

Research on Key Technologies and Sustainable Development of Natural Forest Ecosystem Management and Protection

Yongsheng Li

Wulashan Forestry Management and Protection Center, Bayannaoer City, Inner Mongolia, Bayannaoer, Inner Mongolia, 014409, China

Abstract

The intensification of global climate change and human activities has led to a degradation crisis in natural forest ecosystems, with issues such as biodiversity loss and aggravated soil erosion threatening ecological security. As the core of terrestrial ecosystems, natural forests play an irreplaceable role in ecological service functions, including carbon sequestration regulation, water conservation, and species protection. Currently, problems such as outdated management and protection technologies and a single operating model for natural forests restrict the coordinated development of ecology and the economy. This study focuses on innovations in management and protection technologies and sustainable development pathways, proposing a key technology system encompassing dynamic monitoring, structural optimization, and pest and disease prevention and control. Combined with ecological restoration and industry integration strategies, it aims to construct a natural forest management model that balances ecological benefits and economic value, providing theoretical support for global forest resource conservation.

Keywords

natural forest ecosystem; management and protection technologies; sustainable development; ecological restoration; industry integration

天然林生态系统管护的关键技术与可持续发展研究

李永生

内蒙古巴彦淖尔市乌拉山林业管护中心，中国·内蒙古 巴彦淖尔 014409

摘要

全球气候变化与人类活动加剧导致天然林生态系统面临退化危机，生物多样性丧失、水土流失加剧等问题威胁生态安全。天然林作为陆地生态系统的核心，其生态服务功能对碳汇调节、水源涵养及物种保护具有不可替代性。当前，天然林管护技术滞后、经营模式单一等问题制约了生态与经济的协同发展。本研究聚焦管护技术创新与可持续发展路径，提出动态监测、结构优化、病虫害防控等关键技术体系，结合生态修复与产业融合策略，旨在构建兼顾生态效益与经济价值的天然林管理模式，为全球森林资源保护提供理论支撑。

关键词

天然林生态系统、管护技术、可持续发展、生态修复、产业融合

1 引言

天然林是地球生态系统的“基因库”，其复杂的群落结构与生物多样性为人类提供了气候调节、水土保持等关键生态服务。然而，过度采伐、单一经营及气候变化导致全球天然林面积锐减，生态系统服务功能退化。传统管护模式侧重木材生产，忽视生态完整性，导致天然林更新能力下降、生物多样性受损。在此背景下，如何通过技术创新实现天然林生态修复与可持续利用，成为林业发展的核心命题。本研究从动态监测、结构优化、病虫害防控、生态修复及产业融

合五方面展开，探索天然林管护与可持续发展的协同路径。

2 天然林生态系统管护的关键技术

2.1 动态监测技术：构建天然林保护的全维感知体系

现代信息技术为天然林监测提供了从宏观到微观的精准化工具，形成了覆盖天空、地表与地下的立体化监测网络。卫星遥感技术通过多光谱、高光谱影像分析，可实时捕捉森林覆盖变化、叶面积指数及植被类型分布，识别退化区域与生态异常点。地面物联网传感器则聚焦微观环境参数，部署于林冠层、土壤层及水体中的传感器网络，能持续采集温度、湿度、光照强度、二氧化碳浓度及土壤养分等数据。^[1]这些数据通过无线传输技术汇总至云端平台，形成动态数据库，为分析森林生态过程提供基础支撑。

【作者简介】李永生（1969—），副高级工程师，从事林业研究。

GPS 定位系统与无人机技术的结合，进一步提升了监测的时空分辨率。通过为护林员配备便携式 GPS 设备，可实时追踪人员活动轨迹，确保巡护范围全覆盖，同时记录非法采伐、火灾隐患等事件的位置信息。无人机搭载高清摄像头与热成像仪，能快速扫描大面积林区，识别枯死木、病虫害早期症状及非法入侵痕迹。这种“天-空-地”一体化的监测模式，不仅突破了传统人工巡护的效率瓶颈，更通过数据融合实现了对森林生态系统的全维度感知，为灾害预警、资源管理及经营决策提供了科学依据。

动态监测技术的核心价值在于其数据驱动的决策支持能力。通过长期积累的监测数据，可构建森林生态模型，模拟气候变化、人为干扰等因素对生态系统的影响。这些模型为制定适应性管理策略提供了量化依据，使天然林保护从经验驱动转向数据驱动，显著提升了管理的精准性与前瞻性。

