

热处理对桃花心木材尺寸稳定性和力学性能的影响

周凡, 付宗营, 高鑫, 周永东

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 以温度 150~210 °C 保温 4 h、180 °C 保温 2~6 h 为条件, 探究桃花心木材适用的热处理工艺。随着热处理温度升高和保温时间延长, 试材平衡含水率和湿胀率逐渐降低, 阻湿率和抗胀率增大; 抗弯弹性模量在 180 °C 以上时明显降低, 抗弯强度随温度升高一直下降; 随 180 °C 保温时间的延长, 抗弯弹性模量和抗弯强度先下降后趋于稳定。

关键词: 桃花心木; 热处理; 平衡含水率; 尺寸稳定性; 力学性质

中图分类号: S781.7; S792.33 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 05-0049-04

Dimensional Stability and Mechanical Properties of Heat-treated Mahogany Wood

ZHOU Fan, FU Zong-ying, GAO Xin, ZHOU Yong-dong

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

Abstract: Mahogany wood samples were heat-treated at five temperatures ranged from 150 and 210 °C for 4 hours, respectively. Another two groups of Mahogany wood samples were treated at 180 °C for 2 and 6 hours, separately. The dimensional stability and mechanical properties of the samples were tested. The results showed that the equilibrium moisture content (EMC) and swelling values of the samples decreased while increasing treating temperatures and times. This trend led to the increase of the moisture excluding efficiency and anti-swelling efficiency of the wood. The modulus of elasticity (MOE) of the samples decreased significantly when the heating temperature was above 180 °C. The modulus of rupture (MOR) of the samples decreased gradually with the increment of heating temperatures. The MOE and MOR of the samples treated at 180 °C decreased gradually until reaching stable values when the treating time maintained from 2 hours to 6 hours.

Key words: Mahogany wood; heat treatment; equilibrium moisture content (EMC); dimensional stability; mechanical properties

我国主要从印度尼西亚、巴西等国进口桃花心木, 用于制造家具、地板等高端实木制品。近年来,

进口的桃花心木材主要来自人工林^[1], 大部分原料的木材质量相对天然林木材较低^[2], 对其加工性质改良研究, 对合理利用该木材具有现实意义。

木材的尺寸稳定性和力学性能直接影响木制品的加工工艺、质量及利用价值。抗弯强度代表木材承受横向载荷的能力, 是地板等易弯曲构件的主要设计依据^[3]。

热处理是一种应用较广泛的木材性质改良方法, 可降低木材的吸水性、提高尺寸稳定性、提高

收稿日期: 2019-02-11; 修改日期: 2019-07-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“桃花心木和辐射松木材性质与加工技术研究”(CAFYBB2017ZC003); 国家木竹产业技术创新战略联盟项目“桃花心木地板坯料尺寸稳定性及涂饰技术研究”(TIAWBI2018-06)。

作者简介: 周凡(1990—), 女, 助理研究员。Email: zhoufanzju@163.com。

责任作者: 周永东, 研究员。Email: zhouyud@criwi.org.cn。

生物耐久性等^[4-7]；然而，热处理条件变化对不同树种木材尺寸稳定性和力学性能的影响存在差异^[8-11]。已有木材热处理的相关研究，主要针对杨木、杉木等地域性树种木材，目前鲜见桃花心木的热处理研究。鉴于此，笔者以桃花心木为研究对象，探究热处理温度和保温时间对桃花心木材尺寸稳定性和抗弯强度的影响规律，旨在为桃花心木热处理工艺的设置提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

印尼大叶桃花心木 (*Swietenia macrophylla*)，由张家港某公司提供。选取无缺陷的气干试材，含水率范围 11%~15%，试材加工规格为 500 mm×80 mm×25 mm (长×宽×厚)，数量 240 块。

