

火炬松种源遗传变异研究及 纸浆材优良种源评选*

II. 间接选择和指数选择

刘昭息 孙海菁 吕本树 姜景民 徐有明

摘要 经对浙江富阳点 11 年生火炬松种源林生长性状和木材基本密度指标所作的早晚期相关分析表明,在中龄林阶段,以 5~6 年生作为火炬松种源早期选择的最低年龄是可行且较可靠的。在同一种源林中,当入选率为 10% 时,采用树高或胸径来间接选择材积和干材干物质重可获得 15% 以上的遗传增益;应用恰当的指数来选择纸浆材种源可使指数相对效率达到 65% 以上。在 4 片种源林中,用多性状综合选择法共筛选出 10 个速生、优质、高产的种源,入选种源的平均现实增益和遗传增益,树高分别为 6.94% 和 4.59%,胸径为 8.38% 和 5.55%,材积为 20.00% 和 13.24%,木材基本密度为 1.63% 和 1.08%,干材干物质重为 24.78% 和 16.40%。

关键词 火炬松 纸浆材种源 间接选择 指数选择

在林木育种研究工作中,由于受试材年龄和性状观测不便的限制,往往利用性状间的相互关系来间接评价未来或所需性状的表现,以缩短选择和利用周期。另外,纸浆材由于最终产品及其制造工艺的特殊要求,对原材料的培育有别于其它材料标准,生长的快慢和材积的大小并不能完全意味着制浆得率的高低和成本耗损合算与否。诸如通直度、圆满度、枝节率、木材基本密度等性状都与制浆得率、产量和质量、经济成本有着直接的密切关联^[1]。作为以纸浆材为主要培育目标的火炬松,多性状综合选择是理想的方法。为及早地提供生产上可用的优良种源材料和信息,本文探讨了早期选择、间接选择和指数选择的可行性,对各种源林进行了纸浆材优良种源的评定和入选种源的增益估算。

1 材料与方 法

研究材料来源、试点概况、田间设计和观测内容见前文 I 篇^[2]。统计方法除 I 篇文中所述的外,增加了间接选择和指数选择方法,见参考文献[3,4]。

2 结果与分析

2.1 早晚相关

分析性状的年度间相关,旨在确定早期选择的最低适龄和最佳选择期。

2.1.1 树高、胸径 根据 1983 年度富阳点种源林生长的逐年调查材料,对树高和胸径作了年

1996-06-03 收稿。

刘昭息研究员,孙海菁,吕本树,姜景民(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);徐有明(华中农业大学)。

* 本研究为国家和浙江省“八五”科技攻关项目“火炬松造纸材良种选育”研究内容之一。参加工作的还有李霞、何玉友等同志。

度间的遗传相关分析,其结果见表1。

表1 1983年度富阳点种源林生长性状年度遗传相关分析

年龄(a)	2	3	4	5	6	8	9	11
2	/	0.938 9	0.972 3	0.964 8	0.956 2	0.861 7	0.864 9	0.796 3
3	0.977 8	/	0.991 6	0.958 4	0.977 0	0.928 5	0.914 7	0.841 7
4	0.906 2	0.959 4	/	0.993 5	0.982 4	0.903 8	0.898 5	0.826 5
5	0.828 3	0.919 8	0.972 3	/	0.994 0	0.938 1	0.928 8	0.874 8
6	0.787 7	0.891 8	0.959 4	0.999 9	/	0.965 1	0.970 3	0.928 2
8	0.7100	0.839 7	0.917 1	0.991 7	0.988 6	/	0.999 3	0.998 9
9	0.744 6	0.861 3	0.921 2	0.999 4	0.993 7	0.999 1	/	0.998 9
11	0.757 8	0.873 3	0.851 6	0.931 6	0.907 1	0.944 2	0.941 4	/

