

# 落叶松种间及其杂种管胞特征及微纤丝角的变异\*

孙晓梅<sup>1</sup>, 楚秀丽<sup>1</sup>, 张守攻<sup>1</sup>, 丁彪<sup>2</sup>, 周德义<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 辽宁省清源县大孤家国营林场, 辽宁 清源 113305)

**摘要:**对落叶松属4个种及其以日本落叶松为母本的种间杂交组合的早晚材管胞形态和微纤丝角进行了测定分析, 研究表明:落叶松各管胞特征值及微纤丝角基本符合甚至远超过较优纸浆材筛选要求;落叶松种间及其杂种早晚材管胞形态特征值差异显著或极显著, 早、晚材管胞长变幅分别为3 164.45~3 865.26、3 318.51~4 200.87  $\mu\text{m}$ , 早、晚材管胞长宽比变幅分别为57.10~72.93、117.95~146.50, 早晚材管胞径向腔径变幅分别为38.96~46.68、10.76~12.92  $\mu\text{m}$ , 日本落叶松早晚材纤维长、纤维长宽比均显著高于华北、长白及兴安落叶松, 从管胞特征值分析, 日本落叶松较其它3种落叶松更具制浆造纸应用潜力;3个同母本种间杂交组合的多数指标表现出近母本且超父本的优势, 尤其以日×长( $R_2$ )、日×兴( $R_3$ )杂种超父本的优势更为明显;早晚材管胞长度有随年龄增长而增大的趋势, 之后逐步达到稳定值, 属Pashin II型, 早晚材管胞宽和早材管胞径向腔径则随年龄增长变化不大, 而晚材径向腔径表现出随年龄增加缓慢下降的趋势。综合管胞特征径向变化趋势, 初步确定落叶松纸浆材工艺成熟期为15~20年, 超过20年晚材壁腔比增加, 影响制浆造纸品质。

**关键词:**落叶松;种;杂交组合;管胞特征;微纤丝角;变异

中图分类号:S791.22

文献标识码:A

## Variation Analysis of Tracheid Characteristics and Microfibril Angle Among Species and Hybrids of *Larix* spp.

SUN Xiao-mei<sup>1</sup>, CHU Xiu-li<sup>1</sup>, ZHANG Shou-gong<sup>1</sup>, DING Biao<sup>2</sup>, ZHOU De-yi<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Dagujia Forest Farm in Qingyuan County, Qingyuan 113305, Liaoning, China)

**Abstract:** The variations in tracheid characteristics of earlywood and latewood of 4 species of *Larix* spp. and their hybrids with *L. kaempferi* as female parent were studied. The results are as follows: The tracheid characteristics and microfibril angle met or surpassed the requirements needed for superior pulp and paper properties. There were significant or extremely significant differences in the tracheid characteristics of earlywood and latewood among the species and hybrids. The variations of tracheid length for earlywood and latewood were 3 164.45–3 865.26  $\mu\text{m}$  and 3 318.51–4 200.87  $\mu\text{m}$  respectively. The ratios of tracheid length to width varied between 57.10 and 72.93 and 117.95 and 146.50 for earlywood and latewood separately. And that for internal diameter in radial direction were 38.96–46.68  $\mu\text{m}$  and 10.76–12.92  $\mu\text{m}$  for earlywood and latewood individually. Both of the tracheid lengths and the ratios of tracheid length to width for earlywood and latewood of *L. kaempferi* were larger than that of *L. principis-rupprechtii*, *L. olgensis* and *L. gmelini*. *L. kaempferi* is more suitable to be used as pulp and paper raw material than the other three species of based on the tracheid characteristics. Most of the tracheid characteristics of the 3 hybrids were closer to that of *L. kaempferi* 81, the female parent, and surpassed that of their paternal, especially

收稿日期:2010-10-15

基金项目:林业公益性行业科研专项经费项目(201104027)

作者简介:孙晓梅(1968—),女,博士,研究员。主要研究方向:落叶松良种选育及培育技术。Email: xmsun@caf.ac.cn

\* 中国林业科学研究院林业研究所马常耕研究员审阅本文并提出修改意见,特此致谢!

the interspecific hybrids of *L. kaempferi* × *L. olgensis*, and *L. kaempferi* × *L. gmelinii* far surpassed the values of their paternal species. The radial variation of tracheid length, which is belonged to Pashin II, increased sharply at first and then kept at a steady values both for earlywood and latewood. The radial variation of tracheid width for earlywood and latewood and the tracheid internal diameter in radial direction for earlywood did not change much with age. However the tracheid internal diameter in radial direction for latewood displayed decreased tendency during the observed period. The technical maturity of Larch stands for pulp and paper using should be between 15 and 20 years old according the radial variation in tracheid traits. The young trees of *Larix* spp. which are under 20 years old are more suitable for pulp and paper than older ones because of ratios of wall to cavity for latewood of the older are larger which would affect the quality of paper.

