

Application of Carbon Metering Technology in Carbon Reforestation Project

Guoqing Wu Hong'ai Zhang Jiazhi Yang Hongwei Zhu Liang Zhang

Forestry Surveying and Designing Institute of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong, 510520, China

Abstract

Based on 《methodology of carbon sink forestation project》, using biomass model technology and low carbon afforestation technology, According to the sampling accuracy requirement, 24 plots are allocated, The carbon sink of 133.3 hm² carbon sequestration forest in 2014 was monitored and measured. The main factors affecting the carbon sink of forest trees were analyzed. The potential carbon sequestration potential of each afforestation tree species was comparatively and analyzed, It is concluded that *Castanopsis fissa* and *Castanopsis hystrix* is strong in carbon sink. *Castanopsis fissa* has the highest unit area of forest carbon storage and average wood carbon storage per tree, it is an excellent carbon sink afforestation tree species. The emission reduction in the monitoring period is 1359t CO₂-e.

Keywords

Biomass modelling techniques; Low-carbon afforestation technologies; Carbon sinks; Monitoring measures; Carbon sink potential

碳汇造林项目碳计量技术应用

伍国清 张红爱 杨加志 朱宏伟 张亮

广东省林业调查规划院, 中国·广东 广州 510520

摘要

基于《碳汇造林项目方法学》, 利用生物量模型技术和低碳造林技术, 根据抽样精度布设24个样地, 对2014年营造的133.3hm²碳汇林的碳汇量进行了监测计量。分析了影响林木碳汇量的主要因素。对各造林树种的碳汇潜力大小进行了比较分析, 得出黎蒴*Castanopsis fissa*和红锥*Castanopsis hystrix*是碳汇能力较强的树种; 黎蒴*Castanopsis fissa*具有最高的单位面积林木碳储量和平均单木碳储量, 是优良的碳汇造林树种; 监测期内项目减排量为1359t CO₂-e。

关键词

生物量模型技术; 低碳造林技术; 碳汇量; 监测计量; 碳汇潜力

1 引言

森林植物通过光合作用吸收大气中的 CO₂, 并将其转化为有机物固定于生物量中, 同时通过自身呼吸、燃烧等释放出 CO₂^[1-3]。该特性使得森林资源在全球碳循环中起着至关重要的作用^[4-6]。森林生态系统是陆地生态系统的主要组成部分, 其储存了全球陆地三分之二以上的有机碳^[7-9]。通过植树造林、科学经营森林等方法降低大气中的 CO₂ 含量已成为应对全球气候变暖的重要途径之一。随着全球温室效应的持续加剧、节能减排压力日益增大, 森林碳汇功能与碳循环已成为国际研究的热点。

在全社会提倡“节能减排、低碳行动”的氛围下, 通过捐资营造碳汇林抵减因生产或生活产生的碳排放, 已成为

企业和公民履行社会责任、树立良好社会形象的崭新形式。

2013 年香港赛马会通过中国绿色碳汇基金会捐资 262.326 万元, 于 2014 年在广东省河源市龙川县营造 133.3hm² 碳汇林, 项目在发挥造林增汇效益的同时, 还具有保护生物多样性、改善当地生态环境和自然景观、增加群众收入等多重效益。

为了准确估算 2014 年营造的碳汇林的碳汇量, 利用生物量生长模型和样地法对新造林碳汇量进行定期监测和计量。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

项目造林地选择在广东省河源市龙川县, 位于广东省东北部, 北纬 23°50'57"~24°47'03", 东经 115°03'13"~115°03'18" 之间。龙川县属于亚热带季风气候区, 气候温和, 雨水充沛, 阳光充足。年平均气温 20.5℃, 年平均降水量为 1695mm, 年平均蒸发量 1411.3mm, 无霜期 318 天。林地土壤以赤红壤为主, 薄土层至中土层。主要原生乔木植物有

【作者简介】伍国清 (1975-), 中国广东兴宁人, 本科, 助理工程师, 从事林业调查规划、森林生态监测 (碳汇监测) 研究。

壳斗科、茶科、金缕梅科和樟科等树种，主要林下植被有芒箕、芒草、桃金娘、岗松和鹧鸪草等。

造林与管理方法

造林地为法定林业用地，四至界线清晰，权属清楚无争议，无经济纠纷和其它纠纷，均为宜林荒山。项目选择红锥 *Castanopsis hystrix*、黎蒴 *Castanopsis fissa*、木荷 *Schima superba*、枫香 *Liquidambar formosana* 4 个乡土阔叶树种进行随机混交造林，苗木为一年生顶芽饱满、无病虫害的一级营养袋壮苗，初植密度 1334 株 /hm² (89 株 / 亩)，按照每亩红锥 27 株、黎蒴 27 株、木荷 18 株、枫香 17 株的树种配比进行人工造林，于 2014 年 4 月 20 日完成造林。

