

湖南会同县杉木人工林管理碳汇的核算研究^{*}

李娟¹, 白彦锋¹, 彭阳¹, 姜春前^{1**}, 汪思龙², 孙睿¹, 徐睿¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 中国科学院沈阳生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: [目的] 通过制定森林管理参考水平, 计量并核算森林管理活动的合格净碳汇清除量。 [方法] 采用核证减排标准中农业、林业和其他土地利用项目的自愿碳标准, 选取其中改善森林管理的项目方法学标准, 并结合不可抗力及湖南会同县的杉木人工林林地资源现状, 进行计量和核算湖南会同县杉木人工林的合格碳汇量。该方法学标准包括 4 个碳库, 即地上部分、地下部分、枯死木和木质林产品。 [结果] 对 30 年生和 23 年生杉木人工林进行森林管理活动后, 林分碳储量变化量和碳汇量都有明显增加。森林管理参考水平在考虑皆伐的碳排放后的净碳汇量为 $-82.79 \text{ t CO}_2\text{-eq} \cdot \text{hm}^{-2}$, 30 年生和 23 年生的总碳汇量分别为 441.00 、 $715.46 \text{ t CO}_2\text{-eq}$; 实际合格总碳汇量分别为 606.59 、 $881.06 \text{ t CO}_2\text{-eq}$ 。 [结论] 不同的森林管理采伐强度对 30 年生和 23 年生林分碳汇量的影响差异显著。本文分别基于湖南会同森林生态实验站第 1 代杉木人工林建立参考水平和生态站 2 代杉木人工林制定参考水平核算会同县杉木人工林碳汇量, 结果是基于后者参考水平核算的会同县杉木人工林合格的碳汇量比基于前者参考水平核算的多 $30 \text{ t CO}_2\text{-eq} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

关键词: 碳汇核算; 森林管理; 参考水平; 杉木林

中图分类号: S791.27

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)03-0436-08

Carbon Accounting of Chinese Fir Plantation in Huitong, Hu'nan Province

LI Juan¹, BAI Yan-feng¹, PENG Yang¹, JIANG Chun-qian¹, WANG Si-long², SUN Rui¹, XU Rui¹

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, Liaoning, China)

Abstract: [Objective] By determining the forest management reference level to measure and account the eligible carbon sink. [Method] Using the methodology of Improved Forest Management in Voluntary Carbon Standard for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects (AFOLU-VCS) to account the carbon stock and sink of Huitong of Hu'nan Province. Four carbon stocks in aboveground, underground, dead wood and wood products of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) planted in 1983 and 1990 were estimated, and the force majeure was also taken into consideration. [Result] A comparison on the Chinese fir plantation planted in 1983 and 1990 shows that the carbon stock change and carbon sink significantly increase after forest management activities. The eligible carbon sinks of Chinese fir plantation planted in 1983 and 1990 are $606.59 \text{ t CO}_2\text{-eq}$ and $881.06 \text{ t CO}_2\text{-eq}$, respectively. The effects of forest management intensity on the carbon sink of 30-years-old and 23-years-old stands are significantly different. [Conclusion] Based on the data of first-and second-generation Chinese fir plantation in Huitong Forest Ecological Experiment Station, the reference level to account the carbon sink is established. The result showed the eligible carbon sink of the latter is $30 \text{ t CO}_2\text{-eq} \cdot \text{hm}^{-2}$ higher than that of the former.

收稿日期: 2015-03-16

基金项目: 杉木人工林经营碳汇核算研究(CAFYBB2014MB001)、中国竹制品碳储量研究(CAFYBB2014QA001)和国际森林问题发展态势和中国政府谈判对案研究(CAFYBB2012012)

作者简介: 李娟, 硕士研究生, 主要研究方向: 碳汇计量. E-mail: 2479956224@qq.com

* 特别致谢: 中国科学院沈阳生态研究所汪思龙研究员和会同森林生态实验站的老师们。

** 通讯作者: 姜春前, 中国林业科学研究院林业研究所研究员. 电话: 010-62889093, E-mail: jiangchuq@caf.ac.cn

Keywords: carbon accounting; forest management; reference level; *Cunninghamia lanceolata*

