

水土保持重点工程典型小流域治理效益分析与评价

——以竹山县太和小流域为例

金 淼^{1,2}, 徐文玉^{1,2}, 杨 伟^{1,2}, 雷 盛^{1,2}, 车腾腾^{1,2}

¹湖北省水利水电科学研究院, 湖北 武汉

²湖北省水土保持工程技术研究中心, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年5月31日; 录用日期: 2025年6月27日; 发布日期: 2025年7月10日

摘 要

水土保持重点工程对改善生态环境、防治水土流失及推动区域可持续发展意义重大, 科学评估其治理效益关乎生态文明建设全局。本研究以湖北竹山县太和小流域为例, 基于2019~2023年治理前后数据, 运用遥感解译手段, 结合实地调查工作与统计分析方法, 分析评估其水土流失、土地利用等多项指标。结果显示: 水土流失面积减少161.89 hm² (降幅14.40%), 径流和土壤侵蚀量分别减少66,424 m³、875 t, 林草覆盖度提高7.79%, 农民收入和景区旅游人次提升显著。研究认为, 太和小流域治理模式可为山区生态治理修复和乡村振兴方面提供示范参考, 但建议加强后期管护和监测体系建设。

关键词

水土保持, 小流域治理, 效益分析, 太和小流域

Analysis and Evaluation of Benefits from Typical Small Watershed Management in Key Soil and Water Conservation Projects

—A Case Study of Taihe Small Watershed in Zhushan County

Miao Jin^{1,2}, Wenyu Xu^{1,2}, Wei Yang^{1,2}, Sheng Lei^{1,2}, Tengting Che^{1,2}

¹Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan Hubei

²Hubei Soil and Water Conservation Engineering Research Center, Wuhan Hubei

Received: May 31st, 2025; accepted: Jun. 27th, 2025; published: Jul. 10th, 2025

文章引用: 金淼, 徐文玉, 杨伟, 雷盛, 车腾腾. 水土保持重点工程典型小流域治理效益分析与评价[J]. 水土保持, 2025, 13(2): 14-20. DOI: 10.12677/ojswc.2025.132003

Abstract

Key soil and water conservation projects are of great significance for improving the ecological environment, preventing soil erosion, and promoting regional sustainable development. Scientific evaluation of their governance benefits is crucial to the overall landscape of ecological civilization construction. Taking the Taihe small watershed in Zhushan County, Hubei Province as a case, this study analyzed and evaluated multiple indicators including soil erosion and land use based on pre- and post-governance data (2019~2023), using remote sensing interpretation combined with field surveys and statistical analysis. The results show that: the area of soil erosion decreased by 161.89 hm² (a 14.40% reduction), total runoff and soil erosion decreased by 66,424 m³ and 875 t respectively, forest and grass coverage increased by 7.79%, and both farmers' income and tourist visits to scenic areas significantly improved. The study concludes that the governance model of the Taihe small watershed can provide a demonstration reference for ecological governance, restoration, and rural revitalization in mountainous areas, while recommending strengthened post-governance management and monitoring system construction.

Keywords

Soil and Water Conservation, Small Watershed Management, Benefit Evaluation, Taihe Small Watershed

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

在全球气候变化背景下, 极端降水、气温升高等气候要素变异加剧, 水土流失已成为制约生态系统功能完整性与区域可持续发展的核心环境问题[1]。中国作为水土流失最严重的国家之一[2], 根据最新《2024年中国水土保持公报》显示, 我国水土流失面积仍达 260.19 万平方公里, 占国土总面积的 27.17%, 涵盖水力和风力侵蚀, 主要分布于北方风沙区、青藏高原区及东北黑土区。小流域作为流域生态系统的基本单元, 是水土流失发生发展的关键载体。

国内外研究证实, 基于“山水林田湖草沙”系统治理理念的小流域综合治理, 通过优化配置工程措施、林草措施及管理措施, 可有效减少水土流失或降低土壤侵蚀强度, 改善生态环境、促进区域可持续发展[3]。

