

# 基于森林资源二类调查数据的重庆市森林碳储量估算研究

孟祥江, 周恺 (重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

**摘要** 根据重庆市2010年森林资源规划设计调查数据资料, 采用森林蓄积量扩展法等对重庆市森林植被碳储量进行了分析研究。结果表明: 重庆市森林植被碳储量达15 918.95万t, 折合CO<sub>2</sub>约为58 422.55万t。其中乔木林碳储量为13 697.22万t, 占总碳储量的86.04%; 乔木经济林75.12万t, 占总碳储量的0.47%; 竹林1 838.23万t, 占总碳储量的11.55%; 国家特别规定灌木林308.38万t, 占总碳储量的1.94%。表明重庆市森林碳储量较大, 碳汇能力强。

**关键词** 森林资源; 碳储量; 碳汇; 重庆

**中图分类号** S718.55 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)27-11038-03

## Estimating Carbon Storage of Chongqing's Forests Based on Forest Inventory Data

MENG Xiang-jiang et al (Chongqing Academy of Forestry Science, Chongqing 400036)

**Abstract** According to forest resources planning and design survey data in Chongqing in 2010, the forest stand volume expansion method was used to study and analyze the carbon storage of forest vegetation in Chongqing. The results showed that, Chongqing forest vegetation carbon storage reach up to 159.19 million tones, equivalent to CO<sub>2</sub> about 584.23 million tones. In which, the carbon storage of arbor forest is 136.97 million tones, accounting for 86.04% of the total carbon storage, the carbon storage of economic forest is 0.75 million tones, accounting for 0.47% of the total carbon storage, the carbon storage of bamboo is 18.38 million tones, accounting for 11.55% of total carbon storage, and the carbon storage of national special provisions shrubbery is 3.08 million tones, accounting for 1.94% of the total carbon storage. So, the forest carbon storage in Chongqing showed greater carbon sequestration and carbon sequestration ability.

**Key words** Forest resources; Carbon storage; Carbon sequestration; Chongqing

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)将碳汇定义为从大气中清除二氧化碳的过程、活动或机制。森林碳汇是指森林生态系统吸收大气中二氧化碳,并将其固定在植被和土壤中,从而减少大气中二氧化碳的过程<sup>[1]</sup>。森林是陆地生态系统中最大的碳库,在降低温室气体浓度、减缓全球气候变暖中作用巨大。《京都议定书》(The Kyoto Protocol)认可森林碳汇对减缓气候变暖的贡献,并要求加强森林可持续经营和植被恢复及保护,允许发达国家通过向发展中国家提供资金和技术,开展造林、再造林碳汇项目,将项目产生的碳汇额度用于抵消其国内的减排指标。森林生物量约占整个陆地生态系统生物量的90%,它不仅在维护区域生态环境上起着重要作用,而且在全球碳平衡中也起着巨大的贡献,这是由于森林本身维持着大量的碳库(约占全球植被碳库的86%以上),同时森林也维持着巨大的土壤碳库(约占全球土壤碳库的73%)<sup>[2]</sup>。森林生态系统具有较高的生产力,每年固定的碳约占整个陆地生态系统的2/3,因此森林生态系统在调节全球碳平衡、减缓大气中二氧化碳等温室气体浓度上升以及维护全球气候等方面具有不可替代的作用<sup>[3]</sup>。森林固碳由于投资少、代价低、综合效益好,已受到国际社会的广泛关注和高度重视。森林碳汇是一个变量,一般以年为单位进行计量,指的是森林一年的碳储量增量,森林碳储量则是一个存量,指的是到某一时点森林植被的碳存量。从经济学角度分析,森林碳汇是流量,属于生产的范畴;而森林碳储量是存量,属于资产的范畴。

