

直干大叶相思的多性状遗传变异分析及早期选择*

李泽君

(福建省漳浦中西国有林场, 福建 漳州 363200)

摘要 为了解1 a生直干大叶相思 *Acacia auriculiformis* 不同家系的生长变异并对其进行早期选择, 研究利用 SPSS 和 R 软件分析其 20 个半同胞子代家系胸径、地径、树高的遗传分化程度和遗传力, 以遗传力最大的性状作为选择标准, 并通过 Duncan 多重比较法筛选该性状值排名前 4 的家系, 用最佳线性无偏预测法 (Best linear unbiased prediction, BLUP) 估算该性状的家系 BLUP 值, 选择率为 20%。结果表明, 树高、胸径和地径在生长发育过程中均出现了较大的分化, 变异系数分别为 24.41%、36.20% 和 25.47%; 3 个性状在区组间均达到极显著差异 ($P < 0.01$); 家系间胸径差异显著 ($P < 0.05$), 而树高和地径均为极显著差异 ($P < 0.01$), 各性状的家系遗传力为 0.387 1~0.515 9, 其中树高和地径受到中等强度的遗传控制, 胸径受到中弱强度的遗传控制, 地径遗传力最大。相关分析表明各生长性状之间均呈极显著正相关关系。以地径作为此次选择标准, 多重比较结果显示, 家系 13、15、5 和 19 号的地径位列前 4; 选出地径的 BLUP 值较高的家系为 13、15、5 和 19 号, 该结果与多重比较结果一致, 这些家系表型生长性状发育较好, 且具有更好的遗传优势。

关键词 直干大叶相思; 遗传变异; BLUP 育种值; 早期选择

中图分类号: S722.33 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2025) 02-0122-05

DOI: 10.20221/j.cnki.2096-2053.202502017

Multi-trait Genetic Variation Analysis and Early Selection of *Acacia auriculiformis*

LI Zejun

(Zhongxi State-owned Forest Farm in Zhangpu, Zhangzhou, Fujian 363200, China)

Abstract To investigate the growth variation of 1-year-old *Acacia auriculiformis* and to carry out early selection, SPSS and R software were used to analyze the genetic variation of main growth traits of 20 half-sib families of *A. auriculiformis*. The trait with the highest heritability was used as the selection criterion, and the top 4 families with the trait value were screened by Duncan's multiple comparisons. The Best linear unbiased prediction (BLUP) methods were used to estimate the BLUP breeding value of this trait. The selection rate was 20%. The results showed that the tree height, DBH, and ground diameter showed significant differentiation during growth and development, and the coefficient of variation was 24.41%, 36.20%, and 25.47%, respectively. There were significant differences among the three traits ($P < 0.01$), among families, there were significant differences in DBH trait ($P < 0.05$), and there were significant differences in tree height and ground diameter traits ($P < 0.01$). The family heritability of each trait ranged from 0.387 1 to 0.515 9, in which tree height

*基金项目: 福建省林业科技项目 (2024FKJ29), 福建省林木种苗科技攻关项目 (ZMGG-0709)。

作者简介: 李泽君 (1989—), 男, 工程师, 从事森林培育等林业科学技术研究。E-mail: 2830127662@qq.com

and ground diameter were controlled by medium strength, and DBH was controlled by medium weak strength, and ground diameter had the highest heritability. Correlation analysis showed that there were significant positive correlations among the growth traits. Using the ground diameter trait as the selection criterion, the multiple comparison results indicated that families of No. 13, 15, 5, and 19 ranked top 4 in ground diameter. Four families of No. 13, 15, 5, and 19 with higher BLUP breeding values of ground diameter were selected, which was completely consistent with the results of multiple comparisons. The phenotypic growth traits of these families were well developed and had better genetic advantages.

Key words *Acacia auriculiformis*; genetic variation analysis; BLUP breeding values; early selection

大叶相思 *Acacia auriculiformis* 是含羞草科金合欢属常绿乔木, 别名耳叶相思, 原产于澳大利亚、印度尼西亚、巴布亚新几内亚等国家, 具有耐旱、耐贫瘠、速生、适应性强、可固氮、生物量高等特点, 是华南地区重要的造林绿化、水土保持、防风固沙和保肥改土树种之一^[1-4]。直干型大叶相思相比于普通大叶相思具有生长速度更快、材积增长积累更大等优点, 其树干通直, 是大叶相思中的优良变异品种, 不仅保留了大叶相思原有的良好特性, 在抗寒、抗旱、抗风效果方面也具有显著优势^[5]。我国于 1960 年开始引种栽培大叶相思, 并在海南、广东、广西、福建等省(自治区、直辖市)广泛栽植。由于当年是以商品种的标签引进的种子, 未进行过系统的育种选择, 偶尔有光皮直干型的单株, 但大多数植株表现出干型弯曲、分枝低矮等缺点, 极大影响了大叶相思的木材利用和防风等性能。自 1982 年在巴布亚新几内亚及澳大利亚昆士兰的天然林里发现了直干型后, 我国学者经过多年的选种、培育和研究, 取得一定成果, 培育出直干大叶相思这一优良品种^[6]。

