

# 黄土高原典型小流域水土流失治理成效分析

赵阳<sup>1</sup> 张永娥<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 北京 100038)

**摘要:** 科学开展流域水土流失治理工程效益评价既是客观反映工程自身规律必然要求,也是对区域水土流失治理成效评价的前提与基础。以山西木窑沟小流域为研究对象,基于三因子水土流失评价模型、对比分析等方法,对流域水土流失治理工程实施前(2015年)和实施后(2019年)土壤侵蚀状况进行对比研究。结果表明:(1)工程实施3年以来,流域水土流失综合治理度增加约1%;流域林草覆盖率提高约3%,其中,流域低覆盖、中覆盖、高覆盖区分别增加0.7%、2.78%和2.4%;(2)流域水土流失状况“减量、降级”特征明显。2019年流域土壤侵蚀面积较2015年减少153.19hm<sup>2</sup>;在侵蚀强度方面,流域强烈侵蚀面积减少55%,极强烈侵蚀面积减少22.3%,国家水土保持重点工程实施取得明显成效。

**关键词:** 小流域;水土流失治理;土壤侵蚀强度;

## Effects of Soil and Water Loss Control in typical small watershed of Loess Plateau

**Abstract:** Evaluation of benefits of water and soil loss control projects in Basins is not only the inevitable requirement of objectively reflecting the laws of the project itself, but also the premise and basis of the effectiveness evaluation of regional soil and water loss control. Taking the Muyaogou watershed in Shanxi Province as the research object, based on the three factor soil erosion evaluation model and comparative analysis methods, the soil erosion before and after the implementation of soil and water conservation project was analyzed. The results show that (1) after the implementation of the national key projects for soil and water conservation, the comprehensive control degree of soil erosion and water loss in the watershed has increased from 73.68% in 2015 to 74.58% in 2019. The forest and grass coverage in 2019 was 2.91% higher than that in 2015. In addition, the low coverage area, middle coverage area and high coverage area increased by 0.7%, 2.78% and 2.4% respectively. (2) The water and soil loss in the basin is characterized by "reduction and degradation". The area of soil erosion in 2019 decreased by 153.19hm<sup>2</sup> compared with that in 2015, among which, the strong, extremely strong area decreased by 55%, and 22.3%, respectively. The above results show that the implementation of national key soil and water conservation projects achieved remarkable results.

**Key words:** Small watershed; Soil erosion control; Soil erosion intensity

党和国家历来高度重视水土保持工作,每年投巨资实施大面积的水土流失综合治理,相关企业每年用于生产建设项目水土保持工程的投资也达上百亿元,适时开展区域水土流失治理成效研究,对于客观评价区域水土流失综合治理效益具有重要意义<sup>[1]</sup>。进入新时代,在国家生态文明高速建设和乡村振兴战略稳步推进以及“水利工程补短板,水利行业强监管”水利改革发展大背景下,开展区域水土流失治理成效研究既是科学评价水土保持工程本身生态效益的需要,也是科学选择水土流失治理措施的需要<sup>[2]</sup>。

山西地处黄河中游、海河上游,水土流失面积10.8万平方公里,占全省总面积的69%,是全国水土流失最严重的省份之一<sup>[3]</sup>。新中国成立以来,山西省大力推进水土保持重点工程建设,调动社会力量参与治理,严格防治人为水土流失,成效显著,初步实现了荒山变绿海,荒沟披绿衣,三晋大地绿意盎然。截至2018年底,山西全省共治理水土流失面积6.84万平方公里,水土流失治理度达到63%,国家水土保持重点工程的实施在有效治理区域水土流失、遏制水土流失发展情势方面发挥了极为重要的作用<sup>[4]</sup>。开展流域水土流失治理成效评价是客观反映工程自身规律的必然要求,评价结果有利于客观反映工程完成及运行情况,利于科学评价工程产生的调水、保土等生态效益。为此,本项目以山西方山县木窑沟小流域为研究对象,以流域水土流失治理工程实施前后高分辨率遥感影像为信息源,通过资料收集、外业调查、内业分析,对流域水土流失治理、林草植被覆盖变化和水土流失消长变化等情况进行评估。研究结果旨在为客观评价

