

乐昌含笑种源不同林龄生长变异及早期选择

韦如萍, 晏 姝, 郑会全, 王润辉, 胡德活

(广东省林业科学研究院 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

摘要: 【目的】研究乐昌含笑 *Michelia chapensis* 主要生长性状的遗传变异规律及幼林期与近成熟林期主要性状的相关性, 探析乐昌含笑种源早期选择的适宜林龄。【方法】利用种植于广东省韶关市国有曲江林场和九曲水林场的乐昌含笑种源试验林多个年度的观测数据, 采用方差分析、遗传参数估算、相关分析及聚类分析等方法, 对胸径、树高及材积生长性状在林龄为 3、6、11、14 a 的遗传变异模式进行分析, 并确定早期选择的适宜林龄范围。【结果】种源试验林的保存率在林龄为 11~14 a 有较明显下降; 各林龄的树高、胸径、单株材积在种源间存在极显著差异 ($P < 0.01$); 种源效应对生长性状的影响随林龄的增大而逐渐增强或趋于平稳; 各林龄的树高、胸径、单株材积的种源遗传力为 0.69~0.90; 林龄为 3、6、11 a 时的树高、胸径、单株材积分别与林龄 14 a 的单株材积间存在极显著 ($P < 0.01$) 的表型相关和遗传相关; 综合指标法和单指标法对参试种源分类评价表明: 所得丰产型 I 类种源的分类结果较一致, 但单指标法更简便; 以林龄为 14 a 时入选的丰产型 I 类种源为参考时, 单指标法的早期选择风险更低, 在林龄为 3、6 a 时开展早期选择, 2 片试验林的选对率为 83%~100%, 漏选率均为 0。【结论】乐昌含笑树高、胸径、单株材积生长性状在不同种源间存在丰富变异, 种源效应对 3 个生长性状有明显且较稳定的影响, 树高、胸径、单株材积的种源遗传力属中等偏高水平。以丰产型种源为选择目标, 在林龄为 3~6 a 时开展单株材积的早期选择是可行的。图 1 表 7 参 20

关键词: 乐昌含笑; 种源; 遗传变异; 早晚相关; 早期选择

中图分类号: S722.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2023)02-0365-09

Growth variation of *Michelia chapensis* provenance in different ages and its early selection

WEI Ruping, YAN Shu, ZHENG Huiquan, WANG Runhui, HU Dehuo

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: [Objective] This study, with an investigation of the genetic variation of *Michelia chapensis* and the correlation between the main growth traits of juvenile trees and those of the adult trees, is aimed to determine the suitable age for the early selection of *M. chapensis* provenances. [Method] First, two testing forests of *M. chapensis* provenances with an age range of 3 to 14 planted in Qujiang forest farm and Jiuqushui forest farm, Shaoguan, Guangdong Province were selected for measuring growth traits. Then, an analysis was conducted of the genetic variation of growth traits at different ages with the employment of variance analysis, genetic parameter estimation, correlation analysis and cluster analysis before the suitable age of early selection was determined. [Result] The preservation rate of testing forest had significantly decreased in 11–14 years with significant differences ($P < 0.01$) in tree height, diameter at breast height (DBH) and individual volume among tested provenances at different ages. The provenance effect had a significant impact on growth traits, which was

收稿日期: 2022-05-18; 修回日期: 2022-12-10

基金项目: 广东省林业科技创新项目 (2022KJCX010)

作者简介: 韦如萍 (0000-0002-7170-0755), 研究员, 从事人工林培育研究。E-mail: wrpgx@163.com。通信作者: 胡德活 (0000-0002-8045-8630), 研究员, 从事林木育种研究。E-mail: hudehuo@163.com

gradually enhanced or tended to stabilize with the increase of age. The range of the provenance heritability for tree height, DBH and individual volume at different forest ages were 0.69–0.90 displaying significant phenotypic and genetic correlations between the early tree height, early DBH or early individual volume and the individual volume at the age of 14. As was shown in the classification and evaluation of provenances using comprehensive index and single index methods, the consistency of high-yield type I provenances obtained by the two evaluation methods was very high, but the single index method was relatively easier to operate. Taking the high-yield type I provenances selected in 14 years old as a reference, the early selection risk of single index method was lower than that of comprehensive index method. Using the single index method to carry out early selection at the age of 3 and 6 years, the correct selection rate of the two experimental forests was 83%–100% and the missed selection rates of both was 0. [Conclusion] The main growth traits of *M. chapensis* had rich variation among different provenances and the provenance effect had significant and stable influence on growth traits. The provenance heritability of tree height, DBH and individual volume was medium to high. As a result, for the sake of high-yield provenances, it was feasible to carry out early selection of individual volume during the age of 3–6 years. [Ch, 1 fig. 7 tab. 20 ref.]