**Key words:** *Larix* spp.; species; hybrid; tracheid characteristic; microfibril angle; variation

我国现有落叶松 (*Larix* spp.) 人工林 286 万  $\text{hm}^2$ , 占人工林总面积的 7.14%, 是世界落叶松人工林面积最大的国家。落叶松也是我国四大纸浆用材树种之一。目前对落叶松管胞特征的研究已有很多, 但都限于单一树种管胞特性、微纤丝角的相关研究<sup>[1-10]</sup>, 对不同种间及杂种间管胞特征、微纤丝角的变异研究尚未见报道。本文以辽宁省清源县大孤家林场 1979 年营建的落叶松种及杂种对比试验林为对象, 开展了种间及杂种管胞特征及微纤丝角的变异分析, 以期对落叶松纸浆材性状改良及选育提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况和试验材料

试验林设在辽宁省清源县大孤家林场西山沟里, 坡度 24°, 坡向东。大孤家林场地处 52°45'21"N, 125°48'41"E, 属中温带季风气候区。年均气温 6 °C, 最低气温 -30 °C, 最高气温 34 °C。全年无霜期 128 d 左右, 年降水量 650 mm。该区属长白山系千山山脉龙岗支脉北坡。林地土壤为棕色森林土, 土层厚达 50 m, pH 值为 6.2 ~ 6.8。供试材料为 30 年生日本落叶松 (*Larix kaempferi* Carr.) (R)、长白落叶松 (*L. olgensis* Henry) (C)、兴安落叶松 (*L. gmelinii* Rupr.) (X)、华北落叶松 (*L. principis-rupprechtii* Mayr) (H) 4 个种、日 81 (R<sub>0</sub>) 自由授粉家系及日 81 × 日 34 (R<sub>1</sub>)、日 81 × 长 (R<sub>2</sub>)、日 81 × 兴 (R<sub>3</sub>)、日 81 × 华 (R<sub>4</sub>) 4 个杂交组合。试验林概况详见文献 [11]。2007 年春季对试验林进行全面测定, 根据测定结果每个种或杂交组合 (家系) 选取 3 株平均木伐倒进行材性取样, 锯取胸高处圆盘 10 cm, 其中, 长白和兴安落叶松由于株数较少, 只取 1 株平均木。

### 1.2 各指标测定

委托中国林业科学研究院木材工业研究所木材

科学与技术重点实验室进行管胞特征值和微纤丝角测定。

1.2.1 管胞特征测定 从圆盘上分别取 5、10、15、20、25 年 5 个年轮的早材晚材, 用刀劈制如火柴棒大小的小木棒, 每轮随机取 2 ~ 5 根, 用于离析。

离析后用投影生物显微镜 (型号 XST-2) 观察并测量管胞长、宽、径向腔径, 每个试样随机选取 50 根测定, 取其平均值。

管胞壁腔比 = (管胞宽 - 管胞径向腔径) / 管胞径向腔径。

1.2.2 微纤丝角测定 首先制取 6 cm 厚度的圆盘, 沿圆盘髓心取径向条, 木条表面刨光后, 厚度为 45 mm, 宽 10 mm, 然后在第 5、10、15、20、25 年 5 个年轮的早晚材里截取试样。年轮里截取径向厚度为 1.5 mm 的试样, 最终规格为 1.5 mm (R) × 15 mm (T) × 45 mm (L)。测试仪器为美国 Panalytical 公司的 X-射线粉末衍射仪 (X'Pert Pro)。将试样直接用双面胶垂直固定在旋转样品台上, 采用点聚集光源, 透射衍射模式。入射光路与试样弦面垂直, 接收光路与入射光路的夹角为 22.6°, 主要扫描参数如下: 管电压 40 Kv, 管电流 40 mA, 样品台旋转范围 0° ~ 360°。利用 Excel 脚本语言所编的程序, 根据衍射强度图谱 (每个试样出 2 个峰谱), 采用 40% 峰高宽法计算 2 个峰范围内微纤丝角, 取其平均值。

### 1.3 数据统计分析方法

采用 SAS6.12 版 PROC GLM 程序模块进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 种间管胞形态特征变异分析