《京都议定书》第3.3条款规定《联合国气候变化框架公约》(简称《公约》,UNFCCC)附件I缔约方可以选择计量1990年以来人为活动(如森林管理,农田管理,放牧地管理及植被恢复森林管理)引起的温室气体源排放或汇清除,其中,森林管理活动包括除造林、再造林和毁林之外的可以引起森林碳储量变化的一切活动,并可以用于抵消其承诺期的温室气体减排指标^[1]。《公约》中森林管理定义:“森林管理”是一个林地利用和作业系统,其目的是可持续地实现森林相关的生态(包括生物多样性)、经济和社会功能^[2]。1997年联合国粮食与农业组织(FAO)在森林信息记录中,规范了森林可持续管理的定义和指南,指出森林管理包括影响天然林和人工林的一系列管理的、经济的、法律的、社会的、技术的和科学的行为^[3]。森林管理意指规划并实施森林管理计划,能够帮助控制和调节专有物种的收获和可持续利用,或者提高并维持森林的环境功能。

森林管理参考水平是计量森林碳汇的基准,也是评价森林管理活动碳汇效益的前提条件,涉及的因素包括:人为活动源排放、报告要求、所有森林管理的关键活动、一致性和包含的所有碳汇源^[4]。森林参考水平建议考虑以下5个碳库,包括地上生物量、地下生物量、枯落物、死有机物以及土壤。我国对生物量最早的研究是针对湖南会同杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林的估算^[5],之后冯宗炜等^[6]、田大伦等^[7]也对湖南会同的杉木林进行了相关的研究报道。

近几年,国内外对森林管理活动产生的碳汇量进行了大量的研究,赵坤等^[8]基于会同杉木人工林生态站,计算了31年生湖南省杉木的生物量,碳(C)储量达 $186.973 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。张骏等^[9]对浙江省杉木优势林和混交林的生物量和碳储量进行了比较分析,杉木优势林在前10年的生物量达 $47 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,生物量随林龄的增加而减少,而杉木混交林生物量随林龄的增加而增多。Wang等^[10]用FORECAST软件对中国东南部不同种植密度的楠木林进行不同轮伐期和采伐强度的森林管理活动,认为能够固定最大碳储量的最适林分密度是 $2\ 000 \sim 3\ 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。尽管推荐的能够固定最大碳汇量的轮伐期是40年,但是较长的轮伐期比短轮伐期固

定的碳量多。同时,只采伐干材比全树采伐和完全采伐能更好的维持立地质量,且能固定更多的碳储量,其中,轮伐期对森林碳汇的影响远比种植密度和采伐强度大。

国际上对于森林管理活动产生的碳汇量主要是以现在的森林管理活动为基线,通过延长其轮伐期来预测未来森林的碳动态。Nunery等^[11]通过增加一半轮伐期的方式表明,在160年中可以增加23%的二氧化碳当量。Seely等^[12]研究表明,如果将轮伐期延长到原来的3倍,则该林分可以增加固定81%的二氧化碳当量。Plat等^[13]基于1990—2000年的东南亚 $230 \text{ 万} \text{ hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 树木被采伐的情景,研究该情景下最适合的森林管理活动,包括3种管理措施:延续当前的采伐速率和强度,采取长期有经济收益和对气候变化有益的管理手段,其结果表明:(1)基线情景下,2000—2050年天然林碳储量从 8.9 Pg C 下降到 4.3 Pg C ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$),相当于每年下降 92.0 Tg C ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$),即使每年商品林的碳储量增加 13.3 Tg C ,但总量仍然下降 77.9 Tg C ;(2)在长期经济收益的管理情景下,只有人工林的碳储量增加;(3)在对气候有益的管理情景下,碳储量从2000年的 8.9 Pg 增加到2050年的 9.8 Pg ,每年增加 18.0 Tg 。

本研究以1983年(30年生)和1990年(23年生)营造的杉木纯林作为研究对象,探索性的制定森林管理参考水平,核算会同生态站的杉木人工林森林管理活动产生的合格碳汇量以及估算湖南省怀化市会同县杉木人工林的森林管理活动所产生的合格碳汇量。

1 研究地点概况

湖南会同森林生态系统国家野外科学观测研究站(隶属中国科学院沈阳应用生态研究所)建于1960年,位于湖南省西南部的会同县广坪林区($26^{\circ}45' \text{N}$, $109^{\circ}30' \text{E}$)。林场面积为 100 hm^2 ,主要为常绿阔叶人工纯林及混交林。气候温暖湿润,海拔一般在 $300 \sim 1\ 100 \text{ m}$,年平均气温 16.5°C ,年降水量为 $1\ 200 \sim 1\ 400 \text{ mm}$,但降水量在年内分配不均匀,年蒸发量 $1\ 100 \sim 1\ 300 \text{ mm}$,全年无霜期长达303 d。土壤为山地丘陵红黄壤,地带性植被类型为典型的亚热带常绿阔叶林,自然植被主要以多种栲(*Cas-*

tanopsis fargesii Franch.) 和石栎 (*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai) 为主,而多年来不断增长的人类活动,多以杉木人工林和以马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 为主的针阔混交林,或以白栎 (*Quercus fabri* Hance)、枫香 (*Liquidambar formosana* Hance) 为主的次生落叶阔叶混交林。

