

东秦岭地区植被提质增效与生态产品价值实现 ——以南水北调中线水源地为例

许小明

商洛学院城乡规划与建筑工程学院, 陕西 商洛 726000

DOI:10.61369/SE.2026070038

摘 要 : 东秦岭丹江上游流域是南水北调中线核心水源地与重要生态安全屏障。该研究以农地为对照,对油松、栓皮栎等6类典型恢复植被开展野外观测,从土壤团聚体稳定性、枯落物—土壤层水文功能、生态系统固碳效应三方面,解析植被恢复综合生态服务效能。结果表明不同林分生态服务差异显著,油松—栓皮栎混交林改良土壤结构、改善深层土壤综合优势明显;土壤为主要碳汇载体,碳密度表现为土壤层>植被层>枯落物层;固碳能力随林龄呈阶段变化,中、近熟林更高,且存在阴阳坡分异。未来应推动植被恢复由“数量增绿”转向提质增效,统筹水源涵养、水土保持与碳汇增值,健全相关管护与转化机制,实现增绿固碳保水富民协同,为守护南水北调水源提供决策支撑。

关 键 词 : 东秦岭; 植被恢复; 生态产品价值; 南水北调水源地

Improvement-oriented Vegetation Restoration and Realization of Ecological Product Value in the Eastern Qinling Mountains—A Case Study of the Water Source Area of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project

Xu Xiaoming

School of Urban and Rural Planning and Architectural Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000

Abstract : The upper Danjiang River basin in the Eastern Qinling Mountains serves as the core water source and a vital ecological security barrier for the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project. Taking farmland as the control, this study conducted field observations on six typical restored vegetation types including *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis*. The comprehensive ecosystem service capacity of vegetation restoration was analyzed from three dimensions: soil aggregate stability, hydrological functions of litter-soil layer, and ecosystem carbon sequestration effect. The results show that ecosystem services vary greatly among different forest stands. The mixed forest of *Pinus tabulaeformis*-*Quercus variabilis* exhibits prominent comprehensive advantages in improving soil structure and deep-layer soil properties. Soil acts as the major carbon sink carrier, with carbon density ranked as soil layer > vegetation layer > litter layer. Carbon sequestration capacity changes in phases with forest age, being higher in middle-aged and near-mature forests, and differs between sunny and shady slopes. In future, vegetation restoration should shift from "quantitative greening" to quality and efficiency improvement. Water conservation, soil water retention and carbon sink increment should be coordinated. Relevant management and value transformation mechanisms need to be perfected to realize the synergy of green expansion, carbon sequestration, water protection and local prosperity, so as to provide decision-making support for protecting the water source of the South-to-North Water Diversion Project.

Keywords : Eastern Qinling Mountains; vegetation restoration; ecological product value; water source area of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project

引言

秦岭和合南北、泽被天下,是我国重要的生态安全屏障和中央水塔,承担着水源涵养^[1]、水土保持、固碳释氧等多重战略功能^[2]。东秦岭丹江上游流域地处秦岭南麓,是南水北调中线工程的核心水源地,境内水系发达,丹江及其支流直接关系到华北地区数亿人的用水

基金项目: 2026年度陕西省哲学社会科学专项青年项目(2026QN0484)“秦岭生态功能区‘双碳’目标下商洛市生态产品价值实现的路径与对策研究”。

作者简介: 许小明,男,山西广灵人,博士研究生,副教授,研究方向:植被恢复的碳汇效应评价。

安全^[3]。近年来，随着国家退耕还林还草、天然林保护等重大生态工程的持续实施，秦岭区域植被覆盖度显著提升，商洛市森林覆盖率已提高至70%左右，植被恢复取得了巨大成效，区域生态系统整体向好^[4]。

然而，东秦岭山地土层浅薄、地形破碎、降雨集中，土壤侵蚀和水土流失问题仍然突出，不同人工恢复林分的土壤改良、调蓄洪水、固碳储碳能力参差不齐。部分纯林存在土壤亚层板结、深层改良不足、枯落物归还缓慢等现实短板。单纯追求造林面积、以森林覆盖率论英雄的粗放模式，已经不能完全匹配水源地高质量生态保护的时代需求。如何在“增绿”的基础上实现“提质增效”，统筹水源涵养、水土保持与碳汇增值多重目标，成为秦岭生态保护治理必须回答的现实课题。

