

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20160255

樟树叶提取物对木材霉菌的防治效果及防霉机理研究

常璐璐¹ 孙墨珑² 徐国祺¹ 刘泽旭¹ 王立海¹

(1 东北林业大学工程技术学院 2 东北林业大学理学院)

摘要:为探明樟树叶提取物对木材霉菌的防治效果及防霉机理,采用牛津杯法,探讨了不同质量分数的提取物对3种木材常见霉菌(桔青霉、绿木霉、黑曲霉)的抑菌性,之后通过光学显微镜和分光光度法对防霉机理进行分析,探讨了其在木材中的霉菌防治效果。结果表明:樟树叶提取物对桔青霉、绿木霉以及黑曲霉均有一定的抑制作用,且其通过破坏霉菌菌丝结构,扰乱霉菌生长周期,从而抑制3种霉菌生长。质量分数为12.50%的提取物对3种霉菌的抑菌效果最佳,对应的抑菌圈直径分别为:桔青霉14.2 mm,绿木霉14.9 mm,黑曲霉20.1 mm。提取物对3种霉菌的最低抑菌质量分数为:桔青霉0.50%~1.00%,绿木霉0.50%~1.00%,黑曲霉0.25%。对不同菌种,分别采用如下处理方式可使平均感染值达到最小,防治效力达到最大:桔青霉(涂刷处理)、绿木霉以及混合菌(浸渍处理)、黑曲霉(任意一种处理方式均可),其中浸渍处理方式适用霉菌最为广泛。

关键词:樟树叶提取物;木材;防霉;作用机理

中图分类号:S718.43 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2017)01-0099-08

CHANG Lu-lu¹; SUN Mo-long²; XU Guo-qi¹; LIU Ze-xu¹; WANG Li-hai¹. **Control efficiency and action mechanisms of camphor leaf extractives on mold resistance of wood.** *Journal of Beijing Forestry University*(2017)39(1) 99-106 [Ch, 23 ref.]

1 College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, P. R. China;

2 College of Science, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, P. R. China.

In order to investigate the control efficiency and the action mechanisms of camphor leaf extractives on mold resistance of wood, the cylinder-plate method was used to evaluate the antibacterial effect of different mass fraction of extractives on three common wood molds (*Penicillium citrinum*, *Trichoderma viride* and *Aspergillus niger*). The mold resistance mechanism was estimated using optical microscope and spectrophotometry, and mold resistance efficiency of the wood was evaluated. The results showed that camphor leaf extractives have growth-inhibition effect against *Penicillium citrinum*, *Trichoderma viride* and *Aspergillus niger* through disturbing mycelial structures and growth cycles of three kinds of molds. It was indicated the mass fraction of 12.50% extractives had the best bacteriostatic effect of three kinds of molds, and the corresponding inhibition diameters were 14.2 mm (*Penicillium citrinum*), 14.9 mm (*Trichoderma viride*) and 20.1 mm (*Aspergillus nige*). The minimum mass fractions for mold growth inhibition were 0.50%~1.00% against *Penicillium citrinum*, 0.50%~1.00% against *Trichoderma viride*, and 0.25% against *Aspergillus niger*. For different molds, it can make the minimum average infection and reached the maximum control effectiveness by adopting the following approach respectively: the brushing treatment was used against *Penicillium citrinum*, immersion treatment was used against *Trichoderma viride* and the mixed molds, and any kind of treatments were used against *Aspergillus niger*. The immersion treatment was found as the most popular method for mold treatment.

收稿日期: 2016-08-08 修回日期: 2016-08-30

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2572016AB68)、高等学校博士学科点专项科研基金(20130062110001)。

第一作者: 常璐璐,博士生。主要研究方向: 木材防腐与保护。Email: 740589964@qq.com 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路26号东北林业大学工程学院。

责任作者: 孙墨珑,博士,教授。主要研究方向: 天然产物化学。Email: sunmolong@hotmail.com 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市香坊区和兴路26号东北林业大学理学院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

Key words camphor leaf extractives; wood; mold resistance; action mechanisms

樟树叶为樟科(Lauraceae)植物樟树(*Cinnamomum camphora*)的干燥叶,别名樟叶,在我国分布广泛^[1]。我国对樟树叶的利用可追溯到古代,清代赵学敏在《陆川本草》中记载:“樟树叶,味苦辛,温,可杀虫,杀菌,治疥癬。”此外,《中华本草》、《泉州本草》、《江西中草药》中也记载樟叶有杀虫、散毒的功效。我国民间也使用樟叶煎服,用其驱虫消毒。目前,从樟树叶中分离的有效成分主要有挥发油、单萜类、倍半萜类、芳香族类、黄酮类以及多酚类等,这些成分具有一定的抑菌、防霉以及抗癌功效^[3],因此,樟树叶被广泛用于医药工业^[4]、日化工业^[5]、食品工业^[6]等各个领域。