近年来,重庆市先后实施了天然林保护、退耕还林、森林

工程、三峡库周绿化带、长江两岸绿化以及长江上游重点生态屏障建设等一批林业重点工程,森林资源的数量与质量都有了较大幅度提升。重庆市现有森林面积347.23万hm<sup>2</sup>,森林覆盖率42.1%。摸清重庆市森林植被碳储量和碳汇能力对于核算并确定碳汇货币价值,构建碳汇交易市场,建立碳汇效益补偿机制,发展重庆碳汇林业,改善生态环境,应对区域气候变化有着重要意义。

## 1 研究资料与方法

**1.1 研究区域概况** 重庆市位于105°11'~110°11'E, 28°10'~32°13'N,南北长450 km,东西宽470 km,幅员面积8.24万km<sup>2</sup>。重庆市地处四川盆地东部,地势由南向北向长江河谷逐级降低,西北部和中部以丘陵、低山为主,东南部靠大巴山和武陵山两大山脉。重庆市气候属亚热带湿润季风气候类型,冬季温暖,夏季炎热多伏旱,无霜期长,日照时间短,年日照时数1 000~1 400 h,为全国年日照最少的地方之一;光温水同季,立体气候显著,气候资源丰富;年平均气温16~18℃,年均降水量丰沛,大部分地区在1 000~1 350 mm。土壤属中亚热带四川东北部盆地山地黄壤区,土壤主要类型有紫色土、黄壤、黄棕壤、棕壤、红壤、水稻土、石灰(岩)土等,其中紫色土是分布面积最广的土类,占全市土地面积的33.22%。境内水资源丰富,600多km长江自西南向东北横贯全境。

重庆市属亚热带常绿阔叶林区,植物资源种类繁多,有维管植物6 000余种,森林植被丰富,主要森林类型有亚热带常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶林、暖性针叶林和温带暗针叶林。重庆树种资源丰富,针叶树种有马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柏木(*Cupressus funebris*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、华山松(*Pinus armandi*)、日本落叶松(*Larix kaempferi*)等;阔叶树种有杨树(*Popu-*

**基金项目** 重庆市科委基本科研业务专项(BS1103)。

**作者简介** 孟祥江(1971-),男,安徽固镇人,高级工程师,博士后,从事森林生态学、森林经理学、林业碳汇方面的研究, E-mail: mxj517@sina.com。

**收稿日期** 2013-09-14

lus)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、楠木(*Phoebe zhennan*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、黄葛树(*Ficus virens*)、桉树(*Eucalyptus*)等。国家重点保护植物有 59 科 105 属 127 种,包括桫欏(*Alsophila spinulosa*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、银杉(*Cathaya argyrophylla*)、崖柏(*Thuja sutchuenensis*)、红豆杉(*Taxus chinensis*)、珙桐(*Davidia involucrata*)等<sup>[4]</sup>。

重庆市林业用地面积为 432.92 万  $\text{hm}^2$ ,占土地总面积的 52.53%。其中,有林地面积 316.01 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 73.00%;疏林地面积 6.99 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 1.61%;灌木林地面积 83.52 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 19.29%;未成林地面积 7.52 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 1.74%;苗圃地面积 0.13 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 0.03%;无立木林地面积 2.01 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 0.46%;宜林地面积 16.72 万  $\text{hm}^2$ ,占林业用地面积 3.86%。森林覆盖率 42.1%,林木绿化率 56.1%。

**1.2 研究资料** 采用的基本资料是在重庆市森林资源规划设计调查(二类调查)报告数据资料和相关文献资料基础上经整理分析后形成。相关参数来源于国家和 2006 年 IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)国家温室气体清单办法:农业、林业和其他土地利用。