Key words: *Michelia chapensis*; provenance; genetic variation; juvenile-mature correlation; early selection

乐昌含笑 *Michelia chapensis* 为木兰科 Magnoliaceae 含笑属 *Michelia* 常绿大乔木, 已被列入中国《国家二级保护植物名录》, 具有生长快、树干挺拔、花色优雅、四季葱郁、木材易于加工等优良特性, 是中国南方优良的乡土阔叶树种^[1-2]。自 20 世纪 80 年代起, 乐昌含笑树种逐渐得到重视, 早期多应用于园林绿化中, 近些年在森林康养、生态公益林、碳汇林建设中得到广泛应用^[2-4]。种源选择是树种改良的重要方法之一, 在林业生产中具有重要作用。但由于林木的生长周期长, 且不同生长期所表达的基因不同, 给林木育种策略的科学制定带来困难^[5]。根据目标性状的遗传力和幼林期与成熟林期性状相关性随年龄增长的变化趋势, 可确定种源的早期选择年龄, 进而加速林木遗传改良的进程^[5-9]。但乐昌含笑树种研究起步较晚, 较多研究集中在种群分布、苗木繁育、栽培技术等方面, 在遗传改良方面的研究, 尤其是早期选择适宜林龄的研究较少^[10]。广东省于 2003 年启动乐昌含笑良种选育研究工作, 并先后在广东省内多个区域布置了种源和家系试验林^[11]。目前, 早期营建的试验林已达近熟林期, 了解此期间林木主要生长性状的变异特征, 以及生长性状的早晚期相关性, 对推进乐昌含笑遗传改良进程具有重要意义。本研究根据早期营建的乐昌含笑种源试验林的多年度观测数据, 分析乐昌含笑生长性状的年度变化模式及性状间的早晚期相关性, 为解析乐昌含笑种源的生长变异规律以及开展早期选择提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

以广东省韶关市国有曲江林场和国有九曲水林场为研究地。其中, 曲江林场试验林 (QJ06) 地处 24°41'N, 113°36'E, 年均气温为 20.5 °C, 年均积温为 6 559.5 °C, 年均降水量为 1 751 mm, 位于山坡下部, 海拔约 180 m。九曲水林场试验林 (JQS06) 地处 24°22'N, 114°05'E, 年均气温为 20.3 °C, 年均积温为 6 570.7 °C, 年均降水量为 1 787 mm, 位于山坡下部, 海拔约 250 m。2 片试验林均为花岗岩成土, 红壤, 土层厚 1 m 以上, 肥力中等。

1.2 材料

曲江林场试验林参试种源 15 个, 九曲水林场试验林参试种源 12 个 (表 1)。2004 年采集种子, 2005 年培育苗木, 所有造林苗木均为 1 年生容器苗, 出圃规格为苗高 ≥ 35 cm, 地径 ≥ 0.5 cm。

1.3 方法

试验林采用随机完全区组设计, 18 株小区 (3 株 × 6 株或 2 株 × 9 株), 4 次重复。2005 年底完成试验林整地, 植穴规格为 50 cm × 40 cm × 35 cm, 每穴施 250 g 磷肥为基肥。试验林四周栽植 2 行木荷 *Schima superba* 作隔离行。2006 年 3 月造林, 造林当年及第 2 年每年抚育 2 次, 第 3 年抚育 1 次, 均未追肥。

表 1 参试种源信息

Table 1 Information of tested provenance

造林号	种源号	来源地	经纬度	试验林	
				曲江林场	九曲水林场
1	HNLL	湖南醴陵县王仙镇	27.663°N, 113.455°E	有	有
2	HNTD	湖南通道县草坪镇	26.216°N, 109.732°E	有	有
3	HNZX	湖南资兴县黄草镇	25.934°N, 113.452°E	有	有
4	HNGD	湖南桂东县红星镇	25.982°N, 113.893°E	有	有
5	HNSN	湖南遂宁县黄桑镇	26.713°N, 110.196°E	有	有
6	JXCY	江西崇义县茶滩镇	25.677°N, 113.452°E	有	有
7	JXSY	江西上犹县陡水镇	25.935°N, 114.392°E	有	有
8	JXLN	江西龙南县九连山	24.856°N, 114.512°E	有	有
9	LCJF	广东乐昌县九峰镇	25.243°N, 113.244°E	有	有
10	MZF	广东南雄县帽子峰镇	25.184°N, 114.366°E	有	有
11	NXJT	广东南雄县江头镇	25.183°N, 114.376°E	有	有
12	RHCJ	广东仁化县长江镇	25.203°N, 113.767°E	有	有
13	SXLJ	广东始兴县刘家山	24.847°N, 114.099°E	有	无
14	JXQN	江西全南县龙下镇	24.854°N, 114.517°E	有	无
15	JXAY	江西安远县车头镇	25.233°N, 115.384°E	有	无

2007年11月调查试验林2年生的保存率,2008年11月、2011年11月、2016年11月、2019年11月分别对试验林进行每木调查,其中树高用塔尺测量,胸径用胸径尺测量,测量位置为树干根部往上1.3 m处。

