色云芝 <i>Coriolus versicolor</i>	6923	白腐, 阔叶树	11.4 ± 0.7
	6924	白腐, 阔叶树	8.0 ± 0.3
密粘褶菌 <i>Gloeophyllum trabeum</i>	5.98	褐腐, 针叶树	8.8 ± 0.5
灵芝 <i>Ganoderma lucidum</i>	6501	白腐, 阔叶树	3.7 ± 0.2
绣球菌 <i>Spanassia crispa</i>	6828	褐腐, 针叶树	5.6 ± 0.2
虎掌菌 <i>Tramellodon gelatinosum</i>	6320	褐腐, 针叶树	9.3 ± 0.6
茯苓 <i>Poria cocos</i>	6284	褐腐, 针叶树	10.5 ± 0.8
绵腐卧孔菌 <i>poria placenta</i>	5608	褐腐, 针叶树	7.6 ± 0.7

由表 5 知, 被测定的 23 株木腐菌对马尾松木材的分解能力明显不同, 结合表 2 中木腐菌对针叶树材的分解能力的等级标准, 23 个菌株在本试验测定的 46 d 内对马尾松木材分解能力最强的是主要寄主树种为针叶树的褐腐菌松生拟层孔菌菌株 W11, 它对马尾松木块的分解率高达 25.5%; 对马尾松木材分解能力最弱的是主要寄主树种为针叶树的褐腐菌硫磺菌菌株 5452, 它对马尾松木块的分解仅为 2.3%; 对照菌株 5608 在本次试验中对马尾松木材的分解能力为中等, 它对马尾松木块的分解率为 7.6%。对马尾松木材分解能力较强的有 5 株, 它们分别是: 松生拟层孔菌菌株 W10、W11、硫磺菌菌株 6600、杂色云芝菌株 6923、茯苓菌株 6284, 它们对马尾松木块的分解率分别是: 10.3%、25.5%、10.6%、11.4%、10.5%, 除杂色云芝菌株 6923 为白腐菌以外其他 4 株均为褐腐菌; 对马尾松木材分解能力中等的有 11 株, 其中白腐菌 5 株, 褐腐菌 6 株, 它们分别是: 桦褶孔菌菌株 W19、黑木耳菌株 5907、5909、粗皮侧耳菌株 6221、杂色云芝菌株 6924、洁丽香菇菌株 W18、硫磺菌菌株 6090、密粘褶菌菌株 5.98、绣

球菌菌株 6828、虎掌菌菌株 6320、绵腐卧孔菌菌株 5608, 它们对马尾松木块的分解率分别是: 8.3%、5.2%、6.1%、5.8%、8.0%、7.1%、7.0%、8.8%、5.6%、9.3%、7.6%; 其他 7 株木腐菌对马尾松木材的分解能力均为弱, 这 7 株菌中除硫磺菌菌株 5452 为褐腐菌以外其他 6 株均为白腐菌。

23 种木腐菌对马尾松木块质量的影响显著性检验 (见表 6) 知, 室内试验中对马尾松木材分解能力较强的 5 个菌株除松生拟层孔菌菌株 W10 以外的其他 4 个菌株所引起的马尾松木块质量损失率较对照菌株 5608 差异显著。结合室内试验中木腐菌对松材线虫的作用结果得知上述分解能力较强而且与对照菌株差异显著的 4 个菌株都不利于松材线虫的繁殖 (见表 3、4), 选出这 4 个菌株进行田间接种伐桩试验。另外, 粗皮侧耳菌株 6221 在本次试验所选的 3 株粗皮侧耳菌株中对马尾松木块的分解能力最强, 而且该菌株也不利于松材线虫的繁殖, 所以该菌株也选出进行田间试验。

表 6 不同木腐菌对木块质量的影响显著性检验

(Dunnett氏检验)

(I) 处理	(J)处理	平均差 (I与 J)	Sig. 值
W 10	5608	2.700 00	0.074
W 11	5608	17.833 33*	0.000
W 18	5608	-0.533 33	0.991
W 19	5608	0.633 33	0.825
5907	5608	-2.466 67	1.000
5908	5608	-3.400 00	1.000
5909	5608	-1.566 67	1.000
5452	5608	-5.366 67	1.000
6090	5608	-0.600 00	0.993
6600	5608	2.933 33*	0.045
6294	5608	-3.900 00	1.000
6812	5608	-3.333 33	1.000
6221	5608	-1.800 00	1.000
6222	5608	-4.433 33	1.000
6223	5608	-4.100 00	1.000
6923	5608	3.733 33*	0.007
6924	5608	-0.400 00	0.889
5.98	5608	1.166 67	0.614
6501	5608	-3.900 00	1.000
6828	5608	-2.033 33	1.000
6320	5608	1.633 33	0.397
6284	5608	2.900 00*	0.049

