

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2020036

几种有机酸对木质材料防治黑曲霉效力初步研究

周敏姑¹, 方森苗², 谢龙飞², 闫丽²

(1. 西北农林科技大学旱区节水农业研究院; 2. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)



摘要: 为了开发新型木质材料防霉剂, 以柠檬酸、水杨酸、肉桂醛为抑菌成分, 制备单一配方及复配防霉剂, 处理麦秸板和毛白杨试件。防霉性能测试结果显示, 三种有机酸单一配方防霉剂以肉桂醛抑菌效果最好; 不同比例三种有机酸复配防霉剂的处理效果不同; 以16.67 mg/mL肉桂醛、26.67 mg/mL柠檬酸和6.67 mg/mL水杨酸处理麦秸板的抑菌效果最佳; 肉桂醛、柠檬酸、水杨酸质量浓度均为26.67 mg/mL时处理毛白杨的抑菌效果最佳。采用肉桂醛、柠檬酸、水杨酸复方防霉剂可在保证防霉效力前提下降低肉桂醛的使用量, 达到节约成本的目的。

关键词: 有机酸; 复配; 木质材料; 防霉剂; 防霉性

中图分类号: TS653.2; S379.5

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2021) 01-0053-06

Preliminary Study on the Effectiveness of Several Organic Acids on Wood Materials to Control *Aspergillus niger*

ZHOU Min-gu¹, FANG Sen-miao², XIE Long-fei², YAN Li²

(1. Institute of Water-saving Agriculture in Arid Area of China (IWSA); 2. Northwest A&F University College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: In order to develop a new type of wood material mold inhibitor, citric acid, salicylic acid and cinnamaldehyde were used as antibacterial components to prepare single and compound mold inhibitor. The mold resistant properties of the single or compound mold inhibitor treated Wheat straw board and *Populus tomentosa* were compared, and then the formulation of the mold inhibitor was optimized. The results showed that cinnamaldehyde had the best mold resistance effect among the three single organic acids mold inhibitor. The mold resistance of compound mold inhibitor treated wheat straw board was the best when 16.67 mg/mL cinnamaldehyde, 26.67 mg/mL citric acid and 6.67 mg/mL salicylic acid were used. The mold resistance of compound mold inhibitor treated *Populus tomentosa* was the best when concentrations of cinnamaldehyde, citric acid and salicylic acid were 26.67 mg/mL. The use of cinnamaldehyde, citric acid, and salicylic acid compound mold inhibitor can reduce the use of cinnamaldehyde and save costs while ensuring the mold resistance effect.

Key words: organic acid; complex formulation; wood materials; mold inhibitor; mold resistant properties

木质材料是天然可再生的材料, 对环境友好、

易于加工, 但木质材料在潮湿阴暗的环境中容易受到霉菌的侵害^[1-2], 影响木质材料的外观质量甚至导致强度降等^[3-5]。采用木质材料防霉剂浸注处理或者表面涂覆, 可以提高材料的防霉性能^[6-7]。

木质材料防霉剂的有机杀菌剂多来源于农作物

收稿日期: 2020-03-16; 修改日期: 2020-05-04

基金项目: 国家重点研发计划“人工林木材质改良的化学基础研究”(2017YFD0600203)。

作者简介: 周敏姑, 女(1973—), 实验师。Email: zmingu@163.com

通讯作者: 闫丽, 女, 副教授。Email: ylnfu@126.com

农药, 对人体有一定危害^[8], 近年来, 随着人们对环保问题重视, 开发高效、低毒甚至无毒的环保防霉剂成为研究热点^[9-11]。柠檬酸价格低廉, 安全环保, 研究发现魔芋飞粉中的柠檬酸、水杨酸、肉桂醛对木材腐朽菌具有较高的抑菌活性^[12], 发现均有制备木材防霉剂的潜力。水杨酸用作食品防腐剂、染料消毒剂, 药品等, 常用于化妆品防腐剂^[13]。天然的肉桂醛具有广谱的抗菌生物活性^[14], 在食品和药物管理局 (FDA) 经过注册允许被添加到食品中, 常用作食品防腐剂, 用量极少就可以有效抑制微生物正常生长, 但由于肉桂醛易挥发、易氧化、且价格相对较高, 限制了其在木材防腐防霉行业的应用和发展。

