

鄂西亚高山区日本落叶松无性系生长性状 变异分析与早期选择

杜超群¹ 许业洲¹ 孙晓梅² 柳运海³ 解平书³

1. 湖北省林业科学研究所, 武汉 430075; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;
3. 湖北省建始县国有高岩子林场, 建始 445300

摘要 以建始县国有高岩子林场 11 年生日本落叶松混系超级苗无性系试验林为研究对象, 分析不同林龄无性系生长性状表型和遗传变异, 开展优良无性系初步选择, 为鄂西亚高山区日本落叶松无性系推广利用提供材料。结果表明: 11 年生无性系间胸径、树高和材积变异系数变化范围分别为 8.17%~29.53%、5.13%~23.08%、17.30%~60.42%; 不同年龄无性系间胸径、树高和材积生长量均存在极显著差异, 6~11 年生无性系的胸径、树高和材积重复力变化范围分别为 0.60~0.66、0.63~0.85、0.62~0.75; 不同林龄胸径、树高与 11 年生材积均存在极显著正相关, 胸径与材积的相关系数大于树高与材积的相关系数; 以胸径为主要选择指标, 兼顾无性系内表型变异选择 5 个优良无性系, 入选率为 8.6%, 与实生对照相比, 胸径、树高、材积遗传增益分别为 8.19%、12.20% 和 34.45%。

关键词 日本落叶松; 无性系; 表型变异; 遗传变异

中图分类号 S 722.83 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)03-0019-05

无性系林业一直受到林木育种界的普遍重视, 它与传统的实生苗造林相比, 具有集约经营、目的性强、生产周期短的特点, 不仅可获得较大的效益, 还具有许多技术上的优越性^[1]。育种者很早就认识到这一点, 自 20 世纪 70 年代开始, 世界各国的林业研究人员对各树种无性系进行选育试验研究, 如新西兰和澳大利亚对辐射松, 德国、芬兰、瑞典、挪威对挪威云杉, 英格兰对西加云杉, 加拿大对黑云杉, 巴西、刚果对桉树, 日本对柳杉、扁柏, 都曾开展了卓有成效的工作^[2]。我国最早对杨树无性系进行利用, 20 世纪 70 年代后又开展了杉木、池杉、水杉、湿地松等树种的无性系选育研究, 近年来开展了桉树的无性繁殖及利用研究。在针叶树种中无性利用发展最快的是杉木, 已选育出一批优良无性系在生产中推广应用, 杉木大规模扦插繁殖的无性系人工林已成为我国南方主要的用材林基地^[3-4]。

日本落叶松(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) 是我国重要的建筑和纸浆用材树种之一, 借鉴国外针叶树育种途径, 人工控制授粉生产强优势杂种和

无性利用正成为该树种良种化的重要形式。无性系林业的发展基础之一, 是优良遗传材料的取得与其大规模的、廉价的无性增殖利用^[1]。在无性繁殖技术方面, 日本落叶松扦插育苗相对成熟, 通过实验室体细胞胚胎发生途径开展大规模生产体胚苗的技术体系已经建立^[5], 这为无性系林业的发展打下了基础。在无性系选择方面, 已经开展了一些优良无性系初步选择研究, 包括苗期选择^[6-7]、早期初步选择^[8-9]和材性变异分析^[10-13], 多是在家系和家系内选择的基础上进行的。

本试验中造林材料是在种子园良种混系实生苗的基础上根据生长量和扦插生根能力比较, 通过大选大淘、边选择边淘汰的方式获得的, 本研究分别于 2007、2008、2011、2012 年对试验林分生长量进行调查, 开展无性系生长性状表型变异和遗传变异分析, 结合生长量和变异系数进行优良无性系的初步选择, 旨在探讨直接利用混系超级苗开展优良无性系选择的可行性和选择效果, 为当地日本落叶松无性系推广利用提供优良材料。

