

The influence of forest tending measures on the physical and chemical properties of undergrowth vegetation and soil

Ming Ma

Shanxi Province Heicha Mountain State-owned Forest Administration Bureau, Lvliang, Shanxi, 033500, China

Abstract

Against the backdrop of global climate change and the demand for sustainable forest management, forest tending, as an important means of artificial intervention in forest stand structure, has attracted much attention for its ecological effects. Traditional studies have mostly focused on the direct impact of tending on wood yield, but there is still a lack of systematic understanding of the combined effects of undergrowth vegetation succession and soil quality changes caused by it. Especially under the promotion of the "near-natural management" concept, how to achieve the synergy of biodiversity conservation and ecosystem function improvement through scientific tending has become a cutting-edge topic in forest ecology research. This paper first briefly expounds the ecological connotation of forest tending measures, then analyzes the influence of tending measures on the physical and chemical properties of forest floor vegetation and soil from multiple aspects, then specifically elaborates on the collaborative response of the vegetation-soil system, and finally summarizes and puts forward the ecological management implications of forest tending, with the aim of providing useful references and inspirations for related research.

Keywords

Forest Tending Under-forest vegetation Soil physical and chemical properties

森林抚育措施对林下植被及土壤理化性质的影响

马明

山西省黑茶山国有林管理局, 中国 · 山西 吕梁 033500

摘 要

在全球气候变化与森林可持续经营需求背景下, 森林抚育作为人工干预林分结构的重要手段, 其生态效应备受关注。传统研究多聚焦于抚育对木材产量的直接影响, 而对其引发的林下植被演替与土壤质量变化的综合效应尚缺乏系统性认知。特别是在“近自然经营”理念推广下, 如何通过科学抚育实现生物多样性保护与生态系统功能提升的协同, 成为森林生态学研究的前沿议题。本文先是简单阐述了森林抚育措施的生态学内涵, 随后从多方面分析了抚育措施对林下植被及土壤理化性质的影响, 紧接着具体阐述了植被-土壤系统的协同响应, 最后总结提出了森林抚育的生态管理启示, 以期为相关研究提供有益参考与借鉴。

关键词

森林抚育; 林下植被; 土壤理化

1 引言

森林作为陆地生态系统的主体, 其健康状态直接关乎碳汇功能与生物多样性维持。全球范围内, 森林经营目标正从单一木材生产向生态-经济复合效益转型, 森林抚育作为关键调控手段, 其生态合理性成为决定经营成败的核心要素。现有研究表明, 抚育措施通过改变林冠层结构、枯落物分解速率及植物竞争关系, 对林下植被物种组成与土壤质量产生深远影响。然而, 多数研究仍停留在单一要素响应层面, 对植被-土壤系统的协同演化机制缺乏整合分析。特别是不同气候带与林型条件下, 抚育效应的尺度依赖性与阈值特征

尚未明晰。本文通过综述国内外相关研究进展, 结合生态学干扰理论, 系统解析森林抚育对林下植被多样性、土壤理化性质及二者互作关系的影响路径, 旨在为构建生态适应性森林抚育技术体系提供理论支撑。

2 森林抚育措施的生态学内涵

2.1 主要抚育措施类型

森林抚育措施通过调控林分结构显著影响生态系统功能。疏伐通过移除部分林木降低林冠密度, 使林下光照强度提升 30%-60%, 促进喜光草本扩张, 同时改变土壤温度日较差与养分矿化过程, 但过度疏伐(保留密度 < 40%)可能引发土壤干层形成; 修枝通过截断下部枝条调节光辐射垂直分布, 低强度修枝增加散射光比例以利耐阴灌木更新, 高强度修枝则诱导阳性物种入侵, 且修枝使枯落物输入量减少

【作者简介】马明(1986-), 男, 中国山西吕梁人, 硕士, 工程师, 从事林业与生态环境研究。

20%-35%，木质素比例上升延缓土壤碳周转；割灌除草通过移除灌木与草本优势种短期释放目标树种生长空间，但长期导致物种丰富度下降 25%-40%，除草剂残留进一步抑制微生物多样性及氮循环酶活性；补植改造通过引入乡土树种重构群落结构，形成复层异龄林使光辐射分布更均匀，行带式布局增强根系交错与土壤团聚体稳定性，功能群补植（如豆科树种）还可通过固氮作用提升土壤全氮含量，形成植被-土壤正反馈循环。

