

## 浙江武义天然林与人工林南方红豆杉木材理化性质研究

吴网君<sup>1,2</sup>, 王进<sup>1</sup>, 聂玉静<sup>2</sup>, 于海霞<sup>1</sup>, 徐秋娟<sup>3</sup>, 庄晓伟

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江农林大学, 浙江 杭州 311300 3. 武义县林业局, 浙江 武义 321200)

**摘要:** 对浙江省武义县南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *mairei* 天然林木材 (树龄 200 a) 与人工林木材 (树龄 10 a) 的密度、干缩性、湿胀性、抗弯性、硬度和化学组分等进行测定与分析。结果表明, 南方红豆杉天然林与人工林木材在含水率为 12% 时的气干密度分别为  $0.656 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $0.654 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 绝干密度分别为  $0.599 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $0.586 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 天然林木材密度略高于人工林, 但二者差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 天然林和人工林木材的气干体积干缩率分别为 4.805% 和 4.837%, 天然林木材的尺寸稳定性稍优于人工林, 但二者差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 天然林木材和人工林木材从气干到湿材体积湿胀率分别为 3.945% 和 3.279%, 天然林木材较人工林木材湿胀特征更明显; 天然林木材与人工林木材的抗弯强度分别为 97.36 MPa 和 63.41 MPa, 抗弯弹性模量分别为 9 292.02 MPa 和 4 489.57 MPa, 天然林木材的抗弯性较人工林木材高, 这与试样木材树龄差距较大有关; 天然林木材端面、径面和弦面硬度分别为 3 044 N、2 516 N 和 2 806 N, 相较于人工林木材, 两者径面硬度接近, 端面、弦面硬度均比天然林木材明显偏高, 原因为试样木材树龄差距较大; 天然林木材的木质素、综纤维素和聚戊糖含量分别为 27.02%、75.33% 和 8.88%, 其木质化程度较人工林木材高; 而其冷热水抽提物与灰分含量分别为 4.84%、8.36% 和 0.29%, 因其树龄大, 其富含的各类有机抽提物与无机矿物含量均比人工林木材的高。以上结果说明, 发展南方红豆杉人工林可以得到与天然林质量相当的木材, 且人工林木材产量方面更有优势。

**关键词:** 南方红豆杉; 人工林; 天然林; 物理力学性能; 化学组分

**中图分类号:** S781      **文章编码:** A      **文章编号:** 1001-3776 (2022) 06-0040-08

## Wood Physical and Chemical Properties of Natural and Planted *Taxus wallichiana* var. *mairei* Forest in Wuyi County of Zhejiang Province

WU Wang-jun<sup>1,2</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, NIE Yu-jing<sup>2</sup>, YU Hai-xia<sup>1</sup>, XU Qiu-juan<sup>3</sup>, ZHUANG Xiao-wei<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China;

3. Wuyi Forestry Bureau of Zhejiang, Wuyi 321200, China)

**Abstract:** Determinations were implemented on density, shrinkage, swelling, bending strength, modulus of elasticity, hardness and chemical composition of natural (200-year) and planted (10-year) *Taxus wallichiana* var. *mairei* wood from Wuyi county of Zhejiang province. The results showed that under wood moisture content of 12%, the air-dried densities of natural forest and plantation wood were  $0.656 \text{ g/cm}^3$  and  $0.654 \text{ g/cm}^3$ , and the oven-dried densities were  $0.599 \text{ g/cm}^3$  and  $0.586 \text{ g/cm}^3$ , without significant difference ( $P > 0.05$ ). The wood shrinkage of natural and planted forest was 4.805% and 4.837%. The wood dimensional stability of natural forest was slightly better than that of planted forest, but the difference was not significant ( $P > 0.05$ ). The swelling of wood from natural and planted forest was 3.945% and 3.279%. The bending strength of natural and planted

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2022-08-28

基金项目: 浙江省科技厅院所专项项目 (2017F30015)

