

柳杉种源变异与联合选择

黄信金

(福建省霞浦杨梅岭国有林场, 福建 霞浦 350012)

摘要: 对营建在福建省霞浦杨梅岭国有林场的 3 片柳杉 *Cryptomeria fortunei* 种源试验林的生长、木材品质和形质性状进行全面系统的调查分析, 其中 2005 年年终对 1979 年种源试验林进行调查, 2007 年年终对 1981 年和 1982 年种源试验林进行调查。结果表明: 26 年生和 27 年生种源试验林的树高、胸径、材积和髓心偏心率性状在参试种源间的差异均达显著水平 ($P < 0.05$) 或极显著水平 ($P < 0.01$), 树高、胸径、材积和髓心偏心率性状的遗传力为 0.5 左右, 受中等程度的遗传控制。通过综合比较, 选出福建杨梅岭、罗源西兰、江西庐山等优良种源 13 个, 树高、胸径和材积的平均遗传增益分别为 7.2%, 9.2% 和 27.9%, 髓心偏心率平均值为 0.18%。这些优良种源均经历了寒冬和 10 级以上台风的袭击, 表现出良好的抗性。表 5 参 12

关键词: 林木育种学; 柳杉; 遗传变异; 种源选择

中图分类号: S722.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)06-0884-06

Selection and variation of *Cryptomeria fortunei* provenances in Fujian Province

HUANG Xin-jin

(State-owned Forest Farm of Yangmeiling, Xiapu County, Xiapu 355100, Fujian, China)

Abstract: Growth and wood quality traits of three *Cryptomeria fortunei* provenance tests established in the Yangmeiling State-owned Forest Farm of Fujian Province were surveyed and analyzed. The test forest established in 1979 was surveyed in 2005, whereas the forests established in 1981 and 1982 were appraised in 2007. Results among *Cryptomeria fortunei* provenances showed significant differences ($P < 0.05$ or $P < 0.01$) in tree height, diameter at breast height (DBH), volume, and wood eccentricity. Altogether 13 superior provenances, including Fujian Yangmeiling, Luoyuang Xilan, and Jiangxi Lushan, were selected. The average genetic gains were 7.2% for tree height, 9.2% for DBH, and 27.9% for volume with an average wood eccentricity of 0.18%. Also, good resistance to cold and strong typhoons was found. These superior provenances should be employed extensively. [Ch, 5 tab. 12 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Cryptomeria fortunei*; genetic variation; provenance selection

柳杉 *Cryptomeria fortunei* 属杉科 Taxodiaceae 常绿大乔木, 是中国南方最重要的针叶用材树种之一, 生长快, 寿命长, 适应寒冷、干旱和瘠薄等不良环境, 抗风抗雪压能力强, 可广泛用于建筑、桥梁和家具等, 适合在高海拔地区或空气湿度大的沿海山地发展^[1]。在柳杉遗传育种方面已进行较多的研究^[2-6], 但研究对象均以 10 年生以下的试验林为主, 对 10 年生以上柳杉遗传测定林的研究报道甚少, 且尚未见对 20 年生以上柳杉种源试验林的木材材材比率、木材基本密度、木材髓心分布、树皮率和皮厚等木材品质、形质性状进行研究的文献报道。由此, 笔者对营建在福建省霞浦杨梅岭国有林场 3 片 20 年生以上柳杉种源试验林进行全面调查, 探讨种源生长、木材品质和形质性状的遗传变异

收稿日期: 2010-01-04; 修回日期: 2010-03-13

基金项目: 福建省科技厅农业科技重点项目(2006N0016)

作者简介: 黄信金, 高级工程师, 从事森林培育研究。E-mail: ymlhxj@163.com

规律, 选择生长、木材品质性状综合表现优异的种源, 以期为福建省柳杉遗传改良研究工作提供材料基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

