

林场级森林林木碳储量估测方法研究

刘宪钊^{1,2} 陆元昌¹ 马履一² 薛杨³

(1 中国林业科学研究院资源信息研究所 2 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室
3 海南省林业科学研究所生态研究室)

摘要:为了研究林场级森林林木生物量和碳储量的信息,以海南省岛东林场为例,采用系统(等距)抽样方式对该场林木资源进行抽样调查。选择政府间气候变化专门委员会(IPCC)制定的方法对不同龄组、不同类型森林的林木生物量和碳储量进行估算。结果显示:林场森林林木碳储量大,达53.00万t,但单位面积上的碳汇能力低,仅为54.35 t/hm²;不同类型林分各个生长阶段(龄组)的单位面积碳储量不尽相同,其中木麻黄成熟林最高,为141.08 t/hm²。以上结果表明,当前短周期人工林皆伐作业模式下的森林林木生物量积累不足,造成岛东林场碳汇能力较低。当前经营方式不能满足应对全球气候变化为目的的多功能森林经营的要求,需要寻找一种新的经营方式来改变这一现状。

关键词:经营单位;系统抽样;生物量;碳储量

中图分类号:S718.55 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2013)05-0144-05

LIU Xian-zhao^{1,2}; LU Yuan-chang¹; MA Lü-yi²; XUE Yang³. **Estimation method of wood carbon storage at sacle of forest farm management unit.** *Journal of Beijing Forestry University*(2013)**35**(5) 144-148 [Ch,16 ref.]

1 Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China;

2 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

3 Laboratory of Ecological Research, Forestry Science Institute of Hainan Province, Haikou, 571100, P. R. China.

In order to get the carbon storage information of tropical forest, a systematic sampling method was used to get scientific data of plantation in Daodong Forest Farm of Hainan Island, Southern China. Combining the IPCC method and sampling data on forest resource, information about the above and underground wood carbon storages were caculated. The results showed that the managemet unit of Daodong Forest Farm had huge carbon storage, which reached 0.53 million ton, but carbon storge per unit area was unsufficient at only a level of 54.35 t/hm². The carbon storage of unit area in different forest types varied with different species and different age groups, and the mature forest of *Casuarina equisetifolia* occupied the highest carbon storage in unit area (141.08 t/hm²). The study results indicated that current forest management model of short rotation clear-cutting system caused the decline of biomiss and carbon storage, and this could not meet the needs of increasing forest biomass to mitigate climate change. In order to change this situation, smooth transferring of clear-cutting model into a multi-functional forest management is suggested.

Key words management unit; systematic sampling; biomass; carbon storage

收稿日期:2013-01-24 修回日期:2013-04-07

基金项目:林业公益性行业科研专项(201004002、201204304)、中国博士后科学基金(2012M510331)。

第一作者:刘宪钊,博士后。主要研究方向:可持续森林经营。Email:lxz9179@caf.ac.cn 地址:100083北京市清华东路35号北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室。

责任作者:陆元昌,研究员,博士生导师。主要研究方向:近自然森林经营。Email:Ylu@caf.ac.cn 地址:100091北京市颐和园后中国林业科学研究院资源信息研究所。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

森林是地球上最重要的碳库之一, 储存了陆地生态系统65%~98%的有机碳。森林光合和呼吸作用与大气之间的年碳交换量高达陆地生态系统年碳交换量的90%, 在全球碳循环和碳平衡以及减缓温室效应和调节全球气候等方面起着不可替代的作用^[1-4]。此外, 森林的固碳释氧功能也是生态系统服务功能的一个组成部分, 在社会经济可持续发展中具有重要作用^[5]。随着国际社会对全球气候变化问题关注程度的不断提高, 增加森林碳储存量和提高森林碳汇能力成为很多国家对林业生态建设的一个新的要求, 而科学、准确地掌握森林的碳储量信息, 估算其固碳能力, 不仅是解释全球碳收支计算中仍存在不平衡问题的一个关键因素, 也是推动包括森林碳汇在内的生态服务市场快速发展的重要内容。

作为森林经营管理的出发点和落脚点, 林场级森林的林木生物量和碳储量累积水平能够直接反映其森林经营和发展水平。研究森林林木生物量和碳储量的监测方法, 开展碳汇能力的研究与评价工作, 能够为实现以“固碳增汇”为目标的林业生态建设提供数据支持, 同时也为“造林、再造林”的碳贸易在基层林业部门的开展提供可行的碳储量调查与估算方法和手段。