作者简介: 吴网君, 硕士研究生, 从事竹木高值化利用研究工作; E-mail: 1362473776@qq.com。通信作者: 王进, 博士, 从事竹木生物质功能化及高效利用方面研究; E-mail: whuwj@sina.com。

forest was 97.36 MPa and 63.41 MPa, the modulus of elasticity was 9 292.02 MPa and 4 489.57 MPa, with significant difference. The reason was perhaps related to the tree age. The wood end surface, radial and tangential hardness of natural forest was 3 044 N, 2 516 N and 2 806 N, and was significant higher than that of plantation, except radial hardness, perhaps it caused by age. The contents of lignin, holocellulose and pentose in natural forest wood were 27.02%, 75.33% and 8.88%, because that the lignification degree of natural forest wood is higher than that of plantation. The contents of cold and hot water extractives and ash were 4.84%, 8.36% and 0.29%, higher than that in plantation wood because of the organic extracts and inorganic minerals.

**Key words:** *Taxus wallichiana* var. *mairei*; plantation; natural forest; physical and chemical properties; chemical composition

南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *mairei* 是中国特有的濒危树种<sup>[1]</sup>, 为国家一级保护植物, 在中国分布较广, 在长江流域以南、包括台湾省在内的 17 个省(区)均有生长。其木材纹理直, 结构细, 色泽丽, 质地韧且耐腐蚀, 是珍贵的用材树种之一<sup>[2-3]</sup>。南方红豆杉生长较为缓慢且天然林区资源有限。早在 2002 年, 国家已经出台相关法律法规, 在全国范围内禁止野生南方红豆杉商业化用途。近年来, 随着珍贵树种大规模培育技术的发展, 珍贵木材人工林化的推进就显得愈发的重要<sup>[4]</sup>。浙江省重点发展的珍贵木材树种就有南方红豆杉, 因此, 南方红豆杉人工林化的发展势必为南方红豆杉木材的加工利用提供广阔前景。在此之前, 黄日明<sup>[5-6]</sup>等对福建梅花山国家级自然保护区的南方红豆杉天然林木材(树龄不详)、林贤山<sup>[7]</sup>等对福建德化葛坑国有林场的南方红豆杉人工林木材(树龄 39 a)的物理力学性质进行了研究。目前, 已经从红豆杉属 *Taxus* 植物中分离鉴定了大量的紫杉烷类化合物, 主要包括紫杉醇、多西他赛, 以及具有紫杉烷骨架结构的衍生物; 学者们集中研究南方红豆杉的树皮、种子、果蒂、细枝和叶的化学成分, 但对其木材的化学成分的研究较少。本文针对浙江省武义县南方红豆杉天然林木材和人工林木材, 从物理力学性能与化学组分性质两方面进行分析和比较研究, 以期对南方红豆杉木材的基础理论研究与人工林红豆杉的发展利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验用南方红豆杉天然林木材由金华市武义县林业局捐赠提供。该批木材系森林公安依法罚没, 系武义县天然林的南方红豆杉, 木材胸径为 33 cm, 树龄约为 200 a。试验用南方红豆杉人工林木材, 笔者于武义县泉溪镇一人工林培育基地取样, 木材胸径为 15 cm, 树龄为 10 a。

### 1.2 方法

试样木材测试部位取距离基部 1.2 m 处、长 1 m 的木段, 外观无破坏, 经去皮后裁切制样。取样方法按照国家标准《木材物理力学试样采集方法》GB 1927—2009<sup>[8]</sup>的规定进行。木材基本密度、气干密度和全干密度及干缩性测定用同一试样, 尺寸为 20 mm × 20 mm × 20 mm, 共 32 个。湿胀性和吸水性测定用另一试样, 尺寸同上, 同样为 32 个。

