

人工林马尾松管胞形态特征及其变异

卢翠香^{1,2,3,4}, 项东云^{1,3,4}, 陈健波^{1,3,4}, 徐峰², 任世奇^{1,3,4}, 刘媛^{1,3,4}, 唐继新⁵

(1. 广西林业科学研究所, 广西南宁 530004; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 530002; 3. 国家林业局中南速生材繁育中心, 广西南宁 530001; 4. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西南宁 530001; 5. 中国林业科学研究所热带林业实验中心, 广西凭祥 532600)

摘要: 为了解人工林马尾松 *Pinus massoniana* 木材解剖性质, 探求其木材材质变异规律的内在机制, 借助体式显微镜和计算机显微图像分析系统, 应用定量解剖学方法对其管胞形态进行了研究。结果表明: 径向上, 马尾松早材管胞长度、管胞宽度、双壁厚、长宽比、壁腔比、腔径比平均值分别为 3 711.1 μm , 47.85 μm , 11.47 μm , 76.48, 0.34, 0.76, 晚材分别为 3 912.9 μm , 37.30 μm , 20.45 μm , 104.13, 1.73, 0.45; 由髓心向外除早材管胞壁腔比、早材管胞腔径比无明显变化以及晚材管胞腔径比呈减小趋势外, 其余管胞形态指标呈递增或递增稳定趋势。纵向上, 马尾松全树早材管胞长度、管胞宽度、双壁厚、长宽比、壁腔比、腔径比平均值分别为 3 597.6 μm , 48.83 μm , 11.70 μm , 73.65, 0.35, 0.75; 晚材分别为 3 857.3 μm , 38.71 μm , 18.82 μm , 100.82, 1.33, 0.51; 除管胞壁腔比和腔径比变化规律不明显外, 其余管胞形态指标随树高的增加呈先增大后减小趋势。图 12 表 2 参 20

关键词: 林木育种学; 人工林; 马尾松; 管胞形态特征; 变异规律

中图分类号: S722.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)04-0588-07

Fiber characteristics and variation patterns of *Pinus massoniana*

LU Cui-xiang^{1,2,3,4}, XIANG Dong-yun^{1,3,4}, CHEN Jian-bo^{1,3,4}, XU Feng²,
REN Shi-qi^{1,3,4}, LIU Yuan^{1,3,4}, TANG Ji-xin⁵

(1. Guangxi Academy of Forestry, Nanning 530004, Guangxi, China; 2. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530002, Guangxi, China; 3. Key Laboratory of Central South Fast-growing Timber Cultivation of Forestry Ministry of China, Nanning 530001, Guangxi, China; 4. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning 530001, Guangxi, China; 5. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: To comprehend the anatomical properties and search for variations of interior wood properties, fibers of *Pinus massoniana* were studied using a computerized electronic microscope and micrograph analysis system to determine quantitative anatomical properties. Results in the radial position for early wood showed average fiber values of: length 3 711.1 μm , width 47.85 μm , wall thickness 11.47 μm , length to width ratio 76.48, wall thickness to cavity ratio 0.34, and cavity to width ratio 0.76; and late wood revealed average fiber values of: length 3 912.9 μm , width 37.30 μm , wall thickness 20.45 μm , length to width ratio-104.13, wall thickness to cavity ratio 1.73, and cavity to width ratio 0.45. From pith to bark, all fiber morphological parameters gradually increased or increased to a steady state except for the wall thickness to cavity ratio of early wood and the cavity to fiber width of early wood were not significant., and the cavity to fiber width ratio of late wood decreased. In the relative position, the average fiber values for early wood were: length 3 597.6 μm , width 48.83 μm , wall thickness 11.70 μm , length to width ratio 73.65, wall thickness

收稿日期: 2011-08-23; 修回日期: 2011-10-25

基金项目: “十一五”广西林业科技项目(桂林科学[2009]第 22 号)

作者简介: 卢翠香, 助理工程师, 从事木材学研究。E-mail: nnlucuixiang@126.com。通信作者: 徐峰, 教授, 从事木材科学与工程研究。E-mail: glxf0916@126.com

to cavity ratio 0.35, and cavity to width ratio 0.75; and average fiber values for latewood were: length-3 857.3 μm , width 38.71 μm , wall thickness 18.82 μm , length to width ratio 100.82, wall thickness to cavity ratio 1.33, and cavity to width ratio 0.51. From base to top, all fiber morphological parameters increased at first and then decreased, except for the wall thickness to cavity ratio and the cavity to fiber width ratio were not significant. [Ch, 12 fig. 2 tab. 20 ref.]

