

陕南秦巴山区小流域水土保持治理综合效益评价

卜贵贤¹, 李凯荣², 周俊²

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要:从自然环境和社会经济特征出发,选取具有代表性的窑沟小流域水土保持示范区为研究对象,通过实地调查和基础资料的收集,应用生态经济学的理论和方法,筛选并建立了一套比较完善的效益评价指标体系;运用层次分析法和多层次模糊评价法对该示范区的水土保持治理综合效益进行了定量评价。评价结果显示:窑沟流域的综合治理取得了显著的成效,2006 年、2007 年、2008 年的综合效益指数分别为 55、65、77,生态经济系统进入初级良性循环阶段。三大效益中生态效益和社会效益明显,效益指数分别从 2006 年的 58、81 增加到 2008 年的 98 和 100。

关键词:小流域;水土保持;综合效益

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0231-05

Evaluation of Comprehensive Benefit of Soil and Water Conservation in the Small Watershed in Qinling-Bashan Mountains of Southern Shaanxi Province

BO Gui-xian¹, LI Kai-rong², ZHOU Jun²

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Yaogou Small Watershed, a soil and water conservation demonstration zone, was chosen as the research object to set up an effect evaluation index system from the view of physical environment and social and economical characters. Based on the theory and methodology of eco-economics, field survey and basic data collection, a relatively complete benefit evaluation index system has been set up. The quantitative evaluation of synthetic benefit of soil and water conservation in this zone was conducted by using analytical hierarchy process (AHP) and multi-hierarchy fuzzy evaluation method. The results showed that the synthetic benefit indices of the years of 2006, 2007 and 2008 were 55, 65 and 77, respectively, its ecological and economic system has entered into primarily sustainable stage, and among three kinds of benefits, its ecological benefit and social benefit get remarkable increase from 58 and 81 in 2006 to 98 and 100 in 2008, respectively.

Key words: watershed; soil and water conservation; synthetic benefit

陕南秦巴山区主要指秦岭主脊线以南的秦岭山地和巴山山地,这里虽然植被盖度较高,但由于其复杂的自然环境及人为不合理开发利用资源,使水土流失状况依然严峻。据丹凤县武关水文站资料,该站多年平均侵蚀模数高达 $7\,740\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,已超过渭北黄土高原的大部分县和陕北部分县。严重的水土流失导致了生态环境的恶化,各种自然灾害频繁发生,给当地农业生产和人民的生命财产安全造成了极大的危害。频繁的自然灾害,严重地威胁到本区的人民生命财产和生态环境安全,同时也阻碍了当地社会经

济的可持续发展。农、林、牧、副发展不协调,产业结构严重失衡也是制约社会经济发展的主要因素。本区的农业生产结构极其单一,粮食生产比重过高,播种面积的 90% 都是粮食作物。而且坡耕地占有量大,水土流失均在强度以上,土地生产力每况愈下^[1]。为使山区人民尽快脱贫致富,早日步入小康社会,必须努力调整产业结构,发展主导产业,而这一切的前提是要坚持水土保持的综合治理,搞好生态环境建设。可以说水土流失已是陕南秦巴山区生态环境建设首要关注的问题。作为南水北调中线工程重要的

收稿日期:2011-06-29

修回日期:2011-08-11

资助项目:陕西省水土保持局“陕南小流域综合治理”项目

作者简介:卜贵贤(1961—),男,陕西扶风人,副教授,主要从事工程施工、工程造价与评价。E-mail:ylzybgx@163.com

水资源保护区,秦巴山区的生态环境好坏也直接影响到调水工程的成败,所以,加快治理秦巴山区的水土流失,搞好该地区的生态环境建设,已是刻不容缓的首要任务。

流域综合治理是一项极其复杂的生态经济工程,它类型多样,涉及面广,投资额大,要达到的目标众多。对流域综合治理效益进行科学的综合评价,不仅能客观鉴定治理活动对国民经济发展的宏观意义,对治理策略和方法的适用性,对治理措施的有效性和可靠性等;同时也为治理者进行决策提供了重要的依据。到目前,对黄土高原小流域综合治理效益的评价与分析成果较多^[2-8],并优化形成了黄土高原的水土流失治理模式。然而,陕南秦巴山区流域综合治理效益评价却严重滞后,这就不可避免地影响了该地区水土流失治理的效果和水土保持措施的科学配置。因此对该地区的小流域治理综合效益的评价应该是该地区水土保持研究工作的重中之重,探寻适宜秦巴山区水土保持治理效益评价的科学方法,极具重要的现实意义。