1.2 主要设备装置

高温热处理窑 (由德国木材干燥机 Lignomat 改造而成，温度范围 0~250 °C，最大处理容量 0.2 m³)，恒温恒湿箱，万能力学试验机等。

1.3 试验方法

热处理试验在高温热处理窑中进行，以水蒸气作为保护介质，控制热处理保温阶段的氧气含量低于 2%，参照文献^[4-11]设置热处理参数范围。将试材分为 8 组，每组 30 块，其中 5 组分别在 150、165、180、195、210 °C 下保温 4 h，探究热处理温度的影响；2 组在 180 °C 下分别保温 2、6 h，分析保温时间的影响；1 组作为对照，不做处理。

1.4 性能检测

1.4.1 木材尺寸稳定性

模仿常温低湿和高温高湿两种环境，分别在 20 °C/ 30%RH 和 40 °C/ 90%RH 条件下进行平衡处理，按照 GB/T 1931-2009 《木材含水率测定方法》，测定试材的平衡含水率 (EMC)，并计算阻湿率 (Moisture excluding efficiency, MEE)^[12]；按照 GB/T 1934.2-2009 《木材湿胀性测定方法》，测定试材的湿胀率，并计算体积抗胀率 (Anti-swelling efficiency, ASE)^[12]。

1.4.2 木材力学性能

按照 GB/T 1936.1-2009 《木材抗弯强度试验方法》测试抗弯弹性模量 MOE 和抗弯强度 MOR。

2 结果与分析

2.1 木材尺寸稳定性

1) 平衡含水率和阻湿率

热处理温度和保温时间对桃花心木材平衡含水率 EMC 和阻湿率 MEE 的影响，如图 1 所示。

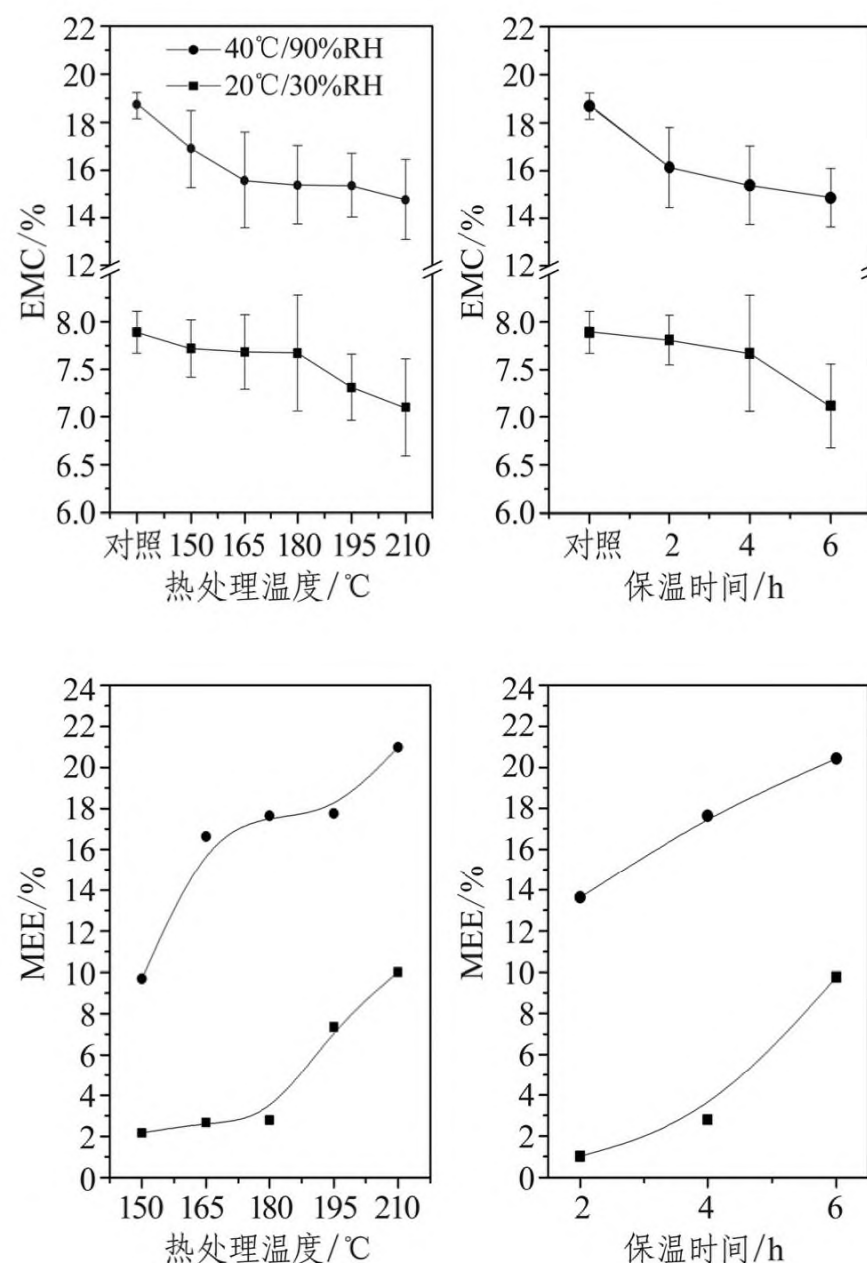


图1 热处理温度和保温时间对试材吸湿平衡含水率、阻湿率的影响

Fig.1 Effect of heat treatment temperature and time on EMC and MEE of mahogany wood samples

