

马尾松生长和材性的地理遗传变异 及最优种源区的划定*

周志春 傅玉狮 吴天林

摘要 对10年生90个产地的材积生长和木材性状研究表明,马尾松树干材积和木材基本密度具有显著的种源区和产地效应,树干材积由北向南逐渐增大,而基本密度的最高值在分布区的西北,由北向南逐渐减小,最低值在分布区的中带,由中带向南又略有增加。管胞长度的种源区和产地效应很小,无一定的地理变异趋势。鉴于树干材积和基本密度之间高度的负遗传相关以及两性状显著的种源效应,在进行种源或产地选择时应强调以生长量改良为主、材性改良为辅,此时对树干材积和基本密度作无约束指数选择,发现福建西部、江西中南、湖南南端、广东西北和广西东南这个带状区域是马尾松造纸材的优良种源区。

关键词 马尾松、生长—材性、地理遗传变异、最优种源区

在大规模栽植一非本地种源时,对其获得的增益和所冒的风险必须进行权衡,由风险造成的损失应在经济允许的范围内。目前材积生长量大的马尾松南方种源向北一定距离推移被认为是可行的,在生产上已产生了一定的经济效益。这种种源推移往往依据单位面积的材积生长量(由单株材积和成活率决定),而忽略了木材密度这个重要的木材内在因子。木材密度决定单位体积的干物质产量,影响纸浆、纸张的性能,Zobel等^[1]指出,木材密度的微小变化(+0.04 g/cm³)将致使每公顷干物质产量发生巨大的变化。除木材密度外,管胞长度也是一个强烈影响纸浆、纸张性能的材性指标,也常作为林木育种的目标性状。由于环境因子与木材形成关系密切,种源推移将会对木材性状产生较大的影响。

马尾松是我国南方主要造纸原料树种,如福建省的南平、青州和福州三大纸厂就年耗100万 m³,到“八五”期末将超过200万 m³。面对如此巨大的松材市场,很多省份已开始积极筹建马尾松造纸林基地。但如何为基地建设提供生长与材性兼优的良种是林木育种学家最关心的一个问题。马尾松造纸材材性的种源变异曾有过报道^[2,3],但分析的种源数都比较少,本文将通过设立在闽北地区90个产地的种源试验,探索马尾松树干材积和木材性状的地理遗传变异规律,为福建省马尾松造纸林基地建设提供一批生长与材性兼优的种源或产地。

1 材料与方法

种源试验林设置在福建省邵武市卫闽林场,包括马尾松6个种源区^[4]的90个产地(见表6),

1992—11—02收稿。

周志春助理研究员,吴天林(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);傅玉狮(福建省林业科学研究所)。

* 在野外木材取样时得到福建省邵武市卫闽林场陈玄坤和陈建海两同志大力协助,谨此致谢。

系全国第一次全分布区种源试验, 1979~1980年采种育苗, 1981年春造林, 平衡不完全区组设计, 10次重复, 5株单行小区, 株行距 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 。1991年冬进行木材取样, 每小区选择一树干通直、无病虫害、树冠正常的最佳植株作为样木, 在其胸高处上坡方位用直径 6 mm 的生长锥取得由髓心至树皮的木芯, 同时测定其树高(H)和胸径(D), 并用部颁标准估算单株材积

$$V = 0.000\ 062\ 341\ 803\ D^{1.856\ 149\ 7} H^{0.866\ 849\ 2}$$

在室内用最大含水量法测定木芯的基本密度^[6], 木芯最外一轮混合试样用来测定管胞长度, 用硝酸法离析, 经番红染色, 在生物投影显微镜下($40\times$)测定30根完整管胞的长度。

