

## 竹醋液及竹醋液复配制剂对木材霉菌的抑菌性

沈哲红<sup>1,2</sup>, 方群<sup>1</sup>, 鲍滨福<sup>1,2</sup>, 张齐生<sup>1,2</sup>, 叶良明<sup>1</sup>, 张遐耘<sup>3</sup>

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 国家木质资源综合利用工程技术研究中心, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省微生物研究所, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 为拓宽竹醋液的用途以及开发高效低毒型竹木材保护剂, 进行了竹醋原液以及竹醋液复配制剂对3种常见木材霉菌(黑曲霉 *Aspergillus niger*, 绿色木霉 *Trichoderma viride* 和橘青霉 *Penicillium citrinum*)的抑菌性研究。结果表明: ①竹醋液原液对3种木材霉菌抑菌率为99%, 对木材霉菌具有直接灭杀作用, 杀菌最高稀释倍数10倍。②滤纸抑菌圈试验证明, 复配有效成分制成的PW1, PW2和PW3竹醋液复配制剂对木材霉菌抑菌性能比竹醋液原液明显增强, 对黑曲霉、绿色木霉和橘青霉抑菌圈直径(试验第2天), 竹醋原液全为0mm, PW1为18, 29和17mm; PW2为23, 32和20mm; PW3为19, 28和16mm。PW2对3种木材霉菌抑菌效果最强, 其次是PW1, 最弱是PW3。③在3种木材霉菌中, 竹醋液复配制剂对绿色木霉抑制作用最强。表6参9

**关键词:** 木材学; 竹醋液; 竹醋液复配制剂; 木材霉菌; 抑菌性

**中图分类号:** S782.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)01-0099-06

## Antifungal characteristics of raw bamboo vinegar and bamboo vinegar preparations on wood mold

SHEN Zhe-hong<sup>1,2</sup>, FANG Qun<sup>1</sup>, BAO Bin-fu<sup>1,2</sup>, ZHANG Qi-sheng<sup>1,2</sup>, YE Liang-ming<sup>1</sup>, ZHANG Xia-yun<sup>3</sup>

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. National Comprehensive Utilization Engineering Center of Wood Based Resource, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Microorganism Institute, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

**Abstract:** To improve the utilization of bamboo vinegar and develop highly efficient, low toxic wood and bamboo preservatives, antifungal effects on three wood molds were researched. Wood molds were *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, and *Penicillium citrinum* and bamboo vinegar preparations of PW1 (10 g·L<sup>-1</sup> carbamate), PW2 (70 g·L<sup>-1</sup> salts of boric acid), and PW3 (20 g·L<sup>-1</sup> boric acid and 20 g·L<sup>-1</sup> copper sulfate) with a control as the natural bamboo vinegar were tested on antifungal effects. Results showed that (1) bamboo vinegar had a 99% inhibitory rate on the three molds even after being diluted 10 times. (2) Compounding active components greatly improved antifungal activity of the bamboo vinegar preparation with PW1, PW2, and PW3 ring sizes of: a) 18, 29, and 17 mm; b) 23, 32, and 20 mm; and c) 19, 28, and 16 mm, respectively. (3) Among wood molds tested the preparations had the best antifungal effect on *Trichoderma viride*. [Ch, 6 tab. 9 ref.]

**Key words:** wood science; bamboo vinegar; bamboo vinegar preparation; wood mold; antifungal activity

中国是木材资源短缺的国家, 解决资源紧张的途径之一是发展竹木材防腐防霉保护工业。随着人类对环保问题的重视, 传统竹木材保护剂如铬、砷铜系列以及五氯酚系列由于其毒性已受到禁用或限用, 开发高效低毒甚至无毒的竹木材保护剂显得迫切<sup>[1-5]</sup>。生物木材防腐剂本身就来源于自然界, 对

收稿日期: 2009-02-11; 修回日期: 2009-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30700628); 浙江省教育厅资助项目(20060656)

