

安家沟小流域综合治理效益评价

蔡国军^{1,2}, 张仁陟^{1*}, 柴春山²

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730060; 2. 甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:采用层次分析法,对安家沟小流域 5 年的综合治理效益进行了分析和评价。结果表明,2005 年较 2001 年,流域综合效益指标值提高了 168.57%,生态效益值增加了 56%;流域内植被覆盖率由 2001 年的 10.1%增加到 2005 年的 21.3%,水土流失治理度由 72.6%增加到 84.0%,土壤侵蚀模数由 4 627 t/(km²·a)下降到 1 300 t/(km²·a);农业投入产出比由 2001 年的 0.95 降低到 2005 年的 0.82,劳动生产率由 8 074 元/(人·a)提高到 9 167 元/(人·a),土地生产率由 267 元/667 m² 增加到 343 元/667 m²,平均增幅为 28.46%;流域内人均纯收入从 2001 年的 1 620 元增加到 2005 年的 1 748 元,提高了 7.9%。据此认为,通过实施一系列治理措施,流域内生态、经济和社会效益均有不同程度的提高,流域生态环境和农业生产环境发生了很大变化,人民生活水平有了显著改善,农林牧各业得到了协调发展,小流域的生态经济和社会复合系统正在向持续、稳定和协调的方向发展。

关键词:小流域;层次分析法;指标体系;综合治理;效益评价

中图分类号:TV213;S28 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)06-0023-08

* 小流域综合治理是总结了长期以来治理水土流失的经验和教训,按照水土流失的特点和规律,因地制宜,因害设防,采取工程措施、植物措施和农业技术措施相结合,山水田林路综合治理,合理利用水土资源,优化农、林、牧结构,形成以小流域为单元的综合防治体系。我国水土保持的长期经验证明,以小流域为单位的治理是防治水土流失的最佳形式。小流域综合治理是一项复杂的生态经济工程,它涉及到自然、经济、社会、人文各种因素之间的关系,以及由治理所引起的系列变化^[1~4]。自 20 世纪 50 年代以来,我国政府为了从根本上解决黄河的水患问题,投入了大量的人力和资金,开展黄土高原水土流失的综合治理。从 1986 年起,国家科技部连续 20 年,将黄土高原的综合治理与区域开发纳入国家科技攻关计划。中国科学院与水利部等有关部委、省(区)一起,在陕、甘、宁、晋、蒙 5 省(区)建立了 11 个小流域综合治理试验示范区,建立了不同的水土流失综合治理与农业发展模式^[5]。开展了林草复合生态系统对林木和土壤的影响及林草复合的生态效益和经济效益研究,分析了该区域植被特征及其与土壤养分的关系^[6~8]。经过 20 多年的科技攻关,试验示范及相应推广区域面貌发生了显著变化,初步建立了良性循环的生态系统,生产力得到显著提高,在林草种配置和结构优化方面做了大量的研究^[9~13]。为了规范和正确指导小流域治理的实施,促进小流域治理水平不断提高,使小流域治理后达到保护和改善生态环境、创造可持续发展的小流域环境的目的,迫切需要对小流域治理的效果进行综合评价,以反映其环境质量的改善、生态资源储备的增值和区域可持续发展能力的提高,为小流域治理的规划、设计、环境质量评价和验收管理提供科学依据^[14~15]。效益分析评价是小流域综合治理过程中不可或缺的有机组成部分。对流域系统在不同时间和不同空间尺度上的动态变化进行监测,根据监测结果对流域综合治理效益进行客观评价,是检验治理方案及技术路线是否合理、治理成效是否显著的必要步骤,也是制定小流域综合治理决策方案的科学依据^[16]。国家“十五”科技攻关“半干旱黄土丘陵沟壑区水土流失防治技术与示范”课题对定西市安家沟流域进行了治理与研究。5 年来,本项目在流域内开展了坡面乔灌草空间配置试验示范、高效农林复合经营试验示范、水土保持耕作措施、工程措施等流域综合治理技术试验与示范,同时开展了土壤、水文、气象、植被及社会经济等相关情况的动态监测与调查。本研究依据调查数据对流域综合治理效益进行了分析和评价。