目前, 国内有关直干大叶相思的研究主要集中在其生长发育特点^[5]、抗逆性^[7]、种子质量^[8]、扦插育苗^[9]和无性系综合评价^[6]等方面。尚未见到对直干大叶相思实生苗木进行早期选择研究, 因此, 该研究以 1 a 生直干大叶相思家系为材料, 分析不同家系间的表型生长性状差异, 估算遗传参数, 通过多重比较与最佳线性无偏预测 (Best linear unbiased prediction, BLUP) 法, 对大叶相思家系进行早期选择。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省漳浦中西国有林场, 地

理坐标为 24°17'N、117°34'E, 该地属低山丘陵地带, 坡度为 15°~28°, 海拔 500~550 m。该地以山地红壤为主, 土层中厚, 腐殖质层薄, 理化性质较差; 年均气温 20.2℃, 极端高温为 42℃, 极端低温为 -2.4℃, 年有效积温 7 200℃; 年降雨量 1 600~1 800 mm, 无霜期 356 d。因其地处我国东南沿海地区, 在夏季时常受台风侵扰^[10]。

1.2 试验材料

直干大叶相思家系种子来源于漳浦中西国有林场单株采种, 在苗圃内育苗半年, 于 2023 年 5 月裸苗造林。采用完全随机区组设计, 共 20 个半同胞家系, 14 个区组(重复), 单株小区, 株行距 2 m×3 m, 试验地面积 0.2001 hm²。2023 年 12 月进行生长性状调查, 使用举杆法测量树高, 测量值精确到 0.1 m, 地径和胸径通过数显游标卡尺测量, 精确到 0.01 mm。

1.3 数据处理

数据统计与分析采用 Excel 2016、SPSS 26 以及 R 语言软件共同完成。对树高、胸径和地径 3 个主要生长性状进行一般性描述统计、方差分析、相关分析、邓肯 (Duncan) 多重比较、遗传参数及 BLUP 育种值估算。最佳线性无偏预测值不仅可以区分出固定效应对性状表型的影响, 还可以评估随机效应对性状表型的影响^[11], 此外, 育种值就是基因型值的加性效应, 因为其可以稳定遗传给子代, 在育种中具有重要的选择意义^[12]。

方差分析模型公式为:

$$Y_{ijk} = X + B_i + F_j + E_{ijk}$$

式中, Y_{ijk} 为第 i 个区组第 j 个家系第 k 个观察值, X 为群体平均值, B_i 为第 i 个区组的效应值, F_j 为第 j 个家系的效应值, E_{ijk} 为机误。

R 语言计算 BLUP 值和遗传力的方法:

利用 R 语言 lme4 程序包建立随机效应模型, 通过 lmer () 函数, 提取模型中预测值 (BLUP), 模型运行过程中输出的相关遗传参数, 用来计算遗传力。

随机效应模型为:

$$X_{ij} = \mu + L_i + F_j + e_{ij}$$

式中, X_{ij} 为第 i 个区组第 j 个家系胸径测定值; μ 为试验均值; L_i 为区组效应; F_j 为家系效应; e_{ij} 为残差项。区组、家系为随机效应。

家系遗传力计算公式为:

$$h^2 = V_g / (V_g + V_e / L)$$

式中, h^2 为家系遗传力; V_g 为家系的方差分量; V_e 为残差方差分量; L 为区组 (重复) 数。

需要指出的是, 试验设计为单株小区, 在生长性状调查过程中发现有缺株的情况, 导致部分区组存在缺家系现象, 因此, 在方差分析模型及随机效应模型中均未加入家系与区组的互作效应。

2 结果与分析

2.1 直干大叶相思生长变异分析

由表 1 可知, 3 种性状的变异系数均较大^[13], 其遗传分化程度大小依次为胸径、地径、树高。各性状方差分析结果见表 2。结果显示, 3 种生长性状在区组间均达到极显著差异 ($P < 0.01$), 胸径性状在家系间达到显著差异 ($P < 0.05$), 树高和地径性状均为极显著差异 ($P < 0.01$), 各性状的区组 F 值均大于家系, 表明地点间差异值大于家系间差异值, 环境因素对试验林的生长影响更大。