管胞越长, 纸张撕裂度、抗拉强度、耐破度和耐折度等也越强。参试落叶松种间早晚材管胞长均值 (各落叶松种标准木圆盘第 5、10、15、20、25 年的 5

个年轮管胞长均值,下同)变幅分别为 3 164.45 ~ 3 672.62  $\mu\text{m}$ 、3 318.51 ~ 4 081.39  $\mu\text{m}$ ,属于长纤维<sup>[1]</sup>,完全满足纸浆用材要求,其中,日本落叶松(R)早、晚材管胞最长,分别为 3 672.62、4 081.39  $\mu\text{m}$ ,显著高于另外 3 个乡土落叶松种;早材管胞最短的是华北落叶松(H)为 3 164.45  $\mu\text{m}$ ,晚材管胞最短是长白落叶松(C)为 3 318.51  $\mu\text{m}$ ,兴安落叶松(X)居中,其早晚材管胞长分别为 3 304.87、3 672.40  $\mu\text{m}$ (表 1)。考察纸浆纤维优劣还应注意纤维特性的均一性<sup>[12]</sup>。种内管胞长变异系数均低于 10%(表 1),表明落叶松种内管胞长变异较小。

管胞长宽比是评价纸浆材的重要指标,直接影响纸浆得率、纸张抗拉强度、耐皱度和耐折度。优良的造纸材,管胞长宽比较大。根据纸浆造纸原料要求,一般认为长宽比大于 50 就适宜制浆造纸,且愈大愈好<sup>[1,4]</sup>。落叶松早晚材管胞长宽比均值变幅分别为 57.10 ~ 69.55、117.95 ~ 141.60,其中兴安落叶松早、晚材管胞最宽,分别为 57.32、30.12  $\mu\text{m}$ ;早、晚材管胞长宽比也比较小,分别为 57.10、122.80,日本落叶松早、晚材管胞长宽比最大,分别为 69.55 和 141.60,并与其它种的差异达显著或极显著水平(表 1)。

表 1 不同落叶松种及家系的管胞特征变异分析

种或家系	管胞长		管胞宽		管胞长宽比		
	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%	
早材	C	3 202.60C	49.04c		64.74bc		
	H	3 164.45C	6.3	49.90c	5.8	63.36cd	11.2
	X	3 304.87BC		57.32ab		57.10d	
	R	3 672.62A	8.9	52.61abc	6.8	69.55abc	6.4
	R <sub>0</sub>	3 832.58A	8.7	53.13abc	10.5	72.93a	11.6
	R <sub>1</sub>	3 865.26A	6.2	58.21a	8.1	66.19abc	7.9
	R <sub>2</sub>	3 714.29A	5.6	52.13bc	8.8	71.47ab	11.3
	R <sub>3</sub>	3 733.12A	9.1	53.97abc	5.5	68.94abc	6.5
	R <sub>4</sub>	3 600.43AB	6.7	50.92c	5.4	70.63abc	9.4
<i>F</i> 值		5.28 **		3.41 *		3.57 *	
晚材	C	3 318.51C	27.88b		118.85B		
	H	3 359.74C	8.9	28.42b	4.3	117.95B	7.0
	X	3 672.40BC		30.12a		122.80B	
	R	4 081.39A	4.6	28.89ab	5.4	141.60A	5.8
	R <sub>0</sub>	4 086.26A	5.1	29.28ab	3.9	139.52A	5.0
	R <sub>1</sub>	4 200.87A	6.3	28.68b	3.8	146.50A	6.5
	R <sub>2</sub>	4 019.26AB	6.8	28.48b	3.2	140.87A	7.2
	R <sub>3</sub>	4 024.89AB	5.6	28.43b	4.2	141.87A	6.8
	R <sub>4</sub>	3 991.45AB	6.8	28.57b	3.5	139.65A	7.3
<i>F</i> 值		6.93 **		1.56		7.24 **	

注: \*\* 表示极显著差异, \* 表示显著差异;大写字母 A、B、C 不同表示差异极显著,相同表示差异不显著;小写字母 a、b、c 不同表示差异显著,相同表示差异不显著,下同。

管胞腔越大,胞壁越薄,柔性系数越大<sup>[13]</sup>,所以对于纸浆材期望管胞有相对较大的腔径值。落叶松管胞径向腔径测定结果(表 2)表明:早材管胞腔径大于晚材,腔径均值达 42.58  $\mu\text{m}$ ,其中长白落叶松的腔径最小,也达 38.96  $\mu\text{m}$ ,而晚材管胞腔径集中在 11.18 ~ 12.92  $\mu\text{m}$  之间。种间管胞腔径值差异达显著或极显著水平,兴安落叶松早晚材管胞腔径显著或极显著大于长白和华北落叶松,但与日本落叶松间差异不显著。