区域水土流失治理成效提供案例参考。

### 1 研究区概况

木窑沟小流域位于方山县东南部 40km 处，流域总面积 48.12km<sup>2</sup>，水土流失面积 46.83km<sup>2</sup>（2015 年），地理位置介于东经 111°21'50"—111°27'31"，北纬 37°45'39"—37°40'27"之间。2016 年，在国家水土保持重点工程支持下，木窑沟小流域新增水土保持综合治理面积 1873.0hm<sup>2</sup>，其中水保林 531.9hm<sup>2</sup>，水平梯田 69.82hm<sup>2</sup>，治滩整地 21.17hm<sup>2</sup>，封禁治理 1250.11hm<sup>2</sup>，开挖排洪渠 2.1km，修建田间道路 2.05km、生产道路 4.0km。

### 2 研究方法

#### 2.1 数据来源

收集流域实施前 2015 年（现状年）和 2019 年（评估年）两期生长季（6 月-9 月）高分辨率遥感影像（分辨率 2 米）和流域 1:5 万比例尺数字高程模型（DEM）。利用遥感影像提取归一化植被指数（NDVI），并结合野外目视解译标志，得到每个图斑林草植被覆盖度等级，并按表 1 植被覆盖度等级对流域植被覆盖度进行等级划分；利用 ArcGIS 空间分析功能计算坡度，并对坡度进行等级划分（表 2）。

表 1 不同侵蚀类型林草植被覆盖度分级表  
Tab.1 Vegetation coverage classification of forest and grass with different erosion types

植被覆盖度等级	高覆盖	中高覆盖	中覆盖	中低覆盖	低覆盖
水力侵蚀	75%-100%	60%-75%	45%-60%	30%~45%	0%~30%
风力侵蚀	70%-100%	50%-70%	30%-50%	10%~30%	0%~10%

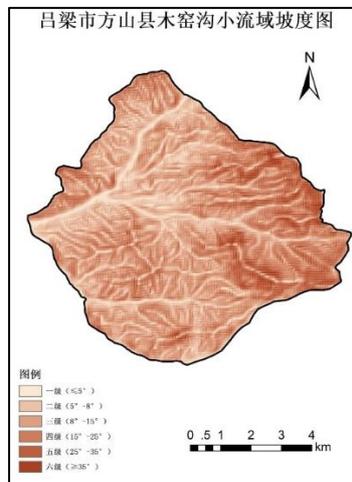


图 1 木窑沟小流域坡度分布图

Fig. 1 Slope distribution map of Muyaogou small watershed

表 2 坡度分级表  
Tab.2 Slope grading table

坡度等级	一级	二级	三级	四级	五级	六级
坡度范围	$\le 5^\circ$	$5^\circ - 8^\circ$	$8^\circ - 15^\circ$	$15^\circ - 25^\circ$	$25^\circ - 35^\circ$	$> 35^\circ$

#### 2.2 土壤侵蚀面积计算

基于流域国家水土保持重点工程实施前、后高分遥感影像，提取土地利用、植被盖度、坡度等信息，采用 SL190-2007《土壤侵蚀分类标准》中土壤侵蚀三因子计算方法<sup>[5]</sup>，得到流域实施前（2015 年）和实施后（2019 年）流域的土壤侵蚀分布，统计各等级土壤侵蚀面积。

2.3 实施效果评估

(1) 评估年水土流失治理度。评估年水土流失治理度=评估年水土流失治理面积/实施前项目区水土流失面积 × 100%。

(2) 林草植被覆盖情况。包括评估年林草覆盖率和提高林草覆盖率 2 指标，按百分比算。其中，评估年林草覆盖率=评估年林草覆盖面积/项目区总面积×100%；提高林草覆盖率 = (评估年林草覆盖面积-实施前林草覆盖面积) /项目区总面积×100%。

(3) 水土流失消长情况。依据项目实施前和项目评估年土壤侵蚀面积计算结果，分析不同强度土壤侵蚀消长情况。

3 结果

3.1 土地利用变化

2015 年和 2019 年流域土地利用情况见表 3-1。由表 3-1 可知，木窑沟是以林草为景观基质的典型小流域。水土流失重点治理工程实施前流域林地占总土地面积的 76.35%，草地占 16.03%，耕地占 7.13%；2019 年，流域耕地面积占总土地面积的 3.88%，较 2015 年减少 3.25%；林地面积占总土地面积的 88.26%，较 2015 年增加 11.91%；而草地呈现减少趋势，减幅 9%，交通运输用地以及城镇用地均呈现小幅增加趋势。从流域水土保持措施面积看，国家水土保持重点工程实施后，流域水土保持措施面积为 1887.95hm<sup>2</sup>，其中：乔木林面积 154.31hm<sup>2</sup>，灌木林面积 380.33hm<sup>2</sup>，水平梯田面积 70.11hm<sup>2</sup>，治滩整地面积 21.32hm<sup>2</sup>，封禁治理面积 1261.88hm<sup>2</sup>。