表 1 1 a 生直干大叶相思生长表现

Table 1 Growth performance of 1-year-old *Acacia auriculiformis*

性状	最小值	最大值	均值±标准差	变异系数/%
树高/m	0.50	4.60	2.99±0.73	24.41
胸径/mm	0.00	74.48	20.44±7.40	36.20
地径/mm	5.57	78.25	34.59±8.81	25.47

注: 实生苗裸苗造林。

表 2 直干大叶相思生长性状方差分析

Table 2 Variance analysis of growth traits of *Acacia auriculiformis*

性状	变异来源	自由度	平方和	均方	F	P
树高	家系	19	13.234	0.697	1.937	**
	区组	13	45.177	3.475	9.666	**
胸径	家系	19	1442.692	75.931	1.643	*
	区组	13	2442.665	187.897	4.065	**
地径	家系	19	2582.003	135.895	2.081	**
	区组	13	3035.198	233.477	3.575	**

注: “*” 表示差异显著 ($P < 0.05$); “**” 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 遗传参数估算

由表 3 可知, 遗传因素对树高和地径的影响占 50% 左右的权重, 受到中等强度的遗传控制, 胸径

则受到中弱强度的遗传控制^[14]。其中地径遗传力最大, 胸径最小, 以遗传力最大的地径作为此次选择标准。

表 3 直干大叶相思生长性状遗传参数估算

Table 3 Estimation of genetic parameters for growth traits of *Acacia auriculiformis*

性状	家系方差分量±标准差	残差方差分量±标准差	家系遗传力
树高/m	0.02465±0.15700	0.35959±0.59970	0.4897
胸径/mm	2.088±1.445	46.281±6.803	0.3871
地径/mm	4.975±2.231	65.365±8.085	0.5159

2.3 相关性分析

对直干大叶相思的生长性状进行相关性分析结果见表 4, 直干大叶相思地径、树高、胸径之间均呈极显著正相关关系。

2.4 多重比较与育种值估算

直干大叶相思地径的多重比较结果见表 5, 以 20% 选择率^[15-16], 筛选出排名前 4 的家系为 13、15、5 和 19 号, 其地径均值范围为 (37.51±6.52) mm~

表 4 直干大叶相思生长性状相关性分析

Table 4 Correlation analysis of growth traits of

Acacia auriculiformis

项目	树高	胸径
胸径	0.780**	
地径	0.656**	0.749**

注: “**”表示 $P < 0.01$ 。

(38.84±7.25) mm。

直干大叶相思地径的家系 BLUP 值预测结果见表 6, 家系 BLUP 值范围为 -2.779~2.950, 大于 0 的家系有 12 个, 以 20% 入选率从中选出 4 个 BLUP 值较高的家系, 分别为 13、15、5 和 19 号家系, 与多重比较结果完全一致, 这 4 个家系表型生长性状发育较好, 且具有更好的遗传优势。

表 5 1 a 生直干大叶相思地径多重比较

Table 5 Multiple comparison of ground diameter of 1-year-old *Acacia auriculiformis*

家系	地径/mm	排名	家系	地径/mm	排名
13	38.84±7.25a	1	8	34.57±7.00abcde	11
15	39.22±9.65ab	2	2	34.29±7.00abcde	12
5	38.26±6.66abc	3	1	34.03±7.58abcde	13
19	37.51±6.52abcd	4	6	33.74±8.73abcde	14
18	36.70±13.79abcde	5	10	33.23±6.22abcde	15
4	35.87±9.27abcde	6	20	31.86±7.69bcde	16
12	35.75±6.65abcde	7	7	31.22±4.33cde	17
3	5.46±12.43abcde	8	9	29.67±9.00de	18
14	35.46±7.82abcde	9	16	29.62±10.00de	19
11	34.97±6.58abcde	10	17	29.54±11.14e	20

注: a、b、c、d、e 为邓肯 (Duncan) 多重比较分析的等级排序; $P < 0.05$ 。

表 6 直干大叶相思地径家系 BLUP 值

Table 6 The family BLUP value of ground diameter of *Acacia auriculiformis*

家系	地径 BLUP 值	排名	家系	地径 BLUP 值	排名
13	2.950	1	8	0.165	11
15	2.776	2	2	0.011	12
5	2.237	3	1	-0.105	13
19	1.693	4	6	-0.800	14
18	1.362	5	10	-1.060	15
12	0.799	6	20	-1.400	16
14	0.655	7	17	-2.473	17
4	0.536	8	16	-2.479	18
3	0.326	9	9	-2.639	19
11	0.244	10	7	-2.779	20