1.4 数据分析

利用 SAS 9.1 统计软件^[12]对数据进行分析。在 Proc Means 过程中进行数据特征描述,应用限制最大似然 (REML) 方法在 Proc Mixed 过程估算各效应方差分量,应用 SIN 方法在 Proc Cluster 过程进行聚类分析,以小区平均值为数据运用 Proc GLM 过程进行单地点方差分析,分析模型为: $Y_{ij} = \mu + B_i + F_j + E_{ij}$ 。其中: Y_{ij} 为 i 区组 j 种源的小区平均值, μ 为性状的群体均值, B_i 为 i 区组效应, F_j 为第 j 个种源效应, E_{ij} 为 j 种源 i 区组的小区均值离差。单株材积、表型相关系数、遗传相关系数、种源遗传力等估算公式参照文献 [11]。

2 结果与分析

2.1 不同林龄种源生长表现分析

从图 1 可见:2 片乐昌含笑试验林的保存率均较高,其中,在林龄 2 a 时,保存率曲江林场试验林为 85.19%,九曲水试验林为 95.02%。曲江林场和九曲水试验林的保存率变化趋势较相似,在林龄 3~11 a 间保存率均变化不大,分别为 80.56%~81.51% 和 89.24%~94.44%;在林龄 11~14 a 间保存率有较明显下降,在林龄 14 a 时,曲江林场试验林为 77.96%,九曲水林场试验林为 80.79%。

由乐昌含笑种源不同林龄生长表现(表 2)可知:曲江林场试验林树高速生期出现在林龄 3 a 之前和 11~14 a,年均生长量分别为 0.79 和 0.81 $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$;胸径速生期出现在林龄 3~6 a 和 11~14 a,年均生长量分别为 1.20 和 1.05 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。九曲水林场试验林树高的速生期出现在林龄 3 a 之前和 6~11 a,年均生长量分别为 0.98 和 0.63 $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$;胸径速生期出现在林龄 3~6 a 和 6~11 a,年均生长量分别为 0.95 和 0.80 $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。2 片试验林单株材积生长速生期均在林龄 11~14 a。随着林龄的增大,3 个生长性状在种源间的分化也不断增大,各性状的变异系数随林龄的增长呈逐渐增大后减小的趋势,从大到小依次为单株材积变异系数、胸径变异系数、树高变异系数。

2.2 不同林龄种源生长性状方差分析

方差分析结果(表 3)显示:不同林龄的树高、胸径、单株材积在参试种源间均达到极显著水平

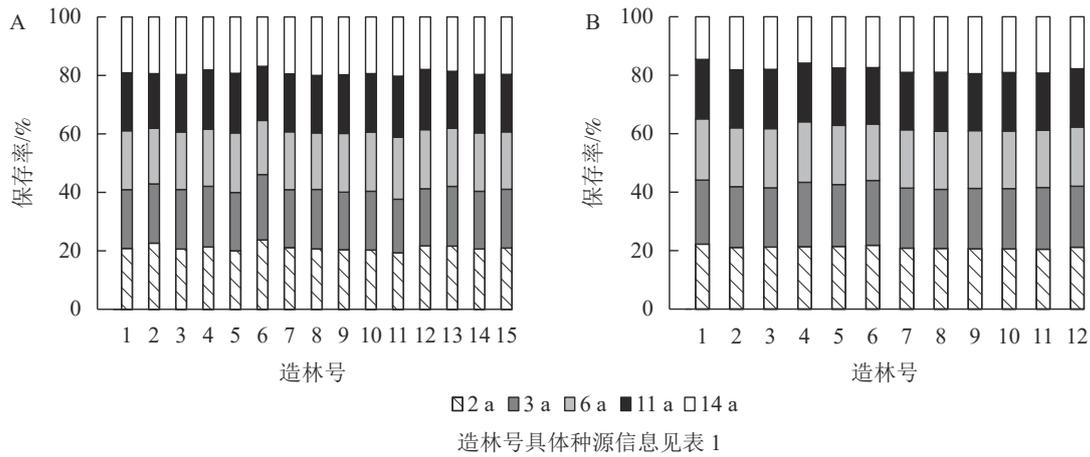


图 1 曲江林场 (A) 和九曲水林场 (B) 试验林不同林龄的保存率

Figure 1 Preservation rate of different ages of two testing forests in Qujiang forest farm (A) and Jiuqushui forest farm (B)

表 2 不同林龄种源的生长表现

Table 2 Growth performance of provenances at different ages

试验林	林龄/a	树高			胸径			单株材积		
		均值/m	变幅/m	变异系数	均值/cm	变幅/cm	变异系数	均值/m ³	变幅/m ³	变异系数
曲江林场	3	2.36	1.20~4.40	12.37	1.68	0.20~5.50	22.53	3.93×10 ⁻⁴	2.17×10 ⁻⁶ ~4.37×10 ⁻³	48.98
	6	4.04	1.40~7.60	17.19	5.28	0.50~14.90	24.32	6.38×10 ⁻³	1.00×10 ⁻⁵ ~5.85×10 ⁻²	58.77
	11	7.31	2.20~13.50	15.59	9.48	2.00~25.00	18.95	3.47×10 ⁻²	5.20×10 ⁻⁴ ~2.78×10 ⁻¹	52.87
	14	9.73	2.40~17.50	11.58	12.64	2.50~30.50	15.37	8.10×10 ⁻²	6.10×10 ⁻⁴ ~4.54×10 ⁻¹	36.49
九曲水林场	3	2.94	1.00~6.20	9.72	2.88	0.50~8.40	17.34	1.24×10 ⁻³	1.00×10 ⁻⁵ ~1.22×10 ⁻²	38.08
	6	4.76	1.50~11.00	10.24	5.73	0.70~16.50	13.72	8.39×10 ⁻³	2.00×10 ⁻⁵ ~1.08×10 ⁻¹	41.27
	11	7.93	2.50~18.10	10.65	9.74	2.20~23.50	13.92	3.54×10 ⁻²	6.10×10 ⁻⁴ ~3.22×10 ⁻¹	42.91
	14	9.37	2.80~16.20	11.64	11.09	2.40~34.20	13.78	6.27×10 ⁻²	8.50×10 ⁻⁴ ~6.76×10 ⁻¹	34.90