* 收稿日期:2009-04-28;改回日期:2009-05-27

基金项目:“十五”国家科技攻关计划项目(2004BA606A-03)和科技部农业科技成果转化基金项目(2006GB24910467)资助。

作者简介:蔡国军(1965-),男,甘肃临洮人,研究员,在读博士。E-mail:cgj1665@163.com

* 通讯作者。E-mail:zhangrz@gsau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

试验地位于甘肃省定西市安定区安家沟流域,面积 8.54 km²,地理位置为东经 104°38′13″~104°40′25″,北纬 35°33′02″~35°35′29″,海拔 1 900~2 250 m,属温带大陆性季风气候带,年均气温 6.3℃,≥10℃年活动积温 2 239.1℃,极端最高气温 34.4℃,极端最低气温-27.1℃,年均降水量 425 mm,但时空分布极不均匀,主要集中在 7~9 月,在植物需水期严重缺水。太阳辐射 592.1 kJ/(cm²·a),年日照时数 2 409 h,无霜期 141 d;年蒸发量 1 510 mm,沟壑密度 3.14 km/km²。土壤为黄绵土,有机质含量 0.37%~1.34%,0~200 cm 土壤容重平均为 1.2 g/cm³,由于干旱缺水,植物稀少,加之当地群众对生态系统的干扰与破坏,本流域水土流失十分严重。

1.2 研究方法

1.2.1 评价方法选择 对流域综合治理效益的评价方法很多^[17~20],如模糊综合法、TOPSIS 法、可能满意度法等。通过查阅有关黄土丘陵沟壑区水土流失综合效益评价方面的相关资料,并结合本流域实际情况,本项目采用层次分析方法(analysis hirachy prosess)^[21]对流域水土流失治理的综合效益和治理模式进行分析与评价。

1.2.2 评价指标体系 流域生态系统综合效益包括生态效益、经济效益和社会效益。所以评价指标包括生态经济和社会指标,还包括各个子系统的结构、功能等指标。流域治理综合效益,是以保持水土资源、改善生态环境、提高经济效益为目的。生态效益是长远经济效益的基础,而良好经济效益为生态环境的改善提供经济动力,两者的功能最终又反映在社会效益上,三者相互作用的矛盾统一,促进了生态经济总体效益的提高^[22]。本研究所选择的指标体系由流域生态效益指标群、经济效益指标群和社会效益指标群三大指标群 16 个指标因子组成,涉及和使用的数据全部为国家“十五”科技攻关“半干旱黄土丘陵沟壑区水土流失防治技术与示范”课题实测数据。

生态效益指标群(B₁):反映实施水土保持措施对自然生态环境在实现功能有序、结构协调和系统持续发展等方面所做的贡献。由林草覆盖率、土壤侵蚀模数、治理度、禽牧圈养率、土壤有机质含量、土壤含水率 6 个指标因子组成。

社会效益指标群(B₂):反映实施水土保持措施对社会进步所做的贡献,主要体现在文化教育事业的发展,对社会文明的促进以及对社会物质文明的提高等方面。由恩格尔系数、教育水平、农产品商品率、生活生产设施增长率、环保意识 5 个指标因子组成。

经济效益指标群(B₃):反映实施流域综合治理措施对促进经济发展所做的贡献,由流域内农民人均收入、农业产值、投入产出比例、劳动生产率、土地生产率 5 个指标因子组成。

1.2.3 评价步骤 通过对流域各子系统结构、功能与各影响因子做系统分析,将所包含的因素划分为 A 层(目标层)、B 层(准则层)和 C 层(指标层)3 个层次。将同一层次的因子作为比较和评价的准则,对下一层次的某些因子起支配作用,同时它又是从属于上一层次的因子。建立的层次模型如表 1 所示。

在建立层次结构模型之后,上下层次之间因子的隶属关系就基本确定。在此基础上,需要对每一层次中各因子的相对重要性做出判断。在确定指标权重时,由于各个评价指标对于评价准则及各项评价准则对于评价总目标而言,其相对重要性并不相同,必须根据所研究的问题的实际情况对各层次指标赋予一定的相对重要性权值。在层次分析法中,为了使判断量化,将这些判断通过引入合适的标度用数值表示出来,写成判断矩阵 A。而判断矩阵表示针对上一层次的某因子,本层次与之有关因子之间相对重要性的两两比较。判断矩阵通常引用表 2 所示的 1~9 标度方法。

