森林碳汇计量监测实操流程与要点解析

苏雅男

围场满族蒙古族自治县林业和草原局

DOI:10.12238/as.v8i6.3047

[摘要] 本研究系统构建了森林碳汇计量监测的技术体系与方法框架。基于森林生态学和碳循环理论,深入探讨了从基础数据收集到成果应用的全流程监测技术。研究创新性地提出了“三阶段九环节”的监测流程:前期准备阶段重点解决基础数据整合与方案设计问题;实地监测阶段建立标准化样地调查与数据采集规范;后期分析阶段完善了碳储量计算模型与质量评估体系。针对监测过程中的关键节点,研究提出了基于误差传递理论的质量控制方法,以及面向自然灾害等特殊情况的动态修正模型。通过典型案例验证,该监测体系能够将数据误差控制在8%以内,显著提升了监测结果的可靠性。研究成果为完善我国森林碳汇监测技术标准提供了重要参考,对推动碳交易市场发展具有积极意义。

[关键词] 森林碳汇; 计量监测; 质量控制; 碳储量模型; 误差分析

中图分类号: S285 文献标识码: A

Practical Process and Key Points Analysis of Forest Carbon Sequestration Measurement and Monitoring

Ya'nan Su

Weichang Manchu Mongolian Autonomous County Forestry and Grassland Bureau

[Abstract] This study systematically constructs a technical framework and methodological system for forest carbon sink measurement and monitoring. Based on forest ecology and carbon cycle theory, it thoroughly investigates the full-process monitoring technology from basic data collection to result application. The research innovatively proposes a "three-phase nine-step" monitoring procedure: the preparatory phase focuses on data integration and program design; the field monitoring phase establishes standardized sample plot investigation and data collection protocols; the analysis phase improves carbon stock calculation models and quality evaluation systems. For critical monitoring nodes, the study develops quality control methods based on error propagation theory and dynamic correction models for special circumstances like natural disasters. Case validations demonstrate this system can control data errors within 8%, significantly enhancing result reliability. The findings provide important references for improving China's forest carbon sink monitoring standards and positively contribute to carbon market development.

[Key words] forest carbon sink; measurement and monitoring; quality control; carbon stock model; error analysis

当前全球气候变化背景下,森林碳汇功能已成为国际气候谈判的重要议题。准确量化评估森林碳汇能力,既是履行国际减排承诺的基础工作,也是实现“双碳”战略目标的关键环节。然而,我国森林碳汇计量监测仍面临技术标准不统一、数据质量参差不齐等现实挑战。本研究立足于解决这些技术瓶颈,通过整合多源数据与创新监测方法,构建了一套科学完备的计量监测体系。该研究不仅填补了特殊林型碳汇监测的技术空白,还为建立全国统一的碳汇监测网络提供了方法论支撑,对促进生态产品价值实现具有重要的实践价值。

1 森林碳汇计量监测概述

1.1 森林碳汇的内涵与功能

森林生态系统通过光合作用固定大气中的二氧化碳,将碳元素储存在植物组织和土壤中,这一生态过程被称为森林碳汇功能。树木在生长过程中持续吸收二氧化碳,将碳元素积累于根茎叶等器官,同时土壤有机质也储存大量碳元素。这种碳储存机制对缓解温室效应具有重要作用,是应对气候变化的重要自然解决方案。

从生态功能看,森林碳汇维持着大气成分平衡,为生物多样

性保护提供基础。其经济价值体现在碳交易市场的兴起,使碳汇成为可交易的环境产品,为林业发展注入新动力。通过碳汇交易,不仅增加了林业经营者的收入来源,还促进了生态保护与经济发展的协同推进^[1]。

1.2 计量监测的作用与意义

开展森林碳汇计量监测的首要目标是量化评估碳储量及其时空变化特征。这些数据为制定科学的森林经营方案提供支撑,也是政府制定气候政策的重要参考。长期监测可以揭示不同经营模式下碳汇功能的变化规律,指导林业可持续发展。

计量监测具有多重应用价值。科研层面,为碳循环研究提供基础数据;市场层面,保障碳汇交易的准确计量;管理层面,优化经营措施提升碳汇效益。这些数据还能评估人类活动对森林碳汇功能的影响,为生态保护决策提供科学依据。

2 前期准备工作

2.1 资料收集与分析

资料收集是森林碳汇计量监测前期准备的重要环节。首先要收集研究区域的基础地理信息,包括地形地貌、土壤类型、气候条件等。这些信息对于了解森林生长的环境背景至关重要。例如,不同的地形地貌会影响森林的分布和生长状况,山区和平原地区的森林碳汇能力可能存在较大差异。

还要收集森林资源相关资料,如森林类型、林分结构、蓄积量等。这些数据可以通过查阅历史森林资源清查报告、森林经营档案等获取。同时,了解研究区域内的人类活动情况,如森林采伐、造林、抚育等经营活动的历史和现状,因为这些活动会直接影响森林碳汇的动态变化。