表 3 不同林龄生长性状的方差分析

Table 3 Variance analysis of growth traits at different ages

性状	林龄/a	曲江林场试验林						九曲水林场试验林				
		自由度	F	方差分量占比/%			自由度	F	方差分量占比/%			
				种源	种源×区组	误差			种源	种源×区组	误差	
树高	3	14	3.64**	30.02	27.80	42.18	11	5.58**	40.89	23.41	35.70	
	6	14	4.40**	31.31	31.81	36.88	11	8.25**	53.51	16.98	29.51	
	11	14	5.68**	37.78	29.93	32.29	11	7.12**	43.90	25.50	30.60	
	14	14	9.94**	56.29	18.53	25.18	11	6.74**	41.25	21.35	37.40	
胸径	3	14	4.52**	36.28	22.46	41.26	11	3.19**	24.45	30.86	44.69	
	6	14	4.54**	32.88	29.97	37.15	11	7.97**	53.32	16.09	30.59	
	11	14	6.52**	42.62	26.50	30.88	11	7.12**	46.22	23.58	30.20	
	14	14	9.11**	57.16	14.64	28.20	11	7.37**	55.43	9.76	34.81	
单株材积	3	14	5.41**	44.65	14.85	40.50	11	3.79**	30.47	25.80	43.73	
	6	14	3.55**	33.32	25.97	40.71	11	4.71**	36.64	23.89	39.47	
	11	14	4.24**	32.42	30.23	37.35	11	4.52**	32.38	30.79	36.83	
	14	14	6.93**	48.02	19.61	32.37	11	6.30**	51.19	10.21	38.60	

说明: **表示性状方差分析差异极显著(P<0.01)

($P < 0.01$), 说明不同种源的生长性状存在很大差别, 从种源试验林中筛选丰产型优良种源以及开展种源早期选择是可行的。由方差分量占比分析结果还可知: 在不同林龄时, 遗传效应、环境效应以及遗传和环境互作效应都对乐昌含笑生长性状的变异有影响。在遗传方面, 树高、胸径和单株材积生长性状的遗传模式比较一致, 总体表现为随林龄增大遗传效应逐渐增强或趋于平稳的趋势; 不同林龄遗传效应的影响总体大于遗传和环境互作效应的影响, 这种差异在林龄为 14 a 时尤其明显。此外, 环境效应对生长性状的影响也不容忽视, 其中, 曲江林场试验林中环境效应表现为随林龄增加影响逐渐减少的趋势, 在九曲水林场试验林中不同林龄的环境效应则表现相对稳定, 这也说明了在种源试验过程中控制环境变异并提高测量准确性是十分必要的。

2.3 不同林龄种源生长性状遗传参数估算

由表 4 表明: 树高、胸径、单株材积 3 个性状的种源遗传力均属中上水平, 变幅为 0.69~0.90。其中, 曲江林场试验林树高、胸径的种源遗传力随林龄增加呈逐渐增大后趋于稳定的趋势, 到林龄 14 a 时分别为 0.90 和 0.89; 而九曲水林场试验林不同林龄各性状的种源遗传力表现相对稳定, 为 0.82~0.88。

2.4 幼林期和近熟林期性状相关分析

利用不同林龄参试种源的树高、胸径、单株材积分别与 14 a 的单株材积做相关分析可知 (表 5): 2 片试验林不同林龄各性状间的表型相关系数为 0.22~0.44, 遗传相关系数为 0.83~1.00。遗传相关系数均大于表型相关系数, 并在林龄为 3 a 以上时, 呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$)。表明乐昌含笑单株材积的早期选择在林龄为 3 a 后开展是可行的。随着林龄的增大, 曲江林场试验林各性状间的表型和遗传相关系数均相对稳定, 而九曲水林场试验林各性状间的表型和遗传相关系数则有逐渐增大后趋于稳定的趋势, 而且不同林龄的胸径与 14 a 的单株材积间的相关系数均大于树高与 14 a 的单株材积间的相关系数, 到林龄 6 a 时, 其胸径、单株材积和 14 a 的单株材积间的遗传相关系数均达到 1.0 并趋于稳定。由此推测, 根据幼林期胸径或单株材积的生长选择乐昌含笑丰产型优良种源, 其效果应优于根据树高的选择效果, 而且选择林龄越晚, 选择效果将会越好。