3 结论与讨论

林木群体内遗传变异具有广泛性, 丰富的遗传变异是遗传改良的基础, 是遗传信息的重要外在表现。在林木遗传改良领域, 由于林木育种周期普遍较长的固有特性, 实施早期选择策略对缩短育种周期、加速高世代育种进程具有重要的实践意义, 通过科学合理的早期选择, 可以有效提

高育种效率^[17]。本研究中直干大叶相思 3 个主要生长性状的变异系数均较大, 说明直干大叶相思在生长过程中, 不同个体间出现了较大的分化, 此结果与彭洋等^[18]对棕榈 *Trachycarpus fortunei* 半同胞子代家系的研究相近, 丰富的变异为优良家系的选择提供了条件。

本研究通过一系列遗传变异分析, 最终选出 13、15、5 和 19 号 4 个家系, 这些家系表型生长

性状发育较好,且具有更好的遗传优势,推广潜力大,可以重点关注。需要强调的是,本次选择属于初步筛选,因为林木生长过程中,其遗传潜力不断变化,随着林龄的增长,林木固有的遗传潜力的表达会不断加强,在影响林木表型生长的所有因素中,环境因素所占的比重会不断降低^[19]。因此,需要根据后期林木的生长进行再次选择,本次选择只为后续营林管理工作提供工作方向及重点观测对象。

参考文献

- [1] 李晓东. 安溪县官桥镇砂质地引种大叶相思栽培技术探讨[J]. 南方农业, 2022, 16(19): 44-46.
- [2] 周丽丽, 李树斌, 吴亚岚, 等. 不同相思林叶片-凋落叶-土壤的生态化学计量特征[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(2): 64-72.
- [3] 冯慧芳, 刘落鱼, 薛立. 氮磷添加及林分密度对大叶相思林土壤化学性质的影响[J]. 植物生态学报, 2019, 43(11): 1010-1020.
- [4] 黄斌龙. 直干大叶相思二元材积与生长率模型研究[J]. 林业勘察设计, 2023, 43(3): 5-8.
- [5] 王思德. 15年生人工林大叶相思生长规律初步研究[J]. 绿色科技, 2016(1): 89-90.
- [6] 林皓辉. 直干大叶相思无性系综合评价与多性状选择[D]. 福州: 福建农林大学, 2022.
- [7] 谢巧银. 几种相思类树种造林生长及抗逆性分析[J]. 安徽农学通报, 2008(5): 63-64.
- [8] 黄永芳, 谭绍满. 直干型大叶相思种子品质和幼苗质量的研究[J]. 广东林业科技, 1997(3): 25-28.
- [9] 刘德朝. 直干大叶相思扦插育苗试验研究[J]. 福建林业科技, 2004(2): 72-74.
- [10] 黄斌龙. 直干型大叶相思胸径性状的生长规律研究[J]. 乡村科技, 2022, 13(21): 117-119.
- [11] 任丽, 郭敏杰, 苗建利, 等. 基于 BLUP 和 GGE 双标图的高油酸花生品种综合分析[J]. 分子植物育种, 2024, 22(5): 1568-1574.
- [12] 李奉令. 植物育种中的 BLUP 育种值分析应用探讨[J]. 种子科技, 2023, 41(18): 39-41, 54.
- [13] 苑正赛, 葛磊, 张晓艳, 等. 美洲黑杨半同胞子代苗期测定与早期选择[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(12): 15-18, 30.
- [14] 林强, 徐进, 李上前, 等. 柳杉半同胞子代遗传变异分析与早期选择[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版), (2024-06-03)[2025-03-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20240530.1436.002.html>.
- [15] 潘栋康, 梁坤南, 周再知, 等. 琼西南5年生柚木无性系生长性状遗传变异分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(5): 76-83.
- [16] 王芳, 马茂, 王佳兴, 等. 日本落叶松遗传变异分析及优良家系无性系选择[J]. 森林工程, 2023, 39(4): 48-57.
- [17] 李仲牧, 车凤仙, 高成杰, 等. 云南松半同胞家系表型变异与早期选择[J]. 林草资源研究, 2024(1): 102-110.
- [18] 彭洋, 陆跃堂, 赵杨, 等. 棕榈半同胞子代家系苗期测定及优良家系选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(5): 78-84.
- [19] 吴文生. 檫树半同胞子代遗传参数估计与早期选择[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(16): 81-84.