

# 热处理对桉树木材抗湿胀性能的影响\*

曹永建 王 颂 李怡欣 李兴伟  
王剑菁 谢桂军 李万菊

(广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

**摘要** 热处理是显著提高木材尺寸稳定性的重要途径之一。该研究采用完全随机区组设计方法, 以处理温度 180~220 °C、处理时间 1~5 h 等不同组合条件在真空度为 -0.08 MPa 的密闭容器内对木材进行热处理, 测定了尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*)、尾巨桉 (*E. urophylla* × *E. grandis*)、巨桉 (*E. grandis*) 3 种木材的体积从全干至全湿过程中的体积变化率。结果表明, 尾叶桉、尾巨桉、巨桉 3 种木材的抗湿胀性能分别提高了 6.60~59.27、6.72~64.91 和 11.85~60.02 个百分点。

**关键词** 热处理; 桉树; 抗湿胀率

中图分类号: S781.62 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2017) 06-0020-04

## Effect of Thermal Treatment on Anti-Swelling Characteristics of *Eucalyptus*

CAO Yongjian WANG Song LI Yixin LI Xingwei WANG Jianjing  
XIE Guijun LI Wanju

(Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract** Thermal treatment is one of the high-efficiency methods to improve the dimensional stability of wood. In this study, *Eucalyptus urophylla*, *E. urophylla* × *E. grandis* and *E. grandis* were treated at temperatures of 180–220 °C for 1–5 h, respectively, then the effect of thermal treatment on the anti-swelling efficiency of wood was investigated based on wood sample from absolute-dry, air-dry to absolute-wet volumes according to the method of Random Complete Block Design. The results showed that, under the treatment conditions above mentioned, the anti-swelling efficiency of *E. urophylla*, *E. urophylla* × *E. grandis* and *E. grandis* was increased by 6.60–59.27, 6.72–64.91 and 11.85–60.02 percentage point respectively. Thermal treatment has a significant contribution to extend the utilizable fields of eucalyptus resources.

**Key words** thermal treatment; *Eucalyptus*; anti-swelling efficiency

桉树 (*Eucalyptus*) 是我国三大主要速生树种之一, 自 1890 年引种以来, 截至 2013 年底, 我国桉树种植面积达 450 万 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 广泛分布于我国南方大部分地区, 对缓解我国木材供需矛盾发挥着重要作用。为提高桉树木材的尺寸稳定性, 各国学者采用热处理技术对各种桉树木材及其他树种木材

的尺寸稳定性进行了深入研究。一些学者研究了热处理温度和时间对蓝桉 (*Eucalyptus globulus*)、尾赤桉 (*E. urophylla* × *E. camaldulensis*)、王桉 (*E. regnans*) 等木材湿胀性能的影响<sup>[2-5]</sup>。一些学者采用不同的热处理介质及热处理工艺因子组合条件分别对杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、杨树

\* 基金项目: 广东省省级科技计划项目“珍贵树种培育创新团队建设”(2016B070701008)。

第一作者: 曹永建 (1976—), 男, 副研究员, 主要从事木材科学与技术研究, E-mail: yjcao@sinogaf.cn。

(*Populus tomentosa*)、樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、柞木 (*Xylosma racemosum*)、水曲柳 (*Fraxinus mandschurica*) 等木材进行了热处理研究, 发现不同的热处理工艺条件对木材的湿胀性能影响显著, 且不同处理条件下木材的抗湿胀性能的提高率也不尽相同<sup>[6-12]</sup>, 但研究成果均表明, 热处理可显著提高木材的抗湿胀性能。

虽然国内外就木材热改性技术对木材的尺寸稳定性进行了研究, 但所研究的木材种类繁多, 对桉树木材在热改性后的抗湿胀率方面的研究报道并不多见, 而且尽管是同一树种, 也会由于产地不同、树龄不同而导致其材性有很大的区别。

为此, 本研究选取我国南方地区种植面积最为广泛的尾叶桉 (*E. urophylla*)、尾巨桉 (*E. urophylla* × *E. grandis*)、巨桉 (*E. grandis*) 为研究对象, 通过热改性处理, 以期提高木材的抗湿胀性能, 拓宽桉树木材的应用领域。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本研究中采用的树种共有 3 个, 分别为尾叶桉、尾巨桉、巨桉, 每种 10 株。其中尾叶桉、巨桉 (6~7 a 生) 采自广东省国营雷州纪家林场; 尾巨桉 (6~7 a 生) 采自广东省西江林业总场西江林业科学研究所。