Key words: forest tree breeding; plantation; *Pinus massoniana*; fiber characteristics; variation patterns

马尾松 *Pinus massoniana* 是中国南方重要工业用材树种之一, 分布广泛, 生长迅速, 适应性强, 是优质的制浆造纸、家具和建筑原料^[1]。有关学者曾对人工林马尾松材性进行了研究, 并取得了一定成果^[2-5], 主要在管胞形态径向变异以及物理力学等方面研究, 但有关人工林马尾松管胞形态纵向变异规律迄今少见报道。为进一步研究人工林马尾松木材性质的变异规律, 笔者对广西地区的人工林马尾松的管胞形态特征进行了研究, 探索其径向及纵向的变异规律, 为马尾松人工林的定向培育及加工利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 采集地概况

试材采集地位于广西凭祥市热带林业实验中心伏波实验场(21°57'47"~22°19'27"N, 106°39'50"~106°59'30"E), 海拔为 520 m, 属低山丘陵地貌, 土壤为花岗岩发育的山地红壤, 土层深厚疏松, 质地为轻壤土或重壤土, 坡度为 25°。人工林马尾松为 1989 年栽植。采样时间为 2010 年 6 月。

1.2 试材采集

根据木材物理力学试材采集方法^[6], 采集 6 株样木, 编号 M1~M6 号, 所采样木为林地平均优势林。选定样木后定出北向, M1 号样木伐倒后采集全树, 分别在树干 0.0, 1.3, 3.3, 5.3, 7.3, 9.3, 11.3 和 13.3 m 处锯取 5 cm 厚圆盘各 1 个, M2~M5 号样木伐倒后, 分别在树高 1.3 m 处各取 5 cm 圆盘 1 个。

1.3 试验方法

每个圆盘沿采伐时标记的南北方向通过髓心锯取宽约 2 cm 的木条, 在所取木条的北向位置上自髓心起隔 1 个年轮按早、晚材分别劈成火柴杆大小的试样。采用醋酸过氧化氢法离析木材, 用数码显微图像电脑分析系统(XSJ-HS, XTJ-30)对木材管胞尺寸进行测定。管胞长度在 1 倍物镜下测定, 管胞宽度、腔径、双壁厚在 40 倍物镜下测定。测 60 次·试样⁻¹ 以上。

2 结果与分析

2.1 管胞形态的径向变异

2.1.1 管胞长度 人工林马尾松管胞长度径向变异见图 1。从图 1 可知: 自髓心向外, 随着树龄的增加, 管胞长度开始先迅速增加, 第 12 年后增加速度减慢, 第 14 年达到峰值, 随后下降, 在这个总体趋势中有小幅的上下波动。早、晚材管胞的变异规律基本一致, 在同一生长轮内管胞长度晚材总是大于早材。对照 Pashin^[7]的研究结果, 可以认为: 人工林马尾松管胞长度的径向变异模式可归为 Pashin III 型, 即“递增—稳定”的变异模式。这反映了树木生长发育过程中树龄对材性影响的一般规律, 即在髓心附近, 树木处于幼龄期, 形成层细胞生命活力比较旺盛, 分裂速度较快, 产生较短的子细胞以满足快速生长的需求, 因此髓心附近管胞长度较短。随着树木成长壮大, 细胞长度逐渐增长, 年生长量也较大, 到达到成熟期后, 形成层原始细胞分裂及长度变化相对稳定, 此后由于形成层原始细胞分裂减慢, 树木生长速度明显降低, 管胞长度又开始下降或保持稳定。这与国内外学者^[8-14]研究结果相类似, 人工林马尾松管胞长度径向变异较大, 呈现的规律性较其他材性指标明显。早材管胞长度平均值为 3 711.1 μm , 变幅范围为 1 668.4~4 535.2 μm ; 晚材管胞长度平均值为 3 912.9 μm , 变幅范围为 1 946.3~4 694.5 μm 。根据纤维用材原料要求, 纤维长度小于 500 μm 时, 很难生产出合格的产品, 纤维长度大, 可提高纸张的抗撕裂强度^[15]。人工林马尾松管胞长度远大于纤维用材原料的要求, 说明马尾松木材是纸浆和纤维板生产的优质原料。在第 10 年, 早、晚材管胞长度出现一个很明显的下降点。这可能是由于气候变化或虫害等造成, 但联系其年轮宽度及晚材率并未有此变化规律, 因此, 具体原因有待进一步研究和分析。

