

DOI:10.12171/j.1000-1522.20210010

甲氧基丙烯酸酯类制剂的木材防腐性能研究

张景朋 蒋明亮 马星霞 张 斌

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要:【目的】木材防腐处理是延长木材使用寿命, 减少森林砍伐, 保护生态环境的有效方法。本研究对甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂、碘代丙炔基丁基氨基甲酸酯 (IPBC) 和 4,5-二氯正辛基-4-异噻唑啉-3-酮 (DCOIT) 的防腐性能进行了系统测试, 旨在筛选出生态友好型木材防腐制剂, 丰富木材防腐剂体系。【方法】采用抑菌圈法测试啞菌酯、醚菌酯、吡唑醚菌酯、IPBC 和 DCOIT 这 5 种候选药剂对白腐菌和褐腐菌的抑菌活性, 优选出高活性药剂; 将筛选出的药剂制备成水基化制剂处理辐射松和毛白杨边材, 通过室内耐腐试验探究不同载药量水平下处理材的耐腐性能。【结果】抑菌圈试验结果显示: 啞菌酯、吡唑醚菌酯、DCOIT 和 IPBC 对褐腐菌和白腐菌的抑制效果均较好, 其中吡唑醚菌酯和 IPBC 抗菌效果优于对照药剂丙环唑。防腐处理的辐射松试材对白腐菌和褐腐菌的抑菌测试中, 载药量约为 $0.21 \sim 0.46 \text{ kg/m}^3$ 的啞菌酯处理材和吡唑醚菌酯处理材的质量损失率分别在 $3.1\% \sim 7.9\%$ 和 $3.5\% \sim 7.8\%$, 载药量约为 $0.22 \sim 0.45 \text{ kg/m}^3$ 的 IPBC 处理材的质量损失率在 $0.9\% \sim 5.6\%$ 。所有药剂处理的毛白杨试样, 在各载药量水平下比未处理试样的耐腐朽性能有很大提高, 但它们的质量损失率仍然较大, 对毛白杨防腐处理不建议使用此类防腐剂。【结论】本研究中制备的吡唑醚菌酯和啞菌酯制剂与对照药剂丙环唑抗菌效果相当, IPBC 制剂抗菌效果优于丙环唑, 均可作为新型木材防腐剂进一步开发利用。

关键词: 木材; 甲氧基丙烯酸酯; 碘代丙炔基丁基氨基甲酸酯; 抑菌圈; 室内耐腐

中图分类号: S781.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2021)03-0131-07

引文格式: 张景朋, 蒋明亮, 马星霞, 等. 甲氧基丙烯酸酯类制剂的木材防腐性能研究 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(3): 131-137. Zhang Jingpeng, Jiang Mingliang, Ma Xingxia, et al. Wood decay performance of strobilurins preservatives [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(3): 131-137.

Wood decay performance of strobilurins preservatives

Zhang Jingpeng Jiang Mingliang Ma Xingxia Zhang Bin

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] Wood preservative treatment is an effective way to prolong the lifespan of wood, reduce deforestation and further improve the ecological environment. In this study, in order to provide a basis for the development of eco-friendly wood preservatives and enrich the wood preservative system, the decay performance of a series of methoxyacrylate fungicides, iodopropynyl butyl carbamate (IPBC) and 4,5-dichloro-N-octyl-4-isothiazolin-3-one (DCOIT) has been systematically screened. [Method] In order to discover novel agents with high-activity to control wood rot fungus, the inhibition zone method was used to test the antifungal activity of 5 candidate agents (azoxystrobin, kresoxim-methyl, pyraclostrobin, IPBC and DCOIT) against wood rot fungus. Then the high-activity agents were prepared into water-based formulations, and the method for lab sand block test was used to evaluate interior decay resistance of treated materials at different levels of drug retention. [Result] The inhibition zone results indicated that azoxystrobin, pyraclostrobin, DCOIT and IPBC showed good inhibitory effects on brown rot fungi and

收稿日期: 2021-01-11 修回日期: 2021-02-19

基金项目: 中央公益性科研院所基金重点项目 (CAFYBB2019ZB008)。

第一作者: 张景朋, 博士, 助理研究员。主要研究方向: 木材及古建筑木结构保护。Email: zhangjp@caf.ac.cn 地址: 100091 北京市海淀区东小府 2 号中国林业科学研究院木材工业研究所。

