闽南低海拔山地大果紫檀种源引种试验*

林清锦
（福建省漳州市林业局，福建 漳州 363000）

摘要 在闽南低海拔山地开展大果紫檀 (*Pterocarpus macrocarpus*) 种源引种试验，对引种的大果紫檀种源的生长和木材材性进行调查测定分析与评价，结果表明，10 a 生大果紫檀的保存率以种源 3 号最高，达 81.2%，种源 6 号最低仅为 70%，但种源间保存率差异不显著。大果紫檀 2 号和 3 号生长迅速，而前期生长较好的大果紫檀 1 号后期生长放缓，其树高、胸径和材积均低于大果紫檀 2 号、3 号和 4 号；10a 生不同种源大果紫檀间基本密度和含水率均无显著性差异，但大果紫檀 5 号的湿胀率显著高于其余 5 个种源，大果紫檀 2 号和 3 号的木材综合强度相对更高。综合引种保存率、生长性状和木材材性分析结果，初步选出大果紫檀 2 号和 3 号种源为优良种源，相对更适宜在闽南低海拔立地种植。

关键词 大果紫檀；种源；引种；生长性状；木材材性

中图分类号：S722 **文献标志码**：A **文章编号**：2096-2053（2019）06-0032-06

Introducing Trial of Different *Pterocarpus macrocarpus* Provenance in Low Altitude Mountainous Areas of Southern Fujian

LIN Qingjin
(Zhangzhou Forestry Bureau, Zhangzhou, Fujian 363000,China)

Abstract An introducing trial of *Pterocarpus macrocarpus* provenances was established in low altitude mountainous areas of southern Fujian. Investigated and analysed the tree growth traits and wood properties of different provenances at 10 years old. At the same time, planting density test was carried out in combination with introduction. The results showed that there was no significant difference in tree survival rate among different provenances, of which the survival rate of No.3 provenance was the highest, about 81.2% and the survival rate of No.6 was the lowest-only 70%. The No. 2 and No. 3 provenances grew rapidly, while the No. 1 provenance with better growth in the early stage, slowed down in the later stage. The tree height, DBH and volume were lower than those of No. 2, No. 3 and No. 4 provenance；There was no significant difference in air dry density and water content among different provenances, but wood swelling efficacy of the No. 2 provenance was significantly higher than the other five provenances. The wood strength of the No. 2 and No. 3 provenances is high. Based on the comprehensive analysis on survival rate, growth and wood properties, the No. 2 and No. 3 provenances are relatively more suitable to plant in the southern part of Fujian.

Key words *Pterocarpus macrocarpus*；provenance；introduction; growth; wood properties

大果紫檀 (*Pterocarpus macrocarpus*) 又名缅甸花梨、草花梨，属于蝶形花科（Papilionaceae）紫檀属（*Pterocarpus* L.）高大乔木 [1]。其木材坚硬致密、结构细致、纹理交错、抗虫耐久、易雕刻，

* 基金项目：国家林业局“948”项目

作者简介：林清锦（1964—），男，高级工程师，主要从事森林资源培育与林木引种研究，E-mail:lqj2024201@126.com。

俗称香红木或红花梨木，其木材香气浓郁、耐腐防虫性强、是制作高级硬木家具、雕刻工艺品、木地板和船板的重要原料[2]，同时，由于大果紫檀树脂多且木材油性重，也常被用作红色染料用材[3-4]。大果紫檀原产于北纬11°~22.5°地带的泰国、缅甸、老挝、柬埔寨和越南南部等地，是我国每年进口量最大的红木类木材[5-6]。

