

进口辐射松木材可处理性能及防腐性能测评

张斌¹, 马星霞¹, 张景朋¹, 李晓文^{1,2}, 蒋明亮¹, 周永东¹

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 中国热带农业科学研究院橡胶研究所, 海南海口 571101)

摘要: 对进口辐射松木材的天然耐腐性能及其热处理材、防腐处理材的防腐性能进行综合评价, 结果表明: 进口辐射松木材天然耐腐等级为III级(稍耐腐), 热处理可使耐腐等级提高到I级(强耐腐); 其心、边材渗透性差异大, 边材短时间真空处理即可, 而心材则需先真空处理再常压浸泡, 载药量可达到1.17 kg/m³。使用CuAz-5处理边材, 在载药量为0.97 kg/m³时, 室内测试的质量损失率低于5.7%; 载药量为1.4 kg/m³时, 8年野外埋地测试材质完好。

关键词: 进口辐射松木材; 防腐性能; 可处理性; 热处理; 心边材

中图分类号: S782.33; S791.252; TS67 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2019)06-0051-03

Treatability and Decay Resistance of Imported Radiata Pine Wood

ZHANG Bin¹, MA Xing-xia¹, ZHANG Jing-peng¹, LI Xiao-wen^{1,2}, JIANG Ming-liang¹, ZHOU Yong-dong¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Haikou 571101, Hainan, China)

Abstract: The natural durability of Radiata pine (*Pinus radiata*) wood as well as the decay resistance of heat-treated and water-based copper azole-treated Radiata pine wood were evaluated.

The test results showed that natural durability of Radiata pine wood reached Grade III (slight decay resistance). The decay resistance of Radiata pine wood samples heat-treated at 215 °C for 3 hours was improved significantly to Grade I. The permeability of the Radiata pine wood was also assessed with the results showing a better permeability of the sapwood samples than the heartwood ones. To reach chemical retention value of 1.17 kg/m³, the sapwood could be easily treated in vacuum condition just for a short period of time, while the heartwood had to be treated in vacuum conditions and then soaked under normal pressure. When the sapwood samples were treated with CuAz-5 preservatives with 0.97 kg/m³ of the chemical retention value, the loss rate in laboratory test was less than 5.7%. When chemical retention value of 1.4 kg/m³, the sapwood samples performed equally well at both Year-1 and Year-8 field tests.

Key words: Radiata pine wood; decay resistance; treatability; heat treatment; heartwood; sapwood

辐射松是我国近年来进口量较大的树种之一, 广泛用于建筑木方、实木拼板、三层实木复合地板

基材和家具等领域^[1]。然而, 辐射松木材在户外使用容易遭受白蚁蛀蚀和腐朽菌侵蚀, 需要进行防腐或高温热处理, 以提高产品的使用寿命。

考虑到辐射松木材的边、心材密度及渗透性差别大等特点^[2-3], 笔者分别测定了辐射松边、心材的天然耐腐性能和水载性防腐剂处理的药剂渗透性能, 并与热处理材和水载型防腐剂处理试材进行了

收稿日期: 2019-05-03; 修改日期: 2019-09-02

基金项目: 中央级公益性科研院所基金项目“桃花心木和辐射松木材性质与加工技术研究”(CAFYBB2017ZC003)。

作者简介: 张斌(1987—), 男, 助理研究员。Email: 309258650@qq.com。

责任作者: 马星霞, 女, 副研究员。Email: mxxyln@139.com。

实验室防腐性能比较；同时对不同载药量处理边材的野外防腐性能进行了测评，旨为辐射松木材的防腐处理工艺制定提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1) 试材 新西兰进口辐射松 (*Pinus Radiata*)，20 年树龄，平均径级 46 cm，生材心材含水率 70%，边材含水率 150%；干燥后心材平均含水率 8.2%，边材含水率平均 7.2%。

2) 防腐剂 按 GB/T 27654-2011《木材防腐剂》，配制质量分数 0.5%的铜唑 (CuAz-5)。

3) 菌种 褐腐菌 (密粘褶菌 *Gloeophyllum trabeum*)和白腐菌 (彩绒革盖菌 *Coriolus versicolor*)，中国林科院木材工业研究所菌虫标本馆提供。

1.2 仪器与设备

压力蒸汽灭菌锅，恒温恒湿箱，马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (PDA)，真空泵等。小型高温热处理设备，以过热蒸汽作为保护气体。