责任作者: 马星霞, 博士, 副研究员。主要研究方向: 木材及古建筑木结构保护。Email: mxxyln@139.com 地址: 同上。

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

white rot fungi. Especially, pyraclostrobin and IPBC exhibited high antibacterial effects, which were higher than the control agent propiconazole. For the preservative treated radiata pine material under the chemical retention of about 0.21–0.46 kg/m³, the mass loss rates of treatment material by azoxystrobin and pyraclostrobin for white rot fungi and brown rot fungi were 3.1%–7.9% and 3.5%–7.8%, respectively. Moreover, the mass loss rate of IPBC treatment radiata pine material was 0.9%–5.6% under the chemical retention of about 0.2 kg/m³. The lab sand block test of the preservative treated *Populus tomentosa* results showed that the decay resistance of all the treated samples at different chemical retention levels was much better than that of the untreated samples. However, their mass loss rate was still large. It is not recommended to use this kind of fungicides for the preservative treatment of *Populus tomentosa*. [Conclusion] In this study, the antifungal activity of pyraclostrobin and azoxystrobin formulations is equivalent to the control agent propiconazole, and antifungal effect of IPBC is better than propiconazole. So they could be further developed and utilized as a novel wood preservative.

Key words: wood; strobilurins; iodopropynyl butyl carbamate; zone of inhibition; interior decay resistance

木材作为质量轻、强重比大、可持续利用的材料已成为多数国家工程建设中的重要原材料^[1]。然而木材作为一种生物材料,独特的结构组成使其天然耐久性较差,在生长期间或加工使用过程中极易遭受真菌、霉菌或细菌等微生物的侵害^[2–4]。因此,应采取相应的防护措施阻止微生物危害木材,延长其使用寿命。在古建筑木结构的维修保护中,对木构件进行防腐处理也是有效的预防性保护措施^[5]。过去国内防腐剂主要使用砷化铬酸铜(chromated copper arsenate, CCA),由于铬和砷都是有害重金属,会对人体和环境造成伤害,目前美国、欧盟及日本等国家相继禁止和限制使用CCA处理木材^[6]。氨溶烷基胺铜(alkaline copper quat, ACQ)处理木材具有较好的防腐和防白蚁性能,同时抗流失性能优良,但应用成本高是限制其使用的重要原因。铜唑防腐剂是一种环保型高效防腐剂^[7–8],广泛应用在木竹材、胶合板和重组木等材料上^[9–10],已在国内多家企业进行生产应用,但是作为铜系防腐剂,与CCA和ACQ同样具有较深的颜色,处理后的木材不能保持其本色,且对木结构的金属连接件具有腐蚀作用^[11],这在一定程度上限制了此类防腐剂的使用范围,也不利于在古建筑木结构保护中使用。因此,研发制备新型水载型有机防腐剂显得尤为重要。

甲氧基丙烯酸酯类(Strobilurins)杀菌剂是来源于具有杀菌活性的天然抗生素 Strobilurin A,自其被发现杀菌活性以来,经过20多年的结构优化和生物活性验证,终使此类杀菌剂开发成功,在杀菌剂开发史上树立了继三唑类杀菌剂之后又一个新的里程碑^[12]。Strobilurins类杀菌剂的作用机制是抑制菌体细胞内线粒体的呼吸作用,破坏细胞中能量的合成,从而对致病菌体孢子的萌发、菌丝的生长和孢子的形成等生长过程产生抑制作用^[13]。噻菌酯、醚菌酯和吡唑

醚菌酯是甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂典型代表,具有高效、广谱、低毒等特点,对几乎所有的真菌(子囊菌纲、担子菌纲、卵菌纲和半知菌类)病害均有良好的活性,因此是一类防治木材腐朽菌(子囊菌纲、担子菌纲)的潜在药剂。而且由于无色处理木材的优点,其在古建筑木结构保护中具有重要的研究价值。