会同县位于湖南省西南隅,怀化市南部,土地总面积 224 446.0 hm^2 ,辖 7 镇 18 乡,总人口 35.4 万人,其中,汉族人口占总人口的 34.9%,侗族、苗族、土家族、回族等 10 余个少数民族占总人口的 65.1%。据怀化市森林资源统计,会同县林地总面积 170 146.6 hm^2 ,占国土总面积的 75.81%。森林面积 144 725.9 hm^2 ,占林地面积的 85.01%,森林覆盖率为 72.14%,森林蓄积量为 678 万 m^3 ,其中,杉木林的面积占有林地面积的 34.31%,而蓄积量占森林总蓄积的 66.48%。

2 研究方法

2.1 研究对象及数据来源

以林场中 1983 年(30 年生)、1990 年(23 年生)营造的杉木林以及第 1 代杉木林作为研究对象。30 年生杉木人工纯林初植密度为 2 490 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,在 1998 年进行了 1 次间伐,间伐强度为 1 455 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$;23 年生的杉木人工纯林初植密度为 2 400 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,在 2003 年和 2007 年进行了 2 次不同强度的间伐,间伐强度分别为 390、300 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

本数据来源于会同森林生态实验站 1983 年(30 年生)和 1990 年(23 年生)营造的杉木人工林和第 1 代杉木人工林生长过程中胸径和树高(数据为每个林分样地中每木检尺的平均数),采用陈楚莹等^[14]已建立的会同站杉木人工林生物量模型计算生物量。会同县林业局的数据包括 2004 年至 2013 年的杉木林面积和蓄积量,其中,会同县杉木林 2010 年的面积和蓄积量数据只有总数,缺少按照林龄划分的各个龄级的具体数据。

2.2 研究方法

采用核证减排标准中,自愿碳市场推荐的碳补偿标准——农业、林业和其他土地利用项目的自愿碳标准(AFOLU-VCS),选取其中的改善森林管理(IFM)项目方法学标准^[15]进行计量和核算。通过生物量方程以及胸径和树高计量出基线情景和项目情景下的林木碳储量变化量,并结合研究样地的采伐、火灾以及出材量的数据,计量并核算出会同森林

生态站杉木人工林的碳储量变化量和森林管理活动下合格的碳汇量。

基线情景即建立参考水平的具体指标,包括森林管理活动下温室气体的排放和转移、森林管理的面积、森林的增长量、林龄结构、轮伐期等,以及森林管理历史状况与未来的规划和不可抗力的影响。

以第 1 代杉木人工林的数据以及林木的基本情况制定参考水平,以 30 年生和 23 年生杉木人工林作为项目计量的林分,分别计算出 30 年生和 23 年生杉木人工林在不同强度的森林管理活动下引起的碳储量变化量和合格碳汇量,并比较二者的差异。在此基础上分别基于湖南会同森林生态实验站第 1 代杉木人工林建立的参考水平和直接利用生态站第 2 代杉木人工林制定的参考水平来核算会同县杉木人工林的森林合格碳汇量。

2.2.1 碳储量变化量 根据核证减排标准(VCS)中改善森林管理(IFM)的方法学标准^[9],计量森林碳储量变化量的公式为:

$$\Delta C_p = \sum_{t=1}^l \Delta C_t \times \frac{44}{12}$$

式中: ΔC_p ——在项目情景中的地上生物量、地下生物量、枯死木和木质林产品的总变化量(t 二氧化碳当量($\text{tCO}_2\text{-eq}$)); ΔC_t ——从第 1 年到 t 年所选碳库每年的碳储量变化量($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$);t——项目年限;44/12—— CO_2 和 C 的分子量之比($\text{t} \cdot \text{t}^{-1}$)。

2.2.2 碳汇量 根据核证减排标准(VCS)中改善森林管理(IFM)的方法学标准^[9],计量森林碳汇量的公式为(1)~(3)式。

(1)净温室气体汇清除公式:

$$\Delta C_{IFM} = \Delta C_{ACTUAL} - \Delta C_{BSL} \quad (1)$$

式中: ΔC_{IFM} ——净人为温室气体汇清除量(t 二氧化碳当量); ΔC_{ACTUAL} ——项目情景下的净碳汇量(t 二氧化碳当量); ΔC_{BSL} ——基线情景下的净碳汇量(t 二氧化碳当量)。

