

超声波协同处理对桉木抽提物及尺寸稳定性的影响

刘佳慧, 任佳奇, 伊松林

(北京林业大学 木材科学与工程北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: **目的** 探究不同频率超声波辅助去离子水溶液的抽提处理对巨尾桉木抽提物得率、成分以及试件尺寸稳定性的影响。**方法** 分别以频率为 0, 25, 59 kHz 的超声波辅助去离子水、质量分数为 1% 的盐酸溶液、质量分数为 1% 的氢氧化钠溶液, 在 60 °C 条件下抽提巨尾桉试件 2 h, 计算抽提物得率, 采用 GC/MS 检测抽提物成分, 测算试件的湿胀率和抗湿胀率。**结果** 在频率为 59 kHz 的超声波辅助下, 氢氧化钠溶液 (1%) 处理组的抽提物得率最高, 达 7.67%; 3 种溶液处理所得抽提物成分差异虽较大, 但超声波辅助抽提时, 烷烃类、酯类物质的种类及相对含量变化明显; 抽提处理提高了试件的尺寸稳定性, 59 kHz 的超声波辅助盐酸溶液 (1%) 处理组试件的抗湿胀率最高, 达到 65.39%。**结论** 超声波协同热水溶液的抽提处理能够提高巨尾桉尺寸稳定性, 且有利于抽提物的抽出。

关键词: 巨尾桉; 超声波; 抽提物; 尺寸稳定性

中图分类号: S792.39; S781 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)15-0104-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.15.017

Effects of Ultrasonic Synergistic Treatment on Extractives and Dimensional Stability of Eucalyptus

LIU Jia-hui, REN Jia-qi, YI Song-lin

(Beijing Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: The paper aims to explore the effects of extraction treatment of ultrasonic with different frequencies assisted with deionized aqueous solution on extractive yield, components and dimensional stability of *E. grandis* × *E. urophylla*. The *E. grandis* × *E. urophylla* samples were extracted in deionized water, 1% hydrochloric acid solution and 1% sodium hydroxide solution at 60 °C for 2 h at ultrasonic frequency of 0, 25 and 59 kHz, respectively. The extractive yield, the sample swelling ratio and the anti-swelling efficacy were calculated, and the extractive components were detected by GC/MS. The sample with the frequency of 59 kHz ultrasound assisted with 1% sodium hydroxide solution had the highest extractive yield, up to 7.67%. The components of the extractives obtained by three kinds of solutions had a large difference, but the types and relative contents of alkanes and esters changed apparently during ultrasonic-assisted extraction; the extraction treatment improved the dimensional stability of the samples. The sample with the frequency of 59 kHz ultrasound assisted with 1% hydrochloric acid solution had the highest anti-swelling efficacy, up to 65.39%. The extraction treatment by ultrasonic synergistic hot aqueous solution can improve the dimensional stability of the *E. grandis* × *E. urophylla* and facilitate the extraction of the extractive.

KEY WORDS: *E. grandis* × *E. urophylla*; ultrasound; extractive; dimensional stability

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 大学生创新创业训练计划 (S201710022051)

作者简介: 刘佳慧 (1996—), 女, 北京林业大学本科生, 主攻木材热加工。

通信作者: 伊松林 (1970—), 男, 博士, 北京林业大学教授, 主要研究方向为木材热加工。

目前,中国已成为全球第二大木材消耗国与第一木材进口国,由于森林资源总量相对不足,木材需求与生态环境的矛盾日益突出^[1]。为缓解、克服木材供需矛盾,我国将目光转向了有着生长周期短、适应性强、价格便宜等优势的人工速生林的培育上,第 8 次全国森林资源清查结果显示,在监测期 2009—2013 年的 5 年间,我国森林总面积为 2.08 亿 hm²,其中人工林占 36%,达 0.69 亿 hm²,蓄积量 52.75 m³/hm²,居世界首位。