大果紫檀作为一种珍贵红木资源理想用材树种已被世界上许多国家引种栽培[4]。1964年，我国海南地区开始引种大果紫檀[7-11]，生长表现良好。2006年起开始引入福建省漳州市，在漳州市林业中心苗圃林地开展引种试验，属福建省首次引种[12]，但规模较小。当前，社会对珍贵红木用材树种不断增加的需求导致木材供需矛盾日益突出，红木资源日益稀缺，大果紫檀作为福建漳州引种的一种珍贵树种，其引进、推广和应用一方面有利于丰富本地区的造林树种，同时也有效缓解当前红木资源市场的缺口，具有巨大的开发利用价值[5, 13]。为了加速大果紫檀在我国的规模化和科学化的发展，就大果紫檀的引种和遗传改良进行深入研究很有必要。基于此，本研究对福建漳州市的10 a生6个大果紫檀种源试验林开展生长和材性调查分析，探讨大果紫檀种源间的生长和木材材性差异，为规划和指导该区域大果紫檀的栽培提供借鉴参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于漳州市林业中心苗圃林地，（117º 40′52″E，24º 19′3″N），属于南亚热带海洋性季风气候，年均温为21 ℃，无霜期350 d，年均降水量在1 400 mm左右。林地为沿海丘陵地带，海拔在100~120 m，坡度23~25°，土壤为花岗岩发育的砖红壤，土层中厚，腐殖质层较薄，土壤呈酸性反应，立地质量为Ⅱ类地，主要植被有芒萁骨 (*Dicranopteris dichotoma*)、小刚竹 (*Phyllostachys bambusoides*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、乌毛蕨 (*Blechnum orientale*)、桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 等杂灌。

1.2 试验材料

种质材料由中国林业科学研究院热带林业研究所提供，种质材料基本情况见表1[6]。引进的种子在漳州市林业中心苗圃培育容器苗，待苗木高度25~35 cm出圃进行造林。

1.3 试验设计

2006年春在马口林业中心苗圃第2林班5大班4小班营建大果紫檀种源引种试验林。采用随机区组设计，18株单行小区，4个重复，株行距为3 m × 3 m。大果紫檀属喜光树种，造林后的3 a内每年除草抚育2次，结合除草抚育每年追肥一次，施肥量为复合肥（N-P_2O_5-K_2O=16-16-16）200 g/ 穴。

1.4 调查测定

林木生长调查：2011年底、2016年底2次对引种试验林进行逐株全面调查，测定指标有保存率、树高、胸径、冠幅和枝下高。

木材材性分析：2016年4月选取大果紫檀试验林中按种源的平均木进行木芯的采集（每个种源上、中和下坡各取1株），利用生长锥在每个单株的南北方向1.3 m处进行木芯采集，采集好的木芯置入已标好的纸皮信封中，随后带回实验室进行材性相关性状测定。木材的基本密度（g/

表1 参试种源来源地概况

Table 1 Overview of *Pterocarpus macrocarpus* provenance

引种编号 Number	产地 Provenance	地理位置 Position		海拔 /m Altitude
		经度（E） Longitude	纬度（N） Latitude	
1	泰国 Baan Loom soom	99°12′	14°13′	100
2	泰国 Baan Muak Lek	101°12′	14°35′	200
3	泰国 Baan Nong Ree	99°28′	14°31′	120
4	泰国 Baan Thasao	99°03′	14°14′	100
5	泰国 Khom Kaen	不详	不详	不详
6	越南 Dac Lac	107°40′	12°25′	200

cm^3）测定参照国标 GB /T 1933-2009 方法[14]；木材湿胀率（R_{we}，%）参照 GB/T 1934.2-2009《木材湿胀性测定方法》进行测定[15]、木材含水率（Cm，%）利用烘干法进行测定[16]。

1.5 数据处理

（1）单株材积估算：$V=0.000\,109\,154D^{[1.878\,92-0.005\,691\,89\times(D+H)]}H^{0.896\,461\,57}$ 计算单株材积[14]。

（2）遗传增益计算公式[15]：$\triangle G=(R/X)\times 100\%$，$R=h^2\times S$; 其中，$R$ 为选择响应，S 为选择差，X 为总体平均值，h^2 为性状遗传力。

