

定西市安定区不同水土保持措施结构下综合效益评价

刘彬彬¹, 邸利¹, 马晓燕², 王乐¹, 邢轶兰²

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070)

摘要:依据土壤侵蚀原理和生态经济学原理等理论,基于 DPSIR 模型,构建了适合区域水土保持综合效益评价的指标体系,运用灰色关联投影法,对定西市安定区不同水土保持措施结构下的综合效益进行了科学系统的评价。评价结果表明:1993 年、2000 年和 2010 年水土保持综合效益投影值分别为 0.116 1, 0.190 3, 0.218 4。水土保持综合效益值在 2010 年达到最大,其相对应的措施结构为该地区水土保持综合治理较优的措施比例结构。

关键词:措施结构; 综合效益; 灰色关联投影法

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)03-0152-05

Research of Comprehensive Benefits under Different Structures of Soil and Water Conservation Measures in Anding District of Dingxi City

LIU Bin-bin¹, DI Li¹, MA Xiao-yan², WANG Le¹, XiNG Yi-lan²

(1. College of Resources and Environment, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In this article, we established a suitable soil and water conservation benefit evaluation index system according to soil erosion principle, sustainable development theory, ecological economic theory, and DPSIR model. With gray relation projection method, the overall efficiency of Anding District of Dingxi City under different conservation measures of the structure was evaluated reasonably. The results showed that numerical projected values of benefit soil and water conservation in 1993, 2000 and 2010 were 0.116 1, 0.190 3 and 0.218 4, respectively. Soil and water conservation comprehensive benefits reach the maximum value in 2010. So, the structure of the corresponding measures should be optimum for the comprehensive management of soil and water conservation measure structure.

Key words: measure structure; comprehensive benefits; gray relation projection method

随着水土保持综合治理工作的不断深入,水土保持综合治理效益评价应运而生,且在水土流失综合治理科学研究工作中发挥着愈来愈重要的作用。我国众多学者在这方面做出了研究,系统地选取综合效益评价指标,确定每个指标因子在系统的贡献率,建立了完善的评价体系,并运用遗传算法对丹东市水土保持效益进行了测量^[1-2];史海静等对陕西省“长治”工程在生态效益、社会效益、经济成果等方面进行了综合分析,对“长治”工程进行了科学的评价^[3]。在水土保持综合治理工作中植树造林、种草和修建水平梯田是应用最为广泛的措施,这三项措施构成了治理区防治架构的基本框架,也是水土保持治理措施能够生效

的基本前提^[4]。但由于主客观条件的差异,这三项治理措施的布局 and 结构比例在各地区各个时期存在很大差异,进而使得水土保持综合治理效益在不断改变。位于陇中黄土高原丘陵沟壑区的定西市安定区,是我国水土流失最为严重的地区之一,也是水土保持综合治理的先进典型之一。在国家水土流失治理有限的资源投入条件下,研究和讨论该地区水土保持措施结构比例与综合效益之间的关系,能从一定程度上反映已有治理措施的合理性和已产生效益价值的大小,对调整和优化各种治理措施的结构,以及对国家各级政府单位水保工作策略的决定和实施都具有非常显著的指导意义。

收稿日期: 2013-09-11

修回日期: 2013-10-11

资助项目: 甘肃省科技厅国际合作项目(1011 WCGA171)

作者简介: 刘彬彬(1990—),男,河南郑州市人,硕士研究生,研究方向: 土地利用。E-mail: 993906802@qq.com

通信作者: 邸利(1961—),女,甘肃兰州市人,教授,主要研究方向为恢复生态学。E-mail: dili@gsau.edu.cn

1 研究区概况

定西市安定区位于我国黄土高原西部、甘肃省的中部,属黄土丘陵沟壑区第五副区。全区总面积约为3 638.7 km²,人口47万,境内地形多为黄土长梁,呈沟壑谷地起伏景观,地面坡度陡峭,自然植被覆盖率极低,以结构松散的黄绵土为主,干旱少雨,降水多集中在夏末秋初的7—9月3个月,且暴雨频繁,年均降雨量仅约420 mm,而蒸发量高达1 526 mm。

1.1 研究区水土流失治理状况

按照水土保持综合治理的目标,定西市安定区的水土保持综合治理工作大致可分为以下三个阶段^[5]。各个阶段治理措施数量详见表1。第一阶段:1942—1982年,以植树造林为重点,栽植绿化树种,建立各种林场。从20世纪60年代开始,又主要以改土造田为重点。第二阶段:1983—1996年,实施小流域综合

