

红锥1.5代种子园半同胞子代苗期生长差异分析*

徐放 张卫华 杨晓慧 杨会肖
潘文 廖焕琴 徐斌 朱报著 王裕霞

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

摘要 对苗圃种植的来自红锥 (*Castanopsis hystrix*) 1.5 代种子园的 34 个半同胞家系的株高、地径、叶片数量、叶绿素相对含量 (SPAD 值)、叶片长度、叶片宽度和叶面积等 7 个表型进行测定, 并计算叶片长宽比, 结果表明: 15 个月苗龄红锥的平均株高为 47.2 cm, 株高平均变异系数为 25.4%, 平均地径为 5.4 mm, 地径平均变异系数为 20.7%, 平均叶片数量为 55.3 片, 平均 SPAD 值为 38.2, 平均叶片长度、叶片宽度和叶面积分别为 9.0 cm、2.5 cm 和 14.3 cm², 平均叶片长宽比为 3.6。方差分析的结果显示 8 个生长表型在不同家系间均存在显著差异。通过苗期株高、地径的综合评价, 参考其生长量的变异系数, 共筛选出 4 个苗期表现优良的红锥家系, 分别为 A02、A08、A15 和 A31。

关键词 红锥; 苗期生长; 半同胞家系

中图分类号: S722.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053(2018)01-0001-06

Half-sib Progeny Seedling Growth Differences Analysis of the 1.5th Generation Seed Orchard for *Castanopsis hystrix*

XU Fang ZHANG Weihua YANG Xiaohui YANG Huixiao
PAN Wen LIAO Huanqin XU Bin ZHU Baozhu WANG Yuxia

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

Abstract Seeds of 34 half-sib families were collected from 1.5 generation seed orchard of *Castanopsis hystrix*, all the seedlings were planted in the nursery garden. The plant height, ground diameter, leaf number, chlorophyll relative content (SPAD value), leaf length, leaf width, leaf area were measured and the leaf length-width ratio was calculated. After 15 months growth, the result showed that mean height of each family was 47.2 cm and ground diameter was 5.4 mm. The coefficient of variation in plant height and ground diameter were 25.4% and 20.7%, respectively. Mean leaf number of each family was 55.3 and mean SPAD value was 38.2. The mean leaf length, mean leaf width and mean leaf area were 9.0 cm, 2.5 cm and 14.3 cm², respectively. The mean leaf length-width ratio was 3.6. Analysis of Variance indicated that all the eight phenotypes behaved significant differences between families. Based on plant height, ground diameter and coefficient of variation, the four half-sib families A02, A08, A15 and A31 were selected as their excellent performance in seedling stage.

Key words *Castanopsis hystrix*; growth of seedling stage; half-sib family

* 基金项目: 广东省省级科技计划项目“珍贵树种培育创新团队建设”(2016B070701008)。

第一作者: 徐放(1987—), 男, 副研究员, 主要从事桉树和红锥的遗传和育种研究工作, E-mail: xufang@sinogaf.cn。

通信作者: 潘文(1970—), 男, 研究员, 主要从事桉树和红锥选育工作, E-mail: panwen@sinogaf.cn。

红锥 (*Castanopsis hystrix*) 为壳斗科 (Fagaceae) 锥属常绿乔木, 是华南地区重要的乡土珍贵阔叶用材树种和高效多用途树种, 主要分布于广东、广西、福建和云南等省份, 具有生长迅速、材质优良、适应性好等特性, 被广泛用于家具、建材和造船等行业^[1-3]; 种子富含淀粉和多种次生代谢物, 是提取淀粉和化工原料的良好材料^[4]; 枝叶茂盛耐荫蔽, 可与松树、杉木等进行混合经营, 具有良好的经济效益^[5]。红锥的轮伐期长, 优良种苗对提升木材质量、产量和林地经营收益至关重要^[6], 而目前我国红锥选育工作落后于杨树、桉树等速生树种, 为了改善红锥遗传育种研究落后的局面, 进一步深化红锥优良品种选育工作, 本研究对由 1.5 代种子园获得的种子构建的 34 个半同胞家系进行苗期生长测定和早期选择, 旨在为后续的红锥优良品系的选育工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验设在广东省林业科学研究院苗圃内, 地理坐标为 23° 36' 5" N、113° 9' 35" E, 属亚热带季风性气候类型, 季节性非常明显, 平均年降水量 2 015.4 mm, 平均相对湿度 69%。一般 4—6 月为雨季, 月平均降雨量在 200 mm 以上, 7—9 月天气炎热。平均年日照时数 1 636.8 h, 年平均气温 22.3 °C, 最低温度 -0.3 °C, 最高温度 38.5 °C。

