

火炬松种源主要经济性状的遗传 变异及其综合选择*

李江南 万细瑞 刘国初

摘要 对设立在江西省分宜县的9年生火炬松种源试验林的研究表明:多数生长、形质和木材性状具有显著的种源效应,树高、材积、干形、轮枝数、年轮宽和晚材率存在着纬向的地理模式,与原产地的温度密切相关,管胞长度受经度控制,木材基本密度无一定地理变异规律。在种源水平上,木材密度和材积生长呈显著的负相关,管胞长度和材积生长几乎不相关。生长较快的种源,其树干通直且侧枝细小。利用约束和无约束选择指数,根据不同的材种要求,进行了生长、材质的联合选择。认为L₅(韦奈,北卡)、L₂₅(琼斯,密西西比)、L₂₈(格兰特,路易斯安娜)是最佳纸浆材种源;L₅、L₁₈(卡可挑,阿拉巴马)、L₂₅是建筑材最优种源。

关键词 火炬松、种源变异、生长—材质、综合选择

火炬松(*Pinus taeda* L)原产美国中南部,生长迅速,适应性强,是我国引种成功的重要建筑和造纸用材树种,火炬松在我国亚热带和热带地区,基本保持其原产地的生长特性^[1]。我国对火炬松研究大多侧重于生长性状和适应性等,而材性方面甚少^[2]。木材密度和管胞长度是两个重要的木材内在因子,常作为林木育种的目标性状,这两个因子与单位体积的干物质产量、木材的力学强度以及纸浆纸张的性能密切相关。由于木材性状对环境反映敏感,当将火炬松种源栽植在新环境中,其木材性质往往难以预测。Tauer & Loo^[3]发现火炬松种源试验中,木材密度的地理模式与在原产地所观察的不一致,认为原产地的材性资料不能用来指导种源的引种。预测木材性状的最好方法就是将一种源栽植不同地点进行试验。

本研究旨在探索火炬松生长、形质和木材性状的地理遗传变异规律,并借助于选择指数,按不同材种培育目标,选择一批生长材质兼优的种源供生产推广应用。

1 材料与方 法

种源试验林设置在中国林业科学研究院亚热带林业实验中心长埠林场,地理位置27.8°N, 114.0°E、海拔160m,共有参试种源19个,种子来自美国8个州的种子园。参试的有我国安徽马鞍山火炬松、广东台山湿地松(*Pinus elliottii* Engelm)和当地马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)。1984年用1年生容器苗造林。试验为随机完全区组设计,6次重复,9株方形小区,株行距2.75m×2.75m,因架设高压线,有几个小区受到破坏。

1992年3月进行木材取样,每重复(第3重复未取)每小区选择一株优势木和一株平均木,在胸高处南北二个半径方向利用直径为8mm的生长锥取得由髓心至树皮的完整无疵木

1993—10—06 收稿。

李江南工程师,万细瑞(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心 江西分宜 336600);刘国初(福建省三明市林业委员会)。

* 本文系“八五”国家攻关项目“湿地松、火炬松建筑材、纸浆材良种选育”的部分内容,研究得到了刘昭息副研究员的指导,潘志刚研究员审阅了本文,陈仲庐参加部分工作,一并致谢。

芯。当地马尾松和台山湿地松未采样。

全林的生长和形质指标测量和调查在 1992 年冬进行。测定性状包括树高、胸径、平均冠幅、枝下高、干形(1~3 分)、枝粗(1~3 分)、枝角(1~3 分)和轮枝数。枝干越通直,侧枝越细越平展,得分越高。单株材积利用树高和胸径求得,并假定树干形率为 0.5。

在室内用最大含水量法^[4]测定木芯的基本密度。晚材率和年轮宽的测定借助于显微镜测量。木芯最外一轮的混合试样作为管胞长度的测定材料,用硝酸法离析,测定 30 根完整管胞的长度。木芯南北二个方向的算术平均值作为样木的材性值。

方差分析时利用小区均值计算,得分和计数性状经 $X^{1/2}$ 数据转换,百分率性状经 $\arcsin X^{1/2}$ 数据转换。性状间的遗传相关依据 Falconer^[5]估算。按 Cotterill & Jackson^[6]提出的等权法求得性状的经济相对权重。无约束和约束选择指数的构建参考陈瑶生和盛志廉^[7]一文。