(2)参考水平即基线情景下的净碳汇量:

$$\Delta C_{BSL} = \Delta C_{BSL,P} - GHG_{BSL,E} \quad (2)$$

式中: $\Delta C_{BSL,P}$ ——基线情景中所有碳库,包括:林木(地上部分和地下部分)、枯死木(可忽略)、木质林产品的碳储量变化量(t 二氧化碳当量); $GHG_{BSL,E}$ ——基线情景下在项目区域中的温室气体排放量(t 二氧化碳当量)。

(3)项目情景中的净碳汇量:

$$\Delta C_{ACTUAL} = \Delta C_p - GHG_E \quad (3)$$

式中: ΔC_p ——项目情境中所有碳库,包括:林木(地上部分和地下部分)、枯死木(可忽略)、木质林产品的碳储量变化量(t 二氧化碳当量); GHC_E ——在项目区域森林管理活动引起的温室气体排放量(t 二氧化碳当量)。

2.3 数据处理

研究数据均使用 Excel 2013 进行处理,采用 SPSS 18.0 的 ANOVA 和 Duncan 进行数据的方差分析以及差异性检验,并使用 Sigma Plot 10.0 进行绘图。

3 结果与分析

3.1 30 年生和 23 年生 2 种杉木林分碳储量变化量

图 1 显示:30 年生的杉木人工林于 1998 年即 15 年生时进行了强度为 $1\ 455\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的森林管理采伐,导致在该年出现了碳储量变化量的最小值 $-3.76\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$,在 3 年后碳储量变化量恢复到伐前状态,于 4~5 年后出现大幅度增长,在 22 年生时出现了增长缓慢的情况,之后的增长趋于平缓增加。30 年生林分的碳储量变化量最大值为 $20.01\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

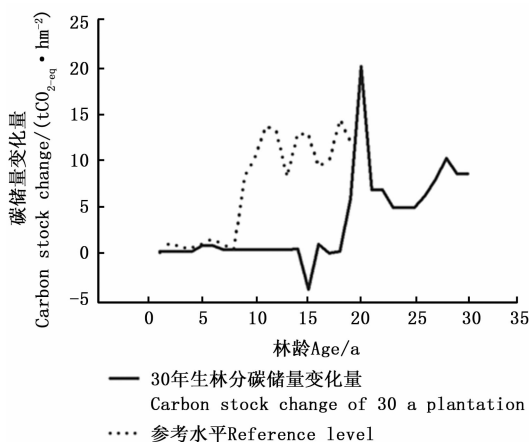


图 1 30 年生杉木林分的碳储量变化量与参考水平的比较
Fig.1 The comparison between carbon stock change and baseline for 30 a plantation

图 2 显示:23 年生的杉木人工林,在 11 年生时碳储量变化量最大,并于 17 年生和 18 年生时出现最小值,主要是因为 2007 年进行了森林管理采伐,2 年后碳储量变化量恢复到伐前值,最大值为 $28.33\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3.2 不同年龄杉木人工林的碳汇量

3.2.1 30 年生林分和 23 年生林分的碳汇量 图 3 表示:30 年生杉木人工林在其生长到 20 年生时碳

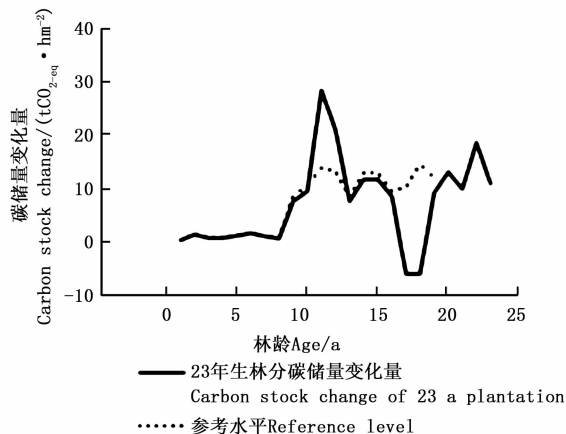


图 2 23 年生杉木林分碳储量变化量与参考水平的比较
Fig.2 The comparison between carbon stock change and baseline for 23a plantation