碘代丙炔基丁基氨基甲酸酯(iodopropynyl butyl carbamate, IPBC)是由碘代丙炔基和丁基氨基甲酸酯基团组成的有机碘化合物,对霉菌、酵母菌和藻类具有很强的抑杀作用,其抗菌作用机制主要是通过分子链上的碘和微生物细胞中酶活性部位的巯基或羟基进行反应,造成酶失去活性,微生物死亡^[14–15]。4,5-二氯正辛基-4-异噻唑啉-3-酮(4,5-dichloro-N-octyl-4-isothiazolin-3-one, DCOIT)是一种含硫原子和氮原子的异噻唑啉酮类的五元杂环化合物,其对真菌和藻类具有较好的活性,DCOIT杀菌机制主要是通过穿透微生物的细胞膜进入细胞内部,其N-S键易被微生物蛋白中的胺基打开,且与之结合,从而阻断微生物新陈代谢将其杀死实现抗菌作用^[16–17]。目前,对IPBC的研究多集中在木材防霉、防变色等性能方面^[18],对其防腐性能的研究较少;DCOIT已于2007年被美国国际法规委员会批准为木材专用防腐剂,但国内以其作为木材防腐剂的使用并不是很多。鉴于IPBC和DCOIT作为活性谱广且作用机制不同的杀菌化合物,为扩大甲氧基丙烯酸酯类药剂抑制木材腐朽菌的横向对比范围,在生物活性测试中将它们作为对比化合物,另一方面,亦可作为扩展IPBC的使用范围,以及明确DCOIT作为木材防腐剂使用时用量的初步研究。

本研究通过抑菌圈测试探究了不同甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂、IPBC和4,5-二氯正辛基-4-异噻唑啉-3-酮对腐朽菌的抑制活性,以列入国家标准的药

剂丙环唑为对照,筛选出有效化合物及其适宜的浓度。并进一步制备有效化合物的水基化制剂处理木材,进行室内耐腐测试,研究其处理材的防腐性能。本研究对开发甲氧基丙烯酸酯类有机木材防腐剂提供了重要研究基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

采用新西兰辐射松(*Pinus radiata*)和毛白杨(*Populus tomentosa*)为试验树种。选取无明显节子、蓝变等缺陷的边材,锯解成尺寸 20 mm(径向)× 20 mm(弦向)× 10 mm(顺纹方向)的试件,自然气干备用。

噁菌酯,质量分数 ≥ 95%,白色粉末;醚菌酯,质量分数 ≥ 95%,白色固体;吡唑醚菌酯,质量分数 ≥ 98%,白色粉末;IPBC,质量分数 ≥ 99%,白色粉末;DCOIT,质量分数 ≥ 98%,白色粉末;丙环唑,质量分数 ≥ 95%,褐色黏稠状液体。其中噁菌酯、醚菌酯和吡唑醚菌酯购买自温州绿佳进出口贸易有限公司,IPBC 购买自上海汇龙化工有限公司,DCOIT 购买自北京桑普生物化学技术有限公司。

褐腐菌选用密黏褶菌(*Gloeophyllum trabeum*),白腐菌选用彩绒革盖菌(*Trametes versicolor*)。本实验室储存的标准菌株。

1.2 研究方 法

1.2.1 抑 菌 圈 试 验

参照《中华人民共和国药典》^[19] 中的抗生素微生物检定法,采用抑菌圈试验法。各药剂均以 50% 乙醇为溶剂,配制 3 个质量分数(0.01%, 0.03%, 0.10%)的药液。在超净工作台上,将菌悬液涂布在马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基上,同时在培养皿中放 4 只牛津杯,用移液器分别滴入 0.3 mL 的不同质量分数的药液,乙醇溶剂为对照。将培养皿在(28 ± 2)℃、相对湿度 80 % 的恒温恒湿箱中培养 2 周后,测量各个抑菌圈直径,直径越大,药剂的抑菌性越好。各试验条件下重复 3 次,检测值取其算术平均值。

1.2.2 室内耐腐试验

称取甲氧基丙烯酸酯原药(噁菌酯、醚菌酯和吡唑醚菌酯的一种)5 g,加入混合溶剂(乙醇和异丙醇)15 g,并加入三苯乙基苯酚聚氧乙烯聚氧丙烯醚 17.5 g,搅拌溶解后加水 12.5 g 得 10% 乳液。根据试验要求分别稀释成质量分数为 0.028%、0.040% 和 0.056% 的药液。DCOIT 和 IPBC 制剂的制备方法参考中国发明专利 CN201810820686.7^[20]。