杨木种植面积广, 生长速度快, 是我国主要的人工速生林来源^[15], 被广泛用于家具、人造板及包装材料, 杨木防霉处理对延长其使用期限有重大意义^[16]。麦秸板利用农业生产剩余物加工制备而成^[17], 具有环境友好、性能优良等优点, 但极易侵染霉菌, 所以提高麦秸板的防霉性能对扩大其使用范围具有深刻的意义^[18]。本研究以柠檬酸、水杨酸、肉桂醛为防霉剂的抑菌成分, 制备单一配方及复配的防霉剂, 并用于处理毛白杨及麦秸板, 检测其防霉性能, 进一步优化防霉剂配方, 以期新型绿色防霉剂的开发提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试剂: 乙醇、一水合柠檬酸 ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$)、肉桂醛 (C_9H_8O)、水杨酸 ($C_7H_6O_3$)。均为分析纯, 外购。

培养基 (PDA): 马铃薯葡萄糖琼脂, 外购。

毛白杨 (*Populus tomentosa* Carr.): 试件尺寸为 50 mm×20 mm×5 mm; 密度 0.45 g/cm³, 气干 (含水率 8%), 防霉试验前在 60 °C烘箱中干燥至恒重。西北农林科技大学林场。

麦秸板: 试件尺寸为 50 mm×20 mm×5 mm; 密度 0.70 g/cm³, 气干 (含水率 8%), 防霉试验前在 60 °C烘箱中干燥至恒重。诺菲博尔板业 (杨凌) 有限公司。

菌种: 霉菌黑曲霉 (*Aspergillus niger* V.Tiegh), 来源于西北农林科技大学林学院。

1.2 仪器设备

101-4A 电热鼓风干燥箱, 电子天平, VS-1300L-U 型超净工作台, LDZM-80KCS 型立式压力蒸汽灭菌锅, MJP 型霉菌培养箱, IKA-T25 剪切机。

1.3 试验方法

1.3.1 防霉剂配制及试验设计

单一成分防霉剂原料为一水合柠檬酸、水杨酸和肉桂醛, 需要将其配成不同质量分数的单一溶液或不同质量分数、种类的复配溶液。将肉桂醛、柠檬酸和水杨酸三种有机酸, 以蒸馏水进行溶解和稀释, 分别配置成质量浓度为 20 mg/mL、50 mg/mL、80 mg/mL 的单一组分溶液。其中柠檬酸和水杨酸制备成水溶液, 肉桂醛不溶于水, 用剪切机高速剪切 10 min, 制备成水包油型 (O/W) 乳液。将配置好的质量浓度为 20 mg/mL、50 mg/mL、80 mg/mL 的三种单一组分溶液, 按表 1 的配比等量混合进行三因素三水平正交试验, 制成混合复配溶液, 蒸馏水作为对照。表 1 中每种组分在复配溶液中的浓度按照公式 1 计算。每组条件重复三次, 取平均值, 确定较优防霉剂复配配方。

表 1 正交试验水平表						
Tab.1 Orthogonal experimental factors and levels						
编号	肉桂醛配比/ (mg·mL ⁻¹)		柠檬酸配比/ (mg·mL ⁻¹)		水杨酸配比/ (mg·mL ⁻¹)	
	单一	复配	单一	复配	单一	复配
1	20	6.67	20	6.67	20	6.67
2	20	6.67	50	16.67	50	16.67
3	20	6.67	80	26.67	80	26.67
4	50	16.67	20	6.67	50	16.67
5	50	16.67	50	16.67	80	26.67
6	50	16.67	80	26.67	20	6.67
7	80	26.67	20	6.67	50	16.67
8	80	26.67	50	16.67	20	6.67
9	80	26.67	80	26.67	80	26.67

$$C_1=C_0/3 \tag{1}$$

式中: C_1 是组分在复配溶液中的质量浓度, 单位 mg/mL; C_0 是组分在复配前溶液中的质量浓度, 单位 mg/mL。

1.3.2 试样处理

取毛白杨和麦秸板试件各 126 块, 尺寸为 50 mm×20 mm×5 mm, 6 块一组逐一编号, 烘干后称重 (m_1), 放入密封袋中备用。其中单一和复配配方各 9 组, 空白