汇量达最大值 $75.97\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$,参考水平的最大值为 $22.88\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。由于参考水平的林分没有实施森林管理活动,且在 20 年生时进行皆伐,因此参考水平的总碳汇量比 30 年生杉木人工林的总碳汇量小,30 年生林分的总碳汇量为 $441.00\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$,参考水平在考虑了皆伐的碳排放后的净碳汇量为 $-82.79\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

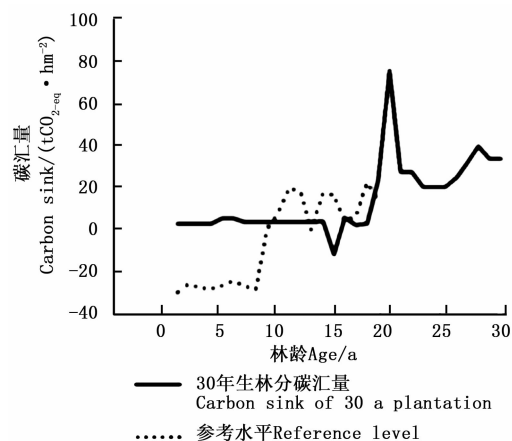


图 3 30 年生的杉木林分与参考水平的碳汇量比较
Fig.3 The comparison between carbon sink and baseline for 30 a plantation

图 4 表示:23 年生杉木人工林连年碳汇变化量与参考水平的差异比较明显,只在 17 和 18 年生时低于参考水平,主要因为 2007 年对 23 年生杉木人工林进行了森林管理采伐,并在采伐 2 年后即恢复到伐前值。23 年生杉木人工林的总碳汇量为 $715.46\ t$ 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

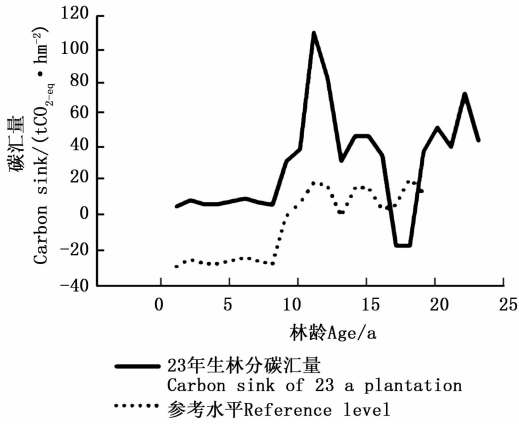


图4 23年生杉木林分和参考水平的碳汇量比较

Fig. 4 The comparison between carbon sink and baseline for 23 a plantation

图5表示:30年生杉木人工林和23年生杉木人工林碳汇量分别与参考水平相减得到各自的实际合格的碳汇量。23年生杉木人工林的变化幅度较30年生的杉木人工林的小,30年生杉木人工林和23年生杉木人工林的实际合格总碳汇量分别为606.59、881.06 t二氧化碳当量·hm⁻²,而30年生的杉木人工林和23年生杉木人工林均在20年生时出现了碳汇量最大值,分别为158.77、135.88 t二氧化碳当量·hm⁻²。

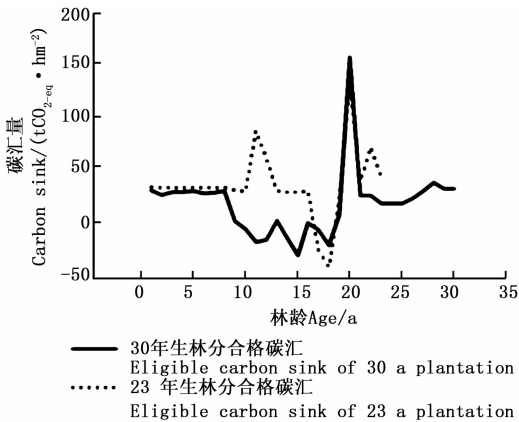


图5 30年生和23年生杉木林分的合格碳汇量的比较

Fig. 5 The comparison of eligible carbon sink of different age plantation

3.2.2 差异性检验 表1、2均表明:30年生杉木人工林和23年生杉木人工林的碳汇量与参考水平的差异均极显著($P < 0.001$)。表3显示:30年生杉木人工林和23年生杉木人工林的实际合格碳汇量差异均显著($P < 0.05$)。根据表1、2的检验结果可知:进行森林管理之后的林分碳汇量与未进行森林

管理的差异显著,因此,在林分生长的过程中应该对其实施森林管理活动。结合表3的检验结果可知:实施森林管理活动时应结合林分的林龄、立地、生长情况、季节等以及该森林生态系统主要的功能来确定对林分进行森林管理的时间、形式以及管理强度等,以便实施合理的森林管理活动。