（3）采用布雷津多性状综合评定法对不同种源进行多个性状综合评价，综合评价值（Q_i）值按照下列公式计算[13]：

$$Q_i=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}a_i}\ ,\ a_i=X_{ij}/X_{j\max}$$

式中，Q_i 为综合评价值，X_{ij} 为某一性状的平均值，$X_{j\max}$ 为某一性状的最优值，n 为评价性状的数量。所有指标计算与统计分析，采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 18.0 统计分析软件进行。

2 结果与分析

2.1 大果紫檀引种种源保存率分析

引种试验林整体保存率为 75.1%（图 1），10a 生时不同大果紫檀种源保存率差异不显著，其中，保存率最高的为大果紫檀 3 号，其保存率约为 81.2%，其次为大果紫檀 2 号，约为 79.4%，保存率最低的为大果紫檀 6 号，约为 70.1 %，整体较高的树种保存率说明，大果紫檀比较适合福建漳州地区引种。

2.2 不同种源大果紫檀生长分析

不同种源大果紫檀间生长性状的平均值见表 2，5 a 生种源间生长性状的变异幅度分别为胸径 6.8~13.6 cm，树高 6.2~9.3 m，材积 0.002~0.061 m^3，枝下高 1.2~4.6 m，冠幅 4.2~7.8 m; 不同种源 5 a 生大果紫檀树高间无显著性差异，其中，大果紫檀 3 号平均树高最高，约为 8 m; 种源间胸径和材积呈显著性差异 , 其中，大果紫檀 1 号的胸径和材积最高，分别为 10.2 cm 和 0.043 m^3，其次为大果紫檀 3 号，分别为 9.8 cm 和 0.041 m^3，二者之间两个指标均无显著性差异。大果紫檀 6 号胸径和材积均显著低于以上两个种源。同时，大果紫檀 1 号、2 号和 3 号冠幅和枝下高显著高于其余种源。

10 a 年生时，结果表明，2 号种源保持较好的生长势头，树高和胸径分别达 11.5 m 和 10.8 m，单株材积高达 0.143 m^3，其次为大果紫檀 3 号，树高和胸径分别达 11.8 m 和 14.6 m，单株材积高达 0.124 m^3，相反的，5 年前生长最好的大果紫檀 1 号其树高、胸径和材积均不同程度低于大果紫檀 2 号、3 号和 4 号，其中，与大果紫檀 2 号的胸径间、与 2 号和 3 号的材积之间呈显著性差异。10 a 生不同种源大果紫檀冠幅之间无显著性差异，同时，大果紫檀 1 号和 2 号的枝下高显著高于 4 号和 5 号 , 表明 1 号和 2 号的自然整枝能力较高。

10 a 生大果紫檀在漳州生长遗传增益结果表明（表 3），大果紫檀 2 号和 3 号的材积遗传增益最高，分别为 21.36% 和 11.21%，且树高、胸径和材积的遗传增益均为正值，种源生长优于整个试验林生长性状均值，其次为大果紫檀 4 号，相反，

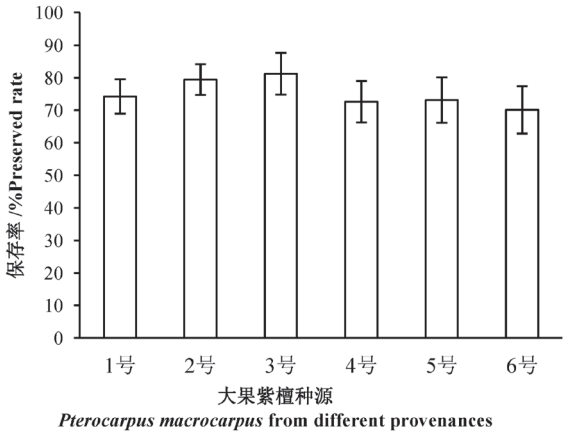

图 1 不同种源林分保存率比较

Fig. 1 Survival rate of *Pterocarpus macrocarpus* from different provenances

表 2 6 个大果紫檀种源生长比较

Table 2 Tree growth traits of *Pterocarpus macrocarpus* from different provenances

