

藉河流域水土保持效益评价

郭兰勤¹, 杨勤科²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710069)

摘要:为了客观定量评价天水藉河示范区一期和二期的水土保持效益,结合国家标准和示范区实际情况,建立了一套适合该区的水土保持效益评价指标体系,并用该指标对该区调水保土效益、经济效益、社会效益和生态效益进行了评价。结果表明:选取的评价指标体系和采用的评价方法能较为全面地反映水土保持的综合效益,具有一定的区域适宜性;示范区通过两期水土保持生态工程建设,取得了显著的调水保土、生态、经济和社会效益。本研究对水土保持效益评价体系的完善以及示范区可持续发展具有积极的作用。

关键词:水土保持; 调水保土; 生态效益

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0139-05

Evaluation on the Benefit of the Soil and Water Conservation in Jihe Watershed

GUO Lan-qin¹, YANG Qin-ke²

(1. College of Resources and Environment, Northwestern A&F University, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: In order to evaluate the benefit of the soil and water conservation objectively and quantificationally during the first and second period of Jihe watershed, this paper built a set of index system of benefit evaluation of soil and water conservation, which intergrated national standard and practical matter of Jihe watershed, then evaluated the benefit of regulating soil and water conservation, economic benefit, social benefit and ecological benefit. The result demonstrated that evaluation using the established evaluating system and the applied method can well reflect the comprehensive benefit of soil and water conservation, and show certain regional applicability. Soil and water conservation of the demonstration zone yielded remarkable regulation of soil and water conservation, ecological, economical and social benefits by two stage ecological engineering construction. The results of this research have positive effect on perfecting the index system of soil and water conservation and promoting sustainable development of demonstration zone.

Key words: soil and water conservation; regulation of soil and water conservation; ecological benefit

水土保持是对自然因素或人为活动造成水土流失所采取的预防和治理措施。水土保持效益是指水土保持措施对于减弱和预防水土流失、保护和改良水土资源、促进生态系统良性循环和社会经济系统健康发展的贡献。水土保持效益评价是对水土保持措施贡献的计算和分析^[1-2]。客观定量、科学地评价区域水土保持的效益,可正确评估治理策略的适用性、治理措施的有效性和可靠性,也可为进一步的治理决策提供依据^[3-5]。国内康玲玲、常庆瑞、孙昕等用不同方法从不同侧重点对小流域进行了水土保持效益综合

评价^[6-8],阎文哲、姚文波、王琦等从区域尺度对水土保持效益评价进行了研究和展望^[2,9-10]。刘万铨等探讨了黄河流域水土保持减沙效益的基本原则^[11],并完成了全国水土保持效益评价。水利部主持制定了效益评价国家标准(GB/T 15774—2008)^[12]。这些有关研究和标准初步形成了比较健全的评价指标体系和方法,但是针对较大区域、系统治理项目的效益评价研究比较薄弱。

本文以藉河流域为例,引入先进的 3S 技术,在国标(GB/T 15774—2008)和有关研究的基础上,初步

收稿日期:2011-08-08

修回日期:2011-08-26

资助项目:水利部公益性行业专项(201201081-02);黄河水利委员会项目“黄土丘陵三副区水土流失预测预报的区域模型与水土保持效益评价模型研究”

作者简介:郭兰勤(1985—),男,陕西省米脂县人,硕士研究生,研究方向为 GIS 应用。E-mail:guolanqing1@163.com

通信作者:杨勤科(1962—),男,陕西省陇县人,博士,研究员,主要从事区域水土流失与 GIS 应用研究。E-mail:qkyang@ms.iswc.ac.cn

建立一套能客观全面并定量化反映治理效果的区域尺度水土保持效益评价指标体系,并对该指标体系评价的适用性及其对示范区一期(1999—2005 年)和二期(2006—2010 年)效益评价结果的合理性进行探讨,以期能进一步完善区域水土保持效益评价系统和正确反映示范区水土保持治理效果,为后续科学的治理提供决策支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域与基础数据