由于种源间强烈的生存竞争, 有相当种源的小区植株已全部死亡, 这里我们按完全随机设计进行分析, 方差分析模型以及种源区、产地遗传力的估算参考 Yeh 等一文^[6], 性状遗传相关则依据 Falconer 公式^[7]求得。利用南京林业大学叶志宏开发的林木遗传改良实用统计应用软件包(SPQG)^[1]进行二维多项式趋势面分析来研究性状的地理变异趋势。按 Cotterill 等提出的等权法(Equal Emphasis)^[8]求得性状的相对经济权重, 参考陈瑶生等^[9]建立无约束和约束选择指数, 并以此选择生长与材性兼优的种源或产地。

2 结果与分析

2.1 树干材积和木材性状的种源变异

2.1.1 地理遗传变异 按种源区和种源区内产地两个层次进行方差分析, 结果表明(表1), 树干材积和基本密度在种源区和种源区内产地两水平上都具有显著的遗传差异, 而管胞长度的差异性则很小。与基本密度相比, 树干材积的种源区和产地效应较大, 分别占总变异的26%和18%, 基本密度的种源区和产地效应仅占总变异的5%左右, 主要变异来源于产地内个体间。从表1还可以看出树干材积和基本密度的种源区和产地遗传力较高, 在这两层次的选择可望获得巨大的效益。

表1 性状方差分量及遗传力估算值

性 状	方 差 分 量 (%)			遗 传 力	
	σ^2_{pr}	σ^2_{ss}	σ^2_e	h^2_{pr}	h^2_{ss}
树干材积	0.000174** (25.8)	0.000120** (17.8)	0.000381 (56.4)	0.9385	0.7570
基本密度	0.000072** (4.8)	0.000084** (5.6)	0.001348 (89.6)	0.8420	0.3802
管胞长度	0.000759 (1.0)	0.000684 (0.9)	0.077266 (98.1)	0.5557	0.0802

注: ①**——1%显著水平; *——5%显著水平(下同); ②pr(provenance region), ss(seed source within provenance region)和e(error)分别代表种源区, 种源区内产地和误差。

表2列出了6个种源区的材积生长和木材性状的均值, 单株树干材积以南带西区和南带东区最高, 分别为 0.0808 m^3 和 0.0636 m^3 , 北带区最低, 为 0.0358 m^3 , 仅为前两者的 $1/3 \sim 1/2$; 基本密度以北带区和四川区最高($>0.37\text{ g/cm}^3$), 中带东区和中带西区最低, 分别为 0.3576 g/cm^3 和 0.3560 g/cm^3 , 管胞长度在各区之间基本一致。

1) 叶志宏. 林木遗传改良实用统计应用软件包(SPQG). 1991.

表2 不同种源区材积生长和木材性状的均值及变幅

种源区(产地数)	树干材积 (m³)		基本密度 (g/cm³)		管胞长度(mm)	
	均值	变幅	均值	变幅	均值	变幅
北带区(20)	0.035 8	(0.016 6~0.050 9)	0.377 9	(0.360 4~0.417 3)	3.55	(3.39~3.74)
四川区(3)	0.046 5	(0.042 1~0.054 9)	0.370 1	(0.356 7~0.379 2)	3.57	(3.47~3.71)
中带东区(28)	0.055 5	(0.030 1~0.099 3)	0.357 6	(0.315 0~0.390 7)	3.56	(3.35~3.74)
中带西区(14)	0.058 2	(0.044 1~0.078 4)	0.356 0	(0.334 7~0.390 1)	3.63	(3.56~3.75)
南带东区(19)	0.063 6	(0.034 9~0.100 1)	0.361 7	(0.342 5~0.398 6)	3.60	(3.44~3.78)
南带西区(6)	0.080 8	(0.071 5~0.092 9)	0.359 0	(0.346 4~0.365 3)	3.52	(3.30~3.61)

2.1.2 地理变异趋势及其生态学基础 表3表明树干材积和基本密度与产地纬度的相关性极为显著,而与经度无关,这种随纬度的变异趋势其实是由原产地温度和湿度双重因子控制的,由二维多项式趋势面(图1)能更清楚地说明这一地理变异规律,树干材积随纬度升高而减