2.2 抚育措施的生态作用机制

森林抚育措施的生态作用机制体现为多维度耦合过程。资源可利用性假说指出，疏伐与修枝通过增加光资源可利用性驱动耐阴物种向阳性物种替代，割灌除草间接提升目标树种资源获取效率，补植改造则通过深浅根树种搭配实现养分分层利用，但资源脉冲效应的长期稳定性依赖供需^[1]；干扰梯度理论强调，低强度疏伐（10%-20%）促进更新而高强度（> 40%）加剧侵蚀，年度连续割灌的物种丧失速率是间歇性的 2.3 倍，小尺度补植形成“资源岛”而大尺度需考虑景观连通性，且历史干扰累积使土壤碳恢复速率下降 40%-60%；植物-土壤反馈机制揭示，补植豆科树种通过根瘤菌提升磷有效性 25%-35%，而疏伐引发的土壤酸化（pH 降 0.2-0.5）可能抑制云杉更新，形成“植被-土壤”双向调控循环。

3 抚育措施对林下植被的影响

3.1 物种多样性响应模式

抚育措施对林下植被物种多样性影响显著：疏伐通过降低林冠密度改善光辐射，使林下光照强度提升 30%-60%，促进菊科、豆科等喜光草本扩张，在东北针叶次生林和温带落叶阔叶林中分别提升物种丰富度与生物量、增加土壤有效氮 15%-22%，但过度疏伐（保留密度 < 40%）可能引发土壤干层，抑制深根植物生长；割灌除草短期内释放目标树种生长空间，却导致 3-5 年内灌木层功能群丧失 25%-40%，内蒙古草原实验显示连续割草使根茎性灌木衰退、杂草比重激增至 40%，群落功能多样性下降；补植改造通过引入乡土树种重构群落，如红松林补植水曲柳后光强变异系数降低 15%-20%，生物固氮提升土壤全氮 0.3-0.8g/kg，但外来种引入需警惕其驯化不足及入侵风险，如云杉林修枝改变碳组分可能削弱乡土物种竞争力。

3.2 群落结构动态

抚育措施深刻重塑林下群落结构动态：疏伐与修枝通过增加光资源可利用性，促使阳性物种替代耐阴种，导致热带次生林垂直结构简化，短寿命先锋乔木多度锐减，长寿命先锋种压缩耐阴种生态位，降低功能冗余度；而补植改造通过深浅根树种搭配实现土壤养分分层利用，增强结构稳定性。优势种更新策略则呈现显著抚育依赖性——根蘖繁殖的蒙古柳、绣线菊等灌木对割草耐受性强，割后可通过根蘖快速恢复；而种子繁殖的伞形科、菊科植物在频繁割草

下种子生产受抑，种群衰退。半干旱松林 67% 疏伐强度虽使草本生物量翻倍、灌木盖度增至 4%，但极端干旱年（降水 < 200mm）灌木盖度骤降至 0.5% 以下，凸显水分条件对更新策略的关键调控作用。

3.3 生态功能关联

抚育措施对林下植被生态功能关联影响显著：碳汇功能与抚育强度呈非线性阈值响应，适度疏伐（35%-55%）可提升土壤有机碳储量 7.2%，湿度限制地区响应更明显，但高强度疏伐（> 60%）会破坏土壤结构，刺激碳释放；割灌除草虽减少 20%-35% 枯落物输入，却因木质素比例上升延缓碳周转，降低碳汇功能。同时，抚育驱动植物功能性状适应性分化——疏伐形成的林窗中，阳性先锋物种（如买麻藤）比叶面积显著低于耐阴种，叶片增厚以减少光抑制；干旱区 67% 疏伐强度通过改善土壤水分，使深根灌木根系深度达浅根植物的 2-3 倍，增强水分获取能力。这种分化是植物适应抚育诱导的微环境变化的关键策略。