作者简介: 沈哲红, 副教授, 从事木质资源综合利用研究。E-mail: zhehong.shen@vip.163.com

人畜安全, 在环境中能通过光解、水解和酶解等途径降解, 对环境压力小。跨入 21 世纪后, 各国政府更加注重环境保护, 公众更加关注自身健康, 这种形势必将促进生物木材防腐剂的发展。有人开展了生物木材防腐剂研究, 如对天然高分子产物(甲壳素、亚麻油、部分木材抽提物和木质素等)的性能研究, 探讨它们用作木材防腐剂的可能性, 但由于防腐防虫效果、防腐成本等原因, 目前仍未用作商业应用<sup>[6-7]</sup>。竹醋液是竹材在高温热解烧制竹炭过程中形成的一种副产物, 在中国年产量达 2.5 万 t, 其主要成分是水, 占 80% ~ 95%。研究表明, 竹醋液是一种天然抑菌剂和杀虫剂, 在防腐、有害生物防治等方面的应用前景广阔。目前, 相关研究和应用主要集中在农作物的病虫害防治、杀菌剂(食品、洗涤系列)、肥料、农药助剂以及土壤调解剂等方面<sup>[8]</sup>。对竹醋液在木材、竹材防腐防霉保护等方面研究几乎没有。竹醋液除了上述性能之外, 它又是良好的混合溶剂, 里面包含的有机酸类物质、酮类物质和醇类物质等既是良好的溶剂、增溶剂和助溶剂, 又是很好的渗透剂。一些有效成分能很好地溶解在其中并有效地渗透、扩散到处理对象中去, 起到提高药效的作用<sup>[9]</sup>。作者针对木材防腐工业的现状, 结合竹醋液杀菌性、溶解性和高渗透作用, 提出竹醋液及竹醋液复配制剂对常见木材霉菌抑菌性研究, 以期拓宽竹醋液用途、开发以竹醋液为分散介质的竹木材防腐防霉剂提供理论基础。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 竹醋液 购自浙江 5 个竹醋液生产厂家。土窑烧制, 存放 6 个月以上, 具体性能见表 1。

1.1.2 竹醋液复配制剂 浙江林学院木材学科自行研制开发的专利产品。以 1 号竹醋液原液为分散介质, 将一定质量的防腐防霉有效成分加入一定体积的竹醋原液中, 不断搅拌直至完全溶解。PW1: 有效成分为氨基甲酸酯类, 质量浓度为 10 g·L<sup>-1</sup>; PW2: 有效成分为不溶于水的硼酸盐化合物, 质量浓度为 70 g·L<sup>-1</sup>; PW3: 有效成分为硼酸和硫酸铜, 质量浓度为 20 g·L<sup>-1</sup> 硼酸 + 20 g·L<sup>-1</sup> 硫酸铜。

1.1.3 药品与试剂 氨基甲酸酯类化合物, 不溶于水, 工业级, 产品为浅棕色粉末, 纯度为 98%; 硼酸盐: 工业级, 白色粉末, 不溶于水; 硫酸铜: 蓝色晶体, 试剂级; 硼酸: 白色粉末, 试剂级。

1.1.4 供试菌种 选择 3 种最易引起竹木材霉变的菌种: 黑曲霉 *Aspergillus niger*, 绿色木霉 *Trichoderma viride* 和橘青霉 *Penicillium citrinum*, 菌种来自中国科学院微生物菌种保藏中心。

1.1.5 培养基 马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基。去皮马铃薯 *Solanum tuberosum* 200 g, 切成 1 cm×1 cm 小块, 加 1.0 L 水煮 30 min, 冷却过滤, 滤液添加 20 g·L<sup>-1</sup> 葡萄糖, pH 值为自然值, 分装于试管内, 形成液体培养基; 若添加 20 g·L<sup>-1</sup> 琼脂制成固体培养基, 121 °C 灭菌 15 min。

### 1.2 实验方法及原理

1.2.1 竹醋原液的抑菌率测定 在竹醋原液中添加一定量的待测试菌液, 使其孢子悬浮液最终浓度达(10<sup>6</sup> 个·mL<sup>-1</sup>), 29 ~ 30 °C 恒温培养, 18 h 后测定其活菌数。抑菌率% = (起始菌浓度 - 18 h 后活菌浓度)/起始菌浓度 × 100。

1.2.2 竹醋液抑菌最高稀释度测定 将供试的竹醋液做对倍系列稀释成不同浓度, 取各稀释度受试液体 5.0 mL 加入到含 5.0 mL 双倍浓度肽核酸(PNA)液体试管中。在无菌条件下, 接种 0.1 mL 含菌量约 10<sup>6</sup> 个·mL<sup>-1</sup> 孢子悬浮液, 置适宜温度, 培养一定时间后, 检查试管内液体是否浑浊, 试管内无菌生长的稀释度即为该竹醋原液所对应杀菌最高稀释度。

