

基于红外气相色谱监测的新增林地区域碳汇储量变化评估方法研究

白 颢^{1,2*}, 沈 扬¹, 邹辉晖¹, 李雄威^{3*}, 王泽玮²

¹杭州万林数链科技服务有限公司, 浙江 杭州

²金景(海南)科技发展有限公司, 海南 海口

³常州工程职业技术学院, 江苏 常州

收稿日期: 2023年1月17日; 录用日期: 2023年2月17日; 发布日期: 2023年2月27日

摘 要

森林资源作为全球陆地生态系统的主体, 是陆地表面最大的碳库, 承担着全球温室气体调节和碳平衡的重要作用。森林通过同化作用吸收固定大气中的CO₂, 抑制其浓度上升的功能对于应对气候变化问题具有积极的现实意义。准确地估算林地区域尤其是新增林地的碳汇储量, 对平衡区域碳收支及促进林业碳汇发展具有积极的现实意义。目前的碳储量监测方法主要基于地基观测、卫星遥感及大气碳循环模拟方法的等, 单一观测方法均存在一定的局限性, 现在越来越向“空天地”一体化相结合的方向发展, 以获得更准确的森林碳汇储量评估值。针对新增林地面积, 其对整体碳环境的宏观影响还相对较小, 更多的则采用站点观测的方法进行其碳汇储量评估。本文着重介绍了基于红外气相色谱监测的方式进行新增林地面积的碳汇储量评估方法。

关键词

新增林地, 碳汇, 评估方法, 碳浓度监测, 红外气相色谱

Research on the Assessment Method of Carbon Sink Storage Change in Newly Added Forest Land Based on Infrared Gas Chromatography Monitoring

Hao Bai^{1,2*}, Yang Shen¹, Huihui Zou¹, Xiongwei Li^{3*}, Zewei Wang²

¹Hangzhou Wanlinshulian Technical Service Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²Brisight (Hainan) Technology and Development Co., Ltd., Haikou Hainan

*通讯作者。

文章引用: 白颢, 沈阳, 邹辉晖, 李雄威, 王泽玮. 基于红外气相色谱监测的新增林地区域碳汇储量变化评估方法研究[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(1): 119-125. DOI: 10.12677/aep.2023.131014

Abstract

As the main body of the global terrestrial ecosystem, forest resources are the largest carbon pool on the land surface and play an important role in global greenhouse gas regulation and carbon balance. The function of forests to absorb and fix CO₂ in the atmosphere through assimilation and inhibit the increase of its concentration has positive practical significance for coping with climate change. Accurately estimating the carbon storage of forest areas, especially newly-increased forest land, has positive and practical significance for balancing regional carbon budgets and promoting the development of forestry carbon sinks. The current carbon storage monitoring methods are mainly based on ground-based observations, satellite remote sensing, and atmospheric carbon cycle simulation methods. All single observation methods have certain limitations, and now the direction of the integration of multi-methods to obtain more accurate assessment values of forest carbon storage is widely accepted. For the newly-increased forest land area, its macroscopic impact on the overall carbon environment is relatively small; the method of site observation to evaluate their carbon storage is normally used herein. This paper focuses on the method of assessing the carbon storage of new forest land based on infrared gas chromatography monitoring.

Keywords

Newly-Increased Forest, Carbon Sink, Estimation Methods, Carbon Concentration Monitoring, Infrared Gas Chromatography

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

森林植被在其生长过程中可以将空气中的 CO₂ 通过同化作用以生物量的形式固定在生物量及土壤中，森林从而成为全球陆地生态系统的主体，是最重要的碳库，起到了温室气体调节与碳平衡的重要作用。有研究表明，全球的森林面积只占陆地土地面积的 27.6%，但森林植被碳贮量却占全球植被碳储量的 77%，森林土壤的碳储量占全球土壤碳储量的 39% [1]。

