

木材防白蚁药剂研究概况及展望

眭亚萍¹, 孙芳利², 杨中平¹, 王珊珊¹, 王丽³

(1. 西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 浙江林学院 工程学院,
浙江 临安 311300; 3. 陕西省渭南市林业局, 陕西 渭南 714000)

摘要: 木材作为一种重要的原材料, 以它们优良的特性被广泛应用于建筑、家具和室内装修等领域, 然而白蚁的威胁不仅缩短了木材的使用寿命, 而且也限制了木材的应用领域。白蚁种类不同对木材的危害情况不一样, 不同种类的木材其抗蚁性也有区别。目前, 研究开发和应用的白蚁防治剂主要有砷制剂类、金属盐类、无机酸类、有机氯(氟)类、有机磷类、硅烷类、拟除虫菊酯类和有机杂环类等。无机白蚁防治剂和有机氯类因对人体和环境有害将逐渐遭到淘汰, 拟除虫菊酯类药剂是目前世界上白蚁防治剂中品种最多的一类药剂, 有机杂环类和一剂多效的环保型药剂将是今后的研究热点, 对木材进行化学改性也将成为防治白蚁的一种方式。参 39

关键词: 林业工程; 木材; 白蚁; 药剂防治; 综述

中图分类号: S763.33 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)02-0250-05

Overview and prospect of termicides in wood protection

SUI Ya-ping¹, SUN Fang-li², YANG Zhong-ping¹, WANG Shan-shan¹, WANG Li³

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Weinan City, Weinan 714000, Shaanxi, China)

Abstract: As an important raw material, wood has been widely used in many areas, such as building, furniture, and interior decoration. However, wood can be easily attacked by termites, which limits the application of wood and reduces the wood's service life. Generally speaking, the attacking way of different termite species are not the same, and the sufferance vary from one another in wood species. The most popular termicides include arsenicals, metal salts, inorganic acids, organochlorine compounds, organophosphates, silicones, pyrethroids, heterocyclic compounds and so on. The inorganic and organochlorine termicides will be replaced by the pyrethroid and other environment-friendly termicides in the future. The kind of termicides which can protect wood not only from termites but also from fungi or fire will be popular. Chemical modification of wood will also be a way of termite-resistance. [Ch, 39 ref.]

Key words: forest engineering; wood; termite; drug control of pests; review

木材具有独特的色、香、质、纹等特性, 被广泛应用于建筑、家具和室内装修等领域。木材在使用过程中, 易受菌虫危害, 特别是热带和亚热带地区的白蚁, 常使应用木材的建筑物遭受毁灭性的损失^[1]。白蚁是世界性的重要害虫, 有“无牙老虎”之称。全世界造成危害的白蚁共有 108 种, 其中主要蚁害种有 52 种。在中国, 造成经济损失较大的种类约有 20 种^[2]。白蚁危害对象十分广泛, 涉及国民经济的各个领域, 主要包括房屋建筑、水利工程、铁路交通、农林作物及园林绿化等方面。据估计, 我国白蚁危害房屋建筑造成的直接经济损失每年约 20~25 亿元; 美国国家害虫控制协会 1996 年统计, 因白蚁危害给美国造成的经济损失达 50 亿美元; 在日本, 白蚁破坏木结构的准确数字, 一般认为相当于火灾所造成的损失。

收稿日期: 2007-05-28; 修回日期: 2007-10-09

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y305325); 国际科学基金资助项目(D/3284-2)

