浙 江 农 林 大 学 学 报，2021，**38**(1)：165–172
Journal of Zhejiang A&F University
doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.20200168

基于图斑精细化管理的国家水土保持重点工程治理效果评估

罗梦琦[1]，段　倩[1]，姜雅琼[1]，刘　霞[1]，李　想[1]，吴镇宇[1]，胡续礼[2]

（1. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心 江苏省水土保持与生态修复重点实验室，江苏 南京 210037；
2. 淮河水利委员会 水土保持处，安徽 蚌埠 233001）

摘要：【目的】探讨国家水土保持重点工程实施后治理效果。**【方法】**以山东省蒙阴县张家村小流域为例，以水土保持基础图斑和效果图斑为单元，基于高分辨率遥感、无人机、移动终端等技术，通过调查测定和野外复核，对比分析了国家水土保持重点工程治理实施前后土地利用、林草植被覆盖、水土保持措施和水土流失状况变化。**【结果】**①国家水土保持重点工程实施后图斑变化数量共 339 个，变化面积 870.60 hm^2，变化方向主要为坡耕地/旱梯田转变为果园，其次为坡耕地变转为旱梯田；②基础年林草覆盖率 31.13%，评估年林草覆盖率为 45.69%，覆盖度均以中高覆盖 (60%~75%) 为主，林草覆盖提高率为 14.56%；③水土保持措施保存率中，蓄水池保存率最高，为 100.00%；谷坊最低，仅为 55.56%，其余水土保持措施保存率均在 80.00% 以上；④评估年较基础年水土流失面积减少了 400.39 hm^2，水土流失面积消减率 23.21%，水土流失治理度为 76.78%。**【结论】**国家水土保持重点工程的实施，明显改善了蒙阴县张家村小流域的生态环境，重点体现为水土流失减少，林草植被覆盖率提高。图 5 表 5 参 11

关键词：水土保持学；国家水土保持重点工程；基础图斑；效果图斑；治理效果评估
中图分类号：S175.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2095-0756(2021)01-0165-08

Evaluation on the effect of National Key Soil and Water Conservation Project based on fine management of map spots

LUO Mengqi[1]，DUAN Qian[1]，JIANG Yaqiong[1]，LIU Xia[1]，LI Xiang[1]，WU Zhenyu[1]，HU Xuli[2]

（1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Ecological Restoration of Jiangsu Province, Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. The Huaihe River Commission of the Ministry of Water Resources, Bengbu 233001, Anhui, China）

Abstract: [**Objective**] This study aims to discuss the governance effect of the National Key Soil and Water Conservation Project after implementation. [**Method**] Taking the small watershed of Zhangjia Village in Mengyin County of Shandong Province as an example, and soil and water conservation in basic spot and effect spot as the unit, the changes of land use, forest and grass vegetation coverage, soil and water conservation measures, and soil and water loss before and after the implementation of the National Key Soil and Water Conservation Project were compared and analyzed through investigation, measurement and field review, based on high-resolution remote sensing, UAV, mobile terminal and other technologies. [**Result**] (1)After the implementation of the project, there were 339 plot changes, covering an area of 870.60 hm^2. The change direction was mainly from slope farmland/dry terrace into orchards, followed by slope farmland into dry terrace. (2)The basic annual forest and grass coverage rate was 31.13%, and the assessed annual forest and grass

收稿日期：2020-02-16；修回日期：2020-09-11
基金项目：水利部淮河水利委员会资助项目 (HWSBC2018003，SBJ2018010)；江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目 (2019NFUSPITP0328)
作者简介：罗梦琦，从事水土保持监测与评价研究。E-mail: luomengqi0618@163.com。通信作者：刘霞，教授，博士，博士生导师，从事水土保持监测与评价研究。E-mail: liuxia@njfu.edu.cn

coverage rate was 45.69%. The coverage rate was mainly medium and high (60%–75%), and the improvement rate of forest and grass coverage was 14.56%. (3) The conservation rate of soil and water conservation measures was the highest in reservoir (100.00%), the lowest in millet workshop (55.56%), and the conservation rate of other soil and water conservation measures was above 80.00%. (4) The area of soil and water loss reduced by 400.39 hm^2 in the evaluation year compared with the base year, the reduction rate of soil and water loss was 23.21%, and the degree of soil and water loss control was 76.78%. [**Conclusion**] Through implementation of the National Key Soil and Water Conservation Project, the ecological environment in the small watershed of Zhangjia Village in Mengyin County has been significantly improved, which is mainly reflected in the reduction of soil and water loss and the increase of forest and grass vegetation coverage. [Ch, 5 fig. 5 tab. 11 ref.]