目前对碳储量观测的方式主要有三种：1) 基于站点特别是碳通量塔的碳浓度观测[2] [3] [4] [5]；2) 基于卫星遥感平台的碳浓度观测[6] [7]；3) 基于大气碳循环模型的碳浓度模拟[8] [9]。基于地面定位观测的方式，可提供监测站点长时间序列、高精度、连续碳浓度观测数据，能够揭示碳浓度的年变化和季节变化趋势，对揭示碳浓度时空变化规律、大陆尺度源汇信息等提供了大量基础数据资料，但实际实施时对监测站点的密度要求高，投入成本高，不能大范围的同步观测，而基于卫星遥感平台正好弥补了这一缺点，卫星观测可以获得温室气体连续空间分布和变化，是监测温室气体分布的有效方法，观测资料具有稳定、长时间序列、广空间区域、空间三维监测的优点，帮助理解温室气体的源与汇以及大气、植被和土壤之间的碳循环过程。大气碳循环模型的碳浓度模拟不能准确反映中小尺度区域空间的碳储量变化，其结果会存在较大的误差，导致林业资产的可计量碳库检测评估数据准确性一般且不够全面，同时现有的基于卫星遥感平

台的碳浓度观测对评估边界内外所产生的温室气体排放量没有很好的计算评估方案。介于以上单一方法存在的部分碳储量监测缺陷,“空天地”一体化多方法结合的森林碳储量监测方式得到了越来越多的应用[10]。

随着全球对有效控制 CO₂ 排放及增强 CO₂ 吸收达成共识,增加陆地表面的森林覆盖率也成为增加碳汇储量的最重要措施之一。同时,科学准确地评估森林碳汇储量也成为目前行业研究的热点,特别是针对不同林种及区域提出了相应的评估方法[1] [11] [12] [13] [14] [15]。本文着重针对新增林地面积的碳汇储量变化值评估问题,采用基于红外气相色谱监测的方法进行完整分析。

2. 评估方法

2.1. 评估方法构建

本文重点讨论了一种基于红外气相色谱监测的林业资产碳汇储量评估方法,可便捷地对新增林地的木体进行检测,通过计算获得林木碳储量以及碳储量变化值,以及计算评估边界内外所产生的温室气体排放量。基于红外气相色谱监测的林业资产碳汇储量评估方法提高了林业资产碳储量数据来源的全面性和评估数据的准确性,提高了最终评估林地范围内净碳汇量数据的准确率。具体评估步骤概括为 6 个步骤,分别介绍如下,并在图 1 中显示。

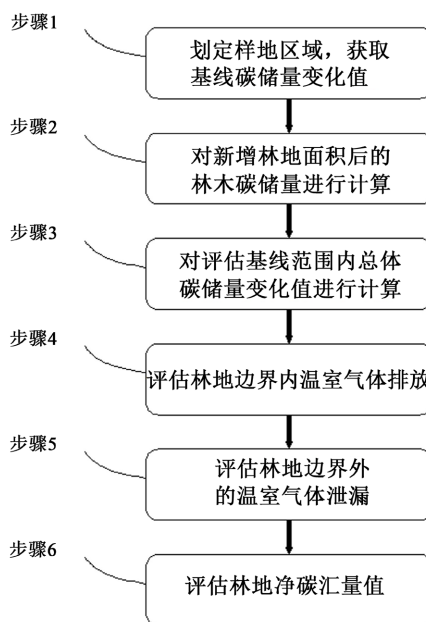


Figure 1. Diagram of the carbon sink estimation methods for newly-increased forest land

图 1. 新增林地碳汇储量评估方法步骤图

步骤 1: 划定样地区域, 获取基线碳储量变化值;

步骤 2: 对新增林地面积后的林木碳储量进行计算, 计算出评估范围内新增林地的碳储量变化值;

步骤 3: 构建评估基线范围内总体碳储量变化值计算模型, 通过计算得出评估基线范围内总体碳储量变化值;

步骤 4: 构建林地评估边界内温室气体排放的增加量计算模型, 评估林地边界内温室气体排放并得到林地评估边界内温室气体排放的增加量;

步骤 5: 构建林地边界外活动温室气体泄露量计算模型, 通过计算得出林地评估边界外活动引起的温室气体泄露量;