表3 树干材积、木材性状与产地经纬度和气候因子的相关系数

性 状	纬 度	经 度	年 均 温	一 月 均 温	>10℃ 积 温	无 霜 期	年 降 雨 量
树干材积	-0.751 4**	-0.120 2	0.580 3**	0.643 5**	0.502 2**	0.566 9**	0.379 6**
基本密度	0.304 6**	0.027 8	-0.317 3**	-0.269 6**	-0.153 3	-0.264 4*	-0.311 5**
管胞长度	-0.171 5	0.203 3	0.039 0	0.069 3	0.014 8	0.182 0	-0.027 1

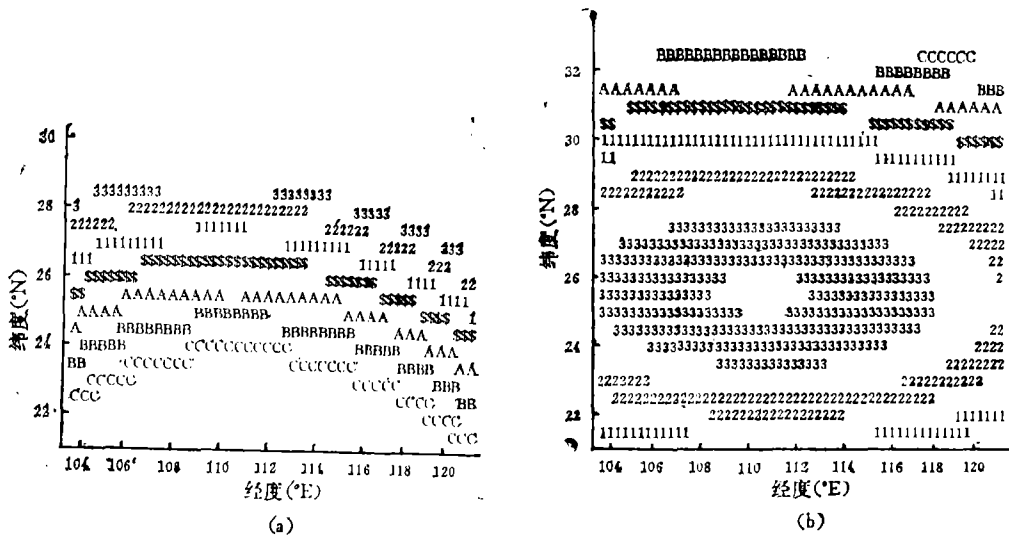


图1 示马尾松种源树干材积、基本密度与产地经(x)纬(y)度的二维趋势面

(等值线 3 > 2 > 1 > \$ > A > B > C)

(a) 树干材积: $z = -1.0716 + 0.1939x + 0.8749y - 0.8266x^2 - 0.4303xy - 0.1589y^2$

拟合优度(C) = 0.5909 复相关系数(R) = 0.768

参照等值线(\$)值 = 0.0545 m³ 等值线间隔 = 0.0020 m³

(b) 基本密度: $z = 1.6984 - 0.1512x - 0.4074y + 0.6524x^2 + 0.2589xy + 0.7388y^2$

拟合优度(C) = 0.3276 复相关系数(R) = 0.5723

参照等值线(\$)值 = 0.3632 g/cm³ 等值线间隔 = 0.0040 g/cm³

少，基本保持其原产地的生长特性，而基本密度与其有很大差异，最高值在分布区的西北，即陕西和河南一带，由北向南逐渐减小，最低值在分布区的中带，而由中带向南又略有增加，南带的密度值低于北带。管胞长度与产地的经纬度和气候因子无关。

2.2 生长和材性兼优种源区的划定

2.2.1 性状间的遗传相关 研究发现在种源或产地水平上树干材积和基本密度存在着高度负遗传相关($r = -0.8567$, 见表 4), 类似于作者对 26 个产地 5 年生幼龄材的报道^[2], 作者曾发现在种源水平上树高和胸径与基本密度呈显著负相关, 而在个体水平上其相关性却很低。

