

# 普通油茶和小果油茶木材构造与物理性质的研究

王军锋, 马锦林, 黄腾华, 宋恋环, 陈国臣\*

(广西壮族自治区林业科学研究院, 广西木材资源培育质量控制工程技术研究中心, 广西 南宁 530002)

**摘要:**油茶树除常规油茶果产出外,综合利用油茶木材,可有效减少资源浪费,同时弥补木材资源的不足。以小果油茶和普通油茶木材为对象,对其物理性质和构造特征等进行研究。结果表明,木材气干密度普通油茶为  $0.81\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,小果油茶为  $0.85\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;木纤维长度、宽度、双壁厚指标普通油茶为 1 801、25、 $10.8\text{ }\mu\text{m}$ ,小果油茶为 1 530、25、 $10.2\text{ }\mu\text{m}$ ;导管长度、宽度、双壁厚指标普通油茶为 715、61、 $16\text{ }\mu\text{m}$ ,小果油茶为 759、63.8、 $15.8\text{ }\mu\text{m}$ ;木材的导管、木纤维、木射线构造的组织比量普通油茶为 15%、69%、14%,小果油茶为 11%、72%、15%;普通油茶木材微纤丝角为  $13.4^{\circ}$ ,小果油茶为  $12.6^{\circ}$ ;木材结晶度普通油茶为 63%,小果油茶为 64%。综合结果表明,小果油茶和普通油茶木材构造和物理性质具有一定的相似性,两者具有亲缘关系,但在解剖结构上又具有一定的差异性,可区分 2 种木材;2 种木材的气干密度均达到《木材主要物理力学性质分级表》规定Ⅳ级,具有较好的理论密度,木材有较高纤维结晶度和较小的微纤丝角,其主干部分可用于实木加工利用;木材纤维形态特征和组织比量均达到木材纤维制品标准要求,其枝丫材和加工剩余物可用于造纸或纤维板生产,以充分利用资源。

**关键词:**普通油茶;小果油茶;木材构造;物理性质

中图分类号:S781.31      文献标志码:A      文章编号:1001-7461(2020)03-0212-06

## Wood Structures and Physical Properties of *Camellia oleifera* and *C. meiocarpa*

WANG Jun-feng, MA Jin-lin, HUANG Teng-hua, SONG Lian-huan, CHEN Guo-chen\*

(Forestry Research Institute of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guangxi Quality Control of Wood Resources Cultivation  
Research Center of Engineering Technology, Nanning 530002, Guangxi, China)

**Abstract:** In addition to oil extraction, comprehensive utilization of *Camellia oleifera* wood can effectively reduce the waste of resources and make up for the shortage of wood resources. The physical properties and structural characteristics of *C. oleifera* and *C. meiocarpa* woods were studied. The results showed that the wood air-dry densities of *C. oleifera* and *C. meiocarpa* were  $0.81$  and  $0.85\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , respectively. The length, width and double wall thickness of wood fiber were 1 801, 25 and  $10.8\text{ }\mu\text{m}$  for *C. oleifera*, and 1 530, 25 and  $10.2\text{ }\mu\text{m}$  for *C. meiocarpa*. The length, width and double wall thickness of vessel were 715, 61 and  $16\text{ }\mu\text{m}$  for *C. oleifera*, and 759, 63.8 and  $15.8\text{ }\mu\text{m}$  for *C. meiocarpa*. The tissue measurements of vessels, fibers and rays were 15%, 69%, 14% for *C. oleifera*, and 11%, 72% and 15% for *C. meiocarpa*. The microfibril angle of *C. oleifera* wood was  $13.4^{\circ}$ , and that of *C. meiocarpa* wood was  $12.6^{\circ}$ . The crystallinity of *C. oleifera* wood was 63%, and that of *C. meiocarpa* wood was 64%. The results demonstrated that the woods of two *Camellia* species had some similarities in structure and physical properties. There was a relationship between the two species, and anatomical differences could be used to distinguish the woods of two species. The air-drying densities of the two woods were all up to grade IV stipulated in the national stand-

收稿日期:2019-09-23    修回日期:2019-10-10

基金项目:广西创新驱动重大专项课题(桂科 AA17204058-21)。

作者简介:王军锋,博士。研究方向:木质复合材料。E-mail:nfuwjf@163.com

\* 通信作者:陈国臣,正高级工程师。研究方向:经济林育种与栽培。E-mail:82979714@qq.com

ard of “Classification Table of Main Physical and Mechanical Properties of Wood” with good density, high fiber crystallinity and small microfibril angle, and the stem can be considered for solid wood processing and utilization. The morphological characteristics and tissue measurements of wood fibers met the standard requirements of wood fibre products. Their branches and processing residues can be used in papermaking or fiberboard production to make full use of resources.

