

马尾松纸浆材材性变异和 采伐林龄的确定*

徐有明 林 汉

(华中农业大学林学系, 武汉 430070)

万伏红

(湖北省太子山林业管理局)

摘 要 报道了马尾松木材管胞长度、管胞长宽比、基本密度和化学组分含量的变异规律。结合林木材积连年生长量给出了不同树龄材性的具体数值。管胞长度径向变异遵循“递增、趋于稳定”模式,纵向变异由基部向上先递增至 7.3 m 高度,而后递减至 19.3 m;管胞长宽比变异与管胞长度变化趋势一致。基本密度髓心附近较大,由髓心向外递减至最小值后再缓慢增加,并趋于稳定;基本密度纵向变异由基部向上递减,最大值位于树干基部。纤维素含量由髓心附近的 38.75% (1~3 轮)递增到 22 轮处的 48.98%,净增 10.41%;木素、多缩戊糖和苯醇抽出物含量分别由髓心附近的 28.35%, 14.32% 和 6.6% 递减到树皮附近的 24.7%, 10.24% 和 1.22%, 3 者依次净减 3.65%, 4.08% 和 5.38%。马尾松木材幼龄期约 14~18 a,幼龄期前天然林管胞长度、长宽比和浸提后的基本密度大于人工林,幼龄期后则正好相反。基于不同树龄材性的变化,马尾松短周期纸浆林最低采伐林龄不得低于 15 a

关键词 马尾松; 纸浆材; 木材性质; 变异; 采伐; 林龄

中图分类号 S781.4; S791.248.08

马尾松 (*Pinus masoniana*) 是我国南方各省区最为重要的荒山造林绿化用材树种,其面积和蓄积量分别占我国有林地的第 1 位和第 2 位^[1]。我国造纸主要以草浆为主,木浆仅占造纸原料的 20% (包括进口木浆)^[2],致使我国纸张品种少,质量差,远远不能满足我国社会经济发展的需要。马尾松是优良的造纸原料^[3],其适应性强,分布广泛,资源多。合理开发利用马尾松森林资源对广大山区人民的脱贫致富,加快荒山绿化速度,满足国民经济发展需要和提高我国营林效益具有重要的战略意义。我国“八五”规划已将马尾松列为短周期纸浆林主要树种之一,南方各省区都重点开展马尾松纸浆林的定向培育研究。这项研究不仅仅是单纯促

收稿日期: 1996-04-29; 修回日期: 1996-09-23

* 湖北省自然科学基金资助项目和湖北省“八五”重点攻关资助项目

第 1 作者简介: 徐有明,男,1963 年生,副教授,硕士

进生长量问题,而且涉及到营林措施对材性的影响和主伐林龄确定问题。评价营林措施对材性的影响主要依据是材性径向变异模式^[4]。主伐林龄的确定应从经济成熟、材性工艺成熟和林木材积的数量成熟3方面综合权衡^[4,5],其中材性工艺成熟也涉及到株内材性变异模式。有鉴于此,本文在研究与纸浆材有关材性变异基础上探讨纸浆林采伐林龄的确定,为马尾松纸浆林的定向培育和合理利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试材

8株生长中等偏上马尾松试材(A~D)采自湖北省林业管理局所辖林场种源试验林,同时于附近采伐2株天然林马尾松作为对比材料(E₁、E₂)进行研究。10株样木基本情况见表1。样木伐倒后,从树干基部0.3 m, 1.3 m, 3.3 m, 5.3 m, …, 19.3 m等高处截取2~4 cm厚的圆盘3个,用于纤维形态、木材密度和化学组分含量的测试分析及量取年轮宽度计算材积。

表 1 马尾松样木的树高、胸径和材积

Table 1 Height, diameter at breast height and volume of tree samples

样木号	树龄 /a	树高 /m	胸径 /cm	材积 /m ³	样木号	树龄 /a	树高 /m	胸径 /cm	材积 /m ³
E ₁	55	20.4	27.5	0.432 1	B ₂	21	13.5	17.4	0.172 9
E ₂	54	21.6	34.0	0.570 0	C ₁	24	11.8	17.0	0.116 2
A ₁	26	14.1	24.4	0.293 4	C ₂	24	11.7	17.6	0.114 3
A ₂	24	14.7	18.7	0.204 8	D ₁	20	8.6	15.6	0.087 7
B ₁	23	11.3	18.8	0.148 1	D ₂	20	9.8	13.2	0.076 3