谭芸等^[7]运用杯碟法研究了樟树叶提取物的抑菌作用,并比较了不同浓度提取物抑菌效果的浓度效应和时间效应,结果表明:樟树叶提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌以及康氏木霉等有抑制作用,是一种广谱性抑制剂。李权等^[8]以香樟为原料,对其抑菌性能及防腐机理进行了深入研究,结果表明:木质部提取物在浓度为1%和10%时,分别达到Ⅱ级和Ⅰ级耐腐水平;同时,显微镜观察提取物处理后的白腐菌菌丝,发现其细胞形态皱缩扭曲变形,菌体表面出现破裂。Pragadheesh等^[9]通过SPME-GC-FID等方法,证实樟树叶挥发油中的主要成分樟脑以两种手性形式存在,且对瓜笄霉(*Choanephora cucurbitarum*)有明显的抑制作用,此外,樟树叶挥发油可破坏瓜笄霉结构,使其细胞质凝聚,菌丝细胞溶解,使其无法正常生长。虽然上述研究均证实了樟树叶提取物具有抑菌作用,但其防霉机理以及在木材中的应用鲜见报道。

本研究对此进行了补充,以香樟树叶为原料,系统地研究了樟树叶提取物的抑菌性能、防霉机理以及木材防霉效果,为开发新型绿色环保木材防腐防霉剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

樟树叶于2014年春季采自中南林业科技大学植物园。实验菌种为桔青霉(*Penicillium citrinum*)、绿木霉(*Trichoderma viride*)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)。所有菌种均由国际竹藤中心提供。

木材试样选用胸径200~300 mm的樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*),在树胸高部位向上截取长1.2 m试材一段。试样从截取试材的边材中制取,要求无虫蛀、无变色、无霉斑。加工成尺寸为

50 mm(顺纹长)×20 mm×5 mm的试件,烘干,其含水率为15%左右,置于塑料保鲜袋内放在冰箱中0℃以下保存,防止真菌感染(依照GB/T 18261—2013《防霉剂对木材霉菌及变色菌防治效力的试验方法》)。

1.2 方法

1.2.1 樟树叶提取物的制备

将樟树叶烘干后用粉碎机(Q-250A3型高速离心粉碎机,上海冰都电器有限公司)粉碎,过40目筛备用。取20 g樟树叶粉末于500 mL锥形瓶中,加入400 mL 50%乙醇水溶液,置于恒温水浴锅(HH-4型数显恒温水浴锅,国华电器有限公司)中搅拌,搅拌温度50℃,搅拌速度700 r/min,搅拌时间90 min。搅拌结束后,将所得溶液进行抽滤,将抽滤后的溶液倒入旋转蒸发仪(RE52AA型旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器)中旋蒸至固体。重复上述过程10次,合并固体,得到21.4 g樟树叶提取物。

1.2.2 不同质量分数樟树叶提取物样品制备

以50%的乙醇水溶液为溶剂,将樟树叶提取物配制成质量分数分别为2.50%、5.00%、7.50%、10.00%、12.50%和15.00%的样品,对照组为50%乙醇水溶液。

1.2.3 樟树叶提取物抑菌性能测定

1.2.3.1 抑菌作用分析

采用牛津杯法^[10]。将灭菌后的牛津杯置于冷却含菌双碟平板中,吸取0.4 mL樟树叶提取物注入牛津杯内,于37℃培养36 h,测定抑菌圈直径。每皿放置4个牛津杯,每组做3次平行实验,计算抑菌圈直径的平均值。

1.2.3.2 抑菌变化曲线

通过十字交叉法用游标卡尺测定抑菌圈直径,以樟树叶提取物与对照组抑菌圈直径差值为纵坐标,培养时间为横坐标,绘制抑菌圈平均直径差值随测定天数的变化曲线。

1.2.4 最低抑菌质量分数(MIC)实验

配制琼脂培养基,倒入平板中,待其冷却凝固后将菌液均匀涂布于表面,用牛津杯打孔,并注入配制好的樟树叶提取物,质量分数依次为:2.50%、2.00%、1.50%、1.00%、0.50%以及0.25%。对照组为50%乙醇水溶液。将上述平板继续培养24 h,以最小抑菌圈直径对应的质量分数作为该菌种的MIC^[11]。

1.2.5 防霉机理研究

1.2.5.1 光学显微镜观察

采用计红芳^[12]的方法,运用显微镜(BX53型显

微镜,上海赖氏电子科技有限公司)对培养 10 d 的试样进行观察(物镜 40 倍,目镜 10 倍,重复 3 次)。记录菌丝生长状态,并拍照。

1.2.5.2 霉菌生长周期测定

按照参考文献[13]制备液态培养基,向 4 个已灭菌的锥形瓶中各倒入 150 mL PDA 培养基,并加入适当无菌水和菌丝体及孢子的混合液,振荡均匀。然后向锥形瓶中加入樟树叶提取物,不加樟树叶提取物的锥形瓶为对照组。将锥形瓶放入空气浴振荡器中,温度保持 25~28 °C,以 110 r/min 转速振荡培养 10 d,每隔 24 h 取 7 mL 试样,利用紫外可见分光光度计(TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司)进行光谱扫描,扫描范围为 200~900 nm,吸光度控制在 0.2~0.8 之间,以 750 nm 光谱对应的吸光度反映霉菌生长周期,其中吸光度大于 1 时,透光率差别较小,均按 1 计算^[14]。

1.2.6 木材防霉实验

1.2.6.1 木材吸药量测定

选取 96 块樟子松木材试样,逐一编号分为 4 组。用纱布包裹灭菌烘干后称质量。用 12.50% 的樟树叶提取物对其中一组木片进行浸渍处理,将试件侧立放在烧杯中,井字形堆放,最下一层侧立同尺寸非本实验用试件,重物压顶,防止浮动,倒入药液,液面高出试样顶面 1~2 cm。浸渍 3 min 后倒出药液,烧杯口密封上一层塑料膜以防干燥,静置过夜。另外两组分别进行涂刷处理、浸渍涂刷处理。最后一组不作处理,为对照组。

