

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2026021

氟虫腈防白蚁胶合板的制备及性能评价

陈秀洁¹, 姜 珲², 张景朋², 张 斌², 马星霞²

(1. 安蔚优环境科技(上海)有限公司, 北京 100010; 2. 中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)



摘要: 我国40%以上的区域有白蚁分布, 其对人造板制品的使用安全构成潜在威胁, 开发防白蚁人造板成为应对措施之一。研究以质量浓度为25 g/L 氟虫腈乳油为防白蚁药剂, 将其添加到脲醛树脂胶黏剂中, 分别在试验室和工厂中制备不同载药量的杨木 (*Populus spp.*)、桉木 (*Eucalyptus spp.*) 胶合板, 评价胶合板的防白蚁性能。结果显示: 氟虫腈在最高载药量 (10.0 g/m³) 时, 其对胶合板胶合强度无明显影响。室内防白蚁试验结果表明, 当氟虫腈载药量为5.0 g/m³时, 除采用厚度为1.7 mm 杨木单板制备的胶合板试样外, 其余试样白蚁蛀蚀完好值均大于9.0; 4.5年室外防白蚁试验结果显示, 当氟虫腈载药量为10.0 g/m³时, 不同厚度单板制备胶合板的白蚁蛀蚀完好值均不低于6.0。采用氟虫腈与胶黏剂混合法制备胶合板时, 建议使用氟虫腈的有效成分在胶黏剂体系中的含量 (质量比) 来表示药剂水平。在本试验条件下制备的杨木和桉木胶合板, 在GB/T 27651—2023《防腐木材的使用分类和要求》中C3.1 (即不接触土壤、表面有保护的户外) 等级的环境中使用, 氟虫腈的有效成分在胶黏剂体系中的含量不宜低于100 mg/kg。研究为开发防白蚁人造板提供参考。

关键词: 氟虫腈; 防白蚁胶合板; 防白蚁性能; 台湾乳白蚁; 杨木; 桉木

中图分类号: TS653.3; S379.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2026) 04-0077-07

Preparation and Performance Evaluation of Fipronil-Treated Plywood

Chen Xiujie¹, Jiang Hui², Zhang Jingpeng², Zhang Bin², Ma Xingxia²

(1. Envu Environmental Science (Shanghai) Co. Limited, Beijing 100010, China;

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

Abstract: Termites occur across more than 40% of China's land area and pose a potential threat to the service safety and durability of wood-based panels. To develop termite-resistant plywood, a 25 g/L fipronil emulsifiable concentrate was incorporated into the adhesive system, and poplar and eucalyptus plywood with different fipronil loadings were manufactured at both laboratory and factory scales. The effects of fipronil addition on termite resistance was evaluated through laboratory and long-term above-ground outdoor exposure tests. The results showed that fipronil at the highest loading investigated (10 g/m³) had no significant adverse effect on the bonding strength of the plywood. In the laboratory termite test, at a fipronil loading of 5 g/m³, the termite resistance rating of all plywood specimens exceeded 9.0, except for poplar plywood manufactured from 1.7-mm-thick veneers. After 4.5 years of above-

收稿日期: 2026-02-02; 修改日期: 2026-07-13

基金项目: 中央公益性科研院所基金平台项目“木质材料功能化处理与评价”(CAFYBB2023PA004)。

作者简介: 陈秀洁 (1989—), 女, 工程师。Email: amanda.chen@envu.com

通讯作者: 马星霞, 女, 研究员。Email: mxxyln@139.com

ground outdoor exposure, plywood manufactured with different veneer thicknesses exhibited termite resistance rating not less than 6.0 at a fipronil loading of 10 g/m³. When plywood is manufactured through the co-blending process of fipronil and adhesive, it is proposed that the preservative treatment level be defined by the mass fraction of fipronil active ingredient in the adhesive system. The developed fipronil-containing plywood is suitable for service conditions corresponding to use category C3.1 specified in GB/T 27651—2023 *Use category and requirements for preservative-treated wood*, namely protected outdoor environments without ground contact. For such applications, the fipronil active ingredient content in the adhesive should be no lower than 100 mg/kg. These findings provide a technical basis for the development and application of termite-resistant wood-based panels.

