

# 川东丘陵区水土保持综合效益评价

华娟<sup>1</sup>, 熊明彪<sup>2</sup>, 张贝克<sup>1</sup>, 罗伊铁<sup>1</sup>

(1. 四川省水土保持技术研究中心, 成都 610041; 2. 四川省水土保持生态环境监测总站, 成都 610041)

**摘要:**水土保持综合效益评价指标众多, 不同地区由于自然、社会和经济条件相差很大, 评价指标的选取也不同。在对川东丘陵地区进行实地调查、走访、查阅当地资料、专家咨询的基础上确定了包括目标层、准则层和指标层的三级评价指标体系, 包括 20 个评价指标, 这些指标以量化为主, 基本能够反映区域水土保持综合效益。在对不同效益评价方法进行分析的基础上, 提出了利用层次分析法进行水土保持综合效益评价的方法, 对丁家河小流域治理后水土保持综合效益进行了评价, 结果表明, 治理后小流域水土保持综合效益得分值为 0.091 6, 各准则层效益表现为社会效益 > 调水保土效益 > 生态效益 > 经济效益, 评价结果与当地实际相符合, 表明本研究所建立的评价指标体系合理, 评价方法可行, 可应用于川东丘陵区水土保持综合效益评价, 为川东丘陵区水土保持综合治理提供依据。

**关键词:**水土保持; 综合效益; 指标体系; 评价方法

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0152-05

## Evaluation on Comprehensive Benefit of Soil and Water Conservation in the Hilly Area of Eastern Sichuan Basin

HUA Juan<sup>1</sup>, XIONG Mingbiao<sup>2</sup>, ZHANG Beike<sup>1</sup>, LUO Yitie<sup>1</sup>

(1. *Soil and Water Conservation Technology Research Center of Sichuan Province, Chengdu 610041, China;*

2. *Soil and Water Conservation Monitoring Station of Sichuan Province, Chengdu 610041, China*)

**Abstract:** There are many evaluation indexes for soil and water conservation. Due to the great differences on natural, social and economic conditions, different evaluation indicators are selected in different regions. Based on the investigation, interviewing, checking local information and consulting experts, we established a three-level evaluation index system including the target layer, the guideline layer and the index layer which totally included 20 indexes. These indexes could quantitatively reflect comprehensive benefit of soil and water conservation in the region. We evaluated comprehensive benefit of soil and water conservation at the area of Dingjiahe via AHP. The result indicated that the score was 0.091 6 for comprehensive benefit of soil and water conservation in the area. The benefits on guideline layer decreased in the order: social benefits > water and soil conservation benefits > ecological benefits > economic benefits. These results were consistent with the local area, indicating that the method was feasible and the index system was reasonable. It could be applied in this area and provide a theoretical basis for comprehensive control of soil and water conservation in the hilly area of eastern Sichuan Basin.

**Keywords:** soil and water conservation; comprehensive benefit; index system; evaluation approach

川东丘陵区包括四川东部的广安、达州、巴中三市, 该区地形起伏, 坡度变化较大, 土层薄且降雨集中。加上区域发展又以农业为主, 人口密度大, 生产活动频繁, 因此水土流失十分严重。近年来, 国家通过农发水保项目、坡耕地治理项目等一大批水土保持工程的实施, 进行了多条小流域的治理, 有效改善了当地的农业生产条件, 减轻了当地水土流失状况。水

土保持综合效益评价是对水土保持措施贡献的计算和分析, 通过效益评价可查明水土保持措施实施过程中存在的问题, 认识理解水土保持措施对水土流失的影响机理及其区域适宜性, 为制定修编进一步的治理规划方案提供依据。

