

# 黄土高原水土保持的社会经济效应评价研究

陈国建<sup>1,2</sup>, 李锐<sup>1</sup>, 杨勤科<sup>1</sup>, 张亚婷<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039;

<sup>3</sup>重庆教育学院, 重庆 400067)

**摘要:** 采用灰色关联分析法对黄土高原 10 条小流域开展水土保持后的社会经济效应做了定量评价, 结果表明: 水土保持对农村社会发展产生了极大的推动作用, 农民人均收入水平是反映水土保持的社会经济影响好坏的首要因子, 此外, 人均粮食占有水平、土地利用效率、人均水土保持投资、农业总收入以及基本农田面积也是反映社会经济效应的重要因素。只有当这些单项指标效益均较好时, 整体的社会经济效应才会处于良好状态, 水土保持要采用系统工程原理, 才能保证生态环境与社会经济良性发展。

**关键词:** 灰色关联分析; 黄土高原; 社会经济效应; 小流域

## Assessment of Social and Economic Effect of Soil and Water Conservation in Loess Plateau

Chen Guojian<sup>1,2</sup>, Li Rui<sup>1</sup>, Yang Qinke<sup>1</sup>, Zhang Yating<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling Shaanxi 712100; <sup>2</sup>Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

<sup>3</sup>Chongqing Education College, Chongqing 400067)

**Abstract:** This paper used the method of grey correlation analysis to assess with rations the social and economic effects caused by soil and water conservation in ten catchments in Loess Plateau, it is showed that soil and water conservation project greatly promote rural society and economy to develop, and that the income per capita is the chief factor which reflects the effect of soil and water conservation on social and economic development, furthermore, the occupancy of foods per capita, the rate of land use, the investment for soil and water conservation per capita, the gross income of agriculture and the area of basic farmlands all are the important factors which reflect the effect of soil and water conservation on social and economic development. Only if the benefits of all of these factors are in good shape that the whole economy is healthy, so systems engineering theory must be introduced to assure environment and economy both develop well.

**Key words:** Grey correlation analysis, Loess Plateau, Social and economic effect, Catchments

黄土高原是中国水土流失最严重的地区, 长期以来, 脆弱的生态环境严重制约着当地的社会经济发展。新中国建立以来, 国家一直很重视黄土高原的水土流失治理工作。经过几十年的综合治理, 黄土高原的水土保持取得了较大的成就。20 世纪 90 年代开始实施西部大开发, 生态环境建设被列为西部大开发的重要内容, 水土保持由此进入了一个新的时期。国家加大了对水土保持的投入力度, 在全国范围内开展了退耕还林还草工程, 经过几年建设, 生态环境开

始明显好转, 黄土高原严重的水土流失得到了有效的遏止。作为一项重大的工程建设活动, 水土保持必然对包括农村社会发展在内的环境产生大的影响, 因而近年来环境效应成为水土保持的研究热点之一<sup>[1-3]</sup>。尽管目前国内外对水土保持的生态环境效应研究得比较多, 但是系统地开展水土保持的社会经济环境效应的研究还不多见, 对水土保持如何影响农村社会经济发展的机理也还不清楚。当前在水土保持规划和工程建设时间中, 迫切需要研究清楚

水土保持生态建设活动对广大农村的社会经济发展产生了那些积极的和消极的影响,影响的方式、强度以及演变趋势,这直接影响到国家对前期水土保持工作经验的总结和对后期水土保持工作安排做合理的调整,也关系到中国水土保持事业能否顺利开展下去。由于农村社会经济环境是由很多要素组成并且彼此之间关系复杂,就使得研究这一特殊系统变成了一个多因素、多目标、多指标综合效果的系统评价问题,因此采用一些传统方法来评价水土保持的区域社会经济效应就显得不太科学,但是运用灰色系统的理论和方法则可以很好地解决这一问题,因为水土保持活动影响社会经济发展的过程实际上就是含有确知、未知和非确知信息、关系和结构的灰色系统,研究采用灰色关联分析法来评价水土保持的社会经济正效应大小。目前灰色系统理论和方法已经被广泛应用于农业、生态及石油勘探等多个研究领域<sup>[4-7]</sup>。笔者认为水土保持的社会经济效应研究不同于传统的效益评价,其研究内容在深度和广度上都远远超过了前者,主要包括水土保持前后农民的土地利用率、基本农田面积、粮食占有量、纯收入、农业总产值、非农业产值等方面的变化情况及内部的机理,笔者试图利用灰色系统理论和方法对水土保持的社会经济效应做一个总体的评价,为下一步深入研究打下良好的基础。