注:表中为32个一般种源(含对照)的分析结果,右上角是树高的,左下角是径生长的年—年间遗传相关系数。

从表1看出,高、径生长的年—年间遗传相关系数随着年龄递增虽有下降的现象,但逐步趋于平稳,树高从第6年、胸径从第5年开始与以后各年度间的相关系数均稳定在0.90以上。另外,在对不同种源的树高和胸径作年度间秩次分析时,相关系数分别为0.832^{*}和0.837^{*}。这说明用5~6年生时的火炬松种源的生长表现来预估10年生左右时的优劣是可行且较可靠的。

最低选择适龄的确定又取决于相关遗传进度(或选择响应)和相关遗传效率^[5]。经对1983年度富阳点种源林作分析,其树高和胸径的相关遗传进度和相关遗传效率分析结果见表2和表3。

表2 树高相关遗传进度和相关遗传效率

年龄(a)	2	3	4	5	6	8	9	11
2	/	91.68	97.08	99.80	102.00	87.58	89.23	80.49
3	0.257	/	101.51	101.53	106.73	96.65	96.65	87.43
4	0.337	0.352	/	102.82	104.84	91.90	92.74	83.87
5	0.416	0.423	0.428	/	102.50	92.17	92.64	85.77
6	0.432	0.453	0.445	0.432	/	91.96	93.85	88.25
8	0.469	0.517	0.492	0.493	0.492	/	101.44	99.68
9	0.509	0.552	0.530	0.529	0.536	0.579	/	98.20
11	0.555	0.602	0.578	0.591	0.608	0.687	0.677	/

注:表中右上角为相关遗传效率(单位:%),左下角为相关遗传进度(单位:m)。

表3 胸径相关遗传进度和相关遗传效率

年龄(a)	2	3	4	5	6	8	9	11
2	/	97.78	86.44	77.78	73.66	66.11	68.16	69.26
3	0.574	/	91.51	86.37	83.39	78.19	78.84	78.81
4	0.776	0.822	/	95.72	94.06	89.53	88.40	81.60
5	0.781	0.867	0.961	/	99.57	98.33	97.42	90.67
6	0.855	0.968	1.092	1.156	/	98.44	97.27	88.65
8	0.792	0.937	1.072	1.178	1.179	/	98.22	92.68
9	0.885	1.024	1.148	1.265	1.263	1.275	/	93.99
11	1.066	1.228	1.256	1.364	1.364	1.422	1.447	/

注:左下角相关遗传进度单位为cm。其余同表2注。

从表2、3看出,造林后第2~5年的树高相关遗传进度和2~4年的胸径相关遗传效率都

很低, 此前进行选择, 效果明显不佳。树高从第 6 年, 胸径从第 5 年开始与以后各年度间的相关遗传进度和遗传效率均较高, 树高分别为 0.5 m 和 90% 左右, 胸径分别达到 1 cm 左右和 90% 以上。这种现象与上述生长性状一年遗传相关系数表中的结果是一致的。由此可见, 在中龄林阶段, 利用这个年龄作为生长性状的早期选择的最低适龄是较可靠的。