表 4 性状间的遗传和表型相关系数

性 状	树干材积	基本密度	
基本密度	<i>P</i>	-0.5787	
	<i>G</i>	-0.8567	
	<i>E</i>	-0.0801	
管胞长度	<i>P</i>	0.2068	-0.3618
	<i>G</i>	0.6777	-0.9999
	<i>E</i>	-0.0259	0.0168

当我们采用常规方法选择生长迅速的种源或产地时就无法避免基本密度的降低, 和幼龄材材性的变劣。从遗传上讲, 可以通过运用选择指数加以克服。另外还发现树干材积与管胞长度呈高度正遗传相关, 但由于管胞长度的种源或产地效应很小, 选择的效果不大, 因此下面主要讨论树干材积和基本密度这两个经济价值高、变异性大的性状。

2.2.2 多性状指数选择 用 I 表示选择指数, H 表示综合育种值, $I = x'b$, $H = g'a$, x' 、 g' 、 a' 、 b' 分别为性状表型值、遗传型值、相对经济权重和指数系数的行向量, 无约束和约束指数行向量 b' 的估算公式分别如下:

$$b_0 = P^{-1}Ga; \quad b_r = [E - P^{-1}GR(R'GP^{-1}GR)^{-1}R'G]P^{-1}Ga$$

这里 P , G 分别为性状的表型和遗传型方差协方差矩阵, E 为单位矩阵, R 为性状的约束矩阵, R 中的每一列向量对应于一个约束性状, 该列向量中对应于约束性状的元素取值 1, 其它元素取 0。

相对经济权重按等权法估算, 假设各性状表型标准差的单位变化量具有同等重要性, 这样树干材积和基本密度的相对经济权重分别为 1.00 和 1.04 (表 5), 此时作无约束指数选择, 虽然基本密度能获得一定的增益, 但树干材积却发生了显著的负向变化, 这并不是我们所期

表 5 各种选择指数的遗传参数

相对经济权重	指 数	各性状的遗传进展		指数系数的行向量		
		<i>V</i>	<i>SG</i>	<i>V</i>	<i>SG</i>	
生长、材性改良并重 (Equal emphasis)						
1.00	1.04	A_1	-0.0029	0.0079	0.2792	0.3813
		B_1	0.0047	0	0.3242	0.2677
生长改良为主 (Growth emphasis)						
10.00	1.04	A_2	0.0162	-0.0163	5.7897	-3.7540
		B_2	0.0047	0	3.2424	2.6773
100.00	1.04	A_3	0.0162	-0.0165	60.8938	-45.1072
		B_3	0.0047	0	32.4235	26.7728

注: ① A ——无约束指数; B ——使基本密度遗传增益为 0 的约束指数。② 这里选择强度 $i = 1$ 。

望的，而作约束选择时，尽管基本密度保持平均水平不变，但由于两性状存在着高度的负遗传相关，树干材积获得的增益也很有限。可以说等权法是一种估算权重的简单方法，但前提假设与实际情况有一定距离，我们可以在等权法的基础上根据实际情况(如主攻方向或目标)扩大或缩小某一(类)性状的权重。Zobel等^[10]指出生长量以及抗性、适应性的改良应作为林木育种的主程序，而材性改良应作为这一主程序的补充。这里我们将树干材积的权重分别扩大10倍和100倍，此时再作无约束选择，基本密度发生了负向进展，但树干材积获得了巨大的增益，可以补偿因基本密度负向增长所引起的损失，在种源(产地)这个层次上，这不失为一种理想的选择指数。由于指数方程仅含两个性状，因此约束选择的结果与性状经济权重无关，两性状在指数方程中的相对效应保持不变。

