

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.01.006

齐锦秋,郝建锋,谢九龙,等.水杉年轮宽度和管胞形态径向变异研究[J].广西植物,2014,34(1):27-33

Qi JQ,Hao JF,Xie JL,*et al.* Radical variation in growth ring width and tracheid dimensions of *Metasequoia glyptostroboides*[J]. *Guihaia*,2014,34(1):27-33

水杉年轮宽度和管胞形态径向变异研究

齐锦秋,郝建锋,谢九龙,吴秉岭,罗浩

(四川农业大学,四川雅安625014)

摘要:采用木材切片法和光学显微技术,研究了四川省雅安市中里地区水杉木材年轮宽度和管胞的长度、壁厚、腔径等指标的径向变异。结果表明:(1)年轮宽度在髓心至第10年先迅速增加,然后呈下降趋势,速生期约15 a,晚材率低;(2)管胞长度随轮龄的增加而增大,13 a后增幅变缓,早材管胞长度小于晚材管胞,根据管胞长度判断实验水杉木材即将进入成熟期;(3)管胞宽度在轮龄10 a前增长迅速,幅度明显减慢,管胞宽度44.6 μm ,壁厚7.23 μm ,腔径37.48 μm ,早、晚材间管胞宽度、壁厚、腔径差异显著;(4)管胞长宽比95.4、壁厚比0.27、腔径比0.82,水杉木材是优良的造纸原料。

关键词:水杉;年轮宽度;晚材率;管胞长度;管胞壁厚

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)01-0027-07

Radical variation in growth ring width and tracheid dimensions of *Metasequoia glyptostroboides*

QI Jin-Qiu, HAO Jian-Feng, XIE Jiu-Long, WU Bing-Ling, LUO Hao

(Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: Radical variation in growth ring width and tracheid dimensions of *Metasequoia glyptostroboides* planted in Yaan, Sichuan were evaluated. The results were as follows: the growth ring width first increased from pith to 10-year old, then decreased, and the main wood formation period was 15 a. The tracheid length of late wood was longer than that of early wood, and the tracheid length increased with the growth age, then decreased after 13-year old. The determined values for tracheid width, cell wall thickness, and lumen diameter were 44.6, 7.23, 37.48 μm , respectively, and significant difference in these index were found between early and late wood. Length to width ration (L/W), cell wall thickness to lumen diameter (2T/D), and lumen diameter to width (L/W) was 95.40, 0.27 and 0.82, respectively. The results obtained in this study indicated that *M. glyptostroboides* wood was available for pulping.

Key words: *Metasequoia glyptostroboides*; growth ring width; latewood ratio; tracheid length; tracheid cell wall thickness

木材性质是由构成木质部的细胞类型、形态、数量以及细胞排列方式所决定。管胞占针叶材木质部细胞的90%,因此管胞的形态是影响针叶材性质的重要指标。管胞是由形成层原始细胞分裂分生而来,形成层原始细胞长度随着形成层年龄的增加而

增长,当达到一定年龄后,其细胞尺寸基本达到稳定,树木达到成熟年龄。此时木材细胞尺寸均一、材质特性优良(李坚,2002;刘一星等,2004)。因此,研究针叶材的管胞形态特征及其变异规律对了解树木生长与木材性质之间的关系,进行木材材性早期预

收稿日期:2013-06-13 修回日期:2013-09-09

基金项目:四川省“十二五”育种攻关项目(2011YZGG-10)

作者简介:齐锦秋(1972-),女,博士,副教授,主要研究方向为木/竹材解剖性质研究,(E-mail)qijinqiu2005@aliyun.com。

测,木材的合理高效利用具有重要意义。20世纪60年代开始,国外学者在木材解剖性质方面做了大量研究工作,并将细胞形态研究与林木良种选育和林木定向培育紧密结合起来(Bannan,1967;Shiokura,1982;Fujiwara,1984;Wang *et al.*,1992)。我国在木材解剖性质方面的研究起步较晚,20世纪90年代开始,相继开展了马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、杨树(*Populus spp.*)、柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*) (鲍甫成等,1998),落叶松(*Larix spp.*) (周崑,2001),火炬松(*Pinus taeda*)、湿地松(*Pinus elliottii*) (徐有明等,1999,2002)等速生树种的纤维形态、管胞形态的径向变异和轴向变异规律研究,为我国林木培育及科学利用提供了重要依据。

水杉(*Metasequoia glyptostrobides*)属杉科水杉属落叶乔木,在我国长江流域以及南方地区广泛栽培。水杉生长迅速、冠形优美、树干通直、出材率高,是我国南方地区重要的纸浆材、板材以及园林绿化树种(王希群等,2005;王朝辉等,1998;马履一等,2006)。与我国南方大面积栽培的杉木、马尾松等树种相比,关于水杉年轮宽度和管胞形态特征的变异规律研究还较少,本研究通过测定分析年轮宽度、管胞长度、管胞壁厚、管胞腔径等指标,探讨水杉年轮宽度及管胞形态指标沿树木直径方向的变异规律,为水杉木材解剖学的研究以及水杉木材应用于纸浆材、板材等方面的合理利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

