

编者按: 黑木相思为豆科 (Leguminosae) 含羞草亚科 (Mimosoideae) 金合欢属 (*Acacia*) 的常绿乔木, 属生态价值和经济效益兼具的多功能树种, 近些年被推广规模造林并逐步成材。依托中央级公益性科研院所基金项目“火力楠、黑木相思无性系高效培育和木材干燥技术”, 对国产黑木相思木材的基本性质及干燥技术进行研究, 为其合理高效利用提供技术支撑。

黑木相思木材化学性质株内变异研究

周凡, 付宗营, 高鑫, 周永东, 晏婷婷

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)



摘要: 研究我国黑木相思木材化学性质的株内变异规律, 为其加工利用提供基础数据。对广东韶关产28 a黑木相思木材进行化学组成测定, 其综纤维素(α 纤维素、半纤维素)、酸不溶木质素和抽出物(冷水、热水、1%氢氧化钠、苯醇)的含量在株内纵向上的变异规律不明显; 相较于边材, 心材的综纤维素含量略低, 酸不溶木质素含量略高, 抽出物含量更高, pH值更低。实际加工利用中需考虑其心材和边材比例对原料化学组成的影响。

关键词: 黑木相思; 化学性质; 纵向变异; 心材; 边材

中图分类号: S792.99; S781; TS62 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2021) 03-0025-06

Within-Tree Variation of Chemical Properties of *Acacia melanoxylon* Wood

ZHOU Fan, FU Zong-ying, GAO Xin, ZHOU Yong-dong, YAN Ting-ting

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

Abstract: The within-tree variation of wood chemical properties was evaluated for *Acacia melanoxylon* grown in China. The results showed that the longitudinal variation of the holocellulose (α cellulose and hemicellulose), acid-insoluble lignin, and extractive (cold water, hot water, 1% sodium hydroxide and benzene alcohol) contents was not significant. Compared with the sapwood, the heartwood contained slightly lower holocellulose (α cellulose and hemicellulose) contents, slightly higher acid-insoluble lignin contents, higher extractive contents, and a lower pH value. The effect of the proportion of heartwood and sapwood within the tree on chemical composition contents should be considered as a quality characteristic in the processing application of *Acacia melanoxylon* wood.

Key words: *Acacia melanoxylon*; chemical property; longitudinal variation; heartwood; sapwood

收稿日期: 2020-03-26; 修改日期: 2021-05-06

基金项目: 中央级公益性科研院所基金项目“火力楠、黑木相思无性系高效培育和木材干燥技术”(CAFYBB2018ZB004)。

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

通讯作者: 周永东, 男, 研究员。Email: zhouyud@caf.ac.cn

木材是一种天然材料, 主要由纤维素、半纤维素、木质素和抽出物组成。木材化学组成直接影响其材性品质及加工利用性能。针对黑木相思 (*Acacia melanoxylon*) 木材, 目前仅有少量研究涉

及其化学性质^[1-3]。有的树种株内不同部位取材的化学性质存在差异^[4-7]，然而目前鲜见关于我国黑木相思木材化学性质的株内变异研究。鉴于此，笔者对我国黑木相思树干不同高度位置心材和边材的主要化学组成进行测定，分析其木材化学性质的株内变异规律，为黑木相思木材的合理加工和高效利用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

黑木相思试材，采自广东韶关。参照 GB/T 2677.1—1993《造纸原料分析用试样的采取》取样，取样木3株（树龄28 a，平均胸径36 cm），沿树干不同高度，在下部（树高1.3 m）、中部、上部（尾径约12 cm），各锯取2块约4 cm厚树盘。树盘去皮放置数日后劈成薄片，经气干、粉碎、过筛，取40~60目木粉，密封存储备用。心材和边材样品如图1所示。