2.1.2 管胞宽度 人工林马尾松管胞宽度径向变异见图2。从图2可知：自髓心向外，管胞宽度随着树龄的增加而增加，在这个总体趋势中有小幅的上下波动。在同一生长轮内，早材管胞宽度总是大于晚材管胞宽度。早材管胞宽度变化大，晚材管胞宽度变化不明显。早材管胞宽度平均值为47.85 μm ，变幅范围为37.42~54.04 μm ，晚材管胞宽度平均值为37.30 μm ，变幅范围为34.18~39.62 μm 。

2.1.3 管胞双壁厚 人工林马尾松管胞双壁厚径向变异见图3。从图3可知：自髓心向外，管胞双壁厚随着树龄的增加而增加。早、晚材管胞变化规律一致，晚材管胞双壁厚总是大于早材管胞双壁厚，晚材管胞双壁厚变化大，早材管胞双壁厚变化不明显。早材管胞双壁厚平均值为11.47 μm ，变幅范围为8.12~13.91 μm ，晚材管胞双壁厚平均值为20.45 μm ，变幅范围为8.09~26.45 μm 。

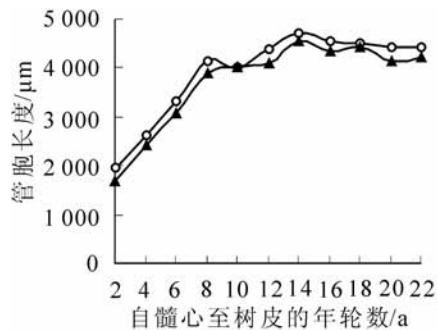


图1 人工林马尾松管胞长度径向变异

Figure 1 Radial variation curves of fiber length of *Pinus massoniana*

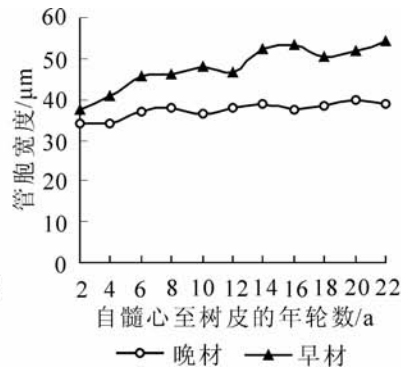


图2 人工林马尾松管胞宽度径向变异

Figure 2 Radial variation curves of fiber width of *Pinus massoniana*

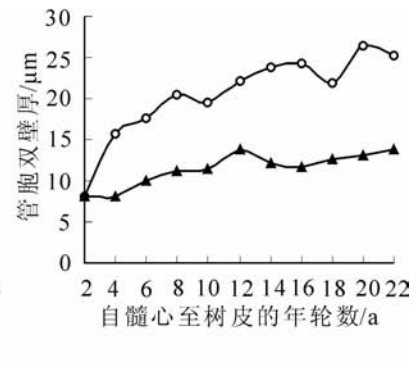


图3 人工林马尾松管胞双壁厚径向变异

Figure 3 Radial variation curves of wall thickness of *Pinus massoniana*

2.1.4 管胞长宽比 人工林马尾松管胞长宽比径向变异见图4。从图4可知：管胞长宽比径向变异与管胞长度变异模式相似，自髓心向外，随着树龄的增加管胞长宽比开始迅速增加，到达一定年限后增加速度减慢，晚材管胞长宽比第14年达到峰值，早材管胞长宽比第12年达到峰值，达到峰值之后早、晚材长宽比都趋于平稳。早材和晚材管胞长宽比平均值分别为76.48和104.13，变幅范围分别为44.59~87.93和87.93~121.36。可见，人工林马尾松管胞长宽比远大于33^[16]，说明其可以生产高质量的纸浆、纤维板等产品。

