

公益林冠层结构优化对水源涵养功能的提升效应

杨海东

贵阳市天然林和公益林保护修复中心 贵州贵阳

【摘要】公益林冠层结构通过调控降水分配、拦截缓冲及微环境调节，直接影响水源涵养功能的发挥。冠层郁闭度、叶面积指数、垂直分层等结构参数的不合理配置，会降低降水截留效率，加剧地表径流与土壤侵蚀。通过科学修剪、树种混交配置等优化措施，可调整冠层的空间异质性，增强对降水的分层拦截能力，延长雨水在冠层的滞留时间，促进水分入渗。同时，优化后的冠层能改善林下光照与湿度条件，提升枯落物分解速率和土壤持水性能，形成“冠层-枯落物-土壤”协同作用的水源涵养体系，为区域水资源安全提供生态保障。

【关键词】公益林；冠层结构；结构优化；水源涵养；降水截留

【收稿日期】2025 年 6 月 13 日

【出刊日期】2025 年 7 月 11 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250324

The promoting effect of canopy structure optimization of public welfare forests on water conservation function

Haidong Yang

Guiyang Natural Forest and Public Welfare Forest Protection and Restoration Center, Guiyang, Guizhou

【Abstract】The canopy structure of public welfare forests directly affects the performance of water conservation functions by regulating precipitation distribution, interception and buffering, and microenvironment adjustment. Unreasonable configuration of structural parameters such as canopy closure, leaf area index, and vertical stratification will reduce precipitation interception efficiency and aggravate surface runoff and soil erosion. Through optimization measures such as scientific pruning and mixed tree species configuration, the spatial heterogeneity of the canopy can be adjusted, the ability of hierarchical interception of precipitation can be enhanced, the retention time of rainwater in the canopy can be prolonged, and water infiltration can be promoted. At the same time, the optimized canopy can improve the understory light and humidity conditions, increase the decomposition rate of litter and the water-holding capacity of soil, forming a "canopy-litter-soil" synergistic water conservation system, which provides an ecological guarantee for regional water resource security.

【Keywords】Public welfare forest; Canopy structure; Structural optimization; Water conservation; Precipitation interception

引言

公益林作为重要的生态屏障，其水源涵养功能直接关系到流域水资源的稳定与安全。而冠层作为森林与大气交互的第一道界面，对降水的分配与转化起着决定性作用。当前，部分公益林因冠层结构单一、郁闭度过高或分层紊乱，导致降水截留能力不足，水源涵养效能难以充分发挥。如何通过冠层结构优化释放公益林的生态潜力，成为提升区域水文调节功能的关键课题，这不仅关乎生态系统的稳定性，更与人类生产生活的水资源保障密切相关。

1 公益林冠层结构现状及对水源涵养功能的制约因素

公益林冠层结构现状呈现显著的区域差异性与结构均一化特征。人工纯林主导的公益林区，冠层垂直分层单一，多表现为单层郁闭结构，高大乔木占据绝对优势，缺乏亚乔木与灌木层的有效补充，导致冠层垂直空间利用率低下^[1]。天然更新的公益林则常因缺乏科学管护，出现冠层郁闭度过高或过低的两极分化，部分区域因林木自然竞争形成“顶极优势”，冠层顶部密集而中下层稀疏，另一部分则因干扰频繁呈现破碎化分布，冠层覆盖不连续。

冠层结构参数的不合理配置直接制约水源涵养功能的发挥。郁闭度失衡是普遍存在的问题，过高的郁闭度使林下光照不足，导致下层植被枯萎，枯落物输入量

减少且分解缓慢,降低了林下地被层的持水能力;而过低的郁闭度则无法有效拦截降水,使大量雨水直接冲击地表,加剧土壤侵蚀^[2]。叶面积指数的空间分布不均进一步放大这种影响,在指数过高的局部区域,叶片重叠导致降水截留饱和后产生集中滴落,形成“穿冠雨”,其动能较自然降水更大,对地表的冲刷作用更强;指数过低区域则截留量不足,地表径流系数升高。冠层水平结构的连续性缺失破坏了降水拦截的整体性。林分密度分布不均形成的冠层空隙,使局部区域成为降水直接入渗的“通道”,这些区域的地表因缺乏冠层保护,易形成径流汇集带,加速水分流失。树种组成单一导致的冠层物候同步性,使截留能力随季节变化呈现剧烈波动,落叶阔叶纯林在冬季因叶片脱落,冠层截留功能几乎丧失,而常绿针叶纯林则因叶片结构单一,对不同强度降水的适应性较差,暴雨时截留效率骤降。垂直分层紊乱阻碍了降水的分层缓冲过程。缺乏灌木层与草本层的支撑,使冠层拦截的降水直接落至地表,中间缺失缓冲环节,导致地表承受的冲击力增大。部分公益林因乔木层过度拥挤,下层植被被抑制,形成“空心化”冠层结构,雨水在冠层内的滞留时间缩短,入渗率降低^[3]。这种结构还会导致林下微环境恶化,空气湿度偏低,枯落物分解速率减慢,土壤孔隙度减少,进一步削弱整个生态系统的持水能力。