1.3 试验方法

1.3.1 热处理

热处理试材尺寸为 500 mm×120 mm×25 mm，未区分心边材，每组试样数 20 条。参照工厂成熟工艺，制定工艺流程如下：

预热阶段：温度 100 ℃、含氧量 16%，1 h；

干燥阶段：温度 130 ℃、含氧量 13%，2 h；

中间升温：温度 180 ℃、含氧量 5%，1 h；

热处理阶段：温度 215 ℃、含氧量 2%，3 h；

降温阶段：温度 100 ℃、含氧量 16%，1 h；

调湿处理：降温结束后再向窑内喷满蒸汽，停机，保持窑门关闭，第二天取出试材。

1.3.2 防腐处理

原木锯解时将心材和边材分别锯解为 20 mm×20 mm×60 mm 的试件。前期预试验结果表明，由于心边材对防腐剂的渗透性存在差异，心材比边材更难于处理，因此，试验对心边材采用不同的处理方法。每组 8 块试件。

边材：前真空-0.09 MPa，处理 5 min。

心材：设置三种工艺^[4]，① 真空处理 5 min；② 真空处理 60 min；③ 真空处理 60 min，然后常压浸

泡 60 min。

1.4 性能检测

1.4.1 载药量和透入深度

对防腐处理心边材分别进行测定。

1) 载药量：采用差重法测量^[5]，浸药前试件绝干质量为 M1，浸药之后质量为 M2，试件载药量=(M2-M1)×c (药液浓度)，再换算单位体积载药量 (kg/m³)。

2) 透入深度：将试件分别纵向和横向切开后，通过铜离子显色剂 (铬天青) 显色，测量显色部位深度^[6]。

1.4.2 防腐性能

1) 按照 GB/T 13942.1-2009《木材耐久性能 第1 部分：天然耐腐性实验室试验方法》，检测未处理心材和边材以及热处理材、铜唑处理边材的实验室防腐性能。试样尺寸为 20 mm×20 mm×10 mm，每组试样数量为 12。

2) 参照 GB/T 27655-2011《木材防腐剂性能评估的野外埋地试验方法》，检测铜唑防腐剂处理边材的野外耐腐性能。试样尺寸为 20 mm×20 mm×300 mm，各种载药量的边材试样为 10。

2 结果与分析

2.1 不同防腐处理工艺下边材、心材的渗透性能

经 0.5%铜唑 CuAz-5 药剂处理的边材和心材试样载药量和透入深度，列于表 1。

表 1 不同防腐处理工艺下辐射松边材、心材的载药量和透入深度

Tab.1 Chemical retention on Radiata pine wood samples treated with different processes

试验材料	处理工艺	载药量/(kg·m ⁻³)	纵向透入深度/mm	横向透入情况
边材	真空处理 5 min	3.85	全透	全透
心材	真空处理 5 min	0.56	1.8±1.0	表层很浅
心材	真空处理 60 min	0.63	2.0±1.0	木射线全透 (色浅)
心材	真空 60 min + 常压浸泡 60 min	1.17	2.5±1.5	木射线全透 (色深)

表 1 结果显示，辐射松边材只需短时间真空处理就可以完全浸透，这是因为边材的管胞等多是中空的，利于药液浸入。

心材则很难吸收药液，真空处理 5 min 时，纵向透入深度不到 2 mm，横向则只在表层浅浅渗入；即使延长真空处理时间至 60 min，防腐剂透入深度变化甚微，载药量也仅有小幅增加。

心材在真空处理之后再继续常压浸泡，透入深度最深可增加到 4 mm，载药量增加到 1.17 kg/m³。药液主要是通过木射线浸入，可满足心材防腐需求。分析原因是：辐射松心材管胞的具缘纹孔常发生纹孔闭塞，纹孔膜上又累积了丰富的沉积物，因此，比较难浸注^[7]。真空处理可以将心材细胞中残存的气体吸出，而恢复常压后，木材细胞腔内的气体体积收缩而产生负压，促使药液进一步浸入木材细胞中，同时延长浸泡时间，可以促进药液缓慢地向内渗透，从而提高载药量。

2.2 室内耐腐性能测试

首先采用毛白杨试材进行菌株活性测试，结果显示毛白杨试材受白腐菌和褐腐菌侵染后，质量损失率分别为 76.97%和 41.74%，说明试验用菌株腐朽力正常。

不同处理辐射松试样的室内耐腐测试结果，列于表 2。

表 2 辐射松试材室内耐腐性能测试结果

Tab.2 Laboratory tests on decay resistance of Radiata pine wood samples

试样类别	质量损失率%		耐腐等级
	白腐菌	褐腐菌	
未处理边材	37.05	10.44	III（稍耐腐）
未处理心材	23.97	11.15	III（稍耐腐）
热处理材	8.04	3.99	I（强耐腐）
CuAz-5 处理边材 （载药量 0.97 kg/m ³ ）	2.29	5.70	I（强耐腐）

依据试材受白腐菌和褐腐菌侵染后的质量损失率判断，未处理辐射松心、边材的天然耐腐等级为 III 级，受白腐菌侵染质量损失更明显。因此，辐射松木材在户外使用时，需要进行防腐处理。