试验材料采自四川省雅安市中里镇(30°06'16"~30°06'29" N,103°00'59"~103°00'92" E)。该地区位于四川盆地西部,气候类型为亚热带季风性湿润气候,年均气温 15.4~16.9 °C,年降雨量 1 200~2 300 mm,全年日照达 1 000 h。试验地海拔高度 1 050 m,水杉林造林密度 3 m×2.5 m。按照国家标准(GB1927-91)《木材物理力学试材采集方法》进行试样采集。在同一水杉林分中选取 8 株具有代表性的试材,标记树干北侧方向。样木伐倒后,从树干胸高部位截取 10 cm 厚圆盘。样木基本情况见表 1。

1.2 试验方法

(1)永久切片的制作:按照木材圆盘北侧方向标记,截取通过髓心的木条,水煮软化处理后,按年轮

表 1 试验材料概况

Table 1 Basic characteristics of the materials

样本号 Sample ID	胸径 (cm) DBH	树高 (m) Tree height	年轮数 No. of growth ring
A.1	23.0	18.7	18
A.2	22.2	18.5	20
A.3	21.2	21.0	21
A.4	26.5	21.5	21
A.5	22.6	18.2	17
A.6	22.8	18.6	20
A.7	21.6	19.4	20
A.8	21.4	21.1	21

分成若干个连续木块。用木材切片机(型号 TU-250)将软化好的试材切成厚度 30 μm 的切片,经过番红染色、系列酒精脱水、中性树脂胶封固,制成连续永久切片。将切片放在奥林巴斯显微镜(型号:BX51)下,进行显微摄影。

(2)年轮宽度的测量:将连续永久切片置于精密显微投影仪(型号 TYH-150)下,测量从髓心到树皮的每一年的年轮宽度。放大倍数为 20 倍,测量精度为 0.01 mm。

(3)晚材率的测量:用木材显微图像分析软件(TDY-5.2I,北京天地宇公司),在 100 倍的光学显微图片上量取晚材部分的宽度,求出每一年轮的晚材率。计算公式:晚材率=晚材宽度/年轮宽度。由于水杉木材为早晚材渐变,在生长轮中存在早晚材过渡带。早、晚材界定方法采用 Mork(1928)的方法。 $L/M=2(L:管胞腔径;M:两个相邻细胞壁厚)$ 。

(4)管胞长度的测量:将通过髓心的木条在水中煮沸软化之后,切取各年轮早材和晚材处小试片,放入试管中,倒入等量 10% 铬酸和 10% 硝酸混合液,在室温下离析 10~15 h,制备临时切片。在显微投影仪下测量管胞长度,放大倍数为 20 倍,每一年轮早、晚材部位分别测量 60 个。因为水杉木材晚材率低,因此不能简单采用早晚材算术平均值方法计算。在本研究中每一年轮中管胞长度平均值计算方法为管胞长度平均值=早材平均管胞长度×(1-晚材率)+晚材平均管胞长度×晚材率。

(5)管胞壁厚度、管胞腔径的测量:用木材显微图像分析软件,在 200 倍的光学显微图片上,沿着木射线方向,在每一年轮早材到晚材部位选取 10 列细胞,沿径向逐一测定早晚材管胞壁厚、管胞腔径。每一年轮管胞平均壁厚、腔径计算方法同管胞长度平均值计算方法。管胞宽度由管胞壁厚度和管胞腔径计算得到。

(6)成熟龄的判定:因水杉管胞长度与距离髓心的年轮数之间存在函数 $Y=a\ln X+b$ (Y :管胞长度, X :距离髓心的年轮数, b :第1年轮的管胞长度)关系,各样本决定系数 (R^2) 均大于 90%, 本文采用 shiokura(1982)的方法确定水杉木材成熟龄。即通过函数关系式,算出每一年轮管胞长度相对于其前一年管胞长度的伸长比率,将比率值达到 1% 时的部位判定为树木的成熟龄。

(7)数据分析:采用 SPSS 软件进行数据统计与分析。不同轮龄间管胞形态的差异采用单因素方差分析法,早材与晚材间管胞形态的差异采用双因素方差分析法。

2 结果与分析

2.1 年轮宽度与晚材率的径向变异

年轮的宽窄是树木径向生长速度的标志,年轮中的晚材率与木材密度关系密切。水杉年轮宽度和晚材率的径向变异如图 1 所示。髓心至第 10 年年轮宽度迅速增加,第 10 年年轮宽度达最大值 (9.3 mm),第 10~15 年年轮宽度呈下降趋势,第 15 年后趋于平稳。髓心至第 15 年的年轮宽度平均值 6.0 mm,第 16~21 年年轮宽度平均值 2.25 mm。水杉平均年轮宽度 4.93 mm。