本项目邀请 20 位有经验的专家根据对各指标重要程度的认识进行打分,结合项目研究的实际情况,综合专家打分结果,按照有关层次分析法构造判断矩阵的原理和方法,分别建立了 3 项准则对于评价总目标及各评价指标对于相应各项准则层的判断矩阵(表 3~6)。

通过计算各指标的标准化权重和组合权重,并进行一致性检验。如 $CR \leq 0.1$,则可以认为判断矩阵具有满意的一致性;如 $CR > 0.1$,则必需对所构造的判断矩阵进行自修正,然后再重新进行一致性检验,直到完全达到满意的一致性。各层次指标的一致性检验结果如表 7。

根据一致性检验结果,所构造的判断矩阵具有满意的一致性。

表 1 小流域水土流失综合治理效益评价指标体系

Table 1 Index system of water and soil loss comprehensive management benefit of small watershed

总目标层(第 1 层) General object level (No. 1 level)	准则层(第 2 层) Criteria level (No. 2 level)	指标层(第 3 层) Index level (No. 3 level)
小流域水土流失治理综合效益评价 Evaluation on soil and water comprehensive management benefit of small water shed (A)	生态效益 Ecological benefit (B ₁)	林草覆盖率 Vegetation coverage rate (C ₁)
		土壤侵蚀模数 Modulus of soil erosion (C ₂)
		治理度 Control degree of soil and water loss (C ₃)
		禽牧圈养率 Enclosure rate of livestock and fowl (C ₄)
		土壤有机质 Soil organic matter (C ₅)
		土壤含水量 Soil water content (C ₆)
	社会效益 Social benefit (B ₂)	恩格尔系数 Engel coefficient (C ₇)
		教育水平 Educational level (C ₈)
		农产品商品率 Commercialization rate of farm products (C ₉)
		生活生产设施增长率 Increasing rate of living & manufacturing facilities (C ₁₀)
		环保意识 Environmental awareness (C ₁₁)
	经济效益 Economic benefit (B ₃)	人均纯收入 Rural per capita net income (C ₁₂)
		农业总产值 Total agricultural output value (C ₁₃)
		投入产出比 Input-output ratio (C ₁₄)
		劳动生产率 Labor productivity (C ₁₅)
		土地生产率 Land productivity (C ₁₆)

表 2 构造判断矩阵的标度方法

Table 2 Scaling method of establishing judgment matrix

标度 Scale a_{ij}	含义 Meaning
1	表示 2 个因素相比,具同样重要性 Comparing the two factors, they are the same important
3	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要 Comparing the two factors, one is light important than another one
5	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要 Comparing the two factors, one is obvious important than another one
7	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要 Comparing the two factors, one is very important than another one
9	表示 2 个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要 Comparing the two factors, one is extreme important than another one
2,4,6,8	为上述相邻判断的中值 Mid-value between the two adjacent factors judgment above
倒数 Inverse ($1/a_{ij}$)	a_{ij} 表示因素 i 与因素 j 比较的结果,因素 j 与因素 i 比较则为其倒数 $1/a_{ij}$ a_{ij} is the comparison value of factor i and factor j , while $1/a_{ij}$ is the comparison value of factor j and factor i

表 3 判断矩阵 A 及对应的权重

Table 3 Judgment matrix A and corresponding weight value

综合效益评价 Comprehensive benefit evaluation (A)	B ₁	B ₂	B ₃	权重 Weight (W_i)	标准化权重 Standardization weight (\bar{W}_i)
生态效益 Ecological benefit (B ₁)	1.0	2	1.0	1.260	0.400
社会效益 Social benefit (B ₂)	0.5	1	0.5	0.630	0.200
经济效益 Economic benefit (B ₃)	1.0	2	1.0	1.260	0.400

通过以上方法,可计算出准则层中生态效益(B₁)、社会效益(B₂)和经济效益(B₃)所占的权重分别为 0.40, 0.20和 0.40;在生态效益(B₁)指标层中,各指标所占的权重排序分别为:C₁>C₂>C₃>C₄>C₅>C₆;在社会效益(B₂)指标层中,各指标的权重排序分别为:C₇>C₈>C₉>C₁₀>C₁₁;在经济效益指标层中,各指标所占的权重排序为:C₁₂>C₁₃>C₁₄>C₁₅>C₁₆。

