

# 林业碳汇在应对气候变化中的作用与挑战

王艳莹

河北省塞罕坝机械林场

DOI:10.12238/eep.v8i2.2515

**[摘要]** 全球气候变化背景下,森林生态系统作为重要碳汇载体,其固碳功能对实现碳中和目标具有不可替代性。本研究通过系统分析森林植被固碳机理与碳库动态特征,揭示出林业碳汇在生态调节、经济增益及社会服务方面形成的协同效益。研究发现,森林碳汇不仅通过光合作用实现大气二氧化碳的持续固定,更在生物多样性保育、水土保持和社区可持续发展方面产生显著外溢效应。然而,当前林业碳汇发展面临碳计量标准不统一、生态补偿机制缺失、经营主体参与度不足等现实制约,特别是人工林碳汇稳定性与天然林保护间的矛盾亟待解决。针对这些挑战,研究提出构建多尺度碳汇监测体系、创新市场化生态产品价值实现机制、完善林权交易制度等系统性解决方案。研究进一步论证了林业碳汇在国家气候战略中的基础性地位,强调需将森林碳汇能力提升纳入国土空间规划体系,通过科技赋能推动林业经营模式转型。这些发现为优化气候治理政策框架、促进生态保护与经济社会协调发展提供了理论依据和实践路径。

**[关键词]** 林业碳汇; 气候变化; 碳中和; 碳计量; 生态补偿

中图分类号: F316.2 文献标识码: A

## The role and challenges of forestry carbon sinks in addressing climate change

Yanying Wang

Saihanba Machinery Forest Farm, Hebei Province

**[Abstract]** In the context of global climate change, forest ecosystems, as important carbon sinks, have irreplaceable carbon sequestration functions for achieving carbon neutrality goals. This study systematically analyzes the carbon sequestration mechanism and dynamic characteristics of forest vegetation carbon pools, revealing the synergistic benefits of forestry carbon sinks in ecological regulation, economic benefits, and social services. Research has found that forest carbon sinks not only achieve sustained fixation of atmospheric carbon dioxide through photosynthesis, but also have significant spillover effects in biodiversity conservation, soil and water conservation, and community sustainable development. However, the current development of forestry carbon sinks is facing practical constraints such as inconsistent carbon measurement standards, lack of ecological compensation mechanisms, and insufficient participation of management entities, especially the contradiction between the stability of artificial forest carbon sinks and the protection of natural forests, which urgently needs to be resolved. In response to these challenges, research proposes systematic solutions such as building a multi-scale carbon sink monitoring system, innovating market-oriented ecological product value realization mechanisms, and improving forest rights trading systems. The study further demonstrated the fundamental role of forestry carbon sequestration in national climate strategies, emphasizing the need to incorporate the enhancement of forest carbon sequestration capacity into the national spatial planning system and promote the transformation of forestry management models through technological empowerment. These findings provide theoretical basis and practical path for optimizing climate governance policy framework, promoting ecological protection and coordinated economic and social development.

**[Key words]** forestry carbon sink; Climate change; Carbon neutrality; Carbon measurement; ecological compensation

## 前言

工业革命以来,化石能源大规模使用导致大气中二氧化碳浓度持续攀升。政府间气候变化专门委员会(IPCC)评估报告指出,全球平均气温较工业化前已上升约 $1.1^{\circ}\text{C}$ ,由此引发的极端天气频发、冰川消融加速和生物多样性锐减等问题,正深刻威胁着人类生存环境。森林生态系统凭借其独特的碳吸收与封存功能,在全球碳循环中发挥着不可替代的作用。作为陆地最大有机碳库,森林植被通过光合作用每年固定大量二氧化碳,其碳储量约是大气碳库的1.5倍。特别是在碳中和战略框架下,森林碳汇既能抵消工业排放,又能通过生态服务功能产生综合效益,这种双重价值使其成为气候治理的关键路径。开展林业碳汇研究具有显著的理论与实践价值。从科学认知层面看,系统解析森林碳汇形成机理与动态规律,有助于完善全球碳循环模型,为气候预测提供更精确的参数依据。