1.2 试验材料及育苗

种子于 2015 年 11—12 月采集于广州市龙眼洞林场内的红锥 1.5 代种子园, 共计 34 个半同胞家系。人工采集全部果实总苞后进行晾晒, 总苞开裂后对种子进行收集, 通过液体分选筛选出健康饱满的种子。于 2015 年 12 月 28 日将所有种子播种于以黄心土为基质的苗床上, 覆盖 2 cm 厚的河沙, 芽苗长至 4~5 cm 高后移至 7 cm × 12 cm 的育苗袋中, 基质为黄心土。在育苗过程中统一进行水肥管理和除虫等工作, 保证所有苗木生长条件一致。

1.3 苗期表型性状测定与分析

苗龄 4 个月时 (2016 年 4 月初), 34 个家系各随机选取 30 个单株, 置于平整的苗圃地中, 每个半同胞家系的 30 个单株集中摆放, 统一进行管理。在苗龄 15 个月时 (2017 年 5 月), 对所有单株进行如下性状的测定: 株高、地径的测量; 利

用 SPAD-502 叶绿素测量仪对所有参试单株 5 个不同方向叶片的叶绿素相对含量进行测量, 以其计数 SPAD 值来表示; 统计各单株的叶片数量, 并摘取每个单株的 10 个叶片, 利用扫描仪扫描后利用 Digimizer 软件对叶片的长度、宽度和叶面积进行统计。

测量数据利用 Microsoft excel 2013 进行整理, 利用 R 软件进行统计分析。方差分析计算公式: $y_{ij} = \mu + \theta_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$, 其中 y_{ij} 为实际测量值, μ 为总体平均值, θ_i 为重复效应, β_j 为半同胞家系间遗传差异, ε_{ij} 为误差。相关系数计算公式:

$$r = \frac{\sum(a_j - \bar{a})(b_j - \bar{b})}{\sqrt{\sum(a_j - \bar{a})^2 \sum(b_j - \bar{b})^2}}$$

其中 a 和 b 分别表示不同表型的平均值。变异系数计算公式: $CV = \frac{\sigma}{\mu}$, 其中 σ 为总体标准差, μ 为总体均值。

2 结果与分析

2.1 不同半同胞家系生长差异性分析

不同家系株高、地径、叶片数和叶绿素相对含量 (SPAD 值) 如表 1 所示。34 个半同胞家系平均株高为 16.8~92.9 cm, 平均值为 47.2 cm, 不同家系的株高变异系数自 9.4% 至 69.9% 不等; 各家系地径 3.0~7.5 mm, 平均地径为 5.4 mm, 变异系数为 13.4% 至 48.6% 之间。不同家系叶片数量自 11.6 片至 90.6 片不等; 各家系 SPAD 值在 33.4 至 43.2 之间。

2.2 不同半同胞家系叶片形态差异性分析

对不同家系叶片形态数据测量结果如表 2 所示, 平均叶片长度最小的家系为 A10 (7.3 cm), 平均叶片长度最大的家系为 A12 (10.3 cm), 总体叶片平均长度为 9.0 cm; 叶片宽度变化范围为 2.0 至 2.9 cm, 最小的家系为 A10, 最大家系为 A06, 总体平均值为 2.5 cm; 叶片长宽比最小值为 3.3, 最大值为 3.9, 平均为 3.6; 平均叶面积最小的家系为 A10, 最大的家系为 A29, 其叶面积分别为 9.2 和 17.9 cm², 总体叶面积平均值为 14.3 cm²。

2.3 不同半同胞家系间各表型方差分析

不同半同胞家系间株高、地径、叶片数、叶绿素相对含量、叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比和叶面积的方差分析的结果显示, 在不同的半同胞家系间, 以上 8 个表型均存在显著差异