2.1.2 木材基本密度 利用 1983 年度造林富阳点火炬松全分布区的 31 个种源的单株木芯材料作基本密度年轮组间的相关分析, 结果见表 4。

表 4 火炬松种源木材基本密度早期测定相关系数

种源号	早期年龄 (a)	预估年龄(a)		种源号	早期年龄 (a)	预估年龄(a)	
		1~5	1~9			1~5	1~9
CL-3	1~3	0.737 7**	0.838 3***	RL-17	1~3	0.891 3***	0.804**
	1~5		0.973 8***		1~5		0.925 5***
CL-2	1~3	0.410 5	0.574 3	RL-18	1~3	0.766 5**	0.849 9***
	1~5		0.903 5***		1~5		0.969 8***
RL-1	1~3	0.662 1*	0.657 0*	RL-19	1~3	0.639 5*	0.861 8***
	1~5		0.966 5***		1~5		0.897 8***
CL-8	1~3	0.874 4***	0.853 0***	RL-22	1~3	0.848 0***	0.877 7***
	1~5		0.972 7***		1~5		0.975 9***
RL-2	1~3	0.828 0***	0.450 0	RL-23	1~3	0.509 3	0.798 0**
	1~5		0.964 5***		1~5		0.891 3***
RL-3	1~3	0.726 0**	0.299 4	RL-24	1~3	0.579 0	0.694 6*
	1~5		0.838 5***		1~5		0.944 8***
RL-5	1~3	0.397 4	0.427 6	RL-25	1~3	0.603*	0.674 7*
	1~5		0.905 1***		1~5		0.925 7***
RL-6	1~3	0.802 9**	0.907 4***	RL-26	1~3	0.708 5**	0.779 4**
	1~5		0.899 7***		1~5		0.957 1***
RL-8	1~3	0.874 2***	0.899 4***	RL-27	1~3	0.653 7*	0.844 6***
	1~5		0.979 5***		1~5		0.925 1***
RL-9	1~3	0.951 4***	0.935 6***	RL-28	1~3	0.642 2*	0.342 0
	1~5		0.972 7***		1~5		0.875 7***
RL-11	1~3	0.116 7	0.554 0	RL-30	1~3	0.841 7***	0.876 3***
	1~5		0.651 5*		1~5		0.972 1***
RL-12	1~3	0.870 1***	0.776 0**	CL-16	1~3	0.338 4	0.507 8
	1~5		0.937 7***		1~5		0.896 8***
RL-14	1~3	0.908 8***	0.890 6***	CL-17	1~3	0.672 1*	0.913 5***
	1~5		0.955 0**		1~5		0.880 0***
RL-20	1~3	0.400 0	0.476 2	CL-21	1~3	0.841 9***	0.846 4***
	1~5		0.956 0***		1~5		0.856 3***
RL-16	1~3	0.774 6**	0.705 3**	RL-31	1~3	0.736 0**	0.648 8*
	1~5		0.954 9***		1~5		0.919 0***

注: 1~3、1~5、1~9 分别代表自髓心向外 3、5、9 个年轮木材的基本密度。*、**、*** 分别表示 5%、1%、0.1% 的显著水平。

从表 4 看出, 各种源前 3 轮与前 5 轮木材基本密度的相关系数变动范围为 0.116 7~0.956 4, 其中有 23 个种源的相关系数大于 0.603 0, 达到显著水平, 占全部参试种源数的 76.7%; 用前 3 轮预测 9 年生时, 相关系数在 0.299 4~0.935 6 之间, 达到显著水平的有 22 个, 占全部的 73.7%; 用前 5 轮预估 9 年生木材密度值, 相关系数变动在 0.651 5~0.975 9 范围内, 均达显著水平, 其中 5 个达到 1%、4 个达到 0.1% 显著水平。这说明火炬松种源的木材

基本密度此种相关性随着年龄增加有加强的趋势。因此,就短周期纸浆材而言,5年生时预估9~10年生的木材基本密度值是可靠的。

2.2 选择响应

对由人工选择取得的改良效果,常用响应和遗传增益来表示^[6]。间接选择和多性状选择在林木育种中是通常应用的方法,但都存在着选择效果的评价问题,在以纸浆材优良种源为选择目标时,这种评价在数量化上显得更加重要。

2.2.1 单性状间接选择 考虑到重要经济性状在种源林中有着复杂多样的遗传变异和相关性,利用1983年造林富阳点11年生种源林的调查资料,选取了几个直接影响纸浆材产量且易观测的性状进行了分析,结果见表5。

表5 间接选择响应和遗传增益分析

性 状	树 高 (m)	胸 径 (cm)	材 积 (m ³)	木材基本密度 (g/cm ³)	干材干物质重 (kg)
树 高		0.54	0.003 6	- 0.001 9	1.53
胸 径	5.99		0.002 9	- 0.010 4	1.45
材 积	15.90	13.66		- 0.006 8	1.44
木材基本密度	- 0.52	- 2.91	- 1.90		- 0.13
干材干物质重	17.45	16.48	16.38	- 1.45	