图1 黑木相思心材和边材样品
Fig.1 Specimens of *Acacia melanoxylon* heartwood and sapwood

1.2 主要设备仪器

木材粉碎机、索氏提取器、恒温水浴装置、真空抽滤装置、恒温鼓风干燥箱等。

1.3 试验方法

1) 综纤维素、 α 纤维素和半纤维素含量：按照参考文献8的方法进行测定。

2) 酸不溶木质素含量：按照 GB/T 2677.8—1994《造纸原料酸不溶木质素含量的测定》测定。

3) 冷水和热水、1%氢氧化钠、苯醇抽出物含量：分别按照 GB/T 2677.4—1993《造纸原料水抽出物含量的测定》、GB/T 2677.5—1993《造纸原

料1%氢氧化钠抽出物含量的测定》、GB/T 2677.6—1994《造纸原料有机溶剂抽出物含量的测定》测定。

4) pH值：按照 GB/T 6043—2009《木材pH值测定方法》测定。

2 结果与分析

2.1 综纤维素、 α 纤维素和半纤维素含量

黑木相思心材和边材综纤维素、 α 纤维素和半纤维素含量的株内纵向变异规律均不明显（图2）。从木材化学组分的株内纵向变异规律看，黑木相思的材性均匀度相对较高。

1) 综纤维素

黑木相思心材、边材综纤维素含量分别为73.0%、77.0%（图3），心材综纤维素含量略低，与典型阔叶树材的综纤维素含量74%接近^[9]。和已有研究黑木相思木材综纤维素含量为71.8%^[1]和81.0%^[3]的结果相比，本研究测定数据介于中间。

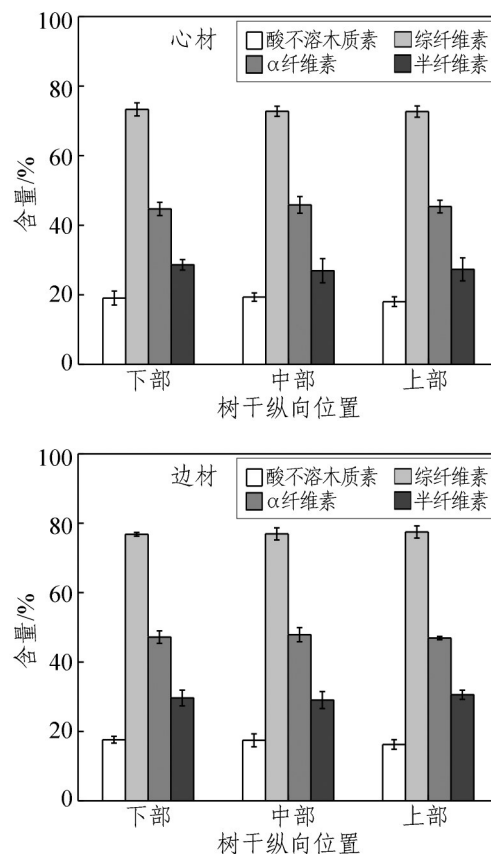


图2 黑木相思木材化学组成纵向变异
Fig.2 Longitudinal variation of the chemical composition of *Acacia melanoxylon* wood

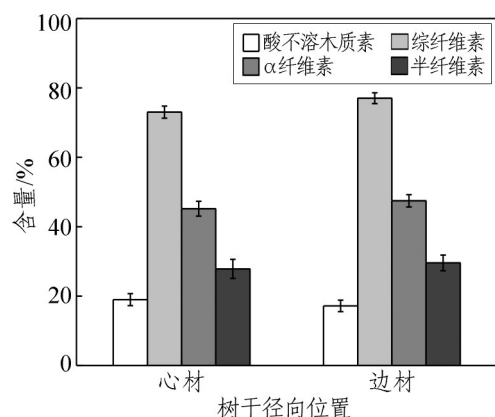


图3 黑木相思心材和边材化学组成差异

Fig.3 Variation of the chemical composition between *Acacia melanoxylon* heartwood and sapwood