1 研究区概况

窑沟流域属于秦巴山区丹凤县庾岭镇管辖,位于东经 $110^{\circ}14'15''$ — $110^{\circ}20'25''$,北纬 $33^{\circ}50'20''$ — $33^{\circ}53'16''$ 之间。东西长 8.2 km,南北宽约 4.0 km,总土地面积 28.4 km²。境内山峦起伏,沟壑纵横,地形破碎。

窑沟流域地质构造属秦祁地槽东秦岭褶皱系华里西褶皱带,地质构造复杂。地势呈北低南高,西高东低的形态,峰谷高差悬殊,流域主沟道全长 7.9 km,主沟道平均比降约 27‰,森林覆盖率 42%。该流域位于中纬中山地带,属北亚热带半湿润和东南季风暖温带过渡性气候区,四季分明,气候温暖。夏季暴雨多,强度大。年平均降雨量约 716 mm,多集中于 7—9 月。年内降雨分布不均。多年平均径流深 210 mm,径流随季节变化大。一般是夏秋流量大,冬春流量小,且相差悬殊。含沙量变幅大,汛期河水猛涨,水中推移质显著增加。

该流域人口密度 86 人/km²。2005 年农村各业总产值 352.94 万元。其中农业产值 180 万元,林业产值 60 万元,牧业产值 4.12 万元,副业产值 38.82 万元。粮食总产量 88.44 万 kg,人均占有粮食 328 kg。人均纯收入 721 元。

2 评价过程

2.1 评价指标体系的建立

对小流域治理综合效益进行科学可靠的评价和分析,首先必须建立一套适用于特定小流域实际情况

和能保证评价准确可靠的评价指标体系。为充分体现系统的要素、结构和效益 3 方面的内容,根据流域的特征、流域治理目标以及综合效益评价目的,并考虑到整个评价过程的可操作性,在对相关成果^[2,3,6-7,9-12]研究分析的基础上优选采用了如表 1 所列的评价指标体系。

表 1 窑沟小流域综合治理评价指标体系及层次模型

目标层(A)	准则层(B)	指标层(M)
窑沟小流域 水土保持治 理综合效益	生态效益 B_1	治理度 $M_1/\%$
		林草覆盖率 $M_2/\%$
		土壤侵蚀模数 $M_3/(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$
	经济效益 B_2	人均纯收入 M_4 (元/人)
		劳动生产率 M_5 [元/(人·d)]
		资金产投比 M_6
	社会效益 B_3	人均粮食 M_7 (kg/人)
		粮食单产 $M_8/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
		农产品商品率 $M_9/\%$

2.2 评价方法计算

2.2.1 层次模型的建立 本研究采用层次分析法确定小流域治理综合效益评价指标的权重^[9,10,13]。依据层次分析法,将评价的要素划分为 3 个层次,分别为第一层次(最高层)综合效益评价水平(即目标层 A);第二层次(中间层)包括生态效益、经济效益和社会效益 3 个子体系(即准则层 B);第三层次(最底层)为各子体系具体的评价指标(即指标层 M),如表 1 是本次评价的层次模型。

2.2.2 构造判断矩阵 通过对示范区历年治理情况统计表、相关统计年报的资料收集和实际调查,获得水土保持治理与农村经济发展建设等方面的资料,由农林水多方专家独立对每层中各因素的相对重要性给出判断,然后求其平均值(数据处理前去除最值)并构造判断矩阵。专家按照 1~9 的比率标度赋值,1,3,5,7,9 分别表示因素 i 与因素 j 相比同等重要、比较重要、重要、很重要、极重要,若一个元素没有另一个元素重要,则其赋值取为上述 1~9 的倒数,对分级有更高精度要求的,则用 1~9 之间的任意实数进行内插确定。

2.2.3 排序及一致性检验

(1)层次单排序和一致性检验。层次单排序是采用方根法确定同一层次相应因素 b 对于上一层次某因素 a 相对重要性的排序权值。

用方根法求出其权重。公式为:

$$(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T = \left[\frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{1j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}}, \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{2j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}}, \dots, \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{nj}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n e_{ij}}} \right]^T$$