治理的纲领式模式,即以小流域为单元,生物措施与工程措施相结合,山、水、田、林、路综合治理。该治理阶段主要以发展畜牧业,脱贫致富为主要目标。第三阶段:1997年至今。以当地社会经济条件为基础,坚持治理与开发相结合,大力发展各类径流集流工程,着重实行水土保持林草措施。经过多年的艰苦努力,全区的水土保持生态建设取得了显著的成效。

定西市安定区不同阶段综合治理措施配置面积数据详见表1。

截至2010年底,全区累计治理水土流失面积2 961.1 km²,其中兴修梯田9.21万hm²、人均0.27 hm²以上,造林保存面积8.24万hm²,使治理程度达到了54.63%。仅2010年就完成水土流失治理面积60 km²,新修梯田0.35万hm²。完成“三北”四期防护林和荒山造林0.11万hm²,建成农村户用沼气池3 279座。

表1 安定区研究期水土保持措施面积

项目	工程措施					生物措施					合计	
	梯田	坝地	条田	塘坝/座	谷坊/道	小计	水保林	荒坡种草	封山育林	封坡育草		
1982年	面积/km ²	366.4	0.0	107.0	0	390	473.4	216.0	73.9	13.9	13.4	790.6
	占治理面积/%	46.34	0.0	13.53	—	—	59.88	27.32	9.34	1.76	1.69	100.0
	占总面积/%	10.07	0.0	2.94	—	—	13.01	5.94	2.03	0.38	0.37	21.73
1996年	面积/km ²	838.6	7.80	101.9	56	7198	948.3	873.8	700.1	4.40	4.00	2530.6
	占治理面积/%	33.13	0.31	2.80	—	—	37.47	34.53	27.67	0.17	0.16	100.0
	占总面积/%	23.05	0.21	2.75	—	—	26.06	24.01	19.24	0.12	0.11	69.55
2010年	面积/km ²	1148.2	5.90	71.2	67	10045	1225.3	948.3	743.9	21.10	22.50	2961
	占治理面积/%	38.7	0.20	2.40	—	—	41.30	32.03	25.12	0.71	0.76	100.0
	占总面积/%	31.56	0.16	1.96	—	—	33.67	26.06	20.44	0.58	0.62	81.38

注:数据来源于《甘肃省水土保持年报(2009)》、《甘肃省水土保持统计资料汇编(2001—2005年)》、《甘肃省水土保持统计资料汇编(1979—2000年)》和《甘肃统计年鉴2011》。

1.2 研究区不同研究期水土保持措施结构布局

根据定西市安定区的地形地貌特点,土地生态系统的建设以保证粮食生产的农林牧综合发展为方向,该区域进行水土保持综合治理关键措施优化组合^[6-7]。要优化土地利用结构,以水平梯田为主,大力发展基本农田,满足粮食自给自足,对不宜耕种的低

产田还林还草,增加植被覆盖度,控制水土流失,不断改善生态环境,提高系统功能;同时结合沟头营造防护林、修筑防护围埂,以防汇水下沟、防治沟头前进,大力发展经济作物,不断提高经济效益。

定西市安定区水土保持措施结构在不断的调整和优化中,研究阶段的结构比例见表2。

表2 安定区水土保持措施面积统计

项目	工程措施					生物措施					合计	农林牧比例	
	梯田	坝地	条田	塘坝/座	谷坊/道	小计	水保林	荒坡种草	封山育林	封坡育草			
1993年	面积/km ²	754.3	8.20	108.6	0	7198	871.1	874.8	756.3	13.90	13.40	2429.5	1:1.02
	占治理面积/%	29.81	0.32	4.30	—	—	34.42	34.57	29.89	0.55	0.53	99.96	1:0.91
	占总面积/%	20.73	0.23	2.98	—	—	23.94	24.04	20.78	0.38	0.37	66.77	
2000年	面积/km ²	901.0	7.80	89.0	65	8278	997.8	892.6	511.1	0.00	0.00	2401.5	1:0.89
	占治理面积/%	37.52	0.32	3.71	—	—	41.55	37.17	21.28	0.00	0.00	100.0	1:0.51
	占总面积/%	24.76	0.21	2.45	—	—	27.42	24.53	14.05	0.00	0.00	66.0	
2010年	面积/km ²	1148.2	5.90	71.2	67	10045	1225.3	948.3	743.9	21.10	22.50	2961.1	1:0.94
	占治理面积/%	38.7	0.20	2.40	—	—	41.30	30.00	32.03	25.12	0.76	99.81	1:0.48
	占总面积/%	31.56	0.16	1.96	—	—	33.67	24.46	26.06	20.44	0.62	81.38	