本研究以竹山县太和生态清洁小流域为研究对象, 采用多源数据融合方法, 结合实地调查与遥感监测信息及社会经济统计资料, 构建包含生态效益、经济效益、社会效益等维度的综合评价体系, 通过科学量化分析, 系统评估小流域综合治理成效, 旨在为类似小流域治理工程提供可复制、可推广的评估范式与实践经验。

2. 研究内容与方法

2.1. 研究区概况

湖北省竹山县地处秦巴山区腹地, 太和小流域位于十堰市竹山县文峰乡(110°20'44"E~110°22'40"E, 32°12'36"N~32°15'47"N), 属汉江二级支流, 总面积 39.38 km²。地貌单元以低山为主, 属亚热带季风气候

区, 年均降水量 824.9 mm, 年均气温 15.6℃。土壤类型主要为黄棕壤、紫色土和潮土。

小流域水土流失类型以水力侵蚀为主, 主要分布在陡坡地、灌木林地和荒草地。治理前水土流失面积 1124.61 hm², 水土流失强度以轻度为主(83.21%)。

2.2. 数据来源与研究方法

2.2.1. 土地利用及植被覆盖变化分析

基于小流域 2018 年 8 月(治理前)与 2022 年 6 月(治理后)两期 2 m 分辨率的遥感影像, 经辐射校正、几何精校正、大气校正、影像融合及增强、地形校正等预处理后, 采用人机交互的目视判读解译方法, 结合野外实地调查验证, 提取土地利用变化信息, 进而计算分析小流域治理前后的植被覆盖度变化情况。

2.2.2. 水土流失变化分析

小流域水土流失类型为水力侵蚀, 采用中国土壤流失方程(CSLE), 计算小流域治理前后土壤侵蚀模数[4]-[6], 其表达式为:

$$A = R \times K \times L \times S \times B \times E \times T$$

式中: A 为土壤侵蚀模数; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; L 和 S 分别为坡长和坡度因子, 无量纲; B 为植被覆盖与生物措施因子, 无量纲; E 为工程措施因子, 无量纲; T 为耕作措施因子, 无量纲。

降雨侵蚀力因子(R)来源为 1986 年~2015 年平均年降雨侵蚀力; 土壤侵蚀力因子(K)来源为第一次全国水利普查水土保持情况普查土壤可蚀性因子成果; 坡度和坡长因子(L、S)是以全覆盖小流域范围的 1:1 万地形图为基础, 利用 ArcGIS 软件的空间分析工具提取生成对应栅格图层; 生物措施因子(B)是利用 2 m 分辨率的遥感影像提取植被覆盖度, 结合解译的土地利用类型, 按照区域水土流失动态监测技术规定, 计算各地类 B 因子值, 并生成栅格图层; 工程措施因子(E)和耕作措施因子(T)是利用遥感影像解译出水土保持工程措施和耕作地类, 按照区域水土流失动态监测技术规定, 获取水土保持工程措施因子值和耕作措施因子值, 并生成对应栅格图层[7]。

根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007), 划分微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈 6 个侵蚀强度等级[8], 获得治理前后水土流失空间分布情况。

2.2.3. 蓄水保土效益计算

采用小流域周边霍河水土保持监测站的径流与泥沙观测数据, 结合小流域内梯田、林地、草地等治理措施的有效面积(F_e), 采用模数差值法计算确定小流域治理后地表径流和土壤侵蚀量减少量。