为了满足低碳环保造林技术要求，沿等高线整地，土壤扰动面积比例低于 10%，并且不重复扰动；为了防止水土流失，保护现有碳库，项目采用穴状割杂的方式进行林地清理，不采取炼山整地以及其他人造火烧的营造林方式；保留原有散生木，加强对原生植被的保护。

2.2 调查方法

2.2.1 碳库和温室气体排放源的选择

根据《碳汇造林项目方法学》，确定项目边界内碳库为地上生物量和地下生物量，对其它碳库根据方法学的适用条件，保守性忽略。由于项目经营过程中可能发生由于木质物质燃烧引起 CH₄ 和 N₂O 排放，因此项目计入期内如果发生森林火灾时，排放源要考虑生物质燃烧所引起 CH₄ 和 N₂O 排放；如没有发生火灾，则不选择。

2.2.2 立木生物量模型和碳含量

使用广东省林业调查规划院研建的木荷（公式 1）、枫香（公式 2）、阔叶树（红锥、黎蒴）（公式 3）二元生物量模型计算单株林木生物量（M）。

$$M_{\text{木荷}} = 0.45633D^{1.76871}H^{0.23368} + 0.14034D^{1.97264}H^{-0.10162} \quad (1)$$

$$M_{\text{枫香}} = 0.09863D^{2.12052}H^{0.39591} + 0.04989D^{2.17830}H^{-0.06393} \quad (2)$$

$$M_{\text{阔}} = 0.19753D^{2.18022}H^{0.03848} + 0.18951D^{2.14769}H^{0.00012} \quad (3)$$

各树种的含碳率采用广东省林业调查规划院实验测定结果：木荷含碳率为 0.5569，枫香含碳率为 0.5354，阔叶树（红锥、黎蒴）含碳率为 0.5340。

2.2.3 项目分层

因项目造林均为同一年造林，造林树种一致，造林地块立地因子基本相同，因此项目碳汇监测计量均仅分一层。

2.2.4 抽样设计

按照 90% 的可靠性和 90% 的抽样精度要求，计算项目所需监测的固定样地数量，见公式（4）：

$$N = \left(\frac{t_{VAL}}{E} \right)^2 * \left(\sum_i w_i * s_i \right)^2 \quad (4)$$

式中：

N 为项目边界内估算碳储量所需的监测样地数量，无量纲；

t_{VAL} 为可靠性指标；在一定的可靠性水平下，自由度为无穷（∞）时查 t 分布双侧 t 分位数的 t 值，无量纲；

w_i 为项目边界内第 i 项目碳层的面积权重，w_i = A_i/A，其中 A 是项目总面积，A_i 是第 i 项目碳层的面积，无量纲；

S_i 为项目边界内第 i 层碳储量估计值的标准差，t C · hm²；

E 为项目碳储量估计值的允许的误差范围（即绝对误差限），t C · hm²

i 为 1, 2, 3, …, 项目碳层。

根据林业调查的经验可知，造林地块树种越多，变异系数越大。当造林树种数不多于 3 种时，变动系数 C 取 0.3；当造林树种数多于 3 种时，变异系数 C 取 0.4，从而得到估算出各层的标准差 S_i (各碳层单位面积碳储量 × 变动系数)，计算得到 n=24。