胞间结合越紧密,成纸强度越大<sup>[14]</sup>。通常认为管胞的壁腔比 > 1 时属造纸劣质原料,壁腔比 = 1 时属造纸中等原料,壁腔比 < 1 时属造纸优质原料<sup>[13]</sup>。落叶松种间早材管胞壁腔比变幅为 0.25 ~ 0.27,远小于 1,因此选育时可不予考虑;而晚材壁腔比为 1.36 ~ 1.57,大于 1(表 2),且种间差异显著,因此可通过选育降低壁腔比值,日本、长白和兴安落叶松晚材壁腔比相对较低。早晚材壁腔比均值为 0.84,仍属于较优造纸原料。

管胞壁腔比越小,打浆时越容易崩解、帚化,管

落叶松晚材壁腔比较大,可以通过选育降低晚

材率<sup>[15-16]</sup>,从而提高纸浆质量。落叶松种间晚材率差异显著,日本落叶松晚材率最低(33.41%),兴安落叶松晚材率高达48.48%,说明日本落叶松比其他3个种更适合制浆造纸。

细胞次生壁S<sub>2</sub>层微纤丝排列方向与细胞主轴所

形成的夹角即为微纤丝角,其大小直接影响细胞的抗张强度,微纤丝角越小细胞抗张强度愈大<sup>[1]</sup>。参试落叶松种间的微纤丝角差异不显著,均值为16.65°,日本落叶松(19.12°)略高于其它树种(表2)。

表2 不同落叶松及其家系的早晚纤维特征变异分析

种或家系	早 材					
	管胞径向腔径		管胞壁腔比		微纤丝角	
	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%	均值	变异系数/%	均值/(°)	变异系数/%
C	38.96c		0.26a		15.91a	
H	39.94c	6.9	0.25a	6.1	15.68a	7.0
X	45.08ab		0.27a		15.90a	
R	41.91abc	7.1	0.26a	5.6	19.12a	24.7
R <sub>0</sub>	42.72abc	12.2	0.24a	19.5	18.60a	4.1
R <sub>1</sub>	45.89a	6.7	0.27a	17.3	17.18a	4.9
R <sub>2</sub>	41.01bc	8.3	0.27a	9.6	15.03a	12.3
R <sub>3</sub>	43.08abc	6.0	0.25a	9.7	16.02a	20.9
R <sub>4</sub>	40.57c	6.3	0.26a	9.2	18.37a	15.5
F 值	3.11*		0.69		0.818	

种或家系	晚 材					
	管胞径向腔径		管胞壁腔比		晚材率	
	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%	均值	变异系数/%	均值/ $\mu\text{m}$	变异系数/%
C	11.76BC		1.38b		41.72ab	
H	11.18BC	5.3	1.57ab	6.7	41.55ab	5.8
X	12.92A		1.36b		48.48a	
R	12.23AB	7.3	1.37b	15.2	33.41b	11.3
R <sub>0</sub>	11.65BC	8.4	1.53ab	11.3	39.15b	7.8
R <sub>1</sub>	10.76C	10.3	1.69a	12.7	37.34b	7.6
R <sub>2</sub>	11.21BC	7.8	1.55ab	10.5	39.19b	3.8
R <sub>3</sub>	10.88C	4.8	1.63a	9.3	36.27b	11.6
R <sub>4</sub>	11.32BC	7.3	1.54ab	13.1	40.93ab	13.7
F 值	4.43**		3.04*		2.324*	

不仅种源、无性系、树种间管胞形态特征存在较大变异,在同一树种的不同个体、不同部位、年轮间和年轮内也存在较大差异<sup>[17-18]</sup>。本研究分析结果表明:落叶松种间早晚材管胞长、早晚材管胞长宽比、早晚材管胞径向腔径、早材管胞宽和晚材管胞壁腔比差异显著或极显著(表1、2),说明落叶松种间管胞特征有丰富的变异。早、晚材管胞长变幅分别为3 164.45~3 672.62  $\mu\text{m}$ 、3 318.51~4 081.39  $\mu\text{m}$ 。晚材管胞长宽比和管胞腔径变幅分别为117.95~141.60  $\mu\text{m}$ 、11.18~12.92  $\mu\text{m}$ 。早材管胞长宽比和管胞径向腔径变幅分别为57.10~69.55  $\mu\text{m}$ 、38.96~45.08  $\mu\text{m}$ 。