桉树(*Eucalyptus*)具有生长速度快、品种多、干形通直、密度高、材质细等优点,在 1984 年被引种到我国后,已迅速发展成为国内最重要的人工速生林树种之一。目前,两广地区及海南省是国内桉树人工林的主要产地,为缓解我国木材资源紧缺的现状做出了重要的贡献^[2]。然而,桉木在生产利用等方面还存在诸多不足,在木材内部,由于流体主要流通通道中含有不同数量和性质的沉积物、附着物或侵填体,导致木材的渗透性较低,从而影响了其干燥效率以及干燥质量^[3—5],限制了其在实木家具、实木包装材料等领域的应用。当前桉木在工业上主要用于生产纸浆、纤维板或胶合板和单板层积材的芯板,使用方式单一,附加值较低^[6]。以桉木小径原木生产胶合板和实木拼板的增值量为例,目前 1 m³ 桉木小径原木生产的胶合板增值约为 225.56 元,而生产实木拼板的增值约为 346.67 元,可见提高桉木的渗透性有利于促进其实木化利用,进而能够提高桉木的附加值。

目前,已有国内外学者针对桉树的这一特性探索了巨尾桉干缩性随其抽提物变化的规律。试验结果表明,抽提改变了木材的极性基团,从而对木材的干缩特性产生了规律性影响,碱抽提、热水抽提及冷水抽提后,桉木干缩的各向异性都有降低趋势,尺寸稳定性得以提高^[7];另一方面,超声波预处理能够使木材内部产生细小孔道^[8],提高木材渗透性,强化传质和传热过程,增强非均相反应物、中间体和产物的接触和分离^[9]。此试验拟将这 2 种处理方法进行结合,进

一步探究不同频率的超声波协同去离子水、质量分数为 1%的盐酸溶液、质量分数为 1%的氢氧化钠溶液的抽提处理对桉木抽提物得率、成分以及试件湿胀率的影响。

1 实验

1.1 材料

实验材料为巨尾桉(*E.grandis*×*E.urophylla*),采自广西荔浦,初含水率为(85±5)% ,将其锯制为 20 mm×20 mm×20 mm(长×宽×高)的试件,选取没有缺陷的 300 块试件随机分成 A—J 共 10 组,每组 30 块,标号后待用。

试剂主要有氢氧化钠(分析纯)、质量分数为 37%的氯化氢溶液(分析纯)、无水甲醇(分析纯)、苯(分析纯),购自北京化工厂;去离子水,北京佳乐杰科技有限公司提供。

1.2 设备

设备主要有:超声波扫频清洗机(SB-400DTY),宁波新芝生物科技股份有限公司;旋转蒸发器(RE-52AA),上海亚荣生化仪器厂;气相色谱-质谱联用仪(GC/MS-QP2010 Ultra),日本岛津公司;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9070(A)(101-1)),上海恒科学仪器有限公司;恒温恒湿试验箱(DHS-100),北京雅士林试验设备有限公司;电子天平(AR124CN),上海奥豪斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 抽提

以功率为 400 W,频率分别为 0, 25, 59 kHz 的超声波协同去离子水、盐酸溶液(1%)、氢氧化钠溶液(1%)在 60 ℃条件下抽提巨尾桉试件 2 h,条件组合见表 1。A 组为对照组,不进行抽提处理。

表 1 溶液与超声波处理试验分组
Tab.1 Solution and ultrasonic treatment test group

分组编号	B	C	D	E	F	G	H	I	J
溶液	去离子水	去离子水	去离子水	盐酸 (1%)	盐酸 (1%)	盐酸 (1%)	氢氧化钠 (1%)	氢氧化钠 (1%)	氢氧化钠 (1%)
超声波频率/kHz	0	25	59	0	25	59	0	25	59

1.3.2 性能检测

1) 抽提物得率测定。将对照组与试验组试件放入烘箱,开始在 60 ℃下保持约 4 h,再按 GB/T 1931—2009^[10]第 5.2 条将试件烘至全干^[11],冷却至室温后称量试件质量,测量弦向、径向、轴向尺寸,精确至 0.01 mm。之后根据对照组 30 块试件的平均绝对含水率确

定出试验组每块试件的理论含水率、理论绝干质量,根据理论绝干质量与实际绝干质量之差同理论绝干质量的比率确定抽提物得率,并分别计算每组得率的平均值。

2) 尺寸稳定性测定。按照 GB/T 1934.2—2009^[11]的试验方法进行木材湿胀性测试。将全干试件放入温

度为 20 ℃, 相对湿度为 65% 的恒温恒湿试验箱中, 每组用 3 个试件, 每隔 6 h 测量一次弦向尺寸, 当连续 2 次测量之差不超过 0.2 mm 时, 即认为尺寸达到稳定, 然后测量出所有试件的径向、弦向、轴向尺寸, 精确至 0.01 mm。