根据表2可知,2000年各项措施面积比1993年减少28 km²;2010年措施面积较2000年增加559.6 km²;2010年较1993年增加了531.6 km²。定西市安定区面积为3 638.7 km²。由此可见,1993—2010年各项措施增加的总面积占到流域面积的11.3%,这也说明定西市安定区水土保持措施的建设实施力度很大。因此,对定西市安定区不同水土保持措施配置模式下的治理效益进行客观的评价是非常有必要的。

2 综合效益评价

2.1 建立评价指标体系

DPSIR (Driving force-Pressure-State-Impact-Response)概念框架有助于全面分析水土保持的“驱动力”、“压力”、“状态”、“影响”和“响应”,有助于理解水土保持社会、经济和环境各因素的作用过程以及彼此之间的因果关系^[8]。根据区域生态经济等实际情况,本文以水土保持综合治理效益评估为目的,在遵循:(1)目的性与科学性;(2)实用性与可操作性;(3)重点性与客观性;(4)系统性与政策导向性;(5)动态可比性原则的基础上^[9],建立如下的评价指标体系(表中S代表社会属性,Ec代表经济属性,En代表环境属性)。

2.2 数据来源

评价体系中水土保持措施保存率及蓄水保土效益的计算参照华荣祥等在《甘肃省水土保持措施的综合效益分析》中所确定的相应数值;植被覆盖率和土壤侵蚀模数通过遥感影像(1993年6月、2000年8月和2010年8月)获取;其余各指标均通过计算得到,原始数据主要来自年《甘肃年鉴》(1994年和2001年)、《甘肃发展年鉴》(2011年)、《定西统计年鉴》(2005年和2006年)和2009年甘肃省水土保持统计年报,以及甘肃省水土保持统计资料汇编(甘肃省水利厅水保局,1979—2005年)和定西市水利局、定西市水土保持科学研究所的一些统计结果。

2.3 评价方法

灰色关联度法具有对数据要求不高、评价过程简单、可操作性强等优点,能在数据少而离散的情况下避免单方向误差^[10],且评价是以指标间相互关联比结果为基准的,评价结果较为客观,也更符合实际,因而被广泛应用于生态恢复环境效应评价(表3)。

表3 安定区水土保持综合效益评价指标体系

目标层	准则层	指标层	属性
水 土 保 持 综 合 治 理 效 益 评 价	驱动力 指标(D)	人口增长率(D ₁)	S
		农民人均纯收入(D ₂)	Ec
		人均生产的粮食(D ₃)	Ec
		降水量(D ₄)	En
		>10°有效积温(D ₅)	En
压力指标(P)		自然偏离度(P ₁)	S
		土壤侵蚀模数(P ₂)	En
		垦殖指数(P ₃)	S
状态指标(S)		治理度(S ₁)	En
		径流模数(S ₂)	En
		林草覆盖度(S ₃)	En
影响指标(I)		土地生产率(S ₄)	Ec
		生态系统服务价值(I ₁)	En
		第一性初级生产力(I ₂)	Ec
		恩格尔系数(I ₃)	S
响应指标(R)		系统抗逆力(I ₄)	En
		土地利用结构(R ₁)	S
		防治措施蓄水效率(R ₂)	En
		水土流失治理投入(R ₃)	S
		防治措施保土效率(R ₄)	En

灰色关联投影法基本步骤包括选取最佳决策方案、数据的初值化、建立多目标灰色关联判断矩阵、构建加权灰色关联决策矩阵和计算灰色关联投影值。

(1) 指标标准化处理。从表4可以看出,该区域水土保持综合效益的大多数指标随时间呈现出上升趋势,这说明该区域的水土保持综合效益在逐步提高,呈良性循环的态势。

(2) 指标权重的确定用均方差法,计算结果见表5。

表4 安定区水土保持综合效益评价指标标准化数值

指标	1993年	2000年	2010年	指标	1993年	2000年	2010年
D ₁	0.00	0.69	1.00	S ₃	0.00	0.69	1.00
D ₂	0.00	0.37	1.00	S ₄	0.00	0.59	1.00
D ₃	0.00	0.41	1.00	I ₁	0.00	0.45	1.00
D ₄	1.00	0.17	0.00	I ₂	0.59	1.00	0.00
D ₅	0.00	1.00	0.29	I ₃	0.00	0.80	1.00
P ₁	1.00	0.00	0.18	I ₄	0.00	0.80	1.00
P ₂	0.00	0.26	1.00	P ₁	0.00	1.00	0.83
P ₃	1.00	0.03	0.00	P ₂	0.00	0.52	1.00
S ₁	0.06	0.00	1.00	P ₃	0.21	1.00	0.00
S ₂	0.00	1.00	0.63	P ₄	0.00	0.43	1.00