## 2.2 种间杂种管胞形态特征变异分析

以日本落叶松为母本的种间杂种,尤其是日

×长、日×兴杂种兼备父本的抗寒性和母本的速生性,具有明显的杂种优势,是东北地区重点推广的良种<sup>[11]</sup>。通过上述研究可知:落叶松种间管胞形态特征存在着丰富的变异,日本落叶松综合指标明显优于其它3个种,那么以日本落叶松为母本的种间杂种的材性指标也是值得育种者关注的问题,以期通过杂交育种获得综合性状更优的杂交组合。

从表1可以看出:杂交组合间早晚材管胞长的差异不显著。与亲本相比,各杂种组合的管胞长表现更接近于母本日81,略低于母本,显著高于对照的父本落叶松,尤其是日81×长(R<sub>2</sub>)、日81×兴(R<sub>3</sub>)杂种表现更佳;管胞最长组合日81×日34(R<sub>1</sub>)的早晚材管胞长分别为3 865.26、4 200.87

$\mu\text{m}$ ,略高于母本日81,表现出一定的超亲优势。杂交组合日81 $\times$ 长( $R_2$ )、日81 $\times$ 兴( $R_3$ )的晚材管胞长宽比表现更偏向母本,显著高于父本,日81 $\times$ 日34( $R_1$ )组合也同样表现出超母本优势。

组合间早材管胞径向腔径的差异显著,日81 $\times$ 34( $R_1$ )显著高于其它组合;组合间晚材管胞径向腔径的差异不显著,各杂交组合更接近于母本,日 $\times$ 兴( $R_3$ )管胞腔径显著低于父本兴安落叶松(表2)。组合间早晚材壁腔比的差异不显著,但晚材壁腔比更接近于母本。组合间的微纤丝角和晚材率的差异不显著,但日81 $\times$ 兴( $R_3$ )的晚材率更接近于母本,显著低于对照父本(表2)。

### 2.3 落叶松种间管胞特征、微纤丝角及晚材率的径向变异

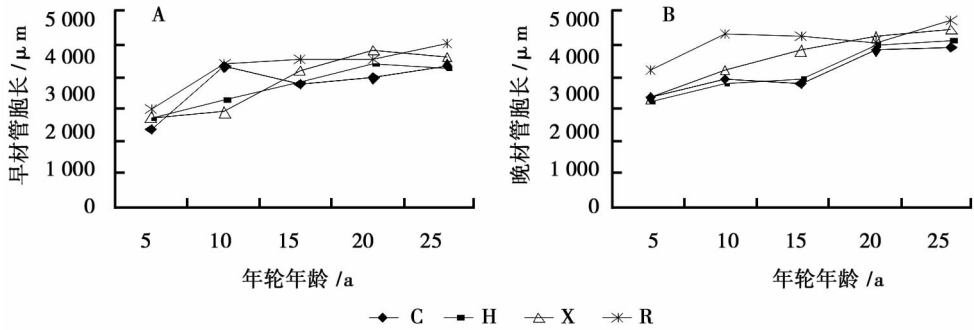


图1 落叶松种管胞长的径向变异

同样,长白(C)与日本(R)落叶松早晚材管胞宽的径向变异趋势较一致,而华北(H)与兴安(X)的变异趋势相近。不同种早晚材管胞宽随年龄增长均比较缓慢,早材的管胞宽度只在前10年迅速增

进一步分析4种落叶松管胞长、管胞宽及管胞径向腔径的径向变异,比较落叶松种间管胞直径特征值、微纤丝角及晚材率随年龄的变化趋势。

长白(C)与日本(R)落叶松的早晚材管胞长的径向变异趋势较一致,而华北(H)与兴安(X)的变异趋势比较相近。整体上,落叶松不同种早晚材管胞长度均随年龄的增长而增加,最后逐步达到稳定值。前10年管胞长度迅速增大,此后到15年间,管胞长增速变缓,15年之后基本停止,并趋于稳定(图1)。木材管胞径向变异有3类:Ⅰ型,成熟细胞长度保持稳定不变的水平曲线;Ⅱ型,幼龄材向成熟材细胞长度逐渐增加的过渡曲线;Ⅲ型,细胞长度增加到最大值然后减短的抛物曲线<sup>[19]</sup>。可见,落叶松管胞长的径向变化属第2种类型。