木材密度、湿胀性及吸水性测定按 GB/T 1933—2009<sup>[9]</sup>、GB/T 1934.1—2009<sup>[10]</sup>和 GB/T 1934.2—2009<sup>[11]</sup>进行, 其中, 质量用 PL303 型电子天平称量, 准确至 0.001 g, 体积用排水法求出。干缩性则按 GB 1932—1991<sup>[12]</sup>测其干缩系数, 以便比较。木材抗弯强度、抗弯弹性模量、硬度等力学性质按 GB 1936.1—2009<sup>[13]</sup>、GB 1936.2—2009<sup>[14]</sup>和 GB 1941—2009<sup>[15]</sup>测定。取木材边材 1 000 g, 经粉碎机粉碎并筛选其中 40 ~ 60 目木粉用于化学成分分析, 具体按 GB/T 2677.3—1993<sup>[16]</sup>、GB/T 2677.4—1993<sup>[17]</sup>、GB/T 2677.6—1994<sup>[18]</sup>、GB/T 2677.5—1993<sup>[19]</sup>、GB/T 2677.8—1994<sup>[20]</sup>、GB/T 2677.9—1994<sup>[21]</sup>和 GB/T 2677.10—1995<sup>[22]</sup>分别测定灰分、冷热水抽提物、苯醇抽提物、1% NaOH 抽提物、酸不溶木质素、多戊糖、综纤维素等化学成分含量, 平行测试 3 次。

金属元素含量采用消化炉对木材样品进行消解处理, Fe、Mn、Zn、Cu、Ca、Mg 含量使用原子吸收分光光度计检测, 而 K、Na 含量使用火焰原子吸收分光光度计检测。采用 X 射线衍射仪对样品进行 X 射线衍射(XRD)分析, 具体参数为: Cu 靶  $K_{\alpha}$  辐射,  $\lambda=1.541\ 8\text{\AA}$ , 管电压为 40 kV, 管电流为 30 mA, 扫描范围  $5^{\circ}\sim 80^{\circ}$ , 扫描

速率  $4^{\circ}\cdot\text{min}^{-1}$ ，扫描角度视样品而定。红外线光谱检测（FTIR）分析采用溴化钾压片法制样，用傅里叶变换红外光谱仪进行红外光谱测定。采用 X 射线光电子能谱（XPS）分析木材表面元素和化学成分特征。测试仪器主要参数：采用单频  $\text{Al K}_{\alpha}$ （ $1\,486.6\text{eV}$ ）射线源，功率  $250\text{ W}$ ，污染碳峰  $285\text{ eV}$  为标定标准，本底真空度大于  $10^{-7}\text{Pa}$ ；原始测试数据的采集和处理在 Advantage 软件上进行，分峰主要在 XPS peak 软件上进行，最后将所得的数据导入 Origin 来分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 红豆杉木材物理力学性质

2.1.1 木材密度分析 木材密度反映了木材细胞壁中物质含量的多少，密度越大其细胞壁中的物质含量越多<sup>[23-25]</sup>。对武义县南方红豆杉天然林与人工林木材密度性状的测定与统计结果见表 1。由表 1 可知，武义县南方红豆杉天然林与人工林木材在含水率为 12% 时的气干密度分别为  $0.656\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和  $0.654\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，绝干密度分别为  $0.599\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和  $0.586\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，属中等密度木材（ $0.56\sim 0.75\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ）<sup>[26]</sup>。差异显著性 t 检验结果表明，武义县南方红豆杉天然林木材和人工林木材气干密度差异不显著（ $P>0.05$ ），但绝干密度天然林木材比人工林密度要偏大约 2.2%。由表 1 还可看出，各性状均值变异系数基本小于 5%，因此认为试验结果较可靠。天然林南方红豆杉木材气干密度和绝干密度均大于人工林南方红豆杉木材，但两者略为接近，表明本研究中 10 年生人工林南方红豆杉木材其密度与成熟材木材密度较为接近。

表 1 南方红豆杉天然林与人工林木材密度  
Table 1 Density of *T. wallichiana* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

试验项目		气干密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	绝干密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	基本密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
天然林	平均值	0.656	0.599	0.570
	标准差	0.028	0.022	0.022
	变异系数/%	4.319	4.670	4.898
人工林	平均值	0.654	0.586	0.557
	标准差	0.031	0.026	0.025
	变异系数/%	3.761	3.422	3.537

2.1.2 木材干缩性分析 从表 2 可知，南方红豆杉天然林木材和人工林木材在含水率为 12% 时，其体积气干干缩率分别为 4.805% 和 4.837%，弦向气干干缩率分别为 2.555% 和 2.754%，径向气干干缩率分别为 1.770% 和 2.159%。武义县南方红豆杉木材的体积气干干缩率、弦向气干干缩率、径向气干干缩率均较低，表明南方红豆杉木材较为致密，其尺寸稳定性较好。其中，天然林木材的干缩性稍优于人工林木材的，其原因为本研究中天然林木材属成熟材，而人工林木材属幼龄材。对天然林和人工林木材干缩性的差异显著性 t 检验表明，两者之间差异不显著（ $P>0.05$ ）。不同方向气干干缩率均值的变异系数均大于 15%，测试数据变异较大；径向干缩率变异较弦向要大，这与木材取样的位置、方向均有较大关系。