表 1 15 个月生红锥不同家系株高、地径、叶片数和叶绿素相对含量及变异系数
Table 1 Plant height, ground diameter, leaf number, chlorophyll content (SPAD) of each half-sib family

家系编号 Number	平均株高 Average height/cm	株高变异系数 Height variation coefficient/%	平均地径 Average ground diameter/mm	地径变异系数 Ground diameter variation coeffi- cient/%	叶片数量 Leaf number	叶绿素相对含量 SPAD
A01	29.4	69.9	3.8	48.6	77.8	36.4
A02	59.2	18.9	6.6	20.6	56.5	41.9
A03	58.5	22.3	5.2	22.9	49.7	37.0
A04	36.4	24.9	4.4	18.9	45.5	35.0
A05	50.2	41.3	5.7	24.7	34.5	38.4
A06	45.1	29.1	5.3	19.1	60.1	34.5
A07	49.3	16.6	5.6	20.0	58.2	36.0
A08	92.9	16.8	7.5	13.4	90.6	38.5
A09	39.2	26.9	4.5	21.9	48.0	36.9
A10	47.8	18.3	5.5	16.8	75.3	35.4
A11	16.8	47.4	3.0	23.9	11.6	40.7
A12	50.3	18.7	5.4	16.3	70.3	39.4
A13	50.5	16.4	4.9	17.3	48.6	34.2
A14	53.8	19.2	6.3	17.8	70.5	41.5
A15	65.0	23.7	6.6	20.5	74.5	41.6
A16	42.6	24.7	5.7	19.1	61.0	42.3
A17	29.5	50.6	4.0	38.8	15.7	40.2
A18	53.3	13.3	5.9	27.0	66.0	42.3
A19	37.4	35.5	5.2	21.4	52.1	40.8
A20	44.4	16.1	5.5	14.7	61.6	36.9
A21	53.9	17.8	6.3	16.9	48.8	41.9
A22	54.6	17.0	6.0	16.3	56.3	41.3
A23	18.6	32.9	3.2	25.7	61.3	38.0
A24	39.5	35.1	5.5	18.7	48.9	39.5
A25	39.3	36.9	5.3	27.6	64.0	40.2
A26	43.2	22.8	5.9	15.9	53.9	40.0
A27	41.5	19.8	5.1	13.8	68.0	35.1
A28	53.9	16.2	6.1	14.3	59.2	39.4
A29	51.3	19.0	5.6	17.2	49.3	34.7
A30	46.7	17.3	5.1	21.5	33.4	33.4
A31	71.2	20.3	6.5	17.2	51.9	43.2
A32	46.5	9.4	4.9	16.3	70.6	35.5
A33	48.6	22.4	5.3	18.0	51.1	34.7
A34	46.1	28.2	5.1	21.6	36.7	36.9
平均值 $\pm$ 标准差 Mean $\pm$ Sd.	47.2 $\pm$ 13.9	25.4 $\pm$ 12.4	5.4 $\pm$ 0.9	20.7 $\pm$ 7.0	55.3 $\pm$ 10.9	38.3 $\pm$ 2.9

注：超过平均值与标准差之和的数值在表中用斜体加粗表示。

Note: Values that exceed the sum of the mean and the standard deviation are bolded and italicized in the table.

表2 红锥15个月生不同家系叶片形态测量结果
Table 2 Leaf shape measurement of each half-sib family

家系编号 Number	叶片长度 Leaf length/cm	叶片宽度 Leaf width/cm	叶片长宽比 Leaf length width ratio	叶面积 Leaf area/cm ²
A01	9.1	2.6	3.5	15.3
A02	8.8	2.3	3.8	12.9
A03	9.0	2.7	3.4	15.2
A04	9.4	2.6	3.6	14.9
A05	9.4	2.6	3.6	15.3
A06	10.2	2.9	3.6	18.1
A07	8.8	2.4	3.7	13.6
A08	8.7	2.5	3.5	13.6
A09	8.4	2.5	3.3	12.9
A10	7.3	2.0	3.6	9.2
A11	9.8	2.7	3.8	16.8
A12	10.3	2.8	3.8	17.6
A13	9.3	2.6	3.6	14.9
A14	9.6	2.6	3.8	15.4
A15	9.3	2.6	3.6	15.1
A16	8.6	2.2	3.8	12.0
A17	9.3	2.7	3.5	15.5
A18	8.9	2.5	3.7	13.1
A19	8.3	2.2	3.7	11.5
A20	8.7	2.6	3.4	14.2
A21	8.5	2.5	3.5	13.1
A22	9.0	2.4	3.4	13.5
A23	8.4	2.3	3.7	11.7
A24	8.3	2.6	3.3	13.0
A25	9.0	2.4	3.8	13.5
A26	9.5	2.8	3.4	16.2
A27	8.0	2.3	3.5	11.7
A28	9.8	2.5	3.9	14.4
A29	10.0	2.8	3.6	17.9
A30	8.6	2.5	3.5	13.2
A31	9.8	2.8	3.5	17.4
A32	9.2	2.7	3.5	15.6
A33	9.2	2.5	3.4	13.9
A34	9.1	2.7	3.7	14.8
平均值 ± 标准差 Mean ± Sd.	9.0 ± 0.64	2.5 ± 0.20	3.6 ± 0.16	14.3 ± 2.0