表6列出了90个产地的树干材积、基本密度和选择指数(A₂)值，图2则具体地说明了指数值大于平均水平和大于平均水平10%的产地分布情况，可以看出福建西部、江西中南、湖南南端、广东西北和广西东南这个呈西南至东北走向的带状区域是马尾松最优种源区，在这区域中10个最佳产地分别为：广东广宁、江西崇义、湖南汝城、福建长汀、广西岑溪、福建永定、广东罗定、福建邵武、湖南绥宁和广西宁明。在闽北以及气候条件相似的地区营建纸浆林基地可以考虑采用这10个产地的种子，特别应立足于福建本省的西部种源，这里的种源不仅生长材质兼优而且适应性强，种子产量高，要给予足够的重视。

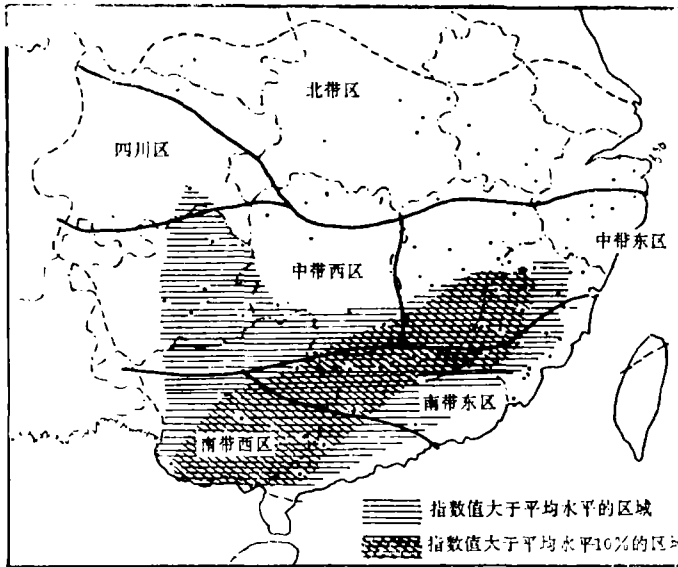


图2 马尾松造纸材的最佳种源区示意

表6 90个产地的树干材积(V)、木材基本密度(SG)和选择指数值(A_2)