2 结果与分析

2.1 火炬松生长、材质的种源变异和地理模式

2.1.1 种源变异 表 1 表明,火炬松的高、径、材积、枝下高、干形、枝粗、管胞长度和木材基本密度具有显著的种源效应,种源广义遗传力较高,其选择潜力非常大。材积生长量大的种源 L_5 、 L_8 、 L_{23} 、 L_{25} 和 L_{28} 主要来源于美国东海岸和墨西哥湾两个种源区;较缓慢的 L_{12} 、 L_{14} 、 L_{16} 、 L_{26} 、 L_{30} 和 L_{31} 大多为西南、西北和内陆种源区。单株材积生长的最佳种源(密西西比州的琼斯, 0.0321 m^3)是最差种源(佐治亚州的斯图尔特, 0.0178 m^3)的 1.8 倍,管胞最长和最短的种源相差 0.37 mm ,基本密度最高种源(0.4171 g/cm^3)和最低种源(0.3697 g/cm^3)相差 12.8%,当换算成木材干物质时,即每立方米的木材相差 47.4 kg 的干物质。著名的路易斯安娜州利文斯通种源在我国江西赣中地区的材积生长占居中偏上水平,但基本密度较高。本试验未发现火炬松枝角、轮枝数、年轮宽在种源间的显著差异性,冠幅具有较小的种源效应,主要是因林分郁闭,林木竞争强烈,致使树冠发育受到影响之故。试验看到,火炬松的材积生长,显著大于当地马尾松,广东台山湿地松只处于平均水平,说明火炬松在我国中北亚热带地区具有极大的推广价值。

表 1 生长、形质和木材性状的方差分析及种源广义遗传力

性状	均 方			种源广义遗传力	备 注
	区 组	种 源	机 误		
材 积	0.000 217	0.000 205 **	0.000 049	0.758 5	+, **, * *
树 高	0.431 947	1.510 142 +	0.937 559	0.378 9	分别为 10%、
胸 径	7.672 639	10.392 220 **	2.930 513	0.718 3	5%和 1%水平
冠 幅	0.577 779	0.254 985 ^{ns}	0.212 343	0.056 6	显著(下同);
枝下高	0.083 139	0.308 636 **	0.130 221	0.578 1	生长和形质指
干 形	0.103 053	0.133 549 **	0.066 006	0.505 0	标的区组、种
枝 粗	0.017 659	0.075 380 *	0.043 018	0.428 6	源和机误自由
枝 角	0.095 447	0.082 043 ^{ns}	0.079 883	0.029 1	度分别为 5、
轮枝数	0.052 979	0.055 067 ^{ns}	0.067 359		21 和 105;
管胞长度	0.178 940	0.054 671 ⁺	0.033 954	0.378 9	4 个木材性状
年轮宽	1.384 656	2.136 922 ^{ns}	1.663 700	0.218 8	自由度为 4,
晚材率	0.010 789	0.014 549 ^{ns}	0.021 634		19 和 76
基本密度	0.002 745	0.000 951 *	0.000 546	0.425 3	

2.1.2 性状变异的地理模式 性状变异地理模式与物种的地理分布特点有关,火炬松在美国中南部沿海数百英里之内的平原或山麓地区大多呈连续分布,仅在密西西比河谷存在着一个宽 25~120 英里基本无松树的地带。在美国本土的研究发现东海岸和墨西哥湾的火炬松种源生长迅速,佛吉尼亚及马里兰州的种源生长缓慢但耐寒,密西西比河以西的种源抗锈病和耐干旱^[1]。研究发现火炬松引种在我国中亚热带地区,其树高和材积生长、树木干形、轮枝数、年轮宽和晚材率大多有明显的纬向变异模式(表 2),高湿多雨的低纬度地区的种源生长快,树干通直,年抽梢次数多,年轮宽而晚材率高,这一纬向变异模式反映了种源原产地的温度差异,与降水量关系不大。管胞长度主要受产地经度控制,纬度的影响较小,西部种源管胞长而东部种源管胞短。树木干形受经纬度的双重控制,其复相关达到显著水平。其它性状包括木材基本密度都无一定的地理模式,这与 Tauer & Loo^[3]的研究结果有一定的差异,他们发现火炬松西部和东北部种源木材密度较高,而南部和东南部种源的木材密度较低。

