

广东木荷优良碳汇家系选育研究*

尧俊¹ 汪迎利¹ 唐昌亮² 林玮³
何波祥¹ 陈勇² 陈雪梅³ 连辉明¹

(1. 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; 2. 广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405; 3. 佛山市林业科学研究所, 广东 佛山 528222)

摘要 为筛选出木荷 *Schima superba* 优良种质应用于生产, 满足精准提升森林质量的客观需求, 有效发挥森林固碳增汇的生态功能, 于2020年在广东省东江林场对来自于广东省各地区71份15年生木荷优树子代试验林的生长性状进行测定、评价和筛选。结果表明, 木荷家系间的树高生长、胸径生长以及碳储量具有较大差异, 15年生木荷家系碳储量遗传力在0.667~0.746之间, 选出碳储量增益较大的109、5、84、24、28等5个优良家系。

关键词 木荷; 碳汇优良家系; 遗传增益; 碳储量

中图分类号: S718.5 **文献标志码**: A **文章编号**: 2096-2053 (2021) 04-0154-06

Study on Selection and Breeding of Excellent Carbon Sequestration Families of *Schima superba* in Guangdong

YAO Jun¹ WANG Yingli¹ TANG Changliang² LIN Wei³
HE Boxiang¹ CHEN Yong² CHEN Xuemei³ LIAN Huiming¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou, Guangdong 510405, China; 3. Foshan Institute of Forestry Science, Foshan, Guangdong 528222, China)

Abstract In order to screen out the excellent germplasm of *Schima superba* to be used in production, and meet the objective needs of accurately improving forest quality, and effectively improve the ecological function of forest carbon sequestration and sink increase, we determined, evaluated and screened the growth traits of 71 15-year-old *S. superba* progeny test forests from various regions of Guangdong province at Dongjiang forest farm in 2020. The results showed that there are quite significant differences in height, diameter at breast height, and carbon storage between *S. superba* families, and the heritability of carbon storage of 15-year-old *S. superba* families was between 0.667 and 0.746, and five excellent families including 109, 5, 84, 24, and 28 with larger carbon storage gains were selected.

Key words *Schima superba*; carbon sequestration excellent family; genetic gain; carbon storage

* 基金项目: 广州市科技计划项目 (201803020010), 广东省林业科技创新专项项目 (2019KJCX029)。

第一作者: 尧俊 (1990—), 男, 助理研究员, 主要从事森林培育研究工作, E-mail: yaojun@sinogaf.cn。

通信作者: 连辉明 (1973—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事森林培育研究工作, E-mail: 284177320@qq.com。

根据美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 报告, 在历史高排放水平的推动下, 人为造成的温室气体污染在大气中滞留的额外热量继续加剧了全球变暖, 而 CO_2 是迄今为止人类排放量最大的温室气体^[1]。2020 年全球平均 CO_2 水平为 $412.5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$, 达到近 300 年的最高值。因此, 减少碳排放, 同时通过绿化造林, 增加森林覆盖面积, 吸收大气中的 CO_2 是达到碳中和、碳达峰的最有效途径, 而选育高效优良碳汇树种, 精准提升碳汇森林质量是提高我国森林整体的固碳能力的重要手段^[2-4]。

木荷 *Schima superba* 是我国亚热带地区常见的常绿乔木树种, 防火性能好、耐贫瘠、生态位较宽, 具有良好的生态效应, 常作为先锋树种种植和防火林带建设^[5-6]。前期, 本课题组对广东主要不同树种纯林的碳储量和含碳量进行了分析^[7-8], 本文结合广东实际情况, 以固碳能力强、种植面积较广的速生种木荷为研究对象, 根据连续多年跟踪调查数据, 通过生物量模型、遗传力等多方面分析, 筛选优良木荷碳汇家系。