1.2 实验方法

纤维形态、木材密度和化学成分含量的测定均按年轮逐轮分析。纤维用100 g·L⁻¹硝酸铬酸混合液离析后于台式投影仪上直接测量管胞长度和宽度;胞壁厚度和胞腔直径于光学显微镜下采用木材横截面切片直接量取(400倍),进而计算腔径比和壁腔比。采用排水法测定样品体积,烘干称量后计算基本密度。化学成分含量测试采用40~60目木粉,其制取方法为手工操作,即用刨片法沿年轮将木材削成薄片并适度烘干(60~80℃)后,再用植物粉碎机粉碎过筛。硝酸乙醇法测定纤维素含量,采用GB 2677.7~9-81测定木素、多缩戊糖和苯醇抽出物含量。人工林化学成分含量、纤维形态和木材密度为8株样木的均值。天然林材性的相应值为2株样木均值。

2 结果与分析

2.1 管胞长度

图1中天然林马尾松株内各个高度截面上管胞长度由髓心向外开始递增很快,之后缓慢增加再趋于稳定。显然马尾松管胞长度径向变化可归于PashinII类^[6]。株内各个高度管胞长度 y 与生长轮年龄 x 之间关系可用模型 $y = A + Bx - Cx^2$ ($A, B, C > 0$)来表达。表2中天然林与人工林各个模型的复相关系数范围为0.902 8~0.991 7。由决定系数 r^2 可知生长轮年龄的影响占管胞长度径向变异总量的81.5%~98.3%,说明管胞长度径向变异主要是由年龄控制的。

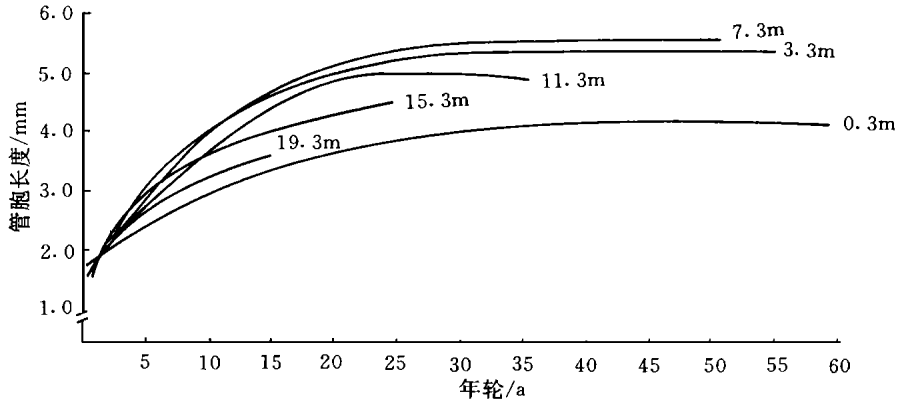


图 1 管胞长度的径向和纵向变化

Fig. 1 Radial and vertical variation of tracheid within trees

从图 1 来看,髓心附近管胞长度约 1.454~1.905 mm,均值为 1.617 mm; 15 a 时各个高度管胞长度均值为 4.263 mm, 1~15 a 间管胞长度净增 163.6%, 15~18 a (4.530 mm) 间仅增 6.31%, 反映形成层原始细胞已趋成熟,管胞长度变化较小。图 1 中管胞长度纵向变异比较明显,由基部 0.3 m 高处递增至 7.3 m,而后递减。这与大多数针叶材管胞长度纵向变异模式一致。株内 0.3 m, 3.3 m, 7.3 m, 11.3 m, 15.3 m 和 19.3 m 高度截面上管胞长度均值分别为 3.296 mm, 4.174 mm, 4.273 mm, 3.814 mm, 3.578 mm 和 2.60 mm。依据造纸原料纤维长度要大于 0.90 mm 这一基本要求,马尾松木材应是优良的造纸原料。