2.5 种源的综合评价

种源分类评价方法有综合指标法和单指标法。综合指标法利用胸径、树高、单株材积 3 个指标的聚类分析结果进行种源分类评价; 单指标法依据单株材积 1 个指标的大小进行种源分类评价。根据聚类分析结果, 可把种源分为 3 类 (表 6)。其中: 综合指标法的分类标准为: I 类种源总体生长表现最好, 其树高、胸径、单株材积 3 个指标与群体均值相比均有明显增益, 为丰产型种源; II 类种源总体生长表现较好, 树高、胸径、单株材积 3 个指标与群体均值相比差异不明显, 为普通型种源; III 类种源总体生长表现较差, 树高、胸径及单株材积均明显小于群体均值, 为低产型种源。单指标法的分类标准为: I 类丰产型种源, 单株材积生长表现最好, 与群体均值相比现实增益 $\geq 15\%$; II 类普通型种源, 单株材积生长表现较好, 与群体均值相比现实增益为 0~15%; III 类低产型种源, 单株材积生长表现较差, 与群体均值相比无增益。在不同林龄时, 曲江林场

表 4 不同林龄生长性状的种源遗传力估算值

Table 4 Estimation of provenance heritability of growth traits at different ages

林龄/a	QJ06遗传力估算值			JQS06遗传力估算值		
	树高	胸径	单株材积	树高	胸径	单株材积
3	0.73	0.78	0.82	0.82	0.69	0.74
6	0.77	0.78	0.72	0.88	0.88	0.79
11	0.82	0.85	0.76	0.85	0.86	0.78
14	0.90	0.89	0.86	0.82	0.86	0.84

说明: QJ06为曲江林场试验林; JQS06为九曲水林场试验林

表 5 幼林期和近熟林期生长性状相关系数

Table 5 Correlation coefficients of the main growth traits between the juvenile and mature age

性状	林龄/a	QJ06试验林14 a 单株材积		JQS06试验林14 a 单株材积	
		表型相 关系数	遗传相 关系数	表型相 关系数	遗传相 关系数
		树高	3	0.42**	0.98**
	6	0.35**	0.95**	0.29**	0.92**
	11	0.41**	0.96**	0.38**	0.95**
胸径	3	0.38**	0.97**	0.30**	0.98**
	6	0.36**	0.97**	0.31**	1.00**
	11	0.40**	0.98**	0.41**	1.00**
单株材积	3	0.37**	1.00**	0.22**	0.90**
	6	0.36**	0.97**	0.35**	1.00**
	11	0.37**	0.96**	0.44**	1.00**

说明: QJ06为曲江林场试验林; JQS06为九曲水林场试验林。**表示两两性状间极显著相关 ($P < 0.01$)

试验林采用2种评价方法筛选所得丰产型I类种源的数量占比均为33%~40%，九曲水林场试验林采用综合指标法筛选所得I类种源的数量占比为17%~42%，单指标法所得I类种源的数量占比为25%~33%，而且2种评价方法各类群所归类的种源个体总体差异不明显，表明2种方法对I类种源的分类结果较一致，但单指标法在操作上相对来说更简单。此外，表6还表明：2片试验林中绝大多数种源的早晚期生长表现较一致，如造林号为8、10、11、14、15的种源在各林龄时均属于I类种源，具有良好的持续生长特性；而在林龄3、6 a时属于III类的种源，绝大部分在林龄11、14 a时仍属于III类。这说明乐昌含笑生长性状具有较好的稳定性。

表6 各林龄参试种源分类评价

Table 6 Clustering analysis of provenances at different ages

试验林	类群	林龄3 a的种源		林龄6 a的种源		林龄11 a的种源		林龄14 a的种源	
		综合指标	单指标	综合指标	单指标	综合指标	单指标	综合指标	单指标
曲江林场	I	7、8、10、 11、14、15	7、8、10、 11、14、15	8、10、11、 14、15	8、10、11、 14、15	8、10、11、 14、15	7、8、10、 11、14、15	8、10、11、 14、15	8、10、11、 14、15
	II	9、13	9、13	7、9	7、9	7、9	9	7、9、13	7、9、13
	III	1、2、3、 4、5、6、 12	1、2、3、 4、5、6、 12	1、2、3、 4、5、6、 12、13	1、2、3、 4、5、6、 12、13	1、2、3、 4、5、6、 12、13	1、2、3、 4、5、6、 12、13	1、2、3、4、 5、6、12	1、2、3、4、 5、6、12
九曲水林场	I	7、8、10、 11	7、8、10、 11	7、8、10、 11	7、8、10、 11	7、8、10、 11	7、8、10、 11	8、10、11	7、8、10、11
	II	2、6、9、 12、		2、4、9、 12		2、4、9、 12	4、9	4、7、9	4、9
	III	1、3、4、5	1、2、3、 4、5、6、 9、12	1、3、5、6	1、2、3、 4、5、6、 9、12	1、3、5、6	1、2、3、 5、6、12	1、2、3、5、 6、12	1、2、3、5、 6、12