$$\Delta W = F_e \times (W_{mb} - W_{ma})$$

式中: ΔW 为某项措施减流总量; F_e 为某项措施的有效面积; W_{mb} 为治理前(无措施)径流模数; W_{ma} 为治理后(有措施)径流模数。

$$\Delta S = F_e \times (S_{mb} - S_{ma})$$

式中: ΔS 为某项措施的减蚀总量; F_e 为某项措施的有效面积; S_{mb} 为治理前(无措施)侵蚀模数; S_{ma} 为治理后(有措施)侵蚀模数。

2.2.4. 经济社会效益分析

本研究基于太和生态清洁小流域实际情况, 运用分层随机抽样方法, 从流域内选取 11 户典型农户作为研究样本, 综合采用结构化访谈和实地调查, 收集小流域治理前后的关键农业生产数据, 重点聚焦粮食单产、农业总产值等核心指标。在旅游经济效益评估方面, 本研究整合太和梅花谷景区提供的旅游收入统计数据, 运用差值法, 对治理项目实施前后的经济指标变化进行对比分析, 从而精准量化小流域综

合治理带来的直接经济收益。

2.2.5. 社会效益分析

本研究采用定性分析与定量评价相结合的混合研究方法,从土地利用结构优化与农村生产结构调整、旅游产业带动就业增长等方面,系统评估区域治理对可持续发展的综合效应。数据采集综合典型农户抽样调查与政府部门统计数据,确保数据的代表性与可靠性。

3. 结果分析与评价

3.1. 土地利用变化

小流域土地利用结构在治理前后发生了明显变化(表 1)。治理前(2019 年),小流域内土地利用以林地、耕地为主,分别占小流域土地面积的 85.15%、11.52%,草地、建设用地、水域及水利设施用地和园地面积仅占 2.22%、1.01%、0.09%和 0.02%。2019 年竹山县太和小流域治理工程实施后,土地利用变化主要体现在其他草地转为其他林地:其他林地增加 10.86 hm²,其他草地减少 11.29 hm²,这一变化的主要原因是 2019 年项目区实施了水保林措施,使得部分草地转化为生态林地,从而优化了小流域的土地利用结构。尽管耕地、建设用地等其他地类变化较小,但林地的增加有助于增强小流域的水源涵养能力和土壤保持功能。总体而言,治理工程有效促进了生态用地的正向演变,但未来仍需关注林草结构的合理配置,以进一步提升小流域生态系统的稳定性。

Table 1. Statistics of land use changes before and after governance (unit: hm²)

表 1. 治理前后土地利用变化统计(单位: hm²)

	耕地		园地		林地			草地	水域及水利 设施用地	建设用地	
	水田	旱地	茶园	有林地	灌木林地	其他林地	其他草地	河湖库塘		农村建设 用地	其他建设 用地
治理前	114.82	338.88	0.72	3309.87	0.74	42.53	87.27	3.56		39.01	0.67
治理后	115.21	338.58	0.72	3309.69	0.74	53.39	75.98	3.56		39.53	0.67
变化量	0.39	-0.30	0	-0.18	0	10.86	-11.29	0		0.52	0

3.2. 水土流失面积变化

由 CSLE 土壤侵蚀模型的计算结果显示,太和小流域经过系统治理后(2023 年)水土流失状况得到显著改善。与治理前(2019 年)相比(表 2),水土流失面积由 1124.61 hm²降为 962.72 hm²,降幅达 14.40%。从侵蚀等级变化来看,各侵蚀等级的水土流失面积均有减少,其中轻度侵蚀面积减少 127.11 hm²,对总减少量的贡献率为 78.52%。

根据竹山县太和小流域治理前后水土流失面积转移矩阵(表 3)发现,侵蚀等级转换主要表现为轻度侵蚀向微度侵蚀的转变,变化面积为 138.19 hm²,占水土流失总减少面积的 85.36%。这一转变的主要得益于项目区实施的水保林建设、经果林栽培和封禁治理等措施,特别是针对其他草地的治理工程,有效提升了地表植被覆盖度,显著改善了土壤抗蚀能力,小流域水土流失治理效果明显。