采用真空处理方法,处理前先将试件气干至含水率小于 20%,称质量,将试件放入浸注装置中,注入药液,置于真空干燥箱中,抽真空至-0.09 MPa,保持压力 10 min,恢复常压浸渍 10 min。处理完毕后取出木块,用滤纸擦去表面药液,称质量,计算试件载药量,将处理后的试件置于通风处,气干 21 d 备用。试件中防腐剂的载药量计算如下式:

$$R = (m_2 - m_1)c/V \times 10^3$$

式中: R 为试件中防腐剂的载药量,kg/m³; m_1 为试件吸药前质量,g; m_2 为试件吸药后质量,g; c 为防腐剂中有效成分质量分数; V 为防腐处理试件的体积,cm³。

参照 LY/T 1283—2011《木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法》^[21],分别进行白腐菌和褐腐菌的侵染处理,测定处理试样的质量损失率,每组试验 6 个重复,结果取平均值。质量损失率计算公式如下式:

$$L = (m_3 - m_4)/m_3 \times 100\%$$

式中: L 为试件质量损失率,%; m_3 为试件腐朽前恒质量,g; m_4 为试件腐朽后恒质量,g。

2 结果与分 析

2.1 抑 菌 圈

试验以 50% 乙醇作为空白对照,结果显示其对测试菌种无活性,丙环唑是已列入国家标准的木材防腐剂,作为阳性对照。5 种药剂对白腐菌和褐腐菌的抑菌圈试验结果分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 不同药剂对褐腐菌的抑菌圈直径

Tab. 1 Diameters of inhibition zones by different chemicals against brown rot fungus mm

药剂 Chemical	药液质量分数 Mass fraction of chemical solution		
	0.01%	0.03%	0.10%
噁菌酯 Azoxystrobin	40.8	45.5	> 49
醚菌酯 Kresoxim-methyl	18.4	26.6	32.7
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	39.8	> 49	> 49
4,5-二氯正辛基-4-异噻唑啉-3-酮 4,5-dichloro-N-octy-4-isothiazolin-3-one (DCOIT)	30.7	44.8	> 49
碘代丙炔基丁基氨基甲酸酯 Iodopropynyl butyl carbamate (IPBC)	41.9	> 49	> 49
丙环唑 Propiconazole	38.9	> 49	> 49

表 2 不同药剂对白腐菌的抑菌圈直径

Tab. 2 Diameters of inhibition zones by different chemicals against white rot fungus mm

药剂 Chemical	药液质量分数 Mass fraction of chemical solution		
	0.01%	0.03%	0.10%
噻菌酯 Azoxystrobin	0	14.8	22.3
醚菌酯 Kresoxim-methyl	0	0	0
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	25.8	47.9	> 49
DCOIT	0	12.9	19.8
IPBC	26.4	38.2	> 49
丙环唑 Propiconazole	16.4	32.6	42.6

由表 1 数据可以看出: 5 种候选药剂中, 除了醚菌酯对褐腐菌的抑菌效果稍差外, 其他药剂对褐腐菌均表现出较高的抑菌效果。各药剂对褐腐菌的抑菌圈直径随其质量分数升高而增大, 即质量分数越高抗菌效果越好。在药液质量分数 0.10% 下, 除了醚菌酯抑菌圈直径仅为 32.7 mm, 其他 4 种药剂直径均大于 49 mm, 与对照丙环唑的活性相当; 在药液质量分数 0.03% 下, 吡唑醚菌酯和 IPBC 的抑菌圈直径大于 49 mm, 依然能表现出与丙环唑相当的活性, 而噻菌酯和 DCOIT 的活性稍低于丙环唑的; 尤其在低质量分数 0.01% 时, 噻菌酯、吡唑醚菌酯和 IPBC 抑菌圈直径均大于丙环唑的抑菌圈直径, 活性高于对照药剂。

由表 2 数据可以看出: 5 种候选药剂中, 除了醚菌酯对白腐菌没有抑菌效果外, 其他药剂对白腐菌均表现一定的抑菌效果, 丙环唑抑菌效果与席丽霞等^[22]的研究结果一致。同样的, 各药剂对白腐菌的抑菌圈直径随其质量分数的升高而增大, 即质量分数越高, 抗菌效果越好。在药液质量分数 0.10% 下, 吡唑醚菌酯和 IPBC 的抑菌圈直径均大于 49 mm, 而对照药剂丙环唑的抑菌圈直径仅为 42.6 mm, 活性显著高于丙环唑; 噻菌酯和 DCOIT 的抑菌圈直径分别为 22.3 和 19.8 mm, 活性不突出, 与 0.01% 丙环唑的作用效果相当。在药液质量分数 0.03% 和 0.01% 下, 以上药剂表现出相同的活性规律。醚菌酯即使在高质量分数下对白腐菌仍没有抑菌效果。