1.2.3 滤纸抑菌圈法测定竹醋液原液及竹醋液复配制剂抑菌性 在无菌条件下, 把试验菌种制成 10<sup>6</sup>

表1 竹醋液的性能

竹醋液	色度	pH 值	折光率/%
①	12	2.22	6.0
②	12	2.28	2.1
③	10	2.08	3.7
④	3	2.20	3.0
⑤	11	3.32	2.2

个·mL<sup>-1</sup>孢子悬浮液，吸取 0.1 mL 孢子悬浮液均匀涂布到 PDA 培养基上。把浸渍过制剂的纸圆片(直径为 5 mm)，自然风干后，放入带菌的 PDA 培养基上等距离放 3 片·皿<sup>-1</sup>，各试验平行 6 片，文中所列数据为平均值。29 ~ 30 °C 恒温恒湿培养，每天测定抑菌圈的直径，至抑菌圈不再变化为止，以无菌水作空白对照。以抑菌圈的直径作为评定指标，抑菌圈直径越大，说明该试剂对此种供试菌的抑制效果越好，反之则抑制效果越差。抑菌剂在 7 d 中对所选菌种的抑制效果以前 2 天最有效，由于本研究制剂的抑菌作用强，在第 2 天数据基础上，辅以第 10 天数据为评定依据。

### 1.3 试验仪器与设备

压力蒸汽消毒器、超净工作台、人工气候箱、磁力搅拌器、pH 计、智能恒温恒湿培养箱、电子天平、酒精灯和水浴锅。

## 2 结果与分析

### 2.1 竹醋原液的抑菌率和最高稀释倍数

竹醋原液对 3 种霉菌的抑菌率和最高稀释倍数见表 2 和表 3。

从表 2 和表 3 可以得出，取自 5 个厂家性能不同的竹醋原液对 3 种霉菌具有很强的杀菌作用，抑菌率都达到 99%，最高稀释倍数 10 倍。本研究选择 5 个厂家的竹醋液进行抑菌性试验，目的在于探明竹醋液的抑菌性是否受生产条件的限制。从上述结果看，竹醋液的杀菌性具有普适性，因而可以用于竹木材保护剂的研究和制备。

竹醋原液对木材霉菌具有杀菌作用，可以推断用竹醋原液处理竹木材时，对它们含有的霉菌可以起到杀灭作用。竹木材进行保护处理的目的除了可以杀灭其含有的病菌外，还要求处理后的竹木材凭借其有效成分具有抗拒病菌的侵害，从而达到延长其使用寿命的目的。基于此，用滤纸抑菌圈法

表 2 竹醋原液抑菌率

Table 2 Inhibiting rate of bamboo raw vinegar

竹醋液	黑曲霉			绿色木霉			橘青霉		
	0 h	18 h	抑菌率/%	0 h	18 h	抑菌率/%	0 h	18 h	抑菌率/%
阳性对照	5 × 10 <sup>6</sup>	5 × 10 <sup>8</sup>		5 × 10 <sup>6</sup>	5 × 10 <sup>8</sup>		5 × 10 <sup>6</sup>	5 × 10 <sup>8</sup>	
①	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99
②	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99
③	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99
④	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99
⑤	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99	5 × 10 <sup>6</sup>	未检出	99

表 3 竹醋原液最高稀释倍数

Table 3 Minimum inhibitory dilution of bamboo raw vinegar

竹醋液	黑曲霉				绿色木霉				橘青霉			
	原液	× 10 <sup>-1</sup>	× 10 <sup>-2</sup>	最高稀释倍数	原液	× 10 <sup>-1</sup>	× 10 <sup>-2</sup>	最高稀释倍数	原液	× 10 <sup>-1</sup>	× 10 <sup>-2</sup>	最高稀释倍数
阴性	-	-	-		-	-	-		-	-	-	
阳性对照	+	+	+		+	+	+		+	+	+	
①	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍
②	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍
③	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍
④	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍
⑤	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍	-	-	+	稀释 10 倍