收稿日期: 2014-05-21

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题“北方针叶树种高世代育种技术研究与示范”(2012BAD01B01); 公益性行业科研专项“落叶松培育与高附加值集成材产业升级关键技术研究”(201104027)

杜超群, 助理研究员, 研究方向: 林木遗传育种. E-mail: smiledudu@126.com

通信作者: 许业洲, 研究员, 研究方向: 林木遗传育种. E-mail: xyz0271@sina.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖北省建始县国有高岩子林场,地理坐标为 30°41'N 109°31'E,海拔 1 460~2 090 m,为内陆性冷凉气候带高山多雨潮湿区,年均温 7~8 °C,平均最低温 -9.4 °C,平均最高温 33.3 °C,年降水量 1 600~1 800 mm,相对湿度 80% 以上,全年无霜期 160 d 左右,雨热同季。试验林分所在的位置海拔 1 620 m,坡度 5°,坡位中下坡,坡向东南,土壤为棕壤,土层较厚,pH 值 5.2~6.5,呈酸性至微酸性反应,有机质含量较高。

1.2 试验材料

建始县高岩子林场苗圃育苗,首先以长岭岗林场日本落叶松种子园混合种子为材料培育实生苗,从 300 万株实生苗中以 1 年生苗高大于平均值 2 倍标准差的标准选择 7 325 株超级苗营建初级采穗圃,入选率为 0.24%。根据定植后的生长表现以及扦插生根能力最终选择出 116 个单株营建生产性采穗圃,通过嫩枝扦插繁育获得 58 个无性系用于营建无性系试验林,在超级苗选择的基础上造林材料入选率为 0.79%。

2 年生扦插苗造林,以 2 年生混系实生苗为对照,造林时间为 2002 年 3 月,穴状整地,规格为 70 cm×70 cm×30 cm。完全随机区组设计,4 次重复,6 株方形小区,造林密度 2.0 m×2.0 m,试验林总面积 1.6 hm²。造林前 5 a 每年 7 月割草抚育 1 次。在 2008 年雪中该试验林有近 300 株发生翻倒,经过扶正、培土大部分存活,经调查 2012 年林分保存率为 67.2%。

1.3 数据调查

分别于 2007、2008、2011、2012 年年底调查各单株的胸径、树高生长量以及林分保存情况。材积计算采用湖北宜昌地区日本落叶松二元材积

公式:

$$V=0.00005108295689D^{1.857298121}H^{1.017901505}$$

式中 D 、 H 分别代表胸径和树高。

1.4 方差分析和遗传参数估计

方差分析和遗传参数估算均以小区平均值进行运算。方差分析采用 SAS GLM 过程^[14-15],方差分量采用 PROC VARCOMP 过程中的限制最大似然法(REML)计算^[16]。

1)方差分析。采用线性模型^[17]: $Y_i = \mu + F_i + e_i$,式中, Y_i 表示观测值, μ 表示总体平均值, F_i 表示无性系, e_i 表示误差。

2)重复力。按公式^[18] $R = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_e^2 / k)$ 计算,式中, σ_g^2 为无性系方差分量, σ_e^2 为环境方差分量, k 为重复数。

3)遗传变异系数。按公式 $CVG(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$ 计算,式中 CVG 为遗传变异系数, σ_g^2 为遗传方差, \bar{X} 为性状的平均值。

4)遗传增益。计算公式为: $\Delta G(\%) = (\bar{x} - \bar{X}) / \bar{X} \times 100$,式中 \bar{x} 为入选无性系性状的平均值, R 为性状重复力。

2 结果与分析

2.1 无性系表型变异分析

对 6~11 a 林分的生长量进行分析,无性系之间胸径、树高和材积均值的变化范围分别为 5.21~10.87 cm、5.57~10.40 m、0.050 0~0.007 4 m³,11 年生无性系表型最优无性系比最差无性系胸径、树高和材积分别多 41.96%、61.43%、216.22%。11 年生无性系间胸径、树高和材积变异系数变化范围为 8.17%~29.53%、5.13%~23.08%、17.30%~60.42%(表 1)。