综上分析, 5 种候选药剂中, 噻菌酯、吡唑醚菌酯、DCOIT 和 IPBC 对褐腐菌抑制效果均较好, 噻菌酯和 DCOIT 对白腐菌效果不突出, 吡唑醚菌酯和 IPBC 抗白腐菌和褐腐菌效果优于对照药剂丙环唑; 醚菌酯对白腐菌和褐腐菌抑制效果均不明显。因此选用噻菌酯、吡唑醚菌酯、DCOIT 和 IPBC 制备制剂, 进行室内耐腐试验, 进一步确定其防腐处理材的耐腐性能。

2.2 室内耐腐

经不同制剂处理的辐射松室内耐腐试验结果如表 3 所示。表 3 数据表明: 噻菌酯处理材在 3 种载药量水平下, 白腐菌腐朽后的质量损失率大约 7.0%, 褐腐菌腐朽后的质量损失率接近 3.0%, 与对照药剂丙环唑相比活性相当, 具有户外使用的潜力, 室外耐久性试验时, 推荐 0.30 kg/m³ 的载药量为室外试验条件下的参考载药量。吡唑醚菌酯的处理材, 载药量约为 0.30 kg/m³ 时, 对于白腐菌和褐腐菌, 处理材质量损失率都小于 5.0%, 与对照药剂丙环唑活性在同一水平, 室外耐久性试验时, 推荐此载药量作为室外试验条件下的参考载药量。DCOIT 的处理材在 3 种载药量水平下, 对褐腐菌的质量损失率均小于 5.0%; 但对白腐菌, 0.20 kg/m³ 时质量损失率虽低于 10.0%, 但出现了随载药量增加, 辐射松处理材质量损失率反而增加的现象, 即使在最高载药量水平下其处理材质量损失率仍然较高。对照抑菌圈测试结果分析, DCOIT 对白腐菌的抑菌活性相对差一些, 0.20 kg/m³ 时质量损失率较低也许是偶然因素, 载药量提高至 0.42 kg/m³ 时对白腐菌的作用仍然有限, 在作为木材防腐剂使用时需要和其他对白腐菌抑菌活性高的药剂复配, 或采取其他增效办法使用。

表 3 辐射松室内耐腐试验结果

Tab. 3 Results of lab sand block test using *Pinus radiata*

药剂 Chemical	白腐菌 White rot fungus		褐腐菌 Brown rot fungus	
	载药量 Chemical retention/ (kg·m ⁻³)	质量损失率 Mass loss rate/%	载药量 Chemical retention/ (kg·m ⁻³)	质量损失率 Mass loss rate/%
噻菌酯 Azoxystrobin	0.21	7.6 ± 0.5	0.22	3.3 ± 0.4
	0.33	7.9 ± 1.0	0.31	4.1 ± 0.3
	0.44	6.0 ± 0.8	0.44	3.1 ± 0.3
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	0.22	7.8 ± 1.1	0.22	3.5 ± 0.3
	0.31	4.1 ± 0.1	0.31	4.0 ± 0.6
	0.46	6.4 ± 0.2	0.45	4.3 ± 0.4
DCOIT	0.20	9.7 ± 3.6	0.20	3.1 ± 0.4
	0.28	24.0 ± 1.2	0.29	1.7 ± 0.2
	0.42	18.5 ± 1.6	0.41	3.4 ± 0.4
IPBC	0.22	5.6 ± 0.5	0.22	0.9 ± 0.3
	0.33	1.8 ± 0.2	0.32	1.6 ± 0.3
	0.45	1.2 ± 0.2	0.45	1.6 ± 0.0
丙环唑 Propiconazole	0.22	4.7 ± 0.5	0.21	6.7 ± 0.6
	0.30	3.6 ± 0.2	0.31	5.9 ± 0.5
	0.45	3.7 ± 0.3	0.44	7.4 ± 0.6
未处理 Untreated	0	41.6 ± 4.2	0	18.5 ± 1.7