3 片种源试验林参试种源共计 36 个, 有效参试种源 33 个, 基本涵盖了中国柳杉的天然分布区, 其中部分种源有年度重复测定, 各年度参试种源号见表 1。

1.2 试验林概况

3 片种源试验林均营建在福建省霞浦杨梅岭国有林场, 地理位置为 $26^{\circ}25' \sim 27^{\circ}09'N$, $119^{\circ}45' \sim 120^{\circ}26'E$, 地处太姥山系, 属浙闽东南沿海丘陵立地区, 地貌以丘陵为主。属中亚热带海洋性季风气候, 气候温暖湿润, 雨水充沛, 年平均气温为 $19.5^{\circ}C$, 1 月平均气温 $9.1^{\circ}C$, 极端最低气温 $-0.9^{\circ}C$, 极端最高气温 $38.4^{\circ}C$, 年降水量 $1\ 411.3\ mm$, 年日照时数 $1\ 788.9\ h$, 年平均湿度 76% , 年平均风速 $1.2\ m \cdot s^{-1}$, 每年 6 - 9 月常有台风过境, 次数频繁, 风力最大可达 12 级以上, 年无霜期为 302 d, 有霜期 63 d。主要灾害性气候是霜冻、干旱、台风及暴雨。其中 1979 年种源试验林营建在马洋工区目莲山, 海拔高度为 $500 \sim 554\ m$, 立地等级 II 类, 红壤, 土层厚度 $100\ cm$, 完全随机区组设计; 1981 年种源试验林营建在涌山工区, 海拔 $499 \sim 527\ m$, 立地等级 I 类, 红壤, 土层厚度 $200\ cm$, 部分平衡不完全区组设计; 1982 年种源试验林营建在杨梅岭工区, 海拔 $262 \sim 335\ m$, 立地等级 II 类, 红壤, 土层厚度 $80\ cm$, 完全随机区组设计。

表 1 柳杉种源试验各年度参试种源

Table 1 Participation provenance of *Cryptomeria fortunei* provenance test forests

试验年份	代号	种源产地	代号	种源产地	代号	种源产地
1979 年	1	福建杨梅岭	4	湖北利川	7	安徽徽州
	2	日本 021	5	四川什邡	8	当地对照种
	3	日本 024	6	浙江小将	9	当地扦插柳杉
1981 年	1	浙江西天目	10	四川彭县	18	沙县大路
	2	浙江天目	11	安徽黟县	19	将乐万安
	3	浙江文成	12	福鼎蟠溪	20	三明中村
	4	浙江遂昌	13	福建拓荣	21	永安贡坪
	5	浙江临海	14	日本精英后	22	建宁黄坊
	6	浙江象山	15	宁德霍童	23	上杭步云
	7	浙江江山	16	罗源西兰	24	仙游游洋
	8	江西庐山	17	尤溪溪尾	25	对照
	9	湖南南岳				
1982 年	1	贵州锦屏县/日本	5	浙江文成	9	福建福安
	2	贵州锦屏县	6	对照	10	福建福鼎
	3	湖北利川	7	湖南南岳	11	福建南平
	4	江西庐山	8	福建霞浦	12	福建政和

1.3 调查取样和数据分析方法

2005 年和 2007 年对 3 片种源试验林的树高、胸径指标进行每木调查(其中 2005 年对 1979 年种源试验林进行调查, 2007 年对 1981 年和 1982 年种源试验林进行调查), 每小区选取最大单株实测胸径处的树皮厚度, 并在胸高处上坡方位自上而下用直径为 $5\ mm$ 的生长锥取得通过髓心和树皮的一条

完整无疵的木芯, 实测木芯全长、木芯半长、心材全长和心材半长等指标。木芯被带回实验室, 采用材性改良中常用的最大饱和含水量法测定木芯的基本密度。木芯基本密度计算公式: $G_B = 1/[(M - M_1)/M_1 + 1/W_D]$ 。其中: G_B 为木芯基本密度($g \cdot cm^{-3}$), M 为木芯水饱和时的质量(g), M_1 为木芯烘干时($105\text{ }^\circ C$)的恒质量(g), W_D 为构成细胞壁的木材物质的比重, 取平均值为 1.53。