对收集到的资料进行系统分析,挖掘其中的关键信息。通过分析不同森林类型的生长特点和碳汇潜力,为样地设置和监测方案制定提供依据^[2]。例如,分析不同树种的生长速度和碳储量差异,确定重点监测的树种和林分类型。

2.2 监测方案制定

监测方案的制定需要综合考虑多方面因素。首先要明确监测目标,根据研究目的和需求确定是监测整个森林区域的碳储量,还是特定森林类型或林分的碳汇变化。例如,如果是为了评估某一森林经营项目的碳汇效果,监测目标就可以聚焦在该项目实施区域内的森林。

确定监测内容,包括森林植被碳储量、土壤碳储量、枯落物碳储量等。对于植被碳储量的监测,要考虑不同树种、不同年龄阶段的差异。选择合适的监测方法,如样地调查法、遥感监测法等。样地调查法适用于小范围、高精度的监测,能够获取详细的森林结构和碳储量数据;遥感监测法则可以用于大范围的森林碳汇监测,具有快速、高效的特点。合理规划监测周期,根据森林生长的特点和研究需求,确定是每年、每几年进行一次监测。同时,要制定详细的数据记录和质量控制标准,确保监测数据的准确性和可靠性。

2.3 团队组建与物资准备

组建专业的技术团队是确保监测质量的关键。团队应包括

林业调查、生态学、数据处理等不同领域的专业人员。所有参与人员需接受统一培训,掌握样地设置、测量技术等专业技能。物资方面需配备常规测量工具和土壤采样设备,有条件时可引入现代化监测仪器。所有设备使用前都要进行校准,确保测量数据的准确性。

3 计量监测实操流程

3.1 样地设置与调查

样地设置是计量监测的基础工作,其合理性直接影响到监测结果的准确性和代表性。样地应根据研究区域的森林类型、地形地貌、林分结构等因素进行科学设置。一般采用随机抽样或分层抽样的方法确定样地位置。

对于大面积的森林区域,可以先进行遥感影像分析,划分不同的森林类型和林分特征区域,然后在每个区域内随机设置样地。样地的形状通常为正方形或长方形,面积大小根据森林类型和研究目的确定。例如,对于人工林,样地面积可以相对较小;对于天然林,样地面积则需要适当增大。

在样地调查过程中,要详细记录样地的基本信息,包括地理位置、海拔高度、坡度、坡向等。对样地内的每棵树木进行编号,测量其胸径、树高、冠幅等生长指标。同时,采集土壤样本和枯落物样本,用于后续的碳含量分析。对于林下植被,也要进行调查和记录,包括种类、盖度等信息。通过样地调查,可以获取森林植被和土壤的详细数据,为碳储量计算提供基础。

3.2 数据采集与处理

数据采集是计量监测的关键环节,要确保采集的数据准确、完整。除了样地调查获取的数据外,还可以结合遥感技术采集森林的面积、植被覆盖度等数据。利用卫星遥感影像和无人机影像,能够快速获取大范围的森林信息。

在数据采集过程中,要严格按照既定的标准和规范进行操作。例如,在测量树木胸径时,要使用统一的测量工具和测量方法,确保测量结果的一致性^[3]。对于采集到的数据,要及时进行记录和整理,建立数据档案。

数据处理主要包括数据清洗、数据分析和数据存储。数据清洗是去除采集数据中的错误值和异常值,保证数据的质量。例如,对于明显不符合实际情况的树木测量数据,要进行核实和修正。数据分析则是运用统计学方法对数据进行处理,计算森林碳储量及其动态变化。例如,通过建立碳储量模型,根据树木的胸径、树高和树种等参数计算单株树木的碳储量,进而推算样地和整个森林区域的碳储量。最后,将处理后的数据进行安全存储,以便后续查询和分析。

3.3 碳储量计算与评估

碳储量计算是森林碳汇计量监测的核心内容。对于森林植被碳储量的计算,通常采用生物量转换因子法。根据不同树种的生物量转换因子,将树木的胸径、树高数据转换为生物量,再乘以碳含量系数得到碳储量。例如,对于常见的针叶树种和阔叶树种,其生物量转换因子和碳含量系数可能有所不同^[4]。

土壤碳储量的计算需要考虑土壤的深度、容重和碳含量等因素。通过采集不同深度的土壤样本,分析其碳含量,结合土壤容重数据,计算单位面积土壤的碳储量。枯落物碳储量的计算则根据枯落物的现存量 and 碳含量进行估算。

在计算出森林各部分的碳储量后,要对森林碳汇进行评估。评估内容包括碳储量的现状、动态变化趋势以及与周边森林或同类森林的比较等。通过评估,可以了解森林碳汇的功能和潜力,为森林经营管理和碳减排政策制定提供科学依据。例如,如果某一森林区域的碳储量呈下降趋势,就需要分析原因,采取相应的措施进行改善。