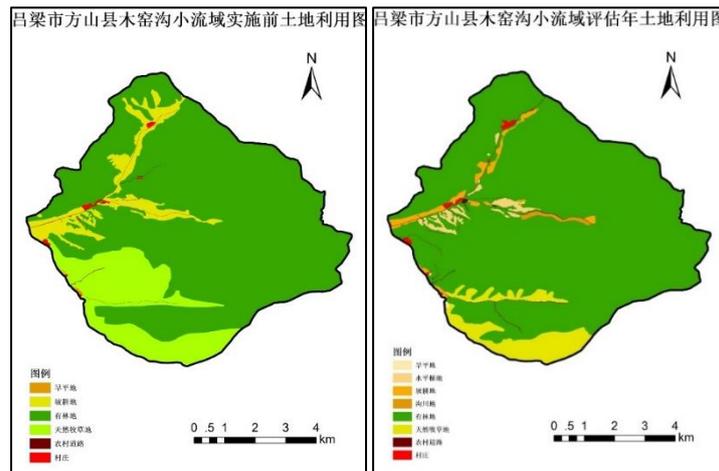


图 2 木窑沟小流域国家水土保持重点工程实施前后土地利用图

Fig.2 Land use map of Muyaogou Small watershed before and after the implementation of national key project of soil and water conservation

表 3 木窑沟小流域 2015 年和 2019 年土地利用面积统计表  
Tab.3 Statistical table of land use area of Muyaogou small watershed in 2015 and 2019

一级类名称	二级类名称	2015 年	2019 年占总面积比例 (%)
耕地	旱平地	0.07	0.06
	坡耕地	7.06	1.84
	水平梯田	0	1.54
	沟川地	0	0.44
	小计	7.13	3.88
林地	有林地	76.35	88.26
	小计	76.35	88.26
草地	天然牧草地	16.03	7.02
	小计	16.03	7.02

交通运输	农村道路	0.19	0.45
	小计	0.19	0.45
城镇	村庄	0.30	0.39
	小计	0.30	0.39
合计			100.00

3.2 植被盖度提取

分别基于流域 2015 年和 2019 年高分 1 号遥感影像获取 NDVI 值，并利用像元二分法提取流域 2015 年和 2019 年植被盖度，根据不同侵蚀类型区植被盖度分级标准将各区植被盖度进行分类统计，见表 3-2。由表知，2015-2019 年间，木窑沟小流域低覆盖、中覆盖、高覆盖呈增长趋势，中高覆盖和中低覆盖区域面积占比呈减少趋势。具体地，实施前林草植被总面积为 4445.39hm<sup>2</sup>，其中：高覆盖占林草总面积的 10.06%；中高覆盖面积占林草总面积的 67.76%；中覆盖面积占林草总面积的 19.41%；中低覆盖面积占林草总面积的 2.74%；低覆盖占林草总面积的 0.02%。国家水土保持重点工程实施后，林草植被总面积为 4585.21hm<sup>2</sup>，其中：高覆盖面积占林草总面积的 12.47%；中高覆盖面积占 61.98%；中覆盖面积占 22.19%；中低覆盖面积占 2.63%；低覆盖面积占 0.72%。

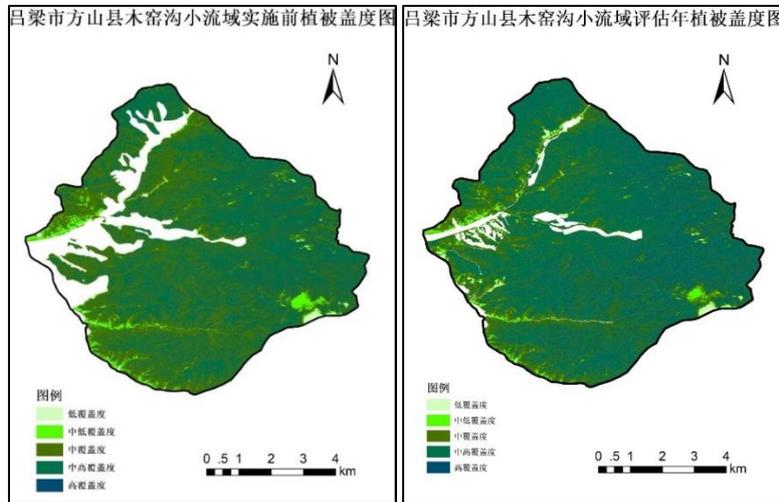


图 3 木窑沟小流域国家水土保持重点工程实施前后植被盖度图

FIG. 3 Vegetation coverage map of Muyaogou small watershed before and after the implementation of national key project of soil and water conservation