根据调查的单木树高和胸径值, 按福建柳杉二元立木材积公式 $V = 0.000\ 058\ 06D^{1.955\ 335}H^{0.894\ 033}$ 计算立木材积。木材心材比率等性状的计算公式为: 木材心材比率 = (心材长/去皮木芯长) $^2 \times 100\%$ 。偏心率 = |半边木芯长/木芯长 - 0.5| $\times 100\%$ 。树皮率 = $100\% - (D - 2 \times \text{树皮厚})^2/D^2 \times 100\%$ 。其中: V 为单株材积, H 为树高, D 为胸径。

对各片试验林各年度、各性状调查收集的数据经反复核对无误后输入计算机, 对于木材的心材比率、树皮率等百分率性状先进行反正弦($\arcsin\sqrt{x}$)转换后进行统计分析。

数据方差分析的线性模型为: $Y_{ij} = \mu + B_i + F_j + E_{ij}$ 。其中: Y_{ij} 为第 i 个区组/重复、第 j 种源的小区平均值, μ 为群体平均值, B_i 为第 i 个区组/重复的效应值, F_j 为第 j 个种源的效应值, E_{ij} 为机误。

遗传参数的估算^[7,8], 以小区平均值进行方差分析时各片测定林各性状的遗传力。遗传力: $h^2 = r\delta_e^2/(\delta_e^2 + \delta_i^2)$ 。其中: h^2 为遗传力, r 为重复数, δ_e^2 为遗传方差, δ_i^2 为机误。遗传增益: $\Delta G = S h^2/\mu \times 100\%$ 。 ΔG 为遗传增益, S 为选择差, h^2 为遗传力, μ 为对照或群体平均值。

以上各项分析均采用南京林业大学遗传育种研究所叶志宏博士开发的 SPQG 软件包^[9]和国际通用的统计分析软件 SAS 6.12^[10-11]下进行。

2 结果与分析

2.1 生长性状的遗传变异

表 2 列出了 3 片种源试验林的生长表现。从表 2 可知, 各片试验林生长表现差异比较明显, 1979 年种源试验林和 1981 年种源试验林生长表现较好, 1982 年种源试验林生长表现稍差。在同一片种源试验林内, 树高、胸径和材积等主要生长性状在不同参试种源间存在着比较大的分化, 其中 1981 年营造种源试验林参试种源间分化最大, 树高、胸径和材积的变幅分别达 4.00 ~ 17.54 m, 6.00 ~ 25.00 cm 和 0.006 66 ~ 0.368 86 m³。可见, 不同参试种源在生长性状上存在较大的差异。

表 2 柳杉种源试验林生长表现

Table 2 Performance of growth traits of *Cryptomeria fortunei* provenance test forests

试验年份	年龄/a	树高		胸径		材积	
		均值/m	变幅	均值/cm	变幅	均值/m ³	变幅
1982 年	26	9.75	5.00 ~ 16.50	12.65	6.40 ~ 22.90	0.078 30	0.009 51 ~ 0.324 55
1981 年	27	12.14	4.00 ~ 17.54	15.23	6.00 ~ 25.00	0.121 65	0.006 66 ~ 0.368 86
1979 年	27	11.07	6.50 ~ 16.00	15.78	9.00 ~ 29.90	0.121 73	0.022 73 ~ 0.531 90

对 3 片种源试验林的树高、胸径和材积等主要生长性状进行方差分析表明(表 3), 树高、胸径和材积在 3 片种源试验林参试种源间的差异均达 5%显著水平或 1%显著水平, 说明在各片种源试验林中树高、胸径和材积等主要生长性状在参试种源间存在真实的差异, 树高、胸径和材积的遗传力在 0.5 左右, 说明生长性状受中等程度的遗传控制。