1 材料与方法

1.1 林地概况

试验林位于广东省东江林场, 该场地处广东省河源市紫金县, 属南亚热带季风气候, 终年气候温和湿润, 日照充足, 热量丰富, 年均气温 $20.9\sim 21.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 极端高温为 $38 \text{ }^\circ\text{C}$, 极端低温 $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。1 月均温 $11.5\sim 12.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 7 月均温 $27.5\sim 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 年日照时间 $1\ 800\sim 2\ 100 \text{ h}$, 年均积温 $6\ 997.6 \text{ }^\circ\text{C}$, 年均相对湿度 81% , 年均降雨量 $1\ 600 \text{ mm}$, 丰水期在 6-8 月; 植被属南亚热带季雨林区, 林下灌木以芒萁 *Dicranopteris dichotoma*、桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*、杂竹为主, 草本植物以蕨类、大芒、攀缠植物为主。试验林位于东江林场桂林工区七寨林班 17 小班 (东经 $22^\circ 25' 02''$, 北纬 $114^\circ 40' 03''$), 面积 14.3 hm^2 , 林地海拔在 $100\sim 250 \text{ m}$, 坡度 $15^\circ\sim 35^\circ$; 土壤主要由花岗岩及部分砂岩发育而成的赤红壤, 呈酸性, 土壤有机质含量 $2\%\sim 2.5\%$, 土层厚度 $45\sim 70 \text{ cm}$ 。

1.2 选育方法

本课题组于 2001 年起, 采用 5 株优势木法选择优树, 在广东全省共计选择了木荷优树 306 株, 分布于全省 15 个地级市 29 个县 (区)。2001—

2002 年在全省各地开展种质资源调查, 2003 年开始大规模选择优树, 2003 年冬项目组收集到 162 份优树材料 (包括种子和穗条), 2004 年进行苗木培育。2005 年, 利用优树种子培育的苗木, 在广东省东江林场等多地营建了优树半同胞家系子代测定试验林, 并以当地普通生产种为对照 (CK)。试验林水平带状整地, 穴规格为 $50 \text{ cm}\times 50 \text{ cm}\times 40 \text{ cm}$, 株行距为 $2.5 \text{ m}\times 3.0 \text{ m}$, 种植密度为 $1\ 600 \text{ 株}/\text{hm}^2$ 。试验设计采用完全随机区组种植, 162 个参试家系, 8 个重复, 4 株小区, 每个家系 32 株, 3 个地点共计 96 株。子代测定林建成后, 分别在 2006、2007、2008、2010、2013、2015 和 2020 年 7 个年度开展试验林生长量调查测定, 本研究选取了广东省东江林场连续调查数据完整保存完好的 71 个家系进行分析评选。

1.3 林分生物量及碳储量估算

整株生物量计算公式^[8]:

$$W_1=0.120\ 45D^{2.064\ 46}H^{0.382\ 65}$$

$$W_2=0.081\ 769D^{2.323\ 95}H^{0.242\ 89}$$

$$W=W_1+W_2$$

碳储量计算公式: 碳储量 (CS)= $W\times C$

式中: W_1 为平均木地上生物量 (kg); W_2 为平均木地下生物量 (kg); W 为平均木生物量 (kg); D 为胸径 (cm); H 为树高 (m); CS 为单株碳储量 (kg); C 为加权平均含碳率 (%)^[8]。

1.4 数据整理与分析

用 Excel 统计 15 年生木荷生长数据, 利用 SAS9.4 软件分析计算其选择差、选择强度、选择响应、表型增益、遗传增益、遗传力等相关参数。

2 结果与分析

2.1 各家系生物量及加权平均含碳量估算

连续调查数据完成的 71 个家系来源于广东省内广州、梅州、韶关、河源等 13 个市的 18 个区县, 主要分布在粤东、粤西、粤北, 经济发达的珠三角地区也有少量优良家系 (表 1)。根据 2020 年 8 月调查的 15 年生木荷生长量, 利用木荷立木生物量模型及碳计量参数, 以前期实验室计算的木荷平均加权含碳量为 47.27% , 计算各家系的单株生物量 (kg) 及单株碳储量 (kg), 结果见表 2。

