

# 中山杉和落羽杉木材解剖性质研究\*

虞华强, 费本华\*\*, 赵荣军, 刘君良, 张训亚

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 以 12 年生中山杉和落羽杉胸高处木材为研究对象, 利用纤维测定仪测定其管胞长度、宽度, 采用图像分析仪测定其管胞壁厚、壁腔比和各种组织比量, 利用双因素方差分析方法分析树种因素、距髓心生长轮数对管胞形态和组织比量等特征的影响。中山杉木材的管胞长度、宽度、长宽比均值分别为 2 737.84  $\mu\text{m}$ 、44.84  $\mu\text{m}$  和 60.86; 落羽杉木材的管胞长度、宽度、长宽比的均值分别为 2 698.52  $\mu\text{m}$ 、43.44  $\mu\text{m}$  和 61.51; 中山杉木材的早材和晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.91  $\mu\text{m}$  和 7.57  $\mu\text{m}$ , 落羽杉木材的早材和晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.89  $\mu\text{m}$  和 6.54  $\mu\text{m}$ ; 中山杉早材和晚材管胞壁腔比均值分别为 0.15 和 0.35, 落羽杉的早材和晚材壁腔比均值与中山杉的一致。双因素方差分析的结果表明: 除了中山杉晚材的管胞壁厚显著大于落羽杉晚材的管胞壁厚之外, 这两个树种其它管胞形态特征、各种组织比量的差异在 0.05 水平不显著, 该结果表明这两种木材的解剖特征很接近; 中山杉、落羽杉幼龄木材除了管胞早材的壁腔比、薄壁细胞组织比量在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平不显著之外, 测试的其它特征在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平具有显著性。中山杉、落羽杉木材的解剖特征的径向变异具有相同的规律: 管胞长度、管胞宽度、弦向壁厚、管胞组织比量从髓心向树皮都有逐渐增加的趋势, 而射线组织比量从髓心向树皮有逐渐降低的趋势, 薄壁细胞比量较小, 径向变异也较小、没有明显的规律。

关键词: 落羽杉; 中山杉; 管胞; 生长轮宽度

中图分类号: S791.34

文献标识码: A

## Anatomical Characteristics of *Taxodium 'zhongshansa 302'* and *Taxodium distichum* Wood

YU Hua-qiang, FEI Ben-hua, ZHAO Rong-jun, LIU Jun-liang, ZHANG Xun-ya

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091, China)

**Abstract** The tracheid properties and tissue ratio of the juvenile wood of *Taxodium 'zhongshansa 302'* and *T. distichum* at breast height were determined with microscope, and the variance of the properties between the two species and the radial variation pattern were analyzed with GLM procedure of SAS. The results showed that the average of tracheid length, width and length to width ratio of *T. 'zhongshansa 302'* were 2 737.84  $\mu\text{m}$ , 44.84  $\mu\text{m}$  and 60.86 respectively, which of *T. distichum* were 2 698.52  $\mu\text{m}$ , 43.44  $\mu\text{m}$  and 61.51 respectively. The average of tangential tracheid wall thickness of earlywood and latewood of *T. 'zhongshansa 302'* were respectively 5.91  $\mu\text{m}$  and 7.57  $\mu\text{m}$ , for *T. distichum* the average of which were 5.89  $\mu\text{m}$  and 6.54  $\mu\text{m}$  respectively. The average of tracheid wall to lumen ratio of earlywood and latewood of *T. 'zhongshansa 302'* and *T. distichum* were respectively 0.15  $\mu\text{m}$  and 0.35  $\mu\text{m}$ . The variance analysis indicated that tracheid wall thickness of the latewood of *T. 'zhongshansa 302'* was significantly thicker than the latewood of *T. distichum* at 0.05 level and other tracheid properties and all