说明：表中数字为参试种源对应的造林号，具体种源信息见表1

2.6 早期选择风险评估

作为一般用材林经营时，软阔类树种龄级划分标准为：林龄≤5 a为幼龄林，6~10 a为中龄林，11~15 a为近熟林，16~25 a为成熟林^[13]。据此可知，本研究乐昌含笑种源试验林已是近熟林。若分别以综合指标和单指标法进行种源分类评价，以林龄14 a的近熟林I类种源选择结果为标准，进一步对不同林龄筛选出的I类种源进行风险评估(表7)。由表7可知：采用2种分类评价方法开展I类种源选择，在林龄3、6 a时，曲江林场试验林I类种源的选对率分别为83%、100%，漏选率均为0；九曲水林场试验林则以单指标法选对率更高，在林龄3、6 a的选对率均为100%，而综合指标法的选对率均为75%，

表7 乐昌含笑种源不同林龄选择风险评估

Table 7 Selection risk of *M. chapensis* provenances at different ages

评价方法	林龄/a	曲江林场试验林								九曲水林场试验林							
		入选数/个	选对数/个	选对率/%	错选数/个	错选率/%	漏选数/个	漏选率/%	入选数/个	选对数/个	选对率/%	错选数/个	错选率/%	漏选数/个	漏选率/%		
单指标	3	6	5	83	1	17	0	0	4	4	100	0	0	0	0		
	6	5	5	100	0	0	0	0	4	4	100	0	0	0	0		
	11	6	5	83	1	17	0	0	4	4	100	0	0	0	0		
	14	5	5	100	0	0	0	0	4	4	100	0	0	0	0		
综合指标	3	6	5	83	1	17	0	0	4	3	75	1	15	0	0		
	6	5	5	100	0	0	0	0	4	3	75	1	15	0	0		
	11	5	5	100	0	0	0	0	4	3	75	1	15	0	0		
	14	5	5	100	0	0	0	0	3	3	100	0	0	0	0		

2 种方法的漏选率均为 0。由此可知, 2 种分类评价方法的早期选择风险存在一定差异, 总体上以单指标法开展早期选择的早期选择风险更低, 但采用 2 种分类评价方法在林龄为 3、6 a 时开展 I 类种源的早期选择, 所得 I 类种源中均能包含 14 a 时入选 I 类种源的 100%。

3 讨论和结论

3.1 讨论

本研究的 2 片乐昌含笑种源试验林林木保存率随着林龄的增大以及个体间竞争的加大而逐渐降低, 尤以林龄 11~14 a 的保存率下降速度较快。据观察, 死亡的个体多为林冠内中、下层林木, 这些矮小林木的死亡, 会对参试种源生长量评价及遗传参数估算产生不利影响。因此, 在现有 3 m×3 m 的造林密度下, 在已郁闭且林木尚未大量死亡前作评价, 结果是相对可靠的; 当死亡植株大量增加时, 评价结果将产生较大偏差。若要比准确评价参试种源在达到轮伐期时的现实生产力, 则在造林时适当加大株行距以增大种植空间可能更合适。

性状的遗传变异是林木遗传改良的前提, 丰富而有效的遗传变异奠定了林木的改良潜力^[5, 14]。丘作忠等^[15]对九曲水林场试验林的研究表明: 林龄为 6 a 时, 树高、胸径、单株材积生长性状和树干通直度、冠幅、树冠密度等性状在种源间均有极显著差异, 生长性状的种源遗传力为 0.79~0.88, 若以单株材积为选择目标时, 可筛选出优良种源 4 个, 材积现实增益达 27.78%~84.43%。王润辉等^[11]进一步对在 2006 年春季造林的九曲水林场试验林、曲江林场试验林、八一林场试验林(已在 2015 年被砍伐) 3 片乐昌含笑种源试验林林龄为 6 a 的调查表明: 种源、地点及种源和地点互作效应均对树高、胸径、单株材积有显著或极显著影响, 3 个生长性状的种源遗传力为 0.70~0.80, 结合多地点种源年生长量指标综合表现, 可筛选出优良种源 6 个, 材积现实增益达 11.95%~41.03%。本研究表明: 在林龄为 3~14 a, 乐昌含笑胸径、树高、单株材积在参试种源间均存在极显著差异, 表明生长性状在种源间存在丰富变异, 这与之前的研究结果相似^[11, 15]。性状的遗传力是从亲代传递给子代的能力上得以体现, 本研究中, 乐昌含笑种源不同林龄的树高、胸径、单株材积的种源遗传力为 0.69~0.90, 均在中等以上水平。而且随着林龄的增加, 各性状的遗传力表现为上升并趋于稳定的趋势, 说明乐昌含笑种源生长性状有较为稳定的遗传特性, 也进一步表明乐昌含笑种源早期选择的可行性。