热带森林碳储量占世界森林碳库的40%~52%, 在全球碳循环和碳平衡中起着巨大的作用^[6-7]。充足的水热和光照条件赋予了热带森林快速生长和碳积累的潜力, 但是过度采伐、破坏等人类干扰造成的森林退化又加速了碳的释放; 因此, 热带森林的源汇之争一直没有停止^[8-9]。在热带地区开展林场级的森林林木碳储量的监测与评价工作, 能够了解热带森林经营过程中碳积累的特点, 为热带森林多功能可持续经营提供理论依据。基于以上考虑, 本文以海南省国有岛东林场为例, 提出森林林木生物量和碳储量的调查和估算方法, 并对该林场碳汇能力进行研究, 以期为其他林业基层部分森林林木碳储量的调查、估算和评价工作提供参考。

1 研究区概况

岛东林场位于海南省东北部的文昌市境内(110°36'~111°01'E, 19°40'~20°06'N), 东临南海, 北起铺前, 南至龙接, 西至抱罗、公坡等乡镇。地形由西南向东北稍为倾斜, 沿海岸线向内陆纵深方向海拔逐渐升高, 大部分地区海拔在5~20 m之间, 最高海拔70 m。

岛东林场辖区面积约1.2万hm², 林种主要包括承担木材和工业原料生产的商品林、承担海岸带

防护的公益林和少量其他土地利用方式的无林地。森林类型简单、树种类别少, 经营树种以木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)为主, 面积在75%以上。此外, 还包括松(*Pinus* spp.)、桉树(*Eucalyptus* spp.)和相思(*Acacia* spp.), 经营作业方式几乎全部采用短周期人工同龄纯林皆伐作业模式。

2 研究方法

2.1 数据

由于岛东林场森林面积大, 通过全面的森林资源调查来掌握该林场碳储量信息不切实际, 所以实现该林场林木碳储量监测的首要前提是设计一个科学合理的抽样调查体系。样本组织和实施的简易性和可操作性是基层林业调查人员开展森林调查的一个关键因子, 同时考虑到数据获取的全面性和完备性, 本研究选择等距抽样方法, 结合前期岛东林场森林资源的调查数据(单位面积的最大、平均和最小蓄积量分别为133.85、39.91和0 m³/hm²), 对抽样单元数量进行计算^[10-11]。

变动系数估计:

$$C = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{6V_{\text{AVG}}} \quad (1)$$

样本单元数量:

$$n = \left(\frac{t_{1-\alpha} C}{1-P} \right)^2 \quad (2)$$

式中: V_{\max} 、 V_{\min} 和 V_{AVG} 分别为该林场不同小班的最大、最小和平均蓄积量, m³/hm²; α 为系统抽样的可靠性(取值95%); P 为抽样精度(取值90%)。

在保证系统抽样可靠性和精度的前提下, 根据式(1)、(2), 计算得到调查样本的单元数为120个。调查中再增加保险系数为10%的样本量, 则实际抽取样本的单元数为132个。

参照森林资源连续清查的方法对系统抽样样地进行等距布设($X=0.8$ km, $Y=1$ km), 每个抽样样地由3个子样地(A、B、C)组成, 呈三角辐射状。每个子样点距样地中心点30 m, 并与中心点分别成0°、120°和240°方位角位置。每个子样地为1个半径为5 m的样圆。调查活立木、枯立木和枯倒木的胸径、树高、枝下高等指标。

2.2 测算方法

森林碳汇的估算方法主要包括样地清查法、涡度相关法和应用遥感等新技术的模型模拟法^[12]。其中, 样地清查法作为森林资源调查时使用的传统方法, 已经得到了普遍应用。本研究选择样地清查法中的平均换算因子法(biomass expansion factor, BEF₂), 利用生物量转换因子的平均值乘以该森林

类型的总蓄积量,得到该类型森林的总生物量^[12-13]。

基本原理为:

$$B_{total} = V_{total} \cdot D \cdot BEF_2 \cdot (1 + R) \quad (3)$$

式中: B_{total} 为某一树种(组)的总生物量, V_{total} 为某一树种(组)的总蓄积量, D 为某一树种(组)的木材密度, BEF_2 为生物量扩展因子, R 为根茎比。