藉河流域地处渭河中上游,属黄土丘陵沟壑第三副区,行政上属甘肃省天水市。该区年均降水量 518 mm,年降雨量 50% 以上集中在 7—9 月,且多暴雨。因长期不合理垦殖,森林退缩,草坡被开垦,天然植被残存无几。治理前多年平均侵蚀模数 5 426 t/(km² · a),为黄土高原水土流失较严重的地区。故自 1999 年以来,连续开展了梯田、淤地坝、骨干坝和退耕还林还草工程建设等一系列水土保持综合治理。

基础数据包括藉河流域 Hc—DEM^[13]、TM 遥感影像解译得到的植被覆盖和土地利用分类图、天水及周边多年日降雨资料、天水站气温和水文资料、土壤图

及天水市水土保持站提供的示范区调查统计数据、天水市统计年鉴、以及各水保措施的拦沙和蓄水定额等。

1.2 效益评价方法

1.2.1 效益评价指标选取原则 水土保持效益评价指标选取原则既是保障指标体系科学性的先决条件,又是确保评价结果合理的前提^[2]。效益评价指标选取原则如下:(1)符合水土保持科学原理,选取的指标能科学有序地演绎治理前后水土流失及其影响因子的变化。(2)反映治理效果,即指标能反映治理前后水土流失的强度及其影响因子发生发展的规律。(3)符合数据采集与编码要求。各指标必须客观存在,无重复无遗漏,且容易获取。(4)与研究区尺度相匹配,必须结合研究目的,选择与研究区尺度匹配的指标。(5)具有区域实用性,即选取的指标能在比较大的区域内、甚至全国范围内统一。

1.2.2 效益评价指标选取方法 水土保持效益评价研究和实践中,利用了理论推导、专家选取、文献频数分析等方法确定评价指标体系。本研究在上述几种方法的基础上,立足藉河示范区影响水土流失的自然和社会经济条件、水土流失及其治理特征,结合国家标准规定的方法与有关研究成果,建立一套科学合理的区域水土保持效益评价指标体系(表 1)。

表 1 水土保持综合治理效益指标体系

效益分类	计算内容	计算具体项目
调水 保土 效益	保水(一)	(1)改变微地形增加土壤入渗;(2)增加地面植被增加土壤入渗;(3)改良土壤性质增加土壤入渗
	增加土壤入渗	入渗
	保水(二)	(1)坡面小型蓄水工程拦蓄地表径流;(2)“四旁”小型蓄水工程拦蓄地表径流;(3)沟底、谷坊、坝库工程拦蓄地表径流
	拦蓄地表径流	坊、坝库工程拦蓄地表径流
	保土(一)	(1)改变微地形减轻面蚀;(2)增加地面植被减轻面蚀;(3)改良土壤性质减轻面蚀
	减轻土壤面蚀	
	保土(二)	(1)制止沟头前进减轻沟蚀;(2)制止沟底下切减轻沟蚀;(3)制止沟岸扩张减轻沟蚀
	减轻土壤沟蚀	
生态 效益	保土(三)	(1)坡面小型蓄水工程拦蓄泥沙;(2)“四旁”小型蓄水工程拦蓄泥沙;(3)沟底、谷坊、坝库工程拦蓄泥沙
	拦蓄坡沟泥沙	
	水圈生态效益	(1)减少洪水流量;(2)增加基流流量
	土圈生态效益	(1)改善土壤物理化学性质;(2)提高土壤肥力;(3)保持土壤养分
	气圈生态效益	(1)改善贴地层的温度湿度;(2)改善贴地层的风力;(3)滞尘吸收 SO ₂
经济效益	生物圈生态效益	(1)提高地面林草被覆程度;(2)维持生物多样性;(3)增加固碳释氧量;(4)增加 NPP 和物质生产量
	直接经济效益	(1)增产粮果饲草枝条木材带来的增收;(2)投入产出比;(3)投资回收期
	间接经济效益	(1)种基本农田比种坡耕地节约土地和劳工;(2)人工种草养畜比天然牧场节约土地
社会 效益	减轻自然灾害	(1)保护土地不遭沟蚀破坏与石化沙化;(2)减轻下游洪涝灾害;(3)减轻下游泥沙危害;(4)减轻风蚀与风沙危害;(5)减轻干旱对农业生产的威胁;(6)减轻滑坡泥石流的危害
	促进社会进步	(1)土地生产率;(2)劳动生产率;(3)调整土地利用结构,合理利用土地;(4)调整农村生产结构,适应市场经济;(5)人均占有粮食;(6)促进良性循环制止恶性循环;(7)人均纯收入