2.2 木荷优良家系评选与增益估算

通过多重比较, 按 10% 入选率评选出碳储量排名前 7 位中, 树高、胸径和碳储量均大于对照

表1 木荷优良家系编号及产地

Table 1 Numbers and origin of *Schima superba* superior families

家系编号 Family number	产地 Origin	家系编号 Family number	产地 Origin	家系编号 Family number	产地 Origin	家系编号 Family number	产地 Origin
1	潮州潮安	40	茂名高州	78	梅州兴宁	128	湛江廉江
3	广州增城	42	茂名高州	79	梅州兴宁	130	湛江廉江
5	广州增城	43	茂名高州	82	清远清新	131	湛江廉江
6	广州增城	44	茂名高州	84	清远清新	132	湛江廉江
9	河源龙川	45	茂名高州	85	清远清新	133	湛江廉江
11	河源龙川	53	茂名信宜	86	清远清新	134	湛江廉江
13	河源龙川	54	梅州大埔	98	韶关翁源	139	肇庆封开
14	河源龙川	56	梅州平远	99	韶关翁源	143	肇庆封开
19	河源龙川	58	梅州兴宁	102	韶关翁源	144	肇庆封开
22	河源龙川	59	梅州兴宁	105	韶关翁源	150	肇庆封开
24	河源龙川	62	梅州兴宁	107	韶关翁源	152	肇庆封开
25	河源龙川	63	梅州兴宁	109	韶关翁源	153	肇庆封开
26	河源龙川	65	梅州兴宁	112	韶关翁源	155	肇庆封开
28	惠州龙门	67	梅州兴宁	116	韶关翁源	157	肇庆封开
29	惠州龙门	69	梅州兴宁	118	云浮新兴	158	肇庆封开
30	江门开平	73	梅州兴宁	119	云浮新兴	159	肇庆怀集
34	江门开平	74	梅州兴宁	121	云浮新兴	160	肇庆怀集
38	揭阳揭西	76	梅州兴宁	124	阳江阳春	CK	普通生产种

表2 木荷优良家系15年生生长量与碳储量

Table 2 Growth and carbon storage of 15-year-old *Schima superba* families

家系编号 Family number	平均高/m Mean height	高标准差 Height standard deviation	平均胸径/cm Mean DBH	胸径标准差 DBH standard deviation	生物量/kg Biomass	碳储量/kg CS
1	9.33	2.74	11.06	4.92	53.09	25.10
3	12.70	3.79	13.98	5.13	94.05	44.46
5	11.37	2.69	19.48	3.85	185.25	87.57
6	10.13	1.10	18.25	2.78	156.99	74.21
9	8.58	1.17	12.09	2.63	62.91	29.74
11	9.84	2.07	11.50	3.02	58.45	27.63
13	9.21	1.30	11.72	2.38	59.85	28.29
14	11.20	2.17	14.48	2.91	98.35	46.49
19	10.46	1.51	14.38	2.69	95.33	45.06
22	10.60	1.57	15.02	2.60	104.93	49.60
24	11.94	1.59	17.65	2.70	151.98	71.84
25	8.80	1.72	12.69	2.26	70.23	33.20
26	11.11	1.48	14.26	3.74	94.91	44.86
28	11.03	2.74	17.70	6.32	150.01	70.91
29	8.70	0.46	13.60	2.97	81.15	38.36
30	10.24	0.73	16.90	3.35	133.71	63.20
34	6.37	3.18	9.10	2.97	32.17	15.21
38	9.14	2.48	11.99	5.88	62.72	29.65
40	9.21	0.63	12.54	1.90	69.17	32.70