### 1.2 试验仪器

热处理设备为真空干燥湿热试验箱, 真空度为 -0.08 MPa。螺旋测微仪 (G214) 精度为 0.001 mm。

### 1.3 试验方法

1.3.1 热处理方法 采用完全随机区组设计 (Random Complete Block Design, RCBD) 方法来设计本研究, 处理温度为 180、190、200、210、220 °C, 处理时间分别为 1、2、3、4、5 h。另设一组未经任何处理的试件作为对照组。试材的尺寸规格为 25 mm × 25 mm × 500 mm (弦向 × 径向 × 轴向)。自室温升高至 100 °C 时的升温速度设定为 1.5 °C/min; 自 100 °C 升到所需热处理温度的升温速度设定为 1 °C/min。将上述试材做完热改性处理后, 再制备成 20 mm × 20 mm × 20 mm 的试件, 用于测定体积的湿胀率。

1.3.2 测定方法 热处理前后试样的气干体积、全干体积的湿胀率依据中华人民共和国标准<sup>[13]</sup>测

定, 计算 3 种桉树木材从全干至气干、全干至吸水后体积饱和和水体积的抗湿胀率。

$$a_{V_w} = \frac{V_w - V_0}{V_0} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$a_{V_{\max}} = \frac{V_{\max} - V_0}{V_0} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{抗湿胀率} (\%) = (\text{对照材湿胀率} - \text{处理材湿胀率}) / \text{对照材湿胀率} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中,  $a_{V_w}$  为试样从全干到气干时的体积湿胀率, %;

$V_w$  为试样气干时的体积,  $\text{mm}^3$ ;

$V_0$  为试样全干时的体积,  $\text{mm}^3$ ;

$a_{V_{\max}}$  为试样从全干到吸水至尺寸稳定时的体积湿胀率, %;

$V_{\max}$  为试样吸水至尺寸稳定时的体积,  $\text{mm}^3$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 尾叶桉木材抗湿胀性能

热改性处理对尾叶桉木材的气干体积、全干体积的抗湿胀率具有明显的提升作用。图 1 表明, 随着处理温度的升高和时间的延长, 木材的抗湿胀率均有了明显的提高, 尤其是在相同处理温度条件下, 在处理时间从 1 增至 2 h 时, 抗湿胀率有一个迅速增加的过程。此变化趋势与尾叶桉木材的全干体积抗湿胀率变化趋势相似 (图 2), 且均在 220 °C、5 h 时达到最大值, 与未处理材相比, 分别提升 58.61 和 59.27 个百分点。

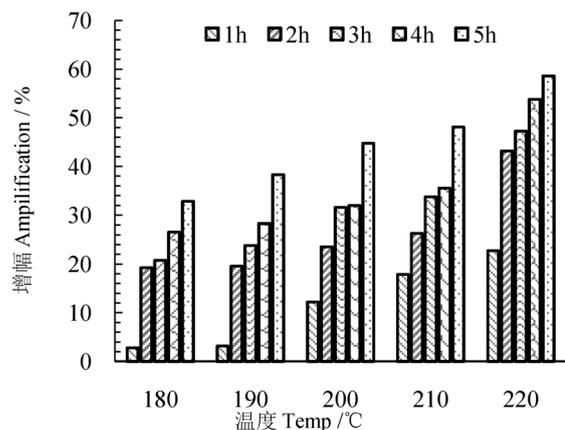


图 1 尾叶桉气干体积抗湿胀率变化  
Fig.1 Changes in air-dry anti-swelling ratio of *E. urophylla*