1.2.3 水土保持效益计算与评价方法 据国标和已有研究进展,以及当地治理实际情况和数据现状,本研究调水保土效益中,增加土壤入渗指标用流域平均

渗透系数来评价,用水保法计算拦蓄径流和沟坡泥沙,用 CSLE 来计算减轻的土壤面蚀^[14],用江忠善模型计算减少的沟蚀量^[15]。经济效益、社会效益根据

国标的方法计算^[12]。生态效益通过增加植被净初级生产力(NPP)和物质生产量^[16]、滞尘与吸收 SO₂ 和固碳释氧^[17]等指标的计算来评价。

2 结果与分析

2.1 调水保土效益

2.1.1 调水效益 据表 1,调水效益主要包括增加土壤入渗和拦蓄地表径流,其中增加土壤入渗指标通过计算流域渗透系数来说明。根据藉河示范区耕地、果园、林地和草地的初渗速率、稳渗速率实测值(表 2),对各土地利用进行面积加权,求得流域平均稳渗系数和流域平均初渗系数(表 3)。结果表明,在相同土地利用方式下,随着土地利用方式年限的增加,流域平均初渗系数逐渐减少,平均渗透系数逐年增加。

根据水土保持措施及措施蓄水拦泥指标,利用水保法计算拦蓄径流。蓄水效益计算结果(表 4)表明,

1999—2004 年各水保措施增加拦蓄地表径流 1 852.47 万 t,2006—2010 年增加拦蓄地表径流 201.60 万 t,且天水郡自 1990 年以来,最大洪峰流量呈减少趋势(见图 1)。说明水土流失治理前后,拦蓄地表径流的效益明显。

表 2 藉河示范区主要土地利用类型初渗和稳渗速率 mm/min

利用类型	初渗速率	稳渗速率
耕地	14.22	2.98
果园	17.58	6.09
林地	12.09	4.03
草地	13.83	3.63

表 3 天水藉河示范区流域渗透系数 mm/min

年份	平均稳渗系数	平均初渗系数
1999	3.47	13.51
2005	3.55	13.41
2010	3.58	13.35

表 4 藉河示范区水土保持措施蓄水效益

时间	梯田/ 万 t	乔木林/ 万 t	灌木林/ 万 t	人工草 地/万 t	经济 林果/万 t	生态修 复/万 t	谷坊/ 座	淤地坝/ 座	骨干坝/ 座	效益/ 万 t
1999 年合计	104.68	60.71	13.80	4.69	49.90	0.00	0.84	92.70	0.00	327.32
新增	228.58	115.37	31.16	20.06	165.92	15.67	62.48	896.10	317.10	1852.47
2004 年合计	333.26	176.08	44.96	24.75	215.82	15.67	63.32	988.80	317.10	2179.76
2006 年合计	176.36	98.28	17.60	8.00	115.53	0.00	35.54	679.80	317.10	1448.21
新增	65.54	39.43	27.85	4.48	2.24	26.52	35.54	0.00	0.00	201.60
2010 年合计	241.90	137.71	45.44	12.47	117.77	26.52	71.08	679.80	317.10	1649.79