在做防霉性能实验前,取出处理后的试件放在培养皿中,称质量,计算吸药量,并求出各组的平均吸药量。吸药量计算公式如下:

$$R = \frac{(m_2 - m_1) c}{H L W} \quad (1)$$

式中:R 为吸药量(g/m³),m₁ 为浸渍前质量(g),m₂ 为浸渍后质量(g),c 为药液质量分数(%),H 为试样厚度(m),L 为试样长度(m),W 为试样宽度(m)。

1.2.6.2 木材防霉性能测定

将 3 种霉菌及混合菌(桔青霉、绿木霉和黑曲霉等比例混合)分别接种到 PDA 培养基上。试样进行紫外灭菌后备用。在无菌条件下,将 2 根已灭菌的玻璃棒(直径 3 mm)平行排列,放置在有成熟菌落的平板上。再将木片试件放置于玻璃棒上,每个培养皿内放 2 块试件,每组试件对应每种类型培养基做 6 个重复,而后用封口膜封好。立即放回培养箱(HSX-450 型恒温恒湿培养箱,上海福玛实验设备有限公司),保持 25~28 °C,相对湿度 85%,培养 30

d,各组培养基在相同条件下培养。每隔 6 d 根据表 1 目测各个试件感染值,计算各组试件的平均感染值(依照 GB/T 18261—2013《防霉剂对木材霉菌及变色菌防治效力的试验方法》)。根据培养 30 d 的平均感染值计算提取物对不同霉菌的防治效力,计算公式如下:

$$E = \left(1 - \frac{D_1}{D_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:E 为防治效力(%),D₁ 为药剂处理试件的平均感染值,D₀ 为未处理的对照试件的平均感染值。

表 1 试件受霉菌表面感染值分级

Tab. 1 Grade of surface infection of specimen affected by mold

Infection value	试件表面感染面积
0	无菌丝、霉点 No mycelium and mildew point
1	<1/4
2	1/4~1/2
3	1/2~3/4
4	>3/4

2 结果与分析

2.1 樟树叶提取物的抑菌作用

抑菌圈直径测定结果见表 2。不同质量分数樟树叶提取物对 3 种菌均有抑制作用。随着提取物质量分数的增大,3 种霉菌抑菌圈直径均不断增大。但当其质量分数达到 12.50% 后,樟树叶提取物对霉菌的抑制效果随其质量分数的增加增效甚微,综合考虑经济成本以及抑菌效果,其对于 3 种霉菌的最佳抑制质量分数选取为 12.50%。3 种菌的最佳抑制质量分数及其抑菌圈直径分别为:桔青霉 12.50% (14.2 mm),绿木霉 12.50% (14.9 mm),黑曲霉 12.50% (20.1 mm)。12.50% 的樟树叶提取物对 3 种霉菌的抑制效果依次为:黑曲霉 > 绿木霉 > 桔青霉。因此,配制质量分数为 12.50% 的樟树叶提取物为下一步木材防霉实验做准备。

樟树叶含有樟脑、芳樟醇、 α -蒎烯、石竹烯、石竹烯氧化物、 α -葎草烯、檀香醇、佛手柑油烯、L-柠檬烯和莰烯等成分,其中芳樟醇、石竹烯、石竹烯氧化物、L-柠檬烯、莰烯、 α -蒎烯都有不同程度的驱虫作用和抑菌效果^[15]。此外,樟树叶中含量最高的樟脑对果蝇有很强的趋避和触杀作用,同时也具有较强的抑菌效果^[16]。因此推测樟树叶提取物的防腐防霉效果主要源于不同化合物的增效作用。

表2 不同质量分数的樟叶提取物的霉菌抑菌圈平均直径

Tab. 2 Means of inhibition diameter of the camphor leaf extractives against different molds

mm

供试菌	对照组	2. 50% 样品	5. 00% 样品	7. 50% 样品	10. 00% 样品	12. 50% 样品	15. 00% 样品
Mold	Control	2. 50% sample	5. 00% sample	7. 50% sample	10. 00% sample	12. 50% sample	15. 00% sample
桔青霉 <i>Penicillium citrinum</i>	8. 0	9. 3	11. 0	11. 9	12. 6	14. 2	14. 4
绿木霉 <i>Trichoderma viride</i>	7. 4	8. 6	9. 6	9. 9	13. 9	14. 9	15. 5
黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	8. 0	14. 9	17. 6	18. 1	19. 0	20. 1	20. 9