步骤 6: 评估林地净碳汇量值, 通过对步骤 3 中评估基线范围内碳储量变化值、步骤 4 中林地评估边界内温室气体排放的增加量和步骤 5 中林地评估边界外活动引起的温室气体泄露量的计算, 得到林地净碳汇量值。

2.2. 新增林地碳汇量评估方法

2.2.1. 新增林地范围内地上与地下生物碳储量计算

基于上述评估方法的建立, 在评估范围基线确定后, 对新增林地面积的林木碳储量进行计算。依据样地区域林木单株的检尺结果, 包括林木单株的木龄和胸径, 通过林木单株地上部分生物碳储量方程[14] (公式(1))得到林木单株地上部分生物碳储量, 进而折算获得相应的地下生物碳储量。

$$M = 747.7870D^{2.771} \left[0.0148A / (0.0280 + A)^{5.555} + 3.7720 \right] \quad (1)$$

其中, M 为生物量, D 为胸径, A 为林龄。

将地上部分生物平均含碳率设为 0.504, 地下部分生物平均含碳率设为 0.496, 同时地上部分生物量与地下部分生物量之比设为 0.32, 以及地下部分碳储量 = 地下部分生物量 * 地上部分生物平均含碳率。

2.2.2. 基线范围内总体碳储量变化值评估

在新增林地面积的碳储量评估基线范围内, 进一步估算不同碳层在研究时间内的生物量变化情况, 通过公式(2)可以计算得出所述评估基线范围内总体碳储量变化值[13]。

$$\Delta C_{PROJ,t} = \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (\Delta C_{PROJ,BB_{ijk,t}} + \Delta C_{PROJ,BB_{ijk,t}}) - \sum_{i=1}^I (\Delta C_{LOSS,AB_{i,t}} + \Delta C_{LOSS,BB_{i,t}}) \right] \times 44/12 \quad (2)$$

其中, 公式(2)中:

$\Delta C_{PROJ,t}$ 为评估基线区域内碳储量变化量;

$\Delta C_{PROJ,BB_{ijk,t}}$ 为地上生物量碳储量的变化量;

$\Delta C_{PROJ,BB_{ijk,t}}$ 为地下生物量碳储量的变化量;

$\Delta C_{LOSS,AB_{i,t}}$ 为各基线碳层地上生物量碳储量的降低量;

$\Delta C_{LOSS,BB_{i,t}}$ 为各基线碳层地下生物量碳储量的降低量;

t 为时间; i 为碳层, $i=1, \dots, 5$; j 为树种数; k 为林分年龄。

2.2.3. 边界内温室气体排放增加量计算模型构建

接下来, 构建林地评估边界内温室气体排放的增加量计算模型, 具体为计算评估边界内植树用燃油机械使用化石燃料燃烧引起的温室气体排放的增加量和评估边界内施用含氮肥料引起的 N_2O 排放的增加量, 通过公式(3)计算得到所述林地评估边界内温室气体排放的增加量[13], 公式(3)如下:

$$CHG_{E,t} = E_{Equipment,t} + E_{N_Fertilizer,t} \quad (3)$$

其中, 公式(3)中:

$CHG_{E,t}$ 为第 t 年林地评估边界内温室气体排放的增加量;

$E_{Equipment,t}$ 为第 t 年林地评估边界内燃油机械使用化石燃料燃烧引起的温室气体排放的增加量;

$E_{N_Fertilizer,t}$ 为第 t 年评估边界内施用含氮肥料引起的 N_2O 排放的增加量;

t 为时间。

2.3.4. 边界外活动温室气体泄露量计算模型构建

继续构建林地边界外活动温室气体泄露量计算模型, 具体为通过计算研究时间内造林机械燃油的消耗量, 而获得林地边界外的温室气体的泄漏量, 将所述林地边界外的温室气体的泄漏量定义为林地评估

边界外活动引起的温室气体泄露量,通过公式(4)计算得出所述计算研究时间内燃油的消耗量[13],公式(4)如下:

$$FC_t = \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^I n \cdot (MT_{v,i,t} / TL_{v,i}) \cdot AD_{v,i} \cdot SECK_v \quad (4)$$