Key words: fipronil; termite-resistant plywood; termite-resistant performance; *Coptotermes formosanus*; Poplar wood; Eucalyptus wood

我国白蚁种类多且生活范围广, 已有研究表明我国白蚁约 476 种, 在全国陆地面积的 40% 以上区域都有分布, 以长江以南地区活动为主^[1-2], 是造成木质材料生物危害的重要因素之一。在多种白蚁类群中, 鼻白蚁科 (Rhinotermitidae) 的散白蚁属 (*Reticulitermes* spp.) 和乳白蚁属 (*Coptotermes* spp.), 以及白蚁科 (Termitidae) 的土白蚁属 (*Odontotermes* spp.) 等, 对建筑材料、木家具等木制品具有较强的破坏能力^[3]。

白蚁不仅危害实木制品, 也对人造板构成潜在威胁。在白蚁高发区域, 胶合板、刨花板等人造板材同样受到白蚁侵蚀。Tascioglu 等^[4]在为期 36 个月的暴露试验中发现, 未经任何处理的人造板材在试验初期就出现被白蚁侵害迹象, 其中定向刨花板尤为严重。白蚁取食导致板材结构完整性受损, 进而显著削弱其力学性能并缩短使用寿命。即使对于具有较好生物耐久性的木塑复合材料, 在白蚁高危环境下亦难以完全避免侵害。Ibach 等^[5]的研究表明, 未经防护处理的木塑复合材料在野外暴露 30 个月后, 质量损失达到 22.6%。因此, 防白蚁人造板研发是功能性人造板研究的重要方向^[6-7], 具有明显的工程应用价值。

目前, 防虫胶合板的制备主要包含单板防虫处理法、防虫剂与胶黏剂混合法两种^[8]。其中, 防虫剂与胶黏剂混合法操作简单, 易于工业化生产。一般通过在胶黏剂体系中引入一定量防虫剂, 在热压过程中使其向单板中扩散, 从而发挥防护效果。该方法要求药剂能够在胶黏剂体系中均匀分

散, 耐受高温热压环境, 并与胶黏剂体系保持良好的相容性^[9], 这对药剂提出较高的要求。

常用的白蚁防治药剂氟虫腈, 具有胃毒和触杀作用, 杀虫活性高、传毒效果好、持效期长、对白蚁无明显驱避作用等特点^[10-11]。黄求应等^[10]对比研究发现质量浓度为 0.05 μg/mL 以上的氟虫腈对白蚁杀灭率达到 97% 及以上, 而质量浓度为 0.2 μg/mL 以上的吡虫啉对白蚁杀灭率为 70% 以上。朱方丽等^[12]测试发现质量分数为 0.05%~5% 的氟虫腈对黑胸散白蚁 (*Reticulitermes chinensis*) 的杀灭率为 100%。采用质量分数为 0.06% 的氟虫腈对建筑外围和室内局部监测到有白蚁活动的区域进行喷施, 用药后连续监测 51 个月未发现白蚁入侵^[13]。美国联邦农业部林业局的野外试验结果亦表明, 氟虫腈施用 5 年后仍可保持 100% 的白蚁防治效果^[14]。上述研究表明, 氟虫腈在较低剂量条件下即可对白蚁表现出优异的毒杀效果和长期防治能力。然而, 现有研究主要集中于氟虫腈在建筑白蚁防治或土壤处理中的应用, 其在胶合板制备中的应用及相关产品防白蚁性能评估尚未见报道。

基于此, 本研究选取氟虫腈乳油作为防白蚁活性成分, 将其与脲醛树脂胶黏剂混合后制备防白蚁胶合板, 通过室内试验和户外地上暴露试验系统评估胶合板的防白蚁性能, 筛选适用于实际生产的氟虫腈合理载药量和胶合板制备工艺参数, 为低剂量环保型防白蚁胶合板的开发与应用提供试验数据支撑和技术参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

脲醛树脂胶黏剂: 实验室自制, 固体含量45%, 黏度为27 mPa·s (25 °C), pH值为7.5~8.0, 面粉为填充剂。

杨木 (*Populus spp.*) 单板: 含水率为14%~16%, 规格分别为320 mm×320 mm×2.3 mm, 2 490 mm×1 270 mm×1.7 mm 和 2 490 mm×1 270 mm×3.0 mm。