由于生物量换算因子在林木发育的不同阶段变幅较大,对其进行适当的转换,按照生物量扩展因子上、下限等分为5个区间,取区间中值分别作为幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林的生物量转换因子(表1);然后通过计算出来的地上生物量部分的单位面积生物量值确定使用的根茎比,求出各个龄组的生物量,合计成树种或树种组的总生物量;生物量和不同树种碳汇系数(carbon factor)的乘积即碳储量^[13]。

3 结果与分析

3.1 岛东林场不同类型抽样样本统计和面积估算

系统抽样结果显示:该经营单位的森林类型主

表1 岛东林场不同树种各生长阶段生物量换算因子
Tab.1 Biomass expansion factor (BEF₂) of different tree species of 5 age groups in Daodong Forest Farm

树种(组)	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
木麻黄	1.32	1.73	2.14	2.55	2.96
桉树	1.07	1.48	1.89	2.30	2.71
相思	1.19	1.6	2.01	2.42	2.83
松类	1.26	1.54	1.82	2.10	2.38
混交林	1.40				

注:生物量扩展系数(BEF)、材质干质量系数、碳汇系数源于文献[14]。

要是由木麻黄、桉树、相思类和松类构成的人工纯林;其次,还有少量的木麻黄-相思、木麻黄-桉树、桉树-相思3种类型的混交幼龄林;此外,其他土地利用方式的抽样样地为23个,多为管理不善或监管不严造成的非法采矿地、民占农田和瓜地。

根据不同森林类型和土地利用方式的样本数量比例(表2)和林场总面积,可以估算不同森林类型和土地利用方式所占的面积(表3)。

表2 岛东林场不同类型抽样样本统计表

Tab.2 Number of systematic sampling plots of different types in Daodong Forest Farm

森林类型	幼龄林		中龄林		近熟林		成龄林		总计
	样本数量	比例	样本数量	比例	样本数量	比例	样本数量	比例	
木麻黄纯林	44	0.33	17	0.13	19	0.14	6	0.05	86
桉树纯林	1	0.01	2	0.02	1	0.01	1	0.01	5
相思纯林	3	0.02	2	0.02	1	0.01	0	0	6
松类纯林	1	0.01	1	0.01	0	0	2	0.02	4
混交林	3	0.02	0	0	0	0	0	0	3
其他	造林未成林地、采矿地、瓜地、撂荒地等								28
总计									132

注:根据式(1)、(2)进行系统抽样样地布设和统计调查(可靠性为95%,精度为90%)。表3同此。

表3 基于系统抽样的不同森林类型和土地利用方式的面积测算

Tab.3 Areas of different forest types and land uses estimated from data of systematic sampling investigation hm²

森林类型	幼龄林	中龄林	近龄林	成龄林	总计	比例
木麻黄纯林	4 125	1 594	1 781	563	8 063	0.65
桉树纯林	94	188	94	94	469	0.04
相思纯林	281	188	94	0	563	0.05
松类纯林	94	94	94	188	375	0.03
混交林	281				281	0.02
其他	造林未成林地、采矿地、瓜地、撂荒地等				2 625	0.21
总计					12 375	

统计结果显示:木麻黄纯林面积最大,为8 063 hm²,占总林场面积的65%;其次为其他经营方式的土地面积,占总林场的21%;桉树、相思、松类纯林和混交林所占面积均不超过林场总面积的5%。

根据样地调查数据,结合不同树种的生长方程^[15]得到主要树种的单位蓄积量(表4)。

3.2 岛东林场森林生物量及碳储量

根据系统抽样调查数据,统计得出的不同森林类型按龄组分类的单位面积蓄积量(表4),结合公式(3)和表1,求得岛东林场不同类型森林林木按龄组分类的地上碳储量。

由于林木在不同生长阶段(龄组)生物量转换能力不同,而由生物量决定的不同类型森林林木碳

表4 不同森林类型各龄组单位面积蓄积量

Tab.4 Unit volumes of different forest types in different age groups

hm²

森林类型	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林
木麻黄纯林	29.56 ± 3.35	69.73 ± 6.33	95.32 ± 9.71	133.85 ± 12.92
桉树纯林	33.80	60.79 ± 3.45	91.23	125.12
相思纯林	21.76 ± 4.62	57.01 ± 5.38	88.61	
松树纯林	20.58	55.13	86.25	113.81 ± 15.36
混交林	28.82 ± 3.27			