表 2 生长、形质和木材性状与产地经纬度、气候因子的关系

性 状	简 相 关				复 相 关
	纬 度	经 度	年 均 温	年 降 水 量	
材 积	0.350 2	-0.028 8	-0.401 7 ⁺	0.122 5	0.403 5
树 高	0.481 1 [*]	-0.111 2	0.528 2 [*]	-0.003 7	0.516 9 ⁺
胸 径	0.188 6	0.098 1	-0.224 1	0.208 6	0.308 9
冠 幅	-0.179 1	0.300 9	0.027 2	0.340 2	0.301 1
枝 下 高	0.193 9	-0.200 0	-0.106 3	-0.162 5	0.223 3
干 形	0.565 0 ^{**}	0.140 7	-0.588 3 ^{**}	-0.108 1	0.787 6 [*]
枝 粗	0.243 4	0.277 5	-0.285 3	0.140 5	0.554 0 ⁺
枝 角	-0.100 4	0.102 3	0.152 6	-0.040 2	0.115 2
轮 枝 数	0.380 6 ⁺	-0.015 6	-0.316 0	-0.394 6 ⁺	0.448 3
管胞长度	-0.253 7	0.537 3 [*]	0.096 8	0.130 2	0.540 2 ⁺
年 轮 宽	0.357 4	-0.041 0	-0.538 1 [*]	-0.150 7	0.405 5
晚 材 率	0.386 6 ⁺	-0.372 6	-0.353 4	-0.239 3	0.430 4
基本密度	0.035 9	0.189 0	0.089 7	-0.020 9	0.254 0

2.2 火炬松主要经济性状间的相互关系

表 3 列出了火炬松 7 个重要经济性状(具有显著的种源效应)间的表型、遗传和环境相关系数,发现木材密度与树木胸径和材积生长存在着显著的负相关,与树高仅呈微弱的正相关,在种源水平上对树干材积的正向选择将使木材密度显著降低。虽然树高生长对管胞长度具有显著的负效应,但管胞长度与材积之间的遗传几乎为零。Matziris & Zobel^[8]也曾发现这一问题。试验还发现树木生长越快,树干越通直,侧枝越细,这是非常理想的一种性状组合,但分枝细小,其木材密度会有一定的降低。

2.3 火炬松不同材种选育目标的种源选择

试验选择了 5 个最重要的性状指数,即材积、干形、枝粗、基本密度和管胞长度。按等权法求得性状经济相对权重向量 $a=(1.00, 0.04, 0.16, 0.32, 0.04)$,并结合实际的侧重点扩大或缩小某一(类)性状的权重。表 4 列出了各种约束和无约束选择指数的性状遗传进展及指数遗传力。按等权重进行无约束选择,树干材积、干形、枝粗都将获得较大的遗传进展,而选择前后群体的木材平均密度变化不大,管胞长度有一定的降低,这是造纸材选择的理想模式。等权重

时的约束选择,基本密度保持平均水平不变,但干形和枝粗的进展受到了抑制。当选育重点是材积,虽然无约束选择时材积增益略有提高,但木材密度却发生了较大的负向遗传进展。此时的约束选择结果与 B_1 相似。对于建筑材来讲, A_3 和 B_3 是两个非常理想的指数,虽然干形和枝粗是选育重点,但由于这两个形质指标与材积生长呈显著的正相关,两类性状都将获得较大的进展,而影响木材力学性质的基本密度变化不大。如果着重于材性改良,基本密度和管胞长度有一定的增益,但伴随而来的是材积生长下降,形质指标变劣,这违背了林木育种的主要宗旨。因此本试验采用了 Zobel & Talbert^[9] 的选育路线,即生长、干形和适应性的改良是林木育种的主程序,而材性改良应作为次程序或其补充。

表3 火炬松主要经济性状间的表型、遗传和环境相关系数

性状		材积	树高	胸径	干形	枝粗	基本密度
树高	P	0.831 9					
	G	0.943 8					
	E	0.723 9					
胸径	P	0.799 8	0.445 1				
	G	0.864 9	0.609 7				
	E	0.722 5	0.285 4				
干形	P	0.473 2	0.362 9	0.486 3			
	G	0.704 0	0.589 9	0.636 9			
	E	0.114 6	0.084 9	0.271 1			
枝粗	P	0.394 8	0.233 3	0.412 8	0.500 3		
	G	0.692 9	0.223 3	0.483 6	1.057 8		
	E	0.244 8	0.245 9	0.402 8	0.155 6		
基本密度	P	-0.127 6	0.112 0	-0.227 9	-0.014 2	-0.092 3	
	G	-0.508 1	0.114 3	-0.671 0	0.0330	-0.425 4	
	E	0.238 2	0.110 2	0.176 5	-0.072 7	0.065 5	
管胞长度	P	-0.104 7	-0.240 9	0.021 5	0.022 6	0.034 7	-0.218 2
	G	-0.065 6	-0.506 5	0.180 4	-0.257 2	-0.031 6	-0.178 6
	E	-0.142 3	-0.050 7	-0.110 2	0.333 9	0.065 5	-0.245 2