桉木 (*Eucalyptus spp.*) 单板: 含水率为14%~16%, 规格分别为2 490 mm×1 270 mm×1.7 mm 和 2 490 mm×1 270 mm×3.0 mm。

氟虫腈: 质量浓度为25 g/L, 乳油剂型, 以有机溶剂作为分散介质, 并添加乳化剂等助剂, 其水分含量低于5%^[15]。外购。

台湾乳白蚁 (*Coptotermes formosanus*): 从位于广州市的广东省林业科学研究院野外试验场中诱捕而来。

1.2 仪器设备

温控水浴加热器、电子酸度计、旋转式黏度计、分析天平、热压机、万能力学试验机等。

1.3 试验方法

1.3.1 实验室制备氟虫腈防白蚁胶合板 为探讨氟虫腈对胶合板胶合强度的影响, 首先在实验室中制备氟虫腈防白蚁胶合板。将氟虫腈与脲醛树脂胶黏剂充分混匀后备用。将规格为320 mm×320 mm×2.3 mm的11层杨木单板, 按相邻单板纹理方向相互垂直的方式进行组坯, 单层涂布15 g脲醛胶和面粉的混合物 (其中胶黏剂为11.5 g, 面粉为3.5 g), 在120 °C条件下热压30 min, 热压压力1.1 MPa。

通过控制氟虫腈的添加量, 最终获得载药量分别为0.6、1.2、2.5、5.0和10.0 g/m³的氟虫腈胶合板, 对应氟虫腈有效成分在胶黏剂中的含量 (质量比) 分别为9、18、35、70和140 mg/kg。每种载药量制备3张胶合板, 同时按照相同工艺制备不添加氟虫腈的胶合板作为对照。

1.3.2 工厂制备氟虫腈防白蚁胶合板 为进行户外地上防白蚁蛀蚀性能测试试验, 将规格为2 490 mm×1 270 mm×3.0 mm的杨木和桉木单板,

按相邻单板纹理方向相互垂直的方式进行组坯, 分别制备9层杨木胶合板和桉木胶合板。单层涂布760 g脲醛胶和面粉的混合物 (其中胶黏剂532 g, 面粉228 g), 在110 °C条件下热压30 min。通过控制氟虫腈的添加量, 获得载药量分别为0.6、1.2、2.5、5.0和10.0 g/m³的氟虫腈胶合板, 对应氟虫腈有效成分在胶黏剂中的含量分别为12、24、49、97和194 mg/kg。每种载药量制备1张胶合板, 同时按照相同工艺制备不添加氟虫腈的胶合板作为对照。

将规格为2 490 mm×1 270 mm×1.7 mm的杨木和桉木单板, 按照上述工艺分别制备13层杨木胶合板和桉木胶合板。通过控制氟虫腈的添加量, 获得载药量分别为0.6、1.2、2.5、5.0和10.0 g/m³的氟虫腈胶合板, 对应氟虫腈有效成分在胶黏剂中的含量分别为7、13、27、53和106 mg/kg。每种载药量制备1张胶合板, 同时按照相同工艺制备不添加氟虫腈的胶合板作为对照。

1.4 性能测试

1.4.1 胶合板理化性能

1) 浸渍剥离。参照GB/T 17657—2022《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》II类浸渍剥离试验要求进行测试。试样尺寸为75 mm×75 mm, 共6块。

2) 胶合强度。参照GB/T 17657—2022, 选取氟虫腈添加量最高 (10.0 g/m³) 的处理组和对照组进行测试。每组设置24个重复试件。

1.4.2 胶合板防白蚁性能

1) 室内防白蚁性能。参考GB/T 18260—2015《木材防腐剂对白蚁毒效实验室试验方法》, 采用单试样试验对实验室和工厂制备的胶合板进行室内防白蚁性能测试, 其中选择桉木条作为白蚁实验有效性对照。试样尺寸为25 mm×25 mm, 编号后烘干并称质量, 每组重复6块。每个试验瓶中加入200 g经筛选、清洗并加热消毒的河砂蛭石混合基质, 再加入50 mL的去离子蒸馏水, 静置2 h后, 将500只 (兵蚁的比例不应超过10%, 幼蚁和若蚁不超过5%) 已知质量和体积的台湾乳白蚁装入预先准备的试验瓶中。所有培养瓶在24~28 °C条件下放置28 d。