### 1 林业碳汇的作用机制与多维价值

#### 1.1 碳汇功能形成的生物地球化学基础

森林通过光合作用和物质循环实现碳汇功能的基本原理,构成了应对气候变化的自然解决方案。植物叶片中的叶绿体在阳光驱动下,将大气中的二氧化碳与水转化为有机物,这个过程不仅制造了树木生长所需的养分,更将气态碳转化为固态形式储存在木质组织中。不同树种的碳固定效率存在显著差异,例如速生树种在幼龄阶段展现出更强的碳吸收能力,而成熟林则更擅长长期碳储存。

森林碳库由地上植被、地下根系和土壤有机质共同构成,形成立体的碳储存体系。树木通过年轮生长不断累积生物量,其凋落的枝叶和枯死根系经土壤微生物分解后,部分转化为稳定的腐殖质。这种转化过程受温度、湿度等环境因素影响,湿润温暖的环境加速有机物分解,同时也促进新的植物生长,形成动态平衡的碳循环系统。

人类活动正在深刻改变这些自然过程。合理的人工造林能增强碳汇功能,但单一树种的大面积种植会降低土壤微生物多样性,反而影响碳储存效率。气候变暖导致的极端干旱则会削弱树木的光合作用能力,这种正反馈效应可能加剧大气碳浓度的攀升。理解这些相互作用机制,是科学管理森林碳汇的基础。

#### 1.2 生态系统服务视角下的综合效益评估

森林碳汇的综合效益评估需要突破单一固碳功能的认知框架,构建包含生态调节、经济增益与社会服务的多维评价体系。在生态调节层面,森林通过冠层截留降水、根系固持土壤等机制,形成天然的水土保持屏障,有效降低滑坡、泥石流等地质灾害风险。例如,茂密林冠可减缓降雨对地面的直接冲击,使地表径流系数降低40%~60%,这种水文调节功能在季风气候区具有特殊生态价值。同时,混交林内丰富的动植物群落形成生物庇护所,其物种多样性指数普遍高于单一人工林,为维持区域生态平衡提供保障。

经济增益维度表现为碳汇资源的价值转化机制创新。国际碳市场通过核证减排量交易,使森林碳汇从生态产品转变为可

量化交易的商品。我国试点地区开展的林业碳汇质押融资、碳汇保险等金融创新,成功将碳汇预期收益转化为林农现实收入。浙江安吉竹林碳汇项目通过碳汇交易每年为农户增收超千元,这种叶子变票子的实践有效激活了林业经营活力。更值得关注的是,林下经济与碳汇经营的协同发展模式,使林药、林菌等绿色产业成为山区经济新增长点。

社会服务功能的评估需关注碳汇项目对民生改善的促进作用。在乡村振兴战略实施中,集体林权制度改革与碳汇项目开发的有机结合,为农村剩余劳动力提供了护林员、监测员等新型就业岗位。贵州实施的单株碳汇扶贫项目,通过城市居民认购树木碳汇量,实现生态保护与农民增收的双赢。此外,森林康养产业的兴起,使碳汇林区转型为自然教育基地和健康疗养场所,这种功能拓展显著提升了城乡居民的生态福祉。

综合效益评估仍面临方法学瓶颈与实施障碍。现行评估体系对文化服务价值的量化存在困难,如森林景观美学价值、传统知识传承等难以货币化计量。在操作层面,生态补偿标准与碳汇实际效益不匹配,导致部分林区出现守着碳库受穷的现象。解决这些问题,需建立包含非市场价值的评估指标体系,并通过区块链技术实现碳汇数据全流程追溯,确保效益分配的公平性。