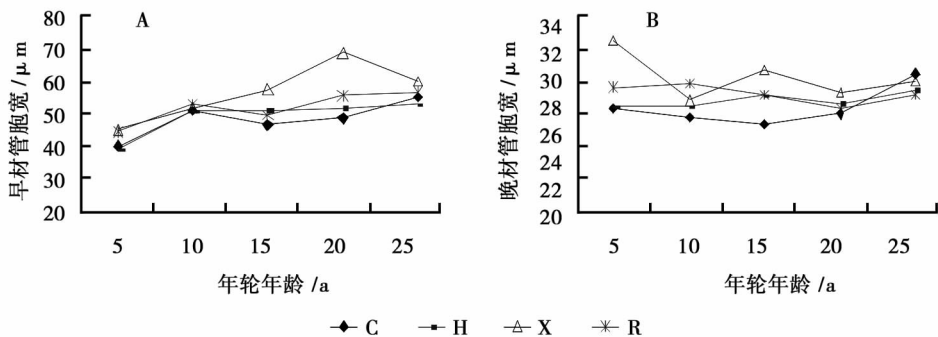


图2 落叶松种管胞宽的径向变异

落叶松早材管胞的径向腔径与宽的变化趋势一致(图2,3),受植物本身生长特点的影响,不同落叶松种早材管胞的径向腔径均随年龄的增长而较缓慢

大,10年后基本趋于稳定;晚材从开始测定年轮(第5年)起就呈现出管胞宽度随年龄增长缓慢甚至先降低(兴安落叶松)后基本稳定趋势(图2)。

的增长,并且只在前10年迅速增大,10年后基本趋于稳定;而兴安落叶松(X)20年时早材管胞腔径最大。不同落叶松种晚材管胞腔径从开始测定年轮年

龄(第5年)起,非但没有增大反而呈现出随年龄增

长缓慢下降的趋势。

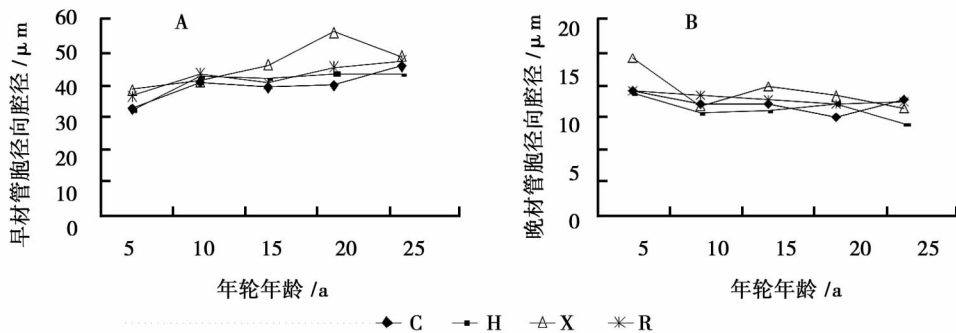


图3 落叶松种管胞腔径的径向变异

日本、长白落叶松与华北、兴安落叶松微纤丝角径向的变异略有不同,在很大程度上是因为微纤丝角受中到强度遗传控制<sup>[9,20]</sup>;但从整体上看,从5年生开始微纤丝角有随年龄增加而下降的趋势,15年之后基本稳定(图4 A)。

落叶松晚材率则呈现出随年龄增加而递增的趋势,到第10年,就呈现出较稳定趋势(图4 B)。5年生时,落叶松晚材率均值为29.98%,10年生时增加

到46.19%,之后趋于稳定。

落叶松管胞非直接特征(如长宽比、壁腔比)的径向变异结果未在本文中显现,对其进行分析表明:不同落叶松种管胞长宽比径向变异趋势与其管胞长相似。管胞壁腔比径向变异趋势与管胞径向腔径呈反相关,即晚材壁腔比随年龄增长而增加。因此,落叶松晚材壁腔比较大,而幼龄材的晚材率低,壁腔比小,更有利于制浆造纸。