表 5 安定区水土保持综合效益各评价指标权重系数

目标层	准则层	权重系数	指标层	权重系数	准则层	权重系数	指标层	权重系数
水土保持综合治理效益评价	驱动力 指标(D)	0.1661	人口增长率(D ₁)	0.0493	影响 指标(I)	0.2077	生态系统服务价值(I ₁)	0.0482
			农民人均纯收入(D ₂)	0.0486			第一性初级生产力(I ₂)	0.0484
			人均生产的粮食(D ₃)	0.0484			恩格尔系数(I ₃)	0.0509
			降水量(D ₄)	0.0515			系统抗逆力(I ₄)	0.0508
			>10°有效积温(D ₅)	0.0495				
	状态 指标(S)	0.2660	治理度(S ₁)	0.0540	响应 指标(R)	0.2261	土地利用结构(R ₁)	0.0514
			径流模数(S ₂)	0.0486			防治措施蓄水效率(R ₂)	0.0481
			林草覆盖度(S ₃)	0.0492			水土流失治理投入(R ₃)	0.0507
			土地生产率(S ₄)	0.0484			防治措施保土效率(R ₄)	0.0483
	压力 指标(P)	0.1341	自然偏离度(P ₁)	0.0512				
			土壤侵蚀模数(P ₂)	0.0499				
			垦殖指数(P ₃)	0.0546				

(3) 本研究中水土保持综合效益的最佳决策方案。

$AS_0 = (0.43, 2696.16, 609.7, 392.1, 3075.6, 84.02, 4646.34, 37.33, 79.42, 2654.062, 37.26, 6659.85, 2.02, 3.34, 35.38, 71.64, 88.41, 45.83, 0.35, 79.54)$

于是得到方案对指标集的属性矩阵 Y

$$Y = \begin{bmatrix} 0.43 & 2696.16 & 609.70 & 392.10 & 3075.60 & 84.02 & 4646.34 & 37.33 & 79.42 & 2654.06 & 37.26 & 6659.85 & 2.02 & 3.34 & 35.38 & 71.64 & 88.41 & 45.83 & 0.35 & 79.54 \\ 1.34 & 561.58 & 321.70 & 392.10 & 2590.20 & 84.02 & 11577.16 & 37.33 & 66.77 & 6512.20 & 13.00 & 2066.57 & 1.10 & 3.27 & 61.47 & 53.67 & 80.64 & 27.06 & 2.08 & 39.48 \\ 0.71 & 1354.00 & 439.00 & 360.30 & 3075.60 & 90.33 & 9763.17 & 44.64 & 66.00 & 2654.06 & 29.71 & 4781.08 & 1.51 & 3.34 & 40.66 & 67.96 & 88.41 & 36.80 & 0.35 & 56.65 \\ 0.43 & 2696.16 & 609.70 & 353.80 & 2730.20 & 89.17 & 4646.34 & 44.90 & 79.42 & 4088.25 & 37.26 & 6659.85 & 2.20 & 3.17 & 35.38 & 71.64 & 87.07 & 45.83 & 2.55 & 79.54 \end{bmatrix}$$

(4) 对评价指标进行初步处理可得:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3.12 & 0.21 & 0.53 & 1 & 0.84 & 1 & 2.49 & 1 & 0.84 & 2.45 & 0.35 & 0.31 & 0.54 & 0.98 & 1.74 & 0.75 & 0.91 & 0.59 & 5.94 & 0.50 \\ 1.65 & 0.52 & 0.75 & 0.92 & 1 & 1.08 & 2.10 & 1.20 & 0.83 & 1 & 0.80 & 0.72 & 0.75 & 1 & 1.15 & 0.95 & 1 & 0.80 & 1 & 0.71 \\ 1 & 1 & 1 & 0.90 & 0.89 & 1.06 & 1 & 1.20 & 1 & 1.54 & 1 & 1 & 1 & 0.95 & 1 & 1 & 0.99 & 1 & 7.29 & 1 \end{bmatrix}$$