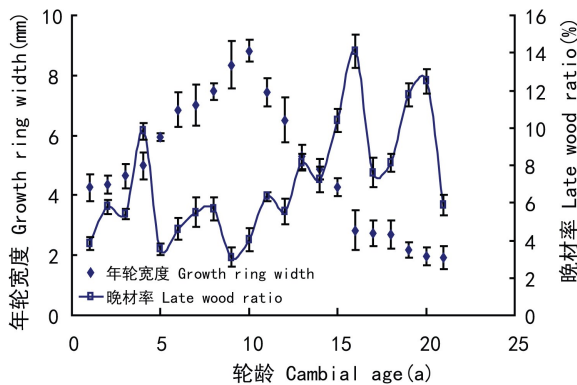


图 1 水杉年轮宽度和晚材率的径向变异

Fig. 1 Variation of growth ring width and latewood percentage in the radial direction of *M. glyptostrobides*

水杉晚材率从髓心向外呈缓慢增大趋势,变幅较大。从髓心至第 15 年晚材率变化范围为 3.82%~10.39%,第 16 年后晚材变化范围 5.89%~14.07%。晚材率最大值出现在第 16 年。晚材率的大小取决于晚材细胞的个数和晚材管胞的宽度。晚

材率在年轮间波动较大,其原因可能为管胞宽度和管胞数量受到降雨、温度等气候条件影响所致(尹训钢,1995;wang,1992;Wimmer,1999)。

从图 1 可以看出,水杉年轮宽度在 15 a 后处于相对稳定状态,表明水杉直径生长的速生期约 15 a。水杉年轮内早材向晚材过渡形式为渐变,水杉晚材率较低,平均值 7.09%。晚材率的大小可以作为衡量针叶树材强度大小的指标,水杉晚材率低、木材材质软脆,抗弯强度等力学性能较差,不宜作结构用材(刘一星等,2004)。

2.2 管胞长度的径向变异

水杉管胞长度的径向变异见图 2 和表 2。早、晚材管胞长度的变异曲线相近,从髓心向外,管胞长度随年轮数的增加而增大,13 a 后管胞长度增幅变缓。早材管胞长度小于晚材管胞,双因素方差分析表明,早、晚材管胞长度差异极显著 ($P < 0.01$)。

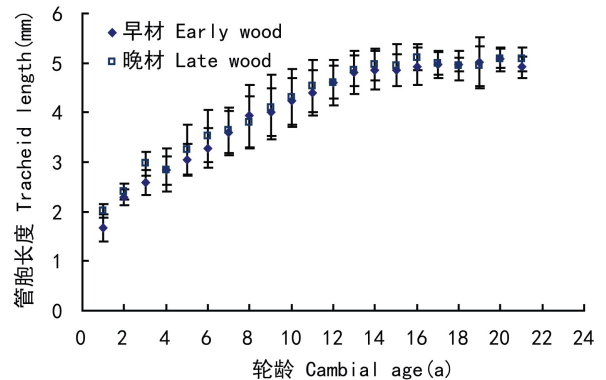


图 2 水杉管胞长度的径向变异

Fig. 2 Variation of tracheid length in the radial direction of *M. glyptostrobides*

从髓心至第 13 年,早材管胞长度由 1.67 mm 增至 4.81 mm,14~21 a 早材管胞长度范围 4.84~5.08 mm。晚材管胞长度从髓心至第 13 年,由 1.99 mm 增至 4.91 mm,13~21 a 长度范围为 4.85~5.11 mm。水杉平均管胞长度 4.05 mm。不同年轮的晚材管胞长度、早材管胞长度、管胞平均长度差异性极显著(表 3)。以管胞长度为指标,根据 shiokura(1982)方法判定水杉成熟龄为 22 a。说明实验地水杉木材为幼龄材,将进入成熟期阶段。

2.3 管胞宽度、管胞壁厚、管胞腔径的径向变异

2.3.1 管胞宽度的径向变异 水杉平均管胞宽度为 44.6 μm 。早材管胞平均宽度 46.82 μm ,晚材管胞平均宽度 18.62 μm ,早材的管胞宽度显著大于晚

表 2 水杉不同轮龄木材中管胞的形态特征

Table 2 Morphological properties of tracheid for different growth rings of *Metasequoia glyptostrobides*