**Key words:** *Camellia oleifera*; *Camellia meiocarpa*; wood structure; wood physical property

我国木材供给严重不足,随着中国成为世界第一大木材进口国和第二大木材消耗国,大量依赖木材进口对中国林业产业安全日益形成威胁<sup>[1]</sup>。因此,为满足我国居民的生活与发展需要,人工经济林树种木材的开发和应用对林业可持续发展具有十分重要的现实意义。油茶是主要的经济林树种之一,在山茶属(*Camellia*)植物中含油量较高,有“东方橄榄油”的美誉,除常规油茶果产出外,其木材又是优质家具用材和装饰用材。因此,充分利用油茶木材不仅可弥补木材资源不足,而且可以提高油茶林的加工利用附加值。油茶物种资源在华南地区较为丰富,是重要的木本油料作物<sup>[2]</sup>,其中以普通油茶(*Camellia oleifera*)和小果油茶(*C. meiocarpa*)的种植面积较大,不同的油茶物种,不仅茶油含量上有差异,在木材材性方面也不尽相同,为充分利用油茶木材,对其木材构造和物理性质进行研究,为下一步加工利用提供参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

普通油茶木材采集于广西东兰县,海拔 500 m,土壤类型为红壤,阳坡,胸径 14~18 cm,树龄 25 a。小果油茶木材采集于广西三江县,海拔 400~500 m,土壤类型为红壤,阳坡,胸径 12~16 cm,树龄 25 a。试材采集按照 GB/T 1927-2009《木材物理力学试材采集方法》,选择和采伐生长良好、树干通直、无病虫害、结疤少的普通油茶和小果油茶木材各 5 株,其中 1~5 号为普通油茶木材,6~10 号为小果油茶木材。

## 1.2 试验方法

借助放大镜对样品木质部及树皮进行观察;根据国家标准《木材密度测定方法》(GB/T 1933-2009)对木材气干密度进行测定;利用滑走切片机,在样品的横切面、径切面和弦切面上分别制备厚度 $\leq 20\text{ }\mu\text{m}$ 的切片试样,利用光学显微镜进行观察,采用点计数法测定相对组织比量;沿木材顺纹方向制备长度约为 5 cm 的木条进行解离,解离液用冰醋酸和 30%双氧水以 1:1 体积比例混合,解离完成后滴入适量 1%番红溶液震荡染色,再用滴管吸取少

量上层清液滴在载玻片上进行光学显微镜观察并量取纤维特征参数;沿木段相同年轮区域内锯解 1 mm $\times$ 4 mm $\times$ 20 mm 的试样,利用 X 线衍射仪测定细胞 S<sub>2</sub> 层平均纤维角;将过 80 目网筛的木粉,在室温下进行压片后,利用 X 线衍射仪进行结晶度测试,使用 Segal 法<sup>[3]</sup>计算木材结晶度。

# 2 结果与分析

## 2.1 木材构造

2.1.1 宏观构造特征 普通油茶木质部浅黄褐色,锯切后有黑色油斑,心、边材区别不明显,具光泽,硬度中等,生长轮明显,木射线粗,肉眼下可见,树皮薄,黄褐色,有白色斑块(图 1)。



图 1 普通油茶木材试样宏观照片

Fig. 1 Macroscopic pictures of *C. oleifera* wood samples

小果油茶,木射线放大镜下可见色浅,木质部浅黄褐色,有光泽,有食用油气味,硬度中等,心边材区别不明显,心材部分有油脂,锯切后有黑色油斑,对刀具磨损较大,管孔在放大镜下可见,生长轮间呈浅色带,树皮薄有开裂,树皮黄褐色,部分地方存在节子。半环孔材,生长轮明显,生长轮宽度不均匀,管孔数略多,放大镜下略见,轴向薄壁组织放大镜下不见,木射线稀略密、细,肉眼下径切面有射线斑纹(图 2)。

2.1.2 微观构造特征 普通油茶,导管横切面为多边形,单管孔,少数径列复管孔,散孔材,管间纹孔主要为梯状纹孔,少数梯状-对列,梯状穿孔,穿孔板甚倾斜,导管-射线间纹孔式为横列刻痕状,轴向薄壁组织少,星散状,木射线和轴向薄壁组织内部含有树胶,木纤维壁厚,具缘纹孔多而明显,多列木射线,宽 2~4 个细胞,高 4~20 个细胞,木射线非叠生,异Ⅱ型,有油