试验过程中，每周随机选取部分培养瓶进行称质量，当基质的平衡含水率低于初始值2%时，补加去离子水。试验结束后，用小刷子清理培养瓶中的试样，并用去离子水清洗，观察和记录试样的白蚁蛀蚀情况。

2) 户外地上防白蚁性能。参照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》中的堆垛测试方法，在位于广州市的广东省林业科学研究院野外试验场中的塑料大棚内开展户外地上有遮盖堆垛试验。该环境符合GB/T 27651—2023《防腐木材的使用分类和要求》中C3.1使用等级（即不接触土壤、表面有保护的户外环境）要求，该地的白蚁主要为台湾乳白蚁。试样尺寸为1 000 mm×200 mm，每组重复6块。

将4种胶合板试材按90°方式交叉，分别单独堆放（图1），每层放置4块不同载药量的胶合板试材，板材之间间距50~100 mm，最下层用石板垫



图1 氟虫腈胶合板户外地上暴露试验现场
(广东省林业科学研究院野外试验场,广东广州)

Fig.1 Schematic layout of the above-ground field exposure test for fipronil-treated plywood at the field test site of the Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, China

高。试验启动后，分别于3个月和6个月节点进行非扰动现场观察；为避免翻动试件对蚁害活动造成干扰，放置3.5年后首次翻动各层进行调查，间隔1年后再次调查，记录白蚁蛀蚀情况。

2 结果与分析

2.1 氟虫腈对胶合板胶合强度的影响

氟虫腈载药量为10.0 g/m³时的胶合板试样经水煮、干燥处理后未出现开胶现象，表明添加氟虫腈未对胶合板的浸渍剥离性能产生不利影响。

载药量为10.0 g/m³时，胶合板的胶合强度为0.72±0.01 MPa，对照组胶合板的胶合强度为0.74±0.02 MPa。防白蚁胶合板胶合强度比对照组仅下降2.7%，两者无显著差异，说明在本研究添加剂量范围内，氟虫腈对胶合强度几乎无影响。

2.2 胶合板室内防白蚁蛀蚀性能

实验室和工厂制备的胶合板室内防白蚁性能测试结果列于表1。结果显示，相较于桉木对照材料（完好值为4.0），未添加药剂的脲醛树脂胶合板的完好值均在7.0及以上，表明胶合板结构本身可在一定程度上降低白蚁蛀蚀。添加氟虫腈后，胶合板防白蚁蛀蚀性能进一步提高。

在相同载药量下，桉木胶合板的防白蚁蛀蚀性能稍优于杨木胶合板。在载药量为10.0 g/m³时，采用2.3 mm和3.0 mm单板制备的胶合板，其蛀蚀后完好值均为10.0，即未受白蚁蛀蚀。在载药量为5.0 g/m³时，除1.7 mm厚单板制备的杨木胶合板外，其他胶合板的完好值均大于9.0。

表1 不同载药量氟虫腈胶合板的室内防白蚁性能

Tab.1 Laboratory termite resistance of fipronil-treated plywood at different loading levels

载药量/ (g·m ⁻³)	实验室制胶合板		工厂制胶合板							
	杨木(单板厚度2.3 mm)		杨木(单板厚度3.0 mm)		桉木(单板厚度3.0 mm)		杨木(单板厚度1.7 mm)		桉木(单板厚度1.7 mm)	
	有效成分 质量比 ^a	白蚁蛀蚀 完好值	有效成分 质量比 ^a	白蚁蛀蚀 完好值	有效成分 质量比 ^a	白蚁蛀蚀 完好值	有效成分 质量比 ^a	白蚁蛀蚀 完好值	有效成分 质量比 ^a	白蚁蛀蚀 完好值
10.0	140	10.0±0.0	194	10.0±0.0	194	10.0±0.0	106	8.5±0.7	106	9.3±0.8
5.0	70	9.3±0.4	97	9.5±0.0	97	9.5±0.0	53	8.5±0.7	53	9.5±0.0
2.5	35	8.0±0.0	49	9.0±0.0	49	10.0±0.0	27	8.0±0.0	27	8.0±0.0
1.2	18	8.0±0.0	24	9.5±0.7	24	10.0±0.0	13	8.0±0.0	13	8.3±0.8
0.6	9	8.0±0.0	12	9.5±0.7	12	10.0±0.0	7	8.0±0.0	7	8.3±0.8
0.0	0	7.0±0.0	0	8.0±0.0	0	8.0±0.0	0	7.3±0.8	0	7.7±0.8