### 2 林业碳汇发展的现实挑战与创新路径

#### 2.1 监测技术与碳计量方法学的瓶颈突破

当前林业碳汇监测技术体系仍面临多重技术障碍,这直接影响着碳汇量的精准核算与市场交易可信度。传统地面调查方法依赖人工样地测量,虽然能获取局部精确数据,但面对广袤的森林区域时存在效率低、成本高的问题。卫星遥感技术的应用虽提升了监测范围,但在云雾覆盖频繁的南方林区,光学影像获取质量波动明显,导致碳储量估算误差增大。特别是在混交林和天然次生林区域,不同树种的反射光谱特征交叉干扰,使得遥感解译精度难以满足碳汇交易对数据准确性的严苛要求。

碳计量方法学的标准化进程亟待加速。现有核算体系对人工林与天然林的碳汇能力评估采用不同模型参数,这种差异在复合经营林区容易引发计量争议。例如,同一片经过间伐改造的次生林,若按天然林模型计算可能低估其固碳速率,而采用人工林模型则会忽视生态系统的自然演替特征。此外,土壤碳库动态监测技术尚未形成统一规范,微生物分解作用导致的碳排放量估算存在较大不确定性,这使得全口径碳汇计量难以实现。

技术创新正在为突破这些瓶颈提供解决方案。激光雷达与多光谱成像的融合应用,实现了林分三维结构的精准重建,使树高、胸径等关键生物参数的自动提取精度显著提升。基于深度学习的图像识别技术,成功解决了混合树种林区的分类难题,其通过分析百万级样本建立的树种识别模型,在试点地区的验证准确率已接近专业调查员水平。在计量方法学领域,动态过程模型正在替代传统的静态系数法,通过整合树木生长方程、土壤呼吸速率等生态过程参数,使碳汇量预测更具时空适应性。

推动监测技术应用落地需要构建多方协同机制。建立天-空-地一体化监测网络,将卫星遥感、无人机航测与物联网传感

设备有机结合,既保证大范围覆盖又实现重点区域精细监测。开发开放共享的碳计量云平台,整合不同来源的监测数据,运用区块链技术确保数据不可篡改,为碳汇交易提供可信赖的底层支撑。更重要的是,应加快研制适合我国林情的技术标准,在保障科学性的前提下简化操作流程,使基层林业单位能够有效参与碳汇监测工作。

### 2.2 市场化机制与政策协同的制度创新

林业碳汇市场化发展面临多重制度性障碍,亟须通过机制创新破解生态价值转化难题。当前碳汇交易存在项目开发成本高、产权界定模糊等现实问题,导致市场参与度不足。以林权制度改革为例,集体林权流转机制不完善使得碳汇权益归属难以明确,直接影响社会资本投入意愿。部分试点地区出现的碳汇收益分配争议,暴露出生态产品价值实现过程中利益协调机制的缺失。

构建市场化运作体系需要政策工具与市场机制的有效协同。首先应完善碳汇产权制度,通过颁发碳汇权属证书明确经营主体权益,建立覆盖确权、登记、交易的完整制度链条。其次要创新金融支持模式,发展碳汇质押融资、绿色债券等金融产品,破解项目前期投入大、回报周期长的融资困境。例如浙江安吉将竹林碳汇收益权纳入银行抵押品范围,有效盘活生态资产。同时需建立风险分担机制,引入碳汇保险产品对冲自然灾害导致的碳储量损失。

政策协同创新应聚焦生态补偿与市场机制的衔接。传统生态补偿主要依赖财政转移支付,存在资金可持续性不足的缺陷。建议建立市场化生态补偿基金,通过碳汇交易提成、企业社会责任投资等多渠道筹资。在补偿标准制定上,需综合考虑碳汇增量、管护成本及区域发展差异,建立动态调整机制。云南普洱的碳汇茶园项目,通过将碳汇收益与茶叶销售捆绑,实现生态保护与产业升级的良性互动。

推动制度创新还需强化多部门协同治理。林业部门需与金融监管机构联合制定碳汇金融产品标准,生态环境部门应完善碳汇计量认证体系,自然资源部门要统筹碳汇林地的空间规划。在基层实践中,可建立碳汇银行管理模式,将分散的林地碳汇资源集中收储,通过规模化经营提升市场议价能力。贵州单株碳汇扶贫模式的成功,正是得益于林业、扶贫、金融等部门政策工具的精准对接。