2.1.5 管胞壁腔比、腔径比 人工林马尾松管胞壁腔比径向变异见图5。从图5可知：自髓心向外，早材壁腔比随着树龄的增加而无明显变化，近似于一条直线，晚材壁腔比随着树龄的增加而增加，波动较大。在同一生长轮内，晚材管胞壁腔比总是大于早材管胞壁腔比。晚材管胞壁腔比平均值为1.73，最大值出现在第22年，为2.69，最小值出现在第2年，为0.33；早材管胞壁腔比平均值为0.34，最大值出现在第12年，为0.48，最小值出现在第4年，为0.26。人工林马尾松管胞腔径比径向变异见图6。从图6可知：自髓心向外，早材管胞腔径比随着树龄的增加而无明显变化，晚材管胞腔径比随着树龄的增加而减小，波动较大。早材管胞腔径比总是大于晚材管胞腔径比。这一规律与壁腔比刚好相反。早材管胞腔径比平均值为0.76，变幅范围为0.70~0.80，晚材管胞腔径比平均值为0.45，变幅范围为0.32~0.76。

2.1.6 管胞形态与年轮的回归分析 以年轮为自变量，管胞长度、宽度、双壁厚、长宽比、壁腔比和腔径比为因变量作一元线性回归分析，其回归方程及相关系数见表1。由表1可知：人工林马尾松管胞宽度、双壁厚、晚材壁腔比、晚材腔径比与年轮的相关性均达到极显著水平。管胞长度、晚材长宽比与年轮的相关性到显著水平。早材管胞的长宽比、壁腔比、腔径比与年轮的相关性均不显著。

2.2 管胞形态的纵向变异

2.2.1 管胞长度 图7为人工林马尾松管胞长度纵向变异。从基部开始，管胞长度沿树干向上逐渐增加，到3.3 m树高处达到峰值，再向上呈逐渐减小。对照Pashin^[7]的研究结果，可以认为人工林马尾松管胞长度的纵向变异模式可归为Pashin II型，即沿着树干向上呈“短—长—短”的变化模式。这与花柏 *Chamaecyparis pisifera*^[17]，油松 *Pinus tabulaeformis*^[18]，火炬松 *Pinus taeda*^[19]，落叶松 *Larix gmelini*^[20]的变异

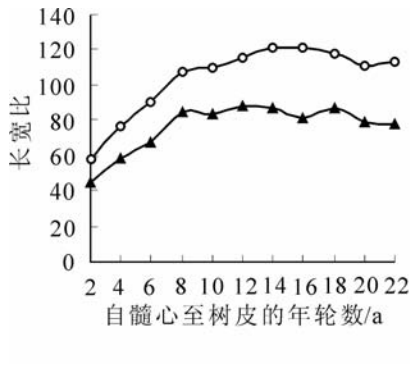


图 4 人工林马尾松管胞长宽比径向变异

Figure 4 Radial variation curves of ratios of fiber length to width of *Pinus massoniana*

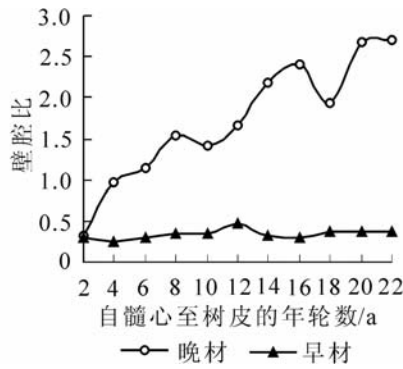


图 5 人工林马尾松管胞壁腔比径向变异

Figure 5 Radial variation curves of the ratio of wall thickness to cavity of *Pinus massoniana*

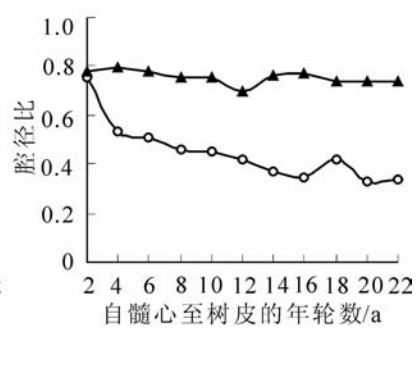


图 6 人工林马尾松管胞腔径比径向变异

Figure 6 Radial variation curves of the ratio of cavity to fiber width of *Pinus massoniana*

表 1 管胞形态(y)与年轮(x)的一元线性回归分析结果

Table 1 Analysis results of unitary linear regression equation between fibermorphology and growth ring