作者简介: 眇亚萍, 硕士研究生, 从事木材保护与改性研究。E-mail: suiyap@126.com

1 木材蚁害及其特性研究

1.1 木材蚁害

白蚁属等翅目 Isoptera 的昆虫, 有 7 个科, 分别为澳白蚁科 Mastotermitidae, 原白蚁科 Termopsidae, 木白蚁科 Kalotermitidae, 草白蚁科 Hodotermitidae, 鼻白蚁科 Rhinotermitidae, 齿白蚁科 Serritermitidae, 白蚁科 Termitidae。除了少数种类的白蚁侵害活的植物外, 大部分的白蚁种类是消耗死的植物, 常常是木材。危害木材的白蚁主要有土白蚁属 *Odontotermes*, 大白蚁属 *Macrotermes*, 乳白蚁属 *Coptotermes*, 散白蚁属 *Reticulitermes*, 象白蚁属 *Nasutitermes*, 锯白蚁属 *Microcerotermes*, 木白蚁属 *Kalotermes*, 堆砂白蚁属 *Cryptoformes*, 新白蚁属 *Neotermes*, 树白蚁属 *Glyptotermes*, 原白蚁属 *Hodotermopsis*, 长鼻白蚁属 *Schedorhinotermes* 等属的白蚁。它们危害的树种有几百种, 其中橡栎树 *Quercus variabilis*, 柳杉 *Cryptomeria fortunei*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata*, 银杏 *Ginkgo biloba*, 桤木 *Alnus nepalensis*, 黄檀 *Dalbergia hupeana*, 女贞 *Ligustrum lucidum*, 檫树 *Torreya grandis*, 楠木 *Phoebe zhennan* 等 30 多种树木受害较为明显。

不同国家和地区, 白蚁种类和数量有所区别。在我国, 广西已鉴定的有 4 科 17 属 66 种^[3], 福建省为 4 科 19 属 75 种^[4], 安徽省为 3 科 11 属 52 种^[5], 西北地区(包括陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆)为 4 科 7 属 17 种^[6], 浙江省为 4 科 17 属 59 种^[7], 江苏省为 3 科 6 属 23 种, 江汉平原为 3 科 7 属 22 种。造成危害的优势种往往因地区而异, 例如, 在广东及华南地区, 危害农林作物的最主要种类是台湾乳白蚁 *Coptotermes formosanus*; 在华东地区, 黄胸散白蚁 *Reticulitermes speratus* 是最常见的危害种; 西南地区的成都、重庆等地以黑胸散白蚁 *Reticulitermes chinensis* 最为重要; 热带地区的海南则以截头堆砂白蚁 *Cryptoformes domesticus* 为主^[8]。在美国, 除阿拉斯加以外, 其余各州均有白蚁危害, 且相当普遍和严重。美国现已发现白蚁 4 科 17 属 45 种, 其中, 麻头砂白蚁 *Cryptoformes brevis*, 小櫛白蚁 *Incisitermes minor*, 台湾乳白蚁, 北美散白蚁 *Reticulitermes flavipes* 和西方散白蚁 *Reticulitermes hesperus* 等 5 种白蚁为严重危害种; 此外, 斯氏櫛白蚁 *Incisitermes snyderi*, 胡氏边白蚁 *Marginitermes hubbardi*, 金色异白蚁 *Hererotermes aureus* 和美黑胫散白蚁 *Reticulitermes tibialis* 等 4 种白蚁的危害也比较严重^[9]。在中非破坏木材的白蚁种类有大白蚁、土白蚁、蛮白蚁 *Microtermes* 和乳白蚁^[10]等。

不同树种的木材, 对白蚁的抗性也不一样。一般说来, 木材的硬度和密度越大, 其抗蚁性也越好。另外, 有一些树种, 木材细胞中的内含物可能对白蚁有驱避、毒性或拒食等作用。例如, 黄扁柏 *Chamaecyparis nootkatensis* 和红崖柏 *Thuya plicata* 的心材具有天然强抗蚁性以及抵抗真菌的能力^[11-14], 其心材抽提物与其抗白蚁与抗真菌的性能有很大的关系^[15]。萜类物质是最常在木材抽提物中发现的抵抗白蚁和真菌的化合物^[16]。我国常见的强抗蚁性的木材包括: 子京 *Maldhuca hainanensis*, 荔枝 *Litchi chinensis*, 青皮 *Vatica astrotricha*, 榉木 *Tectona grandis*, 枣 *Ziziphus jujuba* 等; 弱抗蚁性的木材有: 马尾松 *Pinus massoniana*, 云南松 *Pinus yunnanensis*, 樟子松 *Pinus sylvestris*, 枫香 *Liquidambra formosana*, 云杉 *Picea asperata*, 泡桐 *Paulownia fortunei* 等^[17]。