表 2 马尾松管胞长度与生长轮年龄间的相关模型

Table 2 Relative model between tracheid length and annual ring of tree samples

样号	回归系数			相关系数	样号	回归系数			相关系数
	A	B	C			A	B	C	
E-1-0.3 m	2.034 3	0.102 8	0.001 2	0.989 9	A-1-1.3 m	1.079 5	0.006 9	0.006 9	0.981 3
E-2-1.3 m	2.128 5	0.162 7	0.002 1	0.912 1	A-2-1.3 m	1.123 1	0.312 7	0.009 0	0.976 7
E-3-3.3 m	2.208 4	0.192 4	0.003 1	0.902 8	B-1-1.3 m	1.378 0	0.269 8	0.005 8	0.981 1
E-4-5.3 m	2.123 1	0.216 4	0.003 5	0.971 7	B-2-1.3 m	1.104 6	0.308 8	0.007 3	0.975 6
E-5-7.3 m	1.860 6	0.258 4	0.004 3	0.980 4	C-1-1.3 m	1.232 2	0.297 0	0.095 5	0.975 1
E-6-9.3 m	2.121 6	0.222 2	0.004 0	0.966 5	C-2-1.3 m	1.410 2	0.306 2	0.008 7	0.984 7
E-7-11.3 m	1.524 3	0.290 4	0.006 1	0.988 6	D-1-1.3 m	1.005 1	0.331 4	0.007 3	0.991 7
E-8-13.3 m	1.341 6	0.306 7	0.006 6	0.984 2	D-2-1.3 m	1.343 5	0.320 3	0.007 6	0.981 3
E-9-15.3 m	1.768 0	0.242 2	0.005 5	0.956 9					
E-10-17.3 m	1.613 0	0.236 3	0.005 1	0.988 9					
E-11-19.3 m	1.529 4	0.264 7	0.011 3	0.972 1					

2.2 管胞长宽比

马尾松管胞长度与宽度之比均值的径向和纵向变异均与图 1 中管胞长度的变化一致(长宽比图略)。髓心附近 1~3 轮长宽比值变化范围为 53.0~66.4, 15 a 后长宽比值范围为 70.0

~ 101.0 株内 0.3 m, 3.3 m, 7.3 m, 11.3 m, 15.3 m 和 19.3 m 高度截面上长宽比均值依次为 69.5, 82.3, 82.5, 77.3, 75.0 和 65.3 这些均说明马尾松株内任一部位木材管胞长宽比远远大于造纸原料纤维长宽比要大于 35~ 45 这一要求。

2.3 基本密度

图 2 表明马尾松株内髓心附近木材基本密度数值较大，由髓心向外基本密度递减至最小值后再递增，渐趋于稳定（17.3 m 高处例外）各个高度髓心附近 1~ 5 轮基本密度值为 0.354 ~ 0.629 g° cm⁻³，6~ 15 轮基本密度最小值范围为 0.347~ 0.458 g° cm⁻³，16 轮后各个高度基本密度变化范围为 0.368~ 0.504 g° cm⁻³。株内各年轮基本密度差异大将会导致各树龄基本数值变化大，以至纸浆产量不稳定。这点在确定主伐林龄时应予以考虑。图 3 中基本密度纵向变异由基部 1.3 m 处向上递减，13.3~ 17.3 m 高处出现交叉现象。1.3~ 17.3 m 各个高度基本密度均值依次为 0.477 g° m⁻³，0.441 g° m⁻³，0.416 g° m⁻³，0.376 g° m⁻³ 和 0.365 g° cm⁻³。这种纵向递减规律与大多数针叶材树种的研究结果一致^[5,6]。

