

马占相思心腐病发生初期的病原鉴定

王勇¹, 贺伟¹, 黄烈健², 陈敏¹

(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中国林业科学院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要:为了明确马占相思心腐病发生初期的病原菌种类,为病害的早期诊断和防治提供依据,笔者从广东省龙眼洞国营林场外表无症状的6年生马占相思树上采集病样36份,分离出3种担子菌,通过田间枝条接种、室内木块接种测定其致病性。结果显示,3种担子菌在6年生马占相思树1年生健康枝条上接种20天,枝条髓心变褐深度分别为5.0、2.4、7.0 cm;室内25℃下接种61天,木块腐朽质量损失分别为25.88%、31.48%、21.02%。对3种担子菌进行PCR扩增,测定核糖体DNA(rDNA)内转录间隔区(ITS)的序列,将测序结果在GenBank中进行同源性比对分析,结合形态特征,确定3种病原菌分别为*Phanerochaete avellanea*、*Peniophora aurantiaca*、*Phlebia brevispora*。得出结论:*Phanerochaete avellanea*、*Peniophora aurantiaca*和*Phlebia brevispora*具有侵染枝条和使木块腐朽的能力,是马占相思心腐病发生初期的病原菌。

关键词:马占相思;心腐病;致病性;病原鉴定

中图分类号:S763.15

文献标志码:A

论文编号:2011-0815

Pathogen Identification for Heart-rot of *Acacia mangium* in the Initial Stage

Wang Yong¹, He Wei¹, Huang Liejian², Chen Min¹

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

²Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520)

Abstract: In order to clarify the pathogen species of heart rot of *Acacia mangium* in the initial stage and provide the basis for the early diagnosis and prevention of the disease, the author collected 36 diseased samples from asymptomatic 6-year-old living tree of *Acacia mangium* from a stand at Longyandong forest farm in Guangdong Province, from which 3 species of basidiacota fungi were isolated. The pathogenicity of 3 basidiacota fungi was tested through inoculation them to 1-year-old branch on 6-year-old living tree in field and the wood block of *Acacia mangium* in culture dish. The results showed that the pith of branches macerated and turn brown and the average infective depth of these 3 basidiacota fungi were 5.0 cm, 2.4 cm, 7.0 cm 20 days after inoculation, and the wood weight loss were 25.88%, 31.48%, 21.02%, respectively 61 days after inoculation at 25°C. 3 basidiacota fungi were amplified by PCR technique with universal primers of fungi, and the sequences of the internal transcribed spacer of their ribosomal DNA were further compared with that in GenBank. Combined with their cultural characteristics, the 3 pathogenic fungi were *Phanerochaete avellanea*, *Peniophora aurantiaca*, and *Phlebia brevispora*. The conclusion was that: *Phanerochaete avellanea*, *Peniophora aurantiaca*, and *Phlebia brevispora*, all of them had capacities to infect the healthy branch of live tree and decay the wood blocks, and they were pathogens of heart rot of *Acacia mangium* in the initial stage.

Key words: *Acacia mangium*; heart rot; pathogenicity; pathogen identification

基金项目:十一五科技支撑计划课题(2006BAD32B02)。

第一作者简介:王勇,男,1985年出生,河北石家庄人,在读硕士,研究方向:森林病理。通信地址:100083北京市海淀区清华东路35号北京林业大学803信箱, Tel: 010-62336871, E-mail: hulifish2008@126.com。

通讯作者:贺伟,男,1955年出生,陕西彬县人,教授,博士,研究方向:森林病理。通信地址:100083北京市海淀区清华东路35号北京林业大学林学院, Tel: 010-62338127, E-mail: hewei@bjfu.edu.cn。