表 3 红锥不同表型间相关系数
Table 3 Correlation coefficients between different phenotypes

指标 Index	株高 Height	地径 Ground diameter	叶绿素相对含量 SPAD	叶片数量 Leaf number	叶片长度 Leaf length	叶片宽度 Leaf width	叶长宽比 Leaf length width ratio
地径 Ground diameter	0.89**						
叶绿素相对含量 SPAD	0.17	0.35					
叶片数量 Leaf number	0.46*	0.47*	0.01				
叶片长度 Leaf length	0.06	-0.02	0.03	-0.19			
叶片宽度 Leaf width	0.08	-0.05	-0.08	-0.25	0.81**		
叶长宽比 Length width ratio	-0.05	0.06	0.24	0.04	0.29	-0.31	
叶面积 Leaf area	0.09	-0.03	0.00	-0.23	0.88**	0.95**	-0.08

注：“*”表示在 0.05 水平上显著相关，“**”表示在 0.01 水平上呈显著相关。
Note: “*” means that there is a significant correlation at the 0.05 level, “**” means that there is a significant correlation at the 0.01 level.

($P<0.001$)，该结果说明，在环境因素和水肥管理一致的情况下，自身的遗传特性决定了不同半同胞家系间的生长存在着显著的差异。

2.4 不同表型性状间相关性分析

对 8 组不同的表型进行相关性分析，相关系数如表 3 所示。其中呈显著正相关 ($P<0.05$) 的各组表型分别为株高一地径 (0.89)、叶片长度—叶片宽度 (0.81)、叶片长度—叶面积 (0.88)、株高一叶片数量 (0.46)、地径—叶片数量 (0.47) 和叶片宽度—叶面积 (0.95)。叶片宽度—叶长宽比呈现最大的负相关 (-0.31)。其余各表型间相关系数在 -0.23 至 0.49 之间。

2.5 苗期表现优良家系筛选

由于用材树种最重要的性状为生长量，即株高和地径，叶绿素含量、叶片数量和叶片形态等性状均会对生长量产生影响，但根据本文 2.4 所述，叶片数量与株高、地径呈正相关，叶绿素含量和叶片形态等对株高地径无显著影响。因此，选取株高和地径两个表型进行优良家系的选择，以该表型在所有家系间的平均值加标准差作为筛选标准，共有 3 个家系的平均株高大于总体平均株高 (47.2 cm) 与标准差 (13.9 cm) 之和，分别为家系 A08 (92.9 cm)、A15 (65.0 cm) 和 A31 (71.2 cm)，共有 4 个家系的平均地径高于总体平均地

径 (5.4 mm) 和标准差 (0.9 mm) 之和，分别为 A02 (6.6 mm)、A08 (7.5 mm)、A15 (6.6 mm) 和 A31 (6.5 mm)。其中 A08、A15 和 A31 家系株高和地径均超过筛选标准，另外，A02 家系平均地径超过筛选标准，平均株高为 59.2 cm，接近筛选标准，共认定 A02、A08、A15 和 A31 家系为苗期表现优良的家系，可作为后续育种工作的重要遗传资源。