1.2 白蚁危害木材的主要方式及特点

白蚁对取食的树木有一定的嗜好性, 各种树木的树皮、木材所含的纤维素量和树木所含的某些生化物质, 均可影响白蚁的取食。白蚁喜食的树种, 其皮层含糖量比较高, 枝条含糖量与白蚁危害程度有明显的相关性^[7]。很多研究表明, 由褐腐菌引起的腐烂木材, 适宜白蚁的消化从而提高白蚁的生活能力^[18]。一般来说, 白蚁种类不同, 对树木的危害情况也不一样。如肖若散白蚁 *Reticulitermes affinis* 常在浅土层下危害杉木的根系; 土白蚁主要危害地表部分, 蛀食树皮表层和韧皮部, 使林木输导组织部分或全部遭到破坏, 导致树木长势衰弱; 散白蚁喜危害伐桩和树势衰弱的林木, 使林木更加衰弱, 最终枯死。台湾乳白蚁以蛀食木质部为主, 所以在树木表面发现蚁害现象较少, 但对树木的危害却很大。黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 和黄翅大白蚁 *Macrotermes barneyi* 一般先危害树干表皮和木栓层, 后期才逐渐向木质部深入。一般黄翅大白蚁侵入树干内部的位置比黑翅土白蚁更深。黄胸散白蚁通常从离树木主干较近的枯死枝桠处侵入危害, 它首先危害表皮内的浅木质层, 经过一段时间

后，逐渐深入木质部危害。

2 木材防白蚁药剂研究状况

2.1 木材防白蚁药剂发展状况

木材防白蚁药剂可分为无机类防白蚁药剂和有机类防白蚁药剂。无机防治剂包括砷制剂、金属盐类和无机酸类。目前，随着人们环保意识的增强，砷制剂将逐渐遭到淘汰。用硼酸处理过的木料能抵抗所有白蚁、蛀木甲虫和木匠蚁危害，但对已有白蚁危害的地方，防治作用不明显。

最早使用的有机类防白蚁药剂主要是有机氯类药剂，从诞生到20世纪80年代一直是各国最主要的白蚁防治剂，但因这类药剂在环境中难以降解，残效期长，对环境和人类健康构成极大威胁，已遭到淘汰。2001年国际社会共同签署了旨在全面淘汰氯丹、灭蚁灵等有机氯农药的《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(简称《POPs公约》)。

在美国，氯丹被禁用后，毒死蜱(一种有机磷杀虫剂)成为第一个上市取代氯丹的产品。在20世纪80年代末至90年代初，以毒死蜱为有效成分的杀虫剂曾占美国白蚁防治剂的75%^[19]。然而有机磷类农药对人畜毒性较大，这类农药能引起人体胆碱酯酶的抑制，蓄积于神经系统后导致恶心、头晕，甚至神志不清，高浓度暴露可造成呼吸麻痹和死亡。2000年6月8日美国环保局官员宣布，在2000年末停止毒死蜱在住宅地、花园、现有住宅和公共领域内使用，于2004年末停止毒死蜱在新建住宅和建筑物中作为杀白蚁剂使用，已注册的替代品包括氯氰菊酯、氯菊酯、吡虫啉、氟虫腈、硅酸、残杀威、氟铃脲、氟虫脲和伏蚁腙等15种产品^[20]。

氟虫胺是一种有机氟杀虫剂，由美国Griffin公司在1989年开发生产，属低毒型杀虫剂。氟虫胺对台湾乳白蚁具有较好的毒杀作用^[21,22]，对散白蚁击倒速度缓慢，有一定的传毒能力，无驱避性^[23]。