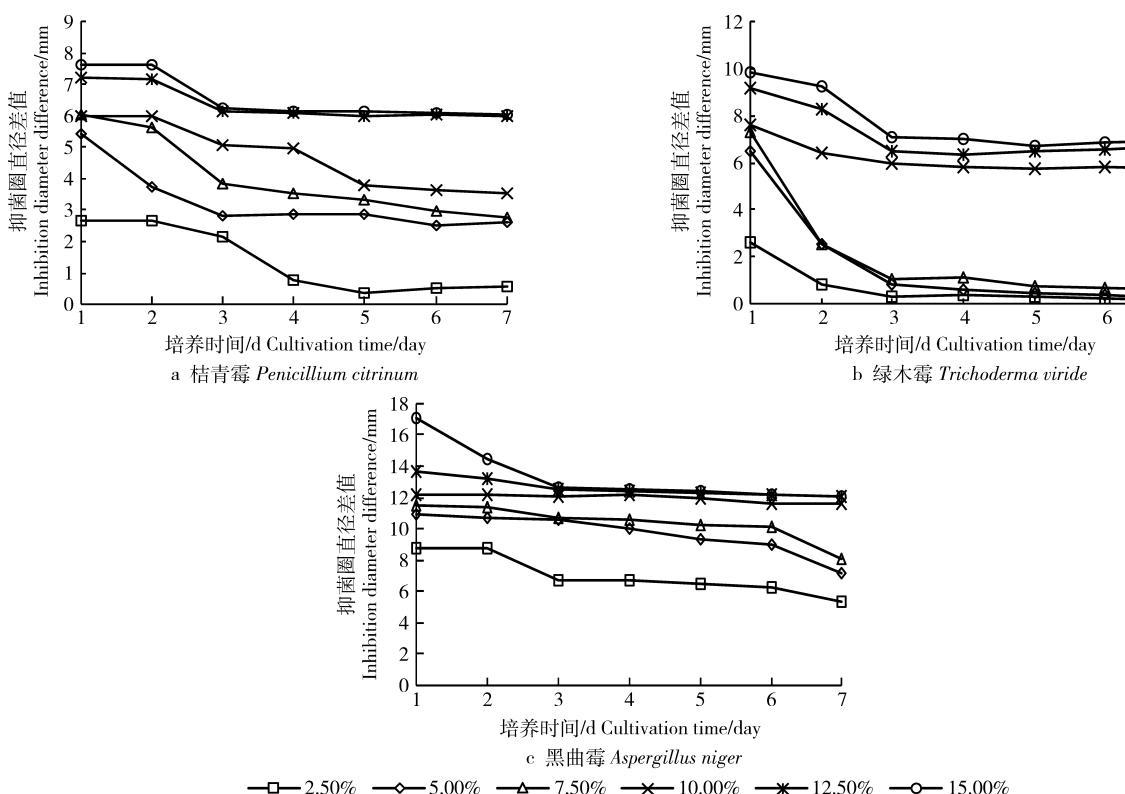
2.2 樟树叶提取物的抑菌变化曲线

以樟树叶提取物抑菌圈直径与对照组抑菌圈直径的差值反映抑菌效果的变化。由图1可知,随着时间推移,3种霉菌抑菌圈直径差值均先下降后趋于稳定。其中,霉菌前3天下降最快,抑菌作用最佳。这是由于培养24 h后,菌种进入对数生长期,生长速率较快,抑菌圈直径差值变化较快^[17]。桔青霉和绿木霉的曲线较分散,说明质量分数的变化对两者的影响较显著。此外,部分测量值随天数有所升高,这是由于菌种生长过程并非呈现规则的圆形,使得十字交叉测量时因选取的区域不同而有所不同。

樟树叶提取物中含有的芳樟醇等抑菌物质都是易挥发的,随着培养时间的延长,低质量分数提取物试剂中的抑菌成分先流失殆尽,而高质量分数提取物试剂中的抑菌成分还有所存留,所以不同质量分数的提取物试剂受培养时间的影响有很大差异。

2.3 樟树叶提取物最低抑菌质量分数

低质量分数樟树叶提取物的抑菌情况见表3。



抑菌圈实验结果判定标准为:样品抑菌圈直径同时大于牛津杯直径(内径6 mm)和对照组抑菌圈直径为有抑菌效果。质量分数为2.50%时,桔青霉、绿木霉和黑曲霉的抑菌圈直径依次为12.40、12.50、17.30 mm,均大于牛津杯和相应的对照组直径,说明菌的生长均被抑制,3种菌均不能正常生长。樟树叶提取物对3种菌的最低抑菌质量分数依次为:桔青霉0.50%~1.00%,绿木霉0.50%~1.00%,黑曲霉0.25%。樟树叶提取物对黑曲霉抑制作用最佳,与抑菌作用实验结果相吻合。

徐国祺等^[18]研究发现樟树叶提取物质量分数为1.00%时,对桔青霉和绿木霉仍有抑制效果,但抑菌圈较小。刘泽旭等^[19]发现樟树叶提取物对桔青霉、绿木霉以及黑曲霉均有较好的抑制效果。本研究中,最低抑菌质量分数实验表明樟树叶提取物对桔青霉、绿木霉以及黑曲霉的最低抑菌质量分数均不超过1.00%,证实了其较强的抑菌活性,这与前期的研究结果相似。

Fig. 1 Trends of inhibition diameter differences of *Penicillium citrinum*, *Trichoderma viride* and *Aspergillus niger*

表3 低质量分数樟树叶提取物的霉菌抑菌圈平均直径

供试菌	对照组	0.25% 样品	0.50% 样品	1.00% 样品	1.50% 样品	2.00% 样品	2.50% 样品
Mold	Control	0.25% sample	0.50% sample	1.00% sample	1.50% sample	2.00% sample	2.50% sample
桔青霉 <i>Penicillium citrinum</i>	8.30	7.90	8.30	8.70	10.40	12.40	12.40
绿木霉 <i>Trichoderma viride</i>	7.90	7.90	7.90	8.30	10.40	12.40	12.50
黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	7.20	7.40	8.10	14.60	15.80	16.60	17.30