水土保持综合效益包括调水保土效益、经济效益、生态效益和社会效益四大方面。目前对水土保持

效益评价的研究,多集中在单一效益的评价<sup>[1-3]</sup>。也有一些学者对水土保持综合效益进行了评价,但大多不够全面,而且这些研究多集中在黄土高原地区<sup>[4-5]</sup>。据《四川省第一次全国水利普查公报》,四川省水土流失面积达 12.10 万 km<sup>2</sup>,其水力侵蚀面积为全国第一,随着国家对西南地区的水保投入不断加大,水土流失治理面积也不断增加,但是,对西南地区水土流失治理的综合效益方面的研究还不够深入,而且评价指标方面尚无统一标准,对于所采用的水保措施的效益还缺乏符合当地实际的评价依据。因此,本研究结合川东丘陵区实际情况,以广安市岳池县为例,建立了一套能够客观反映该区域水土保持综合效益的评价指标体系,利用层次分析法对川东丘陵区开展定量评价,以期为该地区水土保持措施的选取和效益评价提供依据。

1 研究区概况

本研究区位于广安市岳池县东南部的丁家河小流域,地理位置为东经 106°24′34″—106°31′18″,北纬 30°20′22″—30°26′59″,辖属石垭镇,涉及 33 个行政村。小流域土地总面积 46.05 km<sup>2</sup>,小流域内无完整山脉,地形零碎,丘陵起伏,沟谷纵横,形态多姿,地势东北高,西南低,东北向西南倾斜渐次形成中丘中谷地貌类型。小流域多年平均降水量 1 050 mm,多年平均气温 16.9℃,植被覆盖率 46.5%。区内水土流失面积达 19.74 km<sup>2</sup>,占土地总面积的 42.9%,治理前土壤侵蚀模数 3 930 t/(km<sup>2</sup>·a),严重的水土流失直接制约着小流域经济社会的持续发展。

小流域于 2013 年开始实施国家农业综合开发水保项目,共治理水土流失面积 1 506 hm<sup>2</sup>,包括坡改梯 66.62 hm<sup>2</sup>;水土保持林 165.45 hm<sup>2</sup>;经济果木林 69.95 hm<sup>2</sup>;封禁治理 20.97 hm<sup>2</sup>;保土耕作 1 183.01 hm<sup>2</sup>。小型水利水保工程:塘堰整治 2 座,蓄水池 16 口,沟渠 4.78 km,沉沙池 50 个,作业道路 5.67 km。

2 评价指标体系构建

根据科学性、系统性、可比性、层次性、可操作性的原则<sup>[6-7]</sup>,考虑所研究小流域降雨集中且强度大、植被覆盖率低、水土流失严重、生态环境脆弱、人民生活水平低等特点,通过目标层、准则层、指标层 3 个层次构建了评价指标体系,确定了涉及调水保土效益、经济效益、生态效益、社会效益的 20 个评价指标,见表 1。数据收集方法为:治理前小流域各项数据通过查阅存档资料、发表的文献、遥感影像、土壤图、土壤侵蚀图、水土流失治理区划图、土地利用现状图、以及部门与居民走访座谈等形式获取;治理后小流域各项数

据通过野外实地考察、观测、采样分析、收集资料、现场调查以及部门和居民走访座谈等形式获取。

3 评价方法

层次分析法是美国运筹学家 Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初提出的。他将评价问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次,是一种多层次权重解析方法;是一种简明的定性与定量分析相结合的系统分析和评价的方法。这一方法的特点是在对复杂决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析之后,利用较少的定量信息,把评价的思维过程数学化,从而为解决多目标、多准则或无结构特性的复杂问题提供了一种简便的评价方法<sup>[8]</sup>。

3.1 建立层次结构模型

根据已经建立的评价指标体系,把水土保持综合效益作为目标层 O;把调水保土效益、经济效益、生态效益和社会效益作为准则层 B;将 20 种能够用来评价川东丘陵区水土保持效益指标作为指标层 C。建立层次结构模型如表 1 所示。