**1.3 研究方法** 森林碳汇的计量方法主要有生物量法、蓄积量法、生物量清单法、微气象学法(包括涡度相关法、驰豫涡旋积累法等)、箱式法等<sup>[5-8]</sup>。按照不同森林类型确定不同的森林碳储量估算方法。

**1.3.1 乔木林碳储量估算方法。**针对乔木林碳储量估算要采用森林蓄积量扩展法<sup>[9]</sup>。其基本思路为:以森林蓄积(树干材积)为计算基础,通过蓄积扩大系数计算树木(包括枝、树根)生物量,然后通过容积密度(干重系数)计算生物量干重,再通过含碳率计算其固碳量。此方法计算出来的是以立木为主体的森林生物量碳储量和碳汇量。计算公式:

$$C_{\text{乔木林}} = \gamma \sum_{i=1}^n V_i W D_i B E F_i (1 + R)$$

式中: $C_{\text{乔木林}}$ 为林木的固碳量(万 t); $V$ 为立木蓄积量(万  $\text{m}^3$ ); $W D$ 为木材基本密度( $\text{t}/\text{m}^3$ ); $B E F$ 为生物量扩展因子,即林木地上生物量与树干生物量的比,无量纲,研究取 IPCC 的默认值:针叶树 1.3,阔叶树 1.4; $R$ 为根茎比,即林木地下

生物量与地上生物量的比,无量纲,该研究取 IPCC 的默认值 0.42; $\gamma$ 为碳转化系数,国际上通常取 0.5。

各林分类型含碳率主要依据黄从德等<sup>[10]</sup>研究结果,不同林分类型的森林单位面积蓄积量和生长率主要依据 2010 年重庆市第七次森林资源二类调查数据,其他指标主要依据国家林业局《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》、《全国林业碳汇计量监测技术指南(试行)》和 IPCC 碳计量参数各种换算系数,取 IPCC 默认值。

**1.3.2 经济林碳储量估算方法。**经济林碳储量为经济林生物量与碳含率的乘积,计算公式:

$$C_{\text{经济林}} = W_{\text{经济林}} A C F_{\text{经济林}}$$

式中, $C_{\text{经济林}}$ 为经济林碳储量, $W_{\text{经济林}}$ 为经济林单位面积生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),平均值取 23.70  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;A 为经济林面积( $\text{hm}^2$ ), $C F_{\text{经济林}}$ 为碳含率,取 0.5。

**1.3.3 竹林碳储量估算方法。**采用基于竹林株数的碳储量估算方法,计算公式:

$$C_{\text{竹林}} = W_{\text{竹林}} N C F_{\text{竹林}}$$

式中, $C_{\text{竹林}}$ 为竹林碳储量, $W_{\text{竹林}}$ 为平均单株生物量( $\text{kg}/\text{株}$ ),平均单株生物量取 10.44  $\text{kg}/\text{株}$ ;N 为竹子株数(株), $C F_{\text{竹林}}$ 为碳含率,取 0.5。

**1.3.4 国家特别规定灌木林碳储量估算。**国家特别规定灌木林碳储量为灌木林生物量与碳含率的乘积,计算公式:

$$C_{\text{灌木林}} = W_{\text{灌木林}} A C F_{\text{灌木林}}$$

式中, $C_{\text{灌木林}}$ 为灌木林碳储量, $W_{\text{灌木林}}$ 为灌木林单位面积生物量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ),平均值取 19.76  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;A 为灌木林面积( $\text{hm}^2$ ), $C F_{\text{灌木林}}$ 为碳含率,取 0.5。

## 2 结果与分析

**2.1 重庆市不同类型林分碳储量** 根据重庆市森林二类调查数据和不同类型林分碳储量估算公式,计算出 2012 年重庆市森林植被碳储量为 15 918.95 万 t(表 1),相当于固定 58 422.55 万  $\text{t CO}_2$ 。其中,由针叶林、阔叶林、针阔混交林组成的乔木林碳储量为 13 697.22 万 t,乔木经济林 75.12 万 t,竹林 1 838.23 万 t,国家特别规定灌木林 308.38 万 t。如果按照 2012 年 9 月广东碳排放权交易市场 7.25 欧元(合人民币 60 元)/ $\text{t CO}_2$  交易价格计算,重庆市 2012 年森林植被碳储量价值为 3 505 353.09 万元,占重庆市 2012 年地区生产总值(GDP)114 590 000.00 万元的 3.06%。