轮龄 Cambial age (a)	管胞长度 Tracheid length (mm)	管胞宽度 Tracheid width (μm)	管胞长宽比 L/W	管胞壁厚 Wall thickness (μm)	管胞腔径 Lumen diameter (μm)	管胞壁腔比 2T/D	管胞腔径比 D/W
1	1.68±0.27	27.90±0.64	61.46±8.91	5.60±0.28	22.30±1.11	0.27±0.03	0.79±0.01
2	2.30±0.157	31.89±1.59	74.32±6.42	6.08±0.40	25.58±1.77	0.28±0.02	0.80±0.01
3	2.61±0.257	32.14±2.77	79.38±5.87	6.87±0.30	25.59±2.82	0.28±0.00	0.80±0.02
4	2.84±0.30	35.27±3.01	80.56±2.35	6.90±0.39	28.45±3.41	0.30±0.01	0.79±0.02
5	3.05±0.33	39.23±3.61	78.95±6.09	6.82±0.48	32.59±4.32	0.23±0.02	0.82±0.03
6	3.30±0.41	42.07±3.72	80.92±3.83	7.05±0.71	35.03±3.75	0.24±0.02	0.82±0.02
7	3.59±0.44	42.64±5.42	86.60±5.77	7.07±0.51	35.84±5.67	0.24±0.02	0.83±0.02
8	3.93±0.62	43.79±4.10	91.40±7.90	7.28±0.66	36.51±4.38	0.23±0.01	0.83±0.01
9	4.01±0.50	46.29±3.29	88.09±9.65	7.15±0.47	38.18±4.05	0.21±0.03	0.84±0.02
10	4.23±0.48	48.61±4.70	91.06±7.10	7.08±0.67	41.49±5.43	0.21±0.02	0.84±0.02
11	4.41±0.46	48.21±4.90	95.96±8.75	7.13±0.64	40.43±6.02	0.23±0.01	0.84±0.02
12	4.60±0.45	49.78±4.76	97.02±7.03	7.24±0.51	42.64±5.29	0.23±0.02	0.84±0.02
13	4.82±0.43	49.61±3.03	105.67±10.00	7.18±0.74	42.47±3.60	0.26±0.01	0.83±0.02
14	4.85±0.38	49.53±2.95	110.10±10.71	7.41±0.70	42.01±3.86	0.26±0.02	0.83±0.02
15	4.87±0.34	48.47±4.08	110.23±7.27	7.74±0.54	40.57±4.59	0.29±0.02	0.82±0.02
16	4.95±0.36	48.69±3.19	116.37±10.13	7.46±0.62	40.93±3.63	0.35±0.02	0.80±0.02
17	4.97±0.27	53.34±3.19	103.64±9.12	7.70±0.79	45.66±3.68	0.28±0.02	0.83±0.02
18	4.96±0.16	52.38±5.19	104.44±8.32	7.79±0.39	44.90±6.02	0.34±0.03	0.83±0.03
19	5.00±0.50	49.81±1.28	113.42±1.93	7.89±0.46	42.02±1.51	0.34±0.01	0.80±0.01
20	5.08±0.23	48.89±2.25	117.59±2.86	8.22±0.45	40.48±3.52	0.36±0.02	0.80±0.02
21	4.92±0.22	50.39±3.03	107.51±9.08	7.85±0.37	43.49±3.52	0.25±0.02	0.83±0.00

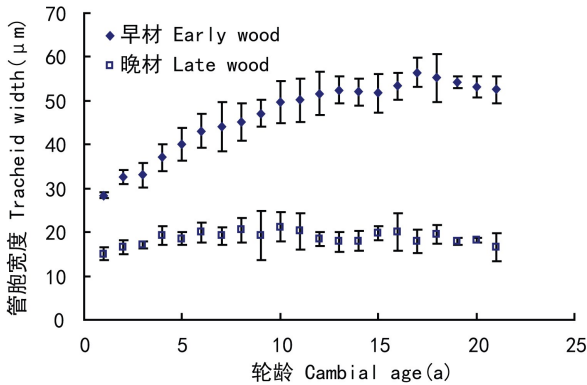


图 3 水杉管胞宽度的径向变异

Fig. 3 Variation of tracheid width in the radial direction of *M. glyptostrobides*

材。由图 3 可见,在髓心附近管胞直径较小,在前 10 a,早、晚材管胞宽度快速增长,10 a 后增长幅度明显减慢。早材管胞宽度随轮龄的变化幅度较大,从髓心至第 10 年,早材管胞宽度由 28.42 μm 增至 49.77 μm ,11~21 a 早材管胞宽度范围 50.1~56.4 μm 。相比之下,晚材管胞宽度随轮龄的变化幅度则很小。从髓心至第 10 年,晚材管胞宽度由 15.0 μm 增至 21.2 μm ,11~21 a 晚材管胞宽度范围 17.8~

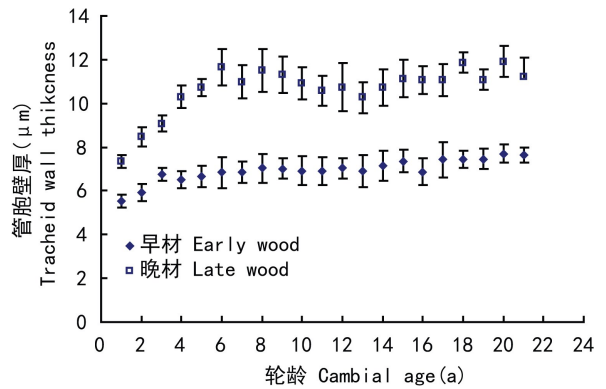


图 4 水杉管胞双壁厚的径向变异

Fig. 4 Variation of tracheid double wall thickness in the radial direction of *M. glyptostrobides*