表 1 水土保持综合效益评价指标体系		
目标层 O	准则层 B	指标层 C
水土保持综合效益	B <sub>1</sub> 调水保土效益	C <sub>1</sub> 土壤侵蚀强度
		C <sub>2</sub> 水土流失面积
		C <sub>3</sub> 土壤保水能力
	B <sub>2</sub> 经济效益	C <sub>4</sub> 产投比
		C <sub>5</sub> 粮食作物产值
		C <sub>6</sub> 农业生产总值
		C <sub>7</sub> 人均 GDP
		C <sub>8</sub> 土壤保肥能力
	B <sub>3</sub> 生态效益	C <sub>9</sub> 土壤孔隙度
		C <sub>10</sub> 水土流失治理度
		C <sub>11</sub> 植被覆盖度
		C <sub>12</sub> 生物多样性
		C <sub>13</sub> 土地退化
		C <sub>14</sub> 土地利用率
		C <sub>15</sub> 土地利用结构
		C <sub>16</sub> 人均粮食产量
	B <sub>4</sub> 社会效益	C <sub>17</sub> 农产品商品率
		C <sub>18</sub> 劳动力利用率
		C <sub>19</sub> 恩格尔系数
		C <sub>20</sub> 贫困人口比例

3.2 构造判断矩阵

对同一层次各元素对上层次各准则的相对重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵。指标  $x_i$  与  $x_j$  关于某个评价目标的相对重要性程度之比的赋值参考 1~9 比例标度法(表 2)确定<sup>[9]</sup>,由多个专家分别给出判断矩阵,最后取平均值。经过对指标体系各层次指标因子的两两比较,得到各指标因子重要性的判断矩阵(表 3—7)。

表 2 比例标度参考表

标度 $a_{ij}$	说明
1	表示指标 $x_i$ 与 $x_j$ 相比,具有同样重要性
3	表示指标 $x_i$ 与 $x_j$ 相比, $x_i$ 比 $x_j$ 稍微重要
5	表示指标 $x_i$ 与 $x_j$ 相比, $x_i$ 比 $x_j$ 明显重要
7	表示指标 $x_i$ 与 $x_j$ 相比, $x_i$ 比 $x_j$ 强烈重要
9	表示指标 $x_i$ 与 $x_j$ 相比, $x_i$ 比 $x_j$ 极端重要
2,4,6,8	对应以上两判断的相邻状况
倒数	若指标 $x_i$ 与 $x_j$ 比较,判断矩阵值为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

表 3 准则层因子重要性判断矩阵

因子	$B_1$ 调水 保土效益	$B_2$ 经济 效益	$B_3$ 生态 效益	$B_4$ 社会 效益
$B_1$ 调水保土效益	1	5	1/3	3
$B_2$ 经济效益	1/5	1	1/3	1
$B_3$ 生态效益	3	3	1	3
$B_4$ 社会效益	1/3	1	1/3	1

表 7 水土保持社会效益指标层因子重要性判断矩阵

因子	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$	$C_{17}$	$C_{18}$	$C_{19}$	$C_{20}$
$C_{13}$ 土地退化	1	1	1/3	3	3	1/3	3	5
$C_{14}$ 土地利用率	1	1	1/3	3	3	1/3	3	5
$C_{15}$ 土地利用结构	3	3	1	5	5	1	5	7
$C_{16}$ 人均粮食产量	1/3	1/3	1/5	1	1	1/5	1	2
$C_{17}$ 农产品商品率	1/3	1/3	1/5	1	1	1/5	1	2
$C_{18}$ 劳动力利用率	3	3	1	5	5	1	5	7
$C_{19}$ 恩格尔系数	1/3	1/3	1/5	1	1	1/5	1	2
$C_{20}$ 贫困人口比例	1/5	1/5	1/7	1/2	1/2	1/7	1/2	1