图 2 小果油茶木材试样宏观照片

Fig. 2 Macroscopic pictures of *C. meiocarpa* wood samples

细胞(图 3、图 4)。组织比量测定结果见表 1。

小果油茶,导管横切面为多角形,单管孔,导管壁薄,管孔稀短径列,少数径列复管孔,半环孔材,管间纹孔主要为梯状纹孔,少数梯状-对列,梯状穿孔,穿孔板甚倾斜,横隔窄,导管-射线间纹孔式为横列刻痕状,轴向薄壁组织少,无侵填体和螺纹加厚,星散状,木射线和轴向薄壁组织内部含有树胶,木纤维壁厚,具缘纹孔多而明显,圆形纹孔口内含,木射线异Ⅱ型,单列木射线高 1~7 个细胞,多列木射线,宽

2~4 个细胞,高 4~20 个细胞,木射线非叠生,异Ⅱ型,有油细胞,射线细胞内含有丰富树胶(图 5、图 6)。组织比量测定结果见表 1。

表 1 普通油茶和小果油茶木材解剖构造相对组织比量

Table 1 Relative tissue ratio of wood anatomical structure of *C. oleifera* and *C. meiocarpa*

| 试样编号 |     | 相对比量/%                |           |          |
|------|-----|-----------------------|-----------|----------|
|      |     | 导管                    | 木纤维       | 木射线      |
| 普通油茶 | 1   | 15.6                  | 68.1      | 13       |
|      | 2   | 14.7                  | 69.6      | 14.4     |
|      | 3   | 15.2                  | 68        | 14.1     |
|      | 4   | 15                    | 67.2      | 13.6     |
|      | 5   | 14.9                  | 71        | 13       |
|      | 平均值 | 15 (0.3) <sup>a</sup> | 69 (1.51) | 14(0.63) |
| 小果油茶 | 6   | 10.3                  | 71.7      | 16.7     |
|      | 7   | 10.5                  | 72.2      | 15.4     |
|      | 8   | 11.3                  | 71.3      | 14.5     |
|      | 9   | 10.9                  | 72.3      | 15       |
|      | 10  | 11.5                  | 73        | 14.2     |
|      | 平均值 | 11 (0.51)             | 72(0.64)  | 15(0.98) |

注:a:括号内为标准差。下同。

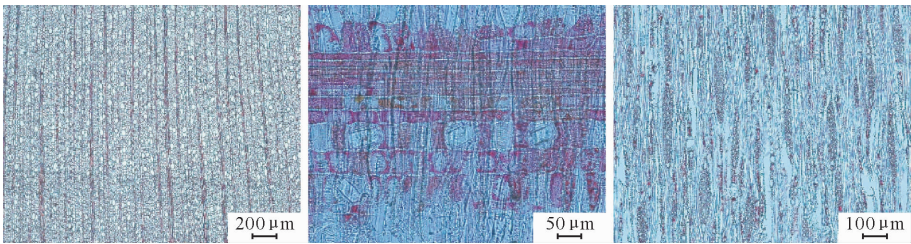


图 3 普通油茶木材试样微观图(横切面、径切面和弦切面)

Fig. 3 Micrographs of *C. oleifera* wood samples

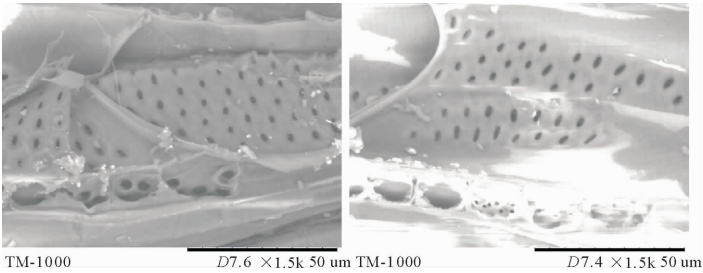


图 4 普通油茶木材试样电镜局部图

Fig. 4 Local picture of *C. oleifera* wood samples under electron microscope

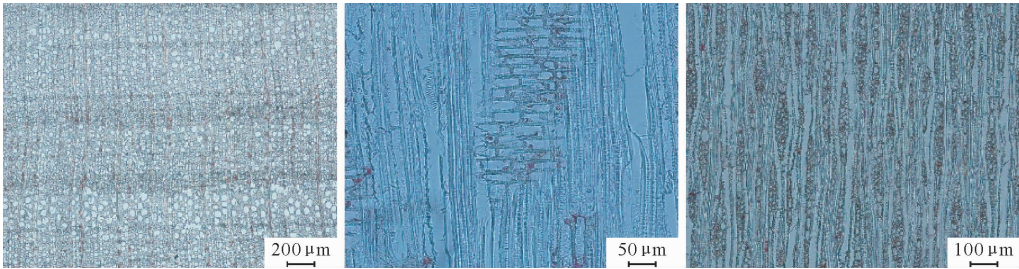


图 5 小果油茶木材试样微观图(横切面、径切面和弦切面)