Key words: soil and water conservation; National Key Soil and Water Conservation Project; basic spot; effect spot; evaluation of governance effect

国家水土保持重点工程起源于 1983 年实施的全国八大片水土流失重点治理区，是中国目前正在大规模实施的以小流域 (或片区) 为单元的水土流失综合治理工程[1]。经过约 30 a 的实践，已形成了一套包括治理规划、措施设计、审查、施工、检查、验收等环节相对完善的技术与管理体系，为国家水土保持重点工程的实施提供了有力保障。随着经济社会发展以及行业监管精准化要求，传统的技术与管理模式难以适应新形势需求。如何利用信息化技术和手段，以图斑为单元，对国家水土保持重点工程实施精细化管理成为水行政主管部门亟待解决的重要问题之一。目前，有关国家水土保持重点工程的调查和研究还局限于对重点工程项目实施的措施、成效及经验等方面的总结[2−4]，而针对重点工程项目治理效果的定量化评估还缺乏系统研究，因此，系统调查与定量分析重点工程实施后水土流失治理、水土保持措施保存、林草植被覆盖以及水土流失变化等，对认识和评价重点工程的水土保持效果具有重要意义。山东省临沂市蒙阴县张家村小流域于 2012 年列入国家水土保持重点工程治理项目，2013 年竣工验收。本研究以张家村小流域为研究对象，以 2011 年作为重点工程实施前的基础年、2018 年作为重点工程实施后的评估年，基于高分遥感、无人机、移动终端等技术，通过定位调查及实地复核，以图斑为单元，对比分析小流域治理实施前后土地利用、林草植被覆盖、水土保持措施和水土流失状况变化，开展实施效果定量分析，以期为国家水土保持重点工程的精准化监管提供基础数据和技术支撑。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

张家村小流域地处国家级重点治理区蒙阴县西南部 (35°38'21"~35°41'22"N，117°44'19"~117°48'32"E)，土地利用面积 2 913.45 hm^2。地势西高东低，最高点位于西南部大望山山顶，最低点位于东北部龙榜崖村河道，海拔高差 429.4 m。属暖温带半湿润季风气候，多年平均气温 13.5 ℃，多年平均降水量 776.0 mm。地表岩性以花岗片麻岩为主，主要土壤类型为棕壤。地带性植被属暖温带落叶阔叶林，现状植被以人工林和天然杂草为主，主要乔木有油松 *Pinus tabulaeformis*、赤松 *Pinus densiflora*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、麻栎 *Quercus acutissima*；主要灌草植被有黄荆 *Vitex negundo*、酸枣 *Ziziphus jujuba*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、结缕草 *Zoysia japonica* 等。

1.2 研究方法

1.2.1 *基础图斑与效果图斑构建* 基于 2011 和 2018 年 2 m 分辨率遥感影像，采用人机交互解译，提取土地利用、水土保持措施，计算林草植被覆盖度[5]；基于 1∶1 万地形图提取坡度坡长；根据土地利用、植被覆盖、坡度等信息，分别构建小流域 2011 年的水土保持基础图斑和 2018 年的评估效果图斑。

1.2.2 *水土保持措施数据采集* 基于全国水土保持信息管理系统内的张家村小流域初步设计与验收资料、小流域矢量边界、点线面措施等基础数据，利用奥维互动地图，通过实地调查及无人机航拍，开展水土保持措施、土地利用、植被状况等测定、核查及信息采集[6−11]。

1.2.3 *重点工程实施效果评估* 依据水利行业标准 SL 190−2007《土壤侵蚀分类分级标准》，以及土地利

用、植被覆盖、水土保持措施验收及实施情况核查等数据，通过分析水土流失面积消减率 (R)、水土流失治理度 (G)、水土保持措施保存率 (P)、林草覆盖率 (F) 和提高率 (I) 等指标，评估国家水土保持重点工程实施效果。具体指标计算如下：$R=(|S_e-S_f|/S_f)\times100\%$。其中：$R$ 为水土流失面积消减率 (%)，S_e 为评估年水土流失面积 (hm^2)，S_f 为基础年水土流失面积 (hm^2)。$G=(C_e/S_f)\times100\%$。其中：G 为水土流失治理度 (%)，C_e 为重点工程水土流失治理面积 (hm^2)。$P=(N_e/N_a)\times100\%$。其中：P 为水土保持单类措施保存率 (%)，N_e 为评估年该项措施实测数量，N_a 为竣工验收时该项措施的实测数量。$F=(F_e/A)\times100\%$。其中：F 为评估年林草覆盖率 (%)，F_e 为评估年林草覆盖面积 (hm^2)，A 为研究区总面积 (hm^2)。$I=[(F_e-F_f)/A]\times100\%$。其中：$I$ 为林草覆盖提高率 (%)，F_e 为评估年林草覆盖面积 (hm^2)，F_f 为基础年林草覆盖面积 (hm^2)。