3.3 指标权重及一致性检验

先解出判断矩阵  $A$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$ ,再利用  $AW=\lambda_{\max}W$ ,解出所对应的特征向量  $W$ , $W$  经标准化后,即为同一层次中相应因子对于上一层次的某个因子相对重要性权值。然后利用如下公式进行一致性检验:  $CR=CI/RI$ ,  $CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$ ,  $RI$  的取值见表 8( $CI$  为一致性指标,  $RI$  为平均随机一致性指标,  $CR$  为随机一致性比例)。当  $CR<0.1$  时,判断矩阵具有满意的一致性,否则需对矩阵进行重新调整。对矩阵进行一致性检验后,按照层次分析法(AHP)的基本原理求出各指标因子的权重(结果见表 9—13)。

表 8 平均随机一致性指标取值一览表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
取值	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

表 13 水土保持社会效益指标层权重及一致性检验

因子	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$	$C_{17}$	$C_{18}$	$C_{19}$	$C_{20}$
权重	0.1284	0.1284	0.2810	0.0507	0.0507	0.2810	0.0507	0.0290
一致性检验	$\lambda_{\max}=8.1168, CR=0.0118$							

表 4 水土保持调水保土效益指标层因子重要性判断矩阵

因子	$C_1$ 土壤 侵蚀强度	$C_2$ 水土 流失面积	$C_3$ 土壤 保水能力
$C_1$ 土壤侵蚀强度	1	3	1/3
$C_2$ 水土流失面积	1/3	1	1/5
$C_3$ 土壤保水能力	3	5	1

表 5 水土保持经济效益指标层因子重要性判断矩阵

因子	$C_4$ 产投比	$C_5$ 粮食 作物产值	$C_6$ 农业生 产总值	$C_7$ 人均 GDP
$C_4$ 产投比	1	1/3	3	3
$C_5$ 粮食作物产值	3	1	3	5
$C_6$ 农业生产总值	1/3	1/3	1	2
$C_7$ 人均 GDP	1/3	1/5	1/2	1

表 6 水土保持生态效益指标层因子重要性判断矩阵

因子	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$
$C_8$ 土壤施肥能力	1	3	4	1	1/2
$C_9$ 土壤孔隙度	1/3	1	1	1/3	1/3
$C_{10}$ 水土流失治理度	1/4	1	1	1/3	1/5
$C_{11}$ 植被覆盖度	1	3	3	1	1/3
$C_{12}$ 生物多样性	2	3	5	3	1

表 9 准则层权重及一致性检验

因子	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
权重	0.3077	0.1045	0.4690	0.1188
一致性检验	$\lambda_{\max}=4.2604, CR=0.0975$			

表 10 水土保持调水保土效益指标层权重及一致性检验

因子	$C_1$	$C_2$	$C_3$
权重	0.2583	0.1047	0.6370
一致性检验	$\lambda_{\max}=3.0385, CR=0.0370$		

表 11 水土保持经济效益指标层权重及一致性检验

因子	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
权重	0.2622	0.5159	0.1368	0.0851
一致性检验	$\lambda_{\max}=4.1308, CR=0.0490$			

表 12 水土保持生态效益指标层权重及一致性检验

因子	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$
权重	0.2348	0.0849	0.0723	0.2044	0.4036
一致性检验	$\lambda_{\max}=5.1152, CR=0.0257$				

结果表明,准则层和各指标层 CR 值均小于 0.1,通过一致性检验,表明准则层和各指标层判断矩阵构造合理。

3.4 数据标准化处理

水土保持综合效益应是治理前后各指标信息动态变化的定量表达,可通过治理前后的指标值的变化率来表示,在获取到 20 个指标的具体值之后,尚需对之进行标准化处理以得到无量纲指数(0~1),从而获取各指标的得分值,根据不同指标的性质,分别采用了线性比例法、归一化处理法、取绝对值法对 20 个指标值进行标准化处理。

3.5 效益得分值计算

调水保土效益、经济效益、生态效益和社会效益的计算方法为:

(1)首先计算出各自对应的准则层  $B$  (即调水保土效益、经济效益、生态效益、社会效益)的得分值  $B_i$  ( $B_i=\sum_{i=1}^nW_{di}\times C_i$ , $W_{di}$  为指标层  $C_i$  的权重, $C_i$  为指标标准化值)。