表 4 木窑沟小流域 2014 年不同植被盖度统计表

Tab.4 Statistical table of different vegetation coverage in Muyaogou small watershed in 2014

不同覆盖度林草面积及比例		2015	2019
高覆盖 (75%~100%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	447.21	571.78
	%	10.06	12.47
中高覆盖 (60%~75%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	3012.20	2841.91
	%	67.76	61.98
中覆盖 (45%~60%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	862.85	1017.46
	%	19.41	22.19
中低覆盖 (30%~45%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	121.80	120.59
	%	2.74	2.63
低覆盖 (0%~30%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	0.89	33.01
	%	0.02	0.72

3.3 土壤侵蚀强度计算

基于流域土地利用数据、植被盖度和坡度数据，依据三因子土壤侵蚀强度判定标准，分别计算了项目区 2015 年和 2019 年流域土壤侵蚀强度（表 3-3）。由表可知，通过实施国家水土保持重点工程，2019 年木

窑沟小流域土壤侵蚀面积较 2015 年减少 153.19 hm<sup>2</sup>。其中，轻度、中度、强烈、极强烈土壤侵蚀面积分别减少 25.36 hm<sup>2</sup>，40.43 hm<sup>2</sup>，85.47 hm<sup>2</sup> 和 3.08 hm<sup>2</sup>，而受生产开发建设项目影响，剧烈土壤侵蚀面积增加 1.13 hm<sup>2</sup>。具体地，流域 2015 年土壤侵蚀面积占流域总面积的 86.16%；其中，轻度面积占土壤侵蚀面积的 63.17%；中度面积占土壤侵蚀面积的 32.75%；强烈面积占土壤侵蚀面积的 3.75%；极强烈面积占土壤侵蚀面积的 0.33%。2019 年，流域土壤侵蚀面积 3987.71hm<sup>2</sup>，其中，轻度面积占土壤侵蚀面积的 64.96%；中度面积占土壤侵蚀面积的 32.99%；强烈面积占土壤侵蚀面积 1.75%；极强烈面积占土壤侵蚀面积的 0.27%；剧烈面积占土壤侵蚀面积的 0.03%。

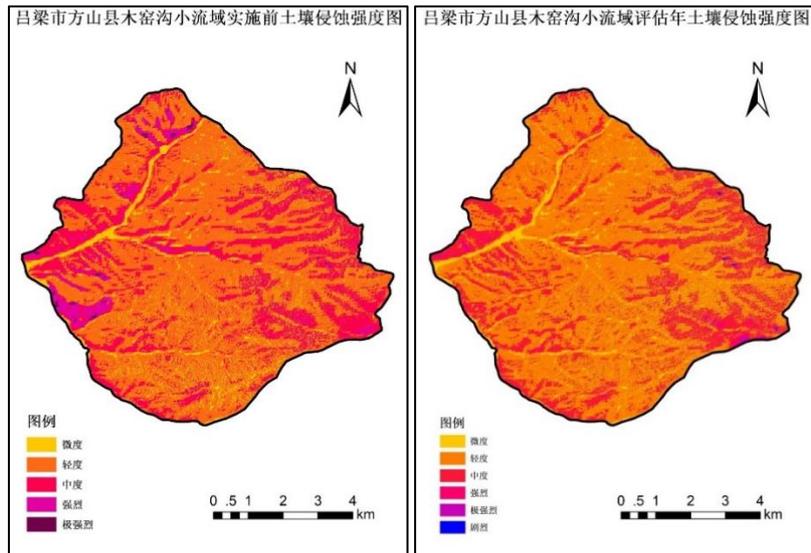


图 4 木窑沟小流域国家水土保持重点工程实施前后土壤侵蚀强度分布图

Fig.4 Distribution map of soil erosion intensity before and after the implementation of national key project of soil and water conservation in Muyaogou small watershed