2.2 木材品质、形质性状的遗传变异

对 3 片种源试验林木材品质、形质性状进行方差分析表明(表 4), 木材品质、形质性状在各试验林参试种源间的差异性不一致。1979 年营造的种源试验林参试种源间的木材品质、形质性状中除树皮率和木材心材比率差异没有达到 5%显著水平外, 其余性状在参试种源间的差异均达 5%显著水平; 1981 年和 1982 年营造的种源试验林只有髓心偏心率在参试种源间的差异达 5%显著水平, 其余性状在参试种源间的差异均没有达到 5%显著水平。可见, 木材品质和形质性状中只有髓心偏心率在 3 片

表 3 参试种源生长性状方差分析和遗传参数估计

Table 3 Estimation of genetic parameters and anova of participation provenance growth traits

试验年份	年龄/a	性状	自由度	均方	F 值	P 值	遗传力	显著性
1979 年	27	树高/m	8	9.250	4.745	0.000 1	0.789	**
		胸径/cm	8	46.600	4.846	0.000 1	0.794	**
		材积/m ³	8	0.018	3.731	0.000 1	0.722	**
1981 年	27	树高/m	24	9.510	1.817	0.025 8	0.449	*
		胸径/cm	24	15.040	1.775	0.029 4	0.437	*
		材积/m ³	24	0.007	2.093	0.000 8	0.528	**
1982 年	26	树高/m	11	13.080	2.025	0.017 2	0.506	*
		胸径/cm	11	22.570	2.108	0.015 7	0.526	*
		材积/m ³	11	0.005	1.480	0.043 6	0.400	*

说明：“*”和“**”分别表示 5%显著差异和 1%显著差异；P 值小于 0.01 为差异达 1%显著水平，P 值小于 0.05 为差异达 5%显著水平，P 值大于 0.05 为差异不显著。

表 4 参试种源的木材品质、形质性状方差分析和遗传参数估计

Table 4 Estimation of genetic parameters and anova of participation provenance wood quality traits

试验年份	年龄/a	性状	均值	变幅	遗传力	F 值	P 值	显著性
1979 年	27	皮厚 /cm	0.520	0.2 ~ 1.0	0.600	2.499	0.026 2	*
		树皮率	0.103	0.055 ~ 0.157	0.323	1.477	0.120 3	ns
		髓心偏心率	0.027	0.002 ~ 0.095	0.612	2.579	0.018 3	*
		木材心材比率	0.433	0.170 ~ 0.724	0.427	1.744	0.083 1	ns
		木材基本密度/(g·m ⁻³)	0.359 5	0.225 3 ~ 0.461 5	0.481	1.927	0.023 7	*
1981 年	27	皮厚 /cm	0.49	0.20 ~ 0.80	—	0.724	0.440 7	ns
		树皮率	0.105	0.061 ~ 0.169	0.193	1.239	0.150 6	ns
		髓心偏心率	0.024	0.003 ~ 0.116	0.512	2.050	0.039 5	*
		木材心材比率	0.421	0.148 ~ 0.712	—	0.903	0.314 0	ns
		木材基本密度/(g·m ⁻³)	0.341 2	0.183 8 ~ 0.510 2	0.270	1.370	0.125 2	ns
1982 年	26	皮厚 /cm	0.40	0.20 ~ 0.70	—	1.039	0.156 5	ns
		树皮率	0.126	0.071 ~ 0.190	0.353	1.547	0.093 2	ns
		髓心偏心率	0.023	0.010 ~ 0.080	0.494	1.980	0.041 5	*
		木材心材比率	0.289	0.098 ~ 0.535	—	0.731	0.390 7	ns
		木材基本密度/(g·m ⁻³)	0.372 0	0.263 9 ~ 0.447 2	—	0.843	0.034 6	ns

说明：“*”表示 5%显著差异，“ns”表示无显著差异；P 值小于 0.01 为差异达 1%显著水平，P 值小于 0.05 为差异达 5%显著水平，P 值大于 0.05 为差异不显著。