纤维形态		一元线性回归方程	相关系数	显著性检验(P 值)
长度	早材	$y=2\ 349.204+113.494x$	0.816	0.002
	晚材	$y=2\ 566.744+112.183x$	0.829	0.002
宽度	早材	$y=39.137+0.726x$	0.920	0.000
	晚材	$y=34.415+0.236x$	0.850	0.001
双壁厚	早材	$y=8.336+0.261x$	0.865	0.001
	晚材	$y=12.079+0.698x$	0.884	0.000
长宽比	早材	$y=59.793+1.390x$	0.665	0.026
	晚材	$y=74.599+2.461x$	0.791	0.004
壁腔比	早材	$y=0.288+0.004x$	0.501	0.117
	晚材	$y=0.436+0.107x$	0.952	0.000
腔径比	早材	$y=0.782-0.002x$	0.564	0.071
	晚材	$y=0.639-0.016x$	0.852	0.001

模式一致，属于常见的针叶材管胞长度纵向变异模式。人工林马尾松管胞长度纵向变异的原因是与生活树冠的发育及成熟材的形成有关。早材和晚材管胞长度纵向变异规律一致，在同一树干高度晚材管胞长度总是大于早材管胞长度。早材管胞长度和晚材管胞长度的平均值分别为 3 597.6 和 3 857.3 μm ，变幅范围分别为 3 133.8~3 997.0 和 3 211.8~4 287.7 μm 。13.3 m 树高处管胞长度出现突然变大，这可能是 13.3 m 处高度只取到 2 个年轮(20 和 22 a)的原因，因此，该高度管胞长度平均值要比 11.3 m 树高处略高。

2.2.2 管胞宽度 人工林马尾松管胞宽度纵向变异见图 8。从图 8 可知：从基部开始，管胞宽度沿树干向上逐渐增大，到 7.3 m 树高处达到峰值，再向上又逐渐减小。此变异模式与管胞长度变异模式相类似。在同一树干高度，早材管胞宽度总是大于晚材管胞宽度。随着树干高度的变化，管胞宽度变幅不大，说明树高对管胞宽度的影响不大。早材和晚材管胞宽度的平均值分别为 48.83 和 38.71 μm ，变幅范围分别为 41.77~55.73 和 32.22~42.49 μm 。

2.2.3 管胞双壁厚 人工林马尾松管胞双壁厚纵向变异见图 9。从图 9 可知：管胞双壁厚大体上随着树干高度的增加而减小，在这个总体趋势中有小幅的上下波动。在同一树干高度，晚材管胞双壁厚总是大于早材管胞双壁厚，晚材管胞双壁厚变化大，早材管胞双壁厚变化不明显。早材管胞双壁厚平均值为 11.70 μm ，最大值出现在基部，为 13.44 μm ，最小值出现在 11.3 m 树高处，为 10.35 μm 。晚材管胞双