早期选择是缩短林木育种周期、提高遗传改良效率的重要手段, 对林业生产和林木育种工作具有重要意义^[16-17]。林木生长性状的早晚相关性为早期选择提供了理论基础^[18], 但不同树种由于不同的生长规律、木材用途及培育目标, 其早期选择年龄存在较大的差异。相关研究多集中在杉木 *Cunninghamia lanceolata*、马尾松 *Pinus massoniana* 等传统针叶用材树种上。如叶培忠等^[6]指出: 在林龄为 6~7 a 时进行杉木家系早期选择可以增大年度效益; 王章荣等^[7]研究认为: 马尾松在林龄为 9~10 a 时开展选择的可靠性较高。钟伟华^[19]基于火炬松 *Pinus taeda* 子代林近 20 a 的测定结果, 提出林龄为 6 a 时是火炬松材积早期选择的最佳林龄。近些年, 有学者陆续对木兰科树种开展遗传改良研究工作, 并取得阶段性进展。如陈清根^[20]对灰木莲 *Manglietia conifera* 开展家系选择发现: 在林龄为 8 a 时入选的 8 个优良家系中, 有 5 个与林龄 3 a 时入选的家系相同, 但由于试验林尚未达到成熟期, 2 个林龄的选对率以及灰木莲早期选择的最佳林龄等问题仍需进一步确定。王云鹏等^[5]对木荷优树自由授粉家系在林龄为 3、5、10 a 的生长性状研究表明: 在林龄为 5 a 时以胸径作为早期选择性状的选择效率更高, 但早期选择最佳林龄还需持续观测后确定。本研究表明: 乐昌含笑种源的生长性状在早晚年度间存在极显著的遗传相关和表型相关, 表明开展早期选择是可行且有效的。进一步结合 2 片试验林的种源分类评价结果发现: 当以丰产型的 I 类种源为选择目标时, 在林龄为 3、6 a 时开展早期选择, 无论是采用综合指标法还是单指标法所得 I 类种源中都能包含 14 a 时入选 I 类种源的 100%。这一方面可能是因为树高、胸径 2 个生长性状与单株材积间具有密切相关性, 另一方面可能也说明了乐昌含笑树高、胸径、单株材积性状具有良好的遗传稳定性。而且, 本研究的种源试验林已是近熟林, 所得结果可靠性较高。但由于试验林尚未到轮伐期, 分析所得早期选择的适宜林龄仍需后续的进一步验证。

3.2 结论

乐昌含笑的树高、胸径、材积生长性状在种源间差异达极显著水平 ($P < 0.01$), 各林龄 3 个生长性状

的种源遗传力为 0.69~0.90, 属于中上水平; 参试种源在林龄为 3、6、11 a 的树高、胸径、单株材积分别与 14 a 时的单株材积间有极显著相关关系 ($P < 0.01$), 其中表型相关系数为 0.22~0.44, 遗传相关系数为 0.83~1.00, 并且各林龄的遗传相关系数均大于表型相关系数。当以丰产型种源为选择目标时, 乐昌含笑种源早期选择的适宜林龄为 3~6 a, 在此期间开展单株材积的早期选择, 选对率较高, 漏选率较低, 入选的种源中能包含林龄 14 a 时入选种源的 100%。

4 参考文献

- [1] 张伟红, 王润辉, 郑会全, 等. 乐昌含笑优树多点子代测定及优良家系选择[J]. *浙江农林大学学报*, 2015, **32**(5): 763 – 769.
ZHANG Weihong, WANG Runhui, ZHENG Huiquan, *et al.* Multi-site family trials and selection of superior families for *Michelia chapensis* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2015, **32**(5): 763 – 769.
- [2] 宋述灵, 姚小华, 余泽平, 等. 江西官山乐昌含笑群落组成、种群动态与自然择优[J]. *江西农业大学学报*, 2018, **40**(3): 533 – 544.
SONG Shuling, YAO Xiaohua, YU Zeping, *et al.* Species composition, population dynamics and natural selection of *Michelia chapensis* community in Guanshan Nature Reserve of Jiangxi Province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, **40**(3): 533 – 544.
- [3] 张宇鹏, 周国模, 周宇峰, 等. 5 个常见绿化树种对极端高温的光合响应特征[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, **34**(2): 301 – 309.
ZHANG Yupeng, ZHOU Guomo, ZHOU Yufeng, *et al.* Photosynthetic characteristics of five common tree species in response to extreme heat [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, **34**(2): 301 – 309.
- [4] 孙延军, 张伟, 王一钦, 等. 深圳地区 8 种常见生态公益林树种 VOCs 测定及其保健作用[J]. *林业与环境科学*, 2019, **35**(2): 67 – 74.
SUN Yanjun, ZHANG Wei, WANG Yiqin, *et al.* Identification of volatile organic compounds and pharmaceutical properties of eight common urban forest plants from Shenzhen regions [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2019, **35**(2): 67 – 74.
- [5] 王云鹏, 张蕊, 周志春, 等. 木荷优树自由授粉家系早期生长性状遗传变异动态规律[J]. *林业科学*, 2020, **56**(9): 77 – 86.
WANG Yunpeng, ZHANG Rui, ZHOU Zhichun, *et al.* Dynamic patterns of genetic variation in early growth traits of the open-pollinated families of *Schima superba* plus tree [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2020, **56**(9): 77 – 86.
- [6] 叶培忠, 陈岳武, 阮益初, 等. 杉木早期选择的研究[J]. *南京林产工业学院学报*, 1981, **5**(1): 106 – 116.
YE Peizhong, CHEN Yuewu, RUAN Yichu, *et al.* Study on early selection of *Cunninghamia lanceolata* [J]. *Journal of Nanjing Technological College of Forest Products*, 1981, **5**(1): 106 – 116.
- [7] 王章荣, 陈天华, 周志春, 等. 福建华安马尾松生长早晚期相关及早期选择[J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 1987, **11**(3): 41 – 47.
WANG Zhangrong, CHEN Tianhua, ZHOU Zhichun, *et al.* Early-late correlation and early selection of the growth traits of *Pinus massoniana* Lamb. in Hua'an County, Fujian Province [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 1987, **11**(3): 41 – 47.
- [8] 佟再康, 杨书文, 张培果, 等. 长白落叶松早期选择的研究[J]. *东北林业大学学报*, 1990, **18**(5): 7 – 14.
TONG Zaikang, YANG Shuwen, ZHANG Peiguo, *et al.* Study on early selection of *Larix olgensis* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1990, **18**(5): 7 – 14.
- [9] 叶代全. 杉木第 4 代育种候选群体的 12 年生全同胞子代测定表现与选择[J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2022, **46**(6): 240 – 250.
YE Daiquan. Performances and selections on a 12-year-old full-sib progeny testing from one of the candidate population for the 4th generation Chinese fir breeding [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2022, **46**(6): 240 – 250.
- [10] 周欢, 韦如萍, 李吉跃, 等. 乐昌含笑培育与开发利用研究进展[J]. *中国野生植物资源*, 2022, **41**(9): 61 – 66.
ZHOU Huan, WEI Ruping, LI Jiyue, *et al.* Research progress on silviculture and utilization of *Michelia chapensis* Dandy [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2022, **41**(9): 61 – 66.
- [11] 王润辉, 张伟红, 郑会全, 等. 乐昌含笑多点种源试验与优良种源选择[J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, **35**(5): 16 –