IPBC 的处理材在 3 种载药量水平下,对于白腐菌和褐腐菌,处理材的质量损失率均极低,表现出比丙环唑处理材更高的防腐性能,是一种理想的户外使用防腐药剂,室外耐久性试验时,推荐 0.20 kg/m³ 的载药量为参考载药量。以上药剂室内耐腐试验结果与抑菌圈试验结果一致,在 0.20 kg/m³ 的载药量水平下,各药剂处理材和未处理材被白腐菌腐朽后的辐射松试件形貌如图 1 所示。

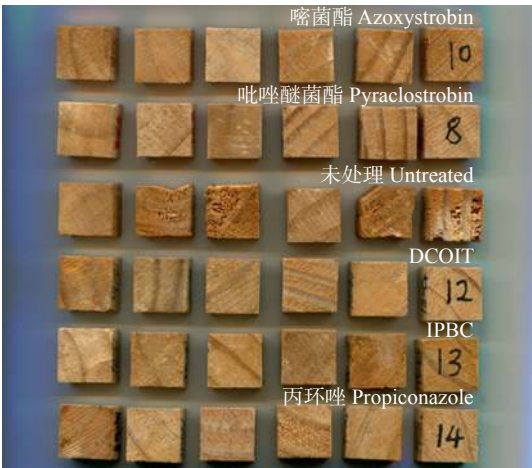


图 1 室内耐腐试验后的辐射松试件照片

Fig. 1 Pictures of *Pinus radiata* specimens after lab sand block test

经不同制剂处理的毛白杨室内耐腐试验结果如表 4 所示。从未处理的对照样腐朽情况来看,试验用毛白杨天然耐腐性极差,褐腐菌侵染质量损失率为 81.6%,白腐菌侵染后质量损失率为 92.9%。4 种制剂处理的毛白杨试样,在各载药量水平下比未处理试样的耐腐朽性能有很大提高,但它们的质量损失率仍然较大,即使是对照药剂丙环唑处理材,也具有同样水平的质量损失率,因此对杨木防腐处理不建议使用此类水载型防腐剂。吡唑醚菌酯和 IPBC 处理材在白腐菌和褐腐菌作用下的质量损失率与丙环唑的质量损失率相当或略小,这两种药剂具有丙环唑相似的抗菌性能;嘧菌酯和 DCOIT 处理材在白腐菌和褐腐菌作用下的质量损失率大于丙环唑的质量损失率,这两种药剂抗菌活性不如丙环唑。

杨木和辐射松在相同药剂处理条件下,它们的防腐效果差异很大,这是它们之间的构造差异造成的^[23]。杨木属于阔叶材,辐射松属于针叶材,一是阔叶材结构中有导管,入侵的腐朽菌沿导管移动速度较快,能够很快分布在整个结构中^[24];二是阔叶材中同时含有紫丁香基木质素和愈疮木基木质素,而针叶材主要含有愈疮木基木质素,腐朽菌能较好地利用紫丁香基木质素,而对愈疮木基木质素的利用能力较弱^[25-26]。

表 4 毛白杨室内耐腐试验结果

Tab. 4 Results of lab sand block test using *Populus tomentosa*

药剂 Chemical	白腐菌 White rot fungus		褐腐菌 Brown rot fungus	
	载药量 Chemical retention/ (kg·m ⁻³)	质量损失率 Mass loss rate/%	载药量 Chemical retention/ (kg·m ⁻³)	质量损失率 Mass loss rate/%
嘧菌酯 Azoxystrobin	0.17	51.9 ± 6.9	0.15	53.4 ± 3.5
	0.24	44.3 ± 6.3	0.27	39.5 ± 5.5
	0.32	41.6 ± 3.7	0.31	27.8 ± 4.3
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	0.18	38.8 ± 5.1	0.18	36.8 ± 4.6
	0.24	33.5 ± 3.4	0.24	23.9 ± 3.3
	0.36	28.6 ± 3.8	0.36	14.2 ± 3.5
DCOIT	0.14	69.8 ± 4.5	0.16	55.4 ± 7.9
	0.24	76.9 ± 3.8	0.22	54.5 ± 3.1
	0.32	68.7 ± 7.4	0.31	58.5 ± 6.0
IPBC	0.14	34.1 ± 3.7	0.16	40.2 ± 5.8
	0.23	15.0 ± 2.8	0.21	24.1 ± 1.7
	0.34	5.0 ± 0.2	0.35	14.5 ± 2.0
丙环唑 Propiconazole	0.17	32.3 ± 4.1	0.17	31.5 ± 1.8
	0.23	43.6 ± 7.1	0.25	28.2 ± 3.6
	0.32	22.6 ± 1.5	0.33	21.1 ± 1.4
未处理 Untreated	0	92.9 ± 2.3	0	81.6 ± 2.9