壁厚平均值为 18.82 μm ，最大值出现在 1.3 m 树高处，为 23.47 μm ，最小值出现在 11.3 m 树高处，为 13.93 μm 。

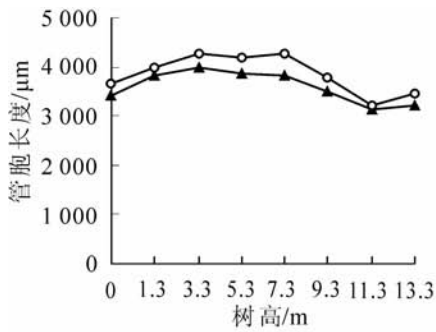


图 7 人工林马尾松管胞长度纵向变异

Figure 7 Axial variation curves of fiber length of *Pinus massoniana*

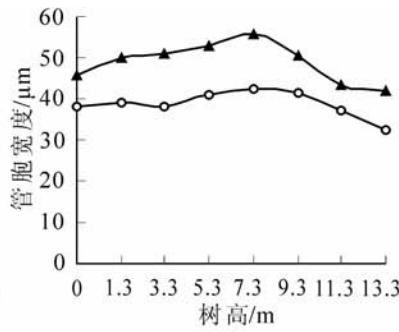


图 8 人工林马尾松管胞宽度纵向变异

Figure 8 Axial variation curves of fiber width of *Pinus massoniana*

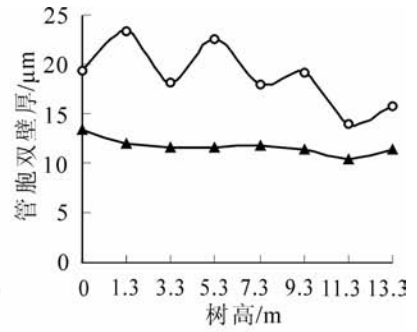


图 9 人工林马尾松管胞双壁厚纵向变异

Figure 9 Axial variation curves of wall thickness of *Pinus massoniana*

2.2.4 管胞长宽比 人工林马尾松管胞长宽比纵向变异见图 10。从图 10 可知：早材管胞随着树高的增加逐渐减小，到达一定高度后又逐渐增大；晚材管胞随着树高的增加逐渐增大，5.3 m 树高处达到峰值，之后又逐渐减小，到达 11.3 m 树高处之后又增大。在同一树高处，晚材管胞长宽比总是大于早材管胞长宽比。早材管胞长宽比在纵向的变化幅度不大，说明树高对早材管胞长宽比的影响不显著。早材管胞长宽比平均值为 73.65，变幅范围为 68.00~79.00，晚材管胞长宽比平均值为 100.82，变幅范围为 85.01~110.84。

2.2.5 管胞壁腔比、腔径比 人工林马尾松管胞壁腔比纵向变异见图 11。从图 11 可知：早材管胞壁腔比随着树高的增加基本保持不变，近似于一条直线。晚材管胞壁腔比在不同树高变化规律不明显。晚材管胞壁腔比总是大于早材管胞壁腔比。早材管胞壁腔比平均值为 0.35，变幅范围为 0.28~0.45。晚材管胞壁腔比平均值 1.33，变幅范围为 0.67~2.03。人工林马尾松管胞腔径比纵向变异见图 12。从图 12 可知：早材管胞腔径比随着树高的增加基本保持不变，近似于一条直线。晚材管胞腔径比在不同树高变化规律不明显。管胞腔径比早材总是大于晚材。早材管胞腔径比平均值为 0.75，变幅范围为 0.70~0.78。晚材管胞腔径比平均值为 0.51，变幅范围为 0.39~0.62。

2.2.6 管胞形态与树干高度的回归分析 以树干高度为自变量，管胞长度、宽度、双壁厚、长宽比、壁腔比和腔径比为因变量作一元线性回归分析，回归方程及相关系数见表 2。由表 2 可知：人工林马尾松早材管胞的长度、双壁厚与其树干高度的相关性到显著水平，而其他指标相关性均不显著。

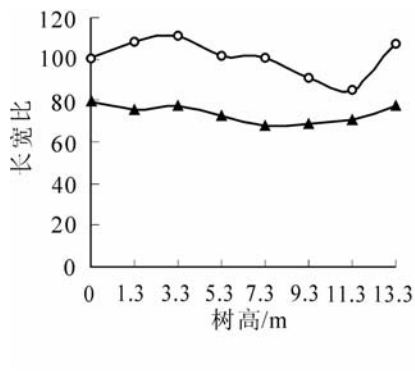


图 10 人工林马尾松管胞长宽比纵向变异

Figure 10 Axial variation curves of ratios of fiber length to width of *Pinus massoniana*

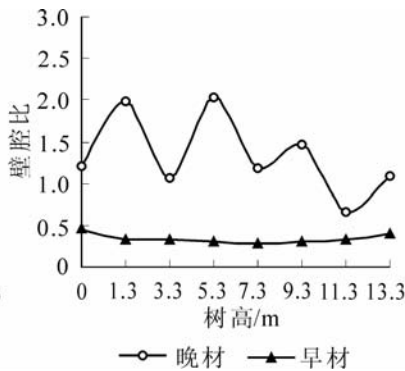


图 11 人工林马尾松管胞壁腔比纵向变异

Figure 11 Axial variation curves of the ratio of wall thickness to cavity of *Pinus massoniana*

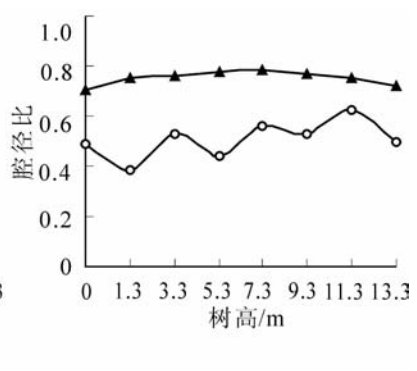


图 12 人工林马尾松管胞腔径比纵向变异

Figure 12 Axial variation curves of the ratio of cavity to fiber width of *Pinus massoniana*

表 2 管胞形态 (y) 与树干高度 (x) 的一元线性回归分析结果

Table 2 Analysis results of unitary linear regression equation between fiber morphology (y) and trunk height (x)