(2) 再按同样方法计算出目标层  $O$ (即水土保持综合效益)的得分值  $O(O=\sum_{i=1}^nWB_i\times B_i$ , $WB_i$  为准则层  $B_i$  的权重)。

4 结果与分析

通过调查、访问、实地采样及定期进行监测获取了丁家河小流域治理前后各指标层的数值,并对各指标值进行标准化处理后得到指标标准化值,再通过效益得分值计算,小流域水土保持综合效益结果(表 14,15)。

表 14 指标层效益得分值计算结果

指标层 C	治理前	治理后	标准化值	权重	得分值
C <sub>1</sub> 土壤侵蚀强度	0.486	0.619	0.136	0.2583	0.0351
C <sub>2</sub> 水土流失面积(%)	42.78	25.69	0.171	0.1047	0.0179
C <sub>3</sub> 土壤保水能力(%)	9.25	14.89	0.056	0.637	0.0357
C <sub>4</sub> 产投比	1.472	1.552	0.080	0.2622	0.0210
C <sub>5</sub> 粮食作物产值(万元)	3100	3315	0.069	0.5159	0.0356
C <sub>6</sub> 农业生产总值(万元)	18200	20408	0.021	0.1368	0.0029
C <sub>7</sub> 人均 GDP(元)	7673.47	8057	0.050	0.0851	0.0043
C <sub>8</sub> 土壤保肥能力	0.246	0.512	0.266	0.2348	0.0625
C <sub>9</sub> 土壤孔隙度(%)	45.7	48.26	0.026	0.0849	0.0022
C <sub>10</sub> 水土流失治理度(%)	57.13	74.31	0.172	0.0723	0.0124
C <sub>11</sub> 植被覆盖度(%)	46.5	51.6	0.051	0.2044	0.0104
C <sub>12</sub> 生物多样性	—	—	0.000	0.4036	0.0000
C <sub>13</sub> 土地退化	18.71	4.42	0.764	0.1284	0.0981
C <sub>14</sub> 土地利用率(%)	94.1	98.12	0.040	0.1284	0.0051
C <sub>15</sub> 土地利用结构	0.533	0.550	0.017	0.281	0.0048
C <sub>16</sub> 人均粮食产量(kg/hm <sup>2</sup> )	30.67	32.33	0.054	0.0507	0.0027
C <sub>17</sub> 农产品商品率(%)	10	25.6	0.156	0.0507	0.0079
C <sub>18</sub> 劳动力利用率(%)	15.5	10.6	0.049	0.281	0.0138
C <sub>19</sub> 恩格尔系数	58	50	0.138	0.0507	0.0070
C <sub>20</sub> 贫困人口比例(%)	4.37	3.99	0.004	0.029	0.0001

表 15 小流域水土保持综合效益计算结果

指标	权重	得分值
B <sub>1</sub> 调水保土效益	0.3077	0.0887
B <sub>2</sub> 经济效益	0.1045	0.0637
B <sub>3</sub> 生态效益	0.469	0.0875
B <sub>4</sub> 社会效益	0.1188	0.1395
O 综合效益	—	0.0916

各指标层得分值表现为土壤保水能力>土壤侵蚀强度>水土流失面积;经济效益得分值为 0.063 7,各指标层得分值表现为粮食作物产值>产投比>人均 GDP>农业生产总值;生态效益得分值为 0.087 5,各指标层得分值表现为土壤保肥能力>水土流失治理度>植被覆盖度>土壤孔隙度>生物多样性,由于治理完成时间较短,小流域生物多样性目前还未有变化;社会效益得分值为 0.139 5,各指标层得分值表现