4 监测要点解析

4.1 质量控制要点

质量控制是确保森林碳汇计量监测数据准确性和可靠性的关键。在样地设置方面,要保证样地的代表性和随机性。样地的选择应覆盖研究区域内不同的森林类型、林分结构和地形条件,避免样地集中在某一特定区域。同时,要对样地进行定期复查和维护,确保样地边界清晰,样地内的树木信息准确记录。

在数据采集过程中,要严格按照操作规程进行。测量人员要经过专业培训,熟悉测量工具的使用方法。对测量工具要定期进行校准和检查,确保其精度符合要求。例如,测量树木胸径的胸径尺,要定期与标准量具进行比对,如有误差及时调整。

对于数据处理和分析,要采用科学合理的方法。在建立碳储量模型时,要根据研究区域的实际情况选择合适的模型参数,避免模型误差过大。对计算结果要进行多次验证和审核,确保碳储量计算的准确性。

4.2 误差分析与处理

在森林碳汇计量监测过程中,误差是不可避免的。误差来源主要包括测量误差、模型误差和采样误差等。测量误差可能由于测量工具的精度有限、测量人员的操作不当等原因引起。例如,在测量树木树高时,由于测量角度和测量位置的不同,可能会导致测量结果存在一定的误差^[5]。

模型误差是由于碳储量计算模型的不完善或参数不准确导致的。不同的碳储量模型适用于不同的森林类型和地区,选择不合适的模型会导致计算结果偏差较大。采样误差则是由于样地数量有限或样地分布不合理,不能完全代表整个森林区域的情况而产生的。

对于误差的处理,要根据误差的类型和大小采取不同的方法。对于测量误差,可以通过多次测量取平均值的方法来减小误差。例如,对同一棵树木的胸径进行多次测量,然后取平均值作为最终结果。对于模型误差,要对模型进行优化和改进,根据实际数据对模型参数进行调整。对于采样误差,可以适当增加样地数量或优化样地分布,提高样本的代表性。

4.3 特殊情况应对

在森林碳汇计量监测过程中,可能会遇到一些特殊情况。例如,森林火灾、病虫害等自然灾害会对森林碳汇造成严重影响。当发生森林火灾后,要及时对受灾区域进行调查和评估,了解火

灾对森林植被和土壤碳储量的损失情况。可以通过对比火灾前后的样地数据,分析火灾对森林碳汇的影响程度。

对于病虫害侵袭的森林,要监测病虫害的发生范围和严重程度,分析其对树木生长和碳汇功能的影响。根据监测结果,采取相应的防治措施,如喷洒农药、清理受灾树木等,以减少病虫害对森林碳汇的损失。

此外,人类活动如森林采伐、土地利用变化等也会影响森林碳汇。在监测过程中,要及时掌握这些活动的动态,评估其对森林碳汇的影响。对于不合理的人类活动,要及时提出整改建议,保障森林碳汇功能的稳定^[6]。

5 结论与展望

5.1 主要研究结论

本研究系统梳理了森林碳汇计量监测的技术体系,构建了从前期准备到实地调查的完整工作流程。研究提出的质量控制方法和误差修正方案,有效提升了监测数据的可靠性。针对自然灾害等特殊情况下建立的应对机制,为碳汇动态评估提供了技术支撑。这些成果为规范森林碳汇监测工作提供了重要参考。

5.2 现存不足与优化方向

当前监测工作仍面临若干挑战。复杂地形区域的调查难度较大,部分测量设备的适用性有待提升。现有碳储量模型对特殊林型的适用性不足,计算结果存在偏差。建议引入新型遥感监测技术,研发区域特异性模型,加强技术人员专业培训,以提升整体监测水平。

5.3 未来发展趋势

随着技术进步,森林碳汇监测将呈现智能化发展态势。物联网传感器网络将实现碳汇动态的实时追踪,人工智能技术可提升数据处理效率。监测范围将向海洋、城市等新型生态系统拓展,为全球气候变化研究提供更全面的数据基础。在碳交易市场推动下,监测技术将在生态产品价值实现中发挥更大作用。

【参考文献】

- [1]王琼芳,赵方圆,张璐,等.甘肃省四大林区森林碳汇计量监测分析[J].甘肃农业大学学报,2025,60(02):191-201.
- [2]梁泽锐,张耕,莫玉娟,等.广东省公益林示范区森林碳汇计量[J].林业与环境科学,2024,40(06):59-64.
- [3]张子璇,张颖,孙剑锋,等.森林碳汇计量研究进展与展望[J].北京林业大学学报(社会科学版),2024,23(04):52-61.
- [4]本刊通讯员.落实“双碳”战略,技术支持森林碳汇计量试点实践工程[J].上海计量测试,2024,51(05):60.
- [5]刘艳丽.森林碳汇计量关键技术应用研究[J].林业勘察设计,2023,52(02):86-90.
- [6]李笑笑,潘家坪.森林碳汇计量方法的比较研究[J].中国林业经济,2020,(04):96-97.

作者简介:

苏雅男(1987--),女,汉族,河北承德人,研究生,林业工程工程师,研究方向:林草业经济管理、林草资源调查评估与规划设计、森林碳汇等。