(5) 计算得出灰色关联矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.92 & 0.76 & 0.78 & 1 & 0.79 & 1 & 0.91 & 1 & 0.749 & 0.90 & 0.77 & 0.76 & 0.78 & 0.80 & 0.87 & 0.79 & 0.79 & 0.78 & 0.97 & 0.77 \\ 0.89 & 0.57 & 0.65 & 0.74 & 1 & 0.78 & 0.87 & 0.79 & 0.72 & 1 & 0.60 & 0.59 & 0.65 & 1 & 0.83 & 0.70 & 1 & 0.66 & 1 & 0.64 \\ 1 & 1 & 1 & 0.96 & 0.95 & 0.98 & 1 & 0.98 & 1 & 0.99 & 1 & 1 & 1 & 0.97 & 1 & 1 & 0.96 & 1 & 0.97 & 1 \end{bmatrix}$$

(6) 本研究根据均方差法得到了一组加权系数 W:

$W = (0.0493, 0.0486, 0.0484, 0.0515, 0.0495, 0.0512, 0.0499, 0.0546, 0.0540, 0.0486, 0.0492, 0.0484, 0.0482, 0.0484, 0.0509, 0.0508, 0.0514, 0.0481, 0.0507, 0.0483)$, 则加权向量 W 作用下的加权灰色关联决策矩阵为:

$$F = \begin{bmatrix} 0.0493 & 0.0486 & 0.0484 & 0.0515 & 0.0495 & 0.0512 & 0.0499 & 0.0546 & 0.0540 & 0.0486 & 0.0492 & 0.0484 & 0.0482 & 0.0484 & 0.0509 & 0.0508 & 0.0514 & 0.0481 & 0.0507 & 0.0483 \\ 0.0454 & 0.0369 & 0.0378 & 0.0515 & 0.0391 & 0.0512 & 0.0454 & 0.0546 & 0.0427 & 0.0437 & 0.0379 & 0.0368 & 0.0376 & 0.0387 & 0.0443 & 0.0401 & 0.0406 & 0.0375 & 0.0492 & 0.0372 \\ 0.0439 & 0.0277 & 0.0271 & 0.0381 & 0.0495 & 0.0399 & 0.0434 & 0.0431 & 0.0389 & 0.0486 & 0.0295 & 0.0286 & 0.0313 & 0.0484 & 0.0422 & 0.0356 & 0.0514 & 0.0317 & 0.0507 & 0.0309 \\ 0.0493 & 0.0486 & 0.0484 & 0.0494 & 0.0470 & 0.0502 & 0.0499 & 0.0535 & 0.0540 & 0.0481 & 0.0492 & 0.0484 & 0.0482 & 0.0469 & 0.0509 & 0.0508 & 0.0493 & 0.0481 & 0.0492 & 0.0483 \end{bmatrix}$$

(7) 最后,求得各研究期水土保持综合效益的投影值为:

$$D_j = (0.1661, 0.1903, 0.2184)$$

根据投影的大小,对定西市安定区水土保持综合效益从大到小排序为:2010年>2000年>1993年。

3 结果与分析

3.1 研究结果

研究对定西市安定区 1993—2010 年各评价期水

土保持综合效益指数值、关联度和综合效益投影值等进行计算,结果见图 1。由图 1 可以看出,综合效益指数值随时间变化呈增大的趋势,2000 年该指数值增加幅度最大,达 269.6%;除压力、影响和相应分项指标效益指数外,其他分项指标的效益指数值均随时间呈现增加的趋势,且增加幅度都比较显著。2000 年压力分项效益指数值较其他研究期为最小,但 1993 年该指数值最大,并且,在三个研究期中也是最大的。除此之外,1993 年各因素的综合效益指数值均较小。

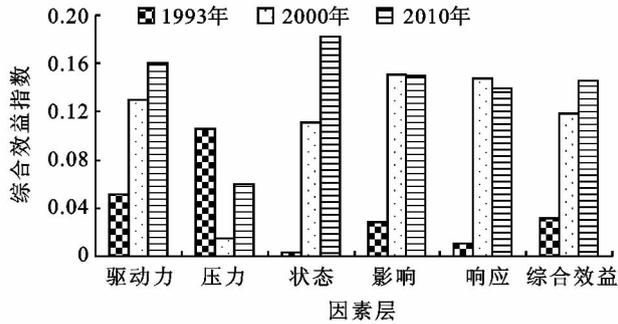


图 1 安定区水土保持效益空间动态

根据表 3 中评价指标属性及相应公式,可得定西市安定区水土保持三大效益综合指数值(表 6)。

表 6 安定区水土保持三大效益综合指数值

年份	社会效益	经济效益	生态效益
1993 年	0.1167	0.0284	0.0546
2000 年	0.1787	0.1147	0.2614
2010 年	0.1921	0.1454	0.3934