综纤维素包括纤维素和半纤维素,其结构中含有丰富的游离羟基,具有吸湿性,使木材易产生干缩湿胀现象^[10],也是导致木材干燥时开裂变形的内在原因^[3]。前期对黑木相思木材物理性质的研究表明其边材的干缩性大于心材^[11],边材综纤维素含量较高可能是原因之一。但对造纸原料而言,木材原料的综纤维素含量越高,纸浆得率越高^[7]。因此,针对黑木相思木材的具体用途和相应生产工艺,需对其心材和边材综纤维素含量的差异程度进行考量。

2) α 纤维素和半纤维素

黑木相思心材、边材的 α 纤维素含量分别为45.2%、47.5%,与已报道的黑木相思木材 α 纤维素含量44.0%^[1]、47.8%^[3]接近;心材、边材半纤维素含量分别为27.8%、29.6%(图3)。黑木相思边材的 α 纤维素和半纤维素含量均高于心材,与其综纤维素含量整体更高一致。

2.2 酸不溶木质素含量

黑木相思心材和边材酸不溶木质素含量的株内纵向变异规律不明显(图2),与枫香木材木质素含量沿树高差异不显著的规律相同^[4]。

黑木相思心材、边材酸不溶木质素含量分别为19.0%、17.2%(图3),与文献报道的黑木相思酸不溶木质素的含量20.8%^[1]、16.9%^[3]相接近。阔叶树材木质素含量一般为24%^[7],杨木为18.3%~24.4%^[5],黄檀属和紫檀属红木为25.4%~31.0%^[12]。可见,本研究测试黑木相思木材的木质化程度相对较低。

木质素含量对木材性质和干燥、胶合以及制浆等加工均有影响。木质素结构中含有的羰基和醌类等许多发色官能团,在一定温度下发生反应转化导致木材变色^[13]。木质素在木材细胞壁中起胶固作用,当干燥和胶合木材时,应注意木质素在高温下易发生降解,导致木材强度降低。木质素具疏水性,其占据细胞壁吸水空间会增强木材尺寸稳定性。黑木相思心材酸不溶木质素含量略高于边材,可能是心材干缩性更小的另一原因。

2.3 抽出物含量

1) 冷水和热水抽出物

黑木相思心材、边材冷水抽出物含量分别为5.2%、1.5%,热水抽出物含量分别为7.5%、3.4%(图4),低于文献报道的黑木相思冷水、热水抽出物含量分别为6.4%、9.1%^[1]。木材热水和冷水抽出物的成分大体相同,主要包括单宁、色素、植物碱、环多醇、可溶性矿物成分及某些糖类,但热水还可能溶出更多淀粉、果胶质、多酚类和有机酸等物质^[7,14],因此热水的抽出物含量高于冷水。

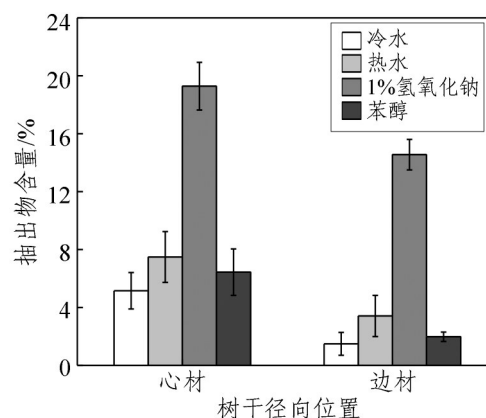


图4 黑木相思心材和边材抽出物含量

Fig.4 Extractive contents of *Acacia melanoxylon* heartwood and sapwood

2) 1%氢氧化钠抽出物

黑木相思心材、边材1%氢氧化钠抽出物含量分别为19.3%、14.6%(图4),低于文献报道的黑木相思木材抽出物含量为26.2%^[1]。1%氢氧化钠抽出物含量通常被作为评定纤维原料中抽出物多少的重要指标^[15]。1%氢氧化钠主要溶解木材中的低分子量糖类物质,还含有少量的蛋白质、氨基酸、部分半纤维素和易降解的纤维素等^[16-17]。植物纤维原料中能溶于冷、热水的物质均可溶于1%氢氧化