对照3组。采用室温浸渍处理，液面高出试样顶面1~2 cm。浸渍3 min后倒出药液，密封、静置过夜（12 h）。

1.3.3 防霉性试验

按照 GB/T 18261—2013《防霉剂对木材霉菌及变色菌防治效力的试验办法》的方法操作。在长满菌丝的平板培养基（培养5天）中央位置轻放两根直径为5 mm的无菌玻璃棒，将试样按序号及类别每组对应垂直放在两根玻璃棒上，平行排列，每个培养皿内放两块同类相邻序号试样，接菌后封口膜封口，将各试验组及对照组置于温度30℃、RH 80%的培养箱四周，每周拍照观察记录。

1.4 性能评价

为确定试验四周后木材表面具体的黑曲霉生长情况，用基于java的公共图像处理软件ImageJ，对最终毛白杨、麦秸板表面黑曲霉生长试验侵染面积进行确定^[18]。

2 结果与分析

2.1 单一配方防霉剂的防霉性能

4周后使用不同质量浓度的单一配方防霉剂处理麦秸板、杨木试样表面，黑曲霉侵染面积比例如图1所示。

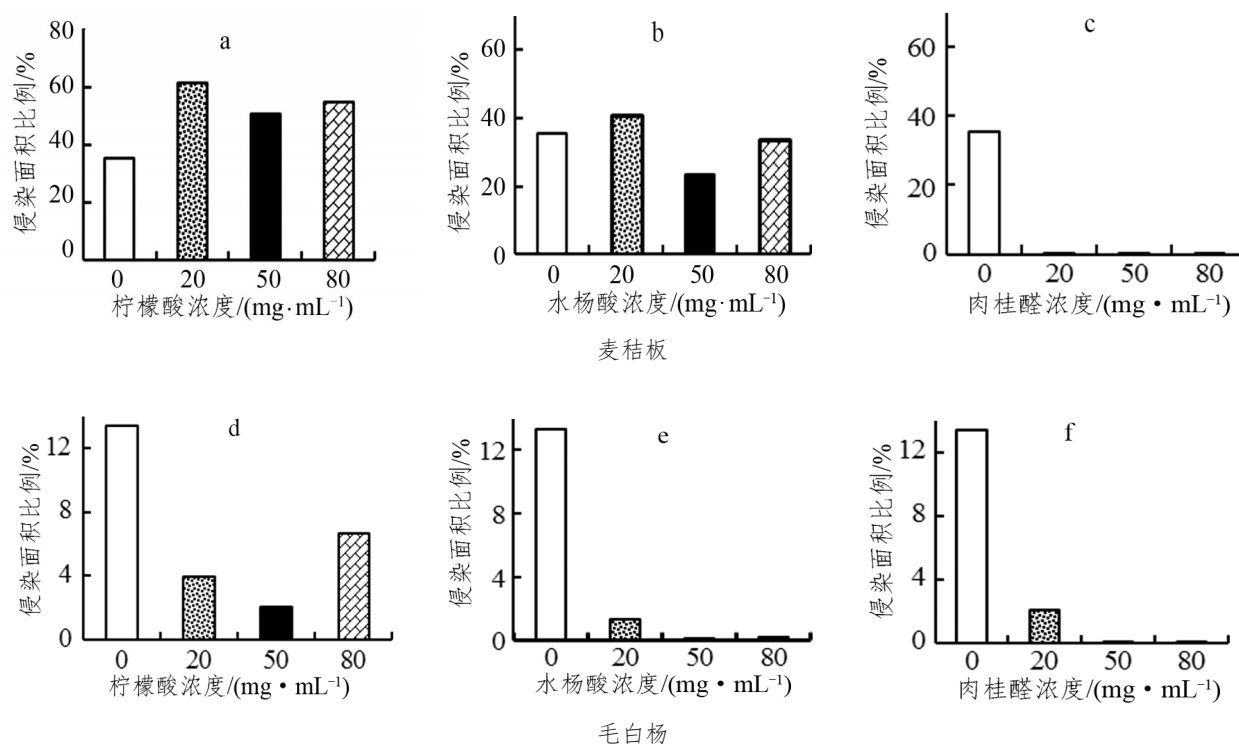


图1 黑曲霉对单一配方防霉剂处理试件侵染面积

Fig.1 Infection area of *Aspergillus niger* to the samples treated with single mold inhibitor

1) 柠檬酸：从图1中a、d侵染面积可知，3种浓度柠檬酸单一配方防霉剂处理的麦秸板，侵染面积均超过对照组，说明柠檬酸防霉剂对黑曲霉没有抑制作用，反而促进了黑曲霉的生长；对于毛白杨，三种浓度的柠檬酸防霉剂均具有较好的抑制作用，其中质量浓度为50 mg/mL的抑制效果最好。这是因为麦秸板含有大量的淀粉和单糖，适宜霉菌的生长，柠檬酸是天然有机酸，防霉性同其他防霉剂相比较弱，单一组分的柠檬酸不能有效提高麦秸板的防霉性。毛白杨的天然防霉性优于麦秸板，因此质量浓