2.1.2 保土效益 水土保持措施对土壤的保护包括对面蚀的控制和减轻、对沟蚀的控制以及对沟道泥沙的拦蓄。只考虑水保措施情况下,利用 CSLE 计算的面蚀结果表明,1999—2005 年,平均土壤侵蚀强度由 2 530.5 t/(km²·a)减少到 949.7 t/(km²·a),2005—2010 年,平均土壤侵蚀强度减少了 174.242 t/(km²·a),两期水土流失面积则分别减少 27.62%和 19.73%。利用江忠善模型计算各年的沟蚀系数,结果表明,1997—2010 年,示范区内沟蚀系数平均值从 1.168 减少到了 1.05。通过估算得出,一期和二期的治理使沟蚀量分别减少 1821.58 万 t 和 270.54 万 t,以上都说明水土保持治理对面蚀和沟蚀的控制和减轻效果比较明显。

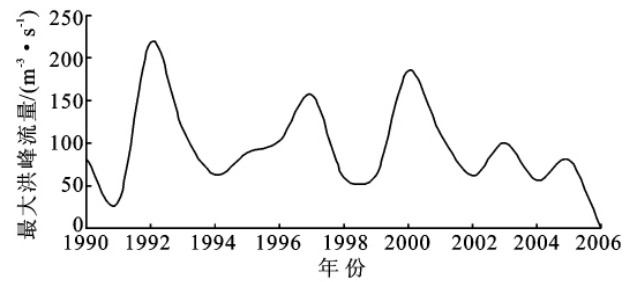


图 1 天水站最大洪峰流量

利用水保法计算藉河流域在一期和二期治理期内的拦蓄泥沙效益。计算表明(表 5),一期和二期各措施拦沙分别为 237.96 万 t 和 218.50 万 t,说明一期和二期的拦沙效益显著。

表 5 水土保持措施拦泥效益

时间	工程数量/座			拦泥量/万 t			效益合计/ 万 t
	谷坊	淤地坝	骨干坝	谷坊	淤地坝	骨干坝	
1999 年现状	42	3	0	0.55	7.35	—	7.90
一期累计	3124	29	7	40.61	71.05	118.40	230.06
一期末现状	3166	32	7	41.16	78.40	118.40	237.96
2005 年现状	1777	22	7	23.10	53.90	118.40	195.40
二期累计	1777	—	—	23.10	—	—	23.10
二期末现状	3554	22	7	46.20	53.90	118.40	218.50

2.2 经济效益

经济效益有直接经济效益和间接经济效益,由表 6 可看出,一期增产和增值分别为 34 512.15 万 kg 和 43 618.42 万元,二期增产和增值分别为 6 351.91 万

kg 和 3 265.22 万元。一期工程产投比增产和增值分别为 34 512.15 万 kg 和 43 618.42 万元,二期增产和增值分别为 6 351.91 万 kg 和 3 265.22 万元。一期和二期产投比分别为 122.49%和 36.41%。

表 6 一期和二期直接经济效益和产投比

时段	梯田		乔木林		灌木林	经济林果	种草		合计	饲草
	粮食	饲草	枝条	木材	枝条	干鲜果	草籽	饲草		
一期增产/万 kg	1443.84	2165.75	648.98	3.46	2337.05	24888.05	40.11	2005.55	979.36	34512.15
一期增值/万元	2165.75	433.15	0.00	0.00	0.00	39820.87	601.67	401.11	195.87	43618.42
一期产投比/%	13.06	N/A	0.00	399.27	238.10	43.56	122.49			
一期回收期/a	2.08	N/A	0.00	5.00	1.00	1.02				
措施生效时间/a	2	5	5	5	1	1				
二期增产/万 kg	1419.34	212.90	175.28	4.98	2088.62	336.39	8.95	447.71	1657.73	6351.91
二期增值/万元	2129.01	42.58	0.00	0.00	0.00	538.22	134.31	89.54	331.55	3265.22
二期产投比	38.05	N/A	0.00	399.27	238.10	43.56	36.41			
二期回收期/a	2.10	N/A	0.00	5.01	1.01	1.02				

间接经济效益主要计算基本农田建设节约的土地面积和人工草地节约的土地面积,前者根据总人口、粮食总需求、对坡耕地和基本农田的需求等折算。计算结果表明,一、二期治理通过基本农田建设、提高粮食单产节约的耕地分别为 22 822.00 hm² 和 25 439 hm²,分别占一、二期末耕地总面积的 4.97%和 31.19%。后者计算结果表明,一、二期治理通过人工草地建设、提高草地单产节约的草地分别为 53 992.95 hm²和 65 746.58 hm²,分别占一、二期末草地总面积的 79.34%和 90.60%。