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 田间试验

田间试验所选 5 个木腐菌菌株分别是松生拟层孔菌菌株 W 11、硫磺菌菌株 6600、杂色云芝菌株 6923、茯苓菌株 6284 和粗皮侧耳菌株 6221。按照 1.2.3 的方法准备接种材料,硫磺菌菌株 6600 和茯苓菌株 6284 使用木屑,其他 3 个菌株均使用滑石粉。接菌处理 70 d 后 125 个接菌伐桩样品及 25 个对照伐桩样品的干质量见表 7,不同木腐菌对伐桩样品质量的影响显著性检验结果见表 8。

表 7 伐桩样品质量

处理	伐桩样品质量 /g
6221	2.13 ± 0.06
6923	2.06 ± 0.06
W 11	2.23 ± 0.07
6600	1.93 ± 0.06
6284	2.10 ± 0.05
CK	2.25 ± 0.05

表 8 不同木腐菌对伐桩样品质量的影响显著性检验

(Dunnett氏检验)

(I) 处理	(J)处理	平均差 (I与 J)	Sig. 值
6221	CK	-0.117 20	0.234
6923	CK	-0.192 80*	0.038
W 11	CK	-0.014 00	0.777
6600	CK	-0.320 00*	0.000
6284	CK	-0.147 60	0.125

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

通过对伐桩样品质量的分析表明,经过 5 株木腐菌接种处理的伐桩样品质量均比对照伐桩样品质量低。在伐桩上接种粗皮侧耳菌株 6221、杂色云芝菌株 6923、松生拟层孔菌菌株 W 11、硫磺菌菌株 6600 和茯苓菌株 6284 70 d 后伐桩样品质量分别为 2.13、2.06、2.23、1.93、2.10 g,而对照伐桩样品质量为 2.25 g (见表 7)。表 8 中显著性检验的结果表明,只有接种硫磺菌菌株 6600 和杂色云芝菌株 6923 处理伐桩 70 d 后伐桩样品的质量与对照伐桩样品的质量差异显著。

3 结论与讨论

室内试验研究发现,试验所用的 13 种木腐菌的 22 个菌株除裂褶菌菌株 6294 和菌株 6812 以外,其它 20 个菌株均能够很好地抑制松材线虫的繁殖 (见表 3、4)。其中松生拟层孔菌菌株 W 10、W 11、硫磺菌菌株 5452、6600、粗皮侧耳菌株 6221、虎掌菌菌株 6320、茯苓菌株 6284、灵芝菌株 6501 对松材线虫的繁殖有很强的抑制作用,松材线虫在其菌落上完全不能存活,可见本试验所用的木腐菌对松材线虫具有比较强的抑杀作用。

由表 5 知,室内试验中,对马尾松木材分解能力较强的 5 个菌株除杂色云芝菌株 6923 为白腐菌以外,其他 4 个菌株都是褐腐菌,分解能力弱的 7 个菌株除硫磺菌菌株 5452 为褐腐菌以外其他 6 个菌株全部是白腐菌,而且其他 11 个分解能力中等的木腐菌菌株也表现出褐腐菌比白腐菌更强的分解能力,这说明本试验所选的褐腐菌对马尾松木材的分解能力比白腐菌强。虽然主要寄主为阔叶树的木材腐朽菌,同样引起了马尾松木材的分解,如杂色云芝、粗皮侧耳 (见表 5),但是,大多数主要寄生在阔叶树上的木腐菌对马尾松木材的分解能力比主要寄生在针叶树的木腐菌弱,可见木腐菌对寄主的种类有一定的选择性。室内试验的结果同时表明,木腐菌对马尾松木材分解能力的大小还与菌种来源有关,同种木腐菌不同来源的菌株对马尾松木材的分解能力有明显的差异,如松生拟层孔菌菌株 W 10 和菌株 W 11 对马尾松木材的分解能力明显不同,硫磺菌菌株 5452 和菌株 6090、6600 对马尾松木材的分解能力也存在明显差异。