经过 215 ℃、3 h 热处理的试样，受白腐菌和褐腐菌侵染后的质量损失率仅为 8.04%和 3.99%，达到 I 级，说明该热处理工艺可有效提高辐射松耐腐性能，与以往研究结果一致^[8-10]。热处理可使木材成分发生不同程度的降解和结构变化，使菌类没有充足的营

养维持生存；热处理还可减缓菌丝在管胞的次生壁方向和木射线组织方向上的生长速度，因而降低了菌类对木材的侵染程度^[11-12]。

载药量 0.97 kg/m³ 的 CuAz-5 处理材，受白腐菌和褐腐菌侵染后的质量损失率仅为 2.29%和 5.70%，均为强耐腐级，说明铜唑防腐剂可显著提高辐射松木材的耐腐性能。

2.3 野外埋地试验

CuAz-5 处理边材在北京地区野外试验场进行埋地 8 年测试，数据列于表 3。

表 3 防腐处理辐射松试材野外埋地测试结果

Tab.3 Field stake tests of Radiata pine sapwood samples treated with preservatives

平均载药量/ (kg·m ⁻³)	腐朽完好指数		
	埋地测试 1 年	埋地测试 2 年	埋地测试 8 年
0	8.1	0	/
1.4	10	10	10
2.1	10	10	10
3.0	10	10	10

表 3 结果显示：未经防腐处理的辐射松边材试样 2 年后已全部腐朽；经过铜唑 CuAz-5 处理的边材试样，且载药量大于 1.4 kg/m³ 时，埋地 8 年仍保持完好无损。根据 GB/T 13942.2-2009 可判断，载药量大于 1.4 kg/m³ 的 CuAz-5 辐射松边材达到了强耐腐等级。

3 结论

1) 新西兰进口辐射松木材的天然耐腐等级为 III 级（稍耐腐），不论心材还是边材如果用于户外，都需要进行防腐处理。

2) 辐射松边材极易被药剂渗透，心材则需采取合适的处理工艺，方可显著提高心材载药量，表明辐射松为较易处理的树种。

3) 经过温度 215 ℃、3 h 热处理的辐射松木材，防腐性能可提高到 I 级（强耐腐）。

4) 采用铜唑 CuAz-5 处理辐射松边材，载药量 0.97 kg/m³ 时，室内测试耐腐性能显著提升；载药量高于 1.4 kg/m³ 时，野外埋地 8 年仍完好无损，达到了强耐腐等级。

（下转第 58 页）

参考文献:

- [1] 罗伟祥, 张文辉, 黄一钊, 等. 中国栓皮栎[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [2] 罗伟祥, 郝怀晓, 薛安平. 橡树资源-优质林木生物质能源发展战略研究[J]. 生物质化学工程, 2006, S1:147-152.
- LUO W X, HAO H X, XUE A P. Resources of the oak-developing strategic research on biomass energy of high-quality forests[J]. Biomass Chemical Engineering, 2006, S1:147-152.
- [3] 吴有红. 安泰山下麻栎林生长特性及发展前景[J]. 山西林业, 2017, 4:32-33.
- WU Y H. Growth characteristics and development prospect of *Quercus acutissima* under Antai mountain[J]. Shanxi Forestry, 2017, 4:32-33.
- [4] 周建云, 曹旭平, 张宏勃, 张进. 陕西栓皮栎天然型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1):16-19.
- ZHOU J Y, CAO X P, ZHANG H B, ZHANG J. Classification of natural types of *Quercus variabilis* in Shanxi Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(1):16-19.
- [5] 任耀忠, 张文辉, 周建云. 栓皮栎不同变异类型的优良性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(6):60-63.
- REN Y Z, ZHANG W H, ZHOU J Y. Superiority analyses on different variant types of *Quercus variabilis*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(6):60-63.
- [6] 王雪玉, 王玉荣, 龚迎春, 任海青. 国产栎木木材性质及加工技术研究现状[J]. 木材工业, 2019, 33(5):30-33.
- WANG X Y, WANG Y R, GONG Y C, REN H Q. Review of properties and processing technology of native oak timber in China[J]. China Wood Industry, 2019, 33(5):30-33.
- [7] 成俊卿. 木材学[M]. 中国林业出版社, 1985.
- [8] 何拓, 罗建举. 20种红木类木材颜色和光泽度研究[J]. 林业工程学报, 2016, 1(2):44-48.
- HE T, LUO J J. Study on the color and luster of twenty species of rosewood[J]. Journal of Forestry Engineering, 2016, 1(2):44-48.
- [9] 何盛, 林兰英, 傅峰. 樟子松木材苯醇抽提物含量对其胶合性能的影响[J]. 木材工业, 2014, 28(3): 9-12.
- HE S, LIN L Y, FU F. Effect of benzene-alcohol extractives content on gluability of *Pinus sylvestris* lumber[J]. China Wood Industry, 2014, 28(3):9-12.
- [10] 刘成倩, 王传贵, 李媛媛, 朱家伟. 枫香木材化学成分及其在高度上的变异规律[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(6):1043-1046.
- LIU C Q, WANG C G, LI Y Y, ZHU J W. The chemical components of *Liquidambar formosana* and their longitudinal variation[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2017, 44(6):1043-1046.
- [11] 张双燕. 化学成分对木材细胞壁力学性能影响的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院博士学位论文, 2011.
- [12] 徐有明. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [13] 张双燕, 费本华, 余雁, 程海涛, 王传贵. 木质素含量对单根纤维力学性能影响的研究[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(1):131-134.
- ZHANG S Y, FEI B H, YU Y, CHENG H T, WANG C G. Influence of lignin content on tensile properties of single wood fiber[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(1):131-134.
- [14] Rowell R M. The chemistry of solid wood[M]. Washington D C, American Chemical Society, 1984.