表 2 南方红豆杉天然林与人工林木材气干干缩率  
Table 2 Shrinkage of air-dried wood from plantation and natural *T. wallichiana* var. *mairei* forest

试验项目		径向气干干缩率/%	弦向气干干缩率/%	体积气干干缩率/%
天然林	平均值	1.770	2.555	4.805
	标准差	0.539	0.541	0.812
	变异系数/%	30.443	21.169	16.904
人工林	平均值	2.159	2.754	4.837
	标准差	0.619	0.692	1.117
	变异系数/%	28.654	25.125	23.087

2.1.3 木材湿胀性分析 由表 3 可知，南方红豆杉天然林木材和人工林木材从气干状态到饱和湿材的体积湿胀率分别为 3.945% 和 3.279%。南方红豆杉天然林木材较人工林木材湿胀特征更明显，其原因可能由于天然林木材

树龄为 200 a, 木材成熟, 其性能更为稳定。对天然林和人工林木材湿胀性的差异显著性 t 检验表明, 两者之间差异显著 ( $P<0.05$ )。由表 3 还可看出, 各性状均值的变异系数大于 25%, 测试数据变异较大, 且从气干材到湿材的径向湿胀率变异较弦向变异更大, 这与气干干缩率的变异规律吻合。

表 3 南方红豆杉天然林与人工林木材湿胀率  
Table 3 Wood swelling of *T. wallichiana* var. *mairei* from plantation and natural forest

试验项目		径向湿胀率/%	弦向湿胀率/%	体积湿胀率/%
天然林	平均值	1.320	2.471	3.945
	标准差	0.383	0.677	0.928
	变异系数/%	29.046	27.415	23.529
人工林	平均值	1.119	1.569	3.279
	标准差	0.444	0.503	0.830
	变异系数/%	39.728	32.039	25.324

2.1.4 木材抗弯强度和抗弯弹性模量分析 由表 4 可知, 武义县南方红豆杉天然林木材与人工林木材的抗弯强度分别为 97.36 MPa 和 63.41 MPa, 抗弯弹性模量分别为 9 292.02 MPa 和 4 489.57 MPa。南方红豆杉天然林木材的抗弯强度较人工林木材的明显要高, 其原因是测试样品的天然林木材已成熟, 其抗弯性能较幼龄材有明显优势。在抗弯弹性模量方面, 测试结果表明南方红豆杉天然林木材较人工林木材明显要高, 其原因同样与树龄有关。

表 4 南方红豆杉天然林与人工林木材抗弯性  
Table 4 Bending strength and modulus of elasticity in bending wood of *T. wallichiana* var. *mairei* from plantation and natural forest

试验项目		抗弯强度/MPa	抗弯弹性模量/MPa
天然林	平均值	97.36	9 292.02
	标准差	6.96	1 044.35
	变异系数/%	7.15	11.24
人工林	平均值	63.41	4 489.57
	标准差	5.93	409.66
	变异系数/%	9.35	9.12

2.1.5 木材硬度分析 由表 5 可知, 武义县南方红豆杉天然林木材端面、径面和弦面硬度分别为 3 044 N、2 516 N 和 2 806 N, 端面硬度分别为径面硬度和弦面硬度的 1.21 倍和 1.08 倍。人工林木材端面、径面和弦面硬度分别为 2 622 N、2 535 N 和 2 335 N, 端面硬度分别为径面硬度和弦面硬度的 1.03 倍和 1.12 倍。对于木材硬度指标来说, 针、阔叶材均以端面硬度比径面和弦面硬度高<sup>[27]</sup>, 本研究也证实了这一点。南方红豆杉天然林木材和人工林木材的硬度结果表明, 两者径面硬度接近; 端面、弦面硬度均是天然林木材明显偏高, 这是因为人工林木材尚属幼龄材, 而天然林木材属成熟材。