表 4 判断矩阵 B_1 及对应的权重Table 4 Judgment matrix B_1 and corresponding weight value

生态效益 Ecological benefit (B_1)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	权重 Weight	标准化权重 Standardization weight (W_{ij})	组合权重 Combination weight ($\bar{W}_i \times W_{ij}$)
林草覆盖率 Vegetation coverage rate (C_1)	1	1	2	3	5	5	2.31	0.301	0.120
土壤侵蚀模数 Modulus of soil erosion (C_2)	1	1	2	3	4	4	2.14	0.279	0.112
治理度 Control degree of soil and water loss (C_3)	0.5	0.5	1	3	4	5	1.57	0.205	0.082
禽牧圈养率 Enclosure rate of livestock and fowl (C_4)	0.33	0.33	0.33	1	3	4	0.87	0.114	0.045
土壤有机质 Soil organic matter (C_5)	0.20	0.25	0.25	0.33	1	2	0.45	0.059	0.023
土壤含水量 Soil water content (C_6)	0.20	0.25	0.20	0.25	0.50	1	0.33	0.043	0.017

表 5 判断矩阵 B_2 及对应的权重Table 5 Judgment matrix B_2 and corresponding weight value

社会效益 Social benefit (B_2)	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	权重 Weight	标准化权重 Standardization weight (W_{ij})	组合权重 Combination weight ($\bar{W}_i \times W_{ij}$)
恩格尔系数 Engel coefficient (C_7)	1	2	2	3	5	2.268	0.363	0.073
教育水平 Educational level (C_8)	0.50	1	3	4	5	1.974	0.316	0.063
农产品商品率 Commercialization rate of farm products (C_9)	0.50	0.33	1	2	4	1.057	0.169	0.034
生活生产设施增长率 Increasing rate of living & manufacturing facilities (C_{10})	0.33	0.25	0.50	1	2	0.608	0.097	0.019
环保意识 Environmental awareness (C_{11})	0.20	0.20	0.25	0.50	1	0.347	0.055	0.011

表 6 判断矩阵 B_3 及对应的权重Table 6 Judgment matrix B_3 and corresponding weight value

经济效益 Economic benefit (B_3)	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	权重 Weight	标准化权重 Standardization weight (W_{ij})	组合权重 Combination weight ($\bar{W}_i \times W_{ij}$)
人均纯收入 Rural per capita net income (C_{12})	1	1	2	3	4	1.888	0.303	0.121
农业总产值 Total agricultural output value (C_{13})	1	1	3	4	5	2.268	0.364	0.146
投入产出比 Input-output ratio (C_{14})	0.50	0.33	1	3	4	1.149	0.184	0.074
劳动生产率 Labor productivity (C_{15})	0.33	0.25	0.33	1	2	0.560	0.090	0.036
土地生产率 Land productivity (C_{16})	0.25	0.20	0.25	0.50	1	0.362	0.058	0.023

表 7 一致性检验结果

Table 7 Result of consistency test

判断矩阵 Judgment matrix	CR	判断 Judgment	是否具有—致性 Whether consistent or not (Yes or No)
准则层指标 Criteria level indicator (A)	0.003 5	≤ 0.1	是 Yes
生态效益层 Ecological benefit level (B_1)	0.081 1	≤ 0.1	是 Yes
经济效益层 Economic benefit level (B_2)	0.083 1	≤ 0.1	是 Yes
社会效益层 Social benefit (B_3)	0.034 6	≤ 0.1	是 Yes

由于评价指标体系的量纲不同,指标间数量差异较大,使得不同指标间在量上不能直接进行比较,并且缺乏可比性。因此,在对流域水土流失评价分析前需对各项指标值进行归一化处理。本研究采用流域在生态、经济和社会效益上所能达到的理想值作为标准值,这一标准值是评价指标对于特定时间上一定范围总体水平的参照值,是指某一时段内预计要达到的数值或理论上的最优值。各层次指标的实测值及无量纲化处理值见表 8,9。

表 8 各类型指标实测值及标准值

Table 8 Real measured value of various indicators and standard value

项目 Item	指标 Index															
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
指标标准值 Standard value of index	0.30	500	0.90	0.99	0.03	0.18	0.25	8.00	0.30	0.15	4.00	2 000	180.00	0.60	10 000	500
实测值 2001 年 In 2001	0.10	4 627	0.73	0.70	0.01	0.12	0.52	4.80	0.14	0.10	2.20	1 620	115.83	0.95	8 074	267
Measured value 2005 年 In 2005	0.21	1 300	0.84	0.95	0.01	0.11	0.46	5.60	0.20	0.14	3.80	1 748	158.30	0.82	9 167	343