2　结果与分析

2.1　水土保持基础图斑与效果图斑时空分布及变化

2.1.1　重点工程实施前后图斑时空分布　从图斑数量看 (图 1)，2011 年基础图斑数量总计 924 个，其中坡耕地图斑数量最多，为 251 个，占 27.16%；其次为旱梯田 191 个图斑，占 20.67%；村庄居民点 180 个，占 19.48%；有林地 163 个，占 17.64%；果园数量较少，仅 55 个图斑，占 5.95%。2018 年实施效果图斑数量共 946 个，其中坡耕地图斑 120 个，占 12.68%；旱梯田 190 个图斑，占 20.08%；村庄居民点图斑数量最多，207 个，占 21.88%；有林地 155 个，占 16.38%；果园 185 个，占 19.56%。

从图斑面积看，2011 年基础图斑中坡耕地面积占比最大，达 31.89%，其次为有林地 (27.66%)、旱梯田 (23.86%)，村庄居民点及果园面积占比分别为 7.39%、3.47%。2018 年效果图斑中旱梯田、有林地面积占比相当，分别为 28.44%、28.22%，其次为果园面积，占比 17.46%，坡耕地面积占比 12.06%，村庄居民点占比 7.96%(图 1)。

从空间分布看，2011 年耕地广泛分布于流域内中东部丘陵区域，在村庄居民点周围呈现大面积、片状、集中特点，且坡耕地和旱梯田交错分布；有林地则主要集中在流域内西部山区，呈大面积集中连片分布；果园较少，零星分布在流域内西部山前过渡带以及村庄周围。2018 年耕地在空间上仍广泛分布于流域内中东部丘陵区，但旱梯田优势明显，呈大面积集中片状分布，坡耕地呈块状零散分布于村庄周边；有林地仍集中连片在流域内西部山区；果园分布扩张明显，在流域西部山前过渡带呈集中带状分布，且在村庄周围呈大面积块状聚集 (图 2)。

2.1.2　重点工程实施前后图斑变化　张家村小流域重点工程实施前后图斑变化数量 339 个，变化面积 870.60 hm^2。变化方向主要为坡耕地/旱梯田转变为果园，图斑变化数量 132 个，变化面积 364.07 hm^2，

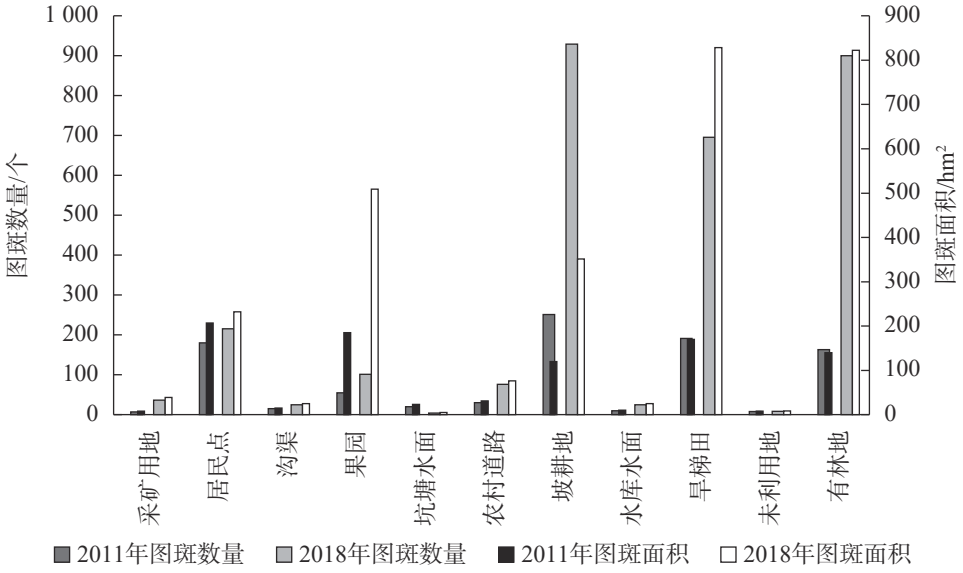

图 1　基础图斑和效果图斑数量与面积

Figure 1　Number and area of basic spots and effect spots

分别占变化图斑数量和面积的 38.94%、41.82%%；其次为坡耕地转变为旱梯田，图斑变化数量 77 个，变化面积 343.77 hm^2，分别占变化图斑数量和面积的 22.71%、39.49%(表 1)。重点工程实施前后坡耕地图斑数量和面积减少最多，图斑数量减少了 191 个、面积减少了 578.59 hm^2；果园数量和面积增加最多，共增加 156 个图斑、407.53 hm^2。