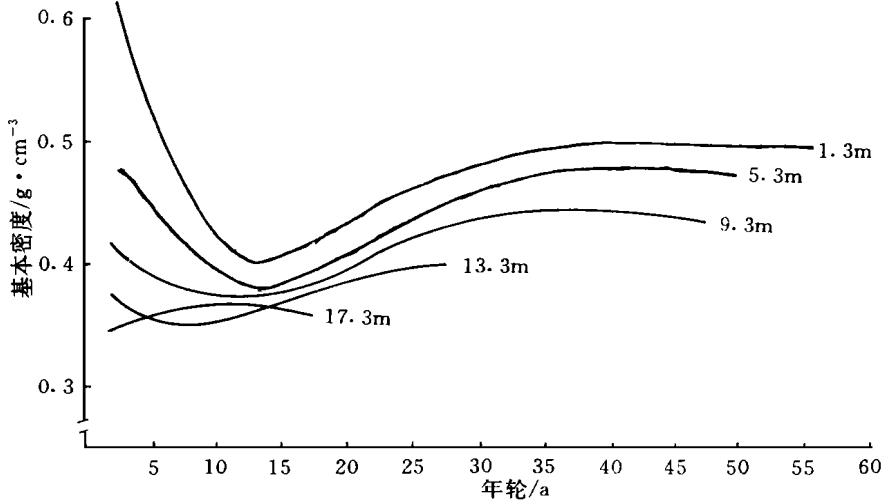


图 2 基本密度的径向和纵向变化

Fig. 2 Radial and vertical variation of basic density within trees

2.4 化学组分含量

图 3 为马尾松人工林 8 株样木木材主要化学成分含量均值的变化曲线。纤维素含量由髓心附近 1~ 3 轮的 38.57% 递增至树皮附近 22 轮的 48.98%，净增 10.41%；木素、多缩戊糖和苯醇抽出物含量由髓心向外均遵守“递减、趋于稳定”的模式，3 者含量 1~ 3 轮均值分别为 28.35%，14.32% 和 6.6%，22 轮处 3 者含量分别为 24.7%，10.70% 和 1.22%。木素、多缩戊糖和苯醇抽出物含量由髓心至树皮附近分别净减 3.65%，4.08% 和 5.38%。从图 3 来看，纤维素含量直线递增转折点为 8 a 左右，9~ 14 a 为曲线递增，15 a 后递增速度明显减慢。木素、多缩戊糖和苯醇抽出物含量递减后渐趋稳定的年轮数分别为 17 a、18 a 和 13 a，即各成分含量成熟期不完全一致。马尾松造纸材主要用于生产化学浆造纸，其各轮化学成分含量变化直接影响到纸浆产量和质量。故其纸浆林主伐林龄确定应考虑木材化学组成成分含量变异

的特点,在树龄化学成分含量渐趋稳定时采伐利用。

2.5 幼龄期及天然林和人工林材性的比较

图4为马尾松人工林、天然林株内胸高盘(1.3 m高)上管胞长度、长宽比和苯醇混合液抽提后的基本密度径向变化曲线的比较。依据管胞长度变化曲线确定木材幼龄期为14~15 a,