说明：+表示能生长，-表示未生长。

测定了竹醋原液的抑菌性。结果发现, ①~⑤号竹醋原液对3种木材霉菌没有抑制作用, 在试验第2天试验霉菌爬满整张滤纸。原因可能是2个方面。一是2种检测方法对霉菌作用机制不同, 产生此现象。其次, 竹醋原液主要成分为水分, 有效成分含量低。滤纸在竹醋液原液中浸渍1h, 渗透到滤纸上的有效成分含量更低, 达不到抑制霉菌生长最低浓度要求。可推断, 仅用竹醋原液处理木竹材时, 尽管处理后的木竹材不含有霉菌, 但是在后续使用过程中由于其有效成分含量低, 不能抵抗霉菌的进攻和侵害, 最终产生霉变, 必须增强有效成分, 才能满足要求。

## 2.2 竹醋液复配制剂抑菌性

在2.1的试验基础上, 以①号竹醋原液为分散介质, 复配低毒甚至无毒的有效成分, 制成PW1, PW2和PW3等3种制剂, 并用滤纸抑菌圈法对3种制剂进行了木材霉菌抑菌试验, 试验结果如下。

2.2.1 竹醋液复配制剂对黑曲霉抑制效果 从表4可见: ①号竹醋原液对黑曲霉抑菌圈直径为0, 试验第2天滤纸上就布满霉菌, 而以其为分散介质复配而成的PW1, PW2和PW3制剂, 在试验第2天, 对黑曲霉抑菌圈直径为18, 23和19mm。随着培养时间的延长, 3种制剂对黑曲霉的抑制效果逐渐减弱, 但到第10天仍具有抑制效果, 直径稳定在5mm左右, 可见复配有效成分的3种制剂对黑曲霉的抑菌性能有显著提高。在3种制剂中, PW2对黑曲霉抑制效果最好。

表4 黑曲霉抑菌圈大小和效果

Table 4 Inhibitory ring size on *Aspergillus niger*

制剂	不同时间抑菌圈直径/mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 d
PW1	20	18	16	15	13	12	10	9	8	5
PW2	25	23	19	16	13	11	10	9	8	5
PW3	21	19	16	14	12	10	8	7	6	5
PW1/5倍	18	15	13	12	10	8	6	5	0	0
PW2/5倍	17	15	13	11	10	8	6	5	0	0
PW3/5倍	19	17	15	11	10	8	6	5	0	0
PW1/10倍	17	14	11	10	8	6	5	0	0	0
PW2/10倍	15	14	11	10	8	6	5	0	0	0
PW3/10倍	18	16	13	11	8	6	5	0	0	0

①号竹醋原液 黑曲霉能生长, 2 d就爬满滤纸

从表4中可以看出, 经过5倍稀释的3种复配制剂, 在试验第2天, 对黑曲霉的抑菌圈直径比未稀释的制剂小, 分别为15, 15和17mm。随着培养时间的延长, 3种制剂对黑曲霉抑制能力逐渐减弱, 到第9天抑菌圈直径为0, 丧失了抑菌能力。经过5倍稀释的3种制剂的抗菌能力相近。从表4中还可以看出, 经过10倍稀释的3种复配制剂, 在试验第2天, 3种制剂的抑菌圈直径为14, 14和16mm, 小于5倍稀释的制剂。随着培养时间的延长, 3种制剂对黑曲霉抑制能力减弱, 在第8天抑菌圈直径为0, 丧失了抑菌能力。从上述结果分析可得出, PW1, PW2和PW3等3种制剂, 稀释倍数越高, 其抑菌能力越低, 但是即使经过10倍稀释, 3种制剂对黑曲霉的抑菌性明显比竹醋原液强, 在3种制剂中PW2制剂对黑曲霉抑菌效果最好。

2.2.2 竹醋液复配制剂对绿色木霉菌抑制效果 从表5可以看出, 尽管①号竹醋原液对绿色木霉菌抑菌圈直径为0, 在试验第2天滤纸上就爬满了霉菌, 而以其为分散介质复配而成的PW1, PW2和PW3等3种制剂, 在试验第2天对绿色木霉抑菌圈直径为29, 32和28mm, 抑菌效果突出。随着培养时间的延长, 3种制剂对绿色木霉的抑制效果变化较缓, 第6天后基本不变, 稳定在25, 30和26mm左右。可见, 复配了有效成分的3种制剂对绿色木材霉菌抑制性能提高显著, 而且随着时间延长, 抑