收稿日期:2011-03-25,修回日期:2011-05-14。

0 引言

马占相思 (*Acacia mangium*) 是含羞草科 (Mimosaceae) 金合欢属 (*Acacia*) 的一种常绿高大乔木, 原产于澳大利亚昆士兰沿海、巴布亚新几内亚的西南部和印度尼西亚东部^[1]。马占相思的木材是优良的纸浆材料, 纸浆得率高达 54.6%^[2], 其树皮可提取栲胶, 树叶可制作饲料^[3]。该品种干形好, 硬度适中, 其大径材的树体也是受人青睐的家具材料。因此, 自 1979 年起, 中国很多地区广泛引种栽培, 并在广东、海南、广西等热带及亚热带地区推广, 发展势头强劲^[4]。但是随着林分的逐渐成熟, 马占相思各种病虫害也不断产生, 特别是心腐病。心腐病主要发生于马占相思和大叶相思林分^[5], 且马占相思更为严重^[6], 马占相思染病后, 其木材变色腐朽, 严重时造成树体中部空心, 木材容积降低 0.3%~24.0%^[7], 使木材大量减产, 极大地降低了经济效益。

1993 年, Lee 等首次对该病害进行了报道, 称马来西亚的 4 年生的马占相思人工林发病率为 10%, 7 年生的发病率高达 50%, 且从不同树龄的心腐木段中分离得到 25 种高等担子菌, 除 *Phellinus noxius* 外其余尚未鉴定其属、种。1995—1996 年澳大利亚、印度及部分东南亚国家的研究人员均对本国的马占相思心腐病做了报道, 认为 *Phellinus noxius*、*Phellinus pachyphloeus*、*Trametes palustris*、*Gloeophyllum trabeum*^[7-10] 可能是导致该病害的主要病原菌。中国学者刘运华等对广西高峰林场的 6 年生的马占相思林作伐区调查, 3 个样点的平均发病率为 49.2%, 木材损失率达到 8.2%^[11]。中国学者岑炳沾等^[12]于 1998—2003 年对广东马占相思主要种植区进行了马占相思心腐病的调查, 调查区域的马占相思腐朽率为 29%~58%, 并通过采集生长在病立木、半枯树和伐倒桩上的病原菌子实体, 认为广东省的马占相思心腐病可能由毛栓菌 (*Trametes hirsuta* (Wulf.: Fr.) Pilat)、密褐褶孔菌 (*Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr.)、裂褶菌 (*Schizophyllum commune* Fr.) 这 3 种真菌侵染引起。

上述研究均是通过采集木材上长出的木腐菌担子果作为相思心腐病的病原, 未作致病性试验。与枯立木和木材腐朽不同, 活立木心腐是寄生性病害。心腐病发生过程中, 由于木质部菌类的演替, 病害发生初期的致病菌, 不一定与病腐木上长出的木腐菌相一致。病害可能涉及到多种真菌, 但在病害发生的初期, 哪些菌参与了致病过程并未见相关报道。因此, 笔者对广东省广州市龙眼洞国营人工林林场的马占相思进行病害发生情况的调查, 同时采集病腐木组织进行分离、培

养、接种试验及病原鉴定, 以期进一步弄清相思心腐病的病原, 根据病原侵染特点进行针对性地防治。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

调查采集地位于广东省龙眼洞国营林场的面积约 1 hm² 的山坡, 地理位置北纬 23°1', 东经 113°2', 年平均气温 22.5℃, 年降水量 1549 mm, 属南亚热带典型的季风海洋气候。田间致病性试验于 2010 年 6—8 月在广东省江门市新会区进行, 室内的分离菌分离纯化、致病试验、分离菌的生长速度和漆酶活性检测及 ITS 序列测定试验于 2010 年 2—10 月在北京林业大学森林培育与保护实验室进行。

1.2 试验材料

1.2.1 病样采集与分离材料 于 2009 年 12 月—2010 年 2 月相思树采伐期, 先后 5 次在广东省龙眼洞国营林场 6 年生马占相思人工林, 观察采伐树木的木质部断面, 记录病害的症状特点。选择外观正常, 无病腐子实体的树木, 将树木伐倒, 选择心腐程度较轻的树木, 将其锯成约 30 cm 长的木段带回实验室分离。

1.2.2 室内接种致病试验材料 来自广东省龙眼洞国营林场马占相思人工林 6 年生马占相思健康植株。将树干截成 50 cm 木段, 带回后 -20℃ 保存待用。

1.2.3 林间接种材料 病原菌田间接种马占相思植株为广东省江门市新会区的一片马占相思人工林。以健康的 6 年生马占相思活立木的 1 年生新鲜枝条为接种对象。

1.2.4 培养基 包括 2 种 (灭菌条件: 121℃, 20 min): (1) PDA 培养基 (200 g/L 马铃薯, 20 g/L 葡萄糖, 17 g/L 琼脂粉); (2) 麦芽汁培养基^[13] (固形物 45 g/L, 琼脂 15 g/L)。