注:表中左下角为遗传增益(%),右上角为选择响应。选择强度为1.575。

由表5可看出,在种源水平上利用树高或胸径作为间接性状进行选择,给材积和干材干物质重将带来正向的选择响应和遗传增益;利用木材基本密度进行选择,会给其它所需性状造成程度不同的负向效果。相对而言,在单性状间接选择中,利用树高来间接选择产量性状比利用胸径稍好些。

2.2.2 指数选择 选择指数法是把选择目标面向全部性状,但又必须考虑对每种性状按其相对经济重要性、遗传力大小以及在不同性状间的遗传相关和表型相关适当加权,由此获得总值^[3]。为此,我们依然利用1983年度造林的富阳点11年生种源中31个一般种源和对照种源为对象,用树高 H 、胸径 D 、材积 V 、干材干物质重 SB 、通直度 ST 和木材基本密度 WD 6个性状,构建不同的等权选择指数方程进行纸浆材种源评定效果的比较,结果见表6。

表6 性状组合比较

编 号	聚 合 各 性 状 遗 传 进 展						指数遗传力 h_i^2	指数与聚合遗传型相关系数 r_{IH}	指数相对效率 $E_I(\%)$
	树高 H (m)	胸径 D (cm)	材积 V (m ³)	通直度 ST (分)	木材基本密度 WD (g/cm ³)	干材干重 SB (kg)			
1	0.23			1.03		1.036 2	0.61	0.458 8	28.07
2		0.46				1.121 9	0.60	0.345 8	20.78
3			0.003	1.01		1.089 0	0.60	0.514 6	30.93
4			0.002	1.02	0.007	0.990 3	0.61	0.573 6	35.25
5		0.34			0.006	1.024 9	0.60	0.382 6	22.86
6	0.19				0.009	0.878 9	0.66	0.567 6	37.30
7		0.14		1.05	0.010	0.799 4	0.68	0.646 1	43.77
8			0.001	1.05	0.011	0.778 3	0.69	0.909 1	62.51
9	0.15			1.05	0.012	0.681 7	0.73	0.932 4	67.72
10		0.33	0.003	1.03	0.054	1.038 4	0.63	0.617 9	38.95
11	0.21		0.002	1.04	0.008	0.944 6	0.66	0.814 4	54.45
12	0.24	0.38	0.003	1.02	0.004	1.101 3	0.63	0.647 5	40.82

注:选择强度 $i=1.21$ 。

表 6 表明: (1) 同一选择目标, 由于构建选择指数性状不同, 即使数目相等, 但指数遗传力、指数变异与聚合遗传型变异的相关系数及选择指数相对效率的差别亦较大; (2) 在纸浆材优良种源选择中, 凡有胸径参与聚合指数方程构建的, 在等量性状组合的情况下, 其相对效率均相应较低。这是因为胸径比其它生长、产量性状与木材基本密度和通直度的负向关系显得更密切之故; (3) 增加组合性状的数目并不意味着综合选择的相对效率递增; (4) 作为纸浆材优良种源选择为目标, 对 1983 年度造林的富阳点种源林来说, 利用 9 号方程相对较合理。

值得指出的是, 当我们利用上述 9 号方程对 1983 年度造林的余杭点种源林作纸浆材种源评选时, 结果与林分实际状况不符, 这是因为两个点林分通直度的总体水平在表型上不一样, 导致指数值顺序发生变化之故。

2.3 种源评选及其增益估算

考虑到各年度参试种源的数量不等、生境条件存在着差异以及重复种源号不多等原因, 故在评选时按林分独立进行。入选率为 10%。此外, 由于对重要性状的经济价值难以评估, 所以