纤维形态		一元线性回归方程	相关系数	显著性检验(P 值)
长度	早材	$y=3\ 932.352-48.653x$	0.731	0.039
	晚材	$y=4\ 208.855-51.024x$	0.629	0.095
宽度	早材	$y=51.277-0.384x$	0.380	0.353
	晚材	$y=40.263-0.243x$	0.363	0.377
双壁厚	早材	$y=12.566-0.136x$	0.752	0.031
	晚材	$y=21.766-0.462x$	0.695	0.056
长宽比	早材	$y=76.174-0.396x$	0.443	0.272
	晚材	$y=106.076-0.823x$	0.441	0.275
壁腔比	早材	$y=0.361-0.002x$	0.209	0.620
	晚材	$y=1.617-0.044x$	0.450	0.264
腔径比	早材	$y=0.746+0.001x$	0.141	0.739
	晚材	$y=0.454+0.008x$	0.562	0.147

3 结论

人工林马尾松管胞形态特征径向变异规律为：自髓心向外，管胞长度及管胞长宽比随树龄的增加开始迅速增加，第 14 年达到峰值，此后再逐渐减小或保持平稳；管胞宽度、管胞双壁厚随着树龄的增加而增加；早材管胞的壁腔比和腔径比随着树龄的增加而无明显变化，晚材管胞壁腔比随着树龄的增加而增加，而晚材管胞腔径比随着树龄的增加而减小。

人工林马尾松管胞形态特征纵向变异规律为：管胞长度、管胞长宽比、管胞宽度变异相似，自基部沿树干向上先增大，到达一定高度后又减小。管胞双壁厚大体上随着树干高度的增加而减小。早材管胞的壁腔比和腔径比随着树高的增加基本保持不变，晚材管胞的壁腔比和腔径比在不同树高变化规律不明显。

以年龄为自变量，管胞形态特征为因变量，作一元线性回归分析，管胞宽度、双壁厚、晚材壁腔比、晚材腔径比与年轮的相关性均达到极显著水平。管胞长度、晚材长宽比与年轮的相关性到显著水平。早材管胞的长宽比、壁腔比、腔径比与年轮的相关性均不显著。

以树高为自变量，管胞形态特征为因变量，作一元线性回归分析，早材管胞的长度、双壁厚与其树干高度的相关性到显著水平。而其他指标与其树干高度的相关性均不显著。

参考文献：

- [1] 秦国峰, 周志春, 李光荣, 等. 马尾松造纸材的变异、遗传和选择育种策略[J]. 林业科学研究, 1995, 8 (5): 506 - 513.
QIN Guofeng, ZHOU Zhichun, LI Guangrong, et al. Variation, genetics and strategy on selection breeding of pulp wood of masson pine [J]. *Sci Silv Sin*, 1995, 8 (5): 506 - 513.
- [2] 邓恢, 谢少华. 马尾松间伐材材性的研究[J]. 福建林学院学报, 1999, 19 (2): 133 - 137.
DENG Hui, XIE Shaohua. Study on the lumber properties of thinned wood of *Pinus massoniana* [J]. *J Fujian Coll For*, 1999, 19 (2): 133 - 137.
- [3] 骆秀琴, 姜笑梅, 殷亚方, 等. 人工林马尾松木材性质的变异[J]. 林业科学研究, 2002, 15 (1): 28 - 33.
LUO Xiuqin, JIANG Xiaomei, YIN Yafang, et al. Variations in wood properties of masson pine (*Pinus massoniana* L.) plantation [J]. *For Res*, 2002, 15 (1): 28 - 33.
- [4] 姬宁, 潘彪, 徐永吉. 贵州产马尾松人工林纤维形态和纤丝角的研究[J]. 贵州林业科技, 2003, 31 (3): 50 - 51.
JI Ning, PAN Biao, XU Yongji. Study on the tracheid morphology characteristics and microfibrillar angle of masson