3.3. 水土保持治理效益

3.3.1. 蓄水保土效益分析

经计算结果分析(表 4),在蓄水保土效益方面,小流域治理后径流总量减少 66,424 m³,土壤侵蚀量

减少 875 t，其中，水土保持措施对减少侵蚀的贡献率最高(42.5%)，其次是封禁治理(35.8%)，主要归因于植被恢复和工程拦截效应的协同作用。

Table 2. Comparison of soil erosion area before and after governance (unit: hm²)
表 2. 治理前后水土流失面积对比(单位: hm²)

	水土流失面积	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
治理前	1124.61	935.71	86.08	80.61	21.98	0.23
治理后	962.72	808.60	72.17	65.44	16.29	0.22
变化量	-161.89	-127.11	-13.91	-15.17	-5.69	-0.01
变幅(%)	-14.40	-13.58	-16.16	-18.82	-25.89	-4.35

Table 3. Transfer matrix of soil erosion before and after governance (unit: hm²)
表 3. 治理前后水土流失转移矩阵(单位: hm²)

		2023 年					
2019 年	侵蚀等级	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
	微度	2811.08	2.38	0	0	0	0
	轻度	138.19	797.52	0	0	0	0
	中度	13.75	0.16	72.17	0	0	0
	强烈	11.22	3.95	0	65.44	0	0
	极强烈	1.10	4.59	0	0	16.29	0
	剧烈	0.01	0	0	0	0	0.22
变化量		161.89	-127.11	-13.91	-15.17	-5.69	-0.01

Table 4. Comparison of water retention and soil conservation benefits before and after governance
表 4. 治理前后蓄水保土效益计算对比

	封禁治理		经果林		水土保持	
	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后
径流模数(m ³ /hm ²)	356.2	318.7	300.2	290.6	341.5	335.8
侵蚀模数(t/hm ²)	1.7	1.2	1.63	1.6	1.51	1.44
径流总量(m ³)	625,313	553,043	9093	11,240	16,033	19,732
侵蚀总量(t)	2984	2082	49	62	71	85

3.3.2. 生态效益

通过本工程的实施，经计算结果分析(表 5)，太和小流域内的林草地植被覆盖度相比 2019 年提高了 7.79%。项目区内实施的经果林、水土保持、封禁治理措施图斑植被覆盖度分别提高了 19.51%、21.82%、8.42%，小流域的水保林措施相对经果林、封禁治理措施对植被覆盖度的提高较为显著。

3.3.3. 经济效益

根据现场典型农户调查结果，该工程治理完成后，对比措施实施前(2019 年)(表 6)，小流域内粮食产量由 333 t 增加到 341 t，农村生产总值由 756 万元增加到 780 万元。同时，随着环境和交通条件的改善，

小流域内太和梅花谷景区旅游知名度不断提升，至 2022 年末，入园游客由治理前的年均 8 万人次上升到 12 万人次，旅游收入由 500 余万元上升至 900 余万元。小流域经过治理，取得了较好的经济效益。

Table 5. Comparison of vegetation coverage of soil and water conservation measures and forest-grassland vegetation coverage in the project area before and after governance

表 5. 治理前后项目区水土保持措施植被覆盖度和林草地植被覆盖度对比

	经果林(%)	水保林(%)	封禁治理(%)	小流域内林草地植被覆盖度(%)
治理前	45.22	47.36	65.39	60.52
治理后	64.73	69.18	73.81	68.31
变化量	19.51	21.82	8.42	7.79

Table 6. Comparison of economic and social benefits in the project area before and after governance

表 6. 治理前后项目区经济和社会效益调查结果对比

	年粮食总产量(t)	农村生产总值(万)	农民人均纯收入(元)	人均基本农田(亩/人)
治理前	333	756	12,580	1.08
治理后	341	780	14,556	1.20
变化量	8	24	1976	0.12
变幅(%)	2.40%	3.17%	15.71%	11.11