人为干扰导致的冠层结构退化加剧了功能制约。不合理的采伐方式造成冠层完整性破坏,择伐后残留的林分因冠层空隙过大,形成局部水文功能薄弱区;过度抚育则使冠层结构趋于简单化,降低了其应对极端降水的弹性。此外,外来物种入侵改变了原有冠层组成,部分入侵物种的叶片结构不利于降水截留,且其快速扩张挤压本土树种生存空间,导致冠层整体截留效能下降^[4]。这些现状共同构成了制约公益林水源涵养功能的结构性障碍,亟需通过科学优化措施加以改善。

2 基于水源涵养目标的公益林冠层结构优化技术路径

基于水源涵养目标的公益林冠层结构优化需构建多维度技术体系,通过树种配置、结构参数调控与辅助管理的协同作用,实现冠层水文功能的最大化。树种混交模式的优化是提升冠层截留效能的基础,需根据区域降水特征与土壤条件,构建常绿与落叶树种的合理配比^[5]。在多雨地区,增加针叶树种比例以利用其表面积大、表面绒毛丰富的特性提升截留量,同时搭配阔叶树种调节枯落物分解速率;干旱半干旱区域则侧重常绿阔叶树种的选择,通过厚革质叶片减少蒸腾损耗,兼

顾截留与保水功能。引入深根性与浅根性树种的垂直搭配,可优化冠层垂直空间分布,避免单一树种竞争导致的分层缺失,形成“高大乔木-亚乔木-灌木-草本”的复层结构,延长降水在冠层内的滞留路径^[6]。

冠层结构参数的精准调控需依托定量监测数据。郁闭度的优化需结合林分类型动态调整,针阔混交林的郁闭度宜控制在合理区间,既保证上层乔木的截留空间,又为下层植被保留充足光照,促进林下枯落物的积累与分解。叶面积指数的空间异质性调控通过间伐强度实现,对指数过高的密集区域采用选择性疏伐,移除生长衰弱的个体以减少叶片重叠,降低“穿冠雨”的形成概率;对指数过低的稀疏区域实施补植,选用速生树种快速填充冠层空隙,提升整体截留能力。冠层垂直分层的优化需通过抚育措施实现,针对“空心化”结构,清除乔木层中过度竞争的个体,为亚乔木与灌木层预留生长空间,同时人工种植耐阴灌木物种,增强中层拦截能力,形成降水的多层缓冲系统。水平结构的连续性修复需结合景观生态学原理。在冠层空隙区域实施“填空式”补植,选用与周边树种生态位互补的物种,避免新植个体与原有林分产生资源竞争,逐步消除降水直接入渗的“通道”。构建冠层廊道连接破碎化林分,通过带状种植乡土树种,减少林缘效应对冠层连续性的破坏,增强大范围降水拦截的整体性。针对树种物候同步性问题,采用落叶与常绿树种的交错配置,在保持冬季基本截留能力的同时,避免夏季因叶片集中脱落导致的功能波动,实现全年水源涵养功能的稳定。

智能化监测技术为动态优化提供支撑。部署冠层分析仪与雨量传感器,实时监测不同层次的截留量与穿透雨强度,结合数据分析模型评估结构参数的合理性,为后续调整提供依据。无人机遥感技术用于大范围冠层结构,识别郁闭度异常区域与结构缺陷,指导精准补植与疏伐。建立基于水文模型的模拟系统,预测不同优化方案对水源涵养功能的提升效果,提前规避结构调整可能带来的生态风险,确保技术路径的科学性与可持续性。这些技术的协同应用,可实现公益林冠层结构从“自然形成”向“定向优化”的转变,充分释放其水源涵养潜力。

3 冠层结构优化对水源涵养功能的提升效应及评估方法

冠层结构优化对水源涵养功能的提升效应体现在降水分配、土壤水文调节及生态系统稳定性多个维度。优化后的复层冠层通过垂直空间的分层拦截,显著提升降水截留总量,上层高大乔木拦截高强度降水的初