收稿日期: 2006-04-17

基金项目: 国家林业局中试推广项目 [2002]林科中字 15 号资助

作者简介: 虞华强 (1972—), 男, 安徽岳西人, 博士, 主要从事木材科学技术研究工作。

\* 在试材采集、论文修改中得到姜笑梅研究员、赵有科博士的帮助, 特此致谢。

\*\* 通讯作者。

kinds of tissue ratio of *T. 'zhongshansha 302'* did not significantly differ from those properties of *T. distichum*. The variance analysis also showed that the tracheid length width, length to width ratio tangential wall thickness, tracheid tissue ratio, ray tissue ratio varied significantly among annual rings at 0.05 level. Tracheid wall to lumen ratio of earlywood and parenchyma tissue ratio did not vary significantly among annual rings at 0.05 level. Tracheid length, width, tangential wall thickness, tracheid tissue ratio of wood of the two species increased greatly from the pith outward but ray tissue ratio decreased from pith outward.

**Key words** *Taxodium distichum*; *Taxodium 'zhongshansha 302'*; tracheid growth ring width

落羽杉属 (*Taxodium* Rich.) 共有 3 个树种: 落羽杉 (*Taxodium distichum* (L.) Rich.), 池杉 (*T. ascendens* Brongn.) 和墨西哥落羽杉 (*T. mucronatum* Tenore)。落羽杉属树种都是古老的“子遗植物”, 仅在北美洲和拉丁美洲部分地区保留下来, 目前已经被广泛引种到世界各地, 成为重要的园林及用材树种<sup>[1]</sup>。落羽杉是我国引种最成功的几个外来树种之一, 该树种适应性强, 能耐低温、干旱、涝渍和土壤瘠薄, 抗台风<sup>[2]</sup>。中山杉 (*T. 'zhongshansha 302': T. distichum × T. mucronatum*) 是用落羽杉和墨西哥落羽杉杂交获得的杂种优良无性系, 具有生长迅速、树形美观、耐湿、耐盐碱等优良栽培性状, 是平原绿化、人工用材林和长江中下游地区综合治理的优良树种之一<sup>[3,4]</sup>。

目前, 我国对落羽杉、中山杉的引种育种、栽培措施和生长状况已有大量研究<sup>[5,6]</sup>, 对落羽杉木材的超微构造特征、工艺性质、木材强度和用途也有少量研究<sup>[7]</sup>, 但对落羽杉和中山杉木材的显微构造特征及其变异规律的研究尚未见报道。木材的显微构造特征及其变异规律研究不但有助于人们了解树木生长规律、了解生长与木材特性之间的关系, 而且对品种选育、木材的合理高效利用 (如制浆造纸) 皆具有重要意义。因此, 本实验选择落羽杉、中山杉作为研究对象, 对其重要的显微解剖特征进行测定, 了解其解剖特征差异及其变异规律, 以便为落羽杉、中山杉的品种选育和木材加工利用提供科学的依据。

## 1 材料与方法

中山杉和落羽杉于 1992 年种植于江苏省射阳县射阳林场。于 2004 年 3 月, 各采集 3 株进行研究。中山杉试材的平均胸径为 18.8 cm, 落羽杉试材的平均胸径为 20.2 cm。

在每株树上自 1.3 m 处取 5 cm 厚圆盘一个, 制取通过髓心的厚度为 1 cm 的试条 2 个, 分别用于纤维离析、永久切片制作。将纤维离析后、制成临时切片, 利用纤维测定仪 (OLYMPUS VM-60N) 测定管胞

长度、宽度, 每个年轮随机测定 50 次, 并计算长宽比。将测试样品的木材横切面制作成永久切片, 采用 WQ550 图像分析仪测定木材的管胞壁厚、壁腔比和各种组织比量。

采用 SAS 软件中的 GLM 程序进行双因素方差分析, 分析树种因素、距髓心生长轮数对管胞长度、宽度、长宽比、壁厚、壁腔比和组织比量等特征的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 中山杉、落羽杉木材解剖性质特征值及其比较