20.1 μm 。单因素方差分析表明,不同年轮的早材管胞宽度、管胞平均宽度差异极显著($P < 0.01$),晚材管胞宽度差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 管胞壁厚的径向变异 水杉管胞壁厚(双壁厚)的径向变异如图 4 所示。从髓心到第 3 年,早材管胞壁厚由 5.52 μm 增至 6.74 μm ,其后早材管胞壁厚呈缓慢增加趋势。从髓心到第 6 年,晚材管胞壁厚随年轮数的增加而迅速增加,由 7.32 μm 增至 11.63 μm ,其后管胞壁厚变化平缓。晚材管胞壁厚

大于早材管胞壁厚。水杉早材管胞壁厚平均值为 $6.95 \mu\text{m}$ ，晚材管胞壁厚平均值 $10.66 \mu\text{m}$ ，水杉管胞壁厚的平均值为 $7.23 \mu\text{m}$ 。单因素方差分析可知，早材管胞壁厚、晚材管胞壁厚、管胞壁厚的平均值在不同年轮之间差异性极显著。

2.3.3 管胞腔径的径向变异 水杉管胞腔径的径向变异如图 5 所示。从髓心向外，早材管胞腔径呈增加趋势，从髓心至第 10 年，管胞腔径由 $22.89 \mu\text{m}$ 增至 $42.85 \mu\text{m}$ ，11~21 a 管胞腔径增幅减少，范围为 $42.51 \sim 48.86 \mu\text{m}$ ；与早材管胞腔径相比，晚材管胞腔径变化比较平缓，从髓心到第 10 年，晚材管胞腔径略有增加，范围为 $7.69 \sim 9.30 \mu\text{m}$ ，第 10 年后晚材管胞腔径呈缓慢下降趋势，范围为 $5.97 \sim 9.38 \mu\text{m}$ ，16 a 以后，晚材管胞腔径小于 $7 \mu\text{m}$ 。早材管胞腔径平均值 $39.92 \mu\text{m}$ ，晚材管胞腔径平均值 $7.94 \mu\text{m}$ ，早材管胞腔径大于晚材管胞腔径。水杉管胞腔径的平均值为 $37.48 \mu\text{m}$ 。

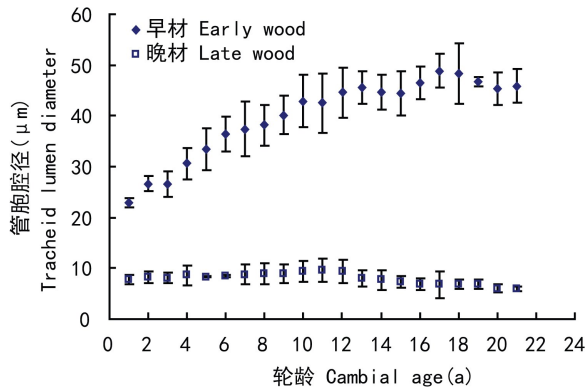


图 5 水杉管胞腔径的径向变异

Fig. 5 Variation of tracheid lumen diameter in the radial direction of *M. glyptostrobides*

2.4 管胞长宽比、壁腔比和腔径比的径向变异

水杉管胞长宽比的径向变异如图 6 所示。从髓心至第 3 年，早材管胞长宽比增幅较快，由 58.54 增至 74.43 ，4~21 a 早材管胞长宽比呈缓慢增加趋势，范围 $75.11 \sim 96.53$ 。从髓心至第 14 年，晚材管胞长宽比迅速增加，由 134.8 增至 280.0 ，15~21 a 管胞长宽增幅变缓，范围 $264.91 \sim 282.93$ 。早材管胞长宽比平均值为 84.18 ，晚材管胞长宽比均值为 224.89 。管胞长宽比的平均值为 95.40 。

水杉管胞壁腔比径向变异如图 7 所示。早材管胞壁腔比变化较小，髓心到 8 a，壁腔比呈现缓慢下降趋势，范围 $0.18 \sim 0.24$ ，8~21 a 早材管胞壁腔比

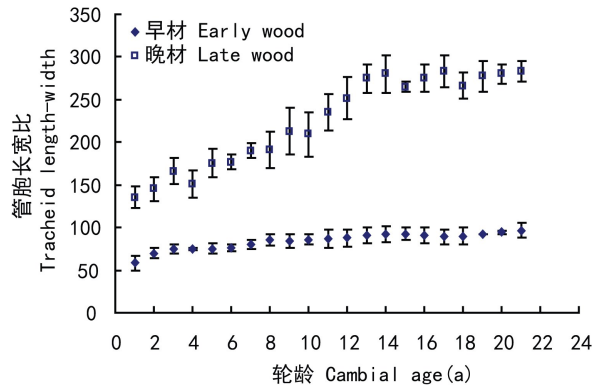


图 6 水杉管胞长宽比的径向变异

Fig. 6 Variation of tracheid length-width ratio in the radial direction of *M. glyptostrobides*