拟除虫菊酯类药剂是目前世界上白蚁防治剂中品种最多的一类药剂。此种药剂相对低毒，环境相容性较好，将是今后相当长时间内白蚁防治剂的主打品种^[24]。Nandiba在印度尼西亚进行的一系列实验室试验证明，Dragnet 380 EC(有效成分为氯菊酯)对地栖性白蚁中的大乳白蚁*Coptotermes curvignathus*，干木白蚁中的丘额砂白蚁*Cryptotermes cynocephalus*及其他主要蛀木害虫有效，可用于防治乳白蚁属，异白蚁属*Hererotermes*，散白蚁属，动白蚁属*Zootermopsis*白蚁。Biflex 240 EC(有效成分为联苯菊酯)可防治加工好的木料、胶合板及藤条中的各种白蚁，包括乳白蚁属、异白蚁属、散白蚁属和动白蚁属白蚁，使用剂量低，有效期长^[9]。李小鹰等^[25]用不同质量浓度的溴氰菊酯处理木材并用不同物理因子处理，经4a野外埋设试验得出经125 mg·L⁻¹溴氰菊酯处理的木材可获得3a以上的防白蚁效果。张方耀等^[26]报道了在松木块表面以(110±10) g·m⁻²的量涂上31.25 mg·L⁻¹的高氰戊菊酯时，乳白蚁虽然能危害，但与对照相比，危害率明显降低，死亡率明显升高。当高氰戊菊酯质量浓度等于或大于62.5 mg·L⁻¹时，乳白蚁不能危害，而且大量死亡。当高氰戊菊酯质量浓度为31.25 mg·L⁻¹时，黄肢散白蚁*Reticulitermes flabicepsa*即不能危害，而且大量死亡。

有机杂环类农药的创制也是目前的研究热点，氟虫腈和吡虫啉即是其中的代表。氟虫腈只需50~200 g·hm⁻²即可控制白蚁。1992年德国开发了吡虫啉防治白蚁的新制剂Premise，0.5~3.0 g·L⁻¹处理可有效预防白蚁5a以上^[27]。吡虫啉防治白蚁所需质量浓度比毒死蜱低^[28]，用70%吡虫啉颗粒剂0.15 g或0.30 g即可杀灭一巢白蚁^[29]。林雁等^[30]比较了氟虫胺、吡虫啉和灭蚁灵对白蚁的防治效果，结果表明灭蚁灵对白蚁的毒力最小，吡虫啉居中，氟虫胺的毒力最大。张良等^[31]通过试验认为吡虫啉是当前最高效的环保型白蚁防治药剂，并建议生产中0.5 g·L⁻¹(10%可湿性粉剂稀释200倍)用于室内防治，0.5~1.0 g·L⁻¹(稀释100~200倍)用于室外防治。

日本除虫菊株式会社研制的新型硅烷类有机杀虫剂Silonen，有效成分为4-乙氧苯基[3-(4-氟-3-苯氧苯基)丙基]二甲基硅烷，对预防白蚁也有一定的效果。

2.2 木材防白蚁药剂近期研究状况

木材在自然界中不仅会受到白蚁的危害，还会受到腐朽菌、霉变菌及火灾等的危害，因此，近期的木材防白蚁药剂研究主要集中在一剂多效型的开发上。

研究表明, Tanalith CuAz 和 Totim B 等 2 种防腐剂同时表现出良好的抑制白蚁, 防止蓝变菌及霉菌侵染的功效^[32]。防腐剂 DBF (双十烷基二甲基四氟化硼铵) 和 DDAC (二甲基二癸基氯化铵) 处理过的木材, 当药剂保持量达到 $3.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 足够抵抗白蚁的侵袭^[33]。用偏硼酸钠处理的木材, 表现出很好的抗白蚁性能和防腐性能^[34]。防腐剂 MTFB (四甲氧基苯甲基四氟硼酸铵) 当药剂保持量达到 $15.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 处理过的木材虽然对腐朽菌没有作用, 但是却能够完全抵抗地下白蚁、台湾乳白蚁的危害, 可以用在户外建筑上^[35]。Haruhiko 等^[36]报道硅酸以及硅酸和硼酸的混合溶液都能提高木材的抗白蚁性能, 后者作用更为明显, 增加硼酸的量可以提高白蚁的死亡率, 缩短死亡时间; 3 a 的野外实验表明处理材具有很好的抗白蚁性能以及耐流失性; 硼酸质量浓度的升高增强处理材的阻燃性能。在不含甲醛或甲醛含量很低的木材胶黏剂中添加苯基硼酸, 可以抵抗白蚁对木材的侵害, 而添加硼酸则可以抵制真菌对木材的侵害^[37]。

通过木材化学改性防白蚁也是较为有效的途径。骆土寿^[38]报道工厂用化学改性剂 LM-1 处理生产的杨木, 室内抗白蚁能力提高 4 个等级, 试验白蚁存活期仅 7~9 d, 比对照缩短 21~61 d; 野外抗蚁和耐腐性完好指数达 10。