3.3.4. 社会效益

水土保持治理项目的社会效益主要体现在改善农业生产条件、促进就业与增收、推动区域可持续发展等方面。

太和流域的治理明显提升了区域社会效益。基于两期土地利用遥感解译数据的定量对比分析(表 1)显示，治理后区域内土地利用结构得到优化，人均基本农田由 1.08 亩增加至 1.20 亩，农业资源承载力得到增强。实证调查显示，生态环境改善带动了小流域内乡村旅游产业发展，村民自由经营民宿、餐饮实体从原 5 家发展到 2023 年的 13 家。根据水质检测报告，治理后太和中游、上游水质均符合地表水 II 类水质标准要求。小流域内的污水处理站排放污水符合《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB42/1537-2019)二级标准。

综上，综合治理措施优化了土地资源配置，有效控制了水土流失，促进了生态-经济系统的协同发展，产生了显著的社会效益。

4. 结论

本研究以湖北省十堰市竹山县太和流域为典型案例，系统分析评估了水土保持重点工程的治理效益。结果表明，2019 年综合治理后，太和流域水土流失面积减少了 161.89 hm²，降幅达 14.40%，说明治理措施对控制水土流失效果显著。在蓄水保土效益方面，治理后径流总量减少 66,424 m³，土壤侵蚀量减少 875 t，有效改善了小流域水文环境。生态效益方面，林草植被覆盖率提高了 7.79%，其中水保林措施贡献突出。经济效益方面，粮食增产 8 t，农村生产总值增长 24 万元，旅游收入和农民人均收入均显著提高。社会效益主要表现为土地利用结构优化，人均基本农田由 1.08 亩增加至 1.20 亩，同时带动了乡村旅游发展和农村就业增长。

太和流域统筹生产、生活、生态的综合治理模式具有一定特色，其将生态修复与乡村旅游产业深

度融合,通过梅花谷景区开发实现生态与经济双赢,为山区生态治理与乡村振兴协同发展提供新思路,在秦巴山区、武陵山区等生态环境和资源禀赋相似区域具有较高推广价值,可作为生态产品价值实现机制的实践范例。

但本研究仍存在局限性。数据层面上,监测数据依赖验收资料,时效性与连续性不足,采集处理过程可能存在误差,影响评估精确性;研究方法上,社会经济效益评估样本选取范围较窄,难以全面反映小流域复杂社会经济状况。此外,受地理气候、资源基础和政策环境等影响,太和小流域治理经验推广时需充分考量区域差异,需因地制宜调整策略。

综上,水土保持工程对防治水土流失、改善生态环境、推动乡村经济可持续发展意义重大。在后续推广应用,应重视完善监测体系,加强推广“生态+旅游”模式巩固治理成果;探索管护机制,推广“企业+农户”模式确保工程可持续运行;同时,应立足各地具体实际和特色,创新治理模式,提升治理效能。

参考文献

- [1] 李占斌,朱冰冰,李鹏.土壤侵蚀与水土保持研究进展[J].土壤学报,2008,45(5):802-809.
- [2] 郑粉莉,王占礼,杨勤科.我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J].自然杂志,2008,30(1):12-16,63.
- [3] 李智广,李锐,杨勤科,赵永安.小流域治理综合效益评价指标体系研究[J].水土保持通报,1998(S1):71-75.
- [4] 刘宝元,郭索彦,李智广,等.中国水力侵蚀抽样调查[J].中国水土保持,2013(10):26-34.
- [5] 蔡强国,刘宝元,刘纪根.中国土壤侵蚀模型研究进展[C]//中华人民共和国水利部.中美水土保持研讨会论文集,2003:46-55.
- [6] 俱战省,文安邦,严冬春,等.基于 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 和CSLE的三峡库区小流域土壤侵蚀评估[J].水土保持学报,2015,29(3):75-80.
- [7] 徐文玉,刘晓路,雷盛,等.丹江口库区小流域综合治理成效评价——以丹江口市余家湾小流域为例[J].亚热带水土保持,2021,33(3):11-15.
- [8] 水利部水土保持司,水利部水土保持监测中心,黄河水利委员会,长江水利委员会,中国科学院南京土壤研究所.SL190-2007土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2008.