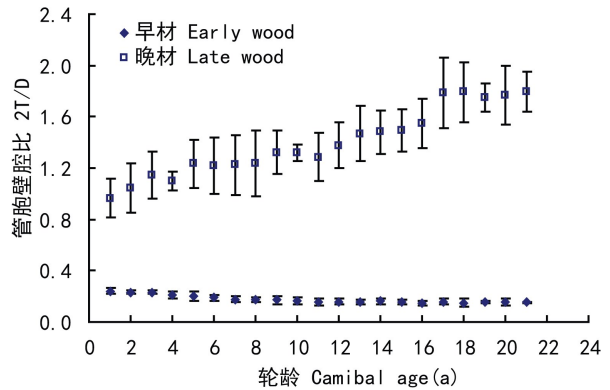


图 7 水杉管胞壁腔比径向变异

Fig. 7 Variation of tracheid double wall thickness-diameter ratio of *M. glyptostrobides*

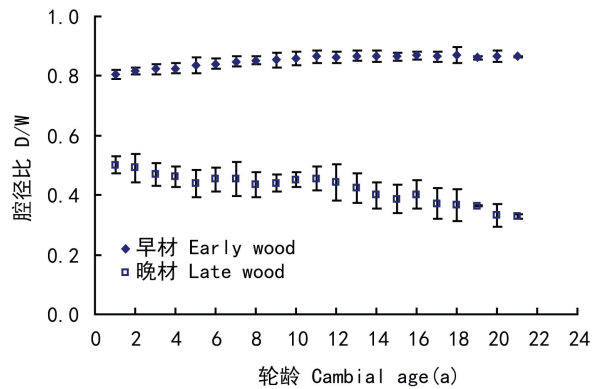


图 8 水杉管胞腔径比的径向变异

Fig. 8 Variation of tracheid diameter-width ratio in the radial direction of *M. glyptostrobides*

基本处于稳定，范围 $0.15 \sim 0.17$ ；晚材管胞壁腔比从髓心到 21 a 基本呈现增加趋势，范围 $0.96 \sim 1.79$ 。从髓心到 21 a，早材管胞壁腔比平均值 0.18 ，晚材管

胞壁腔比平均值 1.40,管胞壁腔比平均值 0.27。

水杉管胞腔径比的径向变异如图 8 所示。早材管胞腔径比变化较小,髓心到 21 a 的管胞腔径比范围 0.81~0.87。随着轮龄的增加,晚材管胞腔径比呈现缓慢下降趋势,由 0.5 降低到 0.33。早材管胞腔径比 0.85,晚材管胞腔径 0.42,管胞腔径比平均值 0.82。双因素方差分析可知,早、晚材间的管胞长宽比、壁腔比、腔径比差异极显著。

3 结论与讨论

树木的生长包括高生长和直径生长,树木中木质部的绝大部分是由直径生长形成。水杉是速生材,是我国南方地区重要的短周期工业用材树种。依据水杉胸高部位处年轮宽度及晚材率分析可知,在距离髓心的 15 a 前,水杉直径生长迅速,直径年生长量可达 12 mm。水杉早材管胞腔大壁薄,晚材管胞腔小壁厚,晚材率平均值仅为 7%,早材管胞占木材管胞体积的 90% 以上,水杉为材质轻软木材(成俊卿,1992)。在水杉木材培育利用中,作为短周期用材林,直径 20 cm 左右时,即可作为板材的基材,细木工板材的芯板等方式加以利用。

构成针叶树材木质部的主要细胞管胞由形成层原始细胞中的纺锤形原始细胞分裂分生而来。针叶树材的纺锤形原始细胞在分化过程中只伸长 5%~10%,因此与阔叶树材的纤维不同,针叶树材的管胞长度强烈依赖于纺锤形原始细胞(古野毅等,1994)。针叶树材管胞长度在髓心附近最短(约 1 mm),从髓心向外迅速增加,在距离髓心的 10~15 a 管胞长度变化减小,20 a 左右长度趋于稳定(Bannan,1967;Shio-kura,1982)。水杉管胞长度变化规律符合该变化规律,与油松 *Pinus tabulaeformis*(徐有明,1990)、马尾松和杉木(鲍甫成等,1998)、樟子松 *Pinus sylvestris* L.var. *mongolica* 和赤松 *Pinus densiflora* (Qi,2003,2005)等的变化规律基本一致。在针叶树材中,形成层原始细胞长度未稳定阶段的木材通常称为未成熟材,形成层原始细胞长度在稳定阶段形成的木材称为成熟材,未成熟材与成熟材比较,木材强度、密度等物理力学性质变化较大,木材质量差(古野毅等,1994)。本文中以管胞长度为指标,采用盐仓高义(1982)方法判定的水杉木材成熟龄约 22 年。本实验中所用水杉材料为 17~21 年,说明,该水杉木材基本为未成熟材,因此在利用木材时,需充分考虑力学性质及干缩