钠溶液^[15], 因此 1% 氢氧化钠溶液的抽出物含量明显高于热水。

3) 苯醇抽出物

黑木相思心材、边材苯醇抽出物含量分别为 6.4%、2.0% (图 4), 与文献报道的黑木相思木材苯醇抽出物含量为 6.3%^[1]和 1.3%^[3]接近。苯醇能溶解中等极性和非极性且含有苯环类结构的物质, 其木材抽出物主要含有树脂、脂肪、可溶性单宁和色素等^[15]。相比于冷水抽出物, 苯醇抽出物中含有更多的中性树脂和不饱和官能团化合物^[18], 因而含量更高。1% 氢氧化钠还能溶解部分木质素、多戊糖、多己糖、树脂酸及糠醛酸等, 因此其抽出物含量高于苯醇^[17]。

黑木相思木材抽出物含量在株内纵向上的整体差异不明显 (图 5), 这与枫香木材抽出物含量沿树高的差异不显著相符合^[4], 具体原因有待进一步探讨。黑木相思木材抽出物含量在株内径向上心材明显高于边材, 这是树木生长过程薄壁细胞死亡逐渐形成心材, 木材发生许多复杂反应, 产生大量浸提物沉积在心材细胞组织中所致^[5]。

木材抽出物含量通常与其材色紧密相关, 黑木相思心材抽出物含量高, 因而颜色更深, 一般呈黑红棕色且具有美丽图案, 而边材为浅黄白色。黑木相思木材的高级利用主要取决于其心材的视觉美学价值。

抽出物在木材组织中还起填充孔隙作用, 可增强木材的尺寸稳定性和耐久性, 并赋予木材抵抗病虫害的能力, 但抽出物也会阻碍水分迁移及防腐剂渗透, 从而对木材干燥和防腐不利^[19]。木材抽出物含量高, 人造板热压过程低中级碳水化合物分解产生淀粉胶易使板材抗水性变差^[9], 且在制浆业生产过程对浆产量、药品用量和纸张漂白等不利。黑木相思的心材和边材抽出物含量差异明显, 在加工利用时应考虑心边材比例对原料质量的影响。

2.4 木材 pH 值

木材的酸碱性质也是木材的重要化学性质之一, 以木材水浸出物的 pH 值表示。黑木相思心材的 pH 值在树干纵向向上呈增加趋势, 边材的 pH 值差异不明显 (图 6)。

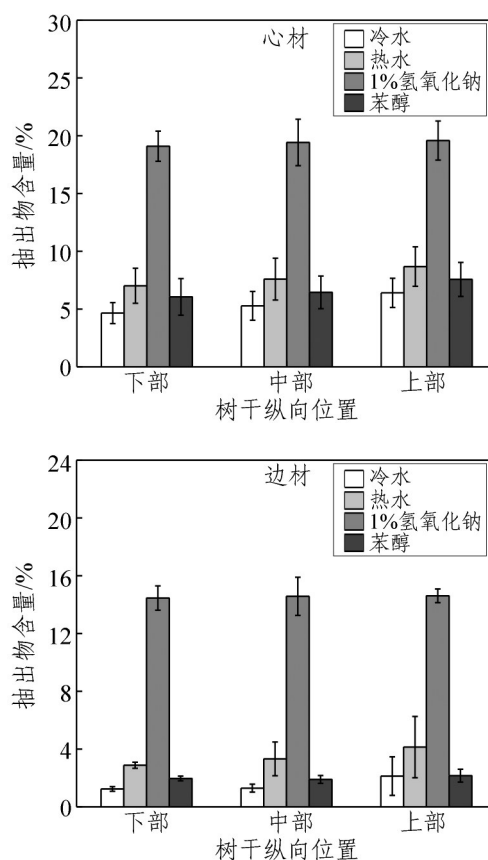


图 5 黑木相思木材抽出物含量纵向变异
Fig.5 Longitudinal variation of extractive contents of *Acacia melanoxylon* wood

