

# Technological Path and Empirical Study on the Enhancement of Carbon Sink Function of Ecological Forestry

Xueliang Zheng Xuefeng Sun Zeqing Xu

Beijing Jianshan Jianshui Ecological Technology Co., Ltd., Beijing, 100020, China

## Abstract

As the primary mechanism for ecosystem carbon sequestration and emission reduction, forest carbon sinks require scientific and systematic technological support to enhance their functionality. This study investigates the “technological pathways for improving ecological forestry carbon sink capacity,” focusing on five core modules: forest cultivation and regeneration, management optimization, restoration of degraded forestlands and wetlands, monitoring and quantification, and technological integration and innovation. By establishing a comprehensive technical framework, it addresses limitations of isolated technologies to achieve coordinated progress in carbon sink enhancement, ecological conservation, and economic development. The research provides theoretical references for standardized application and large-scale promotion of forestry carbon sink technologies, aiming to fully unlock their potential and support China’s “dual carbon” strategy implementation.

## Keywords

forestry carbon sink; carbon sink function; technical pathway

## 生态林业碳汇功能提升的技术路径与实证

郑学良 孙雪峰 徐泽青

北京见山见水生态科技有限公司, 中国·北京 100020

## 摘要

林业碳汇是生态系统固碳减排的核心载体,其功能提升依赖科学系统的技术支持。本文围绕“生态林业碳汇功能提升的技术路径”展开研究,聚焦森林培育与更新、经营优化、退化林地与湿地修复、监测与计量、技术集成与创新五大核心模块,系统剖析各环节关键技术要点。通过构建全链条技术体系,破解单一技术局限,实现碳汇提升与生态保护、经济发展的协同推进。旨在为林业碳汇技术的规范化应用与规模化推广提供理论参考,助力充分释放林业碳汇潜力,服务国家“双碳”战略实施。

## 关键词

林业碳汇; 碳汇功能; 技术路径

## 1 引言

在“双碳”战略推进背景下,林业碳汇作为低成本、高潜力的固碳途径,成为应对气候变化的重要支撑。当前,我国森林生态系统碳汇潜力尚未充分释放,存在树种选择不精准、经营管理粗放、退化林地修复效率低、技术协同不足等问题。同时,碳汇监测计量体系不完善、技术落地难度大等现实挑战,制约了林业碳汇功能的高效提升。在此背景下,系统梳理并优化生态林业碳汇提升技术路径,对推动林业高质量发展、助力“双碳”目标实现具有重要现实意义。

## 2 森林培育与更新技术路径

森林培育与更新是提升林业碳汇容量的基础支撑环节,

需立足碳汇增效核心目标,将科学技术贯穿林木培育全周期,通过树种选择精准化、育苗造林优质化、森林更新系统化,构建全方位的碳汇提升技术体系,为林业碳汇功能持续增强筑牢根基。

碳汇导向的树种选择技术是提升碳汇潜力的前提,核心在于实现树种碳汇能力与生态适应性的精准匹配。高碳汇潜力树种筛选需依托生理特性观测、生物量累积规律长期定位研究,筛选光合效率高、生长周期稳定、碳储存能力强的树种,并结合定向培育技术优化其碳汇性状。乡土树种与外来优良碳汇树种适配技术聚焦生态安全,通过立地条件适配性试验,明确外来树种的适宜种植范围,避免生物入侵风险,形成乡土树种为主、外来优良树种为辅的搭配格局。混交林配置技术则基于不同树种的生态位互补性,通过调控树种搭配比例、种植方式,构建复层异龄混交模式,提升林分光能利用效率与碳汇稳定性,规避纯林碳汇单一、抗逆性弱的短板。

【作者简介】郑学良(1987),男,中国河北衡水人,博士,工程师,从事林业生态研究。

优质育苗与造林技术是碳汇林高效构建的关键环节,需兼顾苗木品质与造林适配性。容器育苗与壮苗培育技术通过优化育苗基质配比、精准调控水肥条件,培育根系发达、抗逆性强的优质苗木,提升造林成活率与初期生长速率。精准造林技术严格遵循适地适树原则,结合立地生产力评估,科学调控造林密度,避开极端气候时段选择最佳造林时机,实现苗木生长与环境资源的高效匹配。

森林更新优化技术是维持碳汇功能持续性的核心保障,需实现天然更新与人工干预的有机结合。天然更新促进技术通过调控林分郁闭度、清除林下竞争植被、改善土壤通气条件,为天然幼苗的萌发与生长创造有利环境。人工更新与天然更新结合技术针对天然更新不足的区域,精准补植优质碳汇树种,构建近自然化林分结构,兼顾碳汇效率与生态系统自然演化规律。迹地快速碳汇恢复技术聚焦采伐迹地、灾害迹地等受损区域,通过残留植被保护、土壤肥力修复、优质苗木补造等综合措施,缩短植被恢复周期,快速重建碳汇体系,保障森林生态系统碳汇功能的连续性<sup>[1]</sup>。