抑菌圈试验和室内耐腐试验结果显示:各药剂在两种测试中活性规律一致,为有效药剂的户外使用提供了重要研究基础。吡唑醚菌酯和 IPBC 处理材的野外耐久性性能试验正在进行中,将为进一步工业化应用奠定基础。此外,甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂作为农药在农作物上使用时一般要求可降解性好,以减少在农作物上的残留,而在木材防腐中则要求药剂稳定性高,户外使用持效期长。因此,在将此类药剂应用于木材防腐之前,还需进行药剂在户外的抗老化性(热、光等因素)和抗流失性能的研究。

3 结 论

采用抑菌圈和室内耐腐试验,研究了甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂、IPBC 和 DCOIT 对白腐菌和褐腐菌的抑菌性能,比较分析了各药剂的活性差异,得出以下结论:

(1)5 种候选药剂中,嘧菌酯、吡唑醚菌酯和 IPBC 对白腐菌和褐腐菌的抑制效果较好,其中嘧菌酯和吡唑醚菌酯与对照药剂丙环唑抗菌效果相当,IPBC 抗菌效果优于丙环唑。

(2)室内辐射松耐腐试验中,嘧菌酯和吡唑醚菌酯在载药量约为 0.30 kg/m³ 时,对于白腐菌和褐腐

菌,处理材质量损失率约为5.0%,与对照药剂丙环唑活性在同一水平,室外耐久性试验时推荐 0.30 kg/m^3 为参考载药量;IPBC的处理材在3种载药量水平下,对于白腐菌和褐腐菌,均表现出比丙环唑处理材更高的防腐性能,室外耐久性试验时推荐 0.20 kg/m^3 为参考载药量。