注：表中数据为均值 ± SD；由于部分类型抽样样本为1或0，SD为0。表5同此。

储量也存在一定的差异。图1给出了不同森林类型各生长阶段单位面积地上林木碳储量信息：木麻黄成熟林林木地上碳储量最大，为141.08 t/hm²；其次是木麻黄近熟林和桉树成熟林，分别为84.32和82.44 t/hm²；整体上表现为随着林木的生长，林木地上碳储量明显增大。在碳汇系数差异不大的情况下，由于木麻黄木材密度远高于其他树种，所以处于同一龄组的木麻黄林单位面积的地上碳储量最高。

根据表3和图1可以求得岛东林场不同类型森林林木地上碳储量(表5)。此外，参考地上生物量与地下生物量的碳汇比值，根据地上碳汇总量估测值计算不同类型森林林木地下碳汇总量^[3,14]。

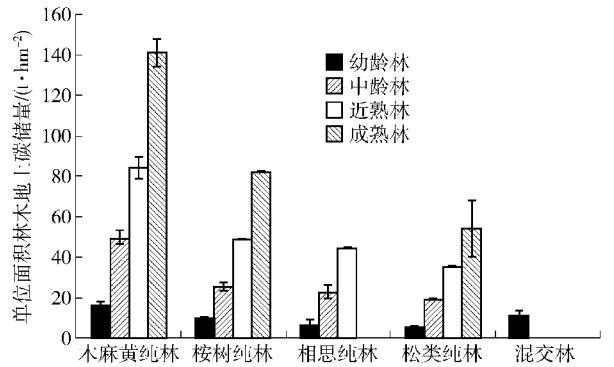


图1 不同森林类型各生长阶段林木地上碳储量

Fig.1 Overground wood carbon storage of various forest types in different age groups

表5 岛东林场不同类型森林林木碳储量

Tab.5 Sum of wood carbon storage of different forest types in Daodong Forest Farm

森林类型	木材密度/ (t·m ⁻³)	地上生物量/ 万 t	碳汇 系数	地上碳汇 总量/万 t	碳汇 比值	地下碳汇 总量/万 t	碳汇 总量/万 t
木麻黄纯林	0.83	75.42 ± 7.57	0.50	37.56 ± 3.78	0.260	9.77 ± 0.981	47.33 ± 4.75
桉树纯林	0.58	3.67 ± 0.06	0.50	1.82 ± 0.03	0.115	0.21 ± 0.003	2.03 ± 0.03
相思纯林	0.48	1.98 ± 0.15	0.53	1.04 ± 0.08	0.219	0.23 ± 0.018	1.27 ± 0.10
松类纯林	0.45	3.18 ± 0.28	0.50	1.59 ± 0.14	0.240	0.38 ± 0.033	1.97 ± 0.17
混交林	0.59	0.66 ± 0.08	0.49	0.33 ± 0.04	0.209	0.07 ± 0.008	0.39 ± 0.04
总计				42.34 ± 4.05		10.65 ± 1.042	53.00 ± 5.10

对岛东林场林木地上活体碳储量的调查得出：该林场林木地上碳储量为42.34万t，其中，木麻黄人工纯林为主要碳库，碳储量达到了37.56万t；其次是桉树纯林(1.82万t)、松树纯林和相思纯林(表5)；由于混交林面积小且处于幼龄阶段，混交林的碳储量最小，仅为0.33万t。林木地下部分的活体碳储量是在活立木碳汇蓄积总量基础上，乘以地下部分与地上部分的碳汇比值计算得出的。林木地下部分的活体碳汇总量为10.65万t。结合岛东林场林木碳汇总量和林场面积，求得林场单位面积森林林木碳汇储量仅为54.35 t/hm²。考虑到沿海沙质地带的土壤类型和全垦机耕的林分作业方式造成林下灌、草和枯死木残体数量较少，在此不计入碳汇蓄