表 5 南方红豆杉天然林与人工林木材硬度  
Table 5 Hardness of *T. wallichiana* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

试验项目		端面硬度/N	径面硬度/N	弦面硬度/N
天然林	平均值	3 044	2 516	2 806
	标准差	289	187	214
	变异系数/%	9.51	7.44	7.64
人工林	平均值	2 622	2 535	2 335
	标准差	504	266	137
	变异系数/%	19.21	10.49	5.86

2.2 红豆杉木材化学性质

2.2.1 化学成分含量分析 木材中化学成分的含量直接影响着木材的材性与利用。本研究对南方红豆杉木材中木质素、综纤维素, 聚戊糖、抽提物、灰分、金属元素等组分含量进行了测试, 结果如表 6。从表 6 可看出, 南方红豆杉天然林和人工林木材的主要化学成分含量存在差异, 南方红豆杉天然林和人工林木材中木质素含量分别为 27.02%和 26.25%, 聚戊糖含量分别为 8.88%和 12.65%, 综纤维素含量分别为 75.33%和 77.85%。与天然

林南方红豆杉木材相比，人工林南方红豆杉木材中的戊聚糖、综纤维素含量均略高，木质素含量偏低，这是由于人工林木材较天然林木材的木质化程度要低。

表 6 南方红豆杉天然林与人工林木材主要化学成分  
Table 6 Chemical constituents of *T. wallichiana* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

样品名称	木质素/%	综纤维素/%	聚戊糖/%
天然林	27.02	75.33	8.88
人工林	26.25	77.85	12.65

由表 7 可看出，南方红豆杉天然林木材的苯醇抽提物、热水抽提物、冷水抽提物、1%氢氧化钠抽提物等含量均较人工林木材要高。经苯醇抽提后，南方红豆杉天然林和人工林木材的粉样颜色明显变浅，这是由于影响木粉颜色的主要化学物质是酚类化合物，在抽提过程中随着抽提物的抽离其浓度不断降低所致。南方红豆杉人工林木材的材色较天然林木材的材色浅，耐久性较天然林木材略差。灰分影响木材的材性和加工性能，本实验中南方红豆杉天然林和人工林木材的灰分含量分别为 0.29% 和 0.24%，人工林木材的灰分含量低于天然林，这与其树龄明显偏低，木材中积累的各种无机物质较少有关。

表 7 南方红豆杉天然林与人工林木材抽提物与灰分含量  
Table 7 Extract and ash content in *T. wallichiana* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

样品名称	苯醇抽提物/%	冷水抽提物/%	热水抽提物/%	氢氧化钠抽提物/%	灰分/%
天然林	10.64	4.84	8.36	11.86	0.29
人工林	7.45	4.19	6.45	8.28	0.24

由表 8 可知，南方红豆杉天然林和人工林木材中检测的 7 种金属元素的含量由大到小的顺序为  $K > Ca > Mg > Mn > Fe > Zn > Cu$ 。由此可见，南方红豆杉木材含有丰富的 K 和 Ca；Zn 的含量较低，Cu 含量最低，在天然林和人工林木材中的含量分别为  $3.96 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $2.24 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。其中，南方红豆杉天然林木材中 K、Ca、Mg、Fe、Cu 这 5 种元素的含量较人工林木材中要偏高；而 Zn 和 Mn 这 2 种元素的含量人工林木材较天然林木材偏高。南方红豆杉木材中金属元素的含量及其变化规律结果，可为开展南方红豆杉木材化学加工利用提供参考。

表 8 南方红豆杉天然林与人工林木材金属含量  
Table 8 Metal content in *T. wallichiana* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

样品名称	K/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Fe/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Zn/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mn/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Cu/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Mg/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	Ca/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
天然林	709.43	25.30	11.20	44.74	3.96	196.31	380.51
人工林	645.73	22.68	18.55	135.83	2.24	182.72	322.73