表 5 木窑沟小流域土壤侵蚀变化

Tab.5 Changes of soil erosion in Muyaogou small watershed

不同侵蚀强度面积及比例		2015 年土壤侵蚀	2019 年土壤侵蚀	变化 (评估年-实施前)	
微度侵蚀	面积 (hm <sup>2</sup> )	665.05	818.24	153.19	
土壤侵蚀	面积 (hm <sup>2</sup> )	4140.90	3987.71	-153.19	
各级土壤侵蚀强度面积及比例	轻度	面积 (hm <sup>2</sup> )	2615.71	2590.35	-25.36
	中度	面积 (hm <sup>2</sup> )	1356.02	1315.59	-40.43
	强烈	面积 (hm <sup>2</sup> )	155.38	69.91	-85.47
	极强烈	面积 (hm <sup>2</sup> )	13.80	10.72	-3.08
	剧烈	面积 (hm <sup>2</sup> )	0.00	1.14	1.14

表 6 木窑沟小流域工程实施前后土壤侵蚀强度转移矩阵 (单位: hm<sup>2</sup>)

Tab.6 Transfer matrix of soil erosion intensity before and after the implementation of Muyaogou Small Watershed Project

评估年 实施前	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	合计
微度	<b>288.81</b>	237.06	133.71	4.24	1.09	0.15	665.05
轻度	340.73	<b>2028.02</b>	242.75	4.21	0.00	0.00	2615.71
中度	181.44	280.28	<b>848.17</b>	38.54	6.89	0.70	1356.02

强烈	7.05	44.98	79.05	<b>22.00</b>	2.00	0.30	155.38
极强烈	0.22	0.00	11.92	0.92	<b>0.74</b>	0.00	13.80
合计	818.24	2590.35	1315.59	69.91	10.72	1.14	4805.96

#### 4 结论

控制土壤侵蚀是水保持工作的首要目的。水土保持生态建设需要采取工程、生物和农业耕作等综合措施。不同地区自然条件差异较大,如何选择对生态脆弱区域生态系统功能的恢复和重建最有效的措施,以最少的投入实现生态效益最大化的目标,是当前水土保持领域亟待解决的问题之一<sup>[6-7]</sup>。开展流域水土流失治理成效评价,对于科学选择水土流失治理措施具有重要指导意义。本研究以山西木窑沟小流域为研究对象,采用三因子水土流失评价模型对流域水土流失治理工程实施前(2015年)和实施后(2019年)土壤侵蚀状况进行对比研究。主要结论如下:在流域水土保持工程实施3年,流域水土流失综合治理度增加约1%,流域林草覆盖率提高3%背景下,通过工程实施,流域土壤侵蚀面积减少153.19hm<sup>2</sup>,其中,强烈侵蚀面积减少55%,极强烈侵蚀面积减少22.3%。在侵蚀强度转移方面,79.05hm<sup>2</sup>强烈侵蚀面积转为中度侵蚀,11.92hm<sup>2</sup>极强烈侵蚀面积转化为中度侵蚀,流域水土流失“减量、降级”特征明显,尤其是“降级”特征尤为显著,流域水土保持工程实施取得明显成效。随着流域水土保持措施体系布局不断优化完善,以及水土保持林草、梯田等措施稳定性的持续增强,流域水土保持措施减少土壤侵蚀、保持土壤肥力等效益将会进一步凸显。

#### 参 考 文 献

- 史海静,李锐.水土保持工程综合效益评价研究——以陕西省长江流域水土流失综合治理工程为例[J].水土保持研究,2008(02):44-47.
- 宋文龙,张荣华,高云飞,等.基于野外调查、遥感信息和CSLE模型的土壤侵蚀强度分级[J].南水北调与水利科技,2014,5:170-174.
- 王东晓.黄河水土保持生态工程示范区的效应评价及思考[D].西北农林科技大学,2008.
- 武年丰,赵洪涛,张志勇.水土保持助力山西生态文明建设[J].山西水利,2013(07):6-7.
- 杨才敏,张明.山西省水土保持持续发展战略思路研究.中国水土保持学会水土保持规划设计专业委员会2015年年会论文集,2015.
- 张毅茜,冯晓明,王晓峰,等.重点脆弱生态区生态恢复的综合效益评估[J].生态学报,2019,039(020):7367-7381.
- 赵建军.因地制宜施策提升治理水平——山西省水土流失治理度达到61.8%[J].山西水利,2018,34(10):8.