本研究对东秦岭地区油松、栓皮栎、油松—栓皮栎混交林、侧柏、刺槐和撂荒草地6类典型恢复植被开展系统野外观测，综合运用土壤团聚体稳定性分析、枯落物—土壤层水文功能评价与生态系统碳密度核算等方法，从自然科学实证出发，聚焦其背后的政策意涵与治理价值，尝试为东秦岭水源地植被恢复由“数量扩张‘转向’质量提升、功能优化”提供对策思考。

一、东秦岭植被恢复的实证认知：林分类型决定综合服务效能

（一）混交林综合生态服务优势突出，单一纯林功能短板明显

6类典型恢复植被野外监测表明，不同林分生态服务效能差异明显。土壤结构稳定性上，油松—栓皮栎混交林0–40cm土层 $\geq 1\text{mm}$ 水稳性大团聚体占比、平均质量直径均最高，优于纯林与农地，根系与有机质输入利于深层大团聚体发育稳定^[5]。部分人工纯林存在短板，侧柏表层孔隙较好，但下层易板结，深层入渗不足，水源涵养综合效能有限；部分针叶纯林枯落物分解缓慢，有机质归还少，长期制约土壤碳库与抗蚀能力。树种与林分结构直接决定水土保持、洪水调蓄和土壤改良成效。不同树种各有所长，侧柏、栓皮栎固碳总量突出；混交林与侧柏利于改良深层土壤；刺槐、油松综合水文功能占优^[6]。这种功能分异说明治理应因地制宜，实施多元林分配置。

（二）土壤生态功能呈现“表层优先、深层递进”的规律

植被恢复对土壤的改善是分层递进的动态过程。秦岭山地各类恢复林地普遍

优先改善0–5cm表层土壤：表层容重下降、孔隙度提升、大团聚体富集、有机质输入充分；但20–40cm下层土壤改良难度更大。混交林和深根型树种可以通过粗根生物量的输入，带动下层土壤团聚体形成，实现更深层次土壤改良；而部分浅根树种仅能改良表层，下层土壤结构改善有限，在遭遇极端暴雨时仍存在滑坡、水土流失的风险和垮塌灾害事件^[7]。研究发现，土壤团聚体的稳定性是连接植被恢复、根系输入、有机质积累的关键中介，枯落物和根系生物量并非直接作用于水文与碳汇，而是通过土壤有机质、团聚体稳定性这条中介路径发挥效应。因此，生态环境治理评估不能只看地表植被盖度，更要关注地下土壤剖面的改良效果。

（三）固碳效应显著且呈现“分层、分龄、分坡向”多重特征

从固碳效应看，东秦岭典型恢复林草植被的固碳功能总体显著，生态系统碳密度排序大致为侧柏>栓皮栎>油松—栓皮栎混交林>刺槐>油松>撂荒草地>农地。生态系统碳密度的构成比例呈现“土壤层>植被层>枯落物层”的特征。当前不少造林项目更多关注地上林木生物量，容易忽视土壤碳库的保护与提升。此外，固碳能力总体上随恢复年限增加而提高，森林碳密度在中

龄林和近熟林阶段较高；同时，不同恢复植被类型的碳密度存在明显的阴阳坡差异，森林生态系统碳密度在坡向间的差异更为显著。这些阶段性、坡向性规律，为林分改造、抚育时机和补植方向的精准施策提供了科学依据。

（四）水源涵养、水土保持与碳汇是耦合协同系统，不可割裂推进

植被恢复具有多重功能，枯落物拦蓄降雨、土壤团聚体稳定、孔隙储水与土壤固碳环环相扣。东秦岭不同恢复植被的枯落物—土壤层水文功能差异明显，油松—栓皮栎混交林、栓皮栎林枯落物24h持水率、持水深度和有效拦蓄深度表现最优；枯落物持水量随浸泡时间对数增长，吸水速率指数衰减，半分解层持水能力更强，植被恢复对表层土壤理化与持水特性改善显著。土壤孔隙直接主导土壤水文功能，枯落物和根系通过土壤孔隙发挥间接驱动作用。林分结构不合理，即便固碳水平高，仍存在暴雨产流产沙隐患。水源地植被修复切忌单一追求碳汇，需以系统观念统筹水土保持、洪水调蓄及固碳增汇多重目标。