双因素方差分析表明, 处理温度和处理时间对尾叶桉木材的气干体积、全干体积湿胀率有显著影响 ( $P < 0.01$ )。

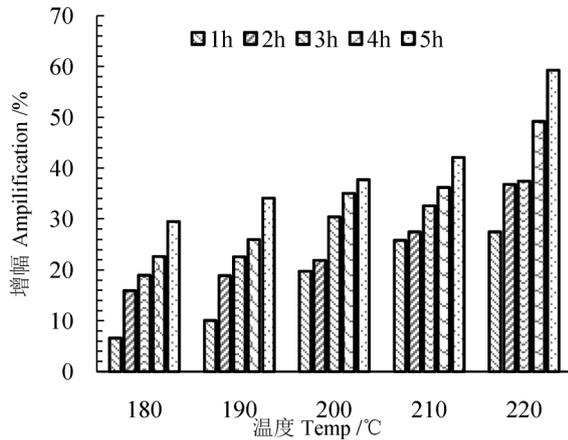


图2 尾叶桉全干体积抗湿胀率变化

Fig.2 Changes in saturated anti-swelling ratio of *E. urophylla*

2.2 尾巨桉木材抗湿胀性能

热处理明显提高了尾巨桉木材的抗湿胀性能, 在温度 180~220 °C、处理时间 1~5 h 范围内, 与对照材相比, 气干体积和全干体积的抗湿胀率分别

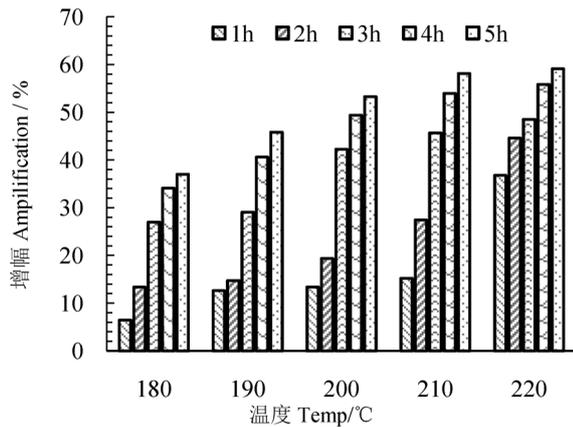


图3 尾巨桉气干体积抗湿胀率变化

Fig.3 Changes in air-dry anti-swelling ratio of *E. urophylla* × *E. grandis*

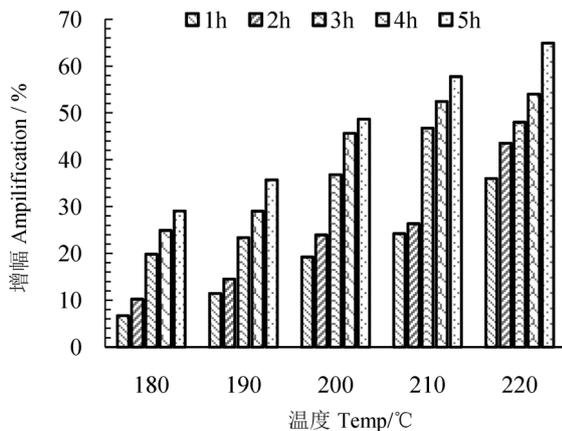


图4 尾巨桉全干体积抗湿胀率变化

Fig.4 Changes in saturated anti-swelling ratio of *E. urophylla* × *E. grandis*

提高了 6.43~59.14 和 6.72~ 64.91 个百分点。由图 3、4 可知, 相同处理温度条件下, 当处理时间范围为 1~3 h 时, 木材的抗湿胀性能提高缓慢; 但当处理时间超过 3 h 后, 其抗湿胀性能迅速增强。

双因素方差分析结果表明, 处理温度和时间均对尾巨桉木材气干体积、全干体积的湿胀率具有显著的影响 ( $P < 0.01$ )。

2.3 巨桉木材抗湿胀性能

热处理对巨桉木材的抗湿胀性能也具有明显的提高作用。在温度 180~220 °C、处理时间 1~5 h 范围内, 与对照材相比, 气干体积和全干体积的抗湿胀率分别提高了 11.68~60.53 和 11.84~60.02 个百分点。由图 5、6 可以看出, 在相同处理温度条件下, 当处理时间超过 3 h 时, 木材的抗湿胀性能迅速提高, 随后在由 4 延长至 5 h 时, 其抗湿胀率提高速度较缓。总体来看, 在低温处理时 (180~200 °C), 随着处理时间的延长, 抗湿胀率提