表4 火炬松不同选择指数性状遗传进展及指数遗传力

	性状经济相对权重					性状遗传进展					指数遗传力	
	材积	干形	枝粗	基本密度	管胞长度	材积	干形	枝粗	基本密度	管胞长度		
生长和材质	1.00	0.04	0.16	0.32	0.04	$A_{1①}$	0.002 2	0.070 4	0.011 6	-0.000 6	-0.007 8	0.678 5
						$B_{1②}$	0.002 1	0.057 7	0.009 7	0	-0.003 0	0.515 5
生长为主	100	0.04	0.16	0.32	0.04	A_2	0.002 7	0.057 1	0.010 5	-0.003 9	-0.007 3	0.709 9
						B_2	0.002 0	0.045 6	0.007 4	0	-0.005 0	0.400 5
形质为主	1.00	4	16	0.32	0.04	A_3	0.002 2	0.073 4	0.012 3	-0.000 9	-0.017 4	0.732 8
						B_3	0.002 1	0.073 1	0.011 9	0	-0.016 9	0.715 0
材性为主	1.00	0.04	0.45	32	4	A_4	-0.001 7	-0.025 0	-0.005 6	-0.004 8	0.002 7	0.527 8
						B_4	-0.000 3	-0.025 9	-0.002 9	0	0.036 6	0.378 2

注:①A——约束选择指数;②B——使木材基本密度遗传进展为0的约束选择指数;选择强度 $i=1$ 。

表5列出了火炬松生长和材质性状的种源均值以及适合不同材种培育目标的选择指数值。从表5可以看出,种源 L_5, L_{25} 和 L_{28} 指数 A_1 的值最高,是造纸材的最佳种源。对建筑材而

表 5 火炬松种源生长和材质均值以及各种选择指数

种 源	材积 (m ³)	干形 (1~3)	枝粗 (1~3)	基本密度 (g/cm ³)	管胞长度 (mm)	纸浆材 建 筑 材		
						A ₁	A ₃	B ₃
L ₂ 盖斯,北卡	0.026 2	2.49	1.94	0.405 2	2.72	0.122 7	5.780 6	5.989 4
L ₅ 韦奈,北卡	0.031 8	2.63	1.96	0.398 9	2.81	0.127 7	6.005 8	6.228 7
L ₆ 乔治城,南卡	0.021 5	2.38	1.95	0.397 4	2.84	0.119 7	5.529 2	5.683 9
L ₈ 格林伍德,南卡	0.028 3	2.41	1.98	0.396 1	2.72	0.123 7	5.772 0	2.906 0
L ₁₁ 比布,佐治亚	0.023 5	2.26	1.87	0.392 9	2.93	0.119 1	5.286 3	5.514 6
L ₁₂ 斯图尔特,佐治亚	0.017 8	1.92	1.84	0.377 1	3.01	0.110 3	4.664 2	4.794 7
L ₁₄ 埃文斯,佐治亚	0.020 2	2.19	1.98	0.369 0	2.87	0.115 2	5.330 6	5.312 0
L ₁₆ 纳索,佛罗里达	0.019 5	1.91	1.85	0.377 9	2.75	0.109 4	4.890 7	4.960 4
L ₁₇ 马里恩,佛罗里达	0.020 7	1.71	1.85	0.409 2	2.76	0.107 1	4.491 9	4.700 0
L ₁₈ 卡可挑,阿拉巴马	0.025 7	2.61	1.94	0.385 3	2.81	0.124 5	5.933 8	6.078 7
L ₁₉ 巴特勒,阿拉巴马	0.023 0	2.38	1.95	0.396 1	2.65	0.118 9	5.680 1	5.795 1
L ₂₂ 达拉斯,阿拉巴马	0.026 2	2.60	1.96	0.379 0	2.92	0.125 0	5.759 1	6.020 3
L ₂₃ 门罗,阿拉巴马	0.031 6	2.43	1.94	0.369 7	3.02	0.123 0	5.519 8	5.645 1
L ₂₅ 琼斯,密西西比	0.032 1	2.54	2.00	0.382 8	2.88	0.126 6	5.939 7	6.067 7
L ₂₆ 富兰克林,密西西比	0.018 8	2.24	1.85	0.417 1	2.89	0.117 1	5.115 2	5.441 5
L ₂₇ 利文斯顿,路易斯安娜	0.026 8	2.17	1.98	0.407 3	2.89	0.116 4	5.051 5	5.237 9
L ₂₈ 格兰特,路易斯安娜	0.028 4	2.56	1.96	0.396 2	2.93	0.126 0	5.788 4	6.008 0
L ₃₀ 多梭它,路易斯安娜	0.021 0	2.60	1.98	0.407 1	3.03	0.124 6	5.625 1	5.885 1
L ₃₁ 雷斯波,德克萨斯	0.019 9	2.18	1.99	0.406 1	2.91	0.116 2	5.161 4	5.320 4
L 安徽马鞍山火炬松	0.022 5	1.91	2.00	0.391 5	2.84	0.111 6	4.924 9	4.970 1
STS 广东台山湿地松	0.022 4	2.37	2.02					
M 当地马尾松	0.007 7	1.60	1.40					

