

水土保持综合治理效益的灰色系统评价

黎 锁 平

(甘肃省水利学校·兰州市·730021)

提 要

该文依据系统科学的思想 and 灰色系统理论,分析了流域综合治理效益的灰色系统特征,建立了评价水土保持综合治理效益的指标体系和灰色系统评价方法。据此对黄土高原重点水土流失区5条流域的治理效益作了综合评价和分析,为水土保持效益分析评价提供了新的途径。

关键词:水土保持综合治理效益 灰色系统 评价指标 关联度。

Grey System Appraisal of Benefits of Comprehensive Management for Soil and Water Conservation

Li Suoping

(*Water Conservancy School of Gansu Province, Lanzhou, 730021*)

Abstract

Based on the thoughts of System science and the grey system theory, the grey systematic characteristics of comprehensive control of watershed were analysed in this paper, and the index system and the method of grey systematic appraisal for appraising the benefits of comprehensive management of soil and water conservation were setup as well. On this basis, the benefits of five watersheds in severe soil loss area of loess plateau were comprehensively appraised and analysed which provides a new way for analysis and appraisal of soil and water conservation benefits.

Key words Benefits of comprehensive management for soil and water conservation grey system appraisal index

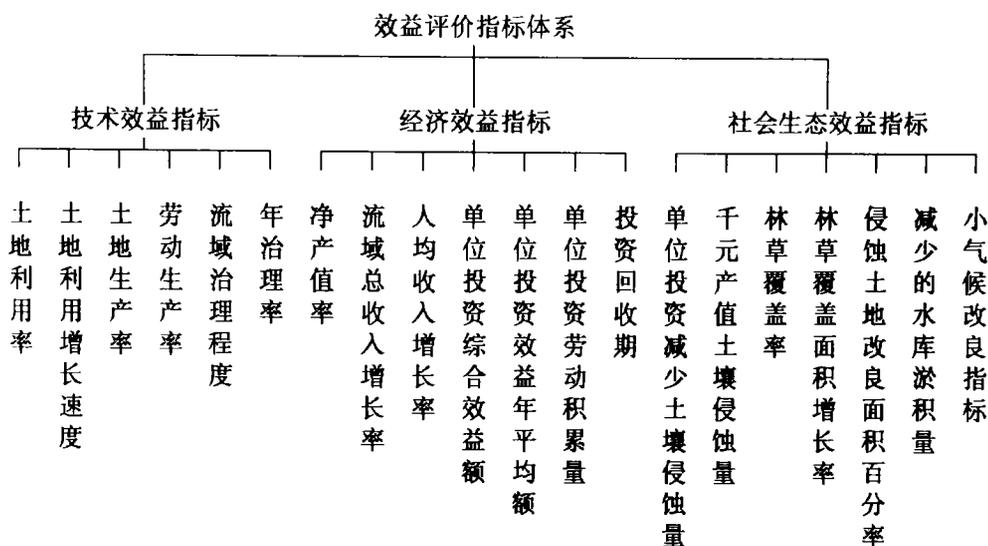
以小流域为单元的水土保持综合治理是一项复杂的系统工程。其治理效益包括经济效益、社会效益和蓄水保土的生态效益三个方面。对水土保持效益的分析,实质上就是一个多因素、多目标、多指标综合效果的系统评价问题。目前虽然有人利用模糊评判、综合评分等方法进行流域效益的评价分析,但这些方法中导致评价结果系统误差的因素较多(如将确定的白化值变成一个区间模糊值等)。尤其是缺乏系统评价的最优标准。因而有时出现较大误差,甚至得出反常结论。根据系统科学的观点,以小流域为单元的经济区域包容了自然环境、社会生态及产投经济关系的具体内容,从而使流域治理单元成为呈现动态物质流、能量流、信息流、价值流的综合场所。因此流域综合治理过程实际上就是含有确知、未知和非确知信息、关系、结构的灰色系统。这样,应用灰色系统的理论和方法对水土保持效益进行系统分析和评价是最为恰当和科学的。