家系编号 Family number	平均高 /m Mean height	高标准差 Height standard deviation	平均胸径 /cm Mean DBH	胸径标准差 DBH standard deviation	生物量 /kg Biomass	碳储量 /kg CS
42	10.39	1.72	15.43	2.03	110.45	52.21
43	11.80	3.33	14.65	4.76	102.04	48.23
44	9.25	0.55	14.11	3.11	89.03	42.08
45	7.95	4.52	10.02	5.73	41.45	19.60
53	12.09	3.73	15.72	6.65	119.13	56.31
54	8.83	1.04	12.96	2.85	73.43	34.71
56	10.61	1.61	14.52	3.86	97.54	46.11
58	9.98	2.84	11.62	4.56	59.92	28.32
59	11.10	1.18	16.02	3.87	121.51	57.44
62	8.99	0.55	15.46	1.04	107.43	50.78
63	10.20	2.14	13.86	5.48	87.56	41.39
65	8.74	1.57	13.06	3.56	74.48	35.21
67	9.88	0.87	17.10	1.95	136.02	64.30
69	9.87	2.37	14.24	2.99	92.03	43.50
73	10.71	2.44	15.81	4.65	117.27	55.43
74	9.59	3.09	14.23	3.87	91.27	43.14
76	11.33	3.87	14.41	4.08	97.48	46.08
78	10.03	1.47	13.46	2.90	81.95	38.74
79	9.49	1.34	15.23	5.48	105.36	49.80
82	10.28	0.52	15.86	1.41	116.89	55.25
84	13.10	1.62	18.14	2.92	164.60	77.80
85	9.45	1.41	13.82	1.56	85.50	40.41
86	11.10	2.53	14.43	2.53	97.36	46.02
98	10.11	1.30	13.29	3.86	79.97	37.80
99	9.40	1.31	16.33	3.92	121.84	57.59
102	8.93	1.90	14.71	3.67	96.53	45.63
105	8.51	1.04	11.33	3.98	54.72	25.86
107	10.41	2.87	18.47	2.55	162.06	76.61
109	11.25	2.73	20.65	3.23	209.28	98.93
112	9.80	1.68	12.48	3.58	69.40	32.80
116	9.75	1.35	13.62	3.33	83.46	39.45
118	11.56	2.27	11.30	4.44	58.52	27.66
119	9.93	1.08	15.14	3.22	105.07	49.67
121	9.27	1.82	11.87	3.19	61.58	29.11
124	9.95	1.39	12.12	1.79	65.51	30.97
128	9.98	2.02	14.71	2.88	98.96	46.78
130	10.40	1.30	13.73	2.13	86.22	40.76
131	9.62	1.28	14.77	2.84	98.95	46.77
132	9.36	0.74	16.84	3.79	130.06	61.48
133	7.47	1.13	10.44	2.88	44.68	21.12
134	8.94	1.57	14.56	3.39	94.43	44.63
139	9.54	3.47	13.25	5.05	78.36	37.04
143	9.10	0.59	11.51	2.75	57.42	27.14
144	11.10	2.63	13.30	4.07	81.87	38.70

家系编号 Family number	平均高 /m Mean height	高标准差 Height standard deviation	平均胸径 /cm Mean DBH	胸径标准差 DBH standard deviation	生物量 /kg Biomass	碳储量 /kg CS
150	9.78	2.19	12.36	2.60	68.00	32.14
152	9.20	2.08	11.16	4.58	53.98	25.52
153	10.17	2.07	12.37	3.42	68.74	32.49
155	10.48	0.82	13.81	2.23	87.48	41.35
157	12.35	2.55	16.87	3.49	139.13	65.77
158	9.94	1.59	14.69	3.58	98.56	46.59
159	8.88	1.02	14.86	3.40	98.41	46.52
160	9.78	0.87	14.40	2.56	94.13	44.49
CK	10.47	1.76	14.27	3.99	93.84	44.36

表3 木荷优良家系 15 年生年均碳储量与选择增益

Table 3 Annual average carbon storage and selection gain of 15-year-old *Schima superba* families

家系编号 Family number	树高 /m Height	树高增益 /% Average height gain	胸径 /cm DBH	胸径增益 /% Average DBH gain	碳储量 /kg CS	碳储量增益 /% Average CS gain
109	0.75	7.14	1.38	44.73	6.60	123.02
5	0.76	8.57	1.30	36.53	5.84	97.42
84	0.87	24.29	1.21	27.14	5.19	75.40
24	0.80	14.29	1.18	23.70	4.79	61.96
28	0.74	5.71	1.18	24.05	4.73	59.86
平均值	0.78	7.86	1.24	30.80	5.31	79.56
CK	0.70		0.95		2.96	

表4 15 年生木荷优良家系树高、胸径、碳储量遗传参数

Table4 Genetic parameters of height,diameter at breast height,carbon storage of 15-year-old *Schima superba* families

项目 Item	家系编号 Family number	选择差 Selection deviation	选择强度 Selection intensity	选择响应 Selection response	表型增益 /% Phenotype gain	遗传增益 /% Genetic gain
树高 Height	109	1.22	0.45	5.08	7.14	8.32
	5	1.34	0.50	5.84	8.57	9.11
	84	3.07	1.90	17.14	24.29	20.92
	24	1.00	0.36	3.61	14.29	6.79
	28	1.91	1.20	9.56	5.71	13.00
胸径 DBH	109	6.38	1.98	36.00	44.73	42.74
	5	5.21	1.35	29.38	36.53	34.89
	84	3.87	1.32	21.8	27.14	25.90
	24	3.43	0.54	19.33	23.70	22.97
	28	3.38	1.25	19.07	24.05	22.66
碳储量 Carbon storage	109	0.10	1.14	74.57	123.02	80.81
	5	0.09	0.74	66.52	97.42	72.42
	84	0.08	1.45	56.85	75.40	62.35
	24	0.07	0.50	51.96	61.96	57.24
	28	0.06	1.01	42.15	59.86	47.02