(1) 治理后,小流域调水保土效益得分值为 0.088 7,

为土地退化>劳动力利用率>农产品商品率>恩格尔系数>土地利用率>土地利用结构>人均粮食产量>贫困人口比例。

(2) 小流域综合效益得分值为 0.091 6,各准则层效益表现为社会效益>调水保土效益>生态效益>经济效益。

(3) 对丁家河小流域治理后的水土保持综合效益进行评价,小流域综合效益得分值为 0.091 6,各准则层效益表现为社会效益>调水保土效益>生态效益>经济效益,评价结果与当地实际相符合,表明本研究所建立的评价指标体系合理,评价方法可行,可应用于川东丘陵区水土保持综合效益评价,为川东丘陵区水土保持综合治理提供依据。

## 5 结 论

(1) 水土保持综合效益评价指标众多,不同地区由于自然、社会和经济条件相差很大,评价指标的选取也不同。本研究在对川东丘陵地区进行实地调查、走访、查阅当地资料、专家咨询的基础上确定了三级评价指标体系,包括 20 个评价指标,这些指标以量化为主,基本能够反映区域水土保持综合效益。

(2) 在对不同效益评价方法进行分析的基础上,确定了利用层次分析法进行水土保持综合效益评价的方法,该方法将定量和定性相结合,它把问题的各个组成因素划分为相互联系的有序层次,对每个层次组成要素的相对重要性给予数量标定,然后运用严密的数学方法,运用计算机软件进行数据处理,求得各个因子的重要程度,最后根据结果的排序来分析和解

决问题。通过本研究确定的评价方法,能够对该区域水土保持综合效益得出比较准确的评价结果。

(3) 由于小流域治理完成时间仅一年,各项指标效益的发挥尚处于初期,因此目前各项水保效益得分值较低,随着治理年限的增长,各项指标将发挥更大的效益,小流域综合效益也将不断提高,直至达到最大效益。

### 参考文献:

- [1] 陈国建,李锐,杨勤科,等.黄土高原水土保持的社会经济效应评价研究[J].中国农学通报,2005,21(8):384-387.
- [2] 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.
- [3] 赵力仪,马国力,祁永新,等.水土保持社会效益的监测与评价[J].人民黄河,2000,22(6):23-26.
- [4] 魏强,柴春山.半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土流失治理综合效益评价指标体系与方法[J].水土保持研究,2007,14(1):87-89.
- [5] 金瑾,蓝明菊.水土保持综合治理效益评价研究[J].山西建筑,2008,34(1):349-350.
- [6] 林积泉,王伯铎,马俊杰,等.小流域治理环境质量综合评价指标体系研究[J].水土保持研究,2005,12(1):68-71.
- [7] 余海龙,吴普特,冯浩,等.黄土高原小流域雨水利用环境效应评价的方法与指标体系[J].中国沙漠,2005,25(1):50-54.
- [8] 潘文,王鹤立.层次分析法在污染场地修复技术优选中的应用[J].环境科学与技术,2012(S):322-326.
- [9] 高吉喜.可持续发展理论探索[M]北京:中国环境科学出版社,2001.

(上接第 151 页)

- [14] 冉景江,陈敏,陈永柏.三峡工程影响下游水生态环境的径流调节作用分析[J].水生态学杂志,2011,32(1):1-6.
- [15] 刘蔚,王涛,高晓清,等.黑河流域水体化学特征及其演变规律[J].中国沙漠,2004,24(6):755-761.
- [16] 严平,李文赞,王学全,等.库姆塔格沙漠水文调查初步结果[J].中国沙漠,2011,31(1):242-246.
- [17] 周长进,董锁成.柴达木盆地主要河流的水质研究及水

环境保护[J].资源科学,2002,24(2):37-41.

- [18] Meybeck M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads [J]. American Journal of Science, 1987,287(5):401-428.
- [19] 王根绪,程国栋.西北干旱区水中氟的分布规律及环境特征[J].地理科学,2000,20(2):153-159.
- [20] 张芳,段汉明,张婷.北疆城镇区域社会经济与绿洲生态系统协调发展评价[J].干旱区资源与环境,2014,28(5):7-12.