(责任编辑 向琴)

(上接第53页)

参考文献:

- [1] 周永东. 进口桃花心木和辐射松木材性质及加工技术研究[J]. 木材工业, 2019, 33(1): 1-4.
- ZHOU Y D. Wood properties and processing technology of radiata pine and mahogany[J]. China Wood Industry, 2019, 33(1): 1-4.
- [2] 汪矛, 张志农. 边材与心材[J]. 生物学通报, 1998, 33(9): 13-14.
- WANG M, ZHANG Z N. Sapwood and Beartwood[J]. Bulletin of Biology, 1998, 33(9): 13-14.
- [3] 姜笑梅, 张立非, 周崑. 国产阔叶树材导管中侵填体和树胶的研究[J]. 林业科学, 1995, 31(2): 155-161.
- JIANG X M, ZHANG L F, ZHOU G. Study on invasion and gum in domestic broad-leaved tree tubes[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1995, 31(2): 155-161.
- [4] 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, 2016, 49(7): 123-129.
- XI L X, MA X X, JIANG M L. Decay and termite resistant performance of triazole preservatives[J]. Scientia Silvae Sinicae. 2016, 49(7): 123-129.
- [5] 蒋明亮, 马星霞. 氨(胺)溶季铵铜处理进口木材的野外埋地耐久性能[J]. 木材工业, 2016, 30(1): 50-52.
- JIANG M L, MA X X. Durability of imported timber treated with ammoniacal copper quaternary by field stake test in China[J]. China Wood Industry, 2016, 30(1): 50-52.
- [6] 崔新宇, 邓代千, 靳革, 等. 混合表面活性剂-铬天青S与铜显色反应研究及应用[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2428-2430.
- CUI X Y, DENG D Q, JIN G. Study and application of colour reaction of mixed surfactant-chrome azure s with copper[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory. 2011, 28(5): 2428-2430.
- [7] 姜笑梅, 鲍甫成, 吕建雄. 两种难浸注木材的显微和超微构造及其与渗透性的关系[J]. 林业科学, 1993, 29(4): 331-341.
- JIANG X M, BAO F C, LV J X. Microstructure and ultrastructure of two difficult-to-impregnate wood species and their relations with permeability[J]. Scientia Silvae Sinicae. 1993, 29(4): 331-341.
- [8] 马星霞, 蒋明亮, 吕慧梅, 等. 樟子松热处理材耐久性能的评价[J]. 木材工业, 2011, 25(1): 44-47.
- MA X X, JIANG M L, LV H M. Heat-treated *Pinus sylvestris* durability[J]. China Wood Industry, 2011, 25(1): 44-47.
- [9] 程大莉, 蒋身学, 张齐生. 杉木热处理材的耐腐性能研究[J]. 木材工业, 2008, 22(6): 11-13.
- CHENG D L, JIANG X S, ZHANG Q S. Study on decay resistance of heat-treated Chinese fir[J]. China Wood Industry, 2008, 22(6): 11-13.
- [10] 马星霞, 蒋明亮, 吴玉章, 等. 樟子松热处理材耐腐性的评价[J]. 木材工业, 2009, 23(5): 45-48.
- MA X X, JIANG M L, Wu Y Z. Decay resistance of heat-treated *Pinus sylvestris* [J]. China Wood Industry, 2009, 23(5): 45-48.
- [11] Schwarze, F.W.M.R.& Spycher, M. Resistance of thermo-hygro-mechanically densified wood to colonization and degradation by brown-rot fungi [J]. Holzforschung, 2005, 59: 358-363.
- [12] Skyba O, Niemz P, Schwarze F W. Resistance of thermo-hygro-mechanically (THM) densified wood to degradation by white rot fungi [J]. Holzforschung, 2009, 63(5): 639-646.

(责任编辑 向琴)