2.2 森林结构优化技术：模拟自然演替的生态修复路径

森林结构优化技术以恢复天然林生态功能为目标，通过模拟自然演替规律调整林分结构，构建多层次、多物种的稳定群落。针对天然林老龄化问题，技术核心在于保留上层大径级木作为生态骨架，同时补植中层阔叶树与下层灌木，形成立体化的林冠结构。这种配置模式不仅增强了林冠层对降水的截留能力，减少地表径流冲刷，更通过不同层次植物的根系分布，促进了土壤养分的垂直循环。

在群落单一化修复中，结构优化技术强调乡土物种的引入与功能群配置。通过补植固氮植物（如胡枝子、紫穗槐），可改善退化土壤的氮素供应，为后续树种更新创造条件。同时，合理配置速生树种与慢生树种，形成短期与长期生态效益的平衡。这种分阶段、分层次的修复策略，既解决了退化林地的即时生态问题，又为长期生态演替奠定了基础。

间伐技术是结构优化的关键手段之一。通过选择性去除病弱木、过密木及抑制木，可优化林内光照与营养空间分配，促进保留木的生长与健康。例如，在密植林中，间伐可增加冠层透光率，激发下层植被更新；在受灾林中，去除枯死木可减少病虫害滋生风险。间伐强度与频率需根据林分状况动态调整，避免过度干预导致生态失衡。结构优化技术的最终目标是构建接近自然状态的森林群落，使其具备自我维持、自我更新的能力，从而在无需持续人工干预的情况下实现生态功能的持续发挥。

2.3 病虫害防控技术：生物与化学协同的绿色防控体系

病虫害防控技术以生态安全为核心，构建了生物防治为主、化学防控为辅的绿色防控体系。生物防治通过引入或保护天敌昆虫（如赤眼蜂、瓢虫），利用自然控制机制抑制害虫种群。例如，赤眼蜂可将卵产入松毛虫等鳞翅目害虫的卵内，通过寄生作用减少害虫数量，避免化学农药对非靶标生物的伤害。同时，保护林内鸟类、蜘蛛等天敌资源，形成

多层次的生物防控网络。这种以虫治虫、以鸟治虫的模式，不仅降低了化学污染风险，更通过维持生态平衡实现了长期防控效果。

化学防控则聚焦于精准施药与生物制剂应用。无人机喷洒技术通过变量施药系统，可根据病虫害分布密度调整药剂用量，避免过量使用导致的环境残留。生物制剂（如微生物农药、植物源农药）的推广，进一步减少了化学农药的依赖。例如，白僵菌可感染松毛虫等害虫，导致其死亡，且对环境无害。化学防控的精准化与绿色化，使其成为生物防治的有效补充，在病虫害爆发期快速控制疫情扩散。

病虫害预警系统是防控技术的前端保障。通过整合气候数据（如温度、湿度、降雨量）与病虫害发生历史，结合物种生态学模型，可预测病虫害爆发风险。例如，高温干旱条件可能诱发松毛虫大发生，系统可提前发布预警，指导针对性防控。隔离措施（如疫木焚烧、林分改造）则用于阻断传播链，防止疫情跨区域扩散。例如，针对松材线虫病，通过清除感染木并补植抗病树种，可有效控制病害蔓延。病虫害防控技术的核心在于“预防为主、综合治理”，通过生物、化学与管理的协同，实现病虫害的可持续控制，保障天然林生态系统的健康与稳定。