表 1 试验林不同林龄表型变异情况

Table 1 Phenotypic variation information in different age

林龄/a Age	胸径 DBH			树高 Height			材积 Volume		
	平均值/cm Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值/m Mean	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值/m ³ Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
6	5.21	1.34	12.44~32.18	5.57	0.91	7.45~27.03	0.007 4	0.003 8	29.94~69.05
7	6.69	1.56	10.90~33.96	6.34	0.88	6.52~22.07	0.012 5	0.006 1	25.50~68.76
10	9.96	1.96	7.36~29.93	9.84	1.37	5.83~22.50	0.040 1	0.016 8	16.89~66.65
11	10.87	2.17	8.17~29.53	10.40	1.48	5.13~23.08	0.050 0	0.021 2	17.30~60.42

由表 1 可以看出,对于整个林分来说,随着林龄增大,胸径和树高变异系数的变化范围都呈减小的

趋势。以 11 年生变异系数较小的 400、357 和变异系数较大的 422、651 这 4 个无性系为例,分别计算

树高和胸径年均生长量,分析单个无性系生长过程与变异系数变化的关系。从图1中可以看出,无性系400和357在7~10 a时生长速度加快,11 a趋于稳定,变异系数相应地减小并趋于稳定;无性系651在6~11 a间生长速度及变异系数均较为稳定;无性系422年生长量逐年减小,变异系数逐渐增大

并趋于稳定。总体而言,随着生长速度的增加,无性系个体间的差异逐渐减小,变异系数趋于稳定;随着生长速度的减缓,可能因林木间的竞争出现劣势木和被压木,从而导致变异系数增大。这与孙晓梅等^[19]对日本落叶松家系生长性状表型变异分析的结论一致。

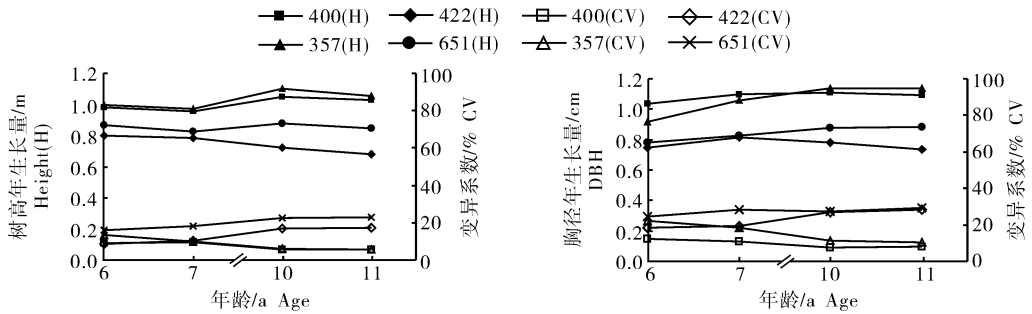


图1 4个无性系不同年龄年生长量与变异系数变化情况

Fig. 1 Annual growth and CV variation trend of 4 clones in different ages

2.2 无性系方差及遗传变异分析

对6~11 a试验林的生长量进行方差分析(表2),结果显示:无性系间胸径、树高和材积生长量均存在极显著差异。

3个性状的重复力均在0.6以上,说明性状受较强遗传控制,其中胸径的重复力变化比较平缓,稳

定在0.60~0.66;树高的重复力波动较大,由6年生时的0.63增大到0.85(11年生);材积重复力介于胸径和树高之间,在10、11 a时也有增大的趋势,由0.62(6年生)增大到0.75。3个性状中遗传变异系数最大为材积,变异范围为17.89%~18.55%;树高为5.34%~8.19%,胸径居中。遗传变异系数