Fig. 5 Micrographs of *C. meiocarpa* wood samples



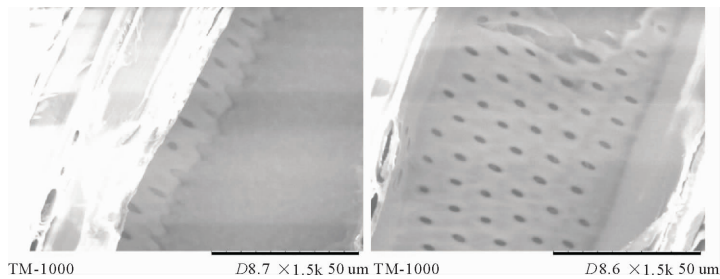


图 6 小果油茶木材试样电镜局部图

Fig. 6 Local picture of *C. meiocarpa* wood samples under electron microscope

2.2 物理性能

2.2.1 气干密度 密度是木材性质的一项重要指标,对了解木材加工性能和干缩湿胀、硬度等物理力学性质有重要意义<sup>[4]</sup>。气干密度是气干材重量与气干材体积之比,通常以含水率在 8%~12%时木材密度为气干密度,我国规定木材含水率为 12%时气干密度为我国气干密度,是进行木材性质比较和加工利用的重要依据。由表 2 可知,普通油茶的气干密度为 0.81 g·cm<sup>-3</sup>,小果油茶气干密度为 0.85 g·cm<sup>-3</sup>,根据《木材主要物理力学性质分级表》规定,普通油茶和小果油茶木材气干密度达到Ⅳ级(0.75~0.95 g·cm<sup>-3</sup>),密度与红木中降香黄檀木材密度相近(0.82~0.94 g·cm<sup>-3</sup>)<sup>[5]</sup>,总体表现出小果油茶气干密度略大于普通油茶。

表 2 普通油茶和小果油茶木材气干密度

Table 2 Air-dry wood density of *C. oleifera* and *C. meiocarpa*

| 品种   | 试样编号 | 气干密度<br>/(g·cm <sup>-3</sup> ) |
|------|------|--------------------------------|
| 普通油茶 | 1    | 0.84                           |
|      | 2    | 0.78                           |
|      | 3    | 0.86                           |
|      | 4    | 0.82                           |
|      | 5    | 0.74                           |
|      | 平均值  | 0.81(0.05) <sup>a</sup>        |
| 小果油茶 | 6    | 0.89                           |
|      | 7    | 0.81                           |
|      | 8    | 0.83                           |
|      | 9    | 0.88                           |
|      | 10   | 0.83                           |
|      | 平均值  | 0.85(0.03)                     |

2.2.2 木纤维形态特征参数 普通油茶和小果油茶木材木纤维形态结果见表 3。由表 3 可知,普通油茶木材的纤维长度、宽度、双壁厚分别为 1 801、25、10.8 μm,小果油茶为 1 530、25、10.2 μm,可见普通油茶木纤维长度比小果油茶长,而宽度和双壁厚一致,即普通油茶相对小果油茶的木纤维更加细长。根据木材解剖分子分级规定<sup>[6]</sup>,普通油茶木材

纤维长度属于“略长”级,而小果油茶属于“中等”级;纤维宽度均属于“中等”;木纤维细胞壁厚度均属于 4 级。

普通油茶木材的纤维长宽比、壁腔比、腔径比分别为 72、0.78、0.57,小果油茶分别为 62、0.71、0.59。纤维长宽比与木材物理性质有密切关系,是纤维重要指标,研究认为纤维长宽比>33、壁腔比<1,纤维间能很好交织,可用于造纸<sup>[7]</sup>。纤维长宽比越大,打浆时纤维结合面积越大,纸张撕裂指数越高,成纸强度越好;纤维壁腔比<1 者为上等造纸原料,=1 者为中等造纸原料,>1 者为劣等造纸原料。可见,普通油茶和小果木材纤维均为上等的造纸原料;而普通油茶木材和小果油茶木材纤维长宽比分别为 72 和 62,远>33,说明可以生产高质量纤维类产品、纸浆、纤维板等,且普通油茶木材用于纤维制品时效果更好。