二、当前东秦岭植被恢复治理面临的主要短板

（一）造林规划重面积、轻功能，乡土混交林推广不足

历史上大规模人工造林多选用单一树种纯林，但部分纯林出现了生理胁迫与病虫害风险、土壤深层板结、枯落物分解慢、抗蚀能力弱等生态功能短板，生态系统整体稳定性不高。在退化林修复过程中，对“土壤—枯落物—根系”协同效应的实证成果转化不足，树种选择缺少结合立地条件的差异化指引，难以发挥混交林的综合优势。

（二）林分抚育管护薄弱，重造轻管现象依然存在

部分地块完成造林后缺少科学抚育，林分结构难以优化，致使不少人工林林分结构长期得不到优化调整，复层异龄林培育进展缓慢；同时，对林下枯落物层的生态价值认知不足，管护层面缺少针对性保护约束。人为放牧、捡拾枯落物会直接破坏地表保护层，削弱土壤有机质补给，进而降低土壤团聚体稳定性和水源涵养能力，制约森林质量持续提升^[8]。

（三）监测评估体系侧重地上指标，地下土壤生态指标缺位

现有考核多聚焦森林覆盖率、林木蓄积等地上指标，土壤团聚体稳定性、枯落物蓄积、根系结构及生物量、剖面储水能力、

土壤有机碳等地下生态指标较少纳入常态化评估，难以客观评判水源涵养和碳汇的真实成效，也难以以为精准治理提供数据支撑。

（四）生态产品价值转化路径不畅，生态保护与民生增收衔接不够

东秦岭作为重点生态功能区，林业碳汇、水土保持生态产品价值转化尚处在起步阶段，试点示范呈现碎片化特点，大多集中在少数小流域、个别国有林场，难以在丹江上游大面积复制推广。保护生态的外部效益难以充分转化为地方和群众的现实收益，“保护—受益”的良性循环尚未完全形成。

三、提升东秦岭植被恢复综合效益的治理对策建议

立足南水北调中线水源地的战略定位，把实证监测结果转化为治理举措，统筹生态安全、水源保护、碳汇提升与乡村民生，提出以下四方面政策建议。

（一）优化植被恢复规划布局，推广乡土多树种混交修复模式

第一，因地制宜优化树种配置。丹江上游水源地退化林修复，应优先推广油松—栓皮栎这类乡土混交林模式；石质山地优先选用侧柏、刺槐等适应性强、改良深层土壤效果好的乡土树种，谨慎大面积营造建单一外来树种纯林。对现存低质人工纯林，逐步实施近自然改造，推动纯林向异龄、复层混交林过渡。

第二，坚持乔—灌—草立体配置，保护地表枯落物层。应禁止在水源涵养重点区域大规模清理林下枯落物，枯落物是山地抵御暴雨侵蚀的第一道防线。在坡耕地退耕地块，保留灌草过渡层，避免“只见乔木、缺少下层植被”的简单造林模式。

第三，区分立地条件开展分类修复。土层浅薄的石质山地优先封山育林、自然恢复，减少高强度人工扰动；坡度大、地质灾害高风险区域以自然修复为主，降低人工造林扰动引发地质风险。

（二）完善森林抚育管护制度，建立“地上一地下”一体化评估体系

一是落实林长制，将林分质量提升与造林并重，把退化林近自然改造、混交林培育纳入考核，完善中幼林抚育政策，扭转“重造轻管”现象。加强水源地林地管控，规范林下放牧，减少枯落物与表层土壤破坏，保护土壤碳库与抗蚀基础。

二是优化生态成效评估体系，在森林覆盖率、蓄积量之外，增加枯落物生物量、土壤团聚体稳定性等地下指标，布设坡面、小流域监测点位，以水源涵养、水土保持与固碳协同效益为评价依据^[9]。