表 7 入选种源与林分情况均值比较

年 度 (试 点)	种源号	树高 H (m)			胸径 D (cm)			材积 V (m ³)			通直度 ST (分)			
		H_i	\bar{H}	ΔG_p (%)	D_i	\bar{D}	ΔG_p (%)	V_i	\bar{V}	ΔG_p (%)	ST_i	\bar{ST}	ΔG_p (%)	
1981(富阳)	L7	6.41	6.27	2.32	13.01	12.1	7.79	0.043	0.038	13.16	2.22	2.23	-0.01	
1983(富阳)	RL9	6.87	6.26	9.74	10.90	9.40	16.20	0.035	0.025	40.00	2.30	2.03	13.30	
	RL31	6.78		8.31	10.25		9.28	0.032		28.00	2.06		1.48	
	RL26	6.77		8.15	10.02		6.82	0.029		16.00	2.04		0.49	
	RL25	6.85		9.42	10.11		7.78	0.030		20.00	2.03		0	
	RL32	6.49		3.67	10.16		8.32	0.029		24.00	1.96		-3.45	
1983(余杭)	RL16	8.48	8.03	5.56	15.68	10.54	7.84	0.082	0.067	22.39	1.56	1.73	-9.83	
	RL6	8.65		7.12	15.18		4.40	0.079		17.91	2.12		22.57	
1984(余杭)	L13	5.57	4.90	13.67	12.33	10.80	13.96	0.033	0.025	32.00	1.31	1.41	-7.09	
	L12	4.94		0.01	11.33		4.71	0.030		20.00	1.33		-5.67	
总 平 均		6.78	6.34	6.94	11.90	10.98	8.38	0.042	0.035	20.00	1.89	1.85	2.16	
平均 ΔG_p (%)					4.59				5.55				13.24	1.43

年 度 (试 点)	种源号	木材基本密度 WD (g/cm ³)			干材干物质重 SB (kg)			选择指数 I				
		WD_i	\bar{WD}	ΔG_p (%)	SB_i	\bar{SB}	ΔG_p (%)	I_i	\bar{I}	ΔG_p (%)		
1981(富阳)	L7	0.38	0.39	-2.56	16.87	14.60	15.31	-181.65	-186.77	2.74		
1983(富阳)	RL9	0.35	0.36	-2.78	12.00	8.78	36.67	59.86	51.46	16.32		
	RL31	0.38		5.56	12.08		37.58	59.72		16.07		
	RL26	0.38	0.36	5.56	11.06	8.78	25.97	57.87	51.46	12.06		
	RL25	0.35		-2.78	10.22		16.40	55.80		8.45		
	RL32	0.38		5.56	10.50		19.59	55.21		7.29		
1983(余杭)	RL16	0.37	0.37	0	30.66	24.62	24.53	-42.95	-49.91	13.95		
	RL6	0.38		2.70	29.82		21.12	-43.06		13.78		
1984(余杭)	L13	0.37	0.37	0	12.09	9.10	32.86	12.91	5.81	122.20		
	L12	0.38		2.70	11.77		29.34	10.60		82.44		
总 平 均		0.37	0.37	1.63	15.67	12.59	24.78			29.53		
平均 ΔG_p (%)					1.08				16.40			19.55