试件从全干至气干时的体积湿胀率应按式 (1) 计算, 准确至 0.01%。

$$V_s = \frac{(V_w - V_o)}{V_o} \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_s 为试件从全干至气干时的体积湿胀率 (%); V_w 为试件气干时体积 (mm^3); V_o 为试件全干时体积 (mm^3)。

试件从全干至气干时的体积抗湿胀率应按式 (2) 计算, 准确至 0.01%。

$$A_{SE} = \frac{(\bar{V}_{So} - \bar{V}_{Ss})}{\bar{V}_{So}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_{SE} 为试件从全干至气干时的体积抗湿胀率 (%); $\bar{V}_{Ss}$ 为试验组试件气干时的平均体积湿胀率 (%); $\bar{V}_{So}$ 为对照组试件气干时的平均体积湿胀率 (%)。

3) 苯-醇抽提物检测。收集不同处理条件下得到的抽提液, 利用旋转蒸发器在 55 ℃, 0.01 MPa 条件下蒸发溶液至无液体, 再用体积比 1:1 的苯-甲醇溶液溶解抽提物, 之后进行 GC/MS 检测。

GC/MS 分析条件: 日本岛津公司生产的 GC/MS-QP2010 Ultra 型气相色谱-质谱联用仪 (Rtx-5MS 毛细管柱, 30 m×0.25 μm×0.25 mm); 载气为纯度>99.999% 的氦气, 流速为 1.0 mL/min; 分流比为 20:1; 进样口温度为 280 ℃; 升温程序为初始温度 100 ℃, 保持 3 min; 以 8 ℃/min 的升温速度升温至 280 ℃, 保持 5 min; 总时间 30.5 min; EI 源, 离子化电压为 70 eV, 离子源温度为 230 ℃, 扫描范围 (amu) 为 33~400; 化合物定性以 NIST11 Library 为依据进行。

2 结果

2.1 不同处理条件对抽提物得率的影响

不同频率的超声波协同不同溶液在 60 ℃ 下, 进行 2 h 抽提后的抽提物得率及得率对比见图 1。

由图 1 可知, 在 3 种频率的超声波作用下, 去离子水处理组抽提物得率最低, 氢氧化钠溶液 (1%) 处理组抽提物得率最高。这是因为碱性溶液除了可以溶解更多量的热水抽提物成分外, 还可以溶解出更多其他物质^[12]。

3 种溶液的抽提物得率随超声波频率的增大而增大。相比没有超声波作用的试验组, 在 25, 59 kHz 频率的超声波作用下, 去离子水、盐酸溶液 (1%)、氢

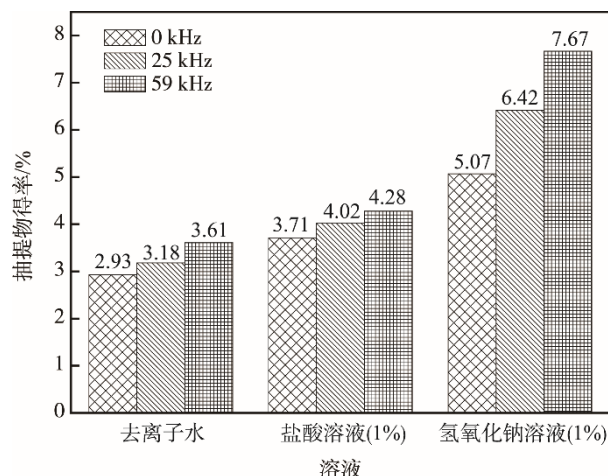


图 1 抽提物得率对比

Fig.1 Comparison of extract yields

氧化钠溶液 (1%) 处理所得的抽提物得率分别上升 0.25% 和 0.68%、0.31% 和 0.57%、1.35% 和 2.60%。这主要源于超声波的空化作用, 空化泡瞬间涨大并破裂, 把吸收的声场能量在极短时间和极小空间内释放出来, 形成高温、高压环境, 同时伴随有强大的冲击波和微声流, 从而破坏细胞壁结构使其瞬间破裂, 使植物细胞内的有效成分得以释放, 直接进入溶剂并与之充分混合^[13]; 同时, 超声波使提取液不断振荡, 有助于溶质扩散; 此外, 超声波的热效应对原料有一定水浴作用, 能有效缩短提取时间^[14], 因此, 其他条件都相同时, 抽提物得率随超声波频率的增大而增大。