各指标单位 The unite of each index C₂:t/(hm²·a);C₁₂:元 Yuan;C₁₃:元 Yuan;C₁₅:元 Yuan/(人 People·a);C₁₆:元 Yuan/667 m²

表 9 各类型指标无量纲化值

Table 9 Non-dimensional value of various indicators

年份 Year	指标 Index															
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
2001	0.34	0.11	0.81	0.71	0.42	0.68	0.48	0.60	0.47	0.67	0.55	0.81	0.64	1.75	0.81	0.53
2005	0.70	0.38	0.93	0.96	0.45	0.61	0.54	0.70	0.68	0.93	0.95	0.87	0.88	2.03	0.92	0.69

利用表 9 中各类指标的无量纲化值及所求出的对应权重,计算出 2001 和 2005 年 2 个时间段的第 1 层综合效益值及第 2 层生态效益、经济效益、社会效益指标值,计算结果如表 10。

通过比较不同时间段流域综合效益指标值的高低,来判断流域治理在不同时间段生态经济系统内部效益的变化,从而达到综合计量和评价小流域综合治理效益的目的。

2 结果与分析

2.1 综合效益分析

效益指标指数代表了流域治理效益的优劣程度。应用层次分析法对小流域治理效益评价的结果显示,通过 5 年的治理工作,流域治理综合效益有了明显提高。2005 年综合效益指标值为 0.752,2001 年为 0.280,2005 年比 2001 年提高了 168.57%(表 10)。从三大效益评价结果看,以经济效益提高最大,生态效益次之,社会效益提高水平较低。通过在流域内实施乔灌草空间配置、农林复合经营等综合治理措施,流域系统的生态效益明显提高,生态功能逐步增强,社会、经济效益也稳定增长,小流域的生态经济和社会复合系统正在向持续、稳定和协调的状态发展。随着小流域生态子系统、经济子系统和社会子系统的结构和功能的进一步完善和提高,将会取得更加显著的治理效益。

从 3 种效益对综合效益的贡献率来看,生态效益和经济效益贡献率相同,效益权重均为 0.4,社会效益权重为 0.2。这也从另一个方面证明只有各个单项效益均较好时,才能体现出较高的综合效益。片面追求某项效益而忽视全面发展,都达不到流域综合治理的真正目的,甚至破坏小流域生态经济系统的运行机制。

2.2 生态效益分析

表 10 的计算结果显示,2005 年的生态效益值为 0.672,比 2001 年的 0.431 增加了 56%,说明经过 5 年的研

表 10 三大效益及综合效益指标值

Table 10 Calculation of ecological, economic, social benefits and comprehensive benefits

年度 Year	生态效益 Ecological benefit	经济效益 Economic benefit	社会效益 Social benefit	综合效益 Comprehensive benefit
2001	0.431	0.907	0.539	0.280
2005	0.672	1.083	0.676	0.752

究、示范与综合治理,有效地控制了流域内的水土流失,使流域的生态环境得到了显著改善,主要体现在以下几个方面。

2.2.1 植被覆盖率增加 通过项目的实施,流域内的植被覆盖率由2001年的10.1%增加到2005年的21.3%,提高了11.2%。乔木林面积达到0.61 hm²,灌木林面积达到1.18 hm²,乔灌混交面积为0.44 hm²,乔灌草混交面积达到了0.40 hm²,人工草地面积为0.06 hm²。流域水土流失治理度由2001年的72.6%增加到2005年的84.0%,从梁峁顶、梁峁坡、沟道到村庄道路都实施了相应的空间配套治理措施。由于植被覆盖率的增加,有效减少了径流,水土流失得到了控制,改善了生态环境条件,一些原来比较活跃的侵蚀沟头由于大量栽植乔木和灌木,已基本停止了前移,为充分利用流域内的水土资源创造了良好的生态环境条件。

2.2.2 系统抗逆力提高 通过流域治理,在生态环境得到逐步改善的同时,也强化了流域内的生态功能,系统抗逆力明显增强。目前在小流域内已经形成了多层次复合型防护体系,水土保持功能明显增强。从单项指标的实测值可以看出,土壤侵蚀模数从2001年的4 627 t/(km²·a)下降到2005年的1 300 t/(km²·a)。由于水土流失综合治理措施的实施,流域内的土壤特性也发生了一定程度的改变。随着植被覆盖率的增加,土壤的理化性质也相应得到改善,土壤有机质由原来的1.26%提高到目前的1.33%,土壤肥力和抗侵蚀能力明显增强。