与未处理对照材相比，所有热处理试材的吸湿 EMC 降低。随着温度由 150 °C 升高到 210 °C，热处理试材在 40 °C/ 90%RH 的高温高湿条件下的 EMC，由 16.88% 逐渐降低到 14.77%，对应的 MEE 由 9.68% 逐渐增大到 20.98%。180 °C 保温 2 h、4 h、6 h 热处理试材，在高温高湿条件下的 EMC 分别为 16.14%、15.39%、14.87%，对应的 MEE 分别为 13.63%、17.64%、20.43%。可见热处理温度和保温时间作为热处理的重要工艺参数，提高热处理温度和延长时间，对木材性能的作用效果相似^[13]。

在 20 ℃/30%RH 常温低湿条件下, 处理材的 EMC 和 MEE 随热处理温度和保温时间的变化趋势, 与高温高湿条件相近。结果表明经过热处理的桃花心木材, 吸湿性明显降低。

热处理的作用原理是热处理过程木材中羟基官能团降解或部分被疏水性基团代替^[14], 木材细胞壁中亲水性官能团的数量减少, 导致水分的结合位点减少, 从而使木材的吸湿性减弱。

2) 湿胀率和体积抗胀率

热处理温度和保温时间对桃花心木材湿胀率和体积抗胀率的影响, 如图 2 所示。

由图 2 可见, 与对照材相比, 热处理试材的弦向、径向和体积湿胀率均降低, 体积抗胀率均增大, 性能改善; 且随热处理温度的升高、保温时间的延长, 体积抗胀率的增幅变大。随着热处理温度由 150 ℃增加到 210 ℃, 常温低湿平衡条件下的木材的体积湿胀率由 2.79% 逐渐降低到 2.31%, 相对应的体积抗胀率由 24.18% 逐渐增大到 37.23%; 热处理温度为 180 ℃时, 随着保温时间由 2 h 延长到 6 h, 体积湿胀率由 2.85% 逐渐降低到 2.24%, 相对应体积抗胀率由 22.55% 逐渐增大到 39.13%。

高温高湿条件下, 处理材湿胀率和体积抗胀率, 随热处理温度和保温时间的变化呈现同样的趋势。其机理是, 热处理使得水分进入木材细胞壁的能力削弱, 吸湿性降低, 因此木材的湿胀性变弱, 尺寸稳定性得到改善^[15]。热处理强度越大, 对木材尺寸稳定性的改善效果越显著, 从而有利于其木制品使用环境范围的扩大。

2.2 木材力学性能

热处理温度和保温时间对桃花心木抗弯弹性模量 MOE 和抗弯强度 MOR 的影响, 如图 3 所示。

150、165 ℃热处理对桃花心木材 MOE 的影响较小, 150 ℃热处理材的 MOE 比对照材仅下降 4.89%; 而当热处理温度升高到 180 ℃时 MOE 明显降低, 到 210 ℃时 MOE 仅 7.87 GPa, 较对照材下降了 17.36%。