- 21, 34.
- WANG Runhui, ZHANG Weihong, ZHENG Huiquan, *et al.* Study on multi-site provenance trials and superior provenances selection of *Michelia chapensis* [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, **35**(5): 16 – 21, 34.
- [12] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- HUANG Shaowei, XIE Weihui. *Practical SAS Programming and Analysis of Forestry Test Data* [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2001.
- [13] 广东省质量技术监督局. 商品林经营管理规范: DB44/T 1143—2013 [S]. 广州: 广东省标准化研究院, 2013.
- Guangdong Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision. *Specification of Commercial Forest Management: DB44/T 1143—2013* [S]. Guangzhou: Guangdong Institute of Standardization, 2013.
- [14] 罗芊芊, 肖德卿, 徐洪辉, 等. 马尾松无性系生长和形质性状变异分析和优选[J]. *东北林业大学学报*, 2022, **50**(9): 40 – 44.
- LUO Qianqian, XIAO Deqing, XU Honghui, *et al.* Variation analysis and optimization of growth and form-quality traits of *Pinus massoniana* clones [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2022, **50**(9): 40 – 44.
- [15] 丘作忠, 胡德活, 王润辉, 等. 粤北乐昌含笑种源选择试验研究[J]. *现代农业科技*, 2016(10): 130 – 131, 133.
- QIU Zuozhong, HU Dehuo, WANG Runhui, *et al.* Provenances trial and selection of *Michelia chapensis* Dandy in the north of Guangdong [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(10): 130 – 131, 133.
- [16] 付强, 黄桂华, 周强, 等. 柚木无性系早期选择年龄的研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2022, **42**(10): 31 – 38.
- FU Qiang, HUANG Guihua, ZHOU Qiang, *et al.* Study on the early selection age of *Tectona grandis* clones [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2022, **42**(10): 31 – 38.
- [17] 李昌荣, 郑永邓, 郭东强, 等. 广西引种伞房属 3 种桉树的生长和抗病性早期选择[J]. *林业科学研究*, 2022, **35**(6): 64 – 72.
- LI Changrong, ZHENG Yongdeng, GUO Dongqiang, *et al.* Early selection on growth and disease resistance in three *Corymbia* species in Guangxi [J]. *Forest Research*, 2022, **35**(6): 64 – 72.
- [18] 邱妍, 翁启杰, 李梅, 等. 尾叶桉×细叶桉多年生生长及其与材性相关的遗传分析[J]. *林业科学研究*, 2022, **35**(4): 1 – 8.
- QIU Yan, WENG Qijie, LI Mei, *et al.* Genetic analysis on multiple-year growth traits and their correlations with wood properties in *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis* crosses [J]. *Forest Research*, 2022, **35**(4): 1 – 8.
- [19] 钟伟华. 林木遗传育种实践与探索[M]. 广州: 广东科技出版社, 2008: 402–412.
- ZHONG Weihua. *The Practice and Exploration in Forest Genetics and Tree Breeding*[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2008: 402–412.
- [20] 陈清根. 闽南地区 8 年生灰木莲家系评价与选择[J]. *森林与环境学报*, 2021, **41**(4): 410 – 416.
- CHEN Qinggen. Evaluation and selection of 8-year-old families of *Manglietia conifera* in southern Fujian [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2021, **41**(4): 410 – 416.