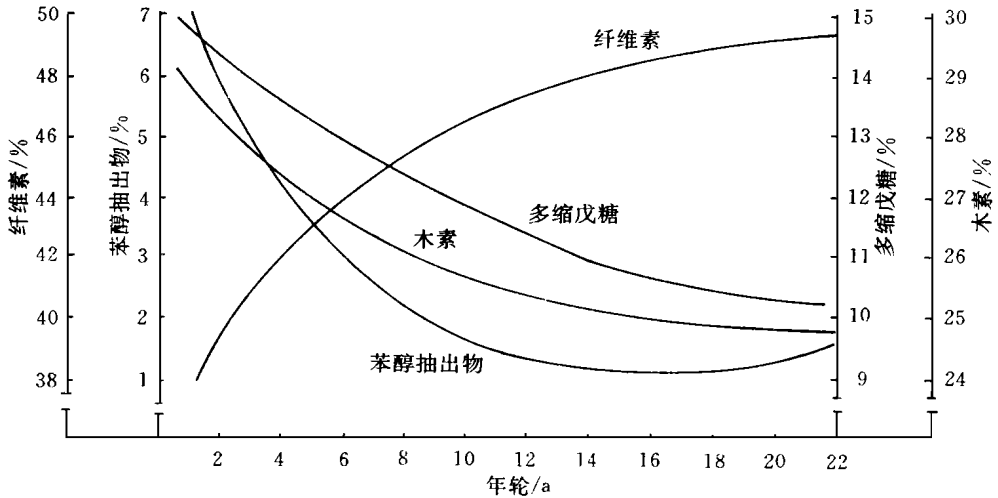


图3 胸高处化学成分含量的径向变化

Fig. 3 Radial variation in chemical contents at breast heights

依据基本密度确定幼龄期约17~18 a,因此综合考虑马尾松木材幼龄期结束于14~18 a。从图4来看,幼龄期内9~11a之前,马尾松天然林管胞长度、长宽比和基本密度值均大于人工林相应的材性值。此年龄阶段之后人工林上述材性值优于天然林。笔者认为这与人工林前期生长明显快于天然林有关,就人工林材质改良而言应重点缩短幼龄期,减少株内幼龄材所占比例,降低其株内材性的变异幅度,培育较为均质木材。

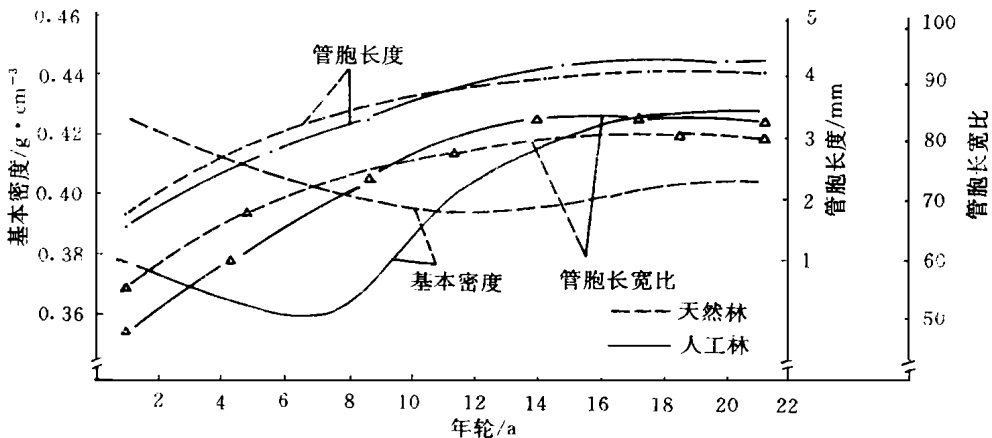


图4 马尾松人工林和天然林变异的比较

2.6 采伐林龄的确定

短周期工业原料林的定向培育在追求速生丰产, 发挥森林生态社会效益的基础上, 着重考虑原料要符合定向培育材种的要求。其最佳主伐林龄应从经济成熟、材性工艺成熟^{*}和数量成熟³方面综合权衡。由于各个树龄胸径和树高生长量的差异导致各树龄间材积生长量差异很大, 因此前文阐述材性径向变异规律中各年轮材性数值不能代表其对应树龄的材性。笔者基于加权法基本原理, 通过树干解析计算各年龄材积连年生长量, 引入各年轮材性数值, 构建了以下 3 公式, 并计算给出了各树龄管胞形态特征、基本密度和化学成分含量基本数值(表 3)。

$$T_{fi} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{T}_{fi} V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{d}_i V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (2)$$

表 3 马尾松人工林不同树龄材性的变化

Table 3 Whole-tree wood properties of Masson pine plantations at different harvest age