### 3 森林经营优化技术路径

森林经营优化是提升碳汇效能的关键抓手,需依托林分结构调控、精准抚育间伐及林下系统精细化管理,构建“结构优化—抚育提质—林下增效”的一体化技术体系,实现碳汇存量提升与增量稳定。

林分结构调控是碳汇效率提升的基础支撑。林分密度优化调控需结合立地生产力与树种生长特性,通过样地监测确定合理密度区间,疏伐竞争木、保留优势木,平衡个体生长与群体碳汇总量。林龄结构优化以近自然林经营为核心,推行异龄林培育模式,通过合理采伐与补植,构建包含幼、中、成龄林的完整年龄序列,延长林分碳汇周期并提升系统稳定性。层次结构优化聚焦复层林构建,根据树种耐阴梯度与生长习性,搭配高、中、低不同垂直层次树种,最大化利用光照、水分等资源,提升林分空间利用率与整体碳汇潜力。

精准抚育间伐贯穿碳汇最大化经营全过程。基于林分生长动态与碳汇累积规律,调控抚育间伐强度,避免过度间伐导致碳汇流失,同时去除病弱木、劣质木,为优势木生长释放空间。优化抚育间伐时机与方式,结合树种生长关键期确定间伐窗口,采用择伐、渐伐等温和方式,降低对林分生态系统的扰动。针对抚育剩余物,推行资源化利用与碳封存协同技术,通过粉碎还田补充土壤有机质提升土壤碳库,或加工为生物质成型燃料替代化石能源,实现碳减排与碳封存协同增效。

林下植被与枯落物管理是挖掘碳汇潜力的重要环节。筛选耐阴、固碳能力强的林下碳汇植物,通过科学种植密度调控与水肥管理,构建林下碳汇层,补充林分碳汇总量。实施枯落物分解调控技术,通过适度保留枯落物、控制覆盖厚度,平衡分解速率与碳封存效率,减少碳释放并提升土壤肥

力。推动林下经济与碳汇协同经营,构建“林+药”“林+菌”等复合模式,选择碳汇功能与经济价值兼具的作物,实现生态碳汇与经济收益的双赢。

### 4 退化林地与湿地生态修复技术路径

退化林地与湿地是林业碳汇提升的核心潜力区,其生态修复需立足不同退化类型与程度,构建分类施策、系统协同的技术体系,实现生态功能恢复与碳汇能力提升的双重目标。

退化林地碳汇修复需遵循梯度修复策略。针对轻度退化林地,采用补植补造与抚育修复相结合的技术路径,补植乡土优质碳汇树种填补林分空缺,通过精准抚育改善林分通风透光条件,促进优势木生长,快速提升碳汇增量。中度退化林地聚焦土壤改良与植被重建,通过施加有机肥、生物炭等改良土壤理化性质,构建乔灌草复合植被体系,同步提升植被碳库与土壤碳库储量。重度退化林地需实施生态系统重构,先通过工程措施稳固立地条件,再采用先锋树种定植、微生物菌剂改良等技术启动生态恢复进程,逐步构建稳定的近自然生态系统,实现碳汇功能的根本性恢复。

湿地林业碳汇修复以生态系统完整性恢复为核心。在植被恢复层面,针对红树林、泥炭沼泽等典型湿地,采用原生植被繁育、幼苗定植等技术重建湿地植被群落,筛选耐水湿、固碳能力强的本土物种,提升湿地植被碳汇效率。水文连通性修复是湿地碳汇提升的关键,通过疏通水系、构建生态沟渠等措施,恢复湿地与周边水体的自然连通,维持适宜的水文节律,为植被生长和土壤碳封存提供水文保障。同时,强化湿地土壤碳库保护,通过控制人为扰动、适度调控湿地水位等技术,减缓土壤有机碳分解,提升土壤碳封存能力,筑牢湿地碳汇基底。

石漠化与荒漠化地区林业碳汇修复需兼顾生态防护与碳汇培育。石漠化地区依托立地条件改良技术,采用客土改良、等高种植等措施,构建耐旱耐贫瘠的乔灌草复合植被体系,培育乡土碳汇树种,实现植被重建与碳汇培育同步推进。荒漠化地区以防沙治沙为基础,通过沙障布设、固沙剂应用等技术固定流沙,同步营造沙生碳汇林,选择沙棘、沙柳等耐沙耐旱且固碳能力强的树种,构建防风固沙与碳汇协同的植被体系。在此基础上,推行生态经济型碳汇林营造技术,培育兼具碳汇功能与经济价值的树种,实现生态修复、碳汇提升与区域经济发展的良性互动<sup>[2]</sup>。

### 5 林业碳汇监测与计量技术路径

林业碳汇监测与计量是精准评估碳汇效益、保障碳汇交易规范性的核心支撑,需构建“多维监测—精准计量—数据赋能”的全链条技术体系,实现碳汇动态追踪、量化核算与技术优化的闭环管理。