2.4 樟树叶提取物的防霉机理

2.4.1 樟树叶提取物对霉菌生长形态的影响

经光学显微镜观察,12.50%的樟树叶提取物培养10 d后的桔青霉、绿木霉和黑曲霉菌丝在形态上均发生了很大的变化,如图2。由图2a、2c、2e可以看出未经处理的菌丝清晰可见、形态饱满、粗壮密实、隔膜明显、细胞壁光滑;由图2b、2d、2f可以看出

来经提取物处理10 d后的菌丝分布疏散,菌丝形状模糊不清,整体变细小,说明细胞壁可能遭到破坏,发生溶壁现象。微生物细胞壁一旦被破坏,菌的形态也将随之发生变化^[20]。

2.4.2 樟树叶提取物对霉菌生长周期的影响

通过生长曲线可以了解微生物对环境的适应程度,微生物对培养基成分的利用情况,药物中不同成

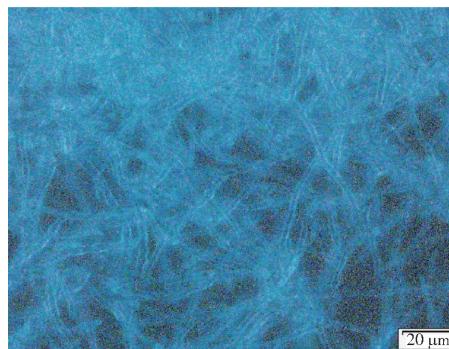
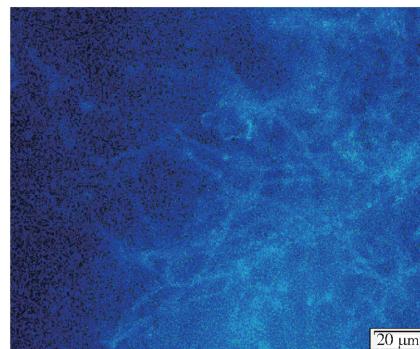
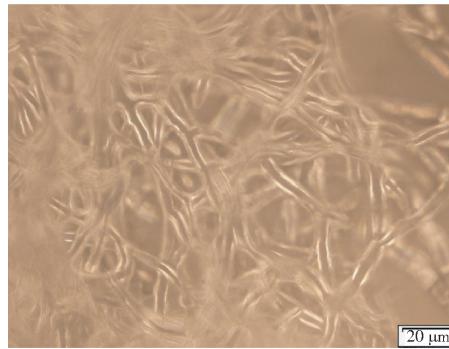
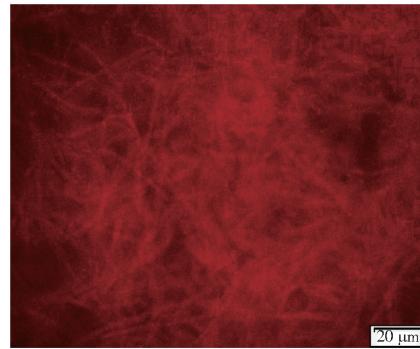
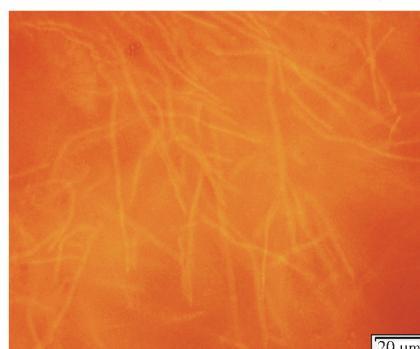
a 桔青霉 *Penicillium citrinum*b 提取物培养10 d后的桔青霉
Penicillium citrinum after treatment of 10 daysc 绿木霉 *Trichoderma viride*d 提取物培养10 d后的绿木霉
Trichoderma viride after treatment of 10 dayse 黑曲霉 *Aspergillus niger*f 提取物培养10 d后的黑曲霉
Aspergillus niger after treatment of 10 days

图2 加入提取物前后霉菌形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of molds before and after adding extractives

分对微生物产生的作用等^[21]。12.50%的樟树叶提取物对霉菌生长周期的影响结果如图3所示。由图3a可知,培养第1天3种霉菌均处于延滞期,孢子和菌丝刚接种入新的环境而不能快速生长。培养的第2天和第3天3种霉菌均处于对数生长期,孢子和菌丝适应环境后开始汲取营养迅速繁殖。培养3d以后,菌丝体大量繁殖,透光率很低,吸光度都在1以上,难以辨别是否进入衰退期。