田间试验所选的 5 个木腐菌菌株在实验室无菌条件下,无其他微生物与同类的干扰与竞争,它们都能很好地分解马尾松木块。在田间试验条件下接菌

处理伐桩 70 d 后,通过对试验各个处理伐桩样品的质量分析表明,接菌处理后的伐桩样品质量比对照伐桩样品质量轻(见表 7),说明接菌处理 70 d 后,5 个木腐菌菌株都对病死树伐桩起到了一定的分解作用。其中接种硫磺菌菌株 6600 和杂色云芝菌株 6293 处理后的伐桩样品质量与对照伐桩样品质量之间差异显著(见表 8),这 2 个菌株在田间试验中都表现出对松材线虫病病死树伐桩较强的分解能力,说明硫磺菌菌株 6600 与杂色云芝菌株 6293 能够很好地在伐桩上定殖并进行分解,而且另一个相关试验的研究结果表明,接种硫磺菌菌株 6600 处理伐桩 70 d 后从病死树伐桩内分离到的松材线虫数量最少(文章尚未发表),由此可见,在本次试验中硫磺菌菌株 6600 处理松材线虫病病死树伐桩的效果最好。

在田间试验条件下,有了其他微生物与同类的干扰与竞争,使得在室内试验中对马尾松木块分解能力最强的松生拟层孔菌菌株 W11 对伐桩的分解作用不明显(见表 5、7),这说明菌株 W11 受田间试验环境影响较大,不能很好地在伐桩上定殖进而分解。相反,在室内试验中对马尾松木块分解能力中等的粗皮侧耳菌株 6221 却在田间试验条件下表现出对伐桩较强的分解能力(见表 5、7),这说明菌株 6221 在伐桩上定殖的竞争力比较强,因此菌株 6221 能够很好地在松材线虫病病死树伐桩上定殖并分解。

经过室内试验筛选菌株、田间试验测定木腐菌分解松材线虫病病死树伐桩的结果表明,利用木腐菌接种处理松材线虫病病死树伐桩是一项环保、有效的病死树伐桩处理技术。如果选用的木腐菌具有药用或食用价值,该处理方法不仅能够有效地处理伐桩而且还能够给松材线虫病疫区带来良好的社会效益,这一处理技术值得在松材线虫病疫区推广应用。处理伐桩效果好坏的关键在于接种木腐菌

在伐桩上定殖能力的强弱。因此,筛选优良菌株、改良接种材料的配方以获得木腐菌最佳的定殖效果,从而更好地处理松材线虫病病死树伐桩,这将是今后利用木腐菌处理松材线虫病病死树伐桩研究的主要方面。

参考文献:

- [1] 朱克恭,姚仕义,张井义,等. 关于松材线虫病侵染源的研究[J]. 山东林业科技,1992(4): 45 - 48
- [2] 来燕学,周永平,余林祥,等. 松材线虫病病死树伐桩除害技术[J]. 浙江林业科技,1999,19(4): 52 - 55
- [3] 池玉杰. 木材腐朽与木材腐朽菌[M]. 北京:科学出版社,2003: 18 - 52
- [4] 陈新美. 中国食用菌栽培学[M]. 北京:农业出版社,1998: 433 - 439
- [5] 张建平,巨云为,赵博光. 侧耳杀线虫特性研究现状和应用于防治松材线虫病的前景[J]. 江西农业大学学报(自然科学版),2002,24(4): 441 - 444
- [6] 董锦艳,李 钊,张克勤. 松材线虫生物防治研究进展[J]. 植物保护,2005,31(5): 9 - 15
- [7] 张建平,赵博光. 木腐菌及病死木中的真菌对松材线虫的影响[J]. 福建林学院学报,2003,23(3): 245 - 248
- [8] 胡赛蓉,赵宇翔,李北屏,等. 松材线虫病疫木安全利用新途径[J]. 中国森林病虫,2006,25(5): 26 - 28
- [9] Maniya Yasuharu, Kimoto Junko, Wakisaka Humiya, et al. Biology of *Trichaptum abietinum* in relation to pine wilt disease[J]. Bulletin of the Faculty of Agriculture Tamagawa University, 1999(39): 35 - 50
- [10] 李国红,张克勤. 一种新的杀线虫担子菌[J]. 云南大学学报(自然科学版),2001,23(2): 149 - 152
- [11] 方中达. 植病研究法[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1998
- [12] GB/T 13942.1 - 1992,木材天然耐久性试验方法:木材天然耐腐性实验室试验方法[S]
- [13] 屈维均. 制浆造纸试验[M]. 北京:轻工业出版社,1990
- [14] 池玉杰. 东北林区 64 种木材腐朽菌木材分解能力的研究[J]. 林业科学,2001,37(5): 107 - 112