采取均匀布样的方法，系统布设随机起点的 24 个圆形固定样地，样地半径为 13.82m，样地面积为 0.06hm²。样地位置分布如图 1：

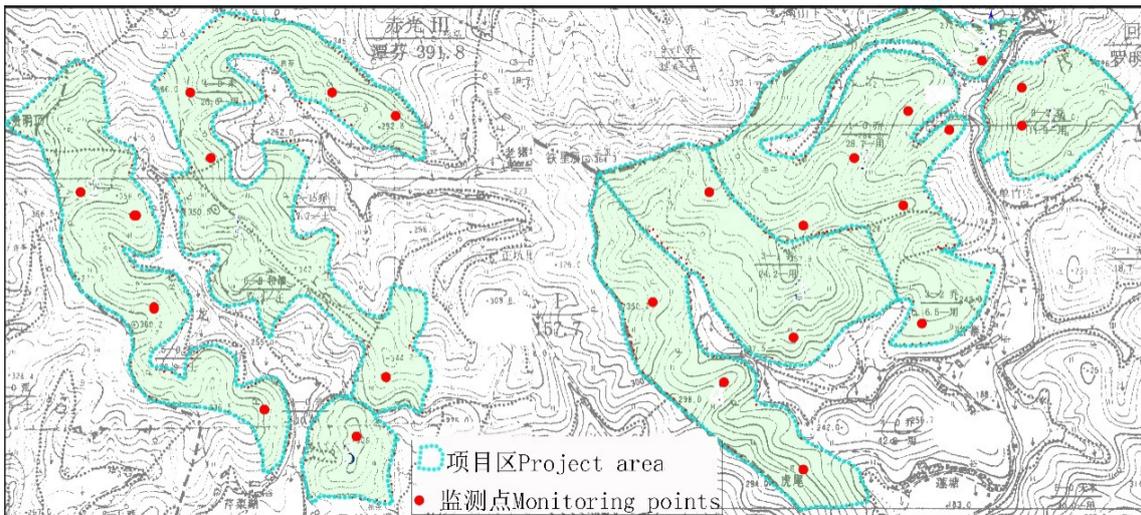


图 1 样地位置分布图

Fig. 1 Location map of sample plot

2.2.5 样地调查

在 0.06 hm² 圆形样地内对目的树种进行每木检尺：用测树钢围尺测量每棵树的胸径（胸高位置 1.3m 处检尺），用测杆测量每棵树的树高，并记录每棵树的树种名称。

2.3 碳汇量计算

2.3.1 基线碳汇量

基线碳汇量是指在基线情景下项目边界内各碳库中的碳储量变化之和。据调查项目区内有少量散生木，还有灌木和草本。为保护生物多样性和生态环境，在造林时保留原有散生木和灌木。在基线情景和项目情景中均不计量和监测散生木和灌木的碳储量，把散生木和灌木碳储量和变化量设定为 0。故设定本项目基线碳汇量为 0。

2.3.2 项目碳汇量

项目碳汇量是指项目情景下项目边界内所选碳库中的碳储量变化量，减去由拟议的碳汇造林项目活动引起的项目边界内温室气体排放的增加量，等于项目活动边界内各碳库碳储量的变化量之和，减去项目新增排放量，见公式（5）。

$$\Delta C_{ACTURAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t} \quad (5)$$

式中， $\Delta C_{ACTURAL,t}$ 表示第 t 年时的项目碳汇量（t/a）； $\Delta C_{P,t}$ 表示第 t 年时项目边界内所选碳库的碳储量变化量（t/a）； $GHG_{E,t}$ 表示第 t 年时由于项目活动的实施所导致的项目边界内非 CO₂ 温室气体排放的年增加量（t/a）。

在本监测期内，无森林火灾等的发生，因此 $GHG_{E,t}$ 计为 0，因此本监测期内只考虑林木碳储量变化量，因此，在第 t 年时，项目边界内所选碳库碳储量变化量的计算方法如公式（6）：

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} \quad (6)$$

式中 $\Delta C_{TREE_PROJ,t}$ 表示第 t 年时，项目边界内林木生物量碳储量变化量。

2.3.3 泄漏

泄漏是指由拟议的碳汇造林项目活动引起的、发生在项目边界之外的、可测量的温室气体源排放的增加量。根

据《碳汇造林项目方法学》的适用条件，项目活动泄漏很小，在此忽略不计。

3 结果与分析

3.1 造林地各树种的长势

长势可以根据样地调查的平均胸径和平均树高反映。在 24 个样地中，共调查到木荷、枫香、红锥和黎蒴等 1888 株，平均每个样地 79 株。按照株数统计，木荷 181 株，占 9.6%；枫香 536 株，占 28.4%；红锥 450 株，占 23.8%；黎蒴 721 株，占 38.2%。四个树种的设计比例分别为 20.2%、19.2%、30.3% 和 30.3%，本次调查结果显然，木荷、红锥存活比例低于设计比例，尤其是木荷；枫香和黎蒴表现良好，均高于设计比例。各树种的平均胸径和平均树高见表 1。

表 1 各树种的平均胸径和平均树高

Table 1 Average DBH and average tree height of each tree species

树种 Species	株数 Number	胸径 (cm) Diameter	树高 (m) Height
木荷 Schima superba	181	2.06 ± 1.09	2.18 ± 0.76
枫香 Liquidambar formosana	536	3.12 ± 1.50	3.07 ± 1.14
红锥 Castanopsis hystrix	450	2.50 ± 1.19	2.80 ± 1.01
黎蒴 Castanopsis fissa	721	2.95 ± 1.29	2.87 ± 1.05

注：表中数据为平均值 ± 标准差。

3.2 林木碳储量

以《碳汇造林项目方法学》为依据，结合实地调查，利用广东省林业调查规划院建立的木荷、枫香等立木生物量模型，进行林木碳储量的计算。

24 个固定样地中，单位面积林木碳储量最高的为 24.9192 t/hm²，最低的为 2.0896 t/hm²，平均值为 10.1940 ± 6.3390 t/hm²，总体来说，样地间的单位面积林木碳储量差异较大，分布不均匀，反映了林木生长的不均衡，在山脚、山窝等土层较好、水肥条件较好的地方，林木生长状况显著优于山顶地带。24 个固定样地的林木碳储量计算结果见表 2。