表 1 重庆市不同类型林分碳储量

林分类型	面积// $\text{hm}^2$	碳储量// $\times 10^4$ t	碳储量比例//%	折合成 $\text{CO}_2$ // $\times 10^4$ t
乔木林	2 931 373.43	13 697.22	86.04	50 268.78
乔木经济林	63 394.83	75.12	0.47	275.70
竹林	228 756.58	1 838.23	11.55	6 746.31
国家特别规定灌木林	312 125.69	308.38	1.94	1 131.76
总计	3 535 650.53	15 918.95	100.00	58 422.55

**2.2 重庆市不同类型林分碳储量构成** 从组成比例来看(表 1,图 1),不同类型林分中,由针叶林、阔叶林和针阔混组成的乔木林碳储量占 86.04%,占有绝对比重;竹林碳储量次

之,占 11.55%;国家特别规定灌木林占 1.94%,而乔木经济林仅占 0.47%。

**2.3 乔木林中针叶林、阔叶林、针阔混交林碳储量** 乔木林

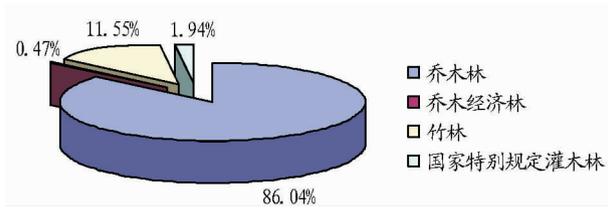


图1 不同类型林分碳储量构成

碳储量为 13 697.22 万 t (表 2), 其中针叶林碳储量为 8 591.93 万 t, 占乔木林碳储量的 62.73%; 阔叶林碳储量为 2 414.29 万 t, 占 17.63%; 针阔混交林碳储量为 2 691.00 万 t, 占 19.64%。之所以针叶林占乔木林碳储量的绝大部分, 是因为乔木林以针叶林占绝对优势, 面积占乔木林面积的 62.78%, 且针叶林中以马尾松最多, 占针叶林面积的 75.85%, 蓄积量占针叶林蓄积的 82.98%。

表2 乔木林各林分类型碳储量构成

林分类型	面积//hm <sup>2</sup>	蓄积量//m <sup>3</sup>	碳储量// × 10 <sup>4</sup> t	碳储量比例//%	折合成 CO <sub>2</sub> // × 10 <sup>4</sup> t
针叶林	1 840 303.03	122 482 924	8 591.93	62.73	31 532.39
阔叶林	516 980.06	24 784 272	2 414.29	17.63	8 860.43
针阔混	510 695.51	34 708 228	2 691.00	19.64	9 875.96
合计	2 931 373.43	181 975 424	13 697.22	100.00	50 268.78

### 3 结论与讨论

研究结果表明:2012年,重庆市森林碳储量为 15 918.95 万 t, 折合 CO<sub>2</sub> 约为 58 422.55 万 t, 价值高达 3 505 353.09 万元。在不同的森林类型中, 乔木林碳储量最大, 占全部森林碳储量 86.04%, 其余依次是竹林、国家特别规定灌木林和乔木经济林, 分别占 11.55%、1.94% 和 0.47%。而在由针叶林、阔叶林、针阔混交林构成的乔木林中, 针叶林、阔叶林和针阔混交林碳储量分别占乔木林碳储量的 62.3%、17.63%、19.64%。从前面的分析中可以看出之所以针叶林碳储量最高, 是因为针叶林的面积最大, 研究表明, 针叶林的固碳能力要大于阔叶林。从龄组构成来看, 在天然乔木林各龄组中, 幼龄林和中龄林的面积、蓄积比重最大, 二者之和面积占 88.25%, 蓄积占 82.48%。幼龄林和中龄林林分正处于速生期, 具有很大的碳汇潜力, 因此要加强对中幼龄林的培育和经营, 提高林分质量, 促进林木生长; 同时还要协调好市域范围内森林碳储量分布, 增加阔叶林和针阔混交林的面积, 从而全面提高重庆市森林碳汇能力。