1.2.5 引物 真菌核糖体基因转录间隔区 ITS1 (5' -TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') , ITS4: (5' -TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') 由上海英骏生物技术有限公司合成。

1.3 试验方法

1.3.1 病原物分离 从病腐木组织的病健交界处取直径 3~5 mm 的小木块, 用常规组织分离方法, 3.5% 次氯酸钠浸泡 3 min 进行表面消毒, 然后在 PDA 培养基 25℃ 下培养; 对分离纯化的分离物进行归类、编号, 在 PDA 斜面中 4℃ 保存。

1.3.2 分离物致病试验 将 PDA 灭菌后, 在超净工作台倒入 90 mm 培养皿中, 每皿约 20 mL。接入 3 种分离菌的菌丝后, 置于培养箱中 28℃ 培养至菌丝长满培养皿。将相思木样切成 2 cm×2 cm×1 cm 大小的小木

块,共128个试样,放入烘箱100℃烘至恒质量,放入无菌水中浸泡12 h后,121℃湿热灭菌2 h以使木块达到所需湿度,放入已经长满菌丝的培养皿中,每皿放6~8块木块。对照不接菌,直接放入木块。后将皿用1层报纸包裹,放入温度28℃、相对湿度85%的人工气候箱中继续培养60天。培养结束后取出试样,用毛刷和水冲洗干净,除去表面菌丝,然后放入105℃的烘箱中烘至恒重,分别称重。本试验方法参见文献[14-15],并做了适当修改。

1.3.3 致病性测定 取上述在室内致腐试验中能够分解木材组织的菌株,接入PDA培养基中,使菌丝布满培养基后备用。以广东省江门市新会地区种植的6年生马占相思1年生健康枝条为接种对象,所选择的枝条直径约1 cm。在枝条上制造1个2 cm长半个枝条横切面积的切面,后将带有培养基的菌丝覆盖在其表面。每菌株每株树接种4个枝条,3个枝条接带有培养基的菌丝体,1个枝条作为对照,仅接培养基,接种后用封口膜将接种处封住,标记接种植株。每菌株4株重复。接种发病率=(接种发病枝条数/接种枝条)×100%。

1.3.4 分离菌的生长速度及漆酶活性检测

(1)分离菌菌丝生长速度测定。采用PDA培养基和麦芽汁培养基,在90 mm培养皿平板培养,将纯化培养的各个菌株打成直径9 mm的菌饼,放于事先打好十字线的平板的中心部位,放入人工培养箱中28℃培养,每12 h测量菌落的直径。

(2)分离菌木质素降解相关酶(漆酶)活性检测。将80 mL马铃薯-葡萄糖液体培养基(200 g/L马铃薯,20 g/L葡萄糖)装入150 mL广口三角瓶,在液体培养基中添加1 g马占相思健木木屑,对照样无木屑,湿热灭菌1 h后分别加入3种分离菌菌饼1个(直径9 mm),在28℃、150 r/min震荡培养,检测第6天的酶活性,无菌条件下取细胞外液2 mL,15000 r/min离心10 min,4℃下操作,取上清液作为检测酶活的粗酶液。每个样品6个重复^[16]。漆酶的测定采用ABTS法:反应体系含有2 mL 0.1 mol/L乙酸钠缓冲液(pH5.5),0.1 mL 5mmol/L的ABTS和20~100 μL的酶液,于室温下测定反应液在3 min内于420 nm处吸光值的增加。定义每分钟氧化1 μmol ABTS所需的酶量为1个酶活力单位,ABTS消光系数 $\epsilon_{420}=36000 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{cm})$ 。

1.3.5 分离菌 ITS 序列测定 用真菌的通用引物对ITS1/ITS4对病原菌进行PCR扩增,对获得的扩增产物进行测序,将得到的序列在GenBank中进行比对,通过同源性分析对病原菌进行鉴定。