产地	V	SG	指数(A_2)	产地	V	SG	指数(A_2)
1 陕西城固	0.031 2	0.373 0	-1.219 6	44 江西余江	0.041 4	0.352 6	-1.084 0
2 南郑	0.029 9	0.378 5	-1.247 8	46 吉安	0.053 0	0.356 3	-1.030 7
3 河南新县	0.020 7	0.415 9	-1.441 4	47 浙江永康	0.039 0	0.373 5	-1.176 3
4 固始	0.030 3	0.417 3	-1.391 1	49 三门	0.049 9	0.383 3	-1.150 0
5 信阳	0.025 9	0.401 8	-1.358 4	50 开化	0.051 1	0.363 6	-1.069 1
7 四川南江	0.044 4	0.368 4	-1.125 9	52 遂昌	0.047 4	0.359 0	-1.073 3
10 湖北红安	0.028 8	0.382 0	-1.267 3	53 庆元	0.057 8	0.349 0	-0.975 5
11 通山	0.050 4	0.363 2	-1.071 7	54 缙云	0.031 0	0.365 9	-1.194 1
12 远安	0.038 6	0.390 0	-1.240 6	55 仙居	0.040 9	0.362 7	-1.124 8
13 安徽霍山	0.029 9	0.360 4	-1.179 8	70 福建顺昌	0.074 4	0.361 2	-0.925 2
14 屯溪	0.041 1	0.374 5	-1.167 9	71 建阳	0.066 8	0.354 3	-0.943 3
15 太平	0.045 8	0.368 3	-1.117 4	72 邵武	0.074 4	0.344 9	-0.864 0
16 潜山	0.026 8	0.377 5	-1.413 0	73 光泽	0.052 9	0.358 7	-1.040 3
17 泾县	0.042 2	0.386 3	-1.205 8	74 三明	0.068 1	0.337 6	-0.873 1
26 湖南临湘	0.042 3	0.375 2	-1.163 6	75 建宁	0.051 3	0.371 9	-1.099 1
28 慈利	0.050 9	0.362 1	-1.064 6	76 周宁	0.060 8	0.357 4	-0.989 7
30 澄县	0.044 8	0.370 2	-1.130 4	77 福鼎	0.044 0	0.390 7	-1.211 9
45 江西武宁	0.016 6	0.349 6	-1.216 3	78 古田	0.051 6	0.342 1	-0.985 5
48 浙江鄞县	0.028 1	0.377 5	-1.254 4	86 长汀	0.063 2	0.315 0	-0.816 6
51 榉县	0.037 0	0.362 4	-1.146 2	87 连城	0.059 9	0.341 3	-0.934 4
6 四川蒲江	0.042 6	0.379 2	-1.176 9	57 广东信宜	0.079 8	0.362 7	-0.899 6
8 涪陵	0.054 9	0.356 7	-1.021 2	60 罗定	0.087 5	0.362 2	-0.853 1
9 南溪	0.042 1	0.374 6	-1.358 4	62 高州	0.071 5	0.360 1	-0.937 9
18 贵州凯里	0.052 4	0.360 1	-1.048 4	66 广西岑溪	0.092 9	0.365 3	-0.833 5
19 黎平	0.046 2	0.340 4	-1.010 4	68 忻城	0.075 5	0.357 3	-0.904 2
20 都匀	0.053 0	0.390 1	-1.157 6	69 宁明	0.074 4	0.346 4	-0.869 6
21 德江	0.051 4	0.350 2	-1.017 1	39 江西安远	0.069 1	0.359 4	-0.949 1
22 黄平	0.061 9	0.355 7	-0.976 9	56 广东博罗	0.061 6	0.367 9	-1.024 5
23 松桃	0.044 1	0.344 8	-1.039 1	58 连县	0.056 2	0.349 9	-0.988 1
24 贵阳	0.053 8	0.359 9	-1.039 6	59 南雄	0.067 6	0.350 1	-0.922 9
25 湖南绥宁	0.070 4	0.339 9	-0.868 4	61 英德	0.076 4	0.361 9	-0.916 2
27 常宁	0.057 9	0.356 3	-1.002 3	63 乳源	0.071 0	0.355 6	-0.923 9
29 安化	0.048 9	0.369 5	-1.104 0	64 广宁	0.100 1	0.342 5	-0.706 2
31 汝城	0.078 4	0.334 7	-0.802 6	65 韶关	0.078 5	0.380 3	-0.973 2
32 江永	0.073 1	0.358 6	-0.923 0	67 广西恭城	0.059 3	0.350 7	-0.973 2
33 资兴	0.075 4	0.349 9	-0.877 0	79 福建闽清	0.057 8	0.364 1	-1.032 2
34 永顺	0.047 5	0.376 9	-1.139 9	80 仙游	0.071 4	0.362 7	-0.948 2
35 江西安福	0.048 8	0.356 2	-1.054 6	81 诏安	0.044 0	0.366 2	-1.120 0
36 崇义	0.099 3	0.349 0	-0.735 2	82 长泰	0.043 3	0.377 5	-1.166 4
37 崇仁	0.065 7	0.351 0	-0.937 3	83 德化	0.069 4	0.351 1	-0.916 2
38 靖江	0.048 8	0.373 8	-1.120 7	84 南安	0.043 3	0.383 0	-1.187 1
40 石城	0.063 2	0.366 3	-1.009 2	85 漳浦	0.034 9	0.398 6	-1.294 3
41 万载	0.036 9	0.358 2	-1.131 0	88 漳平	0.060 1	0.348 1	-0.958 8
42 资溪	0.064 9	0.352 5	-0.947 5	89 永定	0.079 6	0.349 1	-0.849 7
43 德兴	0.044 2	0.363 9	-1.110 2	90 武平	0.063 9	0.356 2	-0.967 2
				总体平均	0.054 8	0.363 1	-1.045 8