a 氟虫腈有效成分在胶黏剂体系中的含量,mg/kg。

在相同载药量的条件下，单板厚度大者，胶合板的防白蚁性能更优。分析原因是相同载药量时，单板越厚的胶合板中药剂有效成分含量越高，从而防白蚁效果越好。

采用防虫剂与胶黏剂混合法制备胶合板时，使用有效成分在胶黏剂体系中的含量（质量比）来表示药剂水平，比相关标准中的体积载药量更直观^[8,16]。从室内测试结果看，氟虫腈有效成分含量为140 mg/kg的胶合板完好值为10.0；而氟虫腈有效成分含量约100 mg/kg时，两组分别以1.7 mm厚杨木、桉木单板（对应药剂载药量10.0 g/m³）和3.0 mm厚杨木、桉木单板（对应药剂载药量5.0 g/m³）制备的胶合板，其白蚁蛀蚀完好值介于8.5~9.5之间。室内测试结果表明，要确保胶合板不受白蚁蛀蚀，氟虫腈在胶黏剂体系中的有效成分含量应达到140 mg/kg。

观察白蚁蛀蚀后的试样发现，白蚁危害多集中在胶合板某一层的单板上，并沿单板长度和厚度方向蛀蚀（图2），表明含氟虫腈的胶层对白蚁有阻隔作用，使其主要沿着单板板层蛀蚀。

GB/T 29399—2012《木材防虫（蚁）技术规范》中指出，当单板厚度大于2.5 mm时，需要采



图2 白蚁沿着单板板层蛀蚀(箭头为白蚁蛀蚀孔)
Fig.2 Termite damage along the veneer layer of plywood (arrows indicate termite damage holes)

用喷淋或涂刷的方式对单板进行防虫处理；LY/T 2062—2012《防虫胶合板》中提到，胶黏剂混合药剂法适用于表层单板厚度小于2.0 mm、芯层单板厚度小于4.0 mm的胶合板制备。本研究的结果表明，当单板厚度为3.0 mm时，通过在胶黏剂中添加氟虫腈制备胶合板，可获得较好的防白蚁效果。

2.3 胶合板户外地上测试

在氟虫腈改性胶合板的户外带遮盖地上环境抗白蚁耐久性试验中，3个月观测期内未发现白蚁活动，试验进行至6个月时，试材周边开始出现白蚁活动痕迹。分别在3.5年和4.5年开展逐层调查，3.0 mm和1.7 mm厚度杨木、桉木单板制备胶合板的白蚁蛀蚀完好值，分别见表2和表3。

表2 3.0 mm厚杨木和桉木单板胶合板白蚁蛀蚀完好值													
Tab.2 Termite reistance rating of plywood made from 3.0-mm-thick poplar and eucalyptus veneers		不同氟虫腈有效成分含量(mg/kg)下白蚁蛀蚀完好值											
堆垛层 (近地面为 第1层)	时间/年	0		12		24		49		97		194	
		杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木
NO.9	3.5	10.0	10.0		10.0			10.0			10.0		10.0
	4.5	10.0	10.0		10.0			10.0			10.0		10.0
NO.8	3.5			10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0			10.0
	4.5			10.0	9.5	9.5	10.0	9.5	9.5	9.5			9.5
NO.7	3.5			10.0	10.0	10.0	10.0	10.0		10.0	10.0		10.0
	4.5			9.5	9.5	9.5	10.0	9.5		10.0	9.5		10.0
NO.6	3.5				10.0	10.0		10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	4.5				9.5	10.0		9.5	10.0	9.5	10.0	9.5	10.0
NO.5	3.5		10.0	10.0		10.0	10.0	10.0	10.0		10.0		10.0
	4.5		9.5	9.5		10.0	10.0	10.0	10.0		10.0		10.0
NO.4	3.5	10.0	10.0	10.0			10.0		9.5	10.0		10.0	10.0
	4.5	9.0	9.5	9.5			10.0		9.5	9.5		9.0	9.5
NO.3	3.5	9.5			9.5	9.5		9.5	9.5		9.5		9.5
	4.5	9.0			9.0	9.0		9.0	9.0		9.0		9.0
NO.2	3.5			8.0		8.0	8.0		8.0	9.0	9.5		9.0
	4.5			7.0		7.0	4.0		4.0	8.0	7.0		7.0
NO.1	3.5	4.0		7.0			4.0			8.0		8.0	9.0
	4.5	0.0		4.0			0.0			6.0		6.0	7.0