注: 表中遗传增益所用遗传力为 4 片林分选择指数遗传力的平均值 $h^2 = 0.6619$ 。

除对目标性状——干材干物质重给予扩大 10 倍外, 其它参与构建聚合方程的性状均按等权处理。评选还针对各种源林的具体情况, 每林分都构建多个方程式进行选择效果的比较, 然后各筛选出一个较合理的来作为该林分种源评定的选择指数方程。经计算, 入选种源及其增益情况见表 7。表 7 显示: (1) 4 片林分入选的种源共有 10 个, 除 RL32 为湖北武昌母树林提供作对照的外, 其它均是来自美国墨西哥湾区和东南沿海平原亚区的种源。(2) 评选出的种源在生长、产量指标上都高于各自所在种源林的性状均值, 特别是干材干物质重的现实增益介于 15.31% ~ 37.58% 之间。总平均为 24.78%, 遗传增益达 16.40%。(3) 入选种源的木材基本密度相互间差异不大, 除 3 个种源略低于所在林分均值外, 其它都高于该林分均值, 总平均亦略高于 4 片林分的总平均值, 现实增益和遗传增益分别为 1.63% 和 1.08%。(4) 通直度在入选的种源中不仅变异较大, 而且在一个林分内入选的种源间差别也很大, 这主要是分级过粗和调查标准掌握不一的原因所致, 所以性状的增益情况只可供参考。(5) 选出种源的聚合型平均表型和遗传增益分别是 29.53% 和 19.55%, 这充分说明评定的种源具有生长快、产量高、材性较好的优良特性, 是定向培育纸浆材原料林和进一步遗传改良的良好材料。

3 结 论

(1) 根据 11 年生火炬松种源林在浙江地区的生长状况, 经生长性状年一年之间的相关分析、相关遗传进度和效率的估算, 以及木材基本密度年轮间相关分析表明, 在中龄林阶段, 利用 5~6 年生时的生长优劣和木材基本密度的高低来进行种源的早期选择是可行且较可靠的。

(2) 单性状间接选择, 在种源水平上利用生长指标来评定产量性状将获得 15% 以上的正向遗传增益, 但木材基本密度出现一定的负向增益。利用选择指数法评选纸浆材优良种源, 可取得 65% 以上的指数相对效率, 选择效果较好。

(3) 经评选, 在 4 片种源林中, 当侧重产量指标时共评出 10 个火炬松纸浆材生长快、产量高、材性较好的种源, 其树高、胸径、材积、木材基本密度和干材干物质重的表型增益和遗传增益分别为 6.94%、8.38%、20.00%、1.63%、24.78% 和 4.59%、5.55%、13.24%、1.08%、16.40%。

参 考 文 献

- 1 Zobel B J, van Buijtenen J P. Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag, Bertin Heidelberg, 1989.
- 2 刘昭息, 何玉友, 孙海菁, 等. 火炬松种源遗传变异研究及纸浆材优良种源评选. 性状的地理变异和相关分析. 林业科学研究, 1997, 10(3): 253 ~ 258.
- 3 马育华. 植物育种的量遗传学基础. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984.
- 4 沈熙环. 树木育种学. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- 5 洪菊生. 全国杉木种源试验专刊. 林业科学研究, 1994, 7(增刊).
- 6 南京林产工业学院. 树木遗传育种学. 北京: 科学出版社, 1982.

Genetic Study and Superior Provenance Selection of Loblolly Pine for Pulpwood . Indirect and Index Selection for Superior Provenance

Liu Zhaoxi Sun Haiqing Lu Benshu Jiang Jingmin Xu Youming

Abstract The age-age correlation analyses of growth traits and wood property of 11-year-old provenance test in Fuyang, Zhejiang showed that, 5~6 a was feasible and reliable minimum-age to select loblolly pine pulpwood provenances in middle-aged stand. In the same test, using indirect selection for stem volume and dry weight by growth traits, the genetic gain were above 15% when the selection rate was 10%, and to select provenances for pulpwood based on appropriate selection index, the relative selection efficiency can reached above 60%. Selection indices were constructed for 4 provenance tests, and 10 high-yielding and high-quality provenances were selected, their average phenotypic and genetic gains of tree height were 6.94% and 4.59%, of tree diameter were 8.38% and 5.55%, of stem volume were 20.00% and 13.24%, of wood density were 1.63% and 1.08%, of stem dry weight were 24.78% and 16.40%.

Key words loblolly pine provenance for pulpwood indirect selection index selection

Liu Zhaoxi, Professor, Sun Haiqing, Lu Benshu, Jiang Jingmin (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang, Zhejiang 311400); Xu Youming (The Agricultural University of Central China).