公式(4)中:

- FC_t 为第 t 年燃油的消耗量;
- n 为车辆回程装载因子;
- $MT_{v,i,t}$ 为第 t 年 v 类车辆运载 i 类物资的总量;
- $TL_{v,i}$ 为 v 类车辆运载 i 类物资的装载量;
- $AD_{v,i}$ 为 v 类车辆运载 i 类物资的单程运输距离;
- $SECK_v$ 为 v 类车辆的单位距离耗油量;
- v 为车辆类型;
- t 为时间。

2.3.5. 新增林地区域净碳汇增量值计算

最后,评估林地净碳汇增量值,表示为林地范围内碳汇量与林地评估边界内温室气体排放的增加量、林地评估边界外活动引起的温室气体泄露量和基线碳储量变化量的差值,具体通过公式(5)计算得出[13],公式(5)如下:

$$C_{Proj,t} = \Delta C_{Proj,t} - CHG_{E,t} - LK_t - \Delta C_{BSL,t} \quad (5)$$

其中:

- $\Delta C_{Proj,t}$ 为第 t 年评估林地范围内碳汇量;
- $CHG_{E,t}$ 为第 t 年林地评估边界内温室气体排放的增加量;
- LK_t 为第 t 年林地评估边界外活动引起的温室气体泄露量;
- $\Delta C_{BSL,t}$ 为第 t 年基线碳储量变化量;
- t 为时间。

本文介绍的新增林地碳汇评估方案中,还包括确定计量碳库及温室气体排放源;计量碳库包括地上生物量碳库、地下生物量碳库、地下土壤碳库、枯落物和粗木质残体碳库;温室气体排放源包括二氧化碳 CO_2 、甲烷 CH_4 、氧化亚氮 N_2O 气体,以及含氮肥料和施用石灰等。

2.3. 评估方法实施分析

在上述基于红外气相色谱监测的林业资产碳汇储量评估方法的实施过程中,应首先确定评估范围内及周边的可计量碳库及碳排放源,具体的,可评估碳库主要包括:地上生物量碳库、地下生物量碳库、地下土壤碳库、枯落物和粗木质残体(枯死木);碳排放源主要包括:燃油机械设备的使用,自然灾害及人为火烧、采伐毁林和施肥及施用石灰等,其中最重要的为温室气体排放(主要温室气体包括:二氧化碳 CO_2 、甲烷 CH_4 和氧化亚氮 N_2O)。

其次,通过检测地上生物量碳库中的林木单株和温室气体中的氧化亚氮 N_2O ,并且结合其他数据,参照图 1 所示步骤及 2.2 节所示计算公式可实现评估林地净碳汇量值。

1) 获取基线碳储量变化值。

基线碳储量变化是指在基线情景下(不实施造林活动)实地的碳储量变化,需要说明的是在基线情景下,土壤有机碳、枯落物和粗木质残体这 3 个碳库中的碳储量将会增加,根据保守性和成本有效性原则,具体评估过程中可假定其变化为零。

2) 对新增林地面积后的林木碳储量进行计算, 且计算出评估范围内新增林地的碳储量变化值。

首先, 根据样地区域, 林木单株的检尺结果(木龄、胸径), 通过林木单株地上部分生物量方程(公式(1))得到林木单株地上部分生物量。

其次, 依据一般林木的各器官的平均含碳率, 地上部分生物平均含碳率为 0.504, 地下部分生物平均含碳率为 0.496, 同时地上部分生物量与地下部分生物量之比为 0.32, 以及地下部分碳储量 = 地下部分生物量 * 地上部分生物平均含碳率, 计算得到该地下部分碳储量和该地上部分碳储量, 进而可计算出评估范围内新增林地的碳储量变化值。

3) 依据公式(2)对评估基线范围内总体碳储量变化值进行计算。

4) 参照公式(3)评估林地边界内温室气体排放增加量, 计算评估边界内燃油机械使用化石燃料燃烧引起的温室气体排放的增加量和评估边界内施用含氮肥料引起的 N_2O 排放的增加量, 具体排放指标可通过林地边界设置的站点, 进行红外气相色谱监测。