表1 30年生杉木人工林的碳汇量与参考水平差异性检验

Table 1 Carbon sink and reference level diversity test of 30 years old Chinese fir plantation

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	显著性 Sig.
组间 Between	4 224.901	1	4 224.901	12.23	0.001
组内 Within	16 236.901	47	345.466		
总数 Total	20 461.802	48			

表2 23年生杉木人工林的碳汇量与参考水平差异性检验

Table 2 Carbon sink and reference level diversity test of 23 years old Chinese fir plantation

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	显著性 Sig.
组间 Between	9 002.105	1	9 002.105	12.753	0.001
组内 Within	25 411.421	36	705.873		
总数 Total	34 413.526	37			

表3 30年生和23年生杉木人工林的实际合格碳汇量

Table 3 Eligible carbon sink of 30 years old and 23 years old Chinese fir plantation

变异来源 Source	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	显著性 Sig.
组间 Between	4 939.457	1	4 939.457	4.901	0.031
组内 Within	51 403.327	51	1 007.908		
总数 Total	56 342.784	52			

3.3 会同县杉木人工林的碳汇量

湖南省会同县林业局提供的有关森林采伐和不可抗力的数据,没有细分到每个树种和林分的采伐情况以及不可抗力(火灾、病虫害、暴雪等)造成的损失,因此,在会同县杉木人工林碳汇的计量和核算

中没有考虑木质林产品和不可抗力对湖南会同县杉木人工林碳汇的影响。

核算合格的碳汇量首先要制定一个参考水平。本研究制定2种不同的森林管理参考水平:第1种是基于湖南会同森林生态实验站第1代杉木人工林建立的参考水平,同样去掉森林采伐中木质林产品(参考水平中无不可抗力)对林分碳汇量的影响部分,建立新的参考水平。由于参考水平是在同龄林的数据基础上建立的,而核算的湖南会同县2008年

至2013年杉木人工林的实际合格碳汇量,包含所有的林龄组的林木,因此,采用参考水平每公顷历年碳汇量变化量的平均值 25.56 t 二氧化碳当量来进行会同县杉木人工林合格碳汇量的核算。表4为1992、2004—2013年基于第1种森林管理参考水平核算的合格的单位面积碳汇量,2008年湖南会同县杉木人工林的单位面积碳汇量较2007年的小,之后呈逐年增加趋势,且总体是2013年的最大。第2种是利用生态站2代杉木人工林制定的参考水平。

表4 基于第1种参考水平核算的湖南省会同县单位面积碳汇量

Table 4 Carbon sink of Chinese fir in Huitong based on the first reference level

指标 Index	年份 year											
	1992	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
碳汇量 Carbon sink/ ($\text{tCO}_2\text{-eq} \cdot \text{hm}^{-2}$)	6.60	9.73	10.36	11.27	16.84	13.13	15.77	19.02	22.54	23.70	27.35	

图6表示:在第1种森林管理参考水平下,1992年、2004—2013年湖南会同杉木人工林的总碳汇量的变化趋势与单位面积碳汇量的变化趋势相同。2008年的碳汇量较2007年约少 $2.12 \times 10^5 \text{ t}$ 二氧化碳当量,除了大面积采伐外,主要是由于2008年的冰雪自然灾害造成森林面积和蓄积量的损耗,导致森林碳汇量下降,其中,2013年的碳汇量最大,为 $1.36 \times 10^6 \text{ t}$ 二氧化碳当量。

在第2种参考水平下,由于参考水平是同龄林,因此,采用参考水平历年来的每公顷碳储量变化的平均值 -4.36 t 二氧化碳当量,作为湖南会同县的参考值,进行湖南会同县杉木人工林合格碳汇量的核算。表5是1992年、2004—2013年在第2种森林管理参考水平下核算的湖南省会同县杉木人工林的合格碳汇量。第2种参考水平下核算的合格碳汇量均比第1种参考水平下核算的每公顷约多 30 t 二氧化碳当量 $\cdot \text{hm}^{-2}$,与第1种参考水平下的情