3 问题与讨论

3.1 种源试验林的木材取样方法

种源试验一般含有众多的产地, 试验规模非常巨大, 为了消除立地条件的影响, 往往采用完全随机区组或不完全随机区组设计, 试验小区4~10株, 单列或双列小区。由于不同种源基本保持其原产地的生长特性, 因而小区间存在着强烈的生存竞争, 随着树龄的增大这种竞争更加剧烈, 众多种源的生长受到不同程度的抑制, 相当的种源甚至死亡, 这样种源间的差异将人为地加大, 不能客观地反映实际情况。在这种试验林中进行木材取样时, 作者认为应选择小区中的最佳植株作为样木, 这里最佳植株生长超群, 树干通直, 树冠正常, 非双荚木。最佳植株不仅性状表达得最为充分, 而且能精确地反映各种源的平均水平^[11]。利用最佳植株可以减小因竞争而致使种源差异估算偏高的现象, 在种源选择的同时还能结合种源内的个体选择。在最佳植株胸高处取样时, 建议在树干的上坡方位进行, 钻取一髓心至树皮的径向样品, 在上坡方位取样不仅操作方便, 而且木材所含的应压木(compression wood)也较少。在取样时应避开树节和其它木材缺陷。

3.2 生长和材性的地理遗传变异

由于长期选择与进化的结果, 一广泛分布的物种形成了许多不同的地理小种或种源, 如高纬度的种源生长缓慢, 对雪压、风害和冻害的抗性较强。种源间的生长差异一般受遗传控制, 如将低纬度的种源向北推移, 将基本保持原产地生长快, 但不耐雪压、冻害和风害的特性。然而木材性状与产地经纬度之间并不是这种简单关系, 对于天然林分而言, 高纬度的树木木材密度较低, 管胞较短, 这种随纬度的变化趋势在南方松和一些欧洲针叶树中非常显著。但木材性状在种源间的遗传差异通常很小甚至不存在。木材性状的地理遗传变异趋势一般很弱, 如存在这种趋势, 木材密度往往随纬度的增高和海拔升高而减小^[12]。

和多数南方松和欧洲针叶树一样, 马尾松木材基本密度和管胞长度的天然林分的表型变异有随纬度增高而减小的趋势¹⁾。当将众多种源或产地栽植在同一个地点时, 马尾松基本上保持其原产地的生长特性, 然而在新的环境中, 木材性状会受到环境因子的强烈影响发生较大的变化。作者曾对5年生26个马尾松产地进行了研究, 未发现基本密度和管胞长度在种源间的显著差异性^[2], 但本文却发现10年生的马尾松其基本密度存在着显著的种源区和产地效应, 并随着纬度的增高而增加, 最大值在分布区的西北, 这与天然林分的表型变异刚好相反, 这一现象在火炬松中也曾报道过^[12,13]。我们可以这样解释: 当将众多种源栽植在福建北部这样一个气候条件下, 对北方种源而言, 由于生长后期雨量充足气温较高, 有利于晚材的继续形成, 因而基本密度较高, 对南方种源而言, 因后期雨量相对不足, 气温相对较低, 阻止了生长, 基本密度较低。天然林的情况刚好相反, 从而形成了两种不同的变异趋势。

3.3 生长与材性兼优种源区的划定

鉴于树干材积具有较大的群体变异, 基本密度具有较大的个体变异, 以及两性状在种源水平上具有显著的负遗传相关, 我们应坚持这样的基本策略: 在种源水平上, 应以生长量改

1) 李火根, 王章荣, 陈天华. 马尾松木材比重、管胞长度的地理变异. 杉木、马尾松等树种遗传改良讨论会文集, 中国林学会遗传育种学会, 1991, 210~215.