树龄 I_a	管胞长度 l_m	管胞宽度 h_m	长宽比	管胞 腔径比	管胞 壁腔比	基本密度 $/g \cdot cm^{-3}$	纤维素 %	木素 %	多缩戊糖 %
2	1.899	37.36	50.8	0.737	0.377	0.403	38.57	28.35	14.32
3	2.075	38.92	53.3	0.732	0.400	0.395	39.53	27.95	14.01
4	2.173	39.31	55.3	0.726	0.412	0.389	39.98	27.69	13.79
5	2.272	39.67	57.3	0.724	0.416	0.384	40.78	27.40	13.67
6	2.361	40.17	58.8	0.730	0.410	0.380	41.59	27.16	13.54
7	2.579	40.96	63.0	0.729	0.409	0.373	42.74	26.84	13.29
8	2.753	41.82	65.8	0.726	0.412	0.372	43.34	26.69	13.08
9	2.958	43.18	68.5	0.725	0.414	0.373	44.02	26.39	12.78
10	3.090	43.95	70.3	0.724	0.417	0.378	44.49	26.24	12.55
11	3.260	45.41	71.8	0.726	0.415	0.385	45.12	25.97	12.33
12	3.424	45.97	74.5	0.723	0.416	0.392	45.62	25.84	12.14
13	3.534	46.33	76.3	0.715	0.414	0.397	46.27	25.70	11.92
14	3.641	46.89	77.6	0.709	0.431	0.400	46.42	25.55	11.71
15	3.753	47.62	78.7	0.705	0.440	0.402	47.34	25.70	11.59
16	3.838	48.41	79.3	0.702	0.446	0.409	47.67	25.60	11.41
17	3.904	49.01	79.6	0.704	0.444	0.415	47.85	25.48	11.23
18	3.930	49.48	79.4	0.708	0.438	0.419	47.99	25.38	11.08
19	3.976	49.50	80.3	0.710	0.435	0.422	48.13	25.29	10.96
20	4.022	50.02	80.4	0.712	0.434	0.424	48.22	25.20	10.86
21	4.050	50.20	80.8	0.713	0.433	0.426	48.30	25.15	10.78
22	4.062	50.18	80.9	0.712	0.431	0.428	48.33	25.15	10.80

* 材性工艺成熟套用森林经理学中工艺成熟概念, 不能单纯地理解为制浆工艺实验

式中: i 为树龄或年轮数 ($i = 1, 2, \dots, n$); V_i 为第 i 年材积连年生长量; T_{fi} 为第 i 年管胞形态值; \bar{T}_{fi} 为第 i 轮管胞形态值; \bar{d} 为第 i 年全树基本密度值; \bar{d}_i 为第 i 轮木材基本密度值

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{d}_i \bar{X}_i V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i \bar{d}} \quad (3)$$

式中: X_i 为第 i 年全树化学成分含量; \bar{X}_i 为第 i 轮木材化学成分含量。

从表 3 数据来看, 马尾松各树龄纤维形态值均超过造纸原料纤维长度大于 0.90 mm, 长宽比大于 35~45, 壁腔比小于 10, 腔径比近于 0.75~1.0 的基本要求。木材密度直接影响纸浆产量和质量, 造纸原料要求其适宜范围为 0.40~0.60 g·cm⁻³。马尾松木材 14 年生时即可达到该要求。化学浆造纸主要利用纤维素和部分半纤维素而除去木素。表 3 中第 4 年和第 5 年时马尾松木材纤维素含量为 39.98% 和 40.78%, 达到造纸原料纤维素含量要大于 40% 的基本要求。随着树龄的增大, 纤维素含量逐渐增加, 木素含量逐渐降低, 这均有利于提高纸浆得率和质量。15~22 a 间, 纤维素含量由 47.34% 变化到 48.33%, 仅增 0.99%; 而木素含量由 25.7% 减至 25.15%, 仅减 0.55%。因此从化学成分含量方面考虑, 15 a 后树龄增大其增益不大, 此年龄阶段开始马尾松短周期纸浆林可以采伐利用。目前国外对速生针叶人工林幼龄材造纸性能进行了大量的研究^[8-11], 结果表明幼龄材所生产的纸张具有较高的耐破度和高的抗拉强度, 只有撕裂强度较低。国内周釜和卢鸿俊对落叶松间伐幼龄材造纸评估后也得出相同的结论。纸张的撕裂强度与纸浆中切断的纤维长度有着密切的关系。切断的纤维长度达到 2.0 mm 后, 纸张的撕裂强度几乎保持不变^[5]。通常认为只要全树木材纤维长度大于等于 3.0 mm 就可保证纸浆中切断的纤维长度达到 2.0 mm, 也就是说只要幼龄材纤维长度达到 3.0 mm, 其造纸时较低的撕裂强度会得到较大的改善。从表 3 中马尾松管胞 (造纸上统称为纤维) 长度 10 a 时达到 3.0 mm, 15 a 后其管胞长度为 3.7~4.1 mm, 均满足纸张较高撕裂强度的要求。因此从不同树龄材性的变化, 确定马尾松短周期纸浆林最低采伐林龄为 15 a 左右。由于种源间材性变异小于种源内株间差异, 而种源内株间差异小于株内材性差异, 因此根据 8 株马尾松株内材性变异数据得到最低采伐林龄, 对广大南方地区马尾松纸浆林的培育具有一定的指导意义。至于最佳主伐林龄应根据不同地理区域, 结合其造纸用材试验林, 从林木生物量和经济效益方面综合评估后确定, 但原则上不能超过材积的数量成熟龄。据文献^[1]和笔者解析木资料, 马尾松人工林数量成熟龄在 30~35 a 之后。因此马尾松短周期纸浆林采伐林龄约在 15~30 a 之间。