2.2 不同处理条件对抽提物主要成分的影响

采用 GC/MS 按所列试验条件分析各组抽提物成分, 所得质谱图采用峰面积归一化法测定各成分的相对百分含量, 分离并鉴定在不同抽提条件下获得的抽提物。

2.2.1 去离子水处理所得抽提物的分析

B 组抽提物的总离子色谱图见图 2。采用相同方法分析各组色谱图后得到 B, C, D 组抽提物主要成分 (见图 2 中标注的 1—13) 及相对含量汇总, 见表 2。

通过对比 B, C, D 组抽提物主要成分及相对含量可知, 去离子水抽提处理得到的物质主要有 1,3-二氯苯、苄醇、壬醛、葵醛、联苯; 相比 B 组, C, D 组抽提出的新组分主要有角鲨烯、二十烷、二十四烷、1,1-二甲氧基壬烷、十六酸甲酯、苯甲醛二乙缩醛等。

在超声波作用下, C, D 组的烷烃类、酯类物质种类及质量分数比 B 组均有所增多, C 组烷烃类物质增多最为明显, 达 13.20%, D 组的酯类物质增多最为明显, 达 20.33%。

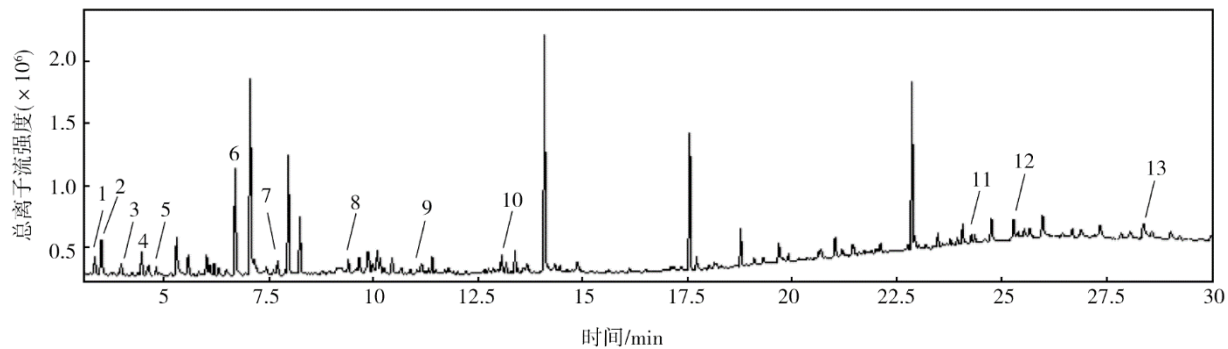


图 2 B 组抽提液主要成分的总离子流色谱
Fig.2 Total ion chromatogram of the main components of group B extract

表 2 B, C, D 组抽提物主要成分相对含量
Tab.2 Relative content of main components of extracts from groups B, C and D

抽提 条件	各类物质的质量分数/%								
	醛类	酮类	醇类	酯类	醚类	酸类	酚类	烷烃类	其他
B	15.28	13.27	18.29	3.01	8.95	8.87	6.48	—	25.85
C	12.73	17.83	9.52	10.12	7.98	—	—	13.20	28.62
D	10.24	—	14.66	23.34	—	—	9.49	8.36	33.91

采用相同的分析方法对余下 6 组(E—J 组)的抽提物进行分析。

2.2.2 盐酸溶液(1%)处理所得抽提物的分析

E, F, G 组抽提物主要成分相对含量见表 3。由表 3 可知,盐酸溶液抽提处理得到的物质主要有苧醇、1,1-二甲氧基壬烷、正十九烷酸甲酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯等;与 E 组相比, F 组新组分主要有十四烷、十七烷、十九烷、二十一烷、2-甲基二十六烷、邻苯二甲酸二异辛酯、棕榈酸乙烯酯等;与 E 组相比, G 组新组分主要有十四烷、十七烷、二十四烷、8-己基-8-戊基十六烷、9-甲基十九烷、1-乙酸二十六烷基酯等。