2.2.2 红外光谱分析 图 1 为南方红豆杉天然林 (a) 和人工林 (b) 木材的红外光谱图。由图中可知，天然林木材和人工林木材红外吸收光谱特征峰相似。在  $1699 \text{ cm}^{-1}$ 、 $786 \text{ cm}^{-1}$ 、 $740 \text{ cm}^{-1}$ 、 $690 \text{ cm}^{-1}$  等处均具有特征吸收峰，且仅表现出强度上略有差异，说明南方红豆杉天然林和人工林木材主要化学成分种类基本一致，参考测得的化学成分含量，吸收峰强度差异与其成分含量有关。

2.2.3 X-射线衍射分析 X 射线衍射可用于研究金属和合金的晶体结构。图 2 为南方红豆杉天然林 (a) 和人工林 (b) 木材的 X 射线衍射分析图。由图可知，在南方红豆杉天然林和人工林木材的衍射图中都可以清楚地观察到，在  $2\theta = 15.7^\circ$ 、 $2\theta = 22.3^\circ$  和  $2\theta = 34.8^\circ$  三个位置出现了纤维

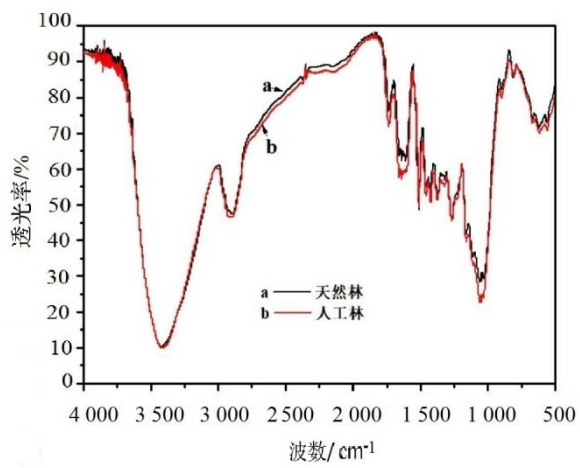


图 1 南方红豆杉天然林和人工林木材红外光谱图  
Figure 1 FTIR diagram of *Taxus chinensis* var. *mairei* wood from plantation and natural forest

素典型的衍射峰。南方红豆杉天然林木材较人工林木材的特征衍射峰强度要略高, 说明随着红豆杉木材年龄的增长, 其结晶区的半纤维等含量逐步减少, 微纤丝排列更为有序。结合化学成分测试, 天然林南方红豆杉木材的综纤维素含量和聚戊糖含量均较人工林要低, 这与其 X 射线衍射分析结果一致。

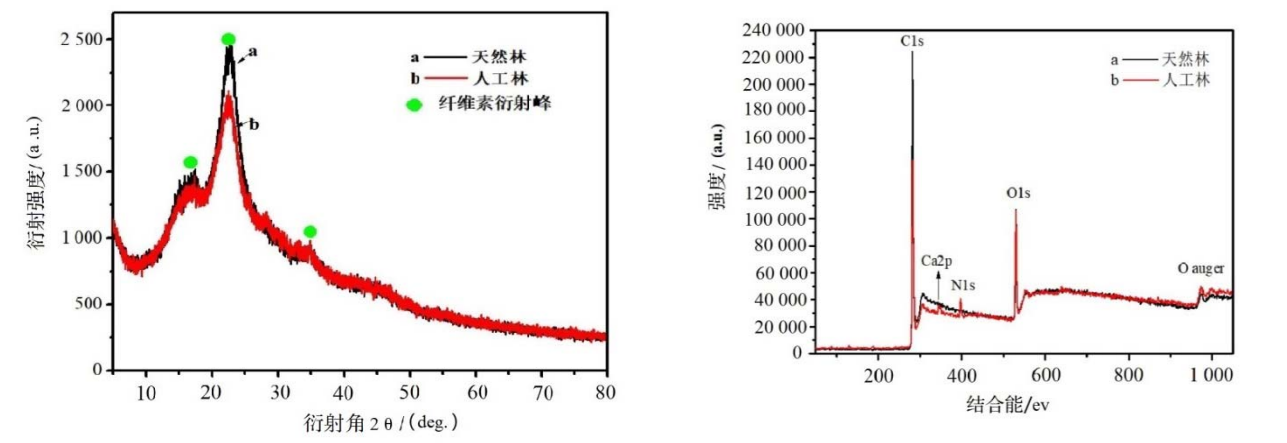


图 2 南方红豆杉天然林 (a) 与人工林 (b) 木材 X 射线衍射分析图

图 3 南方红豆杉天然林 (a) 与人工林 (b) 木材 X 射线光电子能谱分析图

Figure 2 XRD diagram of *Taxus chinensis* var. *mairei* wood from plantation(a) and natural forest(b)