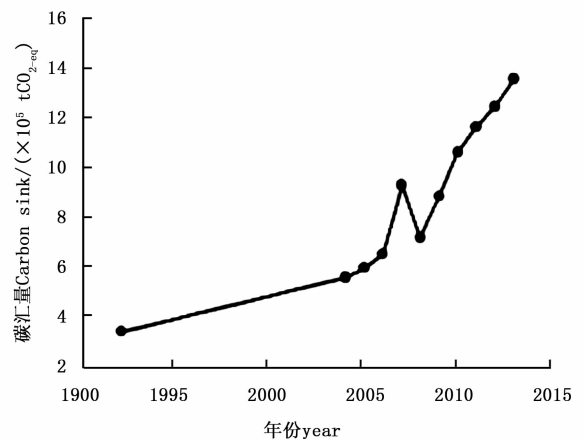


图6 第1种森林管理参考水平下湖南省会同县杉木人工林的合格碳汇量

Fig. 6 Eligible carbon sink of Chinese fir in Huitong based on the first reference level

况相同,也在2008年出现碳汇量的降低,之后又逐年增加。

表5 基于第2种参考水平核算的湖南省会同县单位面积的碳汇量

Table 45 Carbon sink of Chinese fir in Huitong based on the second reference level

指标 Index	年份 year											
	1992	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
碳汇量 Carbon sink/ ($\text{tCO}_2\text{-eq} \cdot \text{hm}^{-2}$)	36.52	39.65	40.28	41.19	46.76	43.05	45.69	48.94	52.46	53.63	57.27	

图7是在第2种参考水平的核算情况下,湖南省会同县杉木人工林的合格碳汇量。这种变化趋势与第1种参考水平的核算情况相同,整体呈增加趋势,但除2008年出现降低之外(2008年较2007年减

少了 $2.25 \times 10^5 \text{ t}$ 二氧化碳当量),在2011年也出现了降低,比2010年减少了 $2.39 \times 10^4 \text{ t}$ 二氧化碳当量,较2008年的降低幅度小,而2013年的碳汇量最多,为 $2.84 \times 10^6 \text{ t}$ 二氧化碳当量。

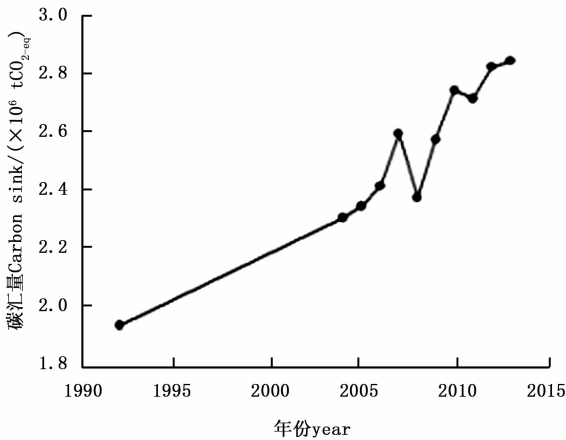


图7 第2种森林管理参考水平下湖南省会同县杉木人工林的合格碳汇量

Fig. 7 Eligible carbon sink of Chinese fir in Huitong based on the second reference level

4 讨论

目前大多数的研究都是将核算出的碳储量或者碳汇量直接作为合格的碳汇量进行碳汇估价,但是根据《京都议定书》3.4条款的规定,可以选择计量的森林管理活动产生的碳汇量,必须是人为活动引起的。因此,在计量和核算合格的森林管理活动产生的碳汇量时,必须首先制定森林管理活动参考水平,在进行核算时与参考水平相减,并且要考虑木质林产品和不可抗力的影响,才能得到合格的森林管理碳汇量。本研究参考水平的制定,基于1代杉木人工林的数据,1代杉木人工林是已皆伐的森林,因此,在核算碳汇量时应加上木质林产品产生的碳汇量,参考水平碳汇量的核算结果为负值。

由碳储量变化量和碳汇量曲线可知,森林碳汇量的变化趋势与森林碳储量变化量的变化趋势基本相同。由23年生杉木人工林的碳储量变化量和碳汇量变化曲线可知,杉木人工林有2个速生期,约出现在13年生和20年生左右。

23年生杉木人工林在2003年和2007年分别进行了森林管理采伐,但从核算结果看,2003年的春季采伐并没有对23年生杉木人工林的碳储量变化量和碳汇量产生很大影响,主要是因为23年生杉木人工林春季的采伐强度(390株·hm⁻²)比30年生杉木人工林的高强度采伐小,且采伐后杉木人工林处在速生期阶段,采伐后生长1年的碳储量变化量和碳汇量与30年生的结果相比,没有明显的波动。

本研究仅是基于30年生杉木人工林和23年生杉木人工林的3个间伐强度核算其碳汇量,数据较少。因此,尽管在不同的采伐强度下,2个林分的碳汇量的差异显著,但还不能确定究竟哪种采伐强度是杉木人工林最大碳汇量的最优间伐强度,这需要进一步的研究来证明。