始部分, 中层亚乔木与灌木承接穿透雨并延缓其下落速度, 下层草本与枯落物层最终消纳剩余动能, 形成“多层过滤”系统。这种结构使单位面积冠层的截留量较单一结构提升, 同时减少“穿冠雨”对地表的直接冲击, 地表径流系数降低, 雨水入渗时间延长, 土壤含水量增幅明显。

叶面积指数的合理分布增强了冠层对降水的缓冲能力, 指数过高区域经疏伐后, 叶片重叠现象减少, 截留饱和点后移, 避免集中滴落形成的冲刷; 指数过低区域通过补植, 截留缺口被填补, 整体截留效率的空间均一性提升。水平结构的连续性修复消除了降水入渗的“通道效应”, 冠层空隙的填充使降水在林分内部均匀分配, 减少局部径流汇集, 流域尺度的洪峰流量峰值降低, 枯水期径流量则因土壤储水能力增强而保持稳定^[7]。树种混交优化后的冠层物候互补性, 使不同季节的截留能力维持在合理水平, 常绿与落叶树种的搭配避免了冬季截留功能的骤降, 全年水源涵养功能的波动性减弱, 生态系统对水文过程的调节更趋稳定。生态系统层面的评估引入景观水文模型, 如 SWAT (土壤和水资源评估工具), 将冠层结构参数作为输入变量, 模拟流域尺度的径流过程、洪峰延迟时间等, 评估优化措施对整体水文调节的贡献。遥感技术用于大范围冠层结构与水源涵养功能的关联分析, 通过无人机激光雷达 (LiDAR) 获取冠层高度、郁闭度等三维参数, 结合卫星降水数据反演区域截留总量, 实现宏观尺度的效应评估^[8]。

评估方法需结合直接观测与模型模拟构建多指标体系。野外实测聚焦关键水文过程, 采用雨量筒分层布设法, 在冠层上、中、下层及地表分别监测截留量、穿透雨量与地表径流量, 计算截留率、入渗率等参数量化提升效应。土壤水分监测通过时域反射仪 (TDR) 或频域反射仪 (FDR) 实现, 定期采集不同深度的土壤含水量数据, 分析优化前后的储水变化。长期监测体系的建立是验证效应持续性的关键, 设置固定监测样地, 定期采集冠层结构参数与水文数据, 分析优化措施的长期影响, 区分自然波动与人为优化的效应差异。评估指标体系需涵盖截留量、径流系数、土壤储水量、枯落物持水量等核心参数, 通过对比分析与显著性检验, 科学量

化冠层结构优化对水源涵养功能的提升幅度, 为公益林管理提供数据支撑。

4 结语

公益林冠层结构优化是提升水源涵养功能的有效途径, 通过改善冠层的空间配置与结构参数, 可增强降水拦截、促进水分入渗, 形成多层次的水文调节体系。实践表明, 科学的优化措施能显著提升公益林的水源涵养效能, 为流域水资源安全提供支撑。未来需结合区域环境特征, 进一步细化优化方案, 建立动态监测与适应性管理机制, 推动公益林生态功能的持续提升。

参考文献

- [1] 许益燃,唐娟娟,库伟鹏.2010-2018 年淳安县公益林乔木层结构变化特征探究[J].现代园艺,2021,44(14):146-149.
- [2] 温林生,邓文平,钟流,等.江西省公益林枯落物层和土壤层水源涵养功能评价[J].中国水土保持科学(中英文), 2022, 20(03):35-43.
- [3] 刘效东,张卫强,冯英杰,等.森林生态系统水源涵养功能研究进展与展望[J].生态学杂志,2022,41(04):784-791.
- [4] 董辉,严朝东,苏纯兰,等.东莞 5 种生态公益林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2021,35(05):144-149+160.
- [5] 陈笑.祁连山东部人工林林分结构对林地持水性能的影响[D].北京林业大学,2023.
- [6] 杨金远.莆田市生态公益林结构布局优化对策[J].林草政策研究,2023,3(04):43-48.
- [7] 刘慧婷.湖南省公益林不同植被类型生物量空间格局及其驱动因素[D].中南林业科技大学,2023.
- [8] 孙琴,闫睿,范琳,等.库布齐沙漠生态公益林建设成效与对策——以鄂尔多斯市造林总场为例[J].林业科技通讯, 2025,(01):39-42.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