2.3 社会效益

由于两期综合治理,水土流失强度整体呈下降趋势,水土流失面积[土壤侵蚀模数≥1 000 t/(km²·a),即轻度以上侵蚀面积]相应减少。自 1990 年以来,灾害面积呈趋势性降低。在提高土地生产力方面,因为一期和二期的基本农田建设,平均粮食单产分别增加 34.65%和 25.09%。草地方面,平均单产分别增加 10.90%和 2.03%。根据 4 期土地利用遥感解译数据,示范区土地利用面积表现出耕地面积逐渐减少、林地和草地面积增加的趋势,土地利用结构趋于合理。对人均纯收入的统计表明,一期和二期人均纯收入增加的幅度分别为 73.10%和 66.42%,年均增长分别为 12.18%和 13.28%。这些都说明水土保持社会效益成果显著。

2.4 生态效益

(1)水圈生态效益。治理期间流域平均径流系数从 1999—2005 年,再到 2010 年,分别减少了 0.004 和 0.001。表明工程措施和生物措施的综合作用,使降雨就近拦蓄或就地入渗,增加了土壤的含水量,减少了洪水流量,水圈生态系统得以改善。

(2)土圈生态效益。在只考虑水土保持措施情况下计算 1999 年、2005 年和 2010 年的平均土壤侵蚀模数,结合土壤理化性状计算得到土圈生态效益,计算结果表明(表 7),一期和二期保持土壤养分的量分别可高达 97 692.83,14 105.76 t。

(3)气圈生态效益。考虑到数据资料的限制及建设良好人居环境和低碳社会的需要,气圈生态效益用滞尘和吸收 SO₂ 的量来评价。计算结果(表 8)表明,示范区从 1999—2005 年,再到 2010 年,耕地、林地和草地的总计年滞尘量和年吸收 SO₂ 量逐渐增加,其中一期年滞尘量和年吸收 SO₂ 量分别增加 3.0 万 t 和增加 600 t,二期则分别增加 5.2 万 t 和 820 t。

(4)生物圈生态效益。主要计算人工林、人工草、封育林/草等增加的植被覆盖度,以及植物固碳释氧量。示范区植被覆盖度统计结果表明,1999 年平均植被覆盖度为 36.37,到 2010 年增加到 62.52,增加了 72%。且示范区生态系统的 NPP 和物质生产量^[16]逐年增加。

表 7 减少土壤养分流失量

流失量	年份	有机质	全氮	全磷	全钾	速效磷	速效钾
养分流失/t	1999	78811.62	5125.77	2565.50	79093.31	26.5	633.2
	2005	32501.49	2113.84	1058.00	32617.66	10.9	261.1
	2010	25814.83	1678.95	840.33	25907.10	8.7	207.4
减少流失量/t	一期	46310.13	3011.93	1507.50	46475.65	15.57	372.04
	二期	6686.67	434.89	217.67	6710.57	2.25	53.72

表 8 示范区水土保持气圈效益

土地利用 类型	面积/km ²			年滞尘量/10 ⁵ t			年吸收 SO ₂ 量/10 ³ t		
	1999 年	2005 年	2010 年	1999 年	2005 年	2010 年	1999 年	2005 年	2010 年
林地	495.94	553.41	602.09	4.89	5.47	6.09	7.09	7.79	8.67
草地	543.27	671.91	643.83	0.28	0.33	0.32	0.47	0.59	0.57
耕地	759.47	558.24	516.56	1.50	1.17	1.08	0.91	0.69	0.65
总计	1798.68	1783.57	1762.49	6.67	6.97	7.49	8.47	9.07	9.89