碳汇动态监测技术构建地面、空天、物联网协同的立体监测网络。地面定位监测以样地调查为基础,通过生物量

实测、土壤剖面采样等传统精准方法,获取植被碳库、土壤碳库的基础数据,为碳汇计量提供基准依据。遥感监测技术形成卫星与无人机互补格局,卫星遥感实现大范围、长时间序列的碳汇动态宏观监测,精准捕捉林分覆盖变化与碳汇空间分布特征;无人机遥感聚焦小尺度区域精细化监测,弥补卫星遥感空间分辨率不足的短板,助力小班尺度碳汇动态追踪。物联网实时监测技术依托传感器网络,实现土壤碳含量、植被生长状态等指标的连续动态监测,通过数据实时传输与分析,精准掌握碳汇累积与变化规律。

碳汇计量与核算技术聚焦精准量化与标准适配。生物量碳计量模型构建基于大量实测数据,结合树种特性、立地条件等影响因素,建立树种级、林分型生物量碳计量模型,提升植被碳汇估算精度。土壤碳库计量采用分层采样、实验室检测与模型估算相结合的技术路径,精准量化不同土层深度的有机碳储量,兼顾土壤碳库的稳定性与动态变化特征。林业碳汇项目核算技术严格对接碳汇交易标准,明确核算边界、基准线设定、额外性论证等关键技术环节,规范碳汇量核算流程,确保核算结果具备可核查性与公信力,为碳汇项目入市交易提供技术支撑。

监测数据管理与应用技术打通数据价值转化通道。数据整合与共享技术依托大数据平台,实现地面监测、遥感监测、物联网监测等多源数据的标准化处理与融合集成,打破数据壁垒,构建统一的碳汇数据共享体系。基于数据的碳汇提升技术优化路径,通过对监测数据的深度分析,识别碳汇提升薄弱环节,反哺森林培育、经营、修复等前端技术的参数优化,形成“监测—分析—优化—提升”的技术迭代机制,持续提升林业碳汇整体效能<sup>[1]</sup>。

## 6 林业碳汇技术集成与创新应用路径

林业碳汇技术集成与创新应用是突破单一技术局限、提升碳汇综合效能的关键举措,需立足全链条技术协同、智能化赋能与市场化落地,构建“集成融合—智能升级—示范推广”的闭环发展路径,推动碳汇技术从实验室走向生产实践。

多技术融合集成聚焦全流程协同与生态协同双维度突破。培育-经营-修复一体化碳汇提升技术集成,打破各环节技术壁垒,将优质育苗、精准造林、科学抚育、退化修复等技术按立地条件与碳汇目标系统整合,形成从苗木培育到林分成熟的全周期技术方案,实现碳汇增量的持续累积。碳

汇与生态保护协同技术集成,在碳汇技术应用中嵌入生物多样性保护、水土保持、地力维持等生态目标,通过树种搭配优化、经营强度调控等技术协同,实现碳汇提升与生态系统稳定性增强的双赢,避免单一追求碳汇而破坏生态平衡。

智能化技术赋能为碳汇管理注入精准化新动能。人工智能在树种选择与林分调控中的应用,依托机器学习算法分析不同树种的碳汇潜力与生态适应性,精准筛选适配树种;通过林分生长动态模拟,优化密度调控、抚育时机等关键参数,提升林分碳汇管理的科学性。大数据驱动的碳汇动态预测与管理技术,整合遥感监测、地面调查、物联网感知等多源数据,构建碳汇动态预测模型,精准预判碳汇累积趋势;基于数据挖掘识别技术应用短板,为经营策略调整提供数据支撑,实现碳汇管理的动态化与精准化。

技术示范与推广着力打通技术落地“最后一公里”。碳汇技术示范基地建设技术,按不同立地类型、林分类型布局示范区域,集中展示一体化集成技术、智能化管理技术的应用效果,形成可观摩、可复制的技术模式与操作规范,为周边区域提供直观参考。低成本、易操作碳汇技术推广与培训技术,针对基层林业工作者与林农需求,简化复杂技术流程、研发低成本替代材料,通过现场实操培训、短视频教程、技术手册等多元形式,提升技术普及率与应用规范性,推动碳汇技术在广大林区规模化落地,释放全域碳汇提升潜力。

## 7 结语

本文系统构建了生态林业碳汇功能提升的全链条技术路径,明确了从基础培育到创新应用的五大核心技术体系,凸显了多技术融合、智能化赋能与示范推广的关键价值。研究形成的技术方案既兼顾碳汇增量提升,又注重生态系统稳定性维护,为破解林业碳汇发展瓶颈提供了有效支撑。未来,需进一步强化技术成果转化,推动低成本、易操作技术的规模化落地,持续优化技术集成模式。相信通过技术创新与实践推广,林业碳汇将在“双碳”目标实现中发挥更重要作用,助力构建生态保护与经济发展双赢格局。

## 参考文献

- [1] 宫中志,邓勇,周洪岩. 碳汇目标下我国森林可持续经营对策研究[J]. 森林防火, 2025, 43(05): 128-131.
- [2] 赵剑英,侯丕晔. 林业碳汇功能及其在生态保护领域的作用探讨[J]. 中国林业产业, 2024, (11): 45-46.
- [3] 邹晓明,王国兵,葛之藏,等. 林业碳汇提升的主要原理和途径[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(06): 167-176.