湿胀引起的木材变形。

管胞经由形成层原始细胞分生出后,进入细胞直径增加和长度伸长,当完成细胞形态增大后,即进入胞壁增厚阶段,当细胞中的原生质全部转化成细胞壁物质后,胞壁增厚阶段结束(李坚,2002)。针叶树材管胞宽度从髓心向树皮方向呈有规律的变化,其增长率比管胞长度的增长率要小得多(Panshin 1980)。水杉木材管胞宽度和管胞壁厚的平均值从髓心向外呈现增加趋势与落羽杉 *Taxodium distichum* 和中山杉 *Taxodium 'zhongshansha 302'*(虞华强等,2007)、赤松(金春德,2001)结果基本一致。在本研究中,早、晚材间管胞长度、宽度、壁厚、腔径等差异显著。

水杉不仅是我国南方重要的板材利用树种,更是重要的纸浆材树种。管胞(纤维)长度是衡量针叶材造纸性能的一个重要指标。在一定范围内,细而长的纤维能增加纸张强度、耐折度和耐破度(朱惠方等,1964)。国际木材解剖学家将纤维按长度分为 3 类:小于 0.9 mm 的纤维属于短纤维,长度在 0.90~1.60 mm 的纤维属于中纤维,长度大于 1.60 mm 的为长纤维(朱惠方等,1964)。水杉平均管胞长度 4.13 mm,属于长纤维纸浆材原料。管胞的长宽比、壁腔比和腔径比是造纸工业衡量纤维原料好坏的标准,管胞壁薄、壁腔比小的纤维原料,可压扁性好,在纤维之间容易形成较大的接触面,能赋予纸张较好的纤维结合强度,成纸质地紧密。众多学者认为长宽比大于 30~40,壁腔比小 1,腔径比大于 0.75 以上的纤维适合为造纸原料(王菊华,1998;方红等,1996)。水杉管胞长宽比 95.40、壁腔比 0.27、腔径比 0.82。其长宽比值大、壁腔比小、腔径比满足造纸要求,所以水杉木材是优良的造纸原料。

参考文献:

- 刘一星,赵广杰. 2004. 木质资源材料学[M]. 北京:中国林业出版社:86-88
- 李坚. 2002. 木材科学[M]. 北京:高等教育出版社:45-46
- 周崑. 2001. 中国落叶松属木材[M]. 北京:中国林业出版社:237-268
- 鲍甫成,江泽慧. 1998. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京:中国林业出版社:1-70
- 古野毅,泽边攻. 1994. 组织和材质[M]. 日本天津市:海青社:113-115
- 成俊卿. 1992. 中国木材志[M]. 北京:中国林业出版社:90-91
- Bannan MW. 1967. Anticlinial division and cell length in conifer cambium[J]. *For Prod J*, 17:63-69
- Fang H(方红),Liu SH(刘善辉). 1996. The evaluation of paper fiber materials(造纸纤维原料评价)[J]. *Beijing Wood Ind*(北

- 京木材工业),16(2):19—22
- Jin CD(金春德),Liu JS(刘继生),Zhang P(张鹏),*et al.* 2001. The variation patterns of wood tracheid morphological characteristics and density of *Pinus densiflora* (赤松木材管胞形态特征及密度的变异规律)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报),29(6):96—98
- Ma LY(马履一),Wang XQ(王希群),Guo BX(郭保香). 2006. Progress on introduction and *ex-situ* conservation on *Metasequoia glyptostroboides* in the world(水杉引种及迁地保护进展)[J]. *Guihaia*(广西植物),26(3):235—241
- Fujiwara S, Nakayana Y. 1984. Tree growth and cell dimensions I. Annual ring width and tracheid dimensions in sugi and hinoki [J]. *Mokuzai Gakkaishi*,38(7):645—656
- Shiokura T. 1982. Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunks[J]. *Mokuzai Gakkaishi*, 28(2):85—90
- Wang JH(王菊华). 1998. The important achievements of study on fiber forms in paper-making in the 20th century(20世纪造纸纤维形态研究领域的重要成就)[J]. *Pap Pap Mak*(纸和造纸), 2:7—9
- Wang SY,Chen KN. 1992. Effects of plantation spacings on tracheid lengths, annual-ring widths, and percentages of latewood and heartwood of Taiwan-grown Japanese cedar [J]. *Mokuzai Gakkaishi*,38(7):645—656
- Wang XQ(王希群),Ma LY(马履一),Tian H(田华),*et al.* 2005. Introduction of *Metasequoia glyptostroboides* Hu & Cheng in China(中国水杉引种研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),25(1):40—47
- Wang ZH(王朝辉),Fei BH(费本华),Zhu SJ(祝四九),*et al.* 1998. Wood properties of dawn redwood and its comprehensive utilizations(水杉木材性质及综合利用)[J]. *J Anhui Agric Univ*(安徽农业大学学报),25(4):408—412
- Wimmer R,Vetter R E. 1999. Tree-ring Analysis Biological,Methodological and Environmental Aspects[M]//Wimmer R, Grahner M,Strumia G,*et al.* Significance of vertical ducts in the tree rings of spruce. London:CABI Publishing:107—110
- Xu YM,Chen SY,Fang WB. 1999. Variation of tracheid length and microfibril angle and their relationship of slash pine grown in different sites[J]. *J Huazhong Agric Univ*,18(1):83—87
- Xu YM(徐有明). 1996. Variation in wood properties of *Metasequoia glyptostroboides* and its utilization for pulpwood(水杉纸浆材材性变异与利用)[J]. *J Northeast For Univ*(东北林业大学学报),24(6):50—56
- Xu YM(徐有明),Zou MH(邹明宏),Tang WP(唐万鹏). 2002. Difference analyses of tracheid morphological characteristics among provenances of *Exotic Loblolly Pine* in Southern Districts of Henan Province in China(火炬松种源木材管胞特征值的差异分析)[J]. *J Nanjing For Univ;Nat Sci Ed*(南京林业大学学报·自然科学版),26(5):15—20
- Xu YM(徐有明). 1990. Variations in tracheid formal features of *Pinus tabulaeformis* carr(油松管胞形态特征的变异)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学),26(4):337—343
- Yin XG(尹训钢),Wu XD(吴祥定). 1995. Modelling analysis of Hushan pin growth response to climate(华山松树木年轮对气候响应的模拟分析)[J]. *Quar J App Met*(应用气象学报),6(3):257—264
- Yu HQ(虞华强),Fei BH(费本华),Zhao RJ(赵荣军),*et al.* 2007. Anatomical characteristics of *Taxodium 'zhongshansa 302'* and *Taxodium distichum* wood(中山杉和落羽杉木材解剖性质研究)[J]. *For Res*(林业科学研究),20(2):213—217
- Zhu HF(朱惠方),Yao XS(姚希申). 1964. Studies on the fiber structure of 33 Chinese bamboos available for pulp manufacture (国产33种竹材制浆运用上纤维形态结构的研究)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学),9(4):311—331