表3 1.7 mm厚杨木和桉木单板胶合板白蚁蛀蚀完好值

Tab.3 Termite reistance rating of plywood made from 1.7-mm-thick poplar and eucalyptus veneers

堆垛层 (近地面为 第1层)	时间/年	不同氟虫腈有效成分含量(mg/kg)下的白蚁蛀蚀完好值											
		0		7		13		27		53		106	
		杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木	杨木	桉木
NO.9	3.5			10.0	10.0	10.0	10.0		10.0	10.0	10.0	10.0	
	4.5			10.0	10.0	10.0	10.0		10.0	10.0	10.0	10.0	
NO.8	3.5	10.0	10.0	10.0		10.0		9.5	10.0	10.0		10.0	
	4.5	10.0	10.0	10.0		10.0		9.5	10.0	10.0		10.0	
NO.7	3.5	10.0		10.0	9.5		9.5	9.5	10.0			10.0	10.0
	4.5	10.0		10.0	9.5		9.5	9.5	10.0			10.0	10.0
NO.6	3.5			10.0	9.5		9.5	10.0	9.5	10.0	10.0	10.0	
	4.5			10.0	9.5		9.5	10.0	9.5	10.0	10.0	9.5	
NO.5	3.5		10.0	10.0	10.0	9.5	9.5	9.5		10.0			10.0
	4.5		9.5	10.0	9.5	9.5	9.5	9.5		9.5			9.0
NO.4	3.5	10.0	10.0	9.0				9.0	9.5		10.0	10.0	10.0
	4.5	6.0	9.5	9.0				9.0	9.5		10.0	9.5	9.5
NO.3	3.5	9.0	9.5		9.0	8.0	9.0	9.0		6.0	10.0		
	4.5	6.0	9		9.0	8.0	9.0	9.0		6.0	9.5		
NO.2	3.5	6.0	9.5			6.0	7.0	6.0	8.0			9.5	9.5
	4.5	4.0	7.0			6.0	7.0	6.0	8.0			8.0	9.0
NO.1	3.5	4.0	9.0		4.0	0.0		6.0			4.0	9.0	9.5
	4.5	0.0	7.0		4.0	0.0		6.0			4.0	6.0	9.0

由表2、表3结果可知：经3.5年户外试验，地上放置的试材中第1、2、3层白蚁蛀蚀危害显著，4层及以上未见白蚁危害，仅出现霉变现象；延长暴露周期至4.5年时，白蚁蛀蚀危害向上层持续扩展，4组单板制备的试材中，除最顶层2层（第8、9层）外，其余各层均出现不同程度的白蚁蛀蚀痕迹。其中，距地面最近的第1层（图3）、第2层蛀蚀最严重，整体呈现“离地距离越近，胶合板白蚁蛀蚀程度越高”的分布规律，白蚁危害随试验时间延长由下至上逐层递进发展。

对比两组树种试材的抗白蚁数据可知，桉木单板胶合板白蚁蛀蚀程度更轻（表3），整体桉木胶合板比杨木胶合板更耐白蚁蛀蚀。此结果与实验室测试数据趋势一致，说明氟虫腈胶合板防白蚁效果与单板树种相关，杨木更易被白蚁蛀蚀。

经3.5年户外试验，不含氟虫腈的桉木单板胶合板第1层白蚁蛀蚀完好值为9.0；至4.5年时，该组试材完好值降至7.0。与之对应，氟虫腈有效成分含量为7~53 mg/kg的胶合板试材，4.5年时完好值仅为4.0，白蚁蛀蚀程度严重，说明氟虫腈载药量较低时，胶合板几乎不具备长效抗白蚁性能。