2.2.3 生态功能增强 根据流域内不同的自然地理条件,因地制宜地布设不同的治理措施,结合5年来研究筛选出的3种农林复合经营配置模式及3种乔灌草空间配置模式,在流域内分不同立地条件进行了有序配置。梁峁顶部和退耕陡坡地以隔坡水平阶整地形式播种紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)等优质牧草,阶地埂种植柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等灌木,形成以草灌为主体的生态保护治理带。梁峁坡上部修成窄条梯田,带状栽植侧柏(*Platycladus orientalis*)、柠条等耐旱乔木和灌木,同时采用人工封育措施保护原有天然草本植被,形成乔、灌、草空间配置的坡面立体防护带。中坡缓坡地带修成水平梯田,地埂栽植柠条、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等灌木护埂,作为发展基本农田的主要场所。坡脚营造乔木和灌木林,沟道布置柳谷坊和淤地坝,以节节拦蓄降水,防止水土流失,合理利用水土资源。通过这些综合防治措施的有序配置,形成了一个全方位的防护体系,流域系统的生态功能增强,结构趋于完善。

通过在陡坡及梁峁顶、沟道等非农业用地营造乔木或灌木林,结合种植紫花苜蓿、红豆草等优质牧草,土地生产力大大提高,林下牧草产量也相应提高,同时由于地表覆盖物的增加,提高了土壤抵抗雨滴打击的能力,减少了地表土壤的冲蚀。监测数据表明,乔灌草空间配置土地利用方式与荒坡相比,径流量减少了30%。

水土保持农业措施、林草措施和工程措施的有机结合,构成了流域区综合治理的措施体系。实践证明,在流域内实行不同的乔灌草空间配置及农林复合经营配置模式,对拦蓄降水,保护土壤,充分利用光热水资源,以及增产粮食,增加农民收入和改善生态环境,都有较好的效益,流域系统的整体生态功能增强,系统趋于稳定,逐步形成了一个多元化良性循环的可持续发展生态经济复合系统。

2.3 经济效益

通过综合治理,调整了土地利用结构,扩大了植被,减少了水土流失,改善了流域的生态环境条件 and 生产条件,同时也促进了流域经济发展。2005年流域内农业总产值达158.3万元,其中种植业153.3万元,林果业0.5万元,畜牧业4.5万元,比治理前的115.83元增加了42.5万元。在种植业中,大力发展以优质马铃薯(*Solanum tuberosum*)为主的经济作物,平均产量可达近22 500 kg/hm²,产值达9 000元,比单纯种植小麦(*Triticum aestivum*)增加了4 500多元,仅这一项极大地提高了农业生产收入。另外,在流域梁峁坡地立体配置的林一草一畜农林复合经营模式充分利用了退耕的低产荒坡地,优质牧草的规模化种植有力促进了家庭养殖业的发展,据测定,林一草一畜复合经营模式产值为4 912.8元/hm²,比坡地农田经营模式产值增加了2 145元,在减少土壤侵蚀的同时增加了土地经济收入。庭院经济的发展也是增加农民经济收入的一个重要方面。这种模式充分利用了庭院汇集的雨水资源及住宅周围的空隙地,通过对果园的集约化经营管理生产优质果品,同时果树下种植牧草、蔬菜也具有一定的经济价值。调查结果显示,果园产值可达24 935元/hm²,为农民带来了可观的经济收入。由于生产条件的改善和土地利用结构的调整,提高了农业生产效率,农业投入产出比由2001年的0.95降低到2005年的0.82,劳动生产率也由原来的8 074元/(人·a)提高到2005年的9 167元/(人·a),土地生产率由原

来的 267 元/667 m² 增加到 343 元/667 m², 平均增幅为 28.46%。流域内人均纯收入从 2001 年的 1 620 元增加到 2005 年的 1 748 元, 提高了 7.9%。