式中: w_1, w_2, \dots, w_n ——上一层 a 之下的决策层指标 b (即准则层或指标层中各指标) 对应的权重数; e_{ij} ——标度值。

一致性检验: 判断矩阵的一致性可用随机一致性指标来检验。

确定随机一致性比率: $CR=CI/RI$

其中判断矩阵一致性指标 $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, 各个矩阵的最大特征根 λ_{\max} 采用求和法来求解。其思路为: n 阶判断矩阵 $A=(a_{ij})$, 对其每列向量归一化得 $B=(b_{ij})=(a_{ij}/\sum_{i=1}^n a_{ij})(i, j=1, 2, 3, \dots, n)$; 对 $B=(b_{ij})$ 按行求和并归一化得近似特征向量 $W=(W_1, W_2, \dots, W_n)^T$; $\lambda_{\max}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$, $(AW)_i$ 表示 AW 的第 i 个分量。平均随机一致性指标 RI 根据矩阵阶数由已知所得, 如矩阵阶数为 3 时 RI 取为 0.58。

当 $CR \leq 0.1$ 时, 认为层次单排序的结果有满意的一致性, 否则需要调整判断矩阵的元素, 直至具有满意的一致性。

(2) 层次总排序及一致性检验。层次总排序是指计算同一层次所有因素对于最高层相对重要性的排序权值 (W_1), 为准则层中各指标权重与指标层中各指标权重之乘积。

对层次进行总排序一致性检验, 也是从高到低层进行的。如果 B 层次某些因素对于 A 单排序的一致性指标为 CI_j , 相应的平均随机一致性指标为 RI_j , 则 B 层次总排序随机一致性指标比率为:

$$CR = \sum_{j=1}^m a_j CI_j / \sum_{j=1}^m a_j RI_j$$

式中: a_j ——各评价指标权重。

同样地, 当 $CR < 0.10$ 时, 认为层次排序结果具有满意的一致性, 否则需要重新调整判断矩阵的元素取值直到满意为止。

经对评价体系的分析与研究, 本文所建立的判断矩阵、各指标对应的权重及排序如表 2—6 所示。

表 2 判断矩阵 A 及对应的权重

A	B_1	B_2	B_3	权重
B_1	1	2	3	0.390
B_2	1/2	1	3	0.355
B_3	1/3	1/3	1	0.255

表 3 判断矩阵 B_1 及对应的权重

B_1	M_1	M_2	M_3	权重
M_1	1	1.5	2.5	0.383
M_2	0.67	1	0.67	0.297
M_3	0.4	1.5	1	0.320

表 4 判断矩阵 B_2 及对应的权重

B_2	M_4	M_5	M_6	权重
M_4	1	4	2	0.413
M_5	1/4	1	1/2	0.260
M_6	1/2	2	1	0.327

表 5 判断矩阵 B_3 及对应的权重

B_3	M_7	M_8	M_9	权重
M_7	1	1/2.5	1/3	0.390
M_8	2.5	1	0.4	0.355
M_9	3	2.5	1	0.255

表 6 评价指标层次总排序

A	B_1	B_2	B_3	权值 W_1	排名
B	0.390	0.355	0.255		
治理度	0.383			0.149	1
林草覆盖率	0.297			0.116	4
土壤侵蚀模数	0.320			0.125	3
人均纯收入		0.413		0.147	2
劳动生产率		0.260		0.092	6
资金产投比		0.327		0.116	4
人均粮食			0.259	0.066	8
粮食单产			0.339	0.086	7
农产品商品率			0.402	0.103	5

2.2.4 评价指标的标准化计算 采用建立模糊数学隶属度函数对指标进行标准化, 根据对评价指标性质的分析, 试用升半梯形和降半梯形两种函数类型。

$$(1) \text{升半梯形函数: } A(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 1 & x \geq a_2 \end{cases}$$
$$(2) \text{降半梯形函数: } A(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_1-x}{a_1-a_2} & a_2 < x < a_1 \\ 0 & x \geq a_1 \end{cases}$$

式中: x ——指标的实际值; a_1, a_2 ——指标的下限及上限, 可依据评价标准 (即基准值和理想标准值) 确定。

根据调查资料, 专家咨询, 并参考水利部颁发的开发建设项目和生态建设项目水土流失防治标准规定以及水土保持综合治理验收规范, 确定指标的标准值如表 7。

根据调查数据, 通过计算得到治理期 3 a 中窑沟小流域水土保持综合治理效益评价指标的实际数值, 考虑到治理效益的滞后性, 将 2005—2007 效益评价调整为 2006—2008 年。试区评价指标的实际值和标准化值如表 8 和表 9。其中 M_3 指标采用降半梯形标准化类型, 其余指标采用升半梯形标准化类型, 以保证其一致性。