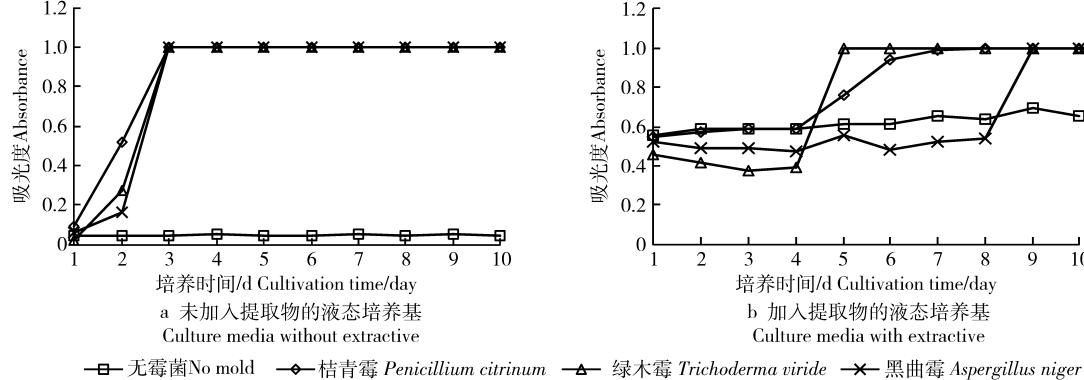


图3 3种霉菌在不同培养基下的生长周期变化

Fig. 3 Growth cycle variation of three molds in different culture media

2.5 不同处理方法的处理材防霉效果

2.5.1 不同处理方法的处理材吸药量

根据式(1),计算出各组试件吸药量(表4)。经过浸渍涂刷处理的试件吸药量最多,浸渍处理试件次之,涂刷处理试件吸药量最少,不同试件的吸药量略有差异。其中,经过涂刷处理后的试件表面明显变色,而只经过浸渍处理的试件略有变色,试件原有的色泽和纹理依旧清晰可见。

其中,浸渍处理可通过渗透和扩散作用使液体

进入木材的毛细管内,并由高浓度向低浓度均匀扩散^[22]。与涂刷处理相比,浸渍处理能使樟树叶提取物更多地进入木材中,使木材吸药量增多。此外,在浓度梯度作用下,浸渍液中的溶质离子等从高浓区向低浓区扩散,发生浓度均匀化过程,这使得药液能均匀地分散于木材内部,表面颜色受影响较小^[22]。涂刷处理使药液留于木材表面,使木材表面呈现樟树叶提取物的色泽,而且涂刷过程中,提取物中的大分子物质也容易堵塞木材表面的孔隙,使得木材吸药量减少。

进入木材的毛细管内,并由高浓度向低浓度均匀扩散^[22]。与涂刷处理相比,浸渍处理能使樟树叶提取物更多地进入木材中,使木材吸药量增多。此外,在浓度梯度作用下,浸渍液中的溶质离子等从高浓区向低浓区扩散,发生浓度均匀化过程,这使得药液能均匀地分散于木材内部,表面颜色受影响较小^[22]。涂刷处理使药液留于木材表面,使木材表面呈现樟树叶提取物的色泽,而且涂刷过程中,提取物中的大分子物质也容易堵塞木材表面的孔隙,使得木材吸药量减少。

表4 各组试件平均吸药量及表面变化

Tab. 4 Average absorbance of specimens and surface changes

	对照组 Control	涂刷 Brush	浸渍 Immersion	浸渍涂刷 Immersion and brush
吸药量 Absorbance/(g·m ⁻³)	0	6.92	7.41	8.85
试件表面变化 Surface changes	无变化 Samples without change	试件表面呈棕色,纹理基本不可见 Surface color of samples was brown, the textures were almost invisible	试件略有变色 Surface color of samples was changed slightly	试件表面呈深棕色,纹理不可见 Surface color of samples was dark brown, the textures were invisible

2.5.2 不同处理方法的处理材受霉菌感染值变化

用12.50%的提取物对樟子松素材分别进行涂刷、浸渍和浸渍涂刷处理,然后用3种霉菌接种樟子松素材,观察感染面积并计算相应的感染值,绘制变化曲线如图4。感染值大小可以用来说明抗霉效果的好坏,感染值大抗霉效果差^[23]。3种菌对樟子松的感染能力均较强。整体来说,试件平均感染值随

时间逐渐增大,且变化趋势均由快变慢。其中,培养30d,涂刷、浸渍以及浸渍涂刷处理后的平均感染值分别为:桔青霉(1.67、2.67和1.83),绿木霉(2.67、2.00和3.33),黑曲霉(均为2.33),混合菌(2.33、1.83和3.00)。总的来说,樟树叶提取物处理材抗桔青霉效果最佳,抗绿木霉最弱。