3 天然林生态修复与可持续经营策略

3.1 退化生态系统修复技术：自然演替与人工干预的协同机制

退化生态系统修复技术以恢复生态功能为核心，通过封育改造与人工辅助的结合，构建了适应不同退化程度的修复路径。针对水土流失严重区域，封育改造是首要策略，其核心在于通过禁止人为干扰（如放牧、采伐），为自然演替提供条件。自然演替过程中，先锋物种（如草本植物、灌木）首先入侵裸露地表，其根系网络快速固定土壤，减少地表径流冲刷；随后，耐阴树种逐渐取代先锋物种，形成多层林冠结构，进一步提升土壤持水能力与养分循环效率。^[2]这一过程无需持续人工投入，仅需通过法律或管理手段确保封育期内的生态保护，从而以最低成本实现生态系统的自我修复。然而，自然演替的速度与方向可能受限于退化程度与局部环境条件。在关键生境（如河岸带、山脊线）或重度退化区域，人工辅助成为必要补充。人工补植乡土树种是核心手段之一，乡土树种因长期适应本地气候与土壤条件，具有更高的存活率与生态兼容性。例如，在干旱区补植柠条、沙棘等耐旱灌木，其深根系可穿透硬质土层，吸收深层水分，同时通过落叶分解增加土壤有机质；在河岸带补植柳树、杨树等速生树种，其发达的根系可快速稳固河岸，减少水土流失。人工补植需遵循“适地适树”原则，避免引入外来物种导致的生态风险。

整地技术是人工辅助的另一关键环节。鱼鳞坑整地通过在坡面挖掘半月形坑穴，集蓄降水并减少地表径流，为植

物生长提供局部湿润环境。这种技术尤其适用于陡坡或土层瘠薄区域，可显著提高植物成活率。此外，秸秆覆盖、生物炭添加等措施可改善土壤结构，增加土壤孔隙度与保水能力，为自然演替创造更有利的条件。退化生态系统修复技术的成功依赖于自然演替与人工干预的精准匹配：在轻度退化区域，以封育为主，人工辅助为辅；在重度退化区域，则需强化人工补植与整地措施，加速生态恢复进程。最终目标是通过两者的协同，构建具备自我维持能力的稳定生态系统，实现生态功能与结构的长效恢复。

3.2 产业融合发展路径：生态保护与社区经济的共生模式

产业融合发展路径以天然林资源多元化利用为切入点，通过构建生态产业体系，实现生态保护与社区经济的协同发展。林下经济是核心方向之一，其通过立体化利用林下空间，发展中药材种植、食用菌培育等低干扰产业，显著提升土地利用效率。林下环境（如遮荫、湿度、土壤有机质）为许多药用植物与食用菌提供了适宜生长条件。这种模式不仅增加了林区经济收入，更通过减少对森林资源的直接依赖（如木材采伐），降低了生态破坏风险。^[3]

生态旅游与森林康养产业的兴起，则为天然林保护提供了更广阔的经济转化渠道。生态旅游通过开发徒步路线、观鸟基地、自然教育项目等，将森林生态价值转化为旅游收益。游客在体验自然美景的同时，增强了生态保护意识，形成“保护-体验-再保护”的良性循环。森林康养则进一步挖掘森林的疗愈功能，通过森林浴、冥想空间等设计，满足城市人群对健康生活的需求。这类产业对环境干扰极低，且能通过门票、服务收费等直接为社区创造收益，同时带动周

边民宿、餐饮等配套产业发展，形成多元化收入结构。

产业融合的关键在于建立“生态保护-产业发展-社区受益”的利益共享机制。社区作为天然林保护的直接参与者，需通过产业融入获得经济激励，从而主动参与生态保护。政策层面需通过生态补偿、税收优惠等措施，确保产业收益反哺生态保护，避免因过度开发导致生态退化。产业融合发展路径的本质是重构人与自然的关系：通过将生态资源转化为经济资本，使社区从“生态破坏者”转变为“生态保护者”，最终实现天然林保护的社会化与可持续化。这种模式不仅解决了生态保护的资金与动力问题，更为乡村振兴提供了绿色发展范式。

4 结论

天然林生态系统管护与可持续发展需技术、政策与社区协同推进。动态监测、结构优化及病虫害防控技术为生态修复提供了科学手段；产业融合与政策保障则构建了经济与生态的双赢格局。未来，应加强跨学科研究，推动天然林管护向智能化、精准化方向发展，同时完善社区参与机制，确保天然林保护成果惠及全社会。唯有如此，方能实现“青山常在、永续利用”的绿色发展目标。

参考文献

- [1] 刘禹,赵邵松,贾丹,王怀宇.浅谈林业生态工程技术在天然林经营中的运用[J].现代园艺,2021(13): 183-185.
- [2] 赵彦龙.林业生态工程技术在天然林经营中的应用实践[J].河南农业,2023(23): 36-38.
- [3] 孙鹤.天然林资源保护工程中森林管护的问题探究[J].现代园艺,2019(10): 220-221.