(1)分离菌总DNA的提取。试验菌株为GF-5、4-1、ZF-5。菌丝培养用PDA培养基,25℃培养7天,DNA提取采用CTAB提取方法。

(2)rDNA ITS的扩增与序列测定。采用真菌核糖体基因转录间隔区(ITS)通用引物ITS1/ITS4。PCR反应采用25 μL反应体系,包括模板DNA溶液1.5 μL、10×PCR buffer 2.5 μL、2.5 mmol/L dNTP 2.5 μL、7.5 pmol/μL的ITS1和ITS4引物各1.0 μL、5 U/μL *Taq*酶0.25 μL、加ddH₂O至25 μL。扩增反应程序为:95℃预变性5 min;95℃变性0.5 min、50℃退火0.5 min、72℃延伸30个循环,72℃延伸补齐10 min。PCR产物经琼脂糖凝胶电泳检测后,委托上海英骏生物技术有限公司进行纯化和序列测定。

(3)分离菌rDNA ITS序列同源性比较。将菌株GF-5、4-1、ZF-4的rDNA ITS序列在NCBI网站上(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)用BLAST软件与GenBank中已知种属的rDNA序列进行比对和同源性分析。

1.3.6 统计分析 采用SPSS 16.0进行分离菌不同培养基下,生长速度的显著性差异比较和分离菌漆酶活性与对照组之间的显著性差异比较。

2 结果与分析

2.1 病害发生状况

树干剖析显示,木质部心腐与断枝、树干枯枝、昆虫蛀道相联系,病菌可能通过这些伤口侵入,侵入后沿幼枝髓心或断枝枝干的心材向内扩展。剖开受害枝条或枝干,可明显发现其中部变成深褐色或黑色。心材腐朽初期,看不到外表症状,外观上多以树体较弱、长势缓慢为主,此时树干心材颜色比健康材明显变褐。随着腐朽扩展到中后期,心材表现为褐色粉末状腐朽和白色海绵状腐朽2种类型。横截树干,切面心材变色,边缘形状呈不规则波浪状,严重腐朽的心材形成近圆形或不规则形腐朽空洞。在患病植株的主干上也可清晰地看到病原菌从断枝侵染后,在该部位形成的侵入孔,侵入孔多为断枝。当枝干或主干完全腐朽后,患病部位长出木腐菌的子实体。

2.2 病样分离结果

从患心腐病的病组织中分离到10多种真菌,其中3种菌的菌落形态似担子菌,且在显微镜下观察到菌丝上有锁状联合结构,因此确定为担子菌,菌株代号分别为GF-5、4-1、ZF-4,这3种菌的分离频率分别为20.0%、13.5%、18.6%。

2.3 分离物木材致腐结果

接种61天后与对照相比木块明显变得松软,表面

颜色趋近于接种物的颜色。轻掰木块即碎,且木块表面及内部充满接种的分离物的菌丝体。菌 GF-5、菌 4-1、菌 ZF-4 接种的分离物木材腐朽的质量损失分别为 25.88%、31.48%、21.02%。对照仅损失 1.33%,表明 3 个菌株均具有使马占相思木质部分解的能力。

2.4 分离物活立木枝条接种结果

3 种分离物接种 20 天后对接种枝条进行检查。枝

条髓心病变的平均长度分别为:菌 GF-5 5.0 cm; 菌 4-1 2.4 cm; 菌 ZF-4 7.0 cm; 对照为 0.8 cm。可见 3 种菌对枝条都具有明显的侵染能力(见图 1)。菌 ZF-4 侵染能力最强,其次是菌 GF-5,侵染能力最弱的是菌 4-1。对接种发病枝条的病组织进行再分离,所得菌与接种菌的菌落和显微特征都相同。表明这 3 种菌都是引起相思心腐病的病原菌。



菌 ZF-4 接种后发病症状(枝条髓心已变色、坏死)