林龄 /a Age of stand	种源 Provenance	树高 /m Height	胸径 /cm DBH	单株材积 /m^3 Volume	冠幅 /m Crown width	枝下高 /m Undershoot height
5	大果紫檀 1 号	7.8 ± 1.1a	10.2 ± 1.9c	0.043 ± 0.009c	6.5 ± 1.4b	3.5 ± 0.9b
	大果紫檀 2 号	7.5 ± 1.5a	9.2 ± 2.2b	0.039 ± 0.003bc	6.0 ± 1.3b	3.1 ± 1.2b
	大果紫檀 3 号	8.0 ± 1.4a	9.8 ± 1.3bc	0.041 ± 0.011bc	5.1 ± 1.0ab	3.4 ± 1.0b
	大果紫檀 4 号	7.2 ± 1.2a	9.0 ± 1.3b	0.032 ± 0.008b	4.5 ± 2.2a	1.8 ± 0.5a
	大果紫檀 5 号	7.0 ± 2.1a	9.3 ± 1.4bc	0.034 ± 0.006b	4.5 ± 1.8a	2.2 ± 0.9a
	大果紫檀 6 号	7.3 ± 1.4a	7.5 ± 1.3a	0.024 ± 0.009a	4.9 ± 1.0a	1.3 ± 0.6a
10	大果紫檀 1 号	10.7 ± 2.5a	14.4 ± 1.9b	0.094 ± 0.025b	4.3 ± 1.2a	6.1 ± 2.0b
	大果紫檀 2 号	11.5 ± 2.1a	18.6 ± 2.2c	0.143 ± 0.032c	4.5 ± 0.9a	6.2 ± 2.2b
	大果紫檀 3 号	11.8 ± 1.9a	14.6 ± 2.2b	0.124 ± 0.021c	3.8 ± 1.2a	5.0 ± 1.6ab
	大果紫檀 4 号	11.1 ± 2.1a	16.4 ± 2.3bc	0.117 ± 0.034bc	5.2 ± 1.5a	4.6 ± 1.4a
	大果紫檀 5 号	9.6 ± 2.0a	11.3 ± 2.1a	0.059 ± 0.015a	4.6 ± 1.0a	4.0 ± 1.3a
	大果紫檀 6 号	10.0 ± 1.5a	13.5 ± 2.1ab	0.081 ± 0.019b	3.8 ± 0.8a	5.3 ± 1.8ab

注：数值都是均值 ± 标准差，同列不同小写字母表示差异显著 (P<0. 05)。

Note: Values represent mean of replicates ± standard deviation. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference in indicators between provenances (P<0. 05).

表 3 6 个大果紫檀种源生长性状遗传增益

Table 3 Genetic gains of tree growth traits of *Pterocarpus macrocarpus* from different provenances

种源 Provenance	遗传增益 /%Genetic gain		
	树高 Height	胸径 DBH	材积 Volume
大果紫檀 2 号	1.10	14.38	21.36
大果紫檀 3 号	5.11	1.76	11.21
大果紫檀 4 号	1.60	6.05	7.48
大果紫檀 1 号	−0.40	−1.51	−4.81
大果紫檀 6 号	−3.91	−4.92	−11.75
大果紫檀 5 号	−5.91	−13.24	−23.50