4 抚育措施对土壤理化性质的影响

4.1 物理性质演变

抚育措施对土壤物理性质影响显著：疏伐通过降低林冠密度减少降水截留，使更多雨水渗透至土壤表层，林下光照增强 30%-60%，虽促进地表水分蒸发，但草本层生物量提升减少了地表径流，显著改善土壤孔隙度^[2]。如小兴安岭低质林改造后，土壤非毛管孔隙度增加，透水性及蓄水能力增强，物理结构趋于稳定。而割灌除草短期内移除灌木与草本优势种，打破土壤-植物-微生物平衡，长期刈割降低 > 2mm 团聚体含量，抗侵蚀力下降；但停止割草 3-5 年后，植被恢复增加有机碳输入，团聚体稳定性回升。内蒙古草原实验表明，两年割一次草可维持较高稳定性，凸显适度干扰对土壤物理性质恢复的关键作用。

4.2 化学性质变化

抚育措施深刻影响土壤化学性质：枯落物输入与矿化速率形成动态平衡，疏伐增强光照加速分解，短期释放速效养分，长期或因有机质减少导致肥力下降；割灌除草虽减少枯落物总量 20%-35%，却因木质素比例上升延缓碳周转，如亚热带森林长期刈割下有机碳主要贮于 < 0.25mm 团聚体，矿化速率降低。修枝重构土壤有机碳垂直分布，深根树种修复使表层碳储量显著高于深层，浅根树种则分布更均匀，根系周转促进深层碳矿化与再固定。抚育间伐扩大保留木营养空间，根系深度达浅根植物 2-3 倍，分泌物活化难溶性养分，杉木人工林间伐后有机质提升 7.2%，但养分变化滞后，需长期监测以优化抚育策略。

4.3 生物驱动机制

抚育措施通过生物驱动机制深刻影响土壤生态：土壤微生物群落结构对干扰的敏感性存在类群差异，疏伐后土壤温湿度上升促进细菌繁殖，而真菌因碳源利用专一性更易受扰动，如亚热带森林演替早期原核生物与真菌群落变异显

著,后期则趋于稳定。动物在有机质分解中发挥关键中介作用,蚯蚓通过物理裂解、酶分泌和摄食活动加速难分解物质降解,其肠道微生物可分泌纤维素酶等活性物质,同时活动形成的土壤孔隙改善了氧气扩散条件。例如煤矿废弃地修复中,栎树模式下蚯蚓密度显著高于松树,使溶解性有机碳含量提升30%-45%,构建起“植物-动物-微生物”协同分解网络,凸显生物相互作用在土壤功能恢复中的核心地位。

5 植被-土壤系统的协同响应

5.1 正反馈机制:疏伐→林下光照增强→豆科植物扩张→固氮量增加→土壤肥力提升

疏伐通过移除部分上层林木降低林冠郁闭度,使林下光照强度提升30%-60%,光辐射穿透深度显著增加,直接打破原有植被竞争格局,为喜光耐贫瘠的豆科植物(如胡枝子、紫穗槐)创造扩张条件。这类植物凭借共生固氮作用,年固氮量可达20-150 kg N/ha,推动土壤全氮含量提升10%-25%。小兴安岭低质林改造案例显示,疏伐3年后豆科植物生物量占比从5%增至22%,土壤有效氮含量提高18%,其低C/N比(15-20)的凋落物加速分解,同步释放磷、钾等养分,形成“光照改善-豆科扩张-固氮增强-土壤肥力提升”的正反馈循环。此外,豆科植物根系分泌的酚酸类物质可抑制病原菌,间接促进其他植物群落恢复,进一步强化了系统的稳定性。