## 1 研究区概况及评价指标的选择

### 1.1 研究区概况

后湾、马家岔、田家坪等10条小流域位于历史上素有“苦甲天下”的甘肃定西县境内,属于典型的半干旱气候,是国家八片水土保持重点防治工程二期第二阶段项目区的10条典型小流域,该项目一共包括32条小流域。这10条小流域总面积136km<sup>2</sup>,治理前有11个行政村共3062户人家,人口14427人,其中劳动力为7433人,人口密度106人/km<sup>2</sup>。有耕地7103hm<sup>2</sup>,占总土地面积的52.23%,人均占有耕地0.49hm<sup>2</sup>。由于降雨稀少,水资源短缺,生态环境脆弱,土地生产力低下。尽管农民人均耕地面积达到0.49hm<sup>2</sup>,但是人均占有粮食只有345kg,低于国家规定的人均粮食占有量400kg的最低标准。

研究区所在的项目区是全国水土流失严重地区之一,10条小流域水土流失面积为133.9km<sup>2</sup>,占流域总面积的98%,治理前,强度以上水土流失面积72.91km<sup>2</sup>,占水土流失面积的54.45%,而无明显水土流失面积为1.8km<sup>2</sup>,仅占水土流失面积的1.57%,年侵蚀总量76.3万t,多年平均土壤侵蚀模数高达5640t/km<sup>2</sup>。

### 1.2 效应评价指标的选择

由于水土保持的社会经济

效应研究在国内刚开始,国外的研究报道也比较少,因而目前没有成熟的研究方法,还处与摸索阶段。鉴于农村社会经济系统是个复杂的灰色系统,包含有太多的灰色因素,所以选择灰色系统分析方法研究水土保持的社会经济效应就显得十分科学合理。根据灰色系统理论,水土保持的社会经济效应评价指标必须能够较全面地反映农村社会经济在水土保持前后发生的变化,为此选择了农业生产总值、农民人均纯收入、人均占有粮食等8个因素构成水土保持社会经济效应评价指标体系。

## 2 水土保持社会经济效应估算

### 2.1 灰色关联分析的建模机理

灰色关联分析是灰色系统分析的主要内容之一,关联度分析是通过对系统发展态势的统计数据几何关联相似程度进行量化比较,判断引起该系统发展变化的主要因素和次要因素,从而对事物或社会经济现象做出全面、科学的评价<sup>[8,9]</sup>。其计算原理是:

(1)若对m条流域进行评价,指标体系由n个经济技术指标组成,则每个流域的所有指标实测值就构成了一个数据列。记作:

$$x_i(k) = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

并对实测值采用均值法进行无量纲化处理。

(2)参考数据列的选取。选择m条小流域中的n个单项指标实测值的最优值组成灰色关联分析的参考数据列,记为:

$$x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$$

(3)差序列的计算。

$$\Delta_i(k) = |x_i(k) - x_0(k)|$$

并且从中找出最小绝对差值 $\Delta_{\min}$ 和最大绝对差值 $\Delta_{\max}$ :

$$\Delta_{\min} = \min_i \left[ \min_k \Delta_i(k) \right]; \quad \Delta_{\max} = \max_i \left[ \max_k \Delta_i(k) \right]$$

(4)关联系数的计算。

$$\theta_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + R \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + R \cdot \Delta_{\max}} \quad (i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n)$$

式中R是分辨系数,  $R \in [0.1, 0.5]$ 。

(5)关联度的计算。

$$\eta_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \alpha(k) \cdot \theta_i(k)$$

式中 $\alpha(k)$ 是各评价指标的权重,表示对应指标的重要程度。

$$\sum_{k=1}^n \alpha(k) = 1 \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

### 2.2 指标权重的计算

由于以往在灰色关联分析法

中各指标权重是通过特尔斐法来求得的,评分专家的经验很重要,由于各个专家对每个指标重要性的理解不一样,导致打分的随意性较强,另外还有用信息论中熵的概念来求算指标权重的,但是该方法算得的权重分布存在着均衡化的缺陷,因而在很大程度上影响了评价结果的精度<sup>[10]</sup>。为了更客观、真实地计算各指标的重要性,研究引入变异系数法来求算指标的权重。其计算步骤为:

(1)造评价指标矩阵

$$X=[X_{ij}]_{m \times n} \quad (i=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,n)$$

矩阵中  $X_{ij}$  表示第  $i$  个小流域第  $j$  个指标的值得。

(2)算第  $i$  个评价指标的变异系数,公式为:

$$\delta_i = D/\bar{x}_i$$

式中  $\delta_i$  表示第  $i$  个评价指标的变异系数  $\bar{x}_i$  是第  $i$  个评价指标的平均值。D 表示第  $i$  个评价指标的均方差,其计算公式为:

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}_i)^2}$$

(3)计算第  $i$  个评价指标的权重  $A_i$ ,公式为:

$$A_i = \delta_i / \sum_{i=1}^m \delta_i$$

2.3 社会经济效应灰色关联分析计算 根据灰色建模理论和程序,选取后湾、马家岔、田家坪等 10 条小流域上述 8 个指标的实测数字作为样本(表 1),其中  $x_1$ —农业总产值增长率(%),这里农业总产值只包括农、林、牧产值  $x_2$ —人均收入增长率(%);  $x_3$ —人均粮食产量增长率(%);  $x_4$ —流域治理度的提高幅度(提高了多少个百分点);  $x_5$ —土地利用率提高幅度(提高了多少个百分点);  $x_6$ —基本农田面积增长率(%);  $x_7$ —粮食单产增长率(%);  $x_8$ —非农业产值增长率(%)。在此基础上建立了水土保持社会经济效应的灰色系统模型。

运用变异系数法求得各个指标的权重值(表 2)。

表 1 各流域评价指标的实测值

流域	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
后湾	228.49	131.13	61.15	176.1	3.40	132.16	174.75	175.19
马家岔	171.02	126.6	31.12	115.3	20.72	22.18	114.71	33.68
田家坪	70.37	112.73	74.77	137.82	27.79	91.36	112.06	132.82
山湾	179.27	111.86	39.74	108.26	13.91	51.51	98.27	181.79
西山	75.94	153.89	60.00	131.66	25.71	80.28	7.44	75.17
冯家岔	166.83	132.55	47.08	144.48	24.36	90.29	109.28	47.81
马莲	180.18	131.77	61.15	47.9	18.20	125.27	139.33	30.67
复兴	76.53	114.04	52.40	41.8	16.98	43.61	134.35	89.40
花岔	49.31	126.56	48.00	47.8	22.90	149.33	85.20	45.66
罗川	180.18	124.32	65.79	43.5	20.50	49.35	109.97	20.91

表 2 各评价指标的权重值

指标	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
权重	0.14	0.03	0.07	0.15	0.11	0.16	0.12	0.22

利用表 1 的实测数字,根据灰色关联分析的建模方法进行计算,在计算过程中需要对数据进行无量纲化处理,通常无量纲化处理的方法有均值法和初值法两种,为了反映与最一般情况的比较效果,本研究采用

均值法进行处理,分辨系数  $R$  取 0.5,通过差序列运算求出  $\Delta_{\min}=0, \Delta_{\max}=1.468$  经过一系列计算最终得出了 4 条小流域水土保持和 8 个主要因素的灰色关联结果(表 3)。

表 3 各流域水土保持的社会经济效应和影响因素的灰色关联分析

流域	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	关联度	综合得分
后湾	1.000	0.843	0.793	1.000	0.435	0.824	1.000	0.924	0.87377	87.38
马家岔	0.698	0.817	0.545	0.612	0.726	0.388	0.636	0.352	0.54788	54.79
田家坪	0.457	0.748	1.000	0.715	1.000	0.582	0.625	0.621	0.67841	67.84
山湾	0.730	0.744	0.598	0.586	0.575	0.452	0.578	1.000	0.67921	67.92
西山	0.466	1.000	0.780	0.683	0.900	0.539	0.385	0.43	0.57833	57.83
冯家岔	0.683	0.851	0.653	0.752	0.845	0.577	0.615	0.375	0.62123	62.12
马莲	0.733	0.847	0.793	0.428	0.662	0.770	0.748	0.347	0.60986	60.99
复兴	0.467	0.754	0.700	0.369	0.634	0.433	0.722	0.465	0.52031	52.03
花岔	0.426	0.817	0.661	0.428	0.793	1.000	0.539	0.371	0.58815	58.82
罗川	0.733	0.805	0.853	0.420	0.720	0.446	0.618	0.333	0.54746	54.75
平均值	0.639	0.823	0.738	0.599	0.729	0.601	0.647	0.522		

3 水土保持社会经济效应及因素评价

3.1 各流域开展水土保持后产生的社会经济效应是不一样的,通过灰色关联分析,可以发现 10 条小流域水土保持的社会经济效应综合得分最低的都接近 60,说明

水土保持工程的开展对当地农村社会经济产生重大的积极影响。但是由于各流域的得分差异比较大,说明各流域的社会经济效应又是不一样的,对 10 个关联度值进行排序就得到了关联序,它反映的是各流域水土保

持所产生社会经济效应的优劣次序,结果是:后湾 > 山湾 > 田家坪 > 冯家岔 > 马莲 > 花岔 > 西山 > 马家岔 > 罗川 > 复兴。说明6年的水土保持综合治理,对后湾流域农村社会经济发展的推动最大,复兴流域受到的推动作用最小,这可能与各流域治理前的社会经济基础条件有关。后湾流域在治理前社会经济条件最差,因此在开展水土保持后,农村社会经济各项指标增长的速率是最高的,全面反映各指标综合变化的关联度指标也是最高的。