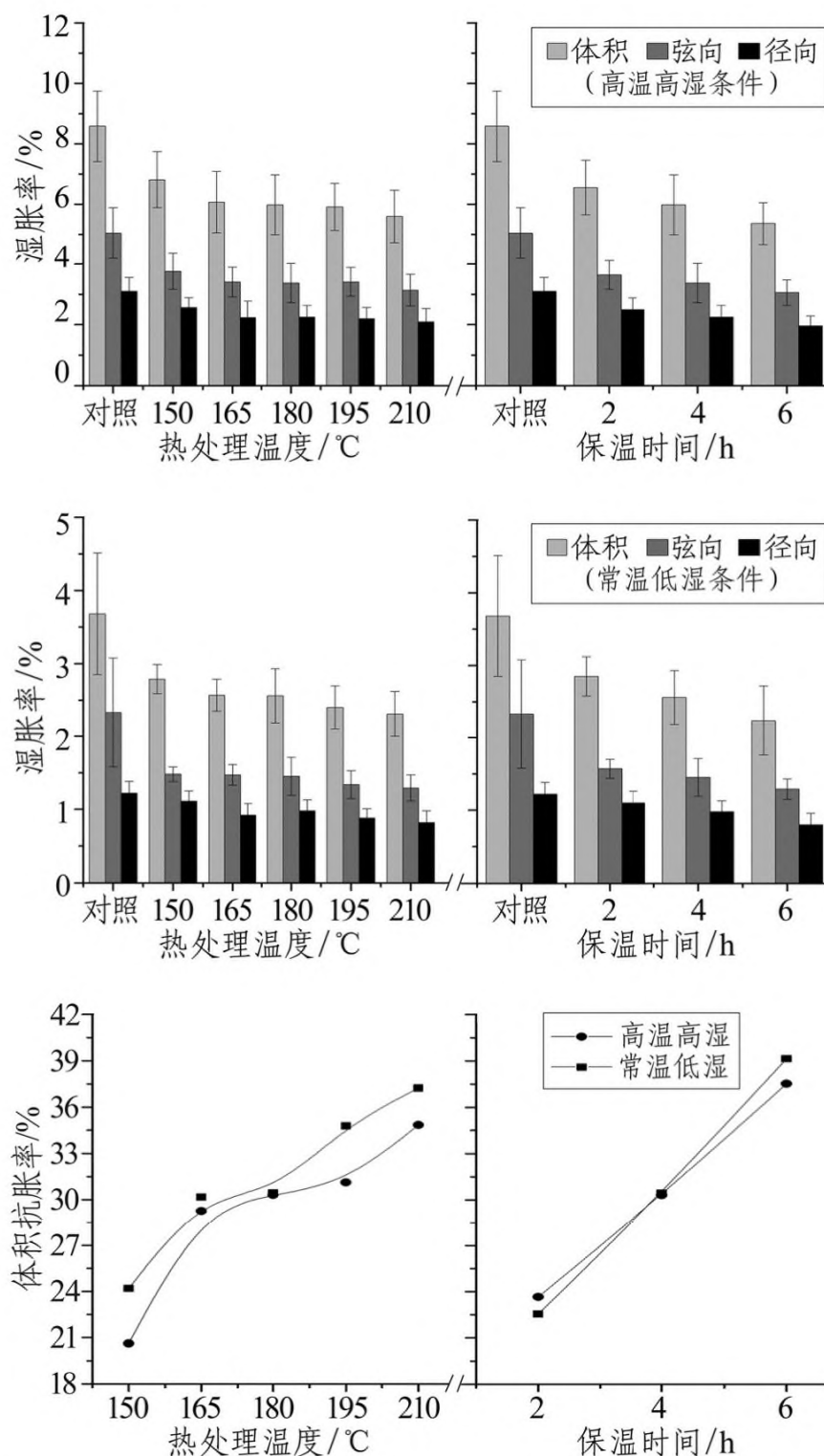


图 2 热处理温度和保温时间对试材湿胀率、体积抗胀率的影响
Fig.2 Effect of heat treatment temperature and time on swelling values and volumetric anti-swelling efficiency of mahogany wood samples