F, G 组相比 E 组,酯类、烷烃类物质种类明显增多,烷烃类物质的质量分数分别增加了 8.75%, 14.17%,醇类物质略有增加;F 组酯类物质的质量分数增加最为明显,达 26.52%。

2.2.3 氢氧化钠溶液(1%)处理所得抽提物的分析

H, I, J 组抽提物主要成分相对含量见表 4。由表 4 可知,氢氧化钠溶液抽提处理得到的物质主要有壬二酸二甲酯、十五醇、9-十八碳烯酸甲酯、硬脂酸甲酯等;与 H 组相比, I 组新组分主要有十八烷、二十烷、5-甲基十八烷等;与 H 组相比, J 组新组分主要有苯甲酸甲酯、三壬酸甘油酯、马尿酸乙酯等。

超声波辅助氢氧化钠溶液(1%)抽提时, I, J 组

表 3 E, F, G 组抽提物主要成分相对含量
Tab.3 Relative content of the main components of the extracts from groups E, F and G

抽提条件	各类物质质量分数/%						
	醛类	酮类	醇类	酯类	醚类	烷烃类	其他
E	7.12	15.20	6.31	16.62	6.92	7.12	40.71
F	—	5.40	7.80	43.14	—	15.87	27.79
G	—	—	8.52	10.70	—	21.29	59.50

表 4 H, I, J 组抽提物主要成分相对含量
Tab.4 Relative content of the main components of the extracts from groups H, I and J

抽提条件	各类物质质量分数/%					
	酮类	醇类	酯类	醚类	烷烃类	其他
H	17.21	28.68	27.34	—	—	26.77
I	—	—	24.41	10.40	17.48	47.71
J	2.69	—	72.65	—	—	24.66

的烷烃类、酯类物质的种类有所增多, J 组酯类物质的质量分数相比 H 组升高最为明显, 达 45.31%; I 组醚类物质及烷烃类物质的质量分数升高最为明显, 分别达 10.40%, 17.48%。

2.3 不同处理条件对尺寸稳定性的影响

抽提后试件线湿胀率及体积湿胀率、抗湿胀率见表 5。由表 5 可知, 经抽提处理过的试件平均线湿胀率、平均体积湿胀率均有所降低, 同时, 超声波频率增大, 试件的尺寸稳定性提高。与没有超声波作用的试验组相比, 在 25, 59 kHz 频率下, 去离子水、盐酸溶液 (1%)、氢氧化钠溶液 (1%) 抽提处理的试件平均体积抗湿胀率分别上升 4.20%和 6.67%、4.08%和 7.54%、4.08%和 7.91%。这是因为木材的湿胀归根到底是水分渗到微纤丝之间, 增加了纤丝间缝隙所造成的^[15]。抽提处理可减少木材内部的抽提物, 且超声波的空化作用有助于纹孔膜的破裂, 在二者共同作用下, 增加了木材内部的渗透性, 这利于水分在木材内部宏观空隙当中移动、聚集, 这也就减少了由于抽提物填充在宏观空隙当中导致水分进入受阻而进入细胞壁微纤丝间微观空隙情况的发生, 进而减小了由于细胞壁湿胀造成的试件宏观尺寸变化。此外, 已有研究证明木材尺寸稳定性与其羟基含量有直接关系^[16—19], 超声波处理过程中含有大量羟基的半纤维素会被分解, 同时一部分含有羟基的抽提物也会被分解, 使得木材中的羟基含量下降^[20], 因此, 抽提后的巨尾桉试件尺寸稳定性提高, 且超声波的作用使这一变化趋势更为明显。