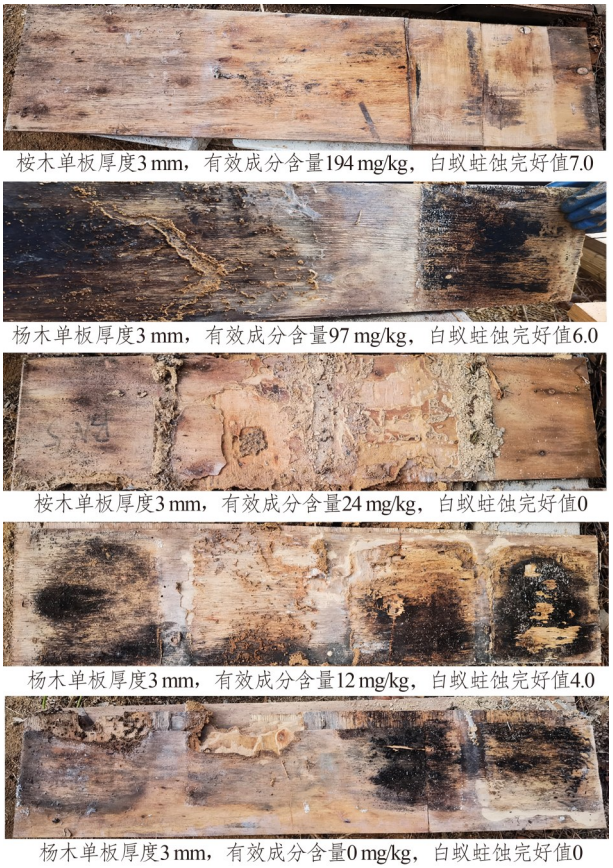


图3 户外测试的近地面堆垛第1层胶合板白蚁蛀蚀情况

Fig.3 Termite damage on the first layer of plywood near ground level in the outdoor exposure test

结合表2、表3数据可进一步明确: 近地面第1层试材, 未添加药剂以及氟虫腈有效成分含量低于53 mg/kg的2组胶合板, 经4.5年户外试验后, 完好值为4.0或更低, 表明其防白蚁效果有限; 而1.7 mm和3.0 mm厚单板制备的胶合板, 当氟虫腈有效成分含量为106 mg/kg和194 mg/kg (对应载药量10.0 g/m³) 时, 白蚁危害完好值仍可达到6.0、7.0甚至9.0, 防白蚁蛀蚀性能较好。

根据本试验结果, 采用杨木和桉木单板制备的氟虫腈防白蚁胶合板, 适用于GB/T 27651—2023中C3.1使用等级 (不接触土壤、表面有保护的户外环境) 以下, 为保障抗白蚁耐久性, 建议氟虫腈在胶黏剂中的有效成分不低于100 mg/kg。其中: 1.7 mm厚单板制备的胶合板载药量为10.0 g/m³; 3.0 mm厚单板制备的胶合板载药量为5.0 g/m³。该推荐剂量远低于GB/T 29399—2012中常规木材防腐剂的推荐载药量范围 (60~1 500 g/m³), 表明在胶黏剂体系中添加较低剂量的氟虫腈, 即可实现长效抗白蚁效果。

3 结论

1) 以氟虫腈乳油为防白蚁药剂添加到脲醛树脂胶黏剂体系中, 分别在试验室和工厂中制备杨木和桉木防白蚁胶合板, 氟虫腈乳油对胶合板的浸渍剥离性能和胶合强度无显著影响。

2) 氟虫腈脲醛树脂胶合板的室内防白蚁试验结果显示, 当氟虫腈载药量为5.0 g/m³时, 除1.7 mm厚单板制备的杨木胶合板外, 其余试样的白蚁蛀蚀完好值均大于9.0; 室外试验结果显示, 当载药量为10.0 g/m³时, 不同厚度的防白蚁胶合板均表现出良好的防白蚁效果。

3) 采用防虫剂与胶黏剂混合法制备胶合板时, 使用药剂有效成分在胶黏剂体系中的含量 (质量比) 来表示药剂水平。在本试验条件下制备的防白蚁杨木和桉木胶合板, 当氟虫腈有效成分在胶黏剂体系中的含量不低于100 mg/kg时, 在GB/T 27651—2023中C3.1使用等级即不接触土壤、表面有保护的户外环境中经4.5年仍保持完好。研究为氟虫腈类杀虫剂在防白蚁胶合板中的开发和应用提供参考依据。