森林管理采伐能够增加林分的碳汇量,但有研究表明,不同强度的间伐,随着林龄的增加,对出材量的影响不显著^[16-17]。森林的价值表现在经济、生态、社会、研究方法等多方面,应该根据具体需求,在可持续发展的前提下,追求森林价值的最大化。

5 结论

本研究以湖南会同生态实验站杉木人工林为研究对象,探索性的制定符合我国森林情况的森林管理参考水平,给出了制定森林管理参考水平的公式和方法,以便在其他地区进行研究时,直接运用该思路进行森林管理参考水平的制定。

湖南省会同县的碳汇量核算,在参考水平的制定中,存在一定的误差,相比整个会同县,生态站研究范围有限,不能够代表整个会同县的杉木人工林情况,而且会同县缺少有关森林采伐和不可抗力的详细数据。因此,基于生态站建立的参考水平并不能完全适用于湖南会同县杉木人工林的碳汇核算。此外,由于受研究目标的影响,对会同站的杉木人工林设置的环境和人为干扰因素与整个会同县的不同,所以即使是相同林龄、相同树种的林分,在生态站中的生长情况很可能与会同县其他地区的生长情况有差异。因此,在建立县级森林管理参考水平时,不能仅仅考虑生态站的影响,也应该考虑县级水平或更高水平的影响因素。

参考文献:

- [1] UNFCCC. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change [R/OL]. 1998 [2015-02-15]. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [2] UNFCCC. Decision 11/CP.7: Land use change and forestry [C]// Report of the conference of the parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001, Addendum: Part two: Action taken by the conference of the parties, Volume I. FC-CC/CP/2001/13/Add.1 [R], 2001, 54-63
- [3] Armitage I. Guidelines for the management of tropical forests. I The production of wood [J]. FAO Forestry Paper, 1998, 39(3): 661-661
- [4] UNFCCC. Report on the expert meeting on forest reference emission

- levels and forest reference levels for implementation of REDD-plus activities. FCCC/SBSTA/2011/INF.18[R]. 2011.
- [5] 潘维俦,李利村,高正衡. 两个不同地域类型杉木林的生物产量和营养元素分布[J]. 湖南林业科技,1980(2):1-10.
- [6] 冯宗炜,陈楚莹,张家武. 湖南会同地区马尾松林生物量的测定[J]. 林业科学,1982,18(2):127-134.
- [7] 田大伦,方晰,项文化. 湖南会同杉木人工林生态系统碳素密度[J]. 生态学报,2004,24(11):2382-2386.
- [8] 赵坤,田大伦. 会同杉木人工林成熟阶段生物量的研究[J]. 中南林学院学报,2000,20(1):7-13.
- [9] 张骏,葛滢,江波,等. 浙江省杉木生态公益林碳储量效益分析[J]. 林业科学,2010,46(6):22-26.
- [10] Wang W, Wei X, Liao W, *et al.* Evaluation of the effects of forest management strategies on carbon sequestration in evergreen broad-leaved (*Phoebe Bournei*) plantation forests using FORECAST ecosystem model[J]. Forest Ecology & Management, 2013, 300(4): 21-32.
- [11] Nunery J S, Keeton W S. Forest carbon storage in the northeastern United States: net effects of harvesting frequency, post-harvest retention, and wood products[J]. Forest Ecology & Management, 2010, 259(8):1363-1375.
- [12] Seely B, Welham C, Kimmins H. Carbon sequestration in a boreal forest ecosystem: results from the ecosystem simulation model, FORECAST[J]. Forest Ecology & Management, 2002, 169(1-2):123-135.
- [13] Phat N K, Knorr W, Kim S. Appropriate measures for conservation of terrestrial carbon stocks—Analysis of trends of forest management in Southeast Asia[J]. Forest Ecology & Management, 2004, 191(1-3):283-299.
- [14] 陈楚莹,廖利平,汪思龙,等. 杉木人工林生态学[M]. 北京:科学出版社,2000:127.
- [15] Ecotrust. Approved VCS methodology VM003. Methodology for IFM through Extension of Rotation Age. (Version1.2)[R], Portland,2013
- [16] 张水松,陈长发,吴克选,等. 杉木林间伐强度材种出材量和经济效果的研究[J]. 林业科学,2006,42(7):37-46.
- [17] 徐金良,毛玉明,郑成忠,等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J]. 林业科学研究,2014,27(1):99-107.

(责任编辑:詹春梅)