Figure 3 XPS diagram of *Taxus chinensis* var. *mairei* wood from plantation (a) and natural forest (b)

2.2.4 X 射线光电子能谱分析 南方红豆杉天然林与人工林木材的 XPS 图和 XPS 测试结果见图 3 和表 9。木材中纤维素、木质素、半纤维素、抽提物其主要组分以 C、O、H 为主, 其中 C 和 O 均可通过 XPS 分析。结合图 3 和表 9 可知, 南方红豆杉天然林与人工林木材主要都含有 C、O 和 N 三种元素, 谱峰出现位置接近。在南方红豆杉人工林木材中检测到 Ca 元素, 在天然林木材中没有出现 Ca 2p 吸收峰; 在前述元素分析中, 天然林南方红豆杉木材中的 Ca 含量较人工林木材的偏高, 这可能与检测样品中 Ca 的分布不均匀有关。天然林和人工林南方红豆杉木材样品氧碳比 (O/C) 有一定差异, 天然林木材氧碳比 (0.15) 比人工林木材 (0.23) 要低, 表明天然林木材表面钝化, 这与天然林木材树龄大、木材碳积累相对更高有关。

表 9 南方红豆杉天然林与人工林木材 XPS 测试结果							
Table 9 XPS test on <i>T. wallichiana</i> var. <i>mairei</i> wood from plantation and natural forest							
	名称	峰位/eV	峰高/cps	半峰宽/eV	面积/(cps·eV)	转化面积/(cps·eV)	原子百分数/%
天然林	C 1s	282.30	36 217.93	1.88	87 843.15	1 229.80	85.25
	N 1s	397.12	459.74	0.37	2 574.83	23.22	1.61
	O 1s	530.30	12 927.20	2.10	32 707.30	189.50	13.14
人工林	C 1s	282.45	20 284.55	2.53	62 946.37	881.33	75.63
	Ca 2p	345.27	923.07	1.78	4 965.24	12.13	1.04
	N 1s	397.39	2 030.78	2.30	7 184.79	64.81	5.56
	O 1s	530.08	10 715.73	3.07	35 734.88	207.01	17.76

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

南方红豆杉天然林木材的气干密度和绝干密度分别为  $0.656\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和  $0.599\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 人工林木材的气干密度和绝干密度分别为  $0.654\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和  $0.586\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。南方红豆杉天然林气干密度、绝干密度和基本密度均大于人工林, 人工林木材密度较天然林均匀, 本研究中南方红豆杉人工林木材还没有达到成熟, 还需进一步培育后再利

用。人工林木材的尺寸稳定性稍差于天然林木材的。南方红豆杉的气干干缩率随着取样的位置方向均有较大差别,其中径向气干干缩率的变异系数较弦向的大;径向湿胀率变异较弦向湿胀率的变异系数更大。

南方红豆杉天然林木材的端面、径面和弦面硬度分别为 3 044 N、2 516 N 和 2 806 N,人工林木材的端面、径面和弦面硬度分别为 2 622 N、2 535 N 和 2 335 N。二种木材的径面硬度接近;端面、弦面硬度均是天然林木材明显偏高。从抗弯强度和抗弹性模量数据可知,南方红豆杉天然林木材在抗弯强度与抗弹性模量方面强于人工林木材,其原因与天然林(200 a)和人工林(10 a)树龄的差异有关。

人工林木材中的戊聚糖、纤维素和木质素含量均略高于天然林。人工林木材材色较天然林木材浅,耐久性较天然林木材略差,加工性能也略逊于天然林木材。南方红豆杉天然林和人工林木材中金属元素的含量基本相同且含量大小排序相同,K、Ca、Mg、Fe、Cu 这 5 种元素的含量在南方红豆杉天然林木材中较在人工林木材中的高,而 Zn 和 Mn 这 2 种元素的含量在人工林木材中较天然林木材中的高;可以参考金属元素含量差异,把南方红豆杉天然林和人工林木材识别出来。红外光谱分析、X 衍射分析、X 射线光电子能谱分析可看出南方红豆杉天然林和人工林木材性质基本一致,特征峰强度略有差异,这与其木材中化学成分的含量有一定差异有关,南方红豆杉木材中的碳元素随着树龄不断增加而不断积累致其氧碳比降低。