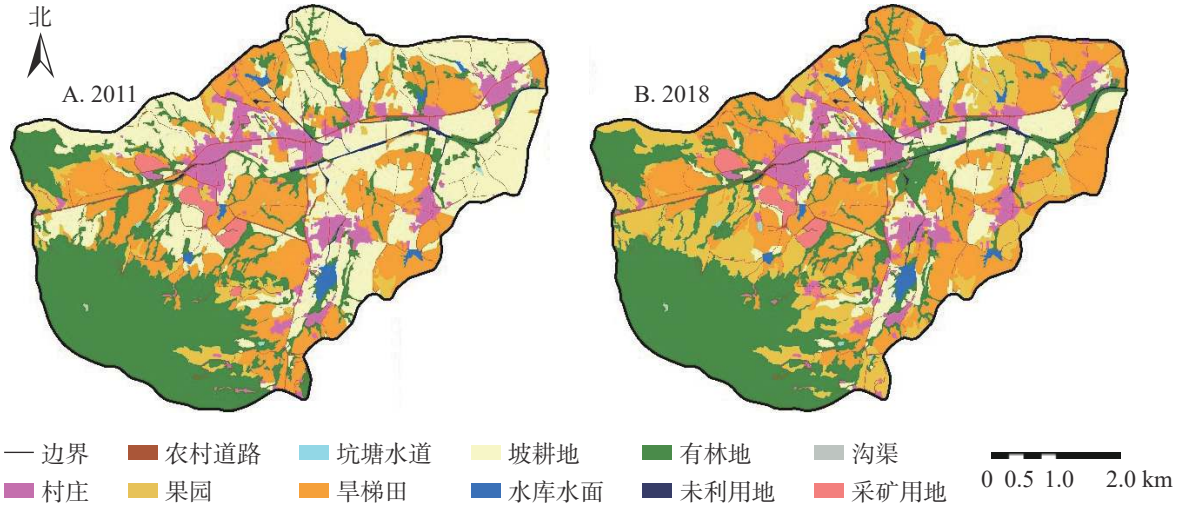

图 2 2011 和 2018 年土地利用现状示意图

Figure 2 Land use in 2011 and 2018

表 1 重点工程实施前后图斑变化方向

Table 1 Direction of land use change before and after the implementation of the key projects

实施前后变化方向	计数/个	面积/hm^2	实施前后变化方向	计数/个	面积/hm^2
村庄居民点—有林地	1	1.06	旱梯田—村庄居民点	1	0.14
果园—村庄居民点	6	3.36	旱梯田—果园	71	189.95
果园—有林地	4	8.69	旱梯田—有林地	10	20.56
坡耕地—村庄居民点	32	13.87	有林地—采矿用地	2	0.78
坡耕地—果园	61	174.12	有林地—村庄居民点	6	1.14
坡耕地—坑塘水面	3	1.22	有林地—果园	34	55.51
坡耕地—旱梯田	77	343.77	有林地—农村道路	1	0.13
坡耕地—有林地	23	49.16	有林地—坡耕地	5	3.56
旱梯田—采矿用地	1	1.80	有林地—旱梯田	1	1.79
总计	339	870.60			

2.2 林草植被覆盖状况评估

2.2.1 重点工程实施前后林草植被覆盖状况 2011 年研究区林草植被面积 906.94 hm^2，林草植被覆盖率 31.13%，以 60%~75% 的中高覆盖度为主，面积为 629.62 hm^2；≥75% 的高覆盖度次之，面积为 181.30 hm^2，主要分布在西南部山区。2018 年林草植被面积 1 331.03 hm^2，林草植被覆盖率 45.69%，仍以 60%~75% 的中高覆盖度为主，面积为 720.15 hm^2；≥75% 的高覆盖度次之，面积为 494.37 hm^2，集中分布在西南部、西北部山区，片状分布在东部 (图 3)。2011–2018 年，项目区林草植被面积增加了 424.09 hm^2，林草植被覆盖提高率达 14.56%。

2.2.2 重点工程实施前后林草植被覆盖度转移 2011–2018 年，林草植被覆盖度发生变化的面积为 797.73 hm^2(表 2)，占研究区总面积的 27.38%。林草植被转入面积 434.84 hm^2，占林草植被变化面积的 54.51%，主要是经济果林种植面积增加；林草植被转出面积 10.75 hm^2，占 1.3%。各覆盖度等级变化中，高覆盖度增加最多，占林草新增面积 73.82%。