5) 依据公式(4)可评估林地边界外的温室气体泄漏, 通过计算评估时间内柴油的消耗量, 获得林地边界外的温室气体的泄漏量, 具体实测指标可通过林地边界设置的站点, 进行红外气相色谱监测。同时, 将计算评估获得的林地边界外的温室气体的泄漏量, 定义为第 t 年的林地评估边界外活动引起的温室气体泄露量。

6) 评估林地净碳汇量值。

通过林地边界设置的站点而进行红外气相色谱监测的数据, 依据公式(5)可进行净碳汇量的评估。

基于上述若干步骤, 可计算评估得出逐年的林地范围内净碳汇量, 其根据评估林地范围内碳汇量与评估边界内增加的温室气体排放量、活动引起的泄露量和基线碳储量变化量差值计算评估得出。

3. 结论

本文着重介绍针对新增林地基线范围内总体碳储量变化值的评估计算, 包括了地上、地下生物量碳储量变化和各个基线碳层的地上、地下生物降低量的计算, 进而得到评估基线范围内碳储量变化量的分析方法, 同时基于林地边界的红外气相色谱监测的数据, 评估林地边界内温室气体排放并得到林地评估边界内温室气体排放的增加量及林地边界外的温室气体的泄漏量, 最终计算得出新增林地区域净碳汇储量增加值。

参考文献

- [1] 赵林, 殷鸣放, 陈晓非, 王大奇. 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(1): 59-63.
- [2] 王文杰, 石福臣. 陆地生态系统二氧化碳通量网的建设和发展[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(4): 57-61.
- [3] 吴家兵, 张玉书, 关得新. 森林生态系统 CO_2 通量研究方法进展[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(6): 49-51.
- [4] 吴志祥, 谢贵水, 杨川, 陈帮乾, 周兆德. 海南儋州地区橡胶林碳通量特征研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(1): 51-59+107.
- [5] 吴志祥, 谢贵水, 杨川, 陶忠良, 周兆德. 橡胶林生态系统干季微气候特征和通量的初步观测[J]. 热带作物学报, 2010, 31(12): 2081-2090.
- [6] 李德江, 田梦然, 曹晓辉. 林业碳汇与碳储量遥感监测与评估平台业务化构建的思考[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(S1): 53-54+56.
- [7] 商珍珠. 基于多源遥感毛竹林信息提取及地上部分碳储量估算研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [8] 何涛, 孙玉军. 基于 InVEST 模型的森林碳储量动态监测[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(3): 377-383.
- [9] 胥丽, 罗绍龙, 国朝胜, 高应群, 余金格. 基于 PLUS 模型和 InVEST 模型的西双版纳碳储量变化研究[J/OL]. 三峡生态环境监测, 1-23. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1214.X.20220919.1241.002.html>, 2022-11-22.

-
- [10] 邹文涛, 陈绍志, 赵荣. 森林生态系统碳储量及碳通量遥感监测研究进展[J]. 世界林业研究, 2017, 30(5): 1-7. <https://doi.org/10.13348/j.cnki.sjlyyj.2017.0062.y>
- [11] 曹吉鑫, 田赞, 王小平, 孙向阳. 森林碳汇的估算方法及其发展趋势[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 2001-2005.
- [12] 顾凯平, 张坤, 张丽霞. 森林碳汇计量方法的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(5): 105-109.
- [13] 党晓宏, 高永, 虞毅, 汪季, 李谦, 刘阳. 沙棘经济林碳汇计量研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 134-138.
- [14] 俞淑红, 周国模, 施拥军, 吕玉龙, 沈振明. 毛竹碳汇造林初期净碳汇量监测与不确定性分析[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(5): 807-815.
- [15] 陈科屹, 王建军, 何友均, 张立文. 黑龙江大兴安岭重点国有林区森林碳储量及固碳潜力评估[J]. 生态环境学报, 2022, 31(9): 1725-1734. <https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2022.09.002>