大果紫檀 1 号、6 号和 5 号的树高、胸径和材积遗传增益均为负值，整体生长相对较差，尤其是大果紫檀 5 号，其材积遗传增益仅为 -23.5%。

2.3 不同种源大果紫檀引种木材材性分析

木材密度是木材材性中的一项重要指标。木材基本密度、干缩湿胀性直接关系着木材的利用与价值，是木材重要的品质因子 [15]。利用木材密度可以预测木材的其它物理材性和力学材性 [6]。木材含水率通常以绝对含水率来表示，10 a 生不同大果紫檀种源间含水率均无显著性差异（表 4），大果紫檀 5 号的湿胀率显著（P<0.05）高于其余 5 个种源，其次为大果紫檀 4 号，而 2 号的湿胀率最低。表明大果紫檀 2 号的木材稳定性最高。木材特性除了主要受遗传基因控制外，还受到林龄、种植环境条件、经营措施等的制约，随着林龄的增加、林木的生长，木材密度等指标往往会有较大变化，特别是长周期红木类树种来说，10 a 生时的材性测定结果只是一个初步概念值，仅用于早期评价选择参考指标。

表4 6个大果紫檀种源的木材材性

Table 4 Wood properties of *Pterocarpus macrocarpus* from different provenances

种源 Provenance	基本密度 /（g · cm^{-3}） Basic density	湿胀率 /% Wood swelling efficacy	含水率 /% Water content
大果紫檀1号	0.61 ± 0.15a	10.56 ± 1.25ab	20.44 ± 2.65a
大果紫檀2号	0.59 ± 0.17a	9.08 ± 2.05a	22.59 ± 0.85a
大果紫檀3号	0.62 ± 0.21a	10.80 ± 1.96ab	21.09 ± 1.15a
大果紫檀4号	0.60 ± 0.20a	11.65 ± 1.67b	21.65 ± 1.58a
大果紫檀5号	0.54 ± 0.15a	12.26 ± 0.98c	20.01 ± 1.87a
大果紫檀6号	0.59 ± 0.24a	10.13 ± 1.92ab	20.25 ± 1.40a

注：数值都是均值 ± 标准差，同列不同小写字母表示差异显著（P<0. 05）。

Note: Values represent mean of replicates ± standard deviation. different lowercase letters in the same column indicate significant difference in indicators between provenances (P<0. 05).

表5 参试大果紫檀种源生长和材性性状综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation for growth and wood property traits of *Pterocarpus macrocarpus* from different provenances

种源 Provenance	综合评价值 Evaluating value	排序 Ranking
大果紫檀1号	1.541	4
大果紫檀2号	1.564	1
大果紫檀3号	1.552	2
大果紫檀4号	1.542	3
大果紫檀5号	1.530	6
大果紫檀6号	1.539	5
群体均值	1.546	

2.4 不同种源的多性状综合评价与初步选择

大果紫檀是珍贵用材树种，因此，以用材林为目的，期待筛选出胸径、树高、材积等生长迅速且材质优良的优良用材种源。采用布雷津多性状综合评定法，结合大果紫檀种源的保存率、树高、胸径、材积和树干基本密度对不同大果紫檀种源进行综合评定（表5），结果显示，6个种源中，10 a生大果紫檀种源综合评价值范围在1.564~1.530，排序从高到低依次为大果紫檀2号、3号、4号、1号、6号和5号。其中，大国紫檀2号和3号的综合评价值最高，分别为1.564和1.552，高于6个种源的平均综合评价值，整体生长最好。

3 结论与讨论

大果紫檀作为典型热带树种，从泰国、越南等热带地区引种到闽南种植，能否适应当地的环境条件同时生长良好是引种的关键。因此，大果紫檀生长情况和保存率适应性指标，可以一定程度上反映该树种在生活力以及对环境的适应能力。此前，洪舟等[16]在广东省阳江、沐小涵等[9]在云南西双版纳以及邹寿青等[4]在海南通过引种试验发现大果紫檀引种效果较好。本研究中，10 a生引种试验林整体保存率为75.1%，表明大果紫檀整体对漳州沿海低海拔山地的气候条件适应性尚可，具有较好的引种前景，这与张梅坤[12]的研究结果一致。