2.3 水土保持措施保存效果评估

2.3.1 水土保持措施实施统计 根据 2013 年验收成果 (表 3)，研究区实施了点—线—面结合的治理措

施，面状措施总计 1 172.48 hm^2，其中封禁治理 486.62 hm^2、经济果林 179.00 hm^2、水土保持林 37.89 hm^2、土坎梯田 468.97 hm^2；点状措施总计 28 座，包括蓄水池 9 个、谷坊 9 座、山塘堰坝 10 座；线状措施为配套的生产道路 8 km。

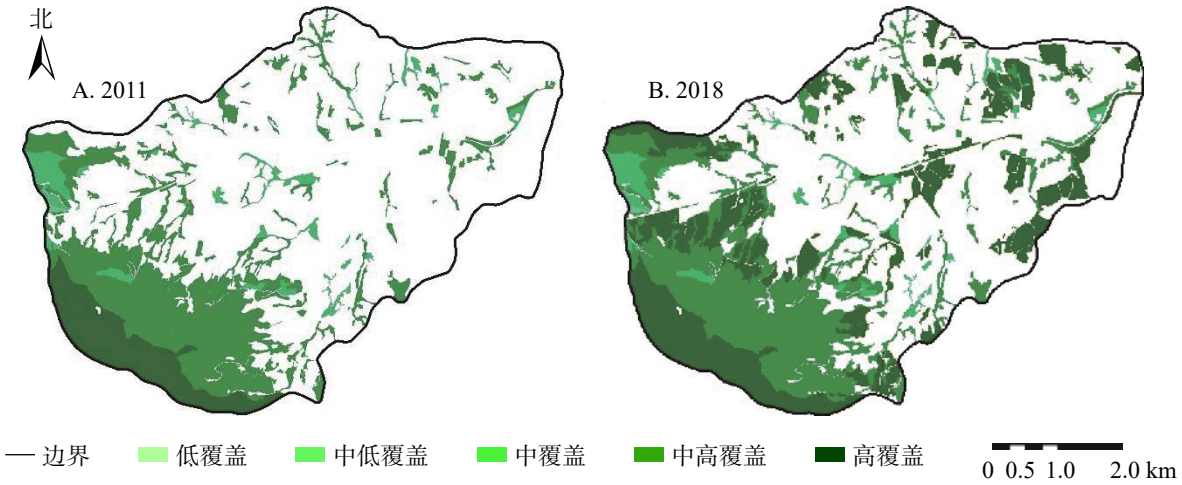

图 3　2011 和 2018 年林草植被覆盖分布示意图

Figure 3　Distribution of forest and grass coverage in 2011 and 2018

表 2　2011–2018 年林草植被覆盖度变化方向转移矩阵

Table 2　Transfer matrix of vegetation coverage change direction of forest and grass coverage from 2011 to 2018

2011年面积/hm^2		2018年面积/hm^2						
		林草植被面积					非林草植被面积	转出面积
		低覆盖	中低覆盖	中覆盖	中高覆盖	高覆盖		
林草植被面积	低覆盖	0	0	0	0	0	0.10	0.10
	中低覆盖	0	2.74	0	0	0	0.10	0.10
	中覆盖	0	0	52.23	39.07	0	1.78	40.85
	中高覆盖	0	0	0	307.78	313.07	8.77	321.84
	高覆盖	0	0	0	0	181.30	0	0
非林草植被面积		0	22.89	38.67	373.28	0	1 571.67	434.84
转入面积		0	22.89	38.67	412.36	313.07	10.75	797.73

2.3.2　*水土保持措施保存效果*　根据 2018 年水土保持措施调查数据 (表 3)，除蓄水池数量与验收数据一致外，其余水土保持措施面积、数量均有一定程度减少。面状措施现存 1 082.16 hm^2，较验收数据减少 90.32 hm^2，点状措施谷坊现存 5 座，山塘堰坝现存 8 座，分别减少了 4 座和 2 座；线状措施生产道路现存 7.24 km，减少了 0.76 km。

从水土保持措施保存效果看，除谷坊受损严重，保存率仅为 55.56% 之外，其余水土保持措施保存率均在 80.00% 以上。其中蓄水池保存率达 100.00%；土坎梯田、封禁治理措施和生产道路措施保存率在 90.00%~100.00%；经济果林、水土保持林和山塘堰坝措施保存率为 80.00%~90.00%。

表 3　水土保持措施实施状况与保存效果

Table 3　Statistical table for preservation condition of soil and water conservation measures