言,L₅,L₁₈,L₂₅应作为其最优的种源而进行推广。

3 讨论

火炬松是美国南方松中最重要的速生针叶用材树种,适应性强,中国,澳大利亚,南非和日本等许多国家都成功地引种,并进行了较大规模的种源试验。火炬松在我国的引种主要还是适地(气候)适种源的问题,虽然不少研究结果大致与美国本土的研究相似,但因种源与地点的互作效应非常显著^[1],必须就每一特定气候和立地选出最适合的种源。本文研究表明,多数重要经济性状的种源效应都很显著,有一定的纬向变异模式。由于树干材积与木材基本密度在种源水平上存在着显著的负遗传相关,种源水平的选择,材积生长应是首选因子,而木材密度只要处在不同材种要求的范围即可,对木材密度的改良应将注意力放在种源内家系或个体水平上。在造纸材和建筑材的定向选育中,不应忽略树干通直度、枝粗这二个重要形质指标,通直度影响木材出材率,纸浆产量和质量,而粗枝与木材重要缺陷节的性质有关。高生长速率的种源往往具有良好的干形和细小的侧枝。性状间有些相关是不利于人们选育的,如对材积进行独立选择,伴随而来的是木材密度的下降,解决这些性状间的遗传矛盾性,有效的办法是指数选择。在我国中亚热带地区,借助于约束和无约束选择指数,按造纸材和建筑材的不同要求,分别选择了3个最佳种源加以推广。

参 考 文 献

- 1 潘志刚主编. 火炬松、湿地松种源试验研究, 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 1~29.
- 2 管宁, 刘昭息, 潘志刚. 不同种源火炬松和湿地松木材基本密度和管胞长度的变异, 林业科学研究, 1993, 6(3): 235~241.
- 3 Tauer C G, Loo-Dnkins J A. Seed source variation specific gravity of loblolly pine grown in a common environment in Arkansas. *Forest Science*, 1990, 36: 1133~1145.
- 4 Smith D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., Rep. 1954. 2014.
- 5 Falconer R S. Introduction to quantitative genetics. New York: 2ed Longman Inc., 1981.
- 6 Cotterill P P, Jackson N. On index selection I. Methods of determining economic weight. *Silvae Genetica*, 1985, 34: 56~63.
- 7 陈瑶生, 盛志廉. 通用选择指数原理. *遗传学报*, 1988, 15: 185~190.
- 8 Matziris D I, Zobel B J. Inheritance and correlation of juvenile characteristics in loblolly pine (*P. taeda*). *Silvae Genetica*, 1973, 22: 38~45.
- 9 Zobel B J, Talbert J T. Applied forest tree improvement. New York: Wiley, 1984. 511.

The Genetic Variation of the Main Economic Traits of the Loblolly Pine's Seed Sources and Its Comprehensive Selection

Li Jiangnan Wan Xirui Liu Guochu

Abstract Provenance test of 9-year-old loblolly pine plantation has been conducted. The results show that the effects of seed sources on the growth and wood properties are significant. Latitudinal geographic model on the height, volume, stem form, whorls of branches and summer wood % are obviously correlated with the temperature of the original seed sources. The tracheid length was controlled by longitude. There is no geographic variation among the density of the wood. There is no correlation between the density of wood and volume growth. The stem with thin branches is straight for the fast-growing seed sources. Based on the selection index, comprehensive selection has been made according to the different requirements of the timber.

Key words loblolly pine, provenance, genetic variation, comprehensive selection

Li Jiangnan, Engineer, Wan Xirui (The Experimental Centre of Subtropical Forestry, CAF Fenyi, Jiangxi 336600), Liu Guochu (The Forestry Commission of Sanming City, Fujian Province).