积量统计，得出目前经营条件下岛东林场森林林木碳汇总量约为53.00万t(表5)。

4 结论与讨论

样地清查法作为森林资源调查的传统方法，已经得到普遍应用，同时，该法作为中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测中唯一采用的估算方法，在基于碳汇计量的透明性、可测定性、可核查性及成本有效性上具有明显优势^[11]。本文采用该方法中的平均换算因子法与系统抽样相结合的方法对林场级森林林木的碳储量进行估测，能够从整体上掌握当前该林场森林林木的碳储量信息，不仅为决策者提供科学、可靠的碳计量数据和信息，也为以“固碳增

汇”为目标的多功能林的经营建设提供基础数据。

根据等距抽样的原理和相关的资料,本研究在可靠性95%,精度90%的系统控制下,在海南省岛东林场抽取132个样地并进行系统等距布设,在保证总体精度的前提下也便于基层林业工作者的实际操作和调查数据的快速获取。抽样调查结果显示:同一类型森林林木不同抽样样地间林分蓄积变动较小(林场立地条件、经营管理方式较一致)。当前森林主要采用速生短周期皆伐作业的经营方式,大面积林地被短周期(8~10年)的中幼龄林所覆盖。虽然林木早期生长碳积累速度快,但由于中幼龄阶段林木的生物量转换能力远小于成、过熟阶段,所以该林场单位面积碳储量不高(表4、5)。碳储量的估算结果显示:林场单位面积森林林木碳汇储量仅为54.35 t/hm²,远低于世界平均值161.8 t/hm²,小于我国平均值71.5 t/hm²^[16]。

目前平均转换因子法仅能实现对立木生物量的估测,还不能实现森林中的灌木层、草本层的监测,所以该法仍有待于进一步改善,将森林中的灌木层、草本层及地下生物量等碳库估算方法的研究与之相结合,综合考虑森林碳汇的影响因素,建立完善的参数体系,进一步明确活立木生物量与森林总生物量的关系,以便得到更加精确的估算结果^[11]。

作为水热条件十分优越的热带地区,热带森林的生长和碳汇能力应保持一个较高的水平。本次监测结果显示,该地区森林林木平均碳汇能力低,不利于林场的多功能森林经营建设和发展。为改变目前岛东林场森林生物量和碳储量水平低的现状,实现森林的多功能可持续经营和利用,森林经营管理部门需要改变人工速生树种轮伐作业的经营模式,通过调整经营周期、混交乡土树种来改变当前的森林结构,引导森林向稳定健康、结构复杂、生产力高的阶段发展,最终提升热带人工森林固碳增汇的功能。

参 考 文 献

- [1] MOFFAT A S. Resurgent forests can be greenhouse gas sponges [J]. *Science*, 1997, 277: 315-316.
- [2] 聂道平, 徐德应. 全球碳循环与森林关系的研究问题与进展 [J]. *世界林业研究*, 1997(5): 33-40.
- [3] IPCC. Land-use, land-use change and forestry: A special report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [4] 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.
- [5] 王兵, 杨锋伟, 郭浩, 等. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [6] DETWILER R P, CHARLES A S. Tropical forests and the global carbon budget [J]. *Science*, 1988, 239: 42-47.
- [7] 陶波, 葛全胜, 李克让, 等. 陆地生态系统碳循环研究进展 [J]. *地理研究*, 2001, 20(5): 564-575.
- [8] PHILLIPS O L, MALHI Y, HIGUCHI N, et al. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots [J]. *Science*, 1998, 282: 439-442.
- [9] CIAIS P. Large Northern Hemisphere terrestrial CO₂ sink indicated by the ¹³C/¹²C ratio of atmospheric CO₂ [J]. *Science*, 1995, 269: 1098-1102.
- [10] 刘宪钊. 热带海岸木麻黄人工林近自然经营模式研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [11] 宋新民. 抽样技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [12] 曹吉鑫, 田赞, 王小平, 等. 森林碳汇的顾端方法及发展趋势 [J]. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 2001-2005.
- [13] 李海奎, 雷渊才. 中国森林植被生物量和碳储量评估 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [14] 《省级温室气体清单编制指南》编写组. 省级温室气体清单编制指南: 试行 [M]. 北京: 国家发展与改革委员会, 2011.
- [15] 广东省林业勘测设计院. 林业调查数表 [M]. 广州: 广东省林业勘测设计院, 1981.
- [16] FAO. 2010年森林资源评估主报告 [R/OL]. 罗马: FAO, 2011 [2013-12-20]. <http://www.doc88.com/p-508348220044.html>.

(责任编辑 冯秀兰)