项目	点状措施			线状措施	面状措施				水土流失治理面积/hm^2
	蓄水池/个	谷坊/座	山塘堰坝/座	生产道路/km	封禁治理/hm^2	经济果林/hm^2	水保林/hm^2	土坎梯田/hm^2	
实施数量	9	9	10	8.00	486.62	179.00	37.89	468.97	1 172.48
现存数量	9	5	8	7.24	449.32	153.86	30.89	448.09	1 082.16
差异	0	−4	−2	−0.76	−37.30	−25.14	−7.00	−20.88	−90.32
保存率/%	100.00	55.56	80.00	90.51	92.34	85.95	81.51	95.55	

从空间分布看 (图 4)，封禁治理措施集中在西南部，水土保持林措施主要分布在西北部，经济果林措施和土坎梯田措施呈片状分布在王家村西南和西北部、许家沟村北部、龙榜崖村北部、南炉村东南部和西宝兴店村南部，蓄水池零散分布在东部耕地区域。

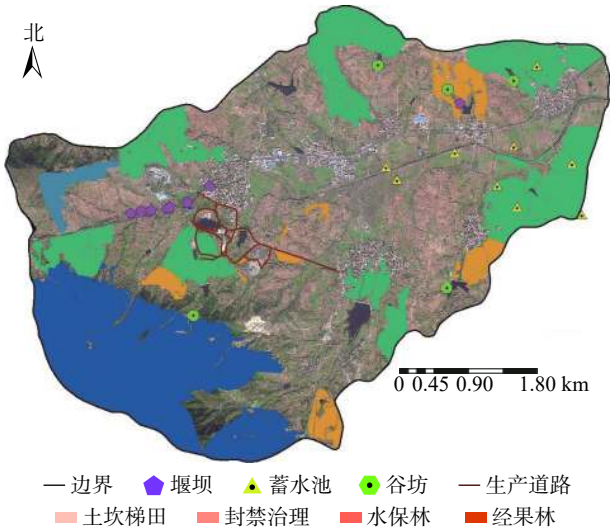

图 4 2018 年水土保持措施现状分布示意图

Figure 4 Current distribution of water and soil conservation measures in 2018

2.4 水土流失治理效果评估

2.4.1 水土流失及变化 2011 年，研究区水土流失面积 1 724.83 hm^2，占总面积 59.12%。其中轻度侵蚀 908.99 hm^2，占水土流失面积 52.70%，其次为中度侵蚀 678.75 hm^2，占 39.35%。2018 年，水土流失面积1 324.44 hm^2，占土地利用总面积 45.45%。仍以轻度侵蚀为主，面积为 1 185.53 hm^2，占水土流失面积 89.51%；中度侵蚀面积 125.4 hm^2，仅占 9.47%(图 5)。

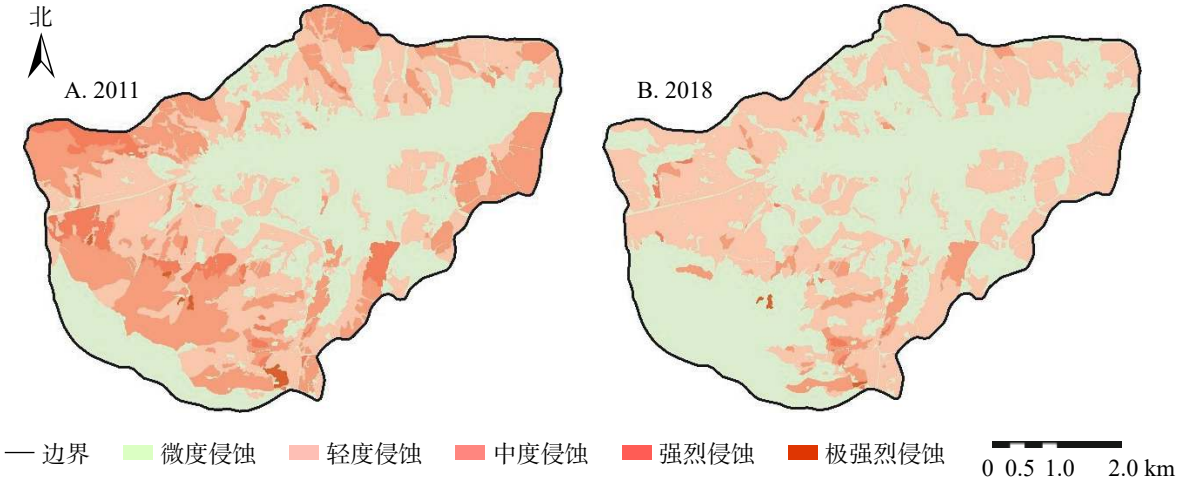

图 5 2011 和 2018 年土壤侵蚀强度分布示意图

Figure 5 Soil erosion intensity distribution in 2011 and 2018

土壤侵蚀强度等级变化面积 938.58 hm^2，占总面积 32.22%。土壤侵蚀强度等级呈降低趋势，侵蚀强度等级降低面积 901.58 hm^2，占变化面积 96.06%；侵蚀强度等级升高面积仅 37.00 hm^2，占变化总面积 3.94%；侵蚀等级面积变化最大的为中度侵蚀，其次为强烈侵蚀和极强烈侵蚀 (表 4)。