一、效益评价的系统思想和指标体系

水土保持综合治理,在于以小流域为基础建立一个以多年生经济植物为核心,农林牧水土综合配置优化的、稳定持久高效的生态经济系统。作为一个灰色系统,其要素主要指组成系统的光、热、水、土等无机环境、生物群落状况和社会经济发展状况;其结构主要通过生态、经济的技术结构指标来反映系统内部生态经济关系是否协调,其功能主要体现在该生态经济系统最终所能达到的生态效益、经济效益及社会效益。因而对水土保持综合治理方案或治理效果进行评价,实质上就是对小流域生态经济系统的综合评价,应充分体现系统的要素、结构和功能三方面的内容。为此建立如附图所示的效益评价指标体系。

(一)技术效益指标

这类指标数值愈大,表明土地资源利用合理,流域治理效果好,土地资源开发利用的速度愈快,技术效益愈高。



(二)经济效益指标

这类指标较完整地体现了小流域生态经济系统其功能的经济效益。

(三)社会生态效益指标

这类指标反映了水土保持综合治理措施对社会生态环境所产生的影响。主要体现了系统功能的社会生态效益。

这个指标体系较全面地反映了小流域生态经济系统的本质和水土保持综合治理的成果,是进行灰色系统评价的基础。

二、灰色系统评价方法

灰色系统评价就是利用灰色系统理论,尤其是关联度分析原理对多种因素所影响的事物或经济现象作出全面、系统、科学的评价。关联度分析原理是系统发展态势的统计数据列几何关联相似程度的量化分析比较方法。现对 m 条流域进行评价,评价的指标体系由 n 个经济、技术指标组成。每个流域的所有指标实测值就构成了一个数据列。记作:

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

关联分析要选定一个参考数据列。在参与评价的 m 条流域中, 单项指标在不同的流域中取值均不同, 但在其 m 个实测值中总有一个最优值(如 m 个总收入增长率指标值总有一个最大的), 所有的单项指标最优值即可组成参考数据列, 记为

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

参考数据列的数值是各个流域经综合治理后在技术或经济上所达到的最佳水平。它实际上是现有流域综合治理的“理想模式”。以此作为灰色系统评价的标准, 用其它流域和其进行对比分析, 作出定量评价。

上述的 $m+1$ 个数列 $\{x_0\}, \{x_1\}, \{x_2\}, \dots, \{x_m\}$ 若量纲或数量级不同, 则要进行无量纲化处理, 使得评价结果具有可比性, 并减少随机因素的干扰。

计算各流域与评价标准 $\{x_0\}$ 的关联系数 $\theta_i(k)$ 。用下式计算:

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

$$\text{其中 } \Delta_i(k) = |x_i(k) - x_0(k)|; \quad \Delta_{\min} = \min_k[\min_i \Delta_i(k)]; \quad \Delta_{\max} = \max_k[\max_i \Delta_i(k)];$$

R 为分辨系数 ($0.1 \leq R \leq 0.5$)。

关联系数 $\theta_i(k)$ 只反映流域在一个指标上的关联情况, 不反映全过程(即在全部指标上)的关联程度。灰色系统理论定义全过程的关联程度为: $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \theta_i(k)$ 称为关联度。它表示各流域与最优评价标准在全部指标上的关联程度。 r 值越大, 说明流域治理综合效益越好。这是一个高度综合的指标, 是我们进行水土保持综合治理效益评价的依据。

实际应用中, 各评价指标的重要程度用权重 $\alpha(k)$ 来表示, 从而得到带有权重更为客观实际的关联度:

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

式中: $\sum_{k=1}^n \alpha(k) = 1 \quad i = \overline{1, m}$ 。

三、实例分析

官兴岔、老虎沟、茜家沟、润镇沟、对岔是黄土高原水土流失区的 5 条小流域。经过多年的综合治理, 目前都有了明显的社会、生态、经济效益。但由于各流域的治理措施和自然条件不同, 因而治理后各单项统计指标反映的效益有优有劣, 无以据此作出综合评价。经过分析, 现选择总收入增长率等 9 个因素构成了评价指标体系, 并采用专家咨询法获得了各指标的权重。利用实测资料对 5 条流域进行灰色系统评价。

由表 1 的实测资料选取评价的标准, 得到最优参考数据列:

$$x'_0(k) = \{147 \quad 0.18 \quad 4.00 \quad 1560.81 \quad 82.05 \quad 378 \quad 0.269 \quad 37.0 \quad 81.9\}$$

为了增强各流域相互之间的可比性, 对评价指标的实测值进行无量纲化处理得到表 2, 计算公式为:

$$x_i(k) = x'_i(k) / \bar{x}'_i(k); \quad \bar{x}'_i(k) = \frac{1}{6} \sum_{j=0}^5 x'_j(k)$$

计算各数据列 $\{x_i(k)\}$ 与参考列 $\{x_0(k)\}$ 的差序列 $\Delta_i(k) = |x_i(k) - x_0(k)|$ 得表 3。由差序列可见

$$\Delta_{\min} = 0; \quad \Delta_{\max} = 1.362.$$

表 1 各流域评价指标的实测值及权重

评价指标	润镇沟	对岔	官兴岔	老虎沟	茜家沟	指标权重
	$x'_1(k)$	$x'_2(k)$	$x'_3(k)$	$x'_4(k)$	$x'_5(k)$	
总收入增长率(%)	110	120	147	114	80	0.15
单位投资效益年平均额(元/元·a)	0.18	0.14	0.16	0.14	0.18	0.15
单位投资综合效益额(元/元)	2.77	3.80	1.91	2.70	4.00	0.15
劳动生产率(元/人·a)	459.96	650.53	768.20	822.57	1560.81	0.10
土地生产率(元/人·a)	18.00	30.78	19.91	68.22	82.05	0.10
人均收入增长率(%)	110.3	130.0	118.7	378.0	114.0	0.05
单位投资减少土壤侵蚀量(t/元·a)	0.082	0.269	0.105	0.066	0.102	0.150
林草覆盖率(%)	31.0	29.3	20.3	15.4	37.0	0.05
流域治理程度(%)	62.9	52.5	66.6	73.3	81.9	0.1

当取 $R=0.5$ 时,则得到关联系数的计算公式为:

$$\theta_i(k) = \frac{0 + 0.5 \times 1.362}{\Delta_i(k) + 0.5 \times 1.362} = \frac{0.681}{\Delta_i(k) + 0.681}$$

由此可得各流域的关联系数序列,即表 4。

表 2 各流域实测资料无量纲化处理结果

流域	指 标								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_1(k)$	0.919	1.104	0.866	0.474	0.359	0.539	0.550	1.094	0.900
$x_2(k)$	1.003	0.859	1.189	0.670	0.614	0.635	1.805	1.034	0.752
$x_3(k)$	1.228	0.982	0.597	0.792	0.397	0.580	0.705	0.717	0.954
$x_4(k)$	0.953	0.859	0.845	0.848	1.360	1.845	0.443	0.544	1.049
$x_5(k)$	0.669	1.104	1.251	1.608	1.636	1.845	1.805	1.306	1.172
$x_0(k)$	1.228	1.104	1.251	1.608	1.636	1.845	1.805	1.306	1.172

表 3 差序列 $\Delta(k) = |x_i(k) - x_0(k)|$

流域	指 标								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta_1(k)$	0.309	0	0.385	1.134	1.277	1.306	1.210	0.272	0.420
$\Delta_2(k)$	0.225	0.245	0.062	0.938	1.022	1.210	0	0.272	0.420
$\Delta_3(k)$	0	0.122	0.654	0.816	1.239	1.265	1.100	0.589	0.218
$\Delta_4(k)$	0.275	0.245	0.406	0.760	0.276	0	1.362	0.762	0.123
$\Delta_5(k)$	0.559	0	0	0	0	1.283	1.120	0	0