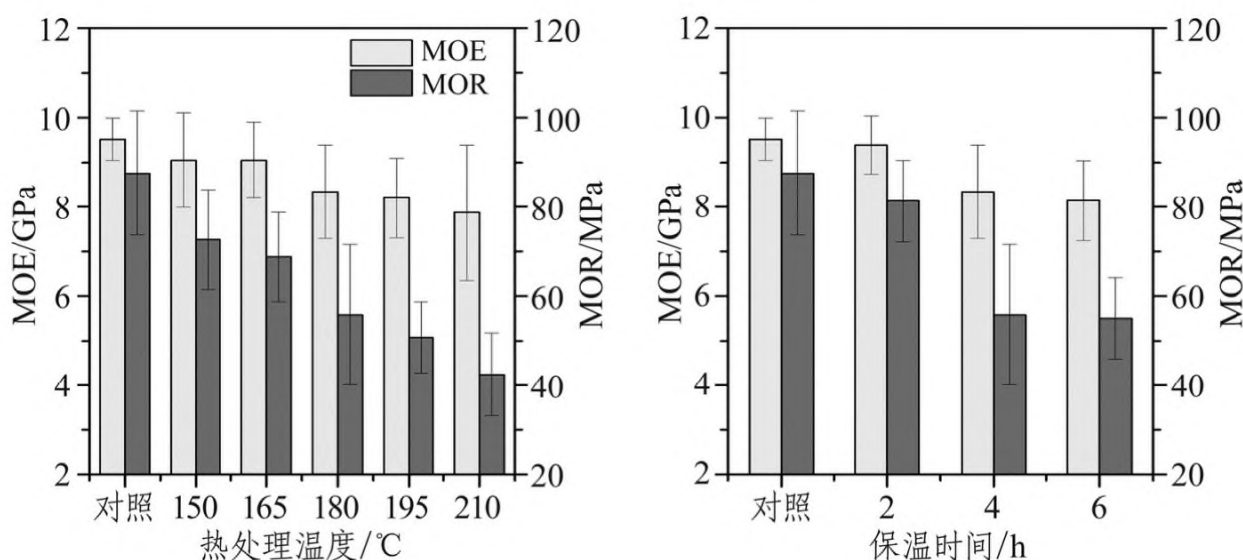


图 3 热处理温度和保温时间对桃花心木材抗弯弹性模量和抗弯强度的影响
Fig.3 Effect of heat treatment temperature and time on MOE and MOR of mahogany wood samples

热处理温度对桃花心木材 MOR 的影响大于对 MOE 的影响。随着热处理温度由 150 °C 升高到 210 °C, MOR 由 72.64 MPa 逐渐降低到 42.47 MPa, 较对照材 MOR 的降幅由 17.06% 增加到 51.50%。

温度 180 °C 下保温 2、4、6 h 热处理材, 其 MOE 分别较对照材下降了 1.37%、12.39%、14.50%。从保温时间的影响来看, 2 h 热处理材 MOE 降低不明显, 4 h 热处理材降幅明显, 但 4 h 与 6 h 的热处理材差异较小。保温时间对试材 MOR 的影响规律与 MOE 相似, 亦随着保温时间的延长, 呈现先下降后趋于稳定的变化趋势。

综上, 与对照材相比, 热处理桃花心木材的 MOE 和 MOR 总体呈降低趋势, 热处理温度越高、保温时间越长, 降低幅度越大, 和已有研究结果一致^[10, 16]。这是由于在温度 150 °C 以上木材的理化性质发生变化^[6, 17], 木材半纤维素、木质素与纤维素之间的联结在高温下被破坏, 导致其力学性质降低^[18]。

3 结论

1) 热处理降低桃花心木材的吸湿平衡含水率和湿胀率, 且热处理温度越高、保温时间越长, 降低幅度越大, 表明桃花心木热处理材吸湿性改善效果显著, 尺寸稳定性增强。

2) 随着热处理温度由 150 °C 升高到 210 °C, 以及 180 °C 保温时间延长, 桃花心木材的 MOE 和 MOR 总体呈降低趋势。生产中可通过控制热处理强度, 来控制热处理材的力学强度损失。