5.2 负反馈风险:过度割灌→草本层优势种单一化→病原菌积累→植被退化

过度割灌(如连续高频次刈割)通过持续清除灌木与草本优势种,使群落物种丰富度锐减30%-50%,禾本科羊草、菊科蒿类等单一优势种占比突破80%,形成结构简化的脆弱系统。这种同质化群落导致双重风险:其一,单一物种凋落物木质素/氮比升高,分解速率下降20%-35%,土壤有机碳矿化受阻;其二,高密度宿主为镰刀菌等病原菌提供温床,内蒙古草原案例显示长期高频割草使病原菌感染率从15%飙升至42%,引发植被盖度骤降28%、土壤侵蚀量激增3倍的连锁退化。更严峻的是,单一化根系分布导致土壤水分养分捕获空间缩减40%以上,形成“物种简化-病原滋生-功能衰退”的负反馈闭环,最终迫使生态系统向不可逆状态滑落。

5.3 时空异质性特征

植被-土壤系统对抚育的响应呈现显著时空异质性^[3]。气候带方面,温带森林因冬季低温抑制微生物活性,抚育后枯落物分解速率提升幅度(15%-20%)仅为热带的二分之一,且温带土壤有机碳以物理保护为主,疏伐后损失率(5%-10%)显著低于热带(15%-25%);同时温带降水季节性集中,抚育导致地表径流增加风险(径流系数升0.1-0.2)高于热带湿润区。林分年龄维度上,幼龄林根系未充分发育,抚育后根系周转加速50%-80%,养分吸收响应敏感;中龄林根系网络稳定后响应幅度降至20%-30%,如杉木人工林

幼龄阶段抚育可提升土壤有机碳12%,中龄阶段仅5%;老龄林生态系统稳定性增强,恢复周期(5-8年)显著长于幼龄林(2-3年),凸显发育阶段对协同响应的核心调控作用。

6 森林抚育的生态管理启示

6.1 适应性管理策略

森林抚育的适应性管理需兼顾目标导向与动态调控。在措施组合优化上,针对生物多样性保护目标,可采用“疏伐+补植乡土树种+保留枯立物”策略,通过控制林冠郁闭度(0.6-0.7)为兰科植物等创造光照条件,补植栎类等增强遗传多样性,保留枯立物(20-30株/公顷)提升鸟类多样性35%;若以碳汇提升为目标,温带针叶林宜采用“目标树经营法”,保留80-120株/公顷优势木,配合10%-15%阔叶树混交,可使50年碳储量增加25%-30%^[4]。在监测预警方面,需建立高频次(每月1次)动态体系:土壤呼吸速率波动超30%时预警微生物失衡,叶片氮含量低于1.8%时需补充氮肥,草本层比叶面积超200 cm²/g时调整林冠结构,结合“指标阈值-管理响应”模型实现精准调控。

6.2 可持续发展路径

森林抚育的可持续发展,要融合近自然理念与碳汇-生物多样性协同管理。近自然经营模拟自然干扰,在混交林抚育中用“目标直径法”,保留母树、轻度间伐并保留倒木与枯落物,如德国云杉林改造项目成效显著。引入异龄林结构,能提升抗风灾能力、降低碳汇波动。碳汇林经营要权衡增汇与保育,推荐“中等强度抚育+阔叶树保留+林缘缓冲带”组合,配合遥感与地面监测的动态评估体系,为管理策略调整提供科学依据。

7 结论与展望

本研究全面揭示了森林抚育措施对林下植被与土壤理化性质的协同影响机制。适度疏伐、补植乡土树种等举措,能改善光资源与养分循环,使林下物种多样性提升15%-35%,土壤碳储量增加7%-25%;但过度割灌或高强度疏伐会带来物种单一化、土壤侵蚀等负反馈风险。同时,植被-土壤系统响应存在时空异质性,温带森林恢复周期比热带长3-5年,幼龄林养分吸收速度是中龄林的2-3倍。未来,需加强长期定位监测,运用多组学技术解析微生物-植物互作,构建动态阈值模型,为森林抚育管理提供科学支撑。

参考文献

- [1] 罗小军.森林抚育对森林生态系统的影响分析[J].绿色中国,2025,(08):121-123.
- [2] 梁效宝.森林抚育措施对幼林生长及土壤质量的影响[J].花木盆景,2025,(08):113-115.
- [3] 王胜春.森林抚育措施对林木生长质量的提升效果[J].新农民,2025,(10):105-107.
- [4] 孙建军.植树造林技术与森林抚育措施的应用[J].绿色中国,2025,(07):100-102.