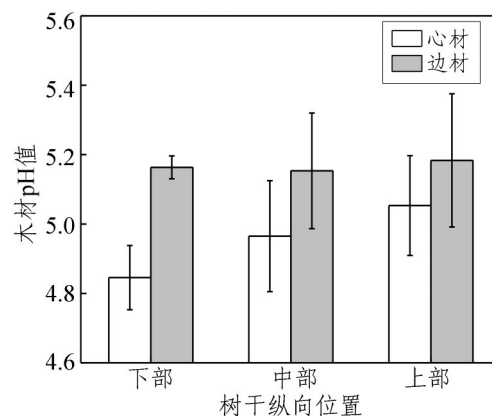


图 6 黑木相思心材和边材 pH 值纵向变异
Fig.6 Longitudinal variation of the pH value of *Acacia melanoxylon* heartwood and sapwood

黑木相思心材、边材 pH 值分别为 4.92、5.16, 心材 pH 值低于边材, 与文献报道的规律一致^[2]。多数木材的 pH 值介于 4.0~6.0^[7]。木材结构中的抽提物、半纤维素的糖醛酸和乙酰基、木质素的弱酸性基和纤维素的羟基^[12], 溶解在水中贡献出氢离子从而导致了溶液的酸性。黑木相思心材的水溶

性抽出物积累更多，可能是导致其酸性较大的主要原因。对黑木相思心材进行干燥，由于酸性较大，尤其注意控制干燥材的吸湿平衡含水率。

2.5 木材化学性质株内分布差异性及相关性分析

黑木相思木材各项化学性质的株内纵向和径向分布差异性的单因素方差分析结果见表1。

表1 黑木相思木材化学性质株内分布差异分析
Tab.1 Within-tree variance analysis of the chemical property of *Acacia melanoxylon* wood

指标	P值-纵向变异		P值-径向变异
	心材	边材	
综纤维素含量	9.05×10 ⁻¹	8.71×10 ⁻¹	2.97×10 ⁻⁶
α纤维素含量	7.82×10 ⁻¹	7.06×10 ⁻¹	2.52×10 ⁻²
半纤维素含量	7.47×10 ⁻¹	6.64×10 ⁻¹	7.45×10 ⁻²
酸不溶木质素含量	5.75×10 ⁻¹	5.89×10 ⁻¹	1.20×10 ⁻²
冷水抽出物含量	3.64×10 ⁻¹	4.85×10 ⁻¹	1.89×10 ⁻⁸
热水抽出物含量	6.11×10 ⁻¹	6.33×10 ⁻¹	1.82×10 ⁻⁶
1%氢氧化钠抽出物含量	9.65×10 ⁻¹	9.77×10 ⁻¹	9.13×10 ⁻⁸
苯醇抽出物含量	6.05×10 ⁻¹	6.51×10 ⁻¹	9.98×10 ⁻¹⁰
pH值	2.76×10 ⁻¹	9.70×10 ⁻¹	4.71×10 ⁻³

注：径向变异指心材与边材的差异。

在株内纵向上，心材和边材的各项化学性质差异均不显著（*P*值>0.05）；径向上，心材和边材除半纤维素含量外的化学性质的差异均显著。由此可知，造成黑木相思木材各项化学性质存在的株内变异性主要由心材和边材引起。

木材化学性质对其应用的影响复杂，了解不同化学性质间关系，有助于利用方式的合理设计。黑木相思主要化学性质的相关性分析结果见表2。

综纤维素与各抽出物含量负相关显著，与已有文献结论一致^[14]。综纤维素与酸不溶木质素含量负相关，这是由于综纤维素是植物原料中除去木质素以外的全部碳水化合物^[7]。各抽出物含量相互间正相关显著，可能是各种溶剂抽提出的物质大部分相同所致^[14]。黑木相思木材的pH值与其抽出物含量呈显著负相关，可见其株内取材综纤维素含量高的部分，抽出物和酸不溶木质素的含量低，这与心材和边材化学组成相一致，该特征为黑木相思木材进行特定加工利用如造纸制浆生产，提供有利条件。