致谢 试材采集得到湖北省太子山林业管理局和远安县林业局的大力支持, 中国林业科学研究院木材研究所鲍甫成研究员审阅了初稿, 特致谢忱。

参 考 文 献

- 1 安徽农学院林学系. 马尾松. 北京: 中国林业出版社, 1980
- 2 轻工部造纸课题组. 中国造纸工业发展战略及其对策. 湖北造纸, 1990, (1): 1~11
- 3 孙成志, 谢国恩, 曹葆卓, 等. 马尾松全树材性与制浆的研究. 林业科学, 1986, 22(1): 45~53
- 4 徐有明. 油松木材幼龄期与株内幼龄材的分布. 华中农业大学学报, 1992, 11(4): 382~387

- 5 徐有明, 李鑫, 杨金德, 等. 池杉纸浆材材性变异与工艺成熟龄的研究. 华中农业大学学报, 1994, 13 (4): 402~ 408
- 6 Pashin A J. *Textbook of wood technology*. 4th edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1980. 240~ 281
- 7 徐有明. 油松幼龄材材性兼论速生材改良与利用. 华中农业大学学报, 1993, 12 (1): 69~ 73
- 8 Orsler R J. Pulping of British-grown softwoods (VIII) A study of juvenile, mature and top wood in a large scots pine trees. *Holzforshugn*. 1972, 26 (5): 462~ 469
- 9 Isebrands J G. Krart pulp and paper properties of juvenile to mature wood in loblolly pine. *Tappi*, 1982, 65 (9): 92~ 96
- 10 Zobel B J. The change quality of the world supply. *Wood Sci Tech*. 1984, 18 (2): 1~ 17
- 11 Zobel B J. *Wood variation, its cause and control*. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 81~ 89, 218~ 307

Xu Youming (Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, PRC), Lin Han, and Wan Fuhong. **Variation of Pulpwood Characteristics and Cutting Age of Masson Pine.** *J Zhejiang For Coll*, 1997, 14 (1): 8~ 15

Abstract Eight plantation trees (20 to 26 years old) and 2 natural forest trees (54 and 55 years old) of Masson pine were collected in Forest Farm of Jingshan County, Hubei Province. Tracheid lengths in radial direction first gradually increased and then levels off from pith to bark. It decreased along the stem height. So did the variation in tracheid length-wide ratio. Basic density at the pith was bigger than that at the bark, and it firstly descended from pith to bark, then gradually ascended and finally leveled off. It longitudinally descended from base to top. Cellulose content increased from pith (38.57%) to near bark (46.98%) in 22 years old trees. Lignin, pentosan and benzen-alcohol extractives contents decreased from pith (28.35%, 14.32% and 6.60%) to bark (24.70%, 10.24% and 1.22%). The juvenile period of the wood was about 14 to 18 years old. Before the period, the tracheid length, length-wide ratio and extracted basic density in trees of natural forests were greater than those in those of plantations. After the period, the results were right converse. Based on variations in the whole tracheid morphological features, basic density, wood chemical composition and the tree growth properties, the range of mature ages for pulpwood were from 15 to 30 years old.

Key words Masson pine (*Pinus massoniana*); pulp wood; wood property; variation (biology); harvest cutting; age of stand