(3)所有制剂的毛白杨处理材防腐性能均较差,不能达到强耐腐等级,杨木防腐处理不建议使用此类水载型防腐剂。

参 考 文 献

- [1] 孙芳利, Prosper N K, 吴华平, 等. 木竹材防腐技术研究概述[J]. 林业工程学报, 2017, 2(5): 1-8.
Sun F L, Prosper N K, Wu H P, et al. A review on the development of wood and bamboo preservation[J]. Journal of Forestry Engineering, 2017, 2(5): 1-8.
- [2] Goodell B, Nicholas D D, Suchultz T P. Wood deterioration and preservation: advances in our changing world[M]. Washington: American Chemical Society, 2003.
- [3] 杨忠, 江泽慧, 费本华. 木材初期腐朽研究综述[J]. 林业科学, 2006, 42(3): 99-103.
Yang Z, Jiang Z H, Fei B H. Review of literature on incipient decay in wood[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(3): 99-103.
- [4] 葛晓雯, 王立海, 侯捷建, 等. 褐腐杨木微观结构、力学性能与化学成分的关系研究[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(10): 112-122.
Ge X W, Wang L H, Hou J J, et al. Relationship among microstructure, mechanical properties and chemical compositions in *Populus cathayana* sapwood during brown-rot decay[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(10): 112-122.
- [5] 马星霞, 王艳华, 贺大龙. 古建筑木结构病害与保护[M]. 北京: 中国林业出版社, 2021.
Ma X X, Wang Y H, He D L. Diseases and protection of ancient wooden structure[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2021.
- [6] 曹金珍. 国外木材防腐技术和研究现状[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 120-126.
Cao J Z. A review on wood preservation technologies and research[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(7): 120-126.
- [7] Williams G, Cornfield J A, Brown J, et al. Preservatives for wood and other cellulosic materials: U. S. Patent 5, 916, 356 [P]. 1999-01-29.
- [8] 席丽霞, 蒋明亮, 马星霞. 三唑制剂及其铜唑制剂处理材的防腐性能[J]. 木材工业, 2015, 29(3): 14-17.
Xi L X, Jiang M L, Ma X X. Decay resistance of wood treated with triazole and copper triazole preservative[J]. China Wood Industry, 2015, 29(3): 14-17.
- [9] 张景朋, 王朝晖, 马星霞, 等. 木结构覆板用胶合板的防腐处理工艺及性能评价[J]. 木材工业, 2020, 34(3): 18-21.
Zhang J P, Wang Z H, Ma X X, et al. Evaluation of processing technology and performance of preservative-treated plywood for wood-frame structures[J]. China Wood Industry, 2020, 34(3): 18-21.
- [10] 鲍敏振, 于文吉, 陈玉和, 等. 铜唑防腐剂对杨木重组木防腐性能及物理力学性能的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(1): 165-170.
Bao M Z, Yu W J, Chen Y H, et al. Effects of CuAz preservative on the antiseptic performance and physical and mechanical properties of poplar scrimber[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2020, 37(1): 165-170.
- [11] 王卿平, 曹金珍, 张景朋, 等. 含三唑复合防腐剂及其竹处理材的金属腐蚀性能[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(10): 128-136.
Wang Q P, Cao J Z, Zhang J P, et al. Metal corrosion performance of triazole-containing compound preservatives and treated bamboo[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(10): 128-136.
- [12] 赵培亮. 新型 Strobilurins 衍生物的设计、合成及生物活性研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2008.
Zhao P L. Design synthesis and bioactivity of novel strobilurin derivatives[D]. Wuhan: Huazhong Normal University, 2008.
- [13] Bartlett D W, Clough J M, Godwin J R, et al. The strobilurin fungicides[J]. Pest Management Science, 2002, 58(7): 649-662.
- [14] Hansen J. IPBC: a new fungicide for wood protection[J]. Modern Paint and Coatings, 1984, 74(11): 50-56.
- [15] 顾学斌, 王磊, 马振瀛. 抗菌防腐技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
Gu X B, Wang L, Ma Z Y. Technical manual of antifungal[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2018.
- [16] Williams T M. The mechanism of action of isothiazolone biocides[J]. Power Plant Chemistry, 2007, 9(1): 14-22.
- [17] 张俊博. 异噻唑啉酮类化合物在黄瓜灰霉病及菌核病防治中的应用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
Zhang J B. The study of isothiazolinones applied in controlling gray mould and sclerotinia on cucumber[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [18] Frazer F W. Compositions for the treatment of timber and other wood substrates: U. S. Patent 8, 927, 063 [P]. 2015-01-06.
- [19] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
State Pharmacopoeia Committee of China. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [20] 蒋明亮, 李晓文, 张景朋, 等. 一种木竹材防腐防腐改性组合剂及处理木竹材的方法: 中国, CN201810820686.7[P]. 2018-12-18.
Jiang M L, Li X W, Zhang J P, et al. The combination modifier of

- preservative and mildew resistant and method for treating wood and bamboo materials: China, CN201810820686.7[P]. 2018-12-18.
- [21] 中华人民共和国国家林业局. 木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法: LY/T 1283-2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- National Forestry Administration of the People's Republic of China. Method of laboratory test for toxicity of wood preservatives to decay fungi: LY/T 1283-2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [22] 席丽霞, 马星霞, 蒋明亮. 三唑制剂的防腐及防白蚁性能[J]. [林业科学](#), 2013, 49(7): 123-128.
- Xi L X, Ma X X, Jiang M L. Decay and termite resistant performance of triazole preservatives[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(7): 123-128.
- [23] 刘一星, 赵广杰. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- Liu Y X, Zhao G J. Wood science[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012.
- [24] 汪亮, 曹金珍, 姜卸宏. 蒙脱土-DDAC 复合防腐剂处理杨木的性能及表征[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 242-246.
- Wang L, Cao J Z, Jiang X H. Properties and characterization of poplar wood treated with the montmorillonite-DDAC compound preservative[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(4): 242-246.
- [25] Highley T L. Influence of type and amount of lignin on decay by *Coriolus versicolor*[J]. [Canadian Journal of Forest Research](#), 1982, 12(2): 435-438.
- [26] Highley T L, Murmanis L L. Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by the white-rot fungus *Coriolus versicolor*[J]. [Holzforschung](#), 1987, 41(2): 67-71.

(责任编辑 吴娟
责任编辑 赵广杰)