种源试验林参试种源间的差异均达到 5%显著水平，髓心偏心率的遗传力均在 0.5 左右，受中等程度的遗传控制，为选择髓心偏心率低的柳杉优良种源提供了理论依据。

2.3 优良种源选择

根据上述分析，以生长性状值为主，同时兼顾髓心偏心率指标进行选择，其中髓心偏心率平均值大于 1%的种源予以淘汰。选出柳杉优良种源 13 个(表 5)，树高、胸径和材积的平均遗传增益分别为 7.2%，9.2%和 27.9%，髓心偏心率平均值为 0.18%。福建杨梅岭、罗源西兰、江西庐山等种源表现较

好, 福建杨梅岭种源 27 年生时树高、胸径和材积的平均值为 12.34 m, 18.95 cm 和 0.182 32 m³, 遗传增益分别为 9.1%, 15.6% 和 35.9%; 罗源西兰种源 27 年生时树高、胸径和材积的平均值为 16.93 m, 23.10 cm 和 0.336 64 m³, 遗传增益分别为 17.5%, 22.6% 和 105.9%; 江西庐山种源 26 年生时树高、胸径和材积的平均值为 12.82 m, 17.03 cm 和 0.148 22m³, 遗传增益分别为 15.2%, 18.2% 和 35.7%。同时, 3 片种源试验林经历了 1999 年和 2004 年寒冬以及 2001 年夏季的“飞燕”台风正面袭击, 风力达 10 级以上, 均未见有压断、受冻、被风刮倒或连根拔起现象。可见, 所选的优良种源不但生长、品质性状表现优异, 而且抗寒、抗雪压、抗冰挂以及抗台风能力较强。

表 5 柳杉优良种源性状表现

Table 5 the performance of the selected superior *Cryptomeria fortunei* provenance

试验年份	年龄/a	优良种源	树高		胸径		材积		偏心率/%
			均值/m	增益/%	均值/cm	增益/%	均值/m ³	增益/%	
1979 年	27	福建杨梅岭	12.34	9.1	18.95	15.6	0.182 32	35.9	0.40
		日本 024	12.42	9.6	18.67	14.6	0.175 29	31.8	0.00
		日本 021	11.12	0.4	15.83	0.3	0.125 27	2.1	0.50
1981 年	27	罗源西兰	16.93	17.5	23.10	22.6	0.336 64	105.9	0.20
		建宁黄坊	14.96	10.4	18.87	10.4	0.203 44	43.3	0.09
		永安贡坪	12.91	2.9	17.05	5.2	0.146 55	16.6	0.19
		浙江江山	13.47	4.5	16.59	3.9	0.143 07	15.0	0.21
		福建拓荣	12.73	2.2	16.30	3.1	0.132 41	10.0	0.10
		三明中村	13.78	5.9	16.22	2.8	0.140 36	13.7	0.20
1982 年	26	沙县大路	12.90	2.9	15.88	1.9	0.127 52	7.7	0.15
		江西庐山	12.82	15.2	17.03	18.2	0.148 22	35.7	0.20
		湖北利川	12.54	14.3	16.48	15.9	0.140 56	31.8	0.11
		浙江文城	10.63	4.3	13.73	4.5	0.103 54	12.9	0.15
平均值			7.6		9.2		27.9	0.18	

3 结论与讨论

对 3 片种源试验林的调查分析结果表明: 试验林的树高、胸径和材积等主要生长性状在参试种源间的差异均达 5% 显著或 1% 显著水平, 树高、胸径和材积的遗传力在 0.5 左右, 生长性状受中等程度的遗传控制; 木材品质和形质性状中只有髓心偏心率在 3 片试验林参试种源间的差异达 5% 显著水平, 髓心偏心率的遗传力均在 0.5 左右, 髓心偏心率性状受中等程度的遗传控制。由此, 对种源试验林参试种源的生长性状和髓心偏心率性状进行联合选择可以取得比较理想的效果。