以治理初期的水土保持状态为参照,模拟 2005 年和 2010 年的固碳释氧情况。结果(表 9)表明,水土保持措施使 2005 年固碳和释氧的总量比 1999 年分别增加了 8.5×10^4 t 和 2.76×10^5 t,2010 年固定碳和释放氧气相比 2005 年则分别增加了 9.0×10^3 t 和 3.1×10^4 t。

表 9 藉河示范区植被历年固碳释氧量 10⁵ t

土地利 用类型	年固碳量			年释氧量		
	1999 年	2005 年	2010 年	1999 年	2005 年	2010 年
林地	1.00	1.34	1.36	3.26	4.39	4.47
草地	1.03	1.62	1.28	3.36	5.32	4.18
耕地	0.64	0.55	0.96	2.11	1.80	3.15
总计	2.66	3.51	3.60	8.74	11.50	11.81

3 结 论

(1)本研究按照国标及相关研究,结合天水藉河示范区自然经济状况,建立了一套区域尺度的水土保持效益评价指标体系。评价结果表明,经过一期和二期的治理,主要水土保持措施稳步增加,治理率达到 74.34%,流域平均植被覆盖度得到很大提高;示范区流域平均入渗能力稳定升高,地表径流拦蓄量增加,流域最大洪峰流量呈减少趋势,水土流失面积逐年减少。水土保持治理对控制土壤侵蚀、保持土壤水分的效果十分明显。

(2)通过增加粮食产量,直接增加了治理区的产量和产值,间接节约了耕地和草地,免受侵蚀危害的土地面积降低,干旱和洪涝灾害发生有降低趋势,流域土地生产力大幅度提高。土壤养分得以保持,大气质量和固碳释氧能力得到提高,系统逐步向良性循环发展,社会经济发展得到很大促进。

(3)本研究引入了 CSLE 模型进行保土效益的评价,并增加了土壤养分,同时引入了减少径流系数和渗透系数、减少沟蚀系数和沟蚀量、增加滞尘与吸收 SO₂ 量、增加 NPP 和物质生产量、增加固碳释氧量等指标的计算,且评价结果合理性较高。

致谢:本研究过程中,天水黄委水保站提供了水

土保持措施统计数据,同时得到了李俊和王琦的帮助,谨此一并致谢!

参考文献:

[1] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[2] 王琦, 杨勤科. 区域水土保持效益评价指标体系及评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 32-36.

[3] 陈雷. 中国的水土保持[J]. 中国水土保持, 2002(7): 4-6.

[4] 陈永宗. 水土保持与持续发展[J]. 中国水土保持, 1994(9): 45-48.

[5] 李锐, 杨勤科, 吴普特. 中国水土保持科技发展战略思考[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(3): 5-9.

[6] 康玲玲. 小流域水土保持综合治理效益指标体系及其应用[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 271-278.

[7] 常庆瑞, 冯立孝. 小流域综合治理评价方法初探: 以乾县枣子沟试区为例[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(1): 94-99.

[8] 孙昕, 李德成, 梁音. 南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨: 以江西兴国县为例[J]. 土壤学报, 2009(3): 373-380.

[9] 阎文哲, 赵光耀. 黄河流域水土保持综合效益分析[J]. 人民黄河, 1996, 18(5): 7-11.

[10] 姚文波. 水土保持效益评价指标研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 112-117.

[11] 刘万钊. 黄河流域水土保持减沙效益计算几项基本原则的探讨[J]. 人民黄河, 1996, 12(11): 41-44.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中国国家标准化管理委员会. 水土保持综合治理效益计算方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[13] 胡志瑞, 杨勤科, 任宗萍. 黄土丘陵沟壑第三副区水文地貌关系正确 DEM 的建立与评价[J]. 测绘科学, 2009, 34(6): 192-195.

[14] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. A empirical soil loss equation[C] // Process of soil erosion and its environment effect. Beijing: Tsinghua press, 2002: 143-149.

[15] 江忠善, 郑粉莉, 武敏. 中国坡面水蚀预报模型研究[J]. 泥沙研究, 2005(4): 1-6.

[16] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. 植物生态学报, 1995, 19(3): 193-200.

[17] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.