的家系 5 个。这 5 个优良家系 15 年生时的树高、胸径和碳储量的年均值分别 0.78 m、1.24 cm 和 5.31 kg, 与普通生产种相比, 现实增益分别达到 7.86%、30.80% 和 79.56% (表 3)。

2.3 遗传参数分析

本实验项目根据 15 年生木荷包括胸径、树高等的基础调查数据, 利用 SAS9.4 分析软件, 总结了树高、胸径以及碳储量等的遗传参数, 主要包括选择差、选择强度、选择响应、表型增益和遗传增益等。结果显示, 候选 5 个家系碳储量遗传增益大于 40%, 选且择差较小 (表 4)。经 SAS 分析得出家系遗传力为 0.667~0.746。

3 结论与讨论

木荷是我国南方亚热带地区重要的用材树种, 其适应性强, 可在贫瘠干旱地区生长, 从固碳增汇角度出发, 且木荷各家系间含碳率差异较小^[9], 故以木荷的树高、胸径作为重要的生长性状数据, 测算木荷的碳储量, 通过遗传相关系数计算, 得出以下结论。

(1) 15 年生 71 个木荷半同胞家系测定林碳储量差异性较大。15 年生木荷各家系的碳储量分布在 15.21~98.93 kg 之间, 最高值是最低值的 6.5 倍, 相对于对照 CK, 有 50% 的家系呈正增长。

(2) 木荷测试林的性状遗传稳定。木荷遗传力较高, 其家系遗传力在 0.667~0.746 之间, 说明其性状主要由遗传因素决定。区域试验数据也验证了这一观点, 入选的优良家系在不同地点、不同环境条件下生长趋势与测定林保持一致, 说明遗传力较高。

(3) 综合考虑胸径因子和树高因子, 采用二元公式^[8], 结合选择差、选择强度、选择响应、表型增益和遗传增益^[10-12], 筛选出性状遗传稳定, 碳储量增益较大的 109、5、84、24、28 等 5 个优

良家系, 该优良家系可应用于次生林改造、防火林带建设、针阔混交林营建等, 适生范围广, 可有效提高营造林固碳增汇能力, 特别是在土壤相对贫瘠或干旱地区^[13]。

参考文献

- [1] 王菡娟. 2019年全球二氧化碳浓度继续升高[N]. 人民政协报, 2021-7-22(6).
- [2] 张守攻. 提升生态碳汇能力[J]. 上海企业, 2021(7): 64.
- [3] 李宸宇, 朱建华, 张峰, 等. 基于NbS的北京市乔木林固碳能力分析[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(6): 13-22.
- [4] 张娟, 陈钦. 森林碳汇经济价值评估研究: 以福建省为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 121-128.
- [5] 鲁成文, 刘忠颖. 木荷的经济价值及培育措施[J]. 绿色科技, 2021, 23(5): 74-76.
- [6] 韦昌幸, 秦武明, 张党权, 等. 广西南宁木荷人工林生长规律研究[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(3): 48-54.
- [7] 林玮, 梁东成, 唐昌亮, 等. 华南地区主要造林树种林分碳储量估算[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(2): 20-29.
- [8] 林玮, 白青松, 陈雪梅, 等. 华南主要造林树种碳汇能力评价体系构建及优良碳汇树种筛选[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(1): 28-37.
- [9] 徐期瑚, 林丽平, 薛春泉, 等. 广东木荷各器官含碳率及碳储量研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(10): 71-78.
- [10] 王德源. 林木半同胞子代测定遗传模型统计分析软件开发[D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- [11] 刘晓婷, 李嘉琪, 李峪曦, 等. 红松半同胞家系变异分析及优良家系选择[J]. 分子植物育种, 2020, 18(13): 4473-4482.
- [12] 彭奎霞, 吴际友, 霍文志, 等. 大叶榉树半同胞家系生长表现及优良家系选择[J]. 湖南林业科技, 2021, 48(2): 32-35.
- [13] 韦昌幸. 48年生木荷人工林生产力及经济效益评价研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.