2.4 社会效益

社会效益是综合治理的根本目的或最终目的, 生态效益是从属于社会效益的子目的, 经济效益是实现社会效益与生态效益的基础或前提。小流域综合治理的社会效益是指小流域社会发展水平的提高, 其核心在于农民生活质量的全面提高。这与社会发展目的、发展战略是协调一致的。所以提高小流域群众的生活质量, 即小流域综合治理的社会效益, 应成为小流域综合治理的核心任务和最终目的, 这是由整个社会的发展目标与小流域社会的发展目标客观决定的。

安家沟流域通过 5 年综合治理, 社会效益得到显著提高。从表 10 综合效益指标计算结果可见, 2005 年社会效益指标值为 0.676, 比 2001 年的指标值 0.539 提高了 25.4%, 说明 5 年来社会效益有很大改善。在对综合效益的贡献率中, 社会效益占 20%, 由此可见社会效益对综合治理效益具有不可忽视的影响作用。社会效益的提高从单项指标调查数据也可反映出来。根据相关指标的实测值显示, 流域区农民的恩格尔系数由 2001 年的 0.52 降低到 0.46, 这一指标的变化充分显示了人民生活水平提高的程度。教育水平标志着社会进步和文明程度。通过对 87 个样本农户的调查显示, 5 年来流域人口的文化教育水平有所回升, 由 2001 年的平均受教育 4.8 年上升到 5.6 年。另外, 随着产业结构的调整, 农民的传统经营模式发生了改变, 在保证基本口粮的前提下, 尽量扩大经济作物的种植比例, 如马铃薯 (*Solanum tuberosum*)、豆类油料作物等, 这些农作物产品具有较高的商品价值, 使得流域内农产品的商品率大大提高, 据调查显示 2001 年农产品商品率为 14.2%, 而 2005 年已增加到 20.3%。同时, 农产品商品率的提高也促进了农民生活生产设施的增长, 5 年间生活生产设施增长率由原来的 10% 增加到 14%, 调查农户中大部分新购置了摩托车、农用拖拉机、电视、电话等生活生产设施, 农民的总体生活水平有了一定程度的提高。另外, 在环保意识方面也有了进一步提高, 受调查农户普遍认为国家实施退耕还林政策是一件好事, 支持封山禁牧, 在日常生活及农业生产活动中能够自觉地、有目的的参与环境保护与建设, 主动地将水土保持寓于生产经营活动的各个环节中, 已成为实施贯彻流域水土保持的重要力量。受项目实施的影响, 农民的经营意识发生了很大转变, 由单纯追求粮食生产到积极投入到多元化经营, 在注重保护植被、防止土壤侵蚀的前提下充分挖掘土地生产潜力, 提高经济效益。总之, 生态效益的提高和农村经济的发展, 增加了农民收入, 生活水平得到大幅度提高, 衣食住行有了明显改善, 社会效益有了显著提高。

3 结论

采用层次分析法, 对安家沟小流域 5 年的综合治理效益进行了分析和评价, 并初步得出如下结论:

1) 通过 5 年的治理工作, 流域治理综合效益有了明显提高。综合效益指标值由 2001 年的综合效益指标值提高到 2005 年的 0.752, 提高了 168.57%。

2) 经过 5 年的研究、示范与综合治理, 有效地控制了流域内的水土流失, 使流域的生态环境得到了显著改善。2005 年较 2001 年, 生态效益值增加了 56%, 植被覆盖率由 2001 年的 10.1% 增加到 2005 年的 21.3%, 流域水土流失治理度由 72.6% 增加到 84.0%, 土壤侵蚀模数由 4 627 t/(km² · a) 下降到 1 300 t/(km² · a)。

3) 通过综合治理, 改善了流域的生态环境条件和生产条件, 促进了流域经济发展。流域内农业总产值由 2001 年的 115.83 元提高到 2005 年的 158.3 万元, 比治理前增加了 42.5 万元, 农业投入产出比由 0.95 降低到 0.82, 劳动生产率也由 8 074 元/(人 · a) 提高到 9 167 元/(人 · a), 土地生产率由 267 元/667 m² 增加到 343 元/667 m², 平均增幅为 28.46%, 人均纯收入由 1 620 元增加到 1 748 元, 提高了 7.9%。

通过实施一系列治理措施, 流域内生态、经济和社会效益均有不同程度的提高, 流域生态环境和农业生产环境发生了很大变化, 人民生活水平有了显著改善, 农林牧各业得到了协调发展, 小流域的生态经济和社会复合系统正在向持续、稳定和协调的方向发展。

参考文献:

- [1] 黄黔. 我国的生态建设与生态现代化[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 1-2.