表2 黑木相思木材化学性质相关性分析

Tab.2 Pearson correlation analysis of the chemical property of *Acacia melanoxylon* wood

指标	综纤维素含量	α纤维素含量	酸不溶木质素含量	抽出物含量				pH值
				冷水	热水	1%氢氧化钠	苯醇	
综纤维素含量	1							
α纤维素含量	0.38*	1						
酸不溶木质素含量	-0.50**	0.01	1					
冷水抽出物含量	-0.76**	-0.53**	0.22	1				
热水抽出物含量	-0.70**	-0.51**	0.17	0.95**	1			
1%氢氧化钠抽出物含量	-0.68**	-0.68**	0.37*	0.89**	0.84**	1		
苯醇抽出物含量	-0.79**	-0.56**	0.25	0.95**	0.91**	0.88**	1	
pH值	0.51**	0.30	-0.37*	-0.61**	-0.64**	-0.70**	-0.59**	1

注：“”在0.01层上显著(双尾)；*在0.05层上显著(双尾)。

3 结论

1) 黑木相思木材主要化学性质在株内径向上心材与边材差异显著；其纵向差异均不明显，表明纵向均匀度相对较高，有利于加工利用。

2) 根据木材化学性质株内变异分析结果，黑木相思木材实际加工和利用时主要考虑心材和边材的差异。与边材相比，心材的综纤维素（α纤维素和半纤维素）含量略低，酸不溶木质素含量略高，抽出物含量更高，pH值更低。黑木相思木材

的高级用材价值主要取决于其心材，而用于造纸制浆时，需考虑心材和边材比例对原料化学性质和产品质量的影响。

参考文献：

- [1] 秦特夫, 黄洛华. 5种不同品系相思木材的化学性质I. 木材化学组成及差异性[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 191-194.
QIN T F, HUANG L H. Study on the difference of chemical properties among five *Acacia* species woods I. Study on the difference of chemical composition [J]. Forest Research, 2005, 18(2): 191-194.
- [2] 黄洛华, 秦特夫. 5种不同品系相思木材的化学性质II. pH值和酸、