据表 6 可知,定西市安定区社会、经济和生态三大效益综合指数随时间均呈现上升的趋势,其中,生态效益最为突出,经济效益最小。2000 年三大效益指数值较 1993 年增长了 53.23%、303.25% 和 378.91%,综合效益指数值增长了 269.59%;2010 年三大效益较 2000 年分别增长了 7.49%、26.75% 和 50.48%,综合效益值增长了 23.49%。

3.2 结果分析

(1) 1993 年、2000 年和 2010 年水土保持综合效益投影值分别为 0.116 1、0.190 3 和 0.218 4。所以,水土保持综合效益值在 2010 年达到最大,其相对应的措施结构宜为较优的比例结构。

(2) 1993 年之前。该治理期内的水土保持措施三大效益及综合效益相对较低,究其原因在于,水土保持综合治理各项措施的结构比例不够合理,其中,水土保持林草措施所占的比例过高,而“三田”面积较少,由此造成的经济、社会效益有限。

(3) 1993—2000 年,尽管该治理期内水土保持生物措施的数量有所减少,但较上一阶段,水土保持综合效益仍呈现出较大的增长幅度,这主要取决于水土保持措施总体结构比例逐步趋向合理。

(4) 2000—2010 年,从该结构下的综合效益来看,不论是社会、经济效益,还是生态效益都优于其他两种水土保持措施结构,其三大效益指数较上一研究期分别增长了 7.49%、26.75% 和 50.48%;达到 1993 年的 0.65 倍、4 倍和 6 倍。该结构下治理效果之所以显著,最主要的原因在于水土保持综合治理措施的配置较为合理,“三田”、水土保持林地和牧草地面积比例达到 1:0.94:0.48。

4 结论

定西市安定区多年来主要通过兴修梯田、退耕还林草、营造水保林、经济林、种草和封育等措施来恢复重建该区生态系统,并不断调整水土保持措施中农林牧用地的结构比例,以使水土保持三大效益达到最大。通过建立合理的评价指标对研究区的不同水土保持效益进行科学的、定量的综合评价。由该研究结论可以看出,其措施结构的调整和优化已见成效,方法是科学和正确的。

水土保持综合治理措施结构需要在实践中不断地优化和调整,这主要取决于当地的社会经济条件和水土保持的目的。若不对水土保持措施进行加强和补充,水土保持综合效益将会逐年下降,进而导致土地生产力下降、土壤侵蚀加剧等负面效应。因此,结合水土保持工程措施和生物措施,优化生态系统农业、林业和牧业结构,同时加大投资力度,为区域发展生态经济提供良好条件,形成适宜本地的水土保持综合治理措施配置体系,是促进生态—社会—经济三者协调发展的根本出路。

参考文献:

- [1] 吴高伟,王璋. 遗传算法在水土保持综合效益评价中的应用初探[J]. 水土保持研究,2008,15(3):223-225.
- [2] 卜贵贤,李凯荣,周俊,等. 陕南秦巴山区小流域水土保持治理综合效益评价[J]. 水土保持研究,2011,18(6):231-235.
- [3] 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,2008,15(2):40-43.
- [4] 张富,赵守德,许富珍. 小流域水土保持综合治理模式及其效益对比研究[J]. 中国水土保持,1994(8):49-51,56.
- [5] 董俊天. 定西市安定区水土保持生态环境建设的成效与经验[J]. 甘肃农业科技,2004(5):27-29.
- [6] 张富,余新晓,景亚安,等. 黄土高原水土保持防治措施对位配置研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.
- [7] 姚文艺,李占斌,康玲玲. 黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [8] 韦杰,贺秀斌,汪涌,等. 基于 DPSIR 概念框架的区域水土保持效益评价新思路[J]. 中国水土保持科学,2007,5(4):66-69.
- [9] 林斌,邸利,张富,等. 黄土丘陵小流域生态系统健康评价指标体系研究:以安家沟小流域为例[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(5):31-36.
- [10] 马骞,杨子峰,于兴修,等. 基于多目标决策灰色关联投影法的水土保持生态修复生态效益动态评价[J]. 水土保持研究,2009,16(4):100-103.