参考文献:

- [1] 宋晓钢, 程冬保. 世界白蚁中文名录[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2020.
- [2] Kaleem Ullah R M, Jia B, Liang S, et al. Uncovering the chemosensory system of a subterranean termite, *Odontotermes formosanus* (Shiraki) (Isoptera: Termitidae): revealing the chemosensory genes and gene expression patterns[J]. *Insects*, 2023, 14(11): 883.
- [3] 马星霞, 蒋明亮, 王洁瑛. 气候变暖对中国木材腐朽及白蚁危害区域边界的影响[J]. *林业科学*, 2015, 51(11): 83-90.
Ma Xingxia, Jiang Mingliang, Wang Jieying. The climate change effects on boundaries of wood decay and termite hazard zones in China [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(11): 83-90.
- [4] Tascioglu C, Yoshimura T, Tsunoda K. Biological decay and termite resistance of post-treated wood-based composites under protected above-ground conditions: a preliminary study after 36 months of exposure[J/OL]. *BioResources*, 2012, 8(1). DOI: 10.15376/biores.8.1.833-843.
- [5] Ibach R, Hadi Y, Clemons C, et al. Termite resistance of wood-plastic composites made with acetylated wood flour, coupling agent or zinc borate[J/OL]. 2018. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID: 210747581>.
- [6] 王启慧, 朱典想, 潘昌怀, 等. 防白蚁胶合板的制备及性能研究[J]. *包装工程*, 2014, 35(9): 18-26.
Wang Qihui, Zhu Dianxiang, Pan Changhuai, et al. Preparation and properties of mothproof plywood[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(9): 18-26.
- [7] 徐伟军, 黄海涛, 刘炳荣, 等. 防白蚁胶合板的研制及灭效实验研究[J]. *中华卫生杀虫药械*, 2007, 13(3): 175-178.
Xu Weijun, Huang Haitao, Liu Bingrong, et al. Study on the decorative plywood against termite[J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2007, 13(3): 175-178.
- [8] LY/T 2062—2012 防虫胶合板[S].
- [9] 周冠武, 李春高, 虞华强, 等. 结构人造板防腐防虫技术的应用及发展[J]. *木材工业*, 2012(5): 32-35.
Zhou Guanwu, Li Chungao, Yu Huaqiang, et al. Current state and development of technologies for protecting structural board against decay and insect attack[J]. *China Wood Industry*, 2012(5): 32-35.
- [10] 黄求应, 薛东, 童严严, 等. 氟虫腈、吡虫啉作为黑翅土白蚁诱杀药剂的效果[J]. *昆虫知识*, 2005, 42(6): 656-659.
Huang Qiuying, Xue Dong, Tong Yanyan, et al. Performance of fipronil and imidacloprid as the attracticide against *Odontotermes formosanus*[J]. *Entomological Knowledge*, 2005, 42(6): 656-659.
- [11] 熊强, 李大波, 高勇勇, 等. 不同浓度氟虫腈防治黑胸散白蚁的效果研究[J]. *华中昆虫研究*, 2018(1): 247-251.
- [12] 朱方丽, 王秀梅, 尹兵. 氟虫腈粉剂对黑胸散白蚁的药效研究[J]. *农药科学与管理*, 2014, 35(10): 54-59.
Zhu Fangli, Wang Xiumei, Yin Bing. Study on field efficacy of fipronil DP against *Reticulitermes chinensis*[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2014, 35(10): 54-59.
- [13] 朱丽华. 地下白蚁IPM管理中的氟虫腈应用研究[J]. *世界农药*, 2007, 29(4): 44-47.
Zhu Lihua. Study on the application of fipronil in IPM management of underground termites[J]. *World Pesticide*, 2007, 29(4): 44-47.
- [14] 高道蓉, 张锡良, 吴建国, 等. 特密得(Termidor)——一种新的白蚁药剂[J]. *白蚁科技*, 2000, 17(4): 5-9.
- [15] 李鹏坤, 李巧枝, 谢慧玲, 等. 农药乳油制剂现存质量问题及对策[J]. *河南农业科学*, 2007(4): 65-67, 78.
- [16] GB/T 29399—2012 木材防虫(蚁)技术规范[S].

(责任编辑 曹金珍/编校 向琴)