表 7 效益评价指标标准值

评价 指标	治理度 $M_1/\%$	林草覆盖 率 $M_2/\%$	土壤侵蚀模数 $M_3/$ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	人均纯收入 M_4 (元/人)	劳动生产率 M_5 [元/(人·d)]	资金产 投比 M_6	人均粮食 M_7 (kg/人)	粮食单产 M_8 (kg·hm ⁻²)	农产品商品 率 $M_9/\%$
基准值	25	20	10000	100	5	2	100	345	10
理想值	90	60	250	2000	20	4	400	5250	50

表 8 窑沟小流域 2006—2008 年水土保持治理综合效益实际值

评价 指标	治理度 $M_1/\%$	林草覆盖 率 $M_2/\%$	土壤侵蚀模数 $M_3/$ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	人均纯收入 M_4 (元/人)	劳动生产率 M_5 [元/(人·d)]	资金产 投比 M_6	人均粮食 M_7 (kg/人)	粮食单产 M_8 (kg·hm ⁻²)	农产品商品 率 $M_9/\%$
2006	27	72	1709	791	13	2.2	391	4688	36
2007	60	79	1099	861	13	2.2	453	5216	41
2008	87	88	338	927	14	2.3	515	5871	50

表 9 窑沟小流域水土保持治理综合效益指标标准化值

指标	治理度 M_1	林草覆盖 率 M_2	土壤侵蚀 模数 M_3	人均纯 收入 M_4	劳动生 产率 M_5	资金产 投比 M_6	人均粮食 M_7	粮食单产 M_8	农产品商品 率 M_9
2006	0.03	1	0.85	0.36	0.53	0.05	0.97	0.96	0.65
2007	0.54	1	0.91	0.40	0.53	0.10	1	0.99	0.78
2008	0.95	1	0.99	0.44	0.60	0.15	1	1	1

2.2.5 综合效益评价值的确定 一般模糊关系方程为:

$$B=A \cdot R$$

式中: B ——评价结果即判断子集; A ——模糊集中的权重分配; R ——各评价因素的单因素评价矩阵; \cdot 为模糊算子; M 层中生态效益、经济效益、社会效益的评价矩阵 $R(i=1,2,3)$ 已经由评价指标的实际值按隶属函数标准化求得。为了让所得评价结果直观明了,将效益评价值 B 和 A 换算成百分制(表 10)。公式为:

$$b'_i = \text{int}(100b_j + 0.5)$$

式中: b'_i ——效益评价得分百分值; b_j ——效益评价值。

表 10 窑沟小流域水土保持治理综合效益评价得分值

指标	2006 年	2007 年	2008 年
生态效益 B_1	58	76	98
经济效益 B_2	30	34	39
社会效益 B_3	84	91	100
综合效益 A	55	65	77

3 结果与分析

由表 10 可以看出,经过 3 a 的水土保持治理,窑沟小流域获得了明显的综合效益,生态、经济和社会效益持续增长,预期效益相当可观。

(1)就生态效益而言,其增长速率最快。2006 年效益评价值为 58,2007 年为 76,2008 年为 98(平均增长速率为 20),且其中治理度 M_1 、林草覆盖率 M_2 、土壤侵蚀模数 M_3 三个治理指标都发挥了相当好的功能,这是因为在对窑沟小流域实施水土保持综合治理的过程中,其工作重心在于生态环境建设。

(2)经济效益增加速率最慢。效益评价值从 2006 年的 30 增加至 2007 年的 34,到了 2008 年也仅仅增加至 39(平均增长速率为 4.5),其中人均纯收入 M_4 、劳动生产率 M_5 、资金产投比 M_6 三个治理指标均增长缓慢。这主要因生态环境治理所引起的经济效益具有滞后性,但经济效益会随着当地生态环境的改善和各项基础设施作用的正常发挥而得到长足的发展。

(3)社会效益持续增长。效益评价值 2006 年为 84,2007 年为 91,2008 年为 100(平均增长速率为 8),已达到预期理想值(100%)。说明对窑沟小流域进行 3 a 的治理后,当地农民的粮食问题已经基本得到解决。尽管社会效益已经达到预期理想值,但是农产品商品率转化却不高,所以今后在粮食生产方面,应着力提高农产品质量,调整产业结构,大力推广经济价值高、见效快的经济作物,提升其商品价值的转化率,切实有效地增加农民收入。