大果紫檀作为珍贵的用材树种，其引种后的林分生长情况和木材材质均应作为重要的效应评估指标。本研究中，结合了不同大果紫檀种源在引种后的保存率、树高、胸径、材积和树干基本密度对不同大果紫檀种源进行综合评定，结果表明，大果紫檀2号和3号的综合评价值最高，10 a后的林木保存率分别达到了81.2%和79.4%，相

较于群体平均值分别提高了 8.10% 和 5.70%，单株材积分别提高了 38.83% 和 20.39%，木材基本密度分别提高了 1.35% 和 6.02%，材积遗传增益分别达到了 21.36% 和 11.21%，整体生长良好，适宜在漳州市南部沿海低海拔种植推广。

对 5 a 的大果紫檀生长进行调查和评估后发现，大果紫檀 1 号 5 a 生时整体生长最好，但后期生长放缓，10 a 生时，其树高、胸径和材积均不同程度低于大果紫檀 2 号、3 号和 4 号。相反的，前期生长缓慢的大果紫檀 2 号后期生长迅速，整体生长最好。这一结果说明，对长周期树种的引种效果的早期评价具有较大的不确定性，因此延长监测时间有利于评价的客观性和科学性。

大果紫檀的生长发育和材性特点需要较长时期的研究，本试验对在漳州沿海试验点种植 10 a 生的大果紫檀的适应性和生长情况进行调查、评价和分析，对闽南沿海低海拔立地进行大果紫檀栽培有一定的指导和参考作用。虽然项目在海南、云南、广东等地同时布设了试验，但在漳州设置的试验点仅一个，还不足以取得更客观的成果，特别是本区域适宜种植的立地环境条件等，还需要进一步完善试验和继续跟踪观测。

参考文献

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第七卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[2] 任志伟, 张耀丽, 王晶晶. 木果缅茄与大果紫檀木材的鉴别[J]. 国际木业, 2018, 48(4): 67-69.

[3] 关锦锦. 深色名贵硬木家具主要用材材色及其表面涂饰研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.

[4] 邹寿青, 郭永杰. 大果紫檀的育苗栽培技术[J]. 林业调查规划, 2008, 33(5): 131-132.

[5] 王伟民, 杨曾奖. 珍贵红木树种: 大果紫檀简介[J]. 林业与环境科学, 2006, 22(3): 145-146.

[6] 郑玉明. 福建漳州大果紫檀生产力与木材力学性质研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.

[7] 朱先成, 曾杰, 陶永强, 等. 云南西双版纳大果紫檀种源苗期试验[J]. 福建林业科技, 2007, 34(3): 131-134.

[8] 刘小金, 徐大平. 海南尖峰岭大果紫檀心材比例及精油成分组成[J]. 森林与环境学报, 2017, 37(2): 241-245.

[9] 沐小涵, 史富强. 大果紫檀在西双版纳的引种试验初报[J]. 林业调查规划, 2015, 40(6): 109-111.

[10] 陈青度, 李小梅, 曾杰, 等. 紫檀属树种在我国的引种概况及发展前景[J]. 林业与环境科学, 2004, 20(2): 38-41.

[11] 陈翠湖, 张帅, 梁桂宁, 等. 降香黄檀、大果紫檀和檀香在桂东地区引种栽培试验[J]. 林业科技通讯, 2016(5): 36-38.

[12] 张梅坤. 不同种源大果紫檀引种漳州初步研究[J]. 河南农业, 2017(14): 38-40.

[13] 刘顺治. 黄檀属和紫檀属6种红木化学特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.

[14] 中国国家标准化管理委员会. 木材密度测定方法: GB / T1933—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-12.

[15] 中国国家标准化管理委员会. 木材湿胀性测定方法: GB /T 1934.2~1991-2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-3.

[16] 洪舟, 刘福妹, 杨曾奖, 等. 5个泰国种源大果紫檀的早期生长及材性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(2): 161-167.

[17] 覃敏, 尹光天, 杨锦昌, 等. 米老排种源家系生长性状变异分析及早期选择[J]. 植物研究, 2017, 37(1): 139-146.