分别将 12 年生中山杉、落羽杉 1.3 m 处 2.4、6、8、10 等 5 个年轮木材的解剖特征进行统计, 得到这两个树种的包括管胞长度、管胞宽度、管胞长宽比、早材壁厚、晚材壁厚、早材壁腔比、晚材壁腔比、射线组织比量、薄壁细胞组织比量、管胞组织比量等解剖特征的均值、最大值、最小值和标准差 (见表 1)。从表 1 可见: 中山杉木材的管胞长度均值为 2 737.84  $\mu\text{m}$ , 变幅 2 030.97~3 746.34  $\mu\text{m}$ , 落羽杉木材的管胞长度均值为 2 698.52  $\mu\text{m}$ , 变幅 1 765.09~3 631.84  $\mu\text{m}$ 。根据木材解剖分子分级规定<sup>[8]</sup>, 中山杉、落羽杉木材的管胞长度均值在 2.5~3 mm 之间, 属于“短”管胞。

中山杉木材的管胞宽度均值为 44.84  $\mu\text{m}$ , 变幅 35.53~59.83  $\mu\text{m}$ , 落羽杉木材的管胞宽度均值为 43.44  $\mu\text{m}$ , 变幅 33.81~53.12  $\mu\text{m}$ 。根据木材解剖分子分级规定<sup>[7]</sup>, 中山杉、落羽杉木材的管胞宽度均值在 30~45  $\mu\text{m}$  之间, 属于中等粗细的管胞。

中山杉木材的管胞长宽比均值为 60.86, 变幅在 48.80 至 80.40 之间。落羽杉木材的管胞长宽比均值为 61.51, 变幅在 47.74~74.40 之间。

中山杉木材的早材、晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.91  $\mu\text{m}$ 、7.57  $\mu\text{m}$ , 变幅分别为 4.60~7.59  $\mu\text{m}$ 、4.39~10.73  $\mu\text{m}$ 。落羽杉木材的早材、晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.89  $\mu\text{m}$ 、6.54  $\mu\text{m}$ , 变幅分别为 3.93~7.39  $\mu\text{m}$ 、3.94~10.02  $\mu\text{m}$ 。

表 1 中山杉和落羽杉木材管胞形态及组织比量特征值

特征	平均值		最大值		最小值		标准差	
	中山杉	落羽杉	中山杉	落羽杉	中山杉	落羽杉	中山杉	落羽杉
管胞长度 / $\mu\text{m}$	2 737.84	2 698.52	3 746.34	3 631.84	2 030.97	1 765.09	582.08	641.05
管胞宽度 / $\mu\text{m}$	44.84	43.44	59.83	53.12	35.53	33.81	6.10	6.34
管胞长宽比	60.86	61.51	80.40	74.40	48.80	47.74	9.46	8.18
早材管胞弦向壁厚 / $\mu\text{m}$	5.91	5.89	7.59	7.39	4.60	3.93	1.03	0.83
早材管胞壁腔比	0.15	0.15	0.18	0.20	0.11	0.12	0.02	0.02
晚材管胞弦向壁厚 / $\mu\text{m}$	7.57	6.54	10.73	10.02	4.39	3.94	1.84	1.72
晚材管胞壁腔比	0.35	0.35	0.53	0.50	0.21	0.21	0.08	0.08
射线组织比量 /%	12.12	11.92	13.30	13.84	10.98	10.26	0.70	1.13
薄壁细胞组织比量 /%	0.69	0.55	1.06	1.25	0.34	0.30	0.22	0.24
管胞组织比量 /%	87.04	87.53	88.68	89.34	85.14	85.86	0.99	1.06

中山杉木材的早材、晚材管胞壁腔比均值分别为 0.15、0.35, 变幅分别为 0.11~0.18、0.21~0.53。落羽杉木材的早材、晚材管胞弦向壁腔比均值与中山杉的相等, 而变幅略有差别, 分别为 0.12~0.20、0.21~0.50。根据木材解剖分子分级规定<sup>[7]</sup>, 中山杉、落羽杉木材的管胞壁腔比较小, 为薄壁管胞。

中山杉木材的射线组织比量、薄壁细胞组织比量、管胞组织比量的均值分别为: 12.12%、0.69%、87.04%, 变幅分别为 10.98%~13.30%、0.34%~1.06%、85.14%~88.68%。落羽杉木材的射线组织比量、薄壁细胞组织比量、管胞组织比量的均值分别