表2 试验林不同林龄生长性状方差分析和遗传参数估算¹⁾

Table 2 AVOVA and estimates of genetic parameters for growth traits in different ages

林龄/a Age	性状 Trait	F	无性系方差 σ_k^2	环境方差 σ_e^2	重复力 Repeatability	遗传变异系数 CVG
6	胸径 DBH	2.61**	0.211 0	0.515 0	0.62	8.82
	树高 Height	2.63**	0.097 2	0.226 4	0.63	5.60
	材积 Volume	2.77**	0.000 002	0.000 005	0.62	19.11
7	胸径 DBH	2.44**	0.288 9	0.791 7	0.60	8.01
	树高 Height	2.65**	0.114 5	0.265 0	0.63	5.34
	材积 Volume	2.64**	0.000 005	0.000 012	0.63	17.89
10	胸径 DBH	2.85**	0.494 4	1.042 5	0.66	7.06
	树高 Height	5.98**	0.608 6	0.458 1	0.84	7.93
	材积 Volume	3.66**	0.000 054	0.000 074	0.75	18.32
11	胸径 DBH	2.74**	0.601 8	1.352 3	0.64	7.14
	树高 Height	6.40**	0.725 5	0.529 0	0.85	8.19
	材积 Volume	3.64**	0.000 086	0.000 118	0.75	18.55

1) **表示差异极显著 ** shows significantly different.

随着树龄增大呈现减小的趋势。

2.3 无性系生长量早-晚相关分析

对试验林不同林龄胸径、树高进行相关分析(表3),所有相关系数值都达到极显著水平,相关系数随着林龄的增加而增大。图2为胸径、树高与11 a材积的相关关系,可以看出,胸径与材积的相关系数大于树高与材积的相关系数,相关系数也是随着林龄的增加而增大。

表3 不同林龄胸径、树高的相关分析¹⁾

Table 3 Correlations between DBH and height in different ages

林龄/a Age	6	7	10	11
6		0.882 4**	0.717 5**	0.671 9**
7	0.829 3**		0.799 9**	0.751 6**
10	0.591 3**	0.693 8**		0.983 8**
11	0.593 4**	0.688 9**	0.992 5**	

1)表中右上侧为不同林龄胸径之间的相关系数,左下侧为不同林龄树高之间的相关系数; **表示相关极显著($\alpha=0.01$)。The upper right side was correlation coefficient of DBH in different age, the lower left side was correlation coefficient of DBH in different age. ** shows extremely significant($\alpha=0.01$).

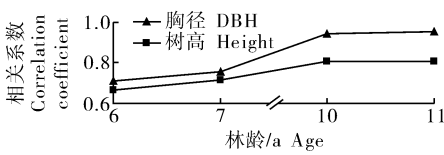


图 2 不同林龄胸径、树高与 11 a 材积的相关系数变化

Fig.2 Correlations between DBH,height in different age and volume in 11-year-old

2.4 优良无性系初步选择

由遗传变异分析可以看出,11 年生无性系间的生长差异达到了极显著水平,无性系各生长性状的重复力也较高,因此,进行优良无性系选择对于生长性状的改良是有效的。相关分析的结果显示,胸径和树高与材积的相关系数都达到极显著水平,胸径与材积的相关系数大于同龄树高与材积的相关系数。因此,以胸径为主要选择指标,同时考虑到无性系内的变异情况(要求胸径和树高变异系数均小于实生对照),最终选择出 5 个优良无性系(表 4),入选率为 8.6%。与实生对照相比,优良无性系的胸径、树高、材积遗传增益分别为 8.19%、12.20%和 34.45%(表 5)。