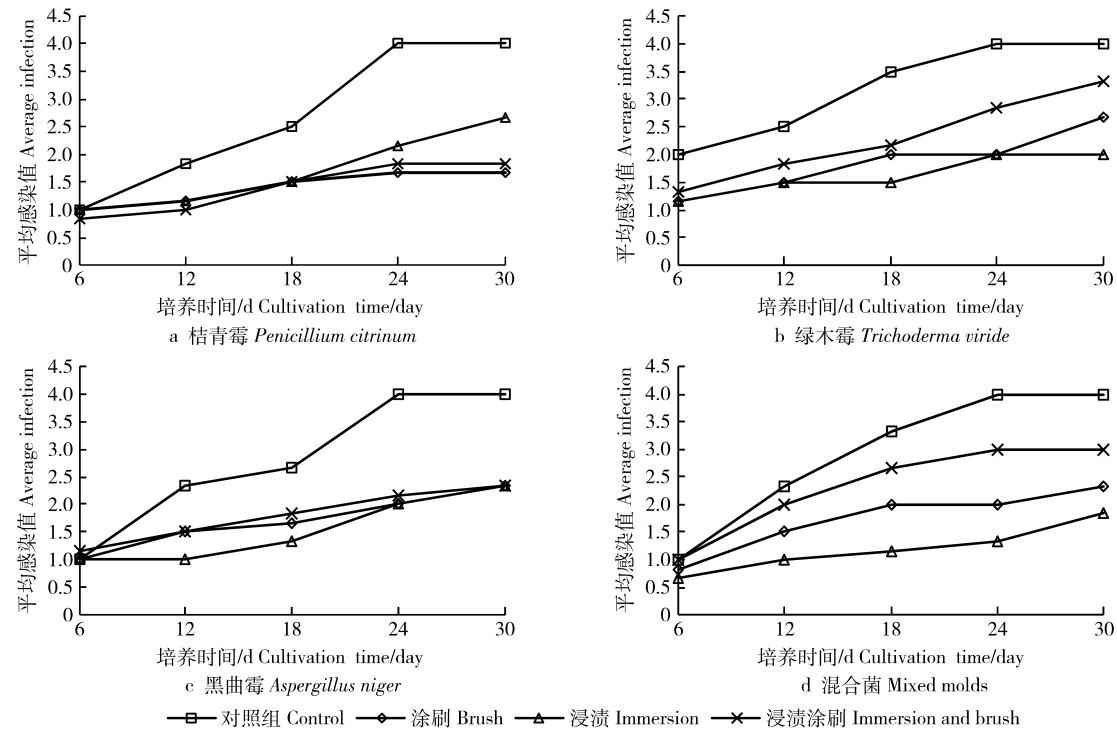


图4 12.5%的樟树叶提取物处理材受桔青霉、绿木霉、黑曲霉和混合菌的感染值变化趋势

Fig. 4 Trends of average infection of extractive-treated woods treated with *Penicillium citrinum*, *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger* and mixed molds

2.5.3 樟树叶提取物对霉菌的防治效力

12.50%的樟树叶提取物处理材,感染霉菌30 d的防治效力见图5。由图可知,对不同霉菌采取不同的处理方式可使防治效力达到最大:桔青霉(涂刷处理,防治效力58.33%),绿木霉(浸渍处理,防治效力50.00%),黑曲霉(均可,防治效力41.67%)以及混合菌(浸渍处理,防治效力54.17%)。总体来说,木材采用浸渍处理,对霉菌的防治范围最广泛。浸渍处理使药液均匀分散于木材内部,对霉菌的防治效果更好,也更持久。

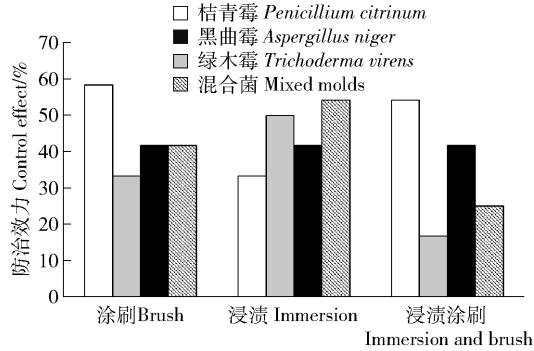


图5 提取物处理材对霉菌的防治效力

Fig. 5 Control effectiveness of extractive-treated wood against molds

3 结 论

1) 樟树叶提取物对常见的木材霉菌均有明显的抑制作用。其中,黑曲霉对樟树叶提取物质量分

数的变化更为敏感。3种霉菌的抑菌圈直径均随着提取物质量分数的增大而增大,最佳抑菌质量分数及其对应的抑菌圈直径分别为:桔青霉12.50% (14.2 mm),绿木霉12.50% (14.9 mm),黑曲霉12.50% (20.1 mm)。樟树叶提取物对桔青霉、绿木霉以及黑曲霉的最低抑菌质量分数分别为0.50%~1.00%、0.50%~1.00%以及0.25%。

2) 樟树叶提取物通过破坏霉菌结构,使霉菌对数生长期缩短或被推迟,破坏菌体结构,扰乱菌丝生长周期,从而达到防霉的作用。

3) 用12.50%的提取物对樟子松素材分别进行涂刷、浸渍和浸渍涂刷处理,然后用3种霉菌接种樟子松素材,培养30 d,对应的感染值为:桔青霉(1.67、2.67和1.83),绿木霉(2.67、2.00和3.33),黑曲霉(均为2.33),混合菌(2.33、1.83和3.00)。整体上,樟树叶提取物处理材抗桔青霉效果最佳,抗绿木霉效果最差。

4) 12.50%的樟树叶提取物处理材感染霉菌30 d,对不同菌种采用如下处理方式时,防治能力最大:桔青霉(涂刷处理,防治效力58.33%),绿木霉(浸渍处理,防治效力50.00%),黑曲霉(均可,防治效力41.67%)以及混合菌(浸渍处理,防治效力54.17%)。其中,浸渍处理适用菌种最为广泛。