为: 11.92%、0.55%、87.53%, 变幅分别为 10.26%~13.84%、0.30%~1.25%、85.86%~89.34%。

为了比较这两个树种之间解剖特征的差异是否具有统计意义, 考虑生长轮、树种两个因素, 对各种解剖特征进行双因素方差分析, 结果(见表 2)表明: 生长轮、树种两个因素的交互作用除了对薄壁细胞组织比量的影响在 0.05 水平显著之外, 对所研究的其它解剖特征的影响皆不显著; 中山杉与落羽杉晚材的管胞壁厚在 0.01 水平具显著性差异, 中山杉晚材的管胞壁厚均值比落羽杉的大 1.03  $\mu\text{m}$ 。这两个树种的其它解剖特征的差异皆不显著。

表 2 中山杉、落羽杉木材管胞形态、组织比量的方差分析统计显著性

项目	管胞长度	管胞宽度	管胞长宽比	早材壁厚	晚材壁厚	早材壁腔比	晚材壁腔比	射线组织比量	薄壁细胞组织比量	管胞组织比量
种间	0.898	0.127	0.449	0.863	0.003*	0.699	0.895	0.399	0.155	0.220
年轮间	0.000*	0.000*	0.015	0.000*	0.000*	0.072	0.049	0.000*	0.113	0.000*
交互	0.379	0.828	0.564	0.387	0.826	0.332	0.513	0.074	0.047*	0.555

注: 表中的数值为  $p$  值, 即  $F$  值大于  $F$  临界值的概率。\* 表示在 0.01 水平显著。\* 表示在 0.05 水平显著。

## 2.2 中山杉、落羽杉木材解剖性质的径向变异

从表 2 可以看出: 中山杉、落羽杉木材的管胞长度、管胞宽度、早材弦向壁厚、晚材弦向壁厚、管胞组织比量、射线组织比量在不同生长轮之间的差异在 0.01 水平具有显著性; 这两种木材的管胞长宽比、晚材壁腔比在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平显著; 管胞早材的壁腔比、薄壁细胞组织比量在不同生长轮之间的差异不显著。

2.2.1 管胞长度、宽度、长宽比的径向变异 从表 3 可以看出: 中山杉、落羽杉木材管胞长度、宽度从髓心向树皮皆呈逐渐增大的变异趋势; 这两个树种的管胞长宽比从第 2 至第 8 年均逐渐增大, 到第 10 年略有降低。对不同年轮木材解剖性质进行方差分析, 结果(见表 2)表明: 中山杉、落羽杉木材的管胞长度、管胞宽度、长宽比在不同生长轮之间皆具有显著性差异。

表 3 中山杉、落羽杉不同年轮木材管胞长度、宽度、长宽比

特征	树种	距髓心生长轮数				
		2	4	6	8	10
管胞长度 / $\mu\text{m}$	中山杉	2 132.14	2 408.18	2 580.90	3 087.71	3 347.26
	落羽杉	1 789.66	2 262.53	2 799.19	3 244.03	3 397.19
管胞宽度 / $\mu\text{m}$	中山杉	37.93	41.20	46.13	47.32	54.52
	落羽杉	35.22	38.98	45.64	47.14	50.23
管胞长宽比	中山杉	56.30	58.21	55.94	65.97	61.59
	落羽杉	50.89	58.11	61.79	69.02	67.72

中山杉、落羽杉木材管胞长度的径向变异规律,符合树木生长的一般规律。Panshi<sup>[9]</sup>将木材的径向变异归为 3 类: I 型, 成熟细胞长度以水平方式保持不变; II 型, 自髓心向外以曲线方式不断增加; III 型, 细胞长度以抛物线状增加到最大值后再减。由于样木年龄较小, 本试验所取试材皆为幼龄材, 从第 2 年至第 10 年纤维长度一直处于上升阶段, 因此只能初步确定该两种木材管胞长度径向变异应属 Panshi II 型或 III 型<sup>[9]</sup>, 此变异规律与辐射松 (*Pinus radiata* D. Don)<sup>[10]</sup>、红皮云杉 (*Picea koraiensis* Nakai)<sup>[11]</sup>、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)<sup>[12]</sup>、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)<sup>[13]</sup>、铜钱树 (*Palurus hemsleyanus* Rehd.)<sup>[14]</sup>、刺楸 (*Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koilz.)<sup>[15]</sup>、核桃 (*Juglans regia* L.)<sup>[16]</sup> 等多种木材的纤维长度变异规律一致。