表 4 初选优良无性系

Table 4 Superior clones information of initial selection

入选无性系 Superior clone	胸径 DBH			树高 Height		
	均值/cm Mean	排名 Order	变异系数/% CV	均值/m Mean	排名 Order	变异系数/% CV
912	13.09	1	16.25	11.66	4	6.35
736	12.75	2	14.48	11.95	1	6.80
358	12.48	3	13.90	11.66	3	6.99
357	12.47	4	10.58	11.63	5	5.73
400	12.09	7	8.17	11.27	9	5.83
实生对照 CK	11.17	24	19.91	10.17	36	13.11

表 5 优良无性系的遗传增益

Table 5 Genetic gain from superior clones selection %

遗传增益 Genetic gain	胸径 DBH	树高 Height	材积 Volume
与林分平均值比较 Compared with mean	9.98	10.51	30.48
与实生对比较 Compared with CK	8.19	12.20	34.45

3 讨论

无性系是一个单株经过无性繁殖产生的后代群体,在不发生遗传变异的前提下,无性系内分株间的遗传物质是相同的,因此,分株间的形态特征和生长量都应该是一致的^[20]。生长性状变异系数的大小反映群体的变异程度。本研究中无性系间胸径、树高和材积变异系数的变化范围分别为 8.17%~

29.53%、5.13%~23.08%、17.30%~60.42%,这与钟岁英等^[21]研究的湿加松无性系、焦云德等^[8]研究的日本落叶松扦插无性系(6 年生)结果一致,比马顺兴等^[11]分析的 10 年生日本落叶松 10 个扦插无性系树高变异系数(5%~11%)稍大,这可能与参试无性系的数量有关。一些无性系的生长性状变异系数比实生对照的还大,导致这种现象的原因可能与试验重复次数少、区组间环境变化大以及无性系化过程中存在的位置效应等各种非遗传因素有关^[21]。

关于日本落叶松家系、单株及无性系生长的早晚相关及早期选择方面,目前已有较多的探讨^[8,10-11,19,22-23],普遍认为早期选择年龄在 6~8 a,以胸径为选择指标、利用最佳线性预测进行育种值的估算结果更为准确。本试验采用胸径为主、兼顾无性系内部的表型变异情况,将生长较好但是变异系数大的无性系剔除,保证所选的优良无性系在后期推广应用中的一致性和稳定性。

本研究中试验材料是良种混系超级苗无性系,通过生长量分析选出的优良无性系与实生对照相比,胸径、树高和材积遗传增益分别达到 8.19%、12.20%和 34.45%,与马顺兴等^[11]的研究结果以及杨秀艳等^[23]对 5 块日本落叶松子代测定林优良单株选择的结论相近。

采用从种子园良种混系实生苗中选择超级苗并无性系化后建立无性系试验林,通过林分生长调查分析进行优良无性系选育是可行的。该方法已在杉木优良无性系的选择中采用过,赵承开^[24]的研究表明从混系超级苗中选择优良无性系不仅可行,而且选择效果好于林分中的优树和采伐迹地上的优树萌芽条。与通过子代测定选择优良家系和优良单株后无性利用相比,该方法选择材料丰富、选择强度大、缩小了试验面积、缩短了育种周期,值得在无性系选择的过程中加以运用。

参 考 文 献

- [1] 马常耕.世界松类无性系林业发展策略和现状[J].世界林业研究,1994(2):11-17.
- [2] 王明麻.论无性系林业——概念和应用[J].林业科技开发,1992(1):2-4.
- [3] 韩刚,黄少伟.无性系林业与林业可持续发展[J].福建林业科技,2003,30(4):89-92.
- [4] 林晓凡.针叶树种的无性繁殖与无性系林业[J].江西林业科技,1999(6):36-40.
- [5] 吕守芳,张守攻,齐力旺,等.落叶松体细胞胚胎发生研究进展