表 5 线湿胀率及体积湿胀率变化
Tab.5 Ratio of swelling in three directions and volume

组别	$T_s/\%$	$R_s/\%$	$A_s/\%$	$V_s/\%$	$A_{SE}/\%$
A	3.51	3.72	0.68	8.09	
B	1.8	2.06	0.34	4.24	47.59
C	1.75	1.9	0.21	3.9	51.79
D	1.69	1.84	0.13	3.7	54.26
E	1.53	1.82	0.1	3.41	57.85
F	1.37	1.62	0.16	3.08	61.93
G	1.31	1.36	0.1	2.8	65.39
H	2.77	2.29	0.41	5.57	31.15
I	2.33	2.59	0.25	5.24	35.23
J	2.07	2.73	0.08	4.93	39.06

注: T_s , R_s , A_s , V_s , A_{SE} 分别为弦向、径向、轴向、体积湿胀率及体积抗胀缩率

相同超声波频率下, 酸抽提的试件平均弦向、径向、体积湿胀率最小, 尺寸稳定性最好, 而碱抽提后的试件湿胀率最大。这是因为碱处理后, 巨尾桉试件中的抽提物被大量抽出, 试件内部渗透性大大提高,

暴露出了更多的内表面, 且氢氧化钠与木材的一些成分发生反应产生钠盐, 试件内外界面的极性和亲水性得到提高^[7], 进而使得水分更容易渗透到木材内部。酸溶液的抽提物得率介于去离子水和碱溶液之间, 在提高试件内部渗透性的同时不会增大试件内外表面的吸水性, 且在相同条件下, 含有大量羟基的半纤维素在酸性溶液中比在碱性溶液中更易发生水解^[21], 因此其他处理条件相同时, 盐酸溶液进行抽提处理后的试件湿胀率最低。

3 结语

在 0, 25, 59 kHz 频率的超声波作用下, 氢氧化钠溶液 (1%) 处理组的抽提物得率最高, 分别为 5.07%, 6.42%, 7.67%。

去离子水、盐酸溶液 (1%)、氢氧化钠溶液 (1%) 处理所得的桉木抽提物成分有较大差异; 超声波辅助抽提时所得的抽提物当中烷烃类、酯类物质的种类及相对含量比没有使用超声波的试验组有明显变化。

试验中采用的处理方法均能提高巨尾桉试件的尺寸稳定性, 在 0, 25, 59 kHz 频率的超声波作用下, 盐酸溶液 (1%) 处理后的尺寸稳定性最好, 分别为 57.85%, 61.93%, 65.39%。

3 种溶液进行抽提时, 抽提物得率、处理后试件的尺寸稳定性均随着超声波频率的增大而增大。相比没有超声波作用的抽提组, 在 25, 59 kHz 频率下, 去离子水、盐酸溶液 (1%)、氢氧化钠溶液 (1%) 处理所得的抽提物得率分别上升了 0.25%和 0.68%、0.31%和 0.57%、1.35%和 2.60%, 处理后试件体积抗湿胀率分别上升 4.20%和 6.67%、4.08%和 7.54%、4.08%和 7.91%。

参考文献:

- [1] 田明华, 史莹赫, 黄雨, 等. 中国经济发展、林产品贸易对木材消耗影响的实证分析[J]. 林业科学, 2016, 52(9): 113—123.
TIAN Ming-hua, SHI Ying-he, HUANG Yu, et al. An Empirical Analysis of Effects of Economic Development and Forest Product Trade on Wood Consumption in China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(9): 113—123.
- [2] 陈松武, 刘晓玲, 陈柏旭, 等. 桉木干燥技术研究现状[J]. 陕西林业科技, 2018(5): 99—104.
CHEN Song-wu, LIU Xiao-ling, CHEN Bai-xu, et al. Research Status of Drying Technology of Eucalyptus Robusta Wood[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2018(5): 99—104.
- [3] 江泽慧, 费本华, 王喜明, 等. 桉树木材干燥特性与工艺及其皱缩研究现状[J]. 木材工业, 2002, 16(4):