表 5 绿色木霉抑菌圈大小和效果

Table 5 Inhibitory ring size and effect on *Trichoderma viride*

制剂	不同时间的抑菌圈直径/mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 d
PW1	30	29	28	27	26	25	25	25	25	25
PW2	33	32	31	30	30	30	30	30	30	30
PW3	30	28	27	26	26	26	26	26	26	26
PW1/5 倍	28	26	24	22	20	20	20	20	20	20
PW2/5 倍	32	31	30	30	29	28	28	28	28	28
PW3/5 倍	26	25	24	24	24	24	24	24	24	24
PW1/10 倍	25	23	20	19	16	15	15	15	15	15
PW2/10 倍	30	29	28	27	25	23	20	20	20	20
PW3/10 倍	21	20	19	18	17	16	15	15	15	15

①号竹醋原液 绿色木霉能生长, 2 d 就爬满滤纸

菌性能几乎不变。在 3 种制剂中, PW2 对绿色木霉菌抑制效果最好。经过 5 倍稀释的 3 种复配制剂, 在试验第 2 天, 3 种制剂的抑菌圈直径为 26, 31 和 25 mm, 略小于未稀释制剂。随着培养时间的延长, 3 种制剂对绿色木霉菌抑制能力减弱, 但变化程度不大。第 6 天后抑菌圈直径稳定在 20, 28 和 24 mm。从表 5 可以看出, 经过 5 倍稀释的 3 种制剂中, PW2 抗菌能力最强。经过 10 倍稀释的 3 种复配制剂, 在试验第 2 天, 3 种制剂的抑菌圈直径为 23, 29 和 20 mm。随着培养时间的延长, 3 种制剂对绿色木霉抑制能力减弱, 第 7 天抑菌圈直径稳定在 15, 20 和 15 mm。经过 10 倍稀释的 3 种制剂中, PW2 抗菌能力最强。从表 5 可以得出, 稀释倍数越高, 其抑菌能力越低, 但是即使经过 10 倍稀释的 3 种制剂, 其对绿色木霉的抑菌性比竹醋原液强, 在 3 种制剂中 PW2 制剂对绿色木霉抑菌性最强。从表 4 和表 5 比较得出, 3 种制剂对绿色木霉抑制效果明显比黑曲霉好。

2.2.3 竹醋液复配制剂对橘青霉抑菌性影响 ①号竹醋原液对橘青霉抑菌圈直径为 0, 在试验第 2 天滤纸上就爬满霉菌。从表 6 可以看出, 以①号竹醋原液为分数介质制成的 PW1, PW2 和 PW3 等 3 种制剂, 在试验第 2 天, 对橘青霉抑菌圈直径为 17, 20 和 16 mm。随着培养时间的延长, 3 种制剂对橘青霉的抑制效果逐渐减弱, 但到第 10 天仍具有明显的抑制效果, 稳定在 3~5 mm。在 3 种制剂中, PW2 制剂对橘青霉抑制效果最好。经过 5 倍稀释的 3 种复配制剂, 在试验第 2 天, 3 种制剂对橘青霉抑菌圈直径为 15, 16 和 15 mm。随着培养时间的延长, 3 种制剂对橘青霉抑制能力减弱, PW3 在第 9 天抑菌圈直径为 0, PW1 和 PW2 在第 10 天抑菌圈直径为 0 mm。经过 5 倍稀释的 3 种制剂, 抗菌能力差别不大。经过 10 倍稀释的 3 种制剂, 在试验第 2 天, 对橘青霉抑菌圈直径为 13, 16 和 15 mm。随着培养时间的延长, 3 种制剂对橘青霉抑制能力减弱, 到第 7 天抑菌圈直径为 0 mm。从表 6 可以看出, 经过 10 倍稀释的 3 种制剂, 抗橘青霉能力差别不大。从表 6 可以看出, 稀释倍数越高, 3 种制剂对橘青霉抑制能力越低, 但是即使经过 10 倍稀释的 3 种制剂, 其对橘青霉的抑菌性明显比竹醋原液强。在 3 种制剂中 PW2 制剂对橘青霉的抑菌性最好。从表 4、表 5 和表 6 比较可以得出: ①在 3 种竹醋液复配制剂中, PW2 对黑曲霉、绿色木霉和橘青霉抑菌性能最好, 其次是 PW1, 但 PW1 和 PW3 差别不明显。②在 3 种木材霉菌中, 3 种制剂对绿色木霉菌的抑制效果最好, 其次是黑曲霉, 最后是橘青霉。