参 考 文 献

[1] 邓海英,于志君,张垚,等. 樟树叶提取物对几种消化道感染细

- 菌的抑制作用研究[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(7): 1781-1782.
- DENG H Y, YU Z J, ZHANG Y, et al. Study on inhibition of several kinds of digestive tract infection bacteria of camphor tree leaves extract [J]. *LI Shizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2011, 22(7): 1781-1782.
- [2] 赵学敏. 陆川本草 [M]. 广西: 广西陆川县研究所, 1959.
- ZHAO X M. *Luchuan herbs* [M]. Guangxi: Guangxi Luchuan Institute, 1959.
- [3] 冉晓敏, 李忠海, 付湘晋, 等. 樟树叶、籽活性成分的研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2010(8): 27-30.
- RAN X M, LI Z H, FU X J, et al. Advancement of active compositions in leaves and seeds of camphor tree [J]. *Food and Nutrition in China*, 2010(8): 27-30.
- [4] YU T, LEE S, YANG W S, et al. The ability of an ethanol extract of *Cinnamomum cassia* to inhibit Src and spleen tyrosine kinase activity contributes to its anti-inflammatory action [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2012, 139(2): 566-573.
- [5] 林翔云. 芳樟叶提取物在化妆品中的应用 [J]. 香料香精化妆品, 2011(2): 44-48.
- LIN X Y. The application of Ho leaf extracts in cosmetics [J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2011(2): 44-48.
- [6] LIU C H, MISHRA A K, TAN R X, et al. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad [J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(15): 1969-1973.
- [7] 谭芸, 王智. 樟树叶提取液的抑菌作用研究 [J]. 湖南农业科学, 2010(24): 28-29.
- TAN Y, WANG Z. Antibacterial activity of camphor tree leaves extract [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(24): 28-29.
- [8] 李权. 香樟木材提取物的成分及其防腐机理的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- LI Q. Research on chemical composition and decay resistance mechanism of *Cinnamomum camphora* wood extracts [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.
- [9] PRAGADHEESH V S, SAROJ A, YADAV A, et al. Chemical characterization and antifungal activity of *Cinnamomum camphora* essential oil [J]. *Industrial Crops and Products*, 2013(49): 628-633.
- [10] 刘健, 王海雁, 赵淑江. 牛津杯法测定五倍子对大黄鱼病原弧菌的体外抑菌活力 [J]. 海洋科学, 2009, 33(11): 44-47.
- LIU J, WANG H Y, ZHAO S J. Determination of the antibacterial activity of *Galla chinensis* on pathogen vibrio of *Pseudosciaena crocea* by oxford plate assay system [J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(11): 44-47.
- [11] 王向阳, 周政子, 刘绘景. 茶多酚对萝卜干3种致病菌的抑菌机理研究 [J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 96-101.
- WANG X Y, ZHOU Z Z, LIU H J. Study on the antimicrobial mechanisms of tea polyphenol against three pathogenic microbe of pickled radish [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(8): 96-101.
- [12] 计红芳, 张令文, 宋瑞清. 绒白乳菇发酵液提取物对杨树叶枯病菌抑菌机理的初步研究 [J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 146-149.
- JI H F, ZHANG L W, SONG R Q. Inhibiting mechanism of the extraction of *Lactarius vellereus* fermenting liquid on *Alternaria alternata* in poplar [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(4): 146-149.
- [13] 袁丽红. 微生物学实验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- YUAN L H. *Experiment on microbiology* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [14] 刘密新. 仪器分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 96-135.
- LIU M X. *Instrumental analysis* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 96-135.
- [15] 王智慧. 樟树叶化学成分的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- WANG Z H. A study on the chemical constituents from the leaves of *Cinnamomum camphora* [D]. Heifei: Anhui Agricultural University, 2013.
- [16] 金阳, 何平勇, 金政, 等. 苯酮及其衍生物的生物活性 [J]. 农药, 2006, 45(8): 565-566.
- JIN Y, HE P Y, JIN M, et al. Biological activity of camphor and a derivative [J]. *Agrochemicals*, 2006, 45(8): 565-566.
- [17] 邢来军, 李明春, 魏东盛. 普通真菌学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- XING L J, LI M C, WEI D S. *General mycology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [18] 徐国祺. 樟树叶提取物复配及其处理毛竹抗菌性研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- XU G Q. Study on complex of camphor leaves extractive and its effect on bamboo preservation [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011.
- [19] 刘泽旭, 徐国祺, 王立海. 樟树叶提取物及其复配剂对竹材的防腐抑菌效果 [J]. 林业科技开发, 2015, 29(6): 104-108.
- LIU Z X, XU G Q, WANG L H. Effects of camphor leaf extractives and its complex formation on fungal and mold resistance of bamboos [J]. *China Forestry Science and Technology*, 2015, 29(6): 104-108.
- [20] UYTTENDAELE M, DEBEVERE J. Evaluation of the antimicrobial activity of protamine [J]. *Food Microbiology*, 1994, 11(5): 417-428.
- [21] 刘世旺, 徐艳霞, 石宏武. 虎耳草乙醇提取物对细菌生长曲线的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007(4): 943-944.
- LIU S W, XU Y X, SHI H W. Effect of ethanol extract of *Saxifraga stolonifera* Meerb on growth curve of bacterium [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007(4): 943-944.
- [22] 王永贵, 周衡欣, 岳金权. 制浆过程木材浸渍研究进展 [J]. 中国造纸, 2012, 31(12): 54-60.
- WANG Y G, ZHOU Y X, YUE J Q. Research progress in wood impregnation during pulping process [J]. *China Pulp & Paper*, 2012, 31(12): 54-60.
- [23] 姚伍. 防腐剂处理后杨木防腐防霉性能测定 [D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- YAO W. Tested on the rot resistance and antimildew capability of polar wood treated with preservative [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.

(责任编辑 李文军 吴娟
责任编辑 赵广杰)