- 3—6.
JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, WANG Xi-ming, et al. Study on Reduction of Collapse of Eucalyptus Wood in Drying[J]. China Wood Industry, 2002, 16(4): 3—6.
- [4] 王喜明, 贺勤, 赵喜龙. 桉树人工林木材干燥皱缩特性的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 123—127.
WANG Xi-ming, HE Qin, ZHAO Xi-long. Study on Drying and Collapse Properties of Eucalypts Plantation[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition), 2013, 34(1): 123—127.
- [5] 周永东, 傅峰, 李贤军, 等. 微波处理对桉木应力及微观构造的影响[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(2): 146—150.
ZHOU Yong-dong, FU Feng, LI Xian-jun, et al. Effects of Microwave Treatment on Residue Growth Stress and Microstructure of Eucalyptus Urophylla[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(2): 146—150.
- [6] 李怡欣, 曹永建, 马红霞, 等. 桉木基复合材料研究进展[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(6): 114—118.
LI Yi-xin, CAO Yong-jian, MA Hong-xia, et al. Progress on Eucalyptus-based Composite Materials[J]. Forestry and Environmental Science, 2017, 33(6): 114—118.
- [7] 张仲凤, 彭万喜, 李凯夫. 抽提处理对尾巨桉木材干缩性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(4): 165—168.
ZHANG Zhong-feng, PENG Wan-xi, LI Kai-fu. Influence of Extraction Technology on Eucalyptus Urophydis Wood Shrinkage[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2009, 29(4): 165—168.
- [8] FAN F, GALLAO M I, RODRIGUES S. Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-treatment on Cell Structure: Melon Dehydration[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 604—610.
- [9] WANG Z Y, HE Z B, ZHAO Z J, et al. Influence of Ultrasound-assisted Extraction on the Pyrolysis Characteristics and Kinetic Parameters of Eucalyptus[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 37: 47—55.
- [10] GB/T 1931—2009, 木材含水率测定方法[S].
GB/T 1931—2009, Method for Determination of the Moisture Content of Wood[S].
- [11] GB/T 1934.2—2009, 木材湿胀性测定方法[S].
GB/T 1934.2—2009, Method for determination of the swelling of wood[S].
- [12] 陈茜文. 湖南主要树种木材的化学成分分析[J]. 中南林业科技大学学报, 1995, 15(2): 190—194.
CHEN Qian-wen. Analysis of Chemical Constituents of Main Tree Species in Hunan[J]. Journal of Central South Forestry College, 1995, 15(2): 190—194.
- [13] 吕霞付, 杨海麟, 王武. 超声波在生物发酵工程中的应用[J]. 生物技术通讯, 2001, 12(4): 310—313.
LYU Xia-fu, YANG Hai-lin, WANG Wu. The Application of Ultrasonic in Fermentation Engineering[J]. Letters in Biotechnology, 2001, 12(4): 310—313.
- [14] 李银花, 宋卉. 超声波法水抽提葛根素工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 14—16.
LI Yin-hua, SONG Hui. Ultrasound Water Extraction Process of the Effective Ingredient of Puerarin[J]. Food Research and Development, 2010, 31(6): 14—16.
- [15] 刘培义, 孟国忠. 木材的尺寸稳定性处理[J]. 木材工业, 2003, 17(2): 24—26.
LIU Pei-yi, MENG Guo-zhong. Treatment for Wood Dimensional Stability[J]. China Wood Industry, 2003, 17(2): 24—26.
- [16] MITANI A, BARBOUTIS I. Changes Caused by Heat Treatment in Color and Dimensional Stability of Beech(Fagus Sylvatica L.) Wood[J]. Drvna Industrija, 2014, 65(3): 225—232.
- [17] PETR P, ALES D. Moisture Absorption and Dimensional Stability of Poplar Wood Impregnated with Sucrose and Sodium Chloride[J]. Maderas Ciencia Y Tecnología, 2014, 16(3): 299—311.
- [18] ABUIN ROUCO M C, RIESCO MUNOZ G. Influence of Blue Stain on Density and Dimensional Stability of Pinus Radiata Timber from Northern Galicia (Spain)[J]. Holzforschung, 2015, 69(1): 97—102.
- [19] JIANG J X, LI J Z, GAO Q. Effect of Flame Retardant Treatment on Dimensional Stability and Thermal Degradation of Wood[J]. Construction and Building Materials, 2015(75): 74—81.
- [20] HE Z B, ZHANG Y, WANG Z Y, et al. Reducing Wood Drying Time by Application of Ultrasound Pretreatment[J]. Drying Technology, 2016, 34(10): 1141—1146.
- [21] 裴继诚. 植物纤维化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
PEI Ji-cheng. Lignocellulosic Chemistry[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.