### 3 结论和建议

取自 5 个厂家, 性能不同的竹醋原液对黑曲霉、绿色木霉和橘青霉等 3 种常见的木材霉菌抑菌率为 99%, 经 10 倍稀释后抑菌率仍达 99%。说明竹醋原液对木材霉菌具有直接杀灭作用, 可以用于竹

表6 橘青霉抑菌圈大小和效果

Table 6 Inhibitory ring size and effect on *Penicillium citrinum*

制剂	不同时间的抑菌圈直径/mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 d
PW1	18	17	15	15	14	12	10	8	7	3
PW2	22	20	18	17	14	13	11	9	8	5
PW3	18	16	16	15	13	10	8	7	6	4
PW1/5倍	17	15	13	10	9	7	7	5	3	0
PW2/5倍	17	16	13	11	10	8	6	7	4	0
PW3/5倍	16	15	11	10	10	8	6	5	0	0
PW1/10倍	16	13	12	10	8	5	0	0	0	0
PW2/10倍	18	16	14	12	9	5	0	0	0	0
PW3/10倍	17	15	14	13	9	4	0	0	0	0
对照	橘青霉能生长, 2 d爬满滤纸									

木材的防霉研究。

以竹醋原液为主要成分制得的PW1, PW2和PW3等3种制剂,对木材霉菌的抑制性能比竹醋原液提高显著,其中PW2综合效果最佳,其次为PW1,但PW1和PW3差别不明显;在3种木材霉菌中,3种制剂对绿色木霉菌的抑制效果最好,其次是黑曲霉,最后是橘青霉。

PW1的有效成分为低毒的氨基甲酸酯类,PW2的有效成分是无毒的硼酸盐,PW3的有效成分是无毒的硼酸和低毒的硫酸铜,因而对3种木材霉菌来说,PW2,PW2和PW3制剂是高效低毒的抑菌剂,可以进一步探索它们在竹木材防霉中的应用和研究。

#### 参考文献:

- [1] 蒋明亮. 国内外木材防腐新技术的开发与应用[J]. 木材工业, 2006, **20** (2): 23 - 25.  
JIANG Mingliang. Current status of research and development of new wood preservation technology [J]. *China Wood Ind*, 2006, **20** (2): 23 - 25.
- [2] 姜卸宏, 曹金珍. 新型木材防腐剂的开发和利用[J]. 林产工业, 2008, **35** (2): 10 - 12.  
JIANG Xiehong, CAO Jinzhen. Review on development and utilization of new wood preservatives [J]. *China For Prod Ind*, 2008, **35** (2): 10 - 12.
- [3] SCHULTZ T P, NICHOLAS D D. Development of environmentally-benign wood preservatives based on the combination of organic biocides with antioxidants and metal chelators [J]. *Phytochemistry*, 2002, **61** (5): 555 - 560.
- [4] 李坚. 木材保护学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1999.
- [5] BARNES H M, AMBURGEY T L, SANDERS M G. Performance of copper naphthenate and its analogs as ground contact wood preservatives [J]. *Bioresour Technol*, 2005, **96** (10): 1131 - 1135.
- [6] 孙芳利, 段新芳, 文桂峰, 等. CMC系列防腐剂对毛竹材防霉效果[J]. 林业科学, 2006, **42** (3): 13 - 16.  
SUN Fangli, DUAN Xinfang, WEN Guifeng, et al. Anti-mold effects of CMC wood preservatives on bamboo wood [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42** (3): 13 - 16.
- [7] 苏文强, 杨冬梅, 李坚. 怀槐心材提取物的防腐性能及其急性毒性试验研究[J]. 林产化学与工业, 2007, **27** (4): 115 - 119.  
SU Wenqiang, YANG Dongmei, LI Jian. Experimental study on preservation performance and acute toxicity of *Maackia amurensis* Rupr. et al. Maxim. heartwood extracts [J]. *Chem Ind For Prod*, 2007, **27** (4): 115 - 119.
- [8] 鲍滨福, 王品维, 张齐生, 等. 竹醋液与农药助剂对表面张力的联合效应[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (5): 569 - 572.  
BAO Binfu, WANG Pinwei, ZHANG Qisheng, et al. Joint effects of bamboo vinegar and pesticide adjuvant on surface tension [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (5): 569 - 572.
- [9] 张文标, 李文珠, 张宏, 等. 竹炭和竹醋液的工业利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.