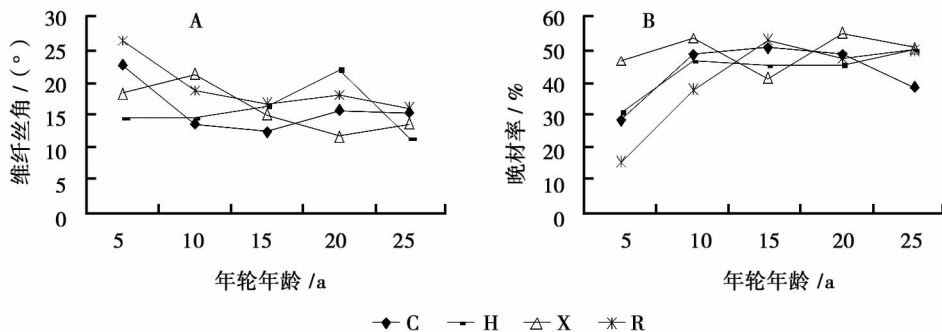


图4 落叶松种微纤丝角和晚材率的径向变异

### 3 结论与讨论

管胞形态指标如管胞长度、长宽比、壁腔比等将直接影响纸浆及纸张质量<sup>[1]</sup>。针叶材管胞占组成体积的90%以上<sup>[21]</sup>,可认为,管胞长度越长、长宽比越大,纸张各项物理力学性能更能得到有效提高<sup>[22-23]</sup>;而木材微纤丝角越小,木材强度越高,纸张性能越好<sup>[17,24]</sup>。落叶松各管胞特征值、微纤丝角基本符合甚至远超过较优纸浆材筛选指标要求,同时其种内、杂交组合内变异较小,适于作为制浆造纸原料;落叶松作为纸浆材的不利因素是晚材管胞壁腔比稍大(略大于1,马尾松幼龄材、成熟材晚材管胞

壁腔比分别为1.05、1.18<sup>[25]</sup>),但其种间早材管胞壁腔比小于0.27,同时落叶松晚材率不足40%,特别是幼龄期晚材率更低,因此其早晚材壁腔比均值仍小于1。另外种间晚材壁腔比和晚材率均存在显著变异,通过有针对性的选育,还将会更有效地改善其制浆造纸性能。

落叶松种间早晚材管胞特征值的差异显著或极显著。日本落叶松早晚材纤维长、纤维长宽比均显著高于华北、长白及兴安落叶松,而早晚材壁腔比则与其它三种落叶松没有显著差异,因此从管胞特征值分析,日本落叶松比其它三种落叶松更具制浆造纸应用潜力。以日本落叶松为母本的种间杂种的早

晚材管胞特征值更接近于母本,而显著高于对照父本,尤其是日 $81 \times$ 长( $R_2$ )和日 $81 \times$ 兴( $R_3$ )杂交组合在纸浆关键性状早晚材纤维长和纤维长宽比上显著高于长白、兴安落叶松,而日 $\times$ 兴( $R_3$ )的晚材率显著低于对照父本。因此,日 $\times$ 长、日 $\times$ 兴杂种不仅在适应性和生长量方面明显优于母本<sup>[11]</sup>,在纸浆纤维特性方面也更接近母本日本落叶松,较对照父本得到明显改善,表现出近亲且超亲杂种优势。

本研究中落叶松早晚材管胞长度随年龄变化的趋势属 Pashin II 型,与长白落叶松<sup>[26]</sup>、日本落叶松<sup>[9]</sup>和兴安落叶松<sup>[1]</sup>管胞长度的径向变化相一致。该趋势符合树木生长发育过程中树龄对材性影响的客观规律,即木材髓心附近,处幼龄期,形成层原始细胞尚未发育成熟,管胞较短,分裂快,导致管胞长度迅速增长。激素变化受树木生长发育变化的影响,到一定时期促进细胞伸长的激素增多,细胞长度增长加快,到后期抑制细胞增长的激素增多,细胞增长受到抑制达稳定状态<sup>[19]</sup>。早晚材管胞宽随年龄的增长而缓慢增速。管胞分化、生长过程中,细胞腔增大,细胞壁加厚,但增大和加厚非常有限,因此,管胞宽和壁腔比总体变异不大的趋势可能与细胞分化和生长的幅度有关。形成层原始细胞分化过程中主要是细胞伸长生长,所以幼龄期向成熟期过渡过程中,管胞长度增长较快,而管胞宽度(包括管胞腔和胞壁厚度)增加较慢且少<sup>[19]</sup>。早材管胞径向腔径与早材管胞宽的变化趋势一致,而晚材管胞径向腔径表现出随年龄增加而缓慢下降的趋势。出现这种趋势的原因可能与管胞胞壁加厚致使管胞腔径略微变窄有关。气候变化条件下,管胞宽和管胞壁厚不可能同时增加<sup>[27]</sup>,因此,管胞径向腔径随年龄可能有不同的变化趋势。微纤丝角表现出随年龄增长而下降的趋势,与湿地松树<sup>[28]</sup>、马尾松<sup>[29]</sup>、杉木<sup>[30]</sup>、日本落叶松<sup>[9]</sup>、兴安落叶松<sup>[1]</sup>的变化趋势一致;而晚材率随年龄的变化趋势与微纤丝角相反。管胞是衡量木材工艺成熟的重要指标,当管胞随年龄增长并达到平稳后,林分进入工艺成熟期<sup>[31]</sup>。由落叶松管胞特征值径向变异可知,15年后各管胞特征值基本趋于稳定,故初步定落叶松纸浆林工艺成熟龄为15~20年。