对纤维宽度的径向变异, 许多学者进行了深入广

泛的研究。一般认为, 管胞宽度与长度之间存在相关性<sup>[8]</sup>, 针叶材管胞直径从髓心向树皮呈有规律的变化, 其增长率比管胞长度的增长率要小得多<sup>[9]</sup>。本研究的结果与上述观点具有一致性。

2.2.2 管胞壁厚、壁腔比的径向变异 由髓心至树皮针叶材细胞壁厚度呈逐渐增加的趋势, 如辐射松、南欧海岸松 (*Pinus pinaster* Ait.)<sup>[10]</sup>。从表 4 可以看出, 由髓心向树皮中山杉和落羽杉木材的早材和晚材的管胞壁厚均值皆呈逐渐增大的趋势, 与前人对针叶材管胞壁厚的研究结论一致。方差分析结果 (见表 2) 表明: 这两种木材的早材弦向壁厚、晚材弦向壁厚在不同生长轮之间的差异在 0.01 水平具有显著性, 晚材壁腔比在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平显著, 管胞早材的壁腔比在不同生长轮之间的差异不显著。

表 4 中山杉、落羽杉不同年轮早材晚材管胞壁厚、壁腔比均值

树种及部位	壁厚 / $\mu\text{m}$					壁腔比				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
中山杉早材	4.727	5.234	5.897	6.386	7.378	0.158	0.167	0.13	0.133	0.159
中山杉晚材	5.269	6.640	7.590	10.674	8.563	0.302	0.333	0.415	0.338	0.331
落羽杉早材	4.784	5.666	6.255	5.994	6.752	0.157	0.173	0.158	0.139	0.135
落羽杉晚材	4.215	5.669	6.938	8.735	7.151	0.246	0.307	0.394	0.385	0.403

从髓心向树皮, 中山杉和落羽杉木材的早材和晚材的管胞壁腔比的径向变异较小, 且均无一定的规律。这主要是因为壁腔比是纤维壁厚度与纤维直径相互影响的结果, 在树木生长的幼年期管胞的壁厚和腔径均逐年增加, 因此壁腔比的变异不明显。

2.2.3 组织比量的径向变异 针叶材的组织比量包括管胞、木射线和薄壁细胞组织比量。从表 5 可以看出: 中山杉和落羽杉的薄壁细胞比量较小, 径向变异也较小, 没有明显的规律。方差分析结果 (见表 2) 表明: 这两种木材的薄壁细胞组织比量在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平不显著。

针叶材杉木的组织比量的径向变异规律已有研究<sup>[13]</sup>, 木射线比量从髓心向树皮均逐渐降低, 而管胞比量从髓心向树皮均逐渐增加。从表 5 可以看出, 中山杉、落羽杉木材的木射线比量、管胞比量的径向变异规律与杉木的一致。方差分析结果 (见表 2) 表明: 这两种木材的管胞组织比量、射线组织比量在不同生长轮之间的差异在 0.05 水平具有显著性。

在树木中射线是横向输导组织, 管胞是纵向输导组织和支持组织, 在木材形成过程中射线比量逐渐减少, 管胞比量逐渐增加, 反映树木水分与无机盐的纵向输导能力、树木的支持能力有增大的趋势。

表 5 中山杉、落羽杉不同年轮木材的组织比量均值

树种	射线					薄壁细胞					管胞				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
中山杉	12.83	12.47	12.12	12.28	11.05	0.66	0.80	0.67	0.65	0.47	86.17	86.73	87.21	86.65	88.46
落羽杉	13.55	12.32	11.93	11.18	10.61	0.38	0.37	0.62	0.91	0.50	86.08	87.31	87.45	87.92	88.89