3 结论与讨论

本研究的结果表明，不同红锥半同胞家系在幼苗期即表现出明显的生长差异，根据方差分析的结果可知，决定其差异的主要原因为半同胞家系间的遗传差异，这也与以往研究的结果一致^[6-8]，该结果也证明了当前红锥育种的潜力和必要性。本研究中筛选出 4 个优良半同胞家系，平均株高为 72.1 cm，较总体平均株高 (47.2 cm) 提升了 52.7%；平均地径为 6.8 mm，高于总体平均地径 (5.4 mm) 25.9%；在所选取的 A02、A08、A15 和 A31 家系中，各家系内株高的变异系数分别 18.9%、16.8%、23.7% 和 20.3%，均低于 25.4% 的平均值，地径的变异系数为 20.6%、13.4%、20.5% 和 17.2%，均低于 20.7% 的平均值，以上数据表明，各家系的子代生长量具有较好的一致

性,以家系 A08 为例,其株高和地径的变异系数分别为 16.8% 和 13.6%,已经接近以往杨树研究中部分无性系生长量的变异系数 ($>10\%$)^[9]; 农林业生产中,种苗的一致性对于产品的经济收益至关重要^[10],鉴于目前红锥主要利用种子园收获的种子进行苗木繁育,以保证所获的半同胞子代生长的一致性,便于育苗期和造林初期进行水肥控制,减少育苗和造林成本,后期生长一致可以保证林相均匀,显著提升林地经营收益。本研究所进行的苗期选择可以为后续的育种提供重要的参考。

通过不同表型的相关性分析发现呈显著正相关的表型主要为两组表型:(1)株高一地径—叶片数和(2)叶片长度—叶片宽度—叶面积,方差分析结果显示所有表型的差异主要受到遗传因素的影响;可将该物种选育标准集中于株高和地径两个表型上。对应叶片数量这一表型,发现其与叶面积呈一定程度的负相关 ($r=-0.23$), Gaudillère 等^[11]也在杨树中发现具有较小叶面积的植株可以通过提升叶片数量来保证整株植物的光合能力。

由于红锥生长周期较长,对以上试验选取出的表现优良材料的表型进行长期研究,开发出高效的红锥早期选择方法,进而大幅提升优良基因型的筛选效率,是未来应关注的重点。虽然目前红锥无性繁育已经取得了一定的进展^[12-15],但现阶段红锥仍以种子园作为主要繁育手段。从长期发展来看,逐步转变为以优良家系及其子代为基础进行优良单株筛选,通过无性繁殖进行优良种质利用的育种方法将成为主流。

参考文献

- [1] 张凤良,张方秋,潘文,等. 17个红锥种源叶片性状变异分析[J]. 广东林业科技, 2011, 27(3): 20-26.
- [2] 朱积余,蒋燚,丘小军. 广西红锥地理种源试验初报[J]. 广西林业科学, 1997, 26(2): 66-68.
- [3] 徐放,杨晓慧,廖焕琴,等. 红锥天然分布区气候区划[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(2): 21-28.
- [4] 廖培来,朱积余. 广西名优经济树种[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [5] 林雄. 红锥良种的选育[J]. 广东林业科技, 2003, 19(2): 27-28.
- [6] 刘德浩,张卫华,张方秋,等. 不同种源红锥优树子代苗期生长变异分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(9): 28-31.
- [7] 黄志玲,郝海坤,庞世龙,等. 红锥种源苗期生长节律研究[J]. 林业科技开发, 2012, 26(3): 24-28.
- [8] 吴幼媚,刘海龙,王以红,等. 广西种源红锥栽培群体遗传多样性评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(4): 1435-1436.
- [9] 王之柏. 杨树抗云斑天牛新品种引种试验[J]. 林业实用技术, 1997(4): 27-28.
- [10] 周婷. 出口切花菊‘白扇’的引种调查与快繁技术的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [11] Gaudillère J P. Leaf number, water stress and carbon nutrition effects on poplar leaf growth[J]. Annales Des Sciences Forestières, 1989, 46(Supplement): 493s-496s.
- [12] 廖焕琴,潘文,林元震,等. 截干高度对红锥的促萌效果研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(3): 49-54.
- [13] 焦金凤,赵梦秋,邓小梅,等. 红锥优树外植体褐化抑制方法研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(6): 34-39.
- [14] 焦金凤. 红锥组织培养中褐化抑制方法研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [15] 李蕊萍. 红锥组培快繁技术研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.