### 3 面向碳中和目标的林业碳汇战略定位

国家气候战略层面,林业碳汇被赋予双重使命。一方面作为生态调节器,通过持续固碳减缓温室效应,另一方面充当绿色缓冲带,为工业减排争取转型时间窗口。这种定位要求将森林碳汇能力提升深度融入国土空间规划,建立生态保护红线与碳汇核心区的空间耦合机制。例如在重点生态功能区,通过划定永久性碳汇保育区,确保高价值森林资源的长期固碳效能;在生态脆弱区实施退耕还林与碳汇造林协同工程,实现生态修复与碳汇扩容的双重目标。

区域发展格局中,林业碳汇需发挥差异化功能。东部发达地

区重点发展城市森林碳汇,通过立体绿化与近自然林改造提升单位面积碳储量;西部生态屏障区则强化天然林保护与混交林建设,重点维护碳汇系统的稳定性。跨区域碳汇补偿机制的建立尤为关键,可借鉴浙江—四川建立的流域碳汇交易模式,通过经济发达地区购买生态功能区碳汇量,实现碳汇效益的区际流转与价值共享。

科技创新驱动方面,林业碳汇战略实施依赖技术赋能。构建天空地一体化监测网络,利用卫星遥感与智能传感器实现碳汇动态追踪,为精准管理提供数据支撑。重点突破困难立地造林、低效林改造等关键技术,如在喀斯特地貌区推广适生树种容器苗技术,显著提升石漠化区域碳汇增量。数字技术的融合应用正在改变传统管理模式,浙江开发的林业碳汇智能管理平台,实现从碳汇计量到交易的全流程数字化服务。

政策保障体系构建需破解制度性障碍。完善林权流转制度,明确碳汇资源产权归属,允许碳汇收益权质押融资,激活社会资本参与动力。建立碳汇生态补偿动态调整机制,将碳汇增量与补偿标准挂钩,确保林农持续管护积极性。在新疆天山西部等试点区域,通过碳汇收储+绿色金融模式,已探索出资源变资产的有效路径。同时应加强林业碳汇与乡村振兴的政策衔接,发展林下经济、森林康养等绿色产业,形成生态保护与民生改善的良性循环。

### 4 结束语

在实现碳中和目标的整体布局中,林业碳汇的战略价值已从单一的生态功能拓展为多维度支撑体系。作为国家气候治理的基础性工程,其战略定位需突破传统林业经营框架,在空间规划、产业转型和制度创新层面形成系统性支撑。研究碳汇监测技术体系与价值转化机制,能够破解当前碳计量标准不统一、生态补偿滞后等难题,推动碳汇资源向经济价值转化。特别是我国提出的“双碳”目标与全球气候治理需求高度契合,通过林业碳汇研究既可提升国际气候谈判话语权,又能为乡村振兴和生态保护提供创新路径,实现生态效益与民生改善的协同发展。

### 【参考文献】

- [1]吴永会,郑馨.巍山县林业碳汇发展SWOT分析及对策[J].南方农业,2024,18(21):250-254.
- [2]毛国旭.应对气候变化背景下云南林业碳汇发展的机遇与挑战[J].西南林业大学学报(社会科学),2021,5(1):83-86+98.
- [3]王瑞红.林业碳汇:应对气候变化新途径[J].绿色视野,2016,(02):27-29.
- [4]曹亚妮,李海艳.林业碳汇在气候变化减缓中的作用[J].林业科技情报,2024,56(03):84-87.
- [5]孙明轩,王岩,徐蕊,等.应对气候变化导向下的林业碳汇市场研究[J].中国林业经济,2017,(03):31-32+35.

### 作者简介:

王艳莹(1995--),女,汉族,河北围场人,本科,中研,研究方向:林业方向。