表 4 各流域的关联系数序列

流域	指 标								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\theta_1(k)$	0.688	1	0.639	0.375	0.348	0.343	0.352	0.763	0.715
$\theta_2(k)$	0.752	0.735	0.917	0.421	0.400	0.360	1	0.715	0.619
$\theta_3(k)$	1	0.848	0.510	0.455	0.355	0.350	0.382	0.536	0.758
$\theta_4(k)$	0.712	0.735	0.627	0.473	0.712	1	0.333	0.472	0.847
$\theta_5(k)$	0.549	1	1	1	1	0.346	0.378	1	1

表 1 所给各评价指标的权重已是正规化的,即 $\sum_{k=1}^9 \alpha(k) = 1$, 因此根据权重的关联度公式可得各流域评价的综合指标值:

$$r_1 = \sum_{k=1}^9 \theta_i(k) \alpha(k) = 0.688 \times 0.15 + 1 \times 0.15 + 0.639 \times 0.15 + 0.375 \times 0.1 + 0.348 \times 0.1 + 0.343 \times 0.05 + 0.352 \times 0.15 + 0.763 \times 0.05 + 0.715 \times 0.1 = 0.601$$

同理可得 $r_2 = 0.708, r_3 = 0.612, r_4 = 0.638, r_5 = 0.806$, 则关联序为 $r_5 > r_2 > r_4 > r_3 > r_1$, 列于表 5。

根据关联序,5 条流域的社会生态经济综合效益的优劣次序依次为:茜家沟>对岔>老虎沟>官兴岔>润镇沟。此结论与

表 5 各流域的关联度

流域	代码	关联度	综合成绩
茜家沟	5	0.806	80.6
对岔	2	0.708	70.8
老虎沟	4	0.638	63.8
官兴岔	3	0.612	61.2
润镇沟	1	0.601	60.1

各流域的客观实际情况是相符的。由于评价的标准是最优参考列,即流域综合治理最完美的“理想模式”,因此相对于“理想模式”而言,可以认为各流域综合评分依次为 80.6、70.8、63.8、61.2、60.1,说明经过多年的综合治理,茜家沟治理效果最好。虽然其总收入增长率很低,但其劳动生产率远高于其它流域,其流域治理程度、林草覆盖率、土地生产率等主要指标都是最高的。这表明茜家沟综合治理走的是内涵发展的道路,符合小流域生态经济系统的运行机制。对岔流域的治理效果也较好,其各项指标的发展较为均衡,但也要扩大治理面积,提高流域的治理程度。老虎沟、官兴岔、润镇沟的治理效果依次稍差些。其中老虎沟的人均收入增长率最快,其劳动生产率也较高。但应该通过种草种树等措施努力扩大林草覆盖面积,提高单位投资减少的土壤侵蚀量。官兴岔总收入增长率最高,但其单位投资综合效益额很差,应该注意资金使用效果,另外也要力争提高土地生产率。润镇沟的各项指标均差,尤其要大力发展生产力,努力提高土地和劳动生产率,通过多种经营等措施,尽快增加人均收入。

通过以上分析,应该注意到,只有各个单项效益均较好时,才能体现出综合效益也好。片面追求某项效益而忽视全面发展,都达不到水土保持综合治理的真正目的。甚至于破坏小流域生态经济系统的运行机制。

四、结 语

水土保持综合治理效益的分析评价涉及多方面的问题。但运用系统工程的原理设置综合措施,以系统科学的思想分析效益,是流域综合治理的出路所在。本文的灰色系统评价方法全面考虑了水土保持效益多指标、多因素、多目标的特点和指标权重的要求,构造了评价的最优准则,通过计算各流域与评价标准的关联度,获得其综合效益量化的优劣次序,从而作出科学的评价与分析。它将多指标高度综合成一个总指标来揭示水土保持综合治理效益的本质特征,解决了单项指标无法全面正确的反应综合治理效益的问题。也为今后建立水土保持效益专家评价系统提供了一定的理论基础。

兰州大学地理系杨锡金、徐建华副教授对此文给予了帮助和指点,甘肃省水保局高级工程师刘海峰副局长审阅了全文。对此深表谢意!