(上接第 104 页 Continue from page 104)

- in Shilin of karst region, Yunnan Province(云南石林地区喀斯特山地种子休眠分类和生态关系的初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),25(6):517—525
- Cornere GH. 1951. The leguminous seed[J]. *Phytomorphology*,1: 117—150
- Du JC(杜建材),Wang ZL(王照兰),Zhao LL(赵丽丽),*et al.* 2011. Study on breaking hard seed effect of different treat methods for *Melilotoides ruthenica* strain 90-36(不同处理方法破除扁蓿豆品系 90-36 种子硬实的效果研究)[J]. *Seed*(种子),30(4):37—41
- Egley GH. 1979. Seed coat impermeability and germination of showcrotolaria(*Crotolaria spectabilis*) seeds [J]. *Weed Sci*,27: 355—361
- Hu XW(胡小文),Wang YR(王彦荣),Wu YP(武艳培). 2009. Effects of the pericarp on imbibition, seed germination, and seedling establishment in seeds of *Hedysarum scoparium* Fisch et Mey(花棒果皮对种子吸胀、种子萌发及幼苗建植的影响)[J]. *Ecol Res*(生态学杂志),24:559—564
- Hu XW(胡小文),Wu YP(武艳培),Wang YR(王彦荣),*et al.* 2009. Primary study of release method for Legume seed dormancy(豆科种子休眠破除方法初探)[J]. *Acta Bot Bor*(西北植物学报),29(3):568—573
- Hu YG(胡跃高),Wang Y(王毅). 1991. The experimental research on the method of forage crop seed of Legume species treated with liquid nitrogen.(液氮处理豆科牧草种子方法的试验研究)[J]. *Agric Res Arid Areas*(干旱地区农业研究), (2):56—63
- ISTA. 1996. International rules for seed testing 1996[J]. *Seed Sci Technol*,24:1—86
- Li J(李进),Yang ZJ(杨志江). 2008. The flora in takeermohuer desert(伊犁塔克尔莫乎尔沙漠植物区系)[J]. *Xinjiang Agric Sci*(新疆农业科学),45(S3):119—122
- Liu Y(刘艳),Liu GQ(刘广全),Li QM(李庆梅),*et al.* 2010. Effects of liquid nitrogen treatment on hard of *Robinia pseudo-acacia* and *Lespedeza bicolor* seeds(液氮处理对刺槐和胡枝子种子硬实的影响)[J]. *Seed*(种子),29(10):1—3
- Nikolaeva MG,Vorob'eva NS. 1979. The role of abscisic acid and indolic compounds in dormancy of the seeds of ash species[J]. *Sov J plant physiol*,26:105—113
- Nikolaeva MG. 2001. Ecological and physiological aspects of seed dormancy and germination(review of investigations for the last century)[J]. *Bot Zhurnal*,86:1—14
- Touchell DH,Dixon KW. 1993. Cryopreservation of seed of Western Australian native species [J]. *Biodiv Cons*,2:594—602
- Zhao XS(赵小社),Bi YF(毕玉芬),Xu YF(许岳飞),*et al.* 2006. Effect of different treatments on seed germination rate of three legume shrubs(不同处理方法对3种豆科灌木种子发芽率的影响)[J]. *Grass Turf*(草原与草坪),(2):37—40