（三）健全制度机制，打通生态产品价值实现通道

第一，完善多元化生态补偿机制。落实南水北调中线水源地横向生态补偿，将森林质量提升、混交林改造纳入补偿支持范围；探索依据小流域水源涵养、固碳的核算结果，差异化分配生态补偿资金，激励地方主动开展林分提质改造。

第二，有序推进林业碳汇项目开发。科学开发 CCER 林业碳汇项目，优先将经过近自然改造的混交林纳入碳汇开发范围。碳汇核算要充分核算土壤碳库贡献，同时兼顾水源涵养约束，杜绝为追求碳汇而盲目大规模营造建单一人工林的现象^[10]。

第三，发展环境友好型林下经济。在不破坏枯落物层、土壤

结构的前提下，适度发展林药、林下种植，实现保护生态与群众增收双赢，构建“保护—受益”良性循环^[11]。

（四）强化科技支撑，推动科研实证成果向治理政策转化

第一，搭建科研机构与地方行政部门对接通道。依托省级台站，把秦岭山地不同树种“固碳—保水—抗侵蚀”的实证结论，转化为本地区造林、退化林修复技术准则，为基层林业部门提供可直接落地的树种选择和林分改造技术指引。

第二，加强基层技术培训。面向乡镇林业站、护林员开展技术普及，改变“重种树、轻土壤”的传统思维，让一线治理人员理解枯落物对水源地保护的现实价值。

第三，做好科普宣传。面向社会公众讲清东秦岭植被恢复的复杂性，纠正“种树即等于生态修复”的简单认知，引导全社会重视森林质量提升，理解秦岭水源地生态保护是一项长期系统工程。

四、结语

东秦岭丹江上游的植被恢复，事关南水北调中线供水安全和“双碳”目标实现，也事关陕南山区绿色发展和民生改善。过去，国家完成了大规模“增绿”的历史任务。未来，应转向“提质增效”的高质量发展阶段，要更加看重林分结构、地表植被覆盖度、土壤健康、水源涵养与碳汇的综合协同效益。立足野外实证，大力推广乡土混交林模式，完善规划、管护、监测、价值转化的整套制度体系，才能真正把“绿水青山”转化为实实在在的生态安全屏障，实现保护水源、固碳增汇、富民兴地的多重目标，为新时代秦岭生态保护和高质量发展贡献东秦岭实践经验。

参考文献

- [1] 习近平. 论坚持人与自然和谐共生 [M]. 北京：中央文献出版社，2022:10,11,26-27,272,214.
- [2] 孔凡斌，王宁，徐彩瑶.“两山”理念发源地森林生态产品价值实现效率[J]. 林业科学，2022,58(7):12-22.
- [3] 许小明，晏珊珊，彭晓邦. 东秦岭地区典型恢复植被类型的固碳效应 [J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2025,53(11):92-101.
- [4] Xu X M, Xiao Y T, Huang T, et al. Vegetation restoration significantly improved soil aggregate stability in the East Qinling Mountains[J]. Agronomy, 2026,16(6):657.
- [5] 许小明，李军飞，牛宏亮，等. 东秦岭地区典型恢复植被土壤团聚体稳定性与群落特征的协同演变 [J]. 土壤通报，2026,57(4):961-971.
- [6] Xu X M, Zhang X D, Li W. Vegetation restoration significantly enhances hydrological functions of litter and soil layers in the East Qinling Mountains, China[J]. Forests, 2026,17(9):941.
- [7] 习近平对陕西商洛市柞水县境内一高速公路桥梁发生垮塌作出重要指示 [J]. 中国防汛抗旱，2024,34(8):4.
- [8] 王彦辉，于澎涛，田奥，等. 黄土高原和六盘山区的林水协调多功能管理 [J]. 林业科学，2023,59(4):1-17.
- [9] 孙阁，张榕，王彦辉. 准确理解和量化森林水源涵养功能 [J]. 生态学报，2023,43(1):9-25.
- [10] 朱竑，陈晓亮，尹铎. 从“绿水青山”到“金山银山”：欠发达地区乡村生态产品价值实现的阶段、路径与制度研究 [J]. 管理世界，2023,39(8):74-91.
- [11] 陈朝阳，高凯，庄健霖. 秦岭地区林下经济模式探讨 [J]. 山西农经，2022,(24):142-144.