### 3.2 讨论

本文对人工林南方红豆杉的利用提供了材性的基础数据,系统测试分析了武义县南方红豆杉天然林和人工林木材的物理性质与化学性质,取得的相关数据和结论可对南方红豆杉木材的进一步开发利用提供参考。南方红豆杉是一种很有发展前途的优良珍贵用材树种,大力营造南方红豆杉人工林能培育出产量更高且质量与天然林相当的木材,并不断提升其综合利用水平,对缓解当前珍贵木材短缺、满足珍贵木材原料需求、促进林业可持续发展造福子孙后代都具有重要的现实意义和深远的历史意义。

### 参考文献:

- [1] 成俊卿,杨家驹,刘鹏.中国木材志[M].北京:中国林业出版社,1992:79-80.
- [2] 贺立虎,李娟丽,周瑾.红豆杉资源开发与利用[J].杨凌职业技术学院学报,2007,6(4):8-12.
- [3] 潘标志.福建省南方红豆杉产业发展对策研究[J].福建林业科技,2004,31(2):100-103.
- [4] 王进,何林荣,聂玉静,等.浙江武义南方红豆杉木材解剖性质研究[J].浙江林业科技,2018,38(06):69-72.
- [5] 黄日明,陈瑞英,段萍,等.南方红豆杉木材理化性质的研究[J].福建林学院学报,2013,33(04):377-380.
- [6] 黄日明,段萍,陈承德.南方红豆杉木材解剖特征研究[J].闽西职业技术学院学报,2012,14(02):112-115.
- [7] 林贤山,陈天文,王挺良.南方红豆杉人工林木材物理力学性质的研究[J].林业实用技术,2002(04):4-6.
- [8] 中国木材标准化技术委员会.木材物理力学试样采集方法:GB/T 1927-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [9] 中国国家标准化管理委员会.木材密度测定方法:GB/T 1933-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 中国国家标准化管理委员会.木材吸水性测定方法:GB/T 1934.1-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [11] 中国国家标准化管理委员会.木材湿胀性测定方法:GB/T 1934.2-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [12] 国家技术监督局.木材干缩性测定方法:GB 1932-1991[S].北京:中国标准出版社,1991.
- [13] 中国国家标准化管理委员会.木材抗弯强度试验方法 GB 1936.1-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [14] 中国国家标准化管理委员会.木材抗弯弹性模量测定方法 GB 1936.2-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [15] 中国国家标准化管理委员会.木材硬度试验方法:GB/T 1941-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [16] 国家技术监督局.造纸原料灰分的测定:GB/T 2677.3-1993[S].北京:中国标准出版社,1993.
- [17] 国家技术监督局.造纸原料水抽出物含量的测定:GB/T 2677.4-1993[S].北京:中国标准出版社,1993.
- [18] 国家技术监督局.造纸原料有机溶剂抽出物含量的测定:GB/T 2677.6-1994[S].北京:中国标准出版社,1994.
- [19] 国家技术监督局.造纸原料 1%氢氧化钠抽出物含量的测定:GB/T 2677.5-1993[S].北京:中国标准出版社,1993.
- [20] 国家技术监督局.造纸原料酸不溶木素含量的测定:GB/T 2677.8-1994[S].北京:中国标准出版社,1994.
- [21] 国家技术监督局.造纸原料多戊糖含量的测定:GB/T 2677.9-1994[S].北京:中国标准出版社,1994.
- [22] 国家技术监督局.造纸原料综纤维素含量的测定:GB/T 2677.10-1995[S].北京:中国标准出版社,1995.

[http://lyj.zj.gov.cn/art/2022/9/23/art\\_1276365\\_59038254.html](http://lyj.zj.gov.cn/art/2022/9/23/art_1276365_59038254.html)