2.2.2 导管形态特征参数 普通油茶和小果油茶木材的导管形态结果见表 4。树木通过导管将根系吸收的水分和无机盐长距离向上运输。导管专司输导水分作用,是木材中体积最大的细胞,其数量、大小影响木材的粗糙度、孔隙率、表面涂饰性和用途等<sup>[8]</sup>。导管长度、宽度、双壁厚等指标普通油茶为 715、61、16 μm,小果油茶为 759、63.8、15.8 μm;根据分级标准<sup>[6]</sup>:普通油茶和小果油茶木材的导管长度为中等、导管直径均为“甚小”、导管壁厚度为厚。可见,普通油茶和小果油茶木材导管腔小壁厚,材质相对较细腻。F. H. Frost<sup>[9]</sup> 和 I. W. Bailey 等<sup>[10]</sup> 研究认为:导管分子长者原始,短者进化,这与双子叶植物维管形成层的纺锤状原始细胞逐渐缩短有关,说明普通油茶和小果油茶属于进化程度中等的种类。

导管长宽比、壁腔比、腔径比等指标普通油茶为 12、0.37、0.73,小果油茶为 12、0.34、0.75;可见,普通油茶和小果油茶的导管形态相近。尽管导管分子长宽比不是衡量纸浆造纸的重要指标,但它反映了导管分子的形态,对于判断导管分子长度和导管分子宽度之间的关系有一定的意义。

表 3 普通油茶和小果油茶木纤维形态

Table 3 The fiber morphology of *C. oleifera* and *C. meiocarpa*

| 品种   | 试样编号 | 纤维形态/ $\mu\text{m}$     |         |           | 特征参数  |      |      |
|------|------|-------------------------|---------|-----------|-------|------|------|
|      |      | 长度                      | 宽度      | 双壁厚       | 长宽比   | 壁腔比  | 腔径比  |
| 普通油茶 | 1    | 1 695                   | 29      | 11        | 58.45 | 0.61 | 0.62 |
|      | 2    | 1 965                   | 22      | 12        | 89.32 | 1.20 | 0.45 |
|      | 3    | 1 733                   | 24      | 10        | 72.21 | 0.71 | 0.58 |
|      | 4    | 1 811                   | 26      | 11        | 69.65 | 0.73 | 0.58 |
|      | 5    | 1 801                   | 25      | 10        | 72.04 | 0.67 | 0.60 |
|      | 平均值  | 1 801(104) <sup>a</sup> | 25(2.6) | 10.8(0.8) | 72    | 0.78 | 0.57 |
| 小果油茶 | 6    | 1 566                   | 30      | 11        | 52.20 | 0.58 | 0.63 |
|      | 7    | 1 741                   | 24      | 12        | 72.54 | 1.00 | 0.50 |
|      | 8    | 1 564                   | 26      | 9         | 60.15 | 0.53 | 0.65 |
|      | 9    | 1 451                   | 21      | 9         | 69.10 | 0.75 | 0.57 |
|      | 10   | 1 327                   | 24      | 10        | 55.29 | 0.71 | 0.58 |
|      | 平均值  | 1 530(154)              | 25(3.3) | 10.2(1.3) | 62    | 0.71 | 0.59 |

表 4 普通油茶和小果油茶木材导管形态

Table 4 The vessel morphology of *C. oleifera* and *C. meiocarpa*

| 品种   | 试样编号 | 导管形态/ $\mu\text{m}$  |            |            | 特征参数  |      |      |
|------|------|----------------------|------------|------------|-------|------|------|
|      |      | 长度                   | 宽度         | 双壁厚        | 长宽比   | 壁腔比  | 腔径比  |
| 普通油茶 | 1    | 812                  | 64         | 18         | 12.69 | 0.39 | 0.72 |
|      | 2    | 645                  | 57         | 13         | 11.32 | 0.30 | 0.77 |
|      | 3    | 672                  | 61         | 15         | 11.02 | 0.33 | 0.75 |
|      | 4    | 652                  | 53         | 18         | 12.30 | 0.51 | 0.66 |
|      | 5    | 794                  | 68         | 16         | 11.68 | 0.31 | 0.76 |
|      | 平均值  | 715(81) <sup>a</sup> | 61(5.9)    | 16(2.1)    | 12    | 0.37 | 0.73 |
| 小果油茶 | 6    | 789                  | 60         | 19         | 13.15 | 0.46 | 0.68 |
|      | 7    | 748                  | 69         | 14         | 10.84 | 0.25 | 0.80 |
|      | 8    | 798                  | 59         | 14         | 13.53 | 0.31 | 0.76 |
|      | 9    | 711                  | 61         | 17         | 11.66 | 0.39 | 0.72 |
|      | 10   | 749                  | 70         | 15         | 10.70 | 0.27 | 0.79 |
|      | 平均值  | 759(35)              | 63.8(5.26) | 15.8(2.17) | 12    | 0.34 | 0.75 |