- pine in Guizhou [J]. *J Guizhou For Sci Technol*, 2003, **31** (3): 50 – 51.
- [5] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [6] 虞华强, 费本华, 吕建雄, 等. GB/T 1927–2009 木材物理力学试材采集方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [7] BAILEY I W. The cambium and its derivative tissues (II) Size variations of cambial initials in gymnosperms and angiosperms [J]. *Am J Bot*, 1920, **7**: 355 – 367.
- [8] 金春德, 吴义强, 王成, 等. 人工林与天然林赤松木材管胞形态特征及密度的变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, **29** (6): 102 – 104.
- JIN Chunde, WU Yiqiang, WANG Cheng, *et al.* The variations of wood tracheid morphological characteristics and density of *Pinus densiflora* plantation and natural forest [J]. *J Northeast For Univ*, 2001, **29** (6): 102 – 104.
- [9] 李灵艳, 刘云彩, 冯弦, 等. 不同种源思茅松人工林林木干材管胞形态特征的差异研究[J]. 西部林业科学, 2009, **38** (2): 62 – 66.
- LI Lingyan, LIU Yuncai, FENG Xian, *et al.* Morphological characteristics of tracheid in timber of *Pinus kesiya* var. *langbianensis* of different provenances [J]. *J West China For Sci*, 2009, **38** (2): 62 – 66.
- [10] 徐有明, 张水木, 刘秀群, 等. 福建引种火炬松木材管胞形态特征的变异[J]. 东北林业大学学报, 2000, **28** (4): 36 – 40.
- XU Youming, ZHANG Shuimu, LIU Xiuqun, *et al.* Variation analysis in tracheid morphological features of loblolly pine provenances introduced to Fujian Province in China [J]. *J Northeast For Univ*, 2000, **28** (4): 36 – 40.
- [11] 刘盛全. 刺楸纤维形态特征及其变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1996, **23** (1): 68 – 72.
- LIU Shengquan. Study on the features and variations of fibre dimensions of *Kalopanax setemlobus*(Thunb.) Koidz [J]. *J Anhui Agric Univ*, 1996, **23** (1): 68 – 72.
- [12] 王佳楠, 查朝生, 刘盛全. 人工林杨树木材纤维形态特征及其变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2006, **33** (2): 149 – 154.
- WANG Jianan, CHA Chaosheng, LIU Shengquan. Fiber morphological features and variation of plantation poplar [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2006, **33** (2): 149 – 154.
- [13] 白默飞, 刘盛全, 周亮, 等. 兴安落叶松管胞形态特征和微纤丝角及其径向变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2009, **36** (2): 189 – 193.
- BAI Mofei, LIU Shengquan, Zhouliang, *et al.* Tracheid morphology characteristics and microfibrillar angle and their variation patterns of *Larix gmelinii* [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2009, **36** (2): 189 – 193.
- [14] 符韵林. 不同生长环境的杉木木材解剖研究[D]. 南宁: 广西大学, 2003.
- FU Yunlin. *Study on the Wood Anatomy of Chinese Fir in Different Growth Environment* [D]. Nanning: Guangxi University, 2003.
- [15] 赵砾. 湿法硬质纤维板生产常用灌木及阔叶乔木原料的综合分析[J]. 林产工业, 1991, **38** (2): 40 – 43.
- ZHAO Li. Integration analysis of shrub and arbor materials in wethardboard manufacture [J]. *China For Prod Ind*, 1991, **38** (2): 40 – 43.
- [16] 《制浆造纸手册》编写组. 制浆造纸手册: 第1分册 纤维原料和化工原料[M]. 北京: 轻工业出版社, 1987: 4.
- [17] 王大鹏, 徐有明, 史玉虎, 等. 日本花柏木材管胞形态特征的变异[J]. 东北林业大学学报, 2007, **35** (6): 4 – 15.
- WANG Dapeng, XU Youming, SHI Yuhu, *et al.* Variation in tracheid morphological features of sawara false cypress [J]. *J Northeast For Univ*, 2007, **35** (6): 4 – 15.
- [18] 徐有明. 油松管胞形态特征的变异[J]. 林业科学, 1992, **26** (4): 337 – 343.
- XU Youming. Variations in tracheid formal features of *Pinus tabulaeformis* Car [J]. *Sci Silv Sin*, 1992, **26** (4): 337 – 343.
- [19] 刘一星, 吴玉章, 李坚. 火炬松木材材性变异规律[J]. 东北林业大学学报, 1999, **27** (5): 29 – 34.
- LIU Yixing, WU Yuzhang, LI Jian. The variation pattern of wood properties of loblolly pine[J]. *J Northeast For Univ*, 1999, **27** (5): 29 – 34.
- [20] 段喜华, 张含国, 潘本立, 等. 长白落叶松木材材性株内变异[J]. 东北林业大学学报, 1997, **25** (2): 33 – 36.
- DUAN Xihua, ZHANG Hanguo, PAN Benli, *et al.* The variation of wood properties within individual trees for *Larix olgensis*[J]. *J Northeast For Univ*, 1997, **25** (2): 33 – 36.