对照

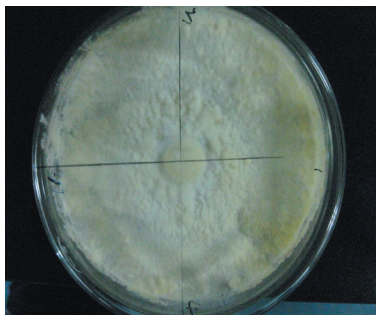
图 1 接种后枝条发病情况

2.5 3 种菌菌丝和菌落形态、生长速度和所分泌的漆酶活性

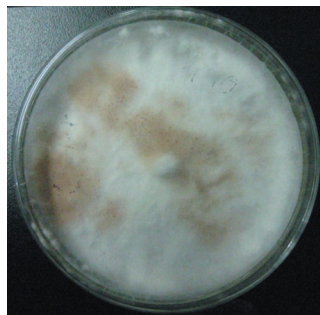
2.5.1 菌丝和菌落形态 菌 GF-5 菌丝纤细致密,菌落白色或黄色,有时形成黄白色团状突起,菌丝直径 2.5~4.5 μm。菌 4-1 菌丝纤细致密,菌落呈白色,后期形成

淡褐色斑块,菌丝直径 2.5~6 μm。菌 ZF-4 菌丝较粗,稀疏,菌落呈辐射状,白色,菌丝直径 4.5~6.5 μm;厚垣孢子圆形,大量散生(见图 2)。

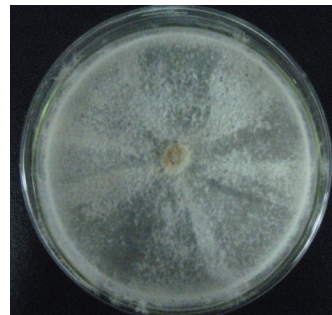
2.5.2 生长速度 3 种菌的菌丝在 PDA 及麦芽汁培养基中,菌 4-1 和菌 ZF-4 生长速度较快,菌 GF-5 较慢;前两



菌 GF-5



菌 4-1



菌 ZF-4

图 2 3 种病原物的菌落形态

者属于生长较快类型,后者属生长缓慢类型。而 3 种菌在 PDA 及麦芽汁培养基上,菌 ZF-4 和菌 GF-5 生长速度差异极显著,分别为 2.73/4.61 mm/d 和 4.36/7.13 mm/d,菌 4-1 平均生长速度为 7.06/7.5 mm/d。说明麦芽汁培养基更适合这 3 种病原菌的培养生长。

2.5.3 漆酶活性 3 种菌在马占相思木屑诱导下产生漆酶的活性都显著高于对照样(表 1),说明 3 种菌产生的漆酶与分解木材成分有关。3 种菌中降解木材能力最高的是菌 4-1,生长 6 天其漆酶活性达到 523.63 IU;降

解木材能力最低的是菌 ZF-4,其漆酶活性最弱,生长 6 天时为 111.11 IU。

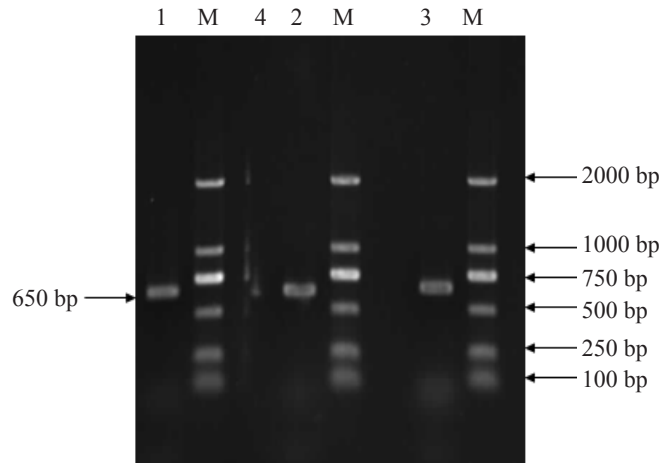
2.6 病原的分子鉴定

2.6.1 PCR 扩增结果 采用真菌通用引物 ITS1/ITS4 进行 PCR 扩增,3 个菌种都能扩增得到单一片段,大小约 650 bp,而用水作为阴性对照的 CK 未能扩增到该片段(见图 3)。

2.6.2 病原菌 rDNA ITS 的序列分析及同源性比较 本研究选取 3 个菌株进行 rDNA ITS 的序列测定和分

表1 3种分离物的漆酶酶量和木材腐朽试验结果

编号	6 d漆酶酶活/IU	对照组6 d漆酶酶活/IU	木材腐朽质量损失(61 d)/%	对照组木材腐朽质量损失(61 d)/%
GF-5	179.44	59.45	25.88	
4-1	523.63	95.56	31.48	1.33
ZF-4	111.11	20.86	21.02	