2.2.3 木材相对组织比量 普通油茶和小果油茶木材的构造相对组织比量见表 1。组织比量主要研究木材纤维构造的数量特征,根据构造分子的数量特征将木材构造特征同木材材性联系起来,诠释解剖特征与材性之间的规律性。因此,木材组织比量的研究是寻求木材解剖特征与其材质间关系的一种重要手段。在纤维板生产和造纸制浆的过程中,木纤维是主要的组织成分,木材导管、木射线细胞、轴向薄壁组织细胞往往量少且细胞易被破坏或流失。在纤维板生产中,纤维比量在 50% 以上时,才能生产出合格产品;在造纸工业中,纸张质量和纸浆得率受木纤维组织比量的影响,是评价纤维原料利用的重要指标<sup>[11]</sup>。从表 1 可知,普通油茶和小果油茶木材导管比量分别为 15%、11%;木射线比量为 14%、15%;纤维比量分别为 69% 和 72%,均>50%。可见,普通油茶和小果油茶的木材及加工剩余物均适用于木质纤维制品的原料。

2.2.4 结晶度 普通油茶和小果油茶木材纤维素结晶度见表 5。由表 5 可知,普通油茶木材纤维素

结晶度为 63%,小果油茶为 64%,可见普通油茶和小果油茶木材结晶度相近,且均具有较高的结晶度。木材结晶度是描述纤维素超分子结构的一个重要参数,它表示纤维素中结晶部分物质所占的百分数。纤维的物理、化学性质与结晶度有着密切的关系,测定纤维素的结晶度,对了解纤维素的性质及木材改性等有重要意义<sup>[12]</sup>。刘一星等<sup>[13]</sup>研究发现,纤维素结晶度适量增大有利于木材声学振动效率提高,黑龙江鱼鳞云杉在结晶度为 61% 时,比动弹性模量最大,木材声振动性能最佳。一般来说,随着结晶度增加,纤维素分子断裂强度、弹性模量、硬度、密度、尺寸稳定性等都有所提高,而延伸度、吸湿性、润胀性、染料吸附性、化学反应性等有所降低<sup>[14]</sup>。

2.2.5 微纤丝角 普通油茶和小果油茶木材的微纤丝角见表 6。由表 6 可知,普通油茶木材微纤丝角为 13.3°、小果油茶为 12.6°,可见小果油茶木材微纤丝角略小于普通油茶,且微纤丝角均较小。通常认为,密度与微纤丝角呈负相关关系<sup>[15]</sup>,这与表 2 中木材的密度规律一致。木材细胞壁次生壁 S<sub>2</sub> 层

的微纤丝角是木材机械性能的主要决定因子之一，特别影响木材的弹性模量和干缩性，木材横纹干缩性随 S<sub>2</sub> 层微纤丝角的增大而减小；顺纹抗拉强度随 S<sub>2</sub> 层微纤丝角的减小而增大<sup>[16]</sup>。微纤丝角与木材的强度和硬度关系密切，是评定材质、纸张强度、纤维复合材料性能等的重要指标，对于木质材料的加工与利用有重要的研究价值<sup>[17]</sup>。木材单个木纤维中微纤丝角与纸浆纤维的强度和伸缩性密切相关，微纤丝角越小，抗拉强度越大；微纤丝角越大，则伸缩性越强<sup>[18]</sup>。

表 5 普通油茶和小果油茶木材纤维素结晶度

Table 5 Crystallinity of wood cellulose of *C. oleifera* and

*C. meiocarpa*

| 品种   | 试样编号 | 结晶度/%              |
|------|------|--------------------|
| 普通油茶 | 1    | 63                 |
|      | 2    | 61                 |
|      | 3    | 65                 |
|      | 4    | 66                 |
|      | 5    | 62                 |
|      | 平均值  | 63(2) <sup>a</sup> |
| 小果油茶 | 6    | 64                 |
|      | 7    | 61                 |
|      | 8    | 66                 |
|      | 9    | 66                 |
|      | 10   | 62                 |
|      | 平均值  | 64(2)              |

表 6 普通油茶和小果油茶木材微纤丝角

Table 6 Wood MFA of *C. oleifera* and *C. meiocarpa*

| 品种   | 试样编号 | 微纤丝角/(°)               |
|------|------|------------------------|
| 普通油茶 | 1    | 14.2                   |
|      | 2    | 13.2                   |
|      | 3    | 12.4                   |
|      | 4    | 13.7                   |
|      | 5    | 13.4                   |
|      | 平均值  | 13.4(0.7) <sup>a</sup> |
| 小果油茶 | 6    | 13.2                   |
|      | 7    | 12.5                   |
|      | 8    | 11.4                   |
|      | 9    | 13.5                   |
|      | 10   | 12.4                   |
|      | 平均值  | 12.6(0.8)              |