以生长性状值为主, 同时参照髓心偏心率指标选出柳杉优良种源 13 个, 树高、胸径和材积的平均遗传增益分别为 7.2%, 9.2% 和 27.9%, 髓心偏心率平均值为 0.18%。其中福建杨梅岭、罗源西兰、江西庐山在 3 片种源试验林参试种源中表现最好。同时, 3 片种源试验林均经历了 1999 年和 2004 年寒冬以及 2001 年夏季的“飞燕”台风正面袭击, 均未见有压断、受冻、被风刮倒或连根拔起现象。由此可知, 所选优良种源综合性状表现优异, 应将这些优良种源保存收集到柳杉种质资源库中, 同时通过有性繁殖或无性繁殖方式进行推广应用。

种源试验是研究林木群体遗传变异的依据, 通过种源试验可以确定不同产地种源在一定地区生境条件下的适应能力和生产力, 以便为当地筛选出高产、优质、稳定的适宜种源, 从而提高人工林的木材产量和品质。由于林木具有生长周期比较长等特点, 林木种源试验和优良种源选择是一个长期的过

程, 随着试验林年龄的增大, 选出的优良种源的可靠性和稳定性越好^[12]。本试验通过对长达 27 年生种源试验林的生长、木材品质和形质性状进行了系统的观测分析, 选出综合性状表现优异的柳杉种源 13 个, 为柳杉遗传改良研究提供了优良材料。

参考文献:

- [1] 中国树木志编委会. 中国主要造林树种: 上册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1978.
- [2] 陈淮秋. 柳杉地理种源栽培试验[J]. 林业勘察设计, 2005 (2): 9 - 13.
CHEN Huaiqiu. Cultivation experiments of *Cryptomeria fortunei* geographic provenance [J]. *For Prospect Des*, 2005 (2): 9 - 13.
- [3] 刘洪谔, 李晓储. 柳杉地理种源造林试验[J]. 浙江林学院学报, 1993, 10 (4): 388 - 395.
LIU Hong'e, LI Xiaochu. Planting experiments of *Cryptomeria fortunei* geographic provenance [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1993, 10 (4): 388 - 395.
- [4] 刘洪谔, 范义荣. 柳杉无性系的遗传和选择[J]. 浙江林学院学报, 1990, 7 (2): 116 - 121.
LIU Hong'e, FAN Yirong. Selection and genetic of *Cryptomeria fortunei* clone [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1990, 7 (2): 116 - 121.
- [5] 刘洪谔, 童再康, 李晓储, 等. 柳杉优树子代的遗传变异与再选择[J]. 浙江林学院学报, 1992, 9 (1): 29 - 35.
LIU Hong'e, TONG Zaikang, LI Xiaochu, et al. Genetic variation in seed production and re-selection of *Cryptomeria fortunei* plus tree progeny [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1992, 9 (1): 29 - 35.
- [6] 张卓文. 柳杉生长过程分析及生长阶段划分[J]. 中南林学院学报, 2003, 23 (2): 46 - 51.
ZHANG Zhuowen. Increment process analysis and growing stage division of *Cryptomeria fortunei* [J]. *J Central South For Univ*, 2003, 23 (2): 46 - 51.
- [7] 孔繁浩. 森林数量遗传学[R]. 南京: 南京林业大学, 1985.
- [8] 乔纳森 H, 赖特 W. 森林遗传学[M]. 郭锡昌, 胡承海, 译. 北京: 中国林业出版社, 1981: 201 - 207.
- [9] 叶志宏. 林木遗传改良实用统计应用软件系统(SPQG)[M]. 天津: 南开大学出版社, 1993.
- [10] 惠大丰, 姜长鉴. 统计分析系统 SAS 软件实用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [11] 裴喜春, 薛河儒. SAS 及应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [12] 梁一池. 25 年生马尾松种源遗传变异及选择研究[J]. 三明学院学报, 2007, 24 (2): 121 - 126.
LIANG Yichi. Genetic variations and selection of *Pinus massoniana* provenance in a 25-year-old testing plantation [J]. *J Sanming Univ*, 2007, 24 (2): 121 - 126.