2.4.2 水土流失治理效果评估 2011−2018 年，重点工程实施前后水土流失面积减少了 400.39 hm^2，水土流失面积消减率达 23.21%。评估年治理水土流失面积 1 082.16 hm^2，水土流失治理度 76.78%。

表 4 水土流失变化方向转移矩阵

Table 4 Transfer matrices of soil erosion intensity change

2011年面积/hm^2	2018年面积/hm^2					
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	转出面积
微度侵蚀	1 151.61	35.94	1.06	0	0	37.00
轻度侵蚀	193.79	715.21	0	0	0	193.79
中度侵蚀	243.31	340.89	94.56	0	0	584.19
强烈侵蚀	0.31	92.12	24.39	10.49	0	116.82
极强烈侵蚀	0	1.38	5.39	0	3.02	6.76
转入面积	437.4	470.32	30.84	0	0	938.56

研究区不同措施类型区对水土流失的防控效果不同 (表 5)。土坎梯田措施区水土流失面积消减率达 20.74%。除轻度侵蚀增加外，其余高强度侵蚀等级水土流失面积均减少，主要是原有坡耕地区域实施土坎梯田措施，达到保持水土的效果；经济果林措施区水土流失面积消减率 2.80%，土壤侵蚀强度整体呈下降趋势，2018 年土壤侵蚀强度等级均为轻度；封禁治理措施区、水土保持林措施区水土流失面积消减率分别为 84.82%、78.64%，水土流失防控效果显著。

表 5　不同措施类型区水土流失状况统计

Table 5　The statistics of soil and water loss in different measures

措施类型	年份	轻度侵蚀/hm²	中度侵蚀/hm²	强烈侵蚀/hm²	极强烈侵蚀/hm²	水土流失面积/hm²	措施类型	年份	轻度侵蚀/hm²	中度侵蚀/hm²	强烈侵蚀/hm²	极强烈侵蚀/hm²	水土流失面积/hm²
土坎梯田	2011	137.69	234.60	45.09	0.83	418.21	封禁治理	2011	65.98	197.63	−1.86	3.90	269.37
	2018	325.17	6.30	0	0	331.47		2018	17.05	20.93	0.06	2.84	40.88
	增减	187.48	−228.30	−45.09	−0.83	−86.74		增减	−8.93	−176.70	−1.80	−1.06	−228.49
经济果林	2011	51.07	29.54	1.43	0	82.04	水土保持林	2011	8.09	21.55	0	0	29.64
	2018	79.74	0	0	0	79.74		2018	6.33	0	0	0	6.33
	增减	28.67	−29.54	−1.43	0	−2.30		增减	−1.76	−21.55	0	0	−23.31

3　讨论

根据国家水土保持重点工程信息化监管技术规定，开展实施效果评估的项目原则为竣工验收后 1~5 a 的重点工程。本研究区张家村小流域于 2013 年竣工验收，2018 年开展重点工程实施效果评估，属竣工验收后 5 a 项目，水土保持措施中除蓄水池数量保存完好外，其余措施均有一定程度减少。这与竣工验收后年限选取有直接关系，评估年与竣工验收时间间隔越长，对水土保持措施保存率影响越大。为对比分析重点工程实施效果，仍需进一步探索不同区域或同一区域重点工程实施效果评估年时限对水土保持措施的影响。

4　结论与建议

水土保持基础图斑中坡耕地图斑数量与面积占比最大，效果图斑中则以旱梯田和有林地为主；评估年与基础年相比，图斑变化数量为 339 个，变化面积 870.60 hm²，变化方向主要为坡耕地/旱梯田转变为果园，其次为坡耕地变转为旱梯田；重点工程实施前后坡耕地图斑数量和面积减少最多，果园数量和面积增加最多。

基础年林草植被面积 906.94 hm²，林草覆盖率 31.13%；评估年林草植被面积 1 331.03 hm²，林草覆盖率为 45.69%。覆盖度均以中高覆盖 (60%~75%) 为主，林草覆盖提高率达 14.56%。

水土保持措施现状除蓄水池数量与验收数据一致外，其余水土保持措施面积、数量均有一定程度减少。蓄水池保存率最高，谷坊受损最严重，保存率仅 55.56%，其余水土保持措施保存率均在 80.00% 以上。