3.2 农民人均收入是反映水土保持社会经济效应的首要因素。将10条小流域反映水土保持社会经济效应的8个影响因子的关联系数求平均值,并且按从大到小进行排序,可以看出农民人均收入的关联系数最大,说明农民人均收入是反映水土保持社会经济效应的最重要因素。从经济学角度来看,人均收入也是反映社会经济效应的最重要指标之一。1997—2002年期间,10条小流域的农民人均纯收入都增长了1倍多,这从一个方面反映了水土保持给农村社会经济带来的巨大好处。所以在开展水土保持的过程中必须把增加农民收入放在最重要的位置加以考虑。

3.3 人均粮食、土地利用、粮食单产、农业总产值以及基本农田面积也是反映社会经济效应的重要因素。从各流域来看,人均粮食占有水平、土地利用、粮食单产、农业总产值以及基本农田面积的变化率与社会经济效应的关联系数都在0.6以上,说明它们与理想中的良好社会经济状况高度相似,因此它们和农民的人均收入变化率指标一起构成了影响水土保持社会经济效应的重要因素。构造的最有数据列反映的是水土保持取得的最佳社会经济发展状态,10条小流域的这几个指标已经达到了最佳状态的60%以上了,可以说这些小流域的生态环境、社会经济发展已经开始进入良性互动的阶段。

而水土流失治理度和非农业产值目前对水土保持的社会经济效应影响不太大,前者更多地反映水土保持的生态环境效应变化,尽管后者对农村社会经济发展正在起着越来越重要的作用,但是在农民收入中所占的比重还较低,随着今后比重的提高非农业产值可能会成为衡量水土保持社会经济效应的重要指标。

#### 4 结论和讨论

4.1 灰色系统理论是定量评价水土保持社会经济效应的理想工具。它将多指标高度集成为一个总指标来揭示水土保持给农村社会经济发展带来的巨大影响及其本质特征,有效地克服了单项指标无法全面准确反映系统变化特征的缺点。灰色系统理论的最优数据列是

现实中各单项指标能够达到的最佳状态集合,但是随着科技水平和生产技术的提高这些最佳数值也会不断变化提高,因此根据不同时期的数据运用灰色系统分析方法就可以分析出系统的动态变化情况。

4.2 运用灰色系统理论,对定西地区列入全国重点治理项目的10条典型小流域的水土保持社会经济效应进行了定量的评估计算。结果表明,8个影响因子和社会经济效应呈现显著相关,其中农民人均纯收入、人均粮食占有水平、土地利用、粮食单产、农业总产值和基本农田面积是反映社会经济效应最重要的因子,农民人均纯收入与社会经济效应的关系最密切。因此在水土保持规划和实践过程中,要对上述指标的变化发展加以重视,特别是要将增加农民收入作为首要的任务来抓,引导它们朝良性方向发展,力争做到生态环境和社会经济发展双赢。

4.3 与传统的特尔斐法和信息熵法相比,用变异系数法求算各评价指标权重更客观准确,有效地克服了人为因素的干扰,计算精度更高。

#### 参考文献

- 岳辉,陈志彪.朱溪河小流域水土流失治理与生态环境效应[J].福建地理,2003,18(1):6-8
- 樊军,郝明德,邵明安.黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗于水分生态环境效应[J].农业工程学报,2004,20(1):61-64
- 包维楷,乔永康,陈庆恒.岷江上游典型油松人工幼林的生态环境效应[J].山地学报,2003,21(6):662-668
- 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
- 马振芳,于忠平,周树勋,等.鄂尔多斯盆地中东部奥陶系古风化壳储集层的分形及灰色系统评价[J].石油勘探与开发,2000,27(1):32-34
- 付强,金菊良,梁川.基于实码加速遗传算法的投影寻踪分类模型在水稻灌溉制度优化中的应用[J].水利学报,2002,10:39-45
- 郝永红,周海潮.区域生态环境质量的灰色评价模型及其应用[J].环境工程,2002,20(4):66-68
- 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.122-202
- 段学军.长江流域粮食生产影响因素灰色关联分析[J].农业系统科学与综合研究,2000,16(1):30-34
- 时光新,尹成信.基于熵的小流域治理效益评价模型及其应用[J].水土保持通报,1999,19(5):38-40

致谢:真诚感谢甘肃省水利厅、定西市水利局、定西市水土保持总站、定西市安定区水利局在调查收集资料过程中给与的大力支持,特别要感谢定西市水土保持总站张富站长,同时也要感谢参加了调查工作的王刚博士、汪帮稳和赵东波两位硕士。