度为50 mg/mL的柠檬酸处理可提高毛白杨的防霉效力。

2) 水杨酸：由图1中b、e侵染面积可知，水杨酸单一配方防霉剂处理的麦秸板，质量浓度为20 mg/mL时促进了黑曲霉生长；50 mg/mL时有一些抑制作用，但效果不明显；80 mg/mL时侵染面积和对照组接近，说明此浓度既没有抑制作用也没有促进作用。3种浓度单一配方水杨酸防霉剂处理毛白杨的侵染面积均远小于对照组，说明抑菌效果很好，其中50和80 mg/mL的质量浓度抑制效果较好，20

mg/mL 质量浓度的效果稍差。因为水杨酸是天然有机酸, 防霉效力与其他防霉剂相比较弱, 对麦秸板没有防霉效果, 当质量浓度高于 50 mg/mL 时对毛白杨有明显的防霉效果。

3) 肉桂醛: 图 1 中 c、f 侵染面积可知, 3 种浓度的单一配方防霉剂对麦秸板的黑曲霉抑菌性能均较好; 对于毛白杨, 质量浓度为 20 mg/mL 时抑菌性能较好, 增加到 50 和 80 mg/mL 时, 肉桂醛对黑曲霉抑制效果进一步增强。魏练平等^[19]在肉桂醛、柠檬醛抑制黑曲霉生长的比较研究中得出, 肉桂醛抗菌机制可能为其醛类物质有关, 其含有的亲水醛基易被真菌表面的亲水基吸附穿入胞壁, 进而破坏细胞壁多糖结构, 并改变了黑曲霉膜的选择通透性, 最终抑制黑曲霉的生长。

综上可知, 毛白杨本身对黑曲霉的防霉性明显优于麦秸板。3 种抑菌成分的单一配方防霉剂处理均能提高毛白杨的防霉性; 3 种浓度肉桂醛和 50 mg/mL 水杨酸能提高麦秸板的防霉性能; 3 种抑菌成分的单一配方防霉剂中肉桂醛的抑菌效果最好。但肉桂醛成本高、易挥发、不易分散, 为了提高防霉剂的分散性、稳定性, 降低成本, 采用具有一定防霉效力的柠檬酸、水杨酸与肉桂醛进行复配, 探索用柠檬酸和水杨酸部分替代肉桂醛的木材防霉剂配方。