评估年较基础年水土流失面积减少了 400.39 hm²，水土流失面积消减率 23.21%，水土流失治理度 76.78%；不同措施类型区对水土流失防控效果不同，封禁治理措施区、水土保持林措施区水土流失面积消减率分别为 84.82%、78.64%，土坎梯田措施水土流失面积消减率达 20.74%，经济果林措施区水土流失面积消减率 2.80%。

国家重点工程项目数据库中缺失山塘堰坝、谷坊、蓄水池和生产道路的准确地理位置，这给野外复核工作带来了很大困难。建议国家重点工程相关数据入库时，明确要求提供矢量图件以及各项水土保持措施的精准位置信息，以便精准评估实施效果。

5　参考文献

[1] 邢伟, 胡续礼, 张荣华, 等. 淮河流域国家水土保持重点工程土壤侵蚀防控效果[J]. 中国水土保持科学, 2016, **14**(2): 137 − 146.

XING Wei, HU Xuli, ZHANG Ronghua, *et al*. Control effects of the national key project of soil and water conservation on the soil erosion in Huaihe River Basin [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2016, **14**(2): 137 − 146.

[2] 赵爱军. 小流域综合治理模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
ZHAO Aijun. *The Research on Comprehensive Control Model in Small Watershed*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005.

[3] 张松松, 胡续礼, 张光灿, 等. 不同耕作方式对小流域坡改梯工程效果的影响[J]. 中国水土保持科学, 2015, **13**(6): 91 − 97.
ZHANG Songsong, HU Xuli, ZHANG Guangcan, *et al*. Effects of different tillage methods on the project of changing slope into terrace in small watersheds [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2015, **13**(6): 91 − 97.

[4] 赵建民. 基于生态系统服务理论的水土保持综合效益评价研究: 以黄土高原中部丘陵区为例[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2010.
ZHAO Jianmin. *The Study on the Comprehensive Benefit Evaluation for Soil and Water Conservation Based on the Theory of Ecosystem Services: A Case Study in Central Hilly-Gully Region on Loess Plateau*[D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2010.

[5] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院, 2003: 20 – 35.
LI Miaomiao. *The Method of Vegetation Fraction Estimation by Remote Sensing*[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2003: 20 – 35.

[6] 张洪达, 王保一, 牛勇, 等. 奥维地图在区域水土流失监测野外调查工作中的应用[J]. 中国水土保持科学, 2018, **16**(5): 85 − 94.
ZHANG Hongda, WANG Baoyi, NIU Yong, *et al*. Application of ovitalmap in field survey of regional water and soil loss monitoring [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2018, **16**(5): 85 − 94.

[7] 姜德文. 高分遥感和无人机技术在水土保持监管中的应用[J]. 中国水利, 2016(16): 45 − 47, 49.
JIANG Dewen. Application of high resolution remote sensing and UAV in soil conservation monitoring and supervision [J]. *China Water Resour*, 2016(16): 45 − 47, 49.

[8] 张雅文, 许文盛, 沈盛彧, 等. 无人机遥感技术在生产建设项目水土保持监测中的应用: 方法构建[J]. 中国水土保持科学, 2017, **15**(1): 134 − 140.
ZHANG Yawen, XU Wensheng, SHEN Shengyu, *et al*. Application of UAV remote sensing technology in monitoring of soil and water conservation for construction projects: the establishment of a method [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2017, **15**(1): 134 − 140.

[9] 田佳榕, 代婷婷, 徐雁南, 等. 基于地基激光雷达的采矿废弃地生态修复的植被参数提取[J]. 生态与农村环境学报, 2018, **34**(8): 686 − 691.
TIAN Jiarong, DAI Tingting, XU Yannan, *et al*. Extraction of vegetation parameters in different stages of ecological restoration on abandoned mine area based on T-LiDAR [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2018, **34**(8): 686 − 691.

[10] 王春梅, 杨勤科, 王琦, 等. 区域土壤侵蚀强度评价方法研究: 以安塞县为例[J]. 中国水土保持科学, 2010, **8**(3): 1 − 7.
WANG Chunmei, YANG Qinke, WANG Qi, *et al*. Research on regional soil erosion intensity assessment: taking the Ansai County as an example [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2010, **8**(3): 1 − 7.

[11] 齐斐, 胡续礼, 刘霞, 等. 基于小流域划分的沂源县水土保持规划布局及措施配置[J]. 中国水土保持科学, 2018, **16**(5): 129 − 135, 144.
QI Fei, HU Xuli, LIU Xia, *et al*. Soil and water conservation planning layout and measures configuration for Yiyuan County based on small watersheds [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2018, **16**(5): 129 − 135, 144.