此外, 林捷等^[39]用树木提取液研制成环保型灭白蚁粉剂, 在厦门、福州等地的公园中进行防治树木白蚁的药效试验, 结果表明: 处理后 10 d 的防效为 76%~100%, 处理后 20 d 的防效为 81%~100%, 处理后 30 d 的防效为 100%, 并且施药 9 个月后检查仍能持效。

3 木材白蚁防治剂研究中存在的问题及展望

白蚁防治剂的剂型和使用方法研究还不够深入, 尤其是在国内, 目前研究还很少。对防白蚁剂在木材中作用机制及流失性研究较少。现有防白蚁药剂大多功效单一, 环境兼容性欠佳。

人们在追求防治效果的同时, 更加关注药剂的环境兼容性, 这是新药剂研发的方向和原动力。许多天然的植物中含有杀虫活性物质, 随着现代科技的发展, 从中提取这些杀虫活性物质, 再结合其他药剂, 应用于白蚁的防治, 将是今后白蚁药剂发展的方向之一。实现蚁害的高效、无公害治理仍然是需要长期努力的过程。对白蚁进行更为深入的研究, 可为药剂的研发提供新的思路, 大幅度降低药剂研发的盲目性。现有木材防白蚁剂大多只具有防白蚁单项功效, 而木材也容易受到腐朽菌和霉菌的侵蚀, 因而研究开发一剂多效型处理剂(防腐、防霉、防虫、防火)将是今后的研究方向。对木材进行化学改性也将是木材防白蚁的一个研究方向。

参考文献:

- [1] 陈红梅, 朱建华, 张再福, 等. 不同药剂预防白蚁蛀蚀木材的效果测定 [J]. 福建林业科技, 2000, 27 (4): 45~48.
- [2] 黄蔚蓉. 我国白蚁主要危害种类及其对经济的影响 [J]. 安徽农业科学, 2004, 32 (2): 252~253.
- [3] 蒋家文, 尤其微, 林日钊, 等. 广西林木白蚁种类调查及防治研究 [J]. 白蚁科技, 1995, 12 (3): 26~33.
- [4] 朱建华, 陈顺立, 陈红梅, 等. 福建省等翅目昆虫(白蚁)初步名录的考查 [J]. 中国森林病虫, 2004, 23 (1): 15~19.
- [5] 马延明, 马艳, 陈搏尧. 安徽省白蚁区系分布研究 [EB/OL]. 2006-12-08 [2007-06-22]. <http://www.caby.com.cn/onews.asp?id=166>.
- [6] 邢连喜, 胡萃, 程家安. 西北地区白蚁调查 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25 (1): 81~85.
- [7] 宋晓钢. 浙江等翅目昆虫(白蚁)考察 [J]. 浙江林学院学报, 2002, 19 (3): 288~291.
- [8] 戴自荣, 陈振耀. 白蚁防治教程 [M]. 广州: 中山大学出版社, 2004.
- [9] 李小鹰, 高道蓉, 徐卫英. 美国的白蚁及其防治概况 [J]. 白蚁科技, 1998, 15 (1): 1~17.
- [10] 李栋. 土白蚁文献资料综述 [J]. 白蚁科技, 1995, 12 (2): 19~27.
- [11] SU N Y, TAMASHIRO M. Wood-consumption rate and survival of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) when fed one of six woods used commercially in Hawaii [J]. Proc Hawaiian Entomol Soc, 1986, 26: 109~113.