2.2 复配防霉剂的防霉性能

3 种有机酸以不同质量浓度复配的防霉剂, 处理麦秸板和毛白杨的侵染面积检测结果以及不同浓度的复方防霉剂对侵染面积的影响, 如表 2、图 2 所示。

由表 2 可知, 对麦秸板, 三种不同试剂配置的复方防霉剂浓度对黑曲霉的抑菌性能也不同。复方防霉剂对麦秸板黑曲霉抑菌效果的顺序为: 6 组>3 组>9 组>1 组>2 组>5 组>8 组>4 组>7 组。肉桂醛、柠檬酸和水杨酸三因子对霉菌侵染面积指标的影响力大小依次为肉桂醛>水杨酸>柠檬酸; 而对毛白杨, 三种试剂的复方浓度不同, 对黑曲霉的抑菌性能也存在差异。复方防霉剂对毛白杨黑曲霉抑菌效果的顺序为: 5 组>4 组>2 组>6 组>3 组>8 组>1 组>9 组>7 组。肉桂醛、柠檬酸和水杨酸三因子对指标的影响力大小依次为水杨酸>柠檬酸>肉桂醛。

由图 2 中 a、d 可知, 两种试件的侵染面积比例都

是先随着肉桂醛的浓度增加而降低, 当肉桂醛的浓度达到 16.67 mg/mL 时, 侵染比例均达到最小, 而后侵染面积比例反而升高。但毛白杨的侵染面积比例下降和升高的趋势比麦秸板快。这是因为肉桂醛不溶于水, 以水包油的形式出现在溶液中, 随着浓度的升高, 肉桂醛乳液粒径变大, 影响肉桂醛在木质材料表面的附着和向内部的渗透, 因此过量的肉桂醛反而使试件的防霉性能降低、侵染面积比例增大。

表 2 黑曲霉对复配防霉剂处理麦秸板和毛白杨的侵染面积
Tab.2 Infection area of *Aspergillus niger* to the wheat straw and *Populus tomentosa* treated with compound mold inhibitor

编号	质量浓度/(mg·mL ⁻¹)			霉菌侵染面积/%	
	肉桂醛	柠檬酸	水杨酸	麦秸板	毛白杨
1	6.67	6.67	6.67	31.19	2.93
2	6.67	16.67	26.67	34.95	1.25
3	6.67	26.67	16.67	24.55	2.73
4	16.67	6.67	26.67	43.45	1.15
5	16.67	16.67	16.67	36.46	0.52
6	16.67	26.67	6.67	0.03	2.04
7	26.67	6.67	16.67	43.74	4.17
8	26.67	16.67	6.67	38.99	2.85
9	26.67	26.67	26.67	24.55	3.70
麦 秸 板	K_1	90.68	118.38	70.21	
	K_2	79.95	110.40	100.00	
	K_3	107.28	49.13	102.95	
	k_1	30.23	39.46	23.40	
	k_2	26.65	36.80	33.33	
	k_3	35.76	16.38	34.32	
	R	9.11	23.08	10.91	
	K_1	6.91	8.25	7.81	
	K_2	3.70	4.62	6.10	
	K_3	10.71	8.46	6.10	
毛 白 杨	k_1	2.30	2.75	2.60	
	k_2	1.23	1.54	2.03	
	k_3	3.57	2.82	2.03	
	R	2.34	1.28	0.57	

注: K_i 、 k_i 、 R 分别表示: 水平和、平均值、极差。

图 2 中 b、e 显示, 麦秸板的侵染面积比例随着柠檬酸浓度的增大先缓慢减小, 而后快速减小。在添加量达到 26.67 mg/mL 时, 侵染面积比例达到最小。而毛白杨的侵染面积随着柠檬酸浓度的增加, 呈现先减小后增大的趋势, 在浓度达到 16.67 mg/mL 时, 侵染面积比例达到最小。说明随着柠檬酸掺量的增大, 对麦秸板的黑曲霉起到了很大的抑制作用, 但对于毛白杨, 过量的柠檬酸促进了黑曲霉的生长, 侵染面积比例反而增大。