本文只对落叶松种间及其杂种的管胞特征、微纤丝角及晚材率进行了研究,今后还将进一步开展种间及其杂种纸浆得率等化学性状的研究。

## 参考文献:

- [1] 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
- [2] Yoshizawa N, Kiyomiya M, Idei T. Variations in tracheid length and morphological changes in tracheid tips associated with the development of compression wood[J]. Wood Science and Technology, 1987, 21(1): 1-10
- [3] 李国范,卓丽环,黄普华,等.两种材色的兴安落叶松木材的超微结构与木材分子的比较研究[J].东北林业大学学报,1995,23(1):1-9
- [4] 陈广胜,郭明辉,黄冶,等.不同初值密度兴安落叶松人工林木材解剖特征的径向变异[J].东北林业大学学报,2001,29(2):12-16
- [5] Meylan B A. Microfibril angle as a parameter in timber quality assessment[J]. For Prod J, 1969, 19(4): 30-33
- [6] 郭明辉,赵西平,陈广胜,等.坡向对人工林落叶松纤维形态及造纸性能的影响[J].东北林业大学学报,2002(b),30(3):21-23
- [7] 郭明辉,陈广胜,王金满,等.初植密度对落叶松人工林纸浆材质的影响[J].东北林业大学学报,2003,31(4):18-19
- [8] 谢新良,石淑兰,魏德津,等.日本落叶松化学组成与纤维特性的研究[J].国际造纸,2004,23(1):24-28
- [9] 马顺兴,王军辉,张守攻,等.日本落叶松无性系微纤丝角遗传变异的研究[J].林业科学研究,2006,19(2):188-191
- [10] 郭明辉,陈广胜,王金满,等.不同土质对人工林落叶松纤维形态及造纸性能的影响[J].东北林业大学学报,2002(a),30(2):43-45
- [11] 孙晓梅,张守攻,周德义,等.落叶松种间及种内和种间杂种家系间的物候变异与早期选择[J].林业科学,2008,44(1):77-84
- [12] 吕士行,方升佐,徐锡增.杨树定向培育技术[M].北京:中国林业出版社,1997
- [13] 赵荣军,郭俊荣,杨培华,等.油松半同胞子代及亲本木材管胞形态特征的比较[J].西北林学院学报,1999,14(1):6-9
- [14] 周崑.落叶松间伐幼龄材的材质及其造纸性质兼论伐期的造林问题[J].林业科学,1980,24(3):163
- [15] 赵西平,郭明辉.落叶松管胞形态与气候变化关系的实证分析[J].东北林业大学学报,2009,37(7):45-48
- [16] Roth B E, Li X, Huber D, et al. Effects of management intensity, genetics and planting density on wood stiffness in a plantation of juvenile loblolly pine in the southeastern USA[J]. Forest Ecology and Management, 2007(246):155-162
- [17] 成俊卿.中国木材学[M].北京:中国林业出版社,1985
- [18] 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
- [19] Panshin A J, De Zeeuw C. Textbook of wood technology[J]. New York: McGraw-Hill, 1980: 302-306
- [20] Gaspar M J, Lousada J L, Rodrigues J C, et al. Does selecting for improved growth affect wood quality of *Pinus pinaster* in Portugal[J]. Forest Ecology and Management, 2009(258):115-121

- [21] 郭明辉. 红松人工林木材解剖特征的径向变异[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(4): 12-15
- [22] 朱教君. 杨树林带木材纤维长度变化规律及其在经营中的应用[J]. 林业科学, 1994, 30(1): 50-56
- [23] 汪贵斌, 曹福亮, 柳学军, 等. 落羽杉种源木材微纤丝角和管胞形态的变异[J]. 林业科学, 2007, 43(6): 118-122
- [24] Lasserre J P, Mason E G, Watt M S, *et al.* Influence of initial planting spacing and genotype on microfibril angle, wood density, fibre properties and modulus of elasticity in *Pinus radiata* D. Don corewood[J]. Forest Ecology and Management, 2009(258):1924-1931
- [25] 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
- [26] 陆文达, 刘一星. 不同地理种源的人工林长白落叶松木材材性的研究[J]. 木材工业, 1993, 7(1): 34-37
- [27] Antonova G F, Stasova V V. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stems[J]. Trees, 1997, 11 (8) : 462-468
- [28] 徐有明, 陈士银, 方文彬. 湿地松木材管胞长度微纤丝角的变异及其相关性分析[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(1): 83-87
- [29] 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
- [30] 黄寿先, 施季森, 李 力, 等. 杉木无性系微纤丝角遗传变异的研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2005, 29(1): 11-14
- [31] 王挺良, 林金国, 陈天文. 南方红豆杉人工林木材管胞形态特征研究[J]. 林业勘察设计(福建), 2002 (1): 9-10