- 碱缓冲容量[J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 342-444.
- HUANG L H, QIN T F. Study on the difference of chemical properties among five *Acacia* species woods II. Study on pH values and buffering capacities[J]. Forest Research, 2005, 18(3): 342-444.
- [3] 陈诚, 蒲俊文, 姚胜, 等. 五种相思树制浆适应性研究[J]. 中华纸业, 2009, 30(17): 80-82.
- CHEN C, PU J W, YAO S, et al. A study on pulping performances of five *Acacia* species[J]. China Pulp & Paper Industry, 2009, 30(17): 80-82.
- [4] 刘成倩, 王传贵, 李媛媛, 等. 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, et al. The chemical components of *Liquidambar formosana* and their longitudinal variation [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2017, 44(6): 1043-1046.
- [5] 范国荣, 张文元, 肖复明, 等. 陈山红心杉主要化学组成的株内纵向变异研究[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(2): 212-217.
- FAN G R, ZHANG W Y, XIAO F M, et al. Studies on longitudinal variation of main chemical components in Chenshan red-heart Chinese-fir [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2015, 37(2): 212-217.
- [6] 周亮, 刘盛全, 高慧, 等. 欧美杨 107 杨木材化学组成径向变异[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 10-11, 14.
- ZHOU L, LIU S Q, GAO H, et al. Radial variation of chemical composition of poplar clone 107 (*Populus × euramericana* cv. 'Neva') [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(12): 10-11, 14.
- [7] 梁善庆, 罗建举. 人工林米老排木材化学成分及其在树干高度上的变异[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(5): 28-31, 52.
- LIANG S Q, LUO J J. Study of *Mytilania laosensis* plantation: Contents of wood chemical components and their variation along tree stem [J]. Journal of Central South Forestry University, 2004, 24(5): 28-31, 52.
- [8] 陈媛, 甘家兵, 李珊, 等. 我国栓皮栎和麻栎木材的主要化学组成分析[J]. 木材工业, 2019, 33(6): 54-58.
- CHEN Y, GAN J B, LI S, et al. Chemical composition analysis of *Quercus variabilis* and *Q. acutissima* in China [J]. China Wood Industry, 2019, 33(6): 54-58.
- [9] 邱坚, 杜官本, 保昆雁. 3 种人工培育木材化学成分与纤维形态的研究[J]. 西南林学院学报, 2003, 23(2): 81-83, 87.
- QIU J, DU G B, BAO K Y. A study on the chemical components and fiber morphology of three cultivated tree species [J]. Journal of Southwest Forestry College, 2003, 23(2): 81-83, 87.
- [10] 周海珍, 许若, 马尔妮. 吸湿过程中脱化学成分木材的水分及尺寸变化[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 49-54.
- ZHOU H Z, XU R, MA E N. Moisture and dimensional changes of chemical component-removing wood during adsorption processes [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(25): 49-54.
- [11] 周凡, 付宗营, 高鑫, 等. 黑木相思木材物理性质株内变异研究[J]. 木材科学与技术, 2021, 35(2): 30-36.
- ZHOU F, FU Z Y, GAO X, et al. Within-tree variation of physical properties of *Acacia melanoxylon* wood [J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(2): 30-36.
- [12] 梁宏温. 马占相思木材酸碱性质与抽提物含量及其相关性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 64-66.
- LIANG H W. Relativity of content of extractive with acid-alkali property of *Acacia mangium* willd wood [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2004, 28(2): 64-66.
- [13] CHEN Y, FAN Y M, GAO J M, et al. Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment[J]. Wood Science and Technology, 2012, 46(1-3): 33-40.
- [14] 尚洁, 贾洪柏, 王秋玉. 白桦天然种群木材化学成分的地理变异与相关性研究[J]. 植物研究, 2007, 27(5): 607-611.
- SHANG J, JIA H B, WANG Q Y. Researches on correlation and geograpllc variation in wood chemical compositions of *Betula platphylla* in natural stands [J]. Bulletin of Botanical Research, 2007, 27(5): 607-611.
- [15] 牛敏, 高慧, 赵广杰. 欧美杨 107 应拉木的纤维形态与化学组成[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 141-144.
- NIU M, GAO H, ZHAO G J. Fiber morphology and chemical composition of tension wood in *Populus × euramericana* cv. 'Neva' [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2010, 32(2): 141-144.
- [16] 胡瑶, 齐锦秋, 陈玉竹, 等. 桢楠阴沉木与现代木木材化学成分与表面颜色研究[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(3): 328-332.
- HU Y, QI J Q, CHEN Y Z, et al. Study on chemical components and surface color of recent and ancient buried *Phoebe zhennan* wood [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2017, 35(3): 328-332.
- [17] 丁彪, 王军辉, 张守攻, 等. 日本落叶松无性系化学组成遗传变异的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(2): 50-53, 64.
- DING B, WANG J H, ZHANG S G, et al. Study on genetic variation of wood chemical properties of Japanese larch clones[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, 29(2): 50-53, 64.
- [18] 张鹏, 卫燕霞, 刘炆, 等. 大果紫檀心材抽提物发色成分及其对颜色的影响[J]. 林产化学与工业, 2018, 38(5): 77-84.
- ZHANG P, WEI Y X, LIU Y, et al. Extraction of chromogenic component from *Pterocarpus macrocarpus* Kurz. heartwood and its effect on wood color [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2018, 38(5): 77-84.
- [19] 吴中禄. 木材浸出物对于木材材性和利用的影响[J]. 林产化学与工业, 1981, 1(2): 36-41.
- WU Z L. The influence of extractives on wood properties and its utilization [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 1981, 1(2): 36-41.

(本文编校 向 琴)