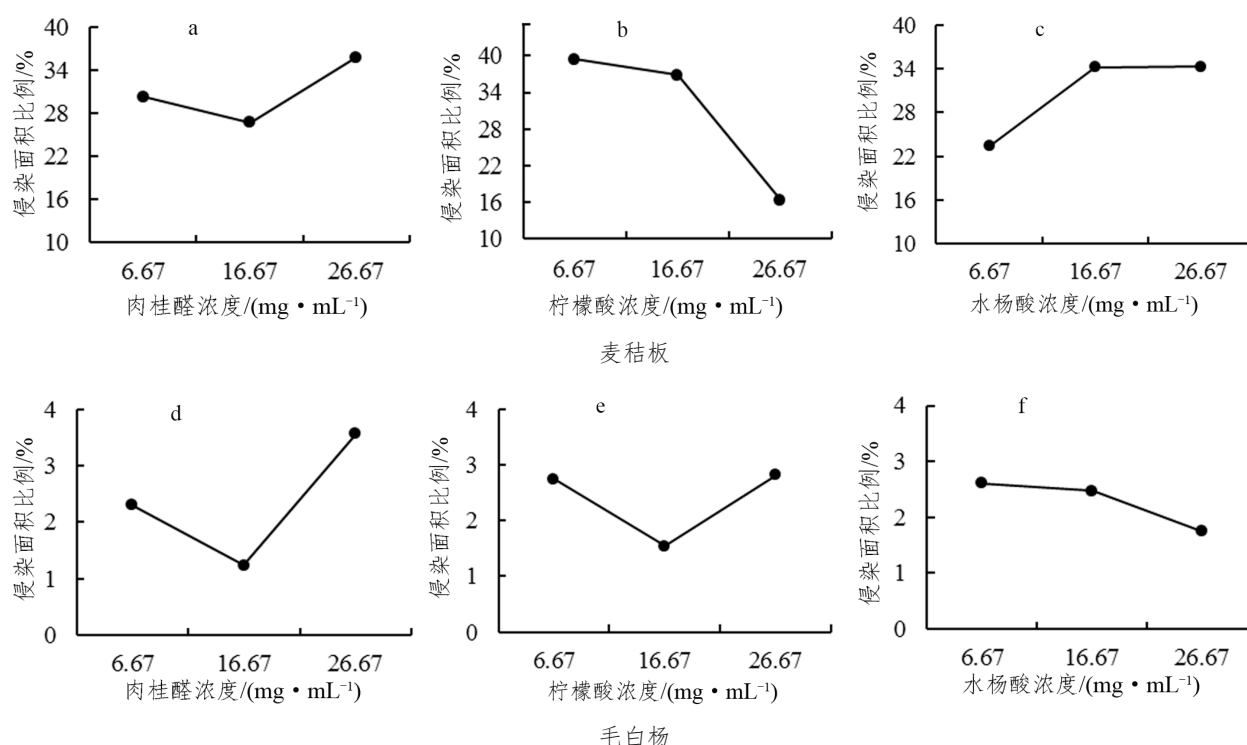


图2 各配方浓度对黑曲霉侵染试件面积影响

Fig.2 Effects of different concentrations on the area of the samples treated infected

由图2中c、f可知，随着水杨酸掺量的增加，麦秸板和毛白杨的侵染面积比例呈现不同的趋势，麦秸板随着水杨酸掺量的增加，侵染面积比例一直处于缓慢增加趋势，说明水杨酸对麦秸板的黑曲霉不但没有抑制作用，反而促进了黑曲霉的生长；相反的，毛白杨随着水杨酸掺量的增加，侵染面积比例先较快减小，而后减小速度降低，侵染面积比例一直处于减小趋势，说明水杨酸对毛白杨的抑菌效果比较明显。

综上，对于麦秸板，第6组试验，即16.67 mg/mL 肉桂醛、26.67 mg/mL 柠檬酸和6.67 mg/mL 水杨酸复配防霉剂抑菌效果最佳，侵染面积比例仅为0.03%，低于50 mg/mL 肉桂醛单方处理麦秸板的黑曲霉侵染面积（0.33%），故可认为是本试验范围内的优化配方。在优化配方中，加入柠檬酸和水杨酸后，肉桂醛的浓度由单一配方的50 mg/mL 降低至16.67 mg/mL 即可达到较好的防霉效果，水杨酸和柠檬酸的价格低于肉桂醛，且比肉桂醛更容易分散在水中，降低了复配防霉剂的成本，提高了稳定性。