(4)综合三大效益指标所取得的初步成果,回归到目标项综合效益(A)上来,在 3 a 的治理期内,呈现出了良好的发展态势,2006 年、2007 年、2008 年的综合效益指数分别为 55,65,77(平均增长速率为 11)。参照小流域水土保持治理综合效益评价等级划分标准,当评价总分 $I < 70$ 时,综合治理生态经济系统建设未达标,系统处于恶性循环;当 $70 \leq I < 80$ 时综合治理生态经济系统建设已达到初级标准,系统处于初级良性循环。可以看出,在窑沟小流域被列入国家级水土保持示范区治理前,其生态经济系统一直处于恶性循环阶段,经过 3 a 的小流域水土保持综合治理后,迅速提升至初级良性循环阶段。

4 讨论

本文应用层次分析法和多层次模糊综合评价方法对秦巴山区小流域水土保持综合治理进行了评价与分析, 评价结果显示窑沟流域的综合治理取得了显著的成效, 评价比较全面客观, 符合实际情况, 评价结果可信度高。由此可以看出, 用层次分析法和多层次模糊综合评价方法对秦巴山区小流域水土保持治理综合效益进行评价是适宜的。

水土保持治理综合效益是生态效益、经济效益和社会效益的综合体现, 受多因素的影响, 该流域水土保持综合治理经济效益不明显, 其原因主要在于农业生产主要以种植业为主, 农产品的商品率不高。因此, 建议秦巴山区的水土流失综合治理应该以生态环境建设为基础, 同时注重农业产业结构的调整, 有效地促进农民增收, 实现生态效益、经济效益和社会效益的协调发展和综合效益的稳步提高。

参考文献:

- [1] 刘震, 郭索彦. 水土综合治理是秦巴山区防洪减灾和改善生存环境的必然选择[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(4): 1-5.

- [2] 彭鸿嘉. 甘肃中部黄土丘陵沟壑区农林复合生态系统综合效益评价[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 367-372.
- [3] 梁会民, 赵军. 小流域综合治理的生态经济效益评估研究[J]. 生态经济, 2001(8): 12-14.
- [4] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 399-417.
- [5] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 122-291.
- [6] 徐勇, 韩国义. 黄土丘陵区生态农业建设效益评价指标体系初步研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 139-146.
- [7] 韩冰, 汪有科. 渭北黄土高原沟壑区小流域综合治理评价的研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 84-89.
- [8] 李中魁. 黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究[J]. 生态学报, 1998, 18(3): 241-247.
- [9] 张忠学. 小流域生态经济系统的评价研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 24-27.
- [10] 王继军. 中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 243-247.
- [11] 李智广. 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, 18(7): 71-75.
- [12] 黎锁平. 水土保持综合治理效益的灰色系统评价[J]. 水土保持通报, 1994, 14(5): 13-17.
- [13] 崔文秀. 层次分析法在小流域规划中的应用[J]. 水土保持通报, 1989, 9(5): 45-51.

(上接第 230 页)

参考文献:

- [1] 封志明, 张蓬涛, 宋玉. 粮食安全: 西北地区退耕对粮食生产的可能影响[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 299-306.
- [2] 朱泽. 中国粮食安全问题[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1998.
- [3] 张希彪, 上官周平. 黄土高原粮食生产潜势及可持续发展途径探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 102-106.
- [4] 傅泽强, 蔡运龙, 杨友孝, 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 313-319.
- [5] 蔡运龙, 傅泽强, 戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 129-131.
- [6] 何毅峰, 谢永生, 王继军, 等. 吴起县耕地变化与粮食安

- 全问题研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 583-588.
- [7] 刘贤赵, 宿庆. 黄土高原水土流失区生态退耕对粮食安全的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 8-10.
- [8] 李玉平. 基于耕地压力指数的陕西省粮食安全状况研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 602-603.
- [9] 王大伟, 刘彦随, 卢艳霞. 农业结构调整对全国粮食安全的影响分析: 以粮食主产区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(2): 56-59.
- [10] 唐正平. 世界农业问题研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 215-223.
- [11] 常庆瑞, 孟庆香, 刘京, 等. 黄土丘陵沟壑区土地承载力及提高途径探讨: 以延安市为例[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(6): 16-20.
- [12] 东梅. 退耕还林对我国宏观粮食安全影响的实证分析[J]. 中国软科学, 2006(4): 46-54.