- [2] 黄志霖,傅伯杰,陈利顶. 恢复生态学与黄土高原生态系统的恢复与重建问题[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 122-125.
- [3] 刘利年. 黄土高原小流域水土流失综合治理研究[D]. 西安: 长安大学, 2004. 1-132.
- [4] 崔伟中. 流域管理若干问题的研究[J]. 湖泊科学, 2004, 16(增刊): 77-82.
- [5] 李玉山. 黄土高原在国民经济发展中的新地位[J]. 中国科学院院刊, 1996, (10): 215-219.
- [6] 曾艳琼, 卢欣石. 林草复合生态系统的研究现状及效益分析[J]. 草业科学, 2008, 17(3): 33-36.
- [7] 周萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 9-18.
- [8] 柳小妮, 孙九林, 张德罡, 等. 东祁连山不同退化阶段高寒草甸群落结构与植物多样性特征研究[J]. 草业学报, 2008, 17(4): 1-11.
- [9] 张富, 余新晓, 陈丽华. 小流域水土保持植物措施对位配置研究[J]. 水土保持通报 2008, 28(2): 195-210.
- [10] 杨修, 李文华. 农业生态系统种养结合优化结构模式的研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 344-351.
- [11] 刘黎明, 卿尚华. 黄土高原小流域土地利用系统结构优化与生态设计[J]. 资源科学, 1995, (6): 51-61.
- [12] 赵麦换, 张翼, 曹世雄, 等. 黄土丘陵区不同土壤地类造林树种选择与配置技术研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 43-46.
- [13] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 等. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程[M]. 北京: 商务印书馆, 2002.
- [14] 陈云明, 侯喜禄, 刘文兆. 黄土丘陵半干旱区不同类型植被水土保持生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 57-61.
- [15] 刘星照, 党如意. 陕北丘陵沟壑区土地资源合理利用问题[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 92-96.
- [16] 王礼先. 流域管理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [17] 林积泉, 王伯铎, 马俊杰, 等. 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.
- [18] 余海龙, 吴普特, 冯浩, 等. 黄土高原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.
- [19] 李智广, 李锐. 小流域治理综合效益评价方法刍议[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 19-23.
- [20] 杨世伟. 黄土丘陵区水土保持规划指标体系的建立与模型研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- [21] 王莲芬. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [22] 李中魁. 黄土高原小流域治理效益评价与系统评估研究——以宁夏西吉县黄家二岔为例[J]. 生态学报, 1998, 18(3): 241-247.

Evaluation of comprehensive management benefits of Anjiagou small watershed in Dingxi, Gansu

CAI Guo-jun^{1,2}, ZHANG Ren-zhi¹, CHAI Chun-shan²

(1. College of Resources and Environment, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730060, China;

2. Gansu Forestry Science and Technology Research Academy, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Using the analytic hierarchy process(AHP), the benefits were analyzed and evaluated, of comprehensive management of Anjiagou small watershed in Dingxi, Gansu during 2001—2005. In Anjiagou small watershed, the comprehensive benefit value increased 168.57% and the ecological benefit value improved 56% during the 5 years from 2001 to 2005; the vegetation coverage increased from 10.1% in 2001 to 21.3% in 2005, the control degree of soil and water loss improved from 72.6% to 84.0%, the modulus of soil erosion decreased from 4 627 t/(km²·a) in 2001 to 1 300 t/(km²·a) in 2005; the agricultural input-output ratio decreased from 0.95 to 0.82, the productivity of labor increased from 8 074 yuan /person per year to 9 167 yuan/person per year, the land productivity improved from 267 yuan/667 m² to 343 yuan/667 m², and the average increasing rate was 28.46%; the rural per capita net income improved from 1 620 yuan in 2001 to 1 748 yuan in 2005, and increased by 7.9%. Based on the result, it was regarded that: through carrying out a series of management measures, the ecological, economic and social benefits in Anjiagou small watershed were all increased to some extent; the ecological and agricultural production environments were obviously improved; the living standard of local people were remarkably elevated; the harmonious development trend of agriculture, forestry and animal husbandry has come into being; the ecological economy and social multiplex system in Anjiagou small watershed were developing towards sustainable, steady and harmonious trend.

Key words: small watershed; analytic hierarchy process; index system; comprehensive management; evaluation of benefit