M: DNA marker; 1: 菌株GF-5 PCR产物; 2: 菌株4-1 PCR产物; 3: 菌株ZF-4 PCR产物; 4: CK

图3 ITS扩增产物

析。菌GF-5、菌4-1、菌ZF-4的PCR产物序列测定分别获得547、587、612个碱基的核苷酸序列。

与GenBank中已有的DNA序列同源性比较结果显示,与菌GF-5序列同源性最高的5个ITS序列中,有1个菌株为*Phanerochaete avellanea*(GenBank登录号为:GU062467.1),同源性高达99%,另外2个序列同源性均达100,为Uncultured fungus(GenBank登录号:GU053999.1, GU053913.1, 530个碱基相同)、1个也为序列同源性达100%,Uncultured fungus(GenBank登录号:GQ999237.1, 514个碱基完全相同),1个序列同源性达95%,*Phlebia chrysocreas*(GenBank登录号:AB084617.1, 503个碱基相同)。菌株GF-5与GenBank中其他菌种序列的同源性均小于95%。根据分子鉴定的结果,认为菌株GF-5应为*Phanerochaete avellanea*(Bres.) J. Erikss. & Hjortstam,它属于担子菌门Basidiomycota,伞菌纲Agaricomycetes,多孔菌目Polyporales,原毛平革菌科Phanerochaetaceae,原毛平革菌属*Phanerochaete*,是一种典型的白腐菌。

与菌4-1序列同源性最高的有5个ITS序列。其中,有1个菌株为*Peniophora aurantiaca*(GenBank登录号为:HQ604854.1),同源性高达99%,587个碱基中存在12个碱基的差异;另外3个序列同源性均达98%,分别为*Basidiomycota* sp.(GenBank登录号:GU566227.1, 552个碱基完全相同)、*Entomocorticium*

sp.(GenBank登录号:DQ118417.1, DQ118416.1, 552个碱基完全相同);1个序列同源性达99%,为Uncultured *Peniophora*(GenBank登录号:GU327501.1, 545个碱基完全相同)。GenBank中与待测菌株序列同源性较高的这几株菌都是担子菌门真菌,说明待测菌株属于担子菌;根据分子鉴定的结果认为,菌株4-1应为*Peniophora aurantiaca*(Bres.) Bourdot & Galzin。

与菌ZF-4序列同源性最高的5个ITS序列,其中有3个菌株为*Phlebia brevispora*(GenBank登录号分别为:AB084616.1, AB084615.1, AB084614.1),同源性高达99%,612个碱基中存在6个碱基的差异,另外2个序列同源性均达100%,分别为Uncultured fungus(GenBank登录号:GQ851760.1, 612个碱基完全相同)。菌株ZF-4与GenBank中其他菌种序列的同源性均小于98%。GenBank中与待测菌株序列同源性达100%的2株菌没有确定其种类;根据Nakason在mycobank上对*Phlebia brevispora*菌株的培养及显微形态描述:该菌株在培养下白色或棕红色,菌丝成蛛网状或辐射状贴伏生长,菌丝体直径5~10 μm,囊状体圆形,厚垣孢子圆形等。综合形态学描述和分子鉴定的结果,菌株ZF-4应为*Phlebia brevispora* Nakasone。它属于Basidiomycota, Polyporales, Meruliaceae, *Phlebia*,是一种典型的白腐菌。

3 结论

外观无明显症状的相思心腐病病株,存在未产生担子果的担子菌。它们能够侵染马占相思的1年生枝条,使枝条髓心病变;能够造成木块的质量损失,使木材腐朽。结合病原菌的培养性状、菌丝形态和核糖体DNA(rDNA)内转录间隔区(ITS)的序列分析,确定这几种菌分别为 *Phanerochaete avellanea*、*Peniophora aurantiaca*、*Phlebia brevispora*,这3种菌是相思心腐病发生初期的病原菌。其中,菌 *Phlebia brevispora*在田间活立木健康枝条的侵染能力最强,在田间病害发生初期的侵染上在分离到的3种菌中占主导地位。