- [12] GRACE J K, YAMAMOTO R T. Natural resistance of Alask cedar, redwood, and teak to Formosan subterranean termites [J]. *Forest Prod J*, 1994, **44** (3): 41–45.
- [13] SCHEFFER T C, MORRELL J J. *Natural Durability of Wood: A Worldwide Checklist of Species* [R]. Corvallis: Oregon State Univ, Forest Research Laboratory, 1998.
- [14] MORALES-RAMOS J A, ROJAS M G. Nutritional ecology of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae): feeding response to commercial wood species [J]. *J Econ Entomol*, 2001, **94**: 516–523.
- [15] TAYLOR A M, GARTNER B L, MORRELL J J, et al. Effects of heartwood extractive fractions of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis nootkatensis* on wood degradation by termites or fungi [J]. *J Wood Sci*, 2006, **52**: 147–153.
- [16] SCHEFFRAHN R H. Allelochemical resistance of wood to termites [J]. *Sociobiology*, 1991, **19**: 257–281.
- [17] 李坚. 木材保护学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [18] 李栋. 白蚁的营养与消化[J]. 白蚁科技, 1997, **14** (1): 16–26.
- [19] 张大羽, 王国华, 刘文军, 等. 防治白蚁药剂的发展概况[J]. 白蚁科技, 1998, **15** (1): 28–31.
- [20] 秦钰慧, 王以燕. 美国关于毒死蜱的最新决定[J]. 农药, 2000, **39** (8): 45–45.
- [21] 钟平生, 张颂声, 李静美, 等. 氟虫胺诱饵剂防治白蛟的药效试验[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2005, **16** (2): 110–111.
- [22] 夏传国, 刘奎林, 邹贤贵, 等. 氟虫胺对台湾乳白蚁的药效研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2002, **8** (4): 22–24.
- [23] 庞正平, 杨文星, 杨建平, 等. 氟虫胺对散白蚁的毒效试验[J]. 中华卫生杀虫药械, 2002, **8** (4): 32–38.
- [24] 刘晓燕, 钟国华. 白蚁防治剂的现状和未来[J]. 农药学学报, 2002, **4** (2): 14–22.
- [25] 李小鹰, 高道蓉, 夏亚忠. 溴氰菊酯处理木材防治白蚁野外试验研究结果[J]. 白蚁科技, 1999, **16** (1): 15–16.
- [26] 张方耀, 李参, 樊德方. 高氰戊菊酯(Sumialpha 5FL)防治白蚁试验(Ⅱ)室内木材处理[J]. 华东昆虫学报, 1995, **4** (1): 96–98.
- [27] 刘源智. 中国白蚁生物学及防治[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- [28] 韦昌华, 卢川川, 易叶华. 吡虫啉防治台湾乳白蚁的初步研究[J]. 华南农业大学学报, 2000, **21** (4): 33–39.
- [29] MARICONI F A M, GALAN V B, ROCHA M T, et al. Field tests for control of the Mound-building termite *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832) (Isoptera: Termitidae)[J]. *Scientia Agricola*, 1994, **51** (3): 505–508.
- [30] 林雁, 黄晓光. 灭蚁灵、氟虫胺及吡虫啉粉剂对散白蚁的药效研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2006, **17** (5): 382–384.
- [31] 张良, 邓建海, 王问学. 吡虫啉防治家白蚁的试验研究[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2005, **11** (3): 219–223.
- [32] 邢嘉琪. 3种国外木材防腐剂室内防腐防霉防白蚁性能评价[J]. 木材工业, 2005, **19** (2): 39–42.
- [33] HWANG W J, KARTAL S N, IMAMURA Y J. Evaluation of new quaternary ammonium compound, didecyldimethylammonium tetrafluoroborate (DBF) in comparison with DDAC: Leachability and termite resistance tests [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 2006, **64**: 111–116.
- [34] TAKESHI F, LIANG L, SADANOBU K. Leachability, decay, and termite resistance of wood treated with metaborates [J]. *Jpn Wood Res Soc*, 2003, **49**: 344–348.
- [35] TEMIZ L, KARTAL S N, ALFREDSEN G, et al. Fungal and termite resistance of wood treated with 4-methoxytrityl tetrafluoroborate [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 2006, **64**: 411–414.
- [36] HARUHIKO H, YAMAGUCHI H. Silicic acid: boric acid complexes as wood preservatives—Ability of treated wood to resist termites and combustion [J]. *Wood Sci Technol*, 2003, **37**: 287–298.
- [37] YALINKILIC M K, GEZER E D, TAKAHASHI M, et al. Boron addition to non- or low-formaldehyde cross-linking reagents to enhance biological resistance and dimensional stability of wood [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 1999, **57**: 351–357.
- [38] 骆土寿. 化学改性杨木的抗白蚁和抗霉耐腐性能研究[J]. 林业科技开发, 1999 (6): 33–34.
- [39] 林捷, 叶功富, 伊可儿, 等. 树木提取液抑制白蚁的效能试验[J]. 防护林科技, 2006 (1): 1–4.