表 2 固定样地碳储量一览表

Table 2 carbon storage in fixed plots

固定样地编号 Fixed sample number	单位面积碳储量 (tCO ₂ -e/hm ²) Carbon stocks per unit area	固定样地编号 Fixed sample number	单位面积碳储量 (tCO ₂ -e/hm ²) Carbon stocks per unit area
1	24.9192	13	12.7150
2	21.4212	14	14.6322
3	7.8895	15	4.4137
4	19.1105	16	12.6683
5	4.7046	17	8.6853
6	16.3609	18	5.2038
7	7.0440	19	18.0669
8	13.5424	20	7.1949
9	4.3601	21	6.4403
10	2.6751	22	12.0376
11	2.5861	23	8.9004
12	6.9831	24	2.0896

按树种统计,单位面积碳储量:黎蒴最高、为4.0927t/hm²,其次为红锥、木荷,枫香最低。本次调查结果显然,黎蒴和其次为枫香、红锥,木荷最低;平均单木碳储量:黎蒴最高,红锥是碳汇能力较强的树种。见表3。

表3 四个树种林木碳储量统计表
Table 3 carbon storage statistics of four tree species

树种 Species	株数 Number	碳储量 tCO ₂ -e Carbon stocks	单位面积碳储量 tCO ₂ -e Carbon stocks per unit area	平均单木碳储量 tCO ₂ -e Average single wood carbon stocks
木荷 Schima superba	181	1.1498	0.7985	0.0044
枫香 Liquidambar formosana	536	3.2730	2.2729	0.0042
红锥 Castanopsis hystrix	450	3.1952	2.2189	0.0049
黎蒴 Castanopsis fissa	721	7.0599	4.9027	0.0068

在133.3hm²的碳汇造林面积,项目第一个监测期所积累的林木碳储量为1359t,见表4。按不同树种,枫香林木碳储量为303t,木荷碳储量为106t,红锥碳储量为296t,黎蒴碳储量为654t。

表4 项目林木碳储量监测结果统计表

Table 4 statistics of monitoring results of forest carbon storage in projects

参数 Parameter	数值 Value	单位 Unit
固定样地数 Fixed sample number	24	个
项目碳层数 Number of carbon layers	1	层
林木单位面积碳储量 Forest carbon reserves per unit area	10.1940	tCO ₂ -e/hm ²
4年林木生物质碳储量监测计量值 Monitoring and measurement of carbon stocks in Linmusheng for 4 years	1359	tCO ₂ -e

3.3 项目碳汇量

项目的基线碳储量设为0,项目在实施过程中未发生由于项目活动的实施导致新增的边界内非CO₂温室气体排放,因此项目碳汇量等于项目林木碳储变化量,也就是项目减排量为1359t。

4 结论与讨论

1. 红锥、黎蒴、木荷、枫香四个目的树种中,黎蒴、枫香的存活率、生长表现均远优于红锥和木荷,可以在以后的造林中适当增加比例。

2. 当前年龄平均单木碳储量以黎蒴为最高,其次为红锥、木荷,枫香最低。结果表明,黎蒴和红锥是碳汇能力较

强的树种。

3. 四个树种中,黎蒴具有最高的单位面积林木碳储量和平均单木碳储量,是优良的碳汇造林树种。

4. 监测期内项目减排量为1359t CO₂-e。

参考文献

- [1] 马钦彦,陈遐林,王娟,等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5): 96-100.
- [2] 刘雨桐, 贡璐, 刘曾媛. 塔里木盆地南缘典型绿洲不同土壤类型土壤有机碳含量及矿化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 162-166.
- [3] 叶金盛, 余光辉. 广东省森林植被碳储量动态研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34(4): 7-12.
- [4] 李明军, 杜明凤, 喻理飞. 贵州省森林植被碳储量、碳密度及其分布[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 48-54.
- [5] Dong J R, Kaufmann R K, Mneni R B, et al. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(3): 393-410.
- [6] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, 292(5525): 2320-2.
- [7] 陶玉华, 冯金朝, 马麟英, 等. 广西罗城马尾松、杉木、桉树人工林碳储量及其动态变化[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1608-1613.
- [8] 程堂仁, 冯菁, 马钦彦, 等. 甘肃小陇山森林植被碳库及其分配特征[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 33-44.
- [9] 侯琳, 雷瑞德. 秦岭火地塘林区油松林下主要灌木碳吸存[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6077-6084.