### 3 小结与讨论

通过对 12 年生中山杉、落羽杉幼龄材的解剖性

质比较研究, 得出主要结论如下:

(1) 中山杉木材的管胞长度、宽度、长宽比均值分别为 2.737.84  $\mu\text{m}$ 、44.84  $\mu\text{m}$  和 60.86 落羽杉木材的

管胞长度、宽度、长宽比的均值分别为 2 698.52  $\mu\text{m}$ 、43.44  $\mu\text{m}$  和 61.51。中山杉木材的早材和晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.91  $\mu\text{m}$  和 7.57  $\mu\text{m}$ ，落羽杉木材的早材和晚材管胞弦向壁厚均值分别为 5.89  $\mu\text{m}$  和 6.54  $\mu\text{m}$ ；中山杉早材和晚材壁腔比均值分别为 0.15 和 0.35，落羽杉的早材和晚材壁腔比均值与中山杉的一致。

(2)除了中山杉晚材的管胞壁厚显著大于落羽杉晚材的管胞壁厚之外，这两个树种其它管胞形态特征、各种组织比量的差异在 0.05 水平都不显著。

(3)中山杉、落羽杉木材的解剖特征的径向变异具有相同的规律：管胞长度、管胞宽度、弦向壁厚、管胞组织比量从髓心向树皮都有逐渐增加的趋势，而射线组织比量从髓心向树皮有逐渐降低的趋势。薄壁细胞比量较小，径向变异也较小，没有明显的规律。

本研究选择的试材为 12 年生，木材尚处于幼年时期。由于幼年材和成熟材的性质差异大，因此，本文所得的结果仅适用于幼年材。将来，有必要对成熟材的性质做进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 叶信华, 汪企明. 五杉各优 苏杉尤寄——苏杉一号、中山杉、落羽杉、池杉、墨西哥落羽杉的比较与适生应用 [J]. 园林, 2003(4): 58~60
- [2] 孙永召. 浅谈落羽杉 [J]. 中国林业, 2004(4): 42
- [3] 陈永辉, 王名金, 伍寿彭, 等. 落羽杉属树木速生耐碱类型的杂交

- 选育 [A]. 见: 南京中山植物园研究论文集编辑组. 南京中山植物园研究论文集 (1986) [C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1987: 92~97
- [4] 高乐, 叶信华, 朱晓晨, 等. 落羽杉优良种源——苏杉一号 [J]. 林业实用技术, 2004(6): 40~40
- [5] 周康, 贾春, 陈永辉. 在碱性地上栽植的中山杉与落羽杉生长分析 [J]. 江苏林业科技, 2000, 27(5): 16~18
- [6] 殷云龙, 尹晓明, 於朝广, 等. 中山杉回交一代的早期选育 [J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(2): 22~27
- [7] 周崑, 姜笑梅. 中国裸子植物材的木材解剖学及超微构造 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 428~760
- [8] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 758~760
- [9] Panshin A. J. Carl de Zeeuw. Textbook of Wood Technology [M]. McGraw-Hill Book Company, 1980
- [10] 吴义强, 罗建举. 巨桉无性系株内、株间解剖性质变异的研究 [J]. 中南林学院学报, 2000, 20(3): 34~41
- [11] 徐魁梧, 潘彪, 张耀丽, 等. 人工林红皮云杉木材管胞形态及其径向变异的研究 [J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(3): 39~42
- [12] 夏玉芳, 谯红辉. 造林密度对马尾松木材主要性质影响的研究 [J]. 林业科学, 2002, 38(2): 113~118
- [13] 符韵林, 徐峰, 唐黎明, 等. 南带产区不同立地类型间的杉木木材解剖 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 11~14
- [14] 费本华. 桐钱树木材解剖特性、物理力学性质的变异及其相互关系的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 1992
- [15] 刘盛全. 刺楸木材解剖特性、物理力学性质的变异及其相互关系的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 1992
- [16] 虞华强, 柯曙华, 刘盛全. 两种栽培措施下人工经济林核桃木材纤维形态特征的比较研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 395~400