3 结论与讨论

普通油茶和小果油茶是山茶科山茶属 2 个不同的物种，两者具有非常相近的亲缘关系，其木材在宏观和微观上具有共同特征，这与黄勇<sup>[19]</sup>的研究结果一致，该研究认为小果油茶和普通油茶明显存在着因杂交而产生的基因渐渗，小果油茶或许是普通油茶的一个变种。但两者在结构上又有一定区别，两者的区别主要在木材纤维长度和组织比量指标有明显差异，为种间差异。

普通油茶和小果油茶木材气干密度分别为 0.81 g·cm<sup>-3</sup> 和 0.85 g·cm<sup>-3</sup>，气干密度均达到《木材主要物理力学性质分级表》规定Ⅳ级，说明普通油茶和小果油茶气干密度水平在木材中处于中上等水平，具有较好的理论密度，其密度与红木中的降香黄檀木材相近；此外，普通油茶和小果油茶木材有较高纤维结晶度和较小的微纤丝角。因此，可以考虑作为经济和用材两用林发展，木材主干部分可考虑用于实木加工利用。

从纤维形态、木材相对组织比量等方面分析，普通油茶和小果油茶木材适于造纸或其他纤维制品，因此可以考虑利用普通油茶和小果油茶木材的树干和加工剩余物造纸或纤维板，以充分利用资源。

参考文献：

[1] 于豪谅,田明华,史莹赫,等.中国木质林产品外贸依存度算法研究及其测评[J].林业科学,2018,54(5):152-167.  
YU H L,TIAN M H,SHI Y H,*et al.* The measuring methods of dependence on foreign trade of china's wooden forest products and the estimating after measuring[J]. Scientia Silvae Sinicae,2018,54(5):152-167. (in Chinese)

[2] 范友华,喻宁华,邓腊云,等.高介孔体积油茶壳活性炭的制备工艺研究[J].西北林学院学报,2019,34(5):187-194.  
FAN Y H,YU N H,DENG L Y,*et al.* Preparation of high mesoporous activated carbon fromcamellia oleifera[J]. Journal of Northwest Forestry University,2019,34(5):187-194. (in Chinese)

[3] 薛振华,赵广杰.不同处理方法对木材结晶性能的影响[J].西北林学院学报,2007,22(2):169-171.  
XUE Z H,ZHAO G J. Influence of different treatments of on wood crystal properties[J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(2):169-171. (in Chinese)

[4] 赵荣军,霍小梅,邢新婷,等.粗皮桉木材气干密度测定方法比较研究[J].西北林学院学报,2012,27(2):242-244.  
ZHAO R J,HUO X M,XING X T,*et al.* Comparison of measurement methods of eucalyptus pellita air-dry density[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(2):242-244. (in Chinese)

[5] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 18107-2017 红木[S].北京:中国标准出版社,2017.

[6] 成俊卿,杨家驹.中国木材志[M].北京:中国林业出版社,1992.

[7] 梁善庆,罗建举.人工林米老排木材解剖性质及其变异性研究[J].北京林业大学学报,2007,29(3):142-148.  
LIANG S Q,LUO J J. Wood anatomical properties and their variations of *Mytilarialaosensis* plantations[J]. Journal of Beijing Forestry University,2007(3):142-148. (in Chinese)

[8] 肖兴翠,杨勇智,郭洪英,等.红椿天然林木木材解剖性质研究[J].中南林业科技大学学报,2019,39(8):115-123.  
XIAO X C,YANG Y Z,GUO H Y,*et al.* Study on wood anatomical structure of natural *Toona ciliate* Roem. forests[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2019,39(8):115-123. (in Chinese)

化及其驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 197-203.

WANG P, WANG Y J, LIU X P, *et al.* Changes of landscape pattern in land use and driving forces in Shapotou district, Ningxia[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(6): 197-203. (in Chinese)

[13] 刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 等. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 5915-5923.

LIU S L, AN N N, YIN Y J, *et al.* Landscape pattern analysis and prediction of land-use change in the Guangxi coastal area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 5915-5923. (in Chinese)

[14] 李桢, 刘森, 薛振山, 等. 基于 CLUE-S 模型的三江平原景观格局变化及模拟[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6): 1802-1812.

[15] 王耀斌, 赵永华, 韩磊, 等. 西安市景观格局与城市热岛效应的耦合关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2621-2628.

[16] 池源, 石洪华, 王恩康, 等. 庙岛群岛北五岛景观格局特征及其生态效应[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1270-1285.

[17] 黄丽明, 陈健飞. 城市景观格局时空特征的热环境效应研究——以广州市花都区为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(3): 480-490.

[18] 陈影, 哈凯, 贺文龙, 等. 冀西北间山盆地地区景观格局变化及优化研究——以河北省怀来县为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(4): 556-569.