4 讨论

室内木块腐朽试验中,接种菌使木块质量损失的程度与田间接种病菌致病的程度并不一致,3种病原菌中,菌4-1(*Peniophora aurantiaca*)在试验室中木材分解能力最强,而在室外接种其扩展速度最慢,菌ZF-4(*Phlebia brevispora*)在试验室中木材分解能力最弱,而在室外接种其扩展速度最快,出现这种情况的原因,可能在于活立木枝条与无生命的木材之间在生理上的不同。

以往国内外学者都是根据马占相思树干上出现的木腐菌子实体的种类作为心腐病的病原。笔者从病害发生初期的病组织中未分离到以往所报道的马占相思心腐病的病原菌,却分离到几种未报道的真菌,且在活立木枝条上表现出明显的致病性。表明病害发生初期,病腐木组织中的病原菌与病害发生后从病腐木上长出担子果的病菌种类有所不同。病害特别是木材腐朽病害,不同阶段病组织中的微生物区系不断变化,那些生长在木材上的木材腐朽菌、木材软腐菌、木材变色菌、污染性霉菌、细菌、放线菌等构成的微生物类群共同合作完成对复杂的木质有机物质的生物分解。它们按一定次序进行作用,在木材生物分解的不同时期显示出明显的菌种协调与演替规律^[17]。本研究结果从一个侧面反映了这种关系。但是要了解马占相思心腐病发生过程中各种菌类的侵染、菌群组成、演替等规律,还需做进一步的研究。

参考文献

- [1] 林秀兰. 栲胶新原料—马占相思树皮[J]. 福建林学院学报, 1990, 10(3): 283-287.
- [2] 潘志刚, 游应天. 中国主要外来树种引种栽培[M]. 北京: 北京科学出版社, 1994: 498-505.
- [3] 潘志刚, 冯水, 林鸿盛. 马占相思引种、生长及利用[J]. 热带林业, 1996, 24(4): 150.
- [4] 冯水, 陈瑞炳, 冯顺筒, 等. 广东阳江马占相思引种与生长研究[J]. 林业科技通讯, 2001, (9): 17-18.
- [5] Barry K M, Mihara R, Davies N W, et al. Polyphenols in *Acacia mangium* and *A. auriculiformis* heartwood with reference to heartrot [J]. Journal of Wood Science, 2005, 51: 615-621.
- [6] Ito, S., Nanis, L.H. Survey of heart rot on *Acacia mangium* in Sabah, Malaysia[J]. Jpn. Agric Res Quart, 1997, 31: 65-71.
- [7] Mahmud Sudin, Lee, S.S., Ahmad Hj. Harun. A Survey of Heart Rot in some Plantation of *Acacia mangium* in Sabah[J]. Journal of Tropical Forest Science, 1993, 6(1): 37-47.
- [8] Lee S S, Maziah Zakaria. Fungi associated with heart rot of *Acacia mangium* in Peninsular Malaysia[J]. Journal of Tropical Forest Science, 1992, 5(4): 479-484.
- [9] Barry K M, R S B Irianto, E Santoso, et al. Incidence of heart-rot in harvest-age *Acacia mangium* in Indonesia, using a rapid survey method[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 190: 273-280.
- [10] Prasad M, Naik S T. Management of root rot and heart-rot of *Acacia mangium* Willd[J]. Karnataka Journal of Agricultural Science, 2002, 15: 321-326.
- [11] 刘运华, 韦继光, 秦武明, 等. 广西相思树病害的调查与防治[J]. 广西农业生物科技, 2007, 26(2): 154-158.
- [12] 岑炳沾, 冯惠玲, 谢海标. 广东马占相思病害调查研究[J]. 广东林业科技, 2004, 20(1): 1-7.
- [13] 程显好, 郭顺星. 蜜环菌子实体的诱导和发生条件[J]. 菌物学报, 2006, 25(2): 302-307.
- [14] 池玉杰, 于钢. 6种木材白腐菌对山杨材木质素分解能力的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 115-120.
- [15] 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.
- [16] 刘欣, 赵敏, 王秋玉. 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[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(3): 41-44.
- [17] 池玉杰, 刘智会, 鲍甫成. 木材上的微生物类群对木材的分解及其演替规律菌物研究[J]. 菌物学报, 2004, 2(3): 51-57.