3) 热处理桃花心木材适用于尺寸稳定性要求较高的场合, 不建议用于强度要求较高的应用场合。实际生产中, 应根据桃花心木材的具体用途来选择合适的热处理条件。

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 Raiata pine and Mahogany[J]. China Wood Industry, 2019, 33(1): 1-4.
- [2] Priadi T, Hiziroglu S. 2013. Characterization of heat-treated wood species[J]. Materials and Design, 2013, 49: 575-582.
- [3] 李坚. 木材科学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 321-336.
- [4] Ahmed S A, Hansson L, Morén T. Distribution of preservatives in thermally modified Scots pine and Norway spruce sapwood[J]. Wood

- Science and Technology, 2013, 47: 499-513.
- [5] Salca E A, Hiziroglu S. Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment[J]. Materials and Design, 2014, 62(10): 416-423.
- [6] Boonstra M J, Van A J, Kegel E, et al. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects[J]. Wood Science and Technology, 2007, 41(1): 31-57.
- [7] Korkut D S, Guller B. The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(8): 2846-2851.
- [8] 黄荣凤, 吕建雄, 曹永建. 热处理对毛白杨木材物理力学性能的影响[J]. 木材工业, 2010, 24(4): 5-8.
HUANG R F, LV J X, CAO Y J. Effect of heat treatment on properties of Chinese white poplar[J]. China Wood Industry, 2010, 24(4): 5-8.
- [9] 李涛, 顾炼百. 185 °C 高温热处理对水曲柳木材力学性能的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(2): 91-97.
LI T, GU L B. Effects of high temperature heat treatment at 185 °C on mechanical properties of ash wood[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(2): 91-97.
- [10] 高伟, 罗建举, 李曲恩. 速生桉木材高温热处理的物理力学性能研究[J]. 南方农业学报, 2013, 44(1): 116-120.
GAO W, LUO J J, LI Q E. Physical and mechanical properties of fast-growing eucalypt wood under high temperature heat treatment[J]. Journal of Southern Agricultural, 2013, 44(1): 116-120.
- [11] 李延军, 唐荣强, 鲍滨福, 孙会. 高温热处理杉木力学性能与尺寸稳定性研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(4): 232-236.
LI Y J, TANG R Q, BAO B F, SUN H. Mechanical properties and dimensional stability of heat-treated Chinese fir[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(4): 232-236.
- [12] Bao Y, Zhou Y D. Comparative study of moisture absorption and dimensional stability of Chinese cedar wood with conventional drying and superheated steam drying[J]. Drying Technology, 2017, 35(7): 860-866.
- [13] 郭飞, 黄荣凤, 吕建雄, 高志强. 热处理温度与时间对马尾松木材脆性的影响[J]. 木材工业, 2016, 30(3): 9-12.
GUO F, HUANG R F, LV J X, GAO Z Q. Effect of heat treatment parameters on brittleness of Masson pine wood[J]. China Wood Industry, 2016, 30(3): 9-12.
- [14] Yildiz S, Gezer E D, Yildiz U C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat[J]. Building and Environment, 2006, 41: 1762-1766.
- [15] Kekkonen P M, Ylisassi A, Telkki V V. Absorption of water in thermally modified pine wood as studied by nuclear magnetic resonance. J The Journal of Physical Chemistry C, 2014, 118(4): 2146-2153.
- [16] Korkut S, Akgül M, Dündar T. The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood[J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 1861-1868.
- [17] Kocaefe D, Poncsak S, Tang J J, Bouazara M. Effect of heat treatment on the mechanical properties of North American jack pine: thermo-gravimetric study[J]. Journal of Materials Science, 2010, 45: 681-687.
- [18] 范文俊, 涂登云, 彭冲, 韩宇豪, 蔡家斌. 热处理对毛白杨木材力学性能的影响机理[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(10): 88-91.
FAN W J, TU D Y, PENG C, HAN Y H, CAI J B. Influence of heat treatment on mechanical properties of *Populus tomentosa* wood[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(10): 88-91.

(责任编辑 向琴)