- [J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 392-404.
- [6] 王笑山, 王建华, 马常耕, 等. 日本落叶松不同无性系生根生长性状相关及苗期选择[J]. 辽宁林业科技, 1995(5): 7-11.
- [7] 贺义才. 日本落叶松无性系选择的研究[J]. 山西林业科技, 2007(1): 13-15.
- [8] 焦云德, 赵鲲, 秦玉峰, 等. 日本落叶松无性系早期选择研究[J]. 河南林业科技, 2005, 25(2): 9-11.
- [9] 祁万宜, 黄成名, 甘德军, 等. 日本落叶松无性系选择研究[J]. 湖北林业科技, 2005(5): 1-6.
- [10] 马顺兴, 王军辉, 张守攻, 等. 日本落叶松无性系微纤丝角遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 188-191.
- [11] 马顺兴, 王军辉, 张守攻, 等. 日本落叶松无性系木材性质的遗传变异[J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 69-73.
- [12] 丁彪, 王军辉, 张守攻, 等. 日本落叶松无性系化学组成遗传变异的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(2): 50-53.
- [13] 邢新婷, 邵亚丽, 安珍, 等. 日本落叶松无性系管胞力学性质的遗传变异[J]. 林业科学研究, 2012, 25(4): 510-515.
- [14] 高惠旋. SAS系统 SAS/STAT 软件使用手册[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [15] SIEIRA-LNCERO V, MCKEAN D S E, HUBER D A. Performance differences and genetic parameters for four coastal provenances of loblolly pine in the southeastern United States[J]. For Sci, 2002, 48(4): 732-742.
- [16] 高之仁. 数量遗传学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1986.
- [17] FALCONER D S. 数量遗传学导论[M]. 储明星, 译. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [19] 孙晓梅, 张守攻, 王卫东, 等. 日本落叶松自由授粉家系形质性状遗传变异的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 41-45.
- [20] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 200-223.
- [21] 钟岁英, 赵奋成, 王炳新, 等. 湿加松无性系生长性状的遗传变异及选择效果研究初报[J]. 广东林业科技, 2011, 27(3): 14-19.
- [22] 孙晓梅, 张守攻, 侯义梅, 等. 短轮伐期日本落叶松家系生长性状遗传参数的变化[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 68-74.
- [23] 杨秀艳, 张守攻, 孙晓梅, 等. 北亚热带高山区日本落叶松自由授粉家系遗传测定与二代优树选择[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 45-50.
- [24] 赵承开. 杉木优良无性系早期选择年龄和增益[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 53-60.

Variation of growth traits and early selection of *Larix kaempferi* clones in sub-alpine area of western Hubei Province

DU Chao-qun¹ XU Ye-zhou¹ SUN Xiao-mei² LIU Yun-hai³ XIE Ping-shu³

1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, China;

2. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

3. Jianshi County State-owned Gaoyanzi Forest Farm of Hubei Province, Jianshi 445300, China

Abstract The study was carried out with an 11-year-old clones test plantation from mixed super seedling of *Larix kaempferi* in the state-owned gaoyanzi forest farm in Jianshi county. The variations of growth traits and genetic variation at different ages were analyzed. A number of superior clones with fast-growth were selected for the popularization and application in sub-alpine area of western Hubei. The results showed that the clone coefficient of variation of DBH, height and volume in 11-year-old was ranged from 8.17% to 29.53%, 5.13% to 23.08%, and 17.30% to 60.42%, respectively. There were extremely significant difference with DBH, height and volume within different clones of different age. The repeatability of DBH, height and volume of clones from 6-year-old to 11-year-old was ranged from 0.60 to 0.66, 0.63 to 0.85, and 0.62 to 0.75, respectively. Correlations between DBH, height in different age and volume in 11-year-old were positive and big. Correlations between DBH and volume were higher than that between height and volume. 5 superior clones were selected when select indicator was DBH and consideration was given to phenotypic variation in clone. Selective ratio was 8.6%. The genetic gain of DBH, height and volume of superior clones was 8.19%, 12.20% and 34.45%.

Key words *Larix kaempferi*; clones; phenotypic variation; genetic variation

(责任编辑: 张志钰)