良为主, 材性改良应作为生长、适应性等改良主程序的补充, 而在种源内个体水平上, 可将生长改良和材性改良放在同等的地位。本文在强调种源水平上生长量改良为主的前提下, 对树干材积和基本密度作无约束指数选择, 发现福建西部、江西中南、湖南南端、广东西北和广西东南这个带状区域是马尾松造纸材的优良种源区。在考虑到适应性(抗雪压、风倒、冻害、病虫害等)的前提下, 各地的马尾松造纸林基地要尽可能地利用这一区域的种子, 特别应在这个区域内选择优良林分, 建立采种林基地或母树林。对于福建省来讲, 应对本省西部的种源给予相当的重视, 要立足于本省西部的优良资源, 大力营建母树林, 以达到造纸林基地的初级良种化。

参 考 文 献

- 1 Zobel B J, Kellison R C, Mathias M F, et al. Wood density of the southern pines. North Carolina Agric. Exp. Stn. Tech. Bull, 1972, 208: 56.
- 2 周志春, 金国庆, 秦国峰. 马尾松幼龄材密度、管胞长度的地理变异及性状相关. 林业科学研究, 1990, 3(4): 393~397.
- 3 荣文琛, 吴天林, 岳水林, 等. 马尾松造纸材种源选择. 林业科学研究, 1992, 5(1): 7~13.
- 4 全国马尾松种源试验协作组. 马尾松种源变异及种源区划分的研究. 亚热带林业科技, 1987, 15(2): 81~89.
- 5 Smith D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., 1954, Rep 2014.
- 6 Yeh F C, Rasmussen S. Heritability of height growth in 10-year-old sitka spruce. Can. J. Genet. Cytol., 1985, 27: 729~734.
- 7 Falconer R S. Introduction to quantitative genetics. 2ed Longman Inc., New York. 1981.
- 8 Cotterill P P, Jackson N. On index selection I. Methods of determining economic weight. Silvae Genetica, 1985, 34: 56~63.
- 9 陈瑞生, 盛志廉. 通用选择指数原理, 遗传学报, 1988, 15(3): 185~190.
- 10 Zobel B J, Talbert J T. Applied forest tree improvement. Wiley, New York, 1984. 511.
- 11 周志春, 秦国峰. 马尾松试验林不同测定方法的统计效果分析, 林业科技通讯, 1990, (5): 9~11.
- 12 Zobel B J, van Buijtenen J P. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag, 1989, 393.
- 13 Tauer C G, Loo-Dinkins J A. Seed source variation in specific gravity of Loblolly pine grown in a common environment in Arkansas. Forest Science, 1990, 36(4): 1133~1145.

*Geographic Variation in Growth and Wood Properties
and Determination of the Optimum Provenance
Region for Paper-Pulp Wood of Masson Pine*

Zhou Zhichun Fu Yushi Wu Tianlin

Abstract After a study on the volume growth and wood properties of 10-year-old masson pines of 90 seed sources, significant variations were found in stem volume and wood basic density. Stem volume increased and wood density decreased gradually from north to south. The seed sources of the trees with greatest wood density was from northwest of the range and the smallest from the middle belt. There were very small effect of seed source and no definite geographic pattern in tracheid length. Considering the significant negative genetic correlation between stem volume and basic density and the marked provenance effects for both traits, we would emphasize growth (volume) as the primary target trait and wood quality (basic density) as secondary one when selecting superior provenances or seed sources. Using the unrestricted selection index combining stem volume with basic density, we found that the zone including western Fujian, central and southern Jiangxi, southern end of Hunan, northwestern Guangdong and southeast of Guangxi was the optimum provenance region for paper-pulp wood of masson pine.

Key words masson pine, growth—wood properties, genetic geographic variation, optimum provenance region

Zhou Zhichun, Assistant Professor, Wu Tianlin (The Research Institute of subtropical Forestry, CAF Fuyang Zhejiang 311400); Fu Yushi (Fujian Research Institute of Forestry Science).