对于毛白杨，第5组试验，即三种有机酸质量浓度均为16.67 mg/mL 的复配防霉剂抑菌效果最佳，

侵染面积最小，仅为0.52%，虽然略高于50 mg/mL 肉桂醛单一配方处理杨木的黑曲霉侵染面积（0.11%），但仍然达到较理想的抑菌效果，故认为是本试验范围内的优化配方。在优化配方中，加入柠檬酸和水杨酸后，肉桂醛的质量浓度由单一配方的50 mg/mL 降低至16.67 mg/mL 即可达到较好的防霉效果，降低了复配防霉剂的成本，同时提高了稳定性。

综合对比麦秸板和毛白杨的侵染面积发现，任何浓度的复配防霉剂，毛白杨的侵染面积整体明显小于麦秸板，说明毛白杨的抗菌性能优于麦秸板；第7组试验无论对于麦秸板还是毛白杨，黑霉菌的侵染面积比例都达到最大，说明该浓度的复配防霉剂防霉性能最差。优化配方复配时的抑菌性能显著强于相同浓度下柠檬酸和水杨酸单方处理杨木的防霉性能，同时复配可以在保证防霉剂防霉效力的前提下降低肉桂醛的使用量，节约成本。

3 结论

1) 三种有机酸单一配方防霉剂，以肉桂醛防霉剂防霉性能最好，柠檬酸防霉性能最差。无论是麦

胶板还是毛白杨, 防霉效果随着肉桂醛的质量浓度增加而增强。

2) 优化的复合配方为 16.67 mg/mL 肉桂醛、26.67 mg/mL 柠檬酸和 6.67 mg/mL 时, 侵染面积比为 0.03%, 处理麦秸板的抑菌效果最佳; 复合配方中肉桂醛、柠檬酸和水杨酸的浓度均为 16.67 mg/mL 时, 侵染面积比例为 0.52%, 处理毛白杨的抑菌效果最佳。

3) 采用优化配方复配的肉桂醛、柠檬酸、水杨酸防霉剂的抑菌性能显著强于相同浓度下柠檬酸和水杨酸单方防霉剂处理杨木的防霉性能, 同时与肉桂醛单一配方防霉剂相比, 可以在保证防霉剂防霉效力的前提下降低肉桂醛的使用量、节约成本。

参考文献:

- [1] 李文萍, 高怀智, 刘毅, 等. 防霉型杨木单板制备及性能研究[J]. 林产工业, 2019, 56(11): 28-32, 42.
LI W P, GAO H Z, LIU Y, et al. Study on preparation and properties of anti-mildew poplar veneers[J]. China Forest Products Industry, 2019, 56(11): 28-32, 42.
- [2] 李万菊, 王昊, 安晓静, 等. 糠醇树脂改性对竹材物理、力学及防霉性能的影响[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(2): 133-138.
LI W J, WANG H, AN X J, et al. Effects of furfurylation on the physical, mechanical and mold proof performance of bamboo[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(2): 133-138.
- [3] 张建, 袁少飞, 范慧, 等. 5种防腐防霉剂对重组竹材抑菌效果的影响[J]. 浙江林业科技, 2016, 36(5): 8-12.
ZHANG J, YUAN S F, FAN H, et al. Effect of different antimildew and antiseptic agents on reconstructed bamboo timber[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2014, 36(2): 133-138.
- [4] Thiis T K, Burud I, Kraniotis D, et al. The role of transient wetting on mould growth on wooden claddings. Energy Procedia, 2015(78): 249-254.
- [5] 张宏, 胡迪, 张晓春, 等. 户外用竹材重组材防霉性能研究[J]. 浙江林业科技, 2015, 35(3): 1-5.
ZHANG H, HU D, ZHANG C H, et al. Experiment on anti-mold performance of different treated bamboo scrimber[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2015, 35(3): 1-5.
- [6] 黄晓东, 黄俊昆, 许忠允, 等. 淀粉酶处理对竹材防霉性能的影响[J]. 林业工程学报, 2019, 4(3): 60-65.
HUANG X D, HUANG J K, XU Z Y, et al. Study on the mold-resistant properties of moso bamboo treated with starch amylase[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(3): 60-65.
- [7] 杨乐, 鲍滨福, 孙芳利, 等. 2种新型防霉剂对刨花板的防霉性能[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(1): 7-12.
YANG L, BAO B F, SUN F L, et al. Mould-resistance of two new preservatives on particleboard[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2011, 28(1): 7-12.
- [8] 宋剑刚, 陈永兴, 王进, 等. 竹材表面 ZnO 的低温制备及其防霉性能研究[J]. 林业工程学报, 2017, 2(4): 19-23.
SONG J G, CHEN Y X, WANG J, et al. Low-temperature fabrication and antifungal performance of ZnO nanostructures on bamboo surface[J]. Journal of Forestry Engineering, 2017, 2(4): 19-23.
- [9] 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霉抑菌效果[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.
- [10] 王杰, 廖颖艺, 罗刚, 等. 壳聚糖铜配合物与有机 EP 对慈竹的防霉效果[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(2): 81-84.
WANG J, LIAO Y Y, LUO G, et al. Anti-mold effects of CCC and organic EP on Neosinocalamus affinis[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2017, 45(2): 81-84.
- [11] 余辉龙, 杜春贵, 刘宏治, 等. 竹材防霉研究进展与发展前景[J]. 竹子学报, 2016, 35(2): 46-51.
YU H L, DU C G, LIU H Z, et al. Advance in anti-mildew research of bamboo[J]. Journal of Bamboo Research, 2016, 35(2): 46-51.
- [12] Bi Z J, Yang F X, Lei Y F, et al. Identification of antifungal compounds in konjac flying powder and assessment against wood decay fungi. Industrial Crops & Products, 2019(140): 1-7.
- [13] Panahirad S, Nahandi F Z, Safaralizadeh R, Alizadeh-Salteh S. Postharvest control of Rhizopus stolonifer in peach (*Prunus persica* L. Batsch) fruits using salicylic acid. Journal of Food Safety, 2012(32): 502-507.
- [14] Cheng S S, Liu J Y, Chang E H, Chang S T. Antifungal activity of cinnamaldehyde and eugenol congeners against wood-rot fungi. Bioresource Technology, 2008, 99(11): 5145-5149.
- [15] 侯瑞光, 李贤军, 刘元, 等. 低分子量脲醛树脂浸渍速生杨木工艺初步研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(1): 122-125.
HOU R G, LI X J, LIU Y, et al. Study on impregnation technology by using UF resin for fast-grown poplar wood[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(1): 122-125.
- [16] 陈王戈, 余雁, 卢狄耿. 国内外麦秸板的研究、生产及发展[J]. 世界林业研究, 2002(1): 36-42.
CHEN E Y, YU Y, LU D G. The research, production and development of wheat straw board inside and outside China[J]. World Forestry Research, 2002(1): 36-42.
- [17] 刘红光, 罗斌, 申士杰, 等. 秆建材的研究与发展现状概述[J]. 林业机械与木工设备, 2019, 47(5): 4-12.
LIU H G, LUO B, SHEN S J, et al. Review of research and development of straw building materials[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2019, 47(5): 4-12.
- [18] 赵毅力, 徐丹, 张雁. 基于 ImageJ 的数字图像处理课程实验教学案例[J]. 计算机与现代化, 2016, 247(3): 68-71, 77.
ZHAO Y L, XU D, ZHANG Y. Experiment teaching case of digital Image processing course based on Image J[J]. Computer and Modernization, 2016, 247(3): 68-71, 77.
- [19] 张宽朝, 魏练平, 沈浩, 等. 肉桂醛、柠檬醛抑制黑曲霉生长的比较研究[J]. 中国微生物学杂志, 2011, 23(2): 141-143.
ZHANG K C, WEI L P, SHEN H, et al. Comparative study of inhibitive effect of cinnamaldehyde and citral upon *Aspergillus niger* growth[J]. Chinese Journal of Microecology, 2011, 23(2): 141-143.

(本文编校 孟凡丹、向 琴)