研究只探讨了乔木林(包括针叶林、阔叶林、针阔混交林)、乔木经济林、竹林和国家规定特别灌木林等类型林分, 而对于林下灌木层、草本层、枯落物层和土壤层碳储量的研究没有涉及, 因此研究结果也相对较为保守。要全面准确地测算和掌握重庆市域森林生态系统碳储量, 还要开展深入研

究, 选取更为适当的测算方法。在此基础上, ①还需针对不同时段开展对比研究, 这样才能把握森林碳储量的动态变化, 得出准确的森林生态系统年碳汇量; ②要开展对不同的树种不同林龄的碳储量和碳汇能力研究, 才能全面把握重庆市森林生态系统的碳储量和碳汇能力, 为重庆市森林生态系统补偿以及碳排放交易市场上林业碳汇的参与提供技术支持, 同时也有利于重庆市生态 GDP 核算研究的深入开展和生态文明建设。

### 参考文献

- 李怒云. 中国林业碳汇[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- 杨海军, 邵全琴, 陈卓奇, 等. 森林碳蓄积量估算方法及其应用分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 5-12.
- 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- 吴亚. 重庆市林木种质资源[M]. 重庆: 重庆出版社, 2011.
- 何英. 森林固碳估算方法综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(1): 22-27.
- 王效科, 冯宗炜. 中国森林生态系统中植物固定大气碳的潜力[J]. 生态学杂志, 2000, 19(4): 72-74.
- 赵林, 殷鸣放, 陈晓菲, 等. 森林碳汇研究的计量方法及研究现状综述[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 59-63.
- 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.
- 国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组办公室. 中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川省及重庆地区森林植被碳储量动态[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 966-975.
- 杨生超, 文国松, 刘雪玲, 等. 灯盏花种质资源遗传关系的 ISSR 分析[J]. 中草药, 2010, 41(9): 1523-1527.
- 田斌, 辛培尧, 孙正海, 等. 三七 ISSR-PCR 反应体系建立及优化[J]. 云南农业大学学报, 2013, 28(1): 96-101.
- 宁静, 黄建安, 李娟, 等. 茶树 ISSR-PCR 反应体系的正交优化[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(4): 414-417.
- 孙正海, 王锦, 李世峰, 等. 滑叶藤 ISSR-PCR 反应体系建立及优化[J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(5): 746-750.
- 王永清, 付燕, 杨芬, 等. 枇杷属植物遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 林业科学, 2010, 46(4): 49-57.
- ZHANG M, PAN D R, ZHOU Y F, et al. Analysis of the Flavonoids in the Leaves of Rhododendron pulchrum Sweet by HPLC-MS[J]. Medicinal Plant, 2012, 3(6): 21-24.
- 陈春福, 赖钟雄. 二乔杜鹃组培苗生根培养体系的优化研究[J]. 园艺与种苗, 2012(12): 36-39.

(上接第 10979 页)

- 柯世清, 杨敏文. 水分胁迫对云锦杜鹃光合生理和光温响应的影晌[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 959-964.
- 李志斌, 白雪霞, 李萍. 高山杜鹃将成为我国高档园林绿化的新宠[J]. 中国绿化, 2007(1): 21-23.
- ZIETKIEWICZ E, RAFALSKI A, LABUDA D. Genome finger printing by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification[J]. Genomics, 1994, 20: 176-183.
- 方宣钧, 吴为人, 唐纪良. 作物 DNA 标记辅助育种[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 15-16.
- 周延清. DNA 分子标记技术在植物研究中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 143-150.
- 孙正海, 萧凤回, 曾亚文, 等. 粳稻糙米钙含量 QTL 分析[J]. 西北植物学报, 2010, 30(3): 481-486.
- 何正文, 刘运生, 陈立华, 等. 正交设计直观分析法优化 PCR 条件[J]. 湖南医科大学学报, 1998, 23(4): 403-404.