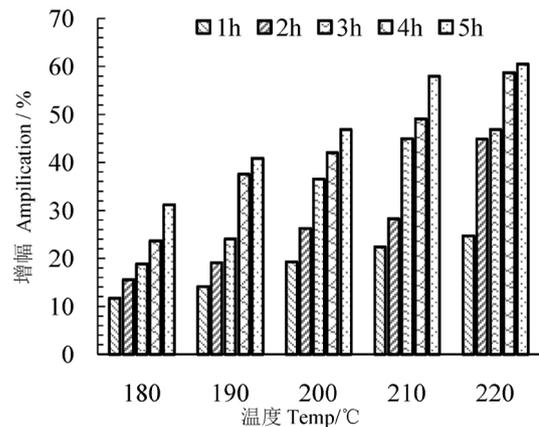


图5 巨桉气干体积抗湿胀率变化

Fig.5 Changes in air-dry anti-swelling ratio of *E. grandis*

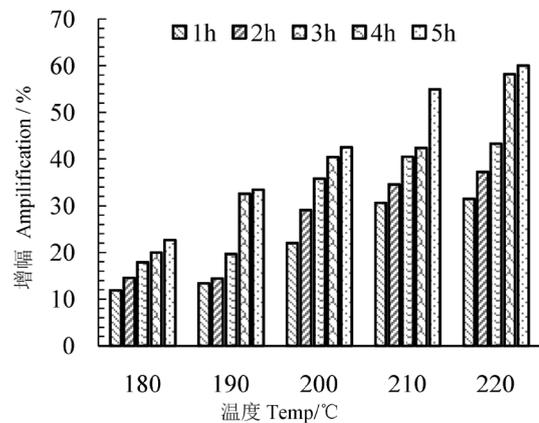


图6 巨桉全干体积抗湿胀率变化

Fig.6 Changes in saturated anti-swelling ratio of *E. grandis*

高缓慢；但在高温处理时（200~220 ℃），随着时间的延长，其抗湿胀率迅速提升。

双因素方差分析表明，处理温度和时间均对巨桉木材气干体积、全干体积的湿胀率均具有显著的影响（ $P < 0.01$ ），且温度的影响更为显著。

上述研究结果表明，热改性处理对提高尾叶桉、尾巨桉、巨桉3种木材的尺寸稳定性即抗湿胀性能具有显著的增强作用，且在本研究处理条件范围内3种木材抗胀缩性能的最大提升幅度分别为59.27、64.91、60.02个百分点。

### 3 结论与展望

热处理可显著提高木材的抗湿胀性能。这主要是由于在热处理过程中，木材中大量的亲水性基团羟基（-OH）流失，同时生成了憎水性新物质，因此大大降低了木材的吸湿性，提高了木材的尺寸稳定性。此外，木质素的化学变化也是导致木材湿胀性降低的重要原因。丁涛等<sup>[11]</sup>采用拉曼光谱对南方松（*Pinus sp.*）热处理材进行了分析，结果表明木素在热处理过程中部分化学键发生断裂并伴随新化学键的形成，木素结构发生了变化，因此对木材的吸湿和平衡直到了阻滞和延迟的作用。王喆等<sup>[12]</sup>对热处理落叶松（*Larix kaempferi*）进行了红外光谱和光电子光谱分析，表明热处理后木材纤维素和半纤维素等化学成分发生降解，木质素发生交联缩合反应，使得吸湿性基团含量减少，碳元素与氧元素含量发生变化，氧碳比降低。另外，从C原子的结合形式来看，热处理材的C1含量增加，C2和C3含量降低，这些化学变化使得热处理材的吸湿性降低。

木材热改性技术是显著提高木材尺寸稳定性最有效的方法之一，且整个处理过程中不添加任何化学物质，是绿色、环境友好型木材改性方法，契合当前世界倡导绿色发展的大环境，是我国林业工业发展的必然方向。本研究中采用热改性技术对我国桉树人工林木材进行改性处理，显著提升了木材的抗湿胀率，增加高达59个百分点以上，有效拓宽了桉树人工林木材的应用领域。由

于不同产地、不同种类的桉树其物理性能不尽相同，因此，针对不同种的桉树，深入研究其热改性机理，制定出不同种桉树的热处理工艺，必将有效推动我国桉树产业供给侧结构性调整，保障我国人工林桉树资源的健康发展。

### 参考文献

- [1] 黎洁, 温亚, 何蓉, 等. 桉树种植的现状、生态问题与可持续发展对策研究[J]. 绿色科技, 2017, 1(2): 94-97.
- [2] SANTOS J A. Mechanical behaviour of *Eucalyptus* wood modified by heat[J]. Wood Science and Technology, 2000, 34: 39-43.
- [3] 巫国富, 韦春义, 曾俊钦, 等. 速生人工林桉树木材高温热处理研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(19): 44-48.
- [4] 廖立, 涂登云, 李重根, 等. 热处理对尾赤桉木材物理力学性能的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(5): 128-131.
- [5] 彭鹏祥, 徐开蒙, 涂登云, 等. 热水处理对王桉木材干缩率和皱缩的影响[J]. 广东林业科技, 2010, 26(6): 24-27.
- [6] STAMM A J, HANSEN L A. Minimizing wood shrinkage and swelling: effect of heating in various gases[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1937, 29(7): 831-833.
- [7] CAO Y J, LV J X, HUANG R F, et al. Increased dimensional stability of Chinese fir through steam-heat treatment[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2012, 70: 441-444.
- [8] 丁涛, 顾炼百, 蔡家斌. 热处理对木材吸湿特性及尺寸稳定性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(2): 143-147.
- [9] 涂登云, 王明俊, 顾炼百, 等. 超高温热处理对水曲柳板材尺寸稳定性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(3): 113-116.
- [10] 曹永建, 李兴伟, 王剑菁, 等. 高温干燥处理对桉树木材抗干缩性能的影响研究[J]. 广东林业科技, 2015, 31(2): 78-83.
- [11] 丁涛, 王长菊, 彭文文. 基于拉曼光谱分析的热处理松木吸湿机理研究[J]. 林业工程学报, 2016, 1(5): 15-19.
- [12] 王喆, 刘君良, 孙柏玲, 等. 真空热处理人工林落叶松木材吸湿性变化机理研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(10): 3160-3164.