[19] 陈玲玲, 曹杨, 易琳, 等. 城市旅游地景观格局演变与优化研究——以南京为例[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1024-1032.

CHEN L L, CAO Y, YI L, *et al.* Landscape pattern change and optimization in urban tourism destination—a case study of Nanjing [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(7): 1024-1032. (in Chinese)

[20] 向芸芸, 蒙古军. 漓江流域旅游开发对景观格局干扰的时空分异[J]. 山地学报, 2014, 32(1): 11-20.

XIANG Y Y, MENG J J. Temporal and spatial analysis of tourism disturbance on landscape pattern in the Li River basin of Guangxi[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 32(1): 11-20. (in Chinese)

[21] 张皓玮, 李欣, 殷如梦, 等. 旅游城镇化地区土地利用景观格局指数的粒度效应——以扬州市广陵区为例[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2018, 41(3): 122-130.

ZHANG H W, LI X, YIN R M, *et al.* Grain size effect of urbanization tourist areas of land use landscape pattern index—a case study of Guangling District of Yangzhou[J]. Journal of Nanjing Normal University, 2018, 41(3): 122-130. (in Chinese)

[22] FAN Q D, DING S Y. Landscape pattern changes at a county scale: a case study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013[J]. Catena, 2016, 137: 152-160.

[23] 黄春波, 滕明君, 曾立雄, 等. 长江三峡库区土地利用/覆盖的长期变化[J]. 应用生态学报, 2018, 29(5): 1585-1596.

HUANG C B, TENG M J, ZENG L X, *et al.* Long-term changes of land use/cover in the Three Gorges Reservoir area of the Yangtze River, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(5): 1585-1596. (in Chinese)

[24] 陈仙春, 赵俊三, 陈磊士, 等. 基于 Landsat 影像的玉溪市红塔区土地覆盖分类及变化分析[J]. 森林工程, 2019, 35(3): 1-8.

[25] HUANG C B, HUANG X, WANG P C, *et al.* Land use/cover change in the Three Gorges Reservoir area, China: reconciling the land use conflicts between development and protection [J]. Catena, 2019, 175: 388-399.

[26] 徐嘉兴, 李钢, 渠俊峰, 等. 洪泽湖地区土地利用与景观格局演变[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(10): 1211-1215.

XU J X, LI G, QU J F, *et al.* Changes of land use and landscape pattern in Hongze Lake basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(10): 1211-1215. (in Chinese)

(上接第 217 页)

[9] FROST F H. Specialization in secondary xylem of dicotyledons. I. Origin of vessel[J]. Botanical Gazette, 1930, 89(1): 67-94.

[10] BAILEY I W, HOWARD R A. The comparative morphology of the Icacinaceae I. anatomy of the node and internode [J]. Journal of the Arnold Arboretum, 1941, 22(1): 125-132.

[11] 王军锋, 梁晓静, 李开祥, 等. 西江桂和清化桂木材解剖特征的比较分析[J]. 广西林业科学, 2016, 45(1): 75-80.

[12] 梁永信, 马永轩, 王德洪. X 射线衍射法研究木材纤维结晶度[J]. 东北林业大学学报, 1986, 14(Supp. 3): 12-15.

[13] 刘一星, 沈隽, 刘震波, 等. 结晶度对云杉属木材声振动特性参数的影响[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 4-6.

LIU Y X, SHEN J, LIU Z B, *et al.* The effect of crystallinity index on vibration properties of picea wood[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2001, 29(2): 4-6. (in Chinese)

[14] 尹思慈. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.

[15] 孙海燕, 苏明垒, 吕建雄, 等. 细胞壁微纤丝角和结晶区对木材物理力学性能影响研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2019, 47(5): 50-58.

SUN H Y, SU M L, LÜ J X, *et al.* Research progress on the effect of microfibril angle and crystalline area in cell wall on wood physical and mechanical properties [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2019, 47(5): 50-58. (in Chinese)

[16] 洪香香, 杨文忠, 方升佐. 木材微纤丝角研究的现状和发展趋势[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(6): 83-87.

[17] 周贤武, 邓丽萍, 王滋, 等. 沙柳的孔隙结构、微纤丝角和纤维素结晶度研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(1): 46-51.

ZHOU X W, DENG L P, WANG Z, *et al.* Pore structure, microfibril angle and cellulose crystallinity of salix psammophila [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Sciences Edition, 2018, 46(1): 46-51. (in Chinese)

[18] 杨文忠. 杨树无性系微纤丝角的变异及其与材性的关系[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.

[19] 黄勇. 小果油茶与普通油茶居群遗传结构及种间杂交渐渗[J]. 应用生态学报, 2013, 24(8): 2345-2352.