参 考 文 献

[1] 王礼先等. 试论小流域治理的系统观.《水土保持通报》,1993年,第3期
 [2] 邹珊刚等. 系统科学. 上海:上海人民出版社,1987年

[3] 余建华、余庆余. 人类生态系统. 兰州: 兰州大学出版社, 1993 年

[4] 黎销平. 灰色系统理论及其在水电工程规划方案中的应用. 《甘肃水利水电技术》, 1992 年, 第 4 期

中美土壤侵蚀与水土保持研讨会 在陕西省杨陵举行

1994 年 9 月 15 日至 16 日, 由中国科学院水利部西北水土保持研究所和美国农业部农业研究局国家土壤侵蚀研究实验室 (NSERL, USDA—ARS) 联合举办的“中美土壤侵蚀与水土保持研讨会”在陕西省杨陵举行。

研讨会专题讲座分别由美国 USERL 主任 John M. Laflen 博士 (主持世界水蚀预报项目), 美国土壤保持局 (SCS) 住 NSERL 的联络官员 Glenn Weesies 先生, 在土壤侵蚀过程及监测技术方面有一定成就的科学家黄基华博士和中国土壤侵蚀学学术带头人、“黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室”主任、博士生导师唐克丽博士, 该实验室常务主任田均良研究员及在遥感和 GIS 应用研究方面取得突出成就的科学家李锐副研究员主讲。

参加这次研讨会的代表有 50 多名, 分别来自西安理工大学、陕西省水土保持局、西北农业大学、西北林学院、陕西师范大学和中国科学院水利部西北水土保持研究所等单位。

在这次研讨会上, John M. Laflen、Glenn Weesies 主讲了美国土壤侵蚀控制, 包括侵蚀控制的基本原理和体系及野外实施; 美国土壤侵蚀研究和预报模型, 包括土壤侵蚀研究的历史、通用土壤流失方程式 (USSEL), 修正的通用土壤流失方程式 (RUSSEL)、水蚀预报模型 (WEPP) 等。Weesies 重点讲述了 RUSSEL 模型及在世界各国的推广应用; Laflen 重点讲述了 WEPP 的基本概念, 目前应用情况及亟待解决的问题, 并演示了 WEPP 模型。黄基华博士主讲了基本土壤侵蚀过程和研究技术, 包括细沟间 (interrii) 和细沟 (rill) 侵蚀过程、土壤侵蚀研究的室内外监测技术及地面糙度量测仪、自动细沟量测仪等仪器设备。Laflen、Weesies 和黄基华还讲述了侵蚀的影响, 包括土壤、土地生产力, 水质及其土壤侵蚀所带来的一系列后滞效应等。唐克丽研究员首先介绍了“黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室”的立项背景及该实验室的研究方向、研究领域、研究内容和近期开展的研究课题。然后主讲了中国土壤侵蚀与水土保持的研究进展及取得的成就。田均良研究员主讲了示踪元系 (REE) 在土壤侵蚀研究中的应用, 主要是在坡面和小流域泥沙定量分布研究及其来源上的应用。李锐副研究员主讲了遥感和 GIS 在土壤侵蚀和水土保持研究中的应用, 重点讲述了多层次遥感监测信息系统、小流域水土保持监测信息系统。

这次研讨会采取专题讲座与讨论相结合的方式, 除在每一个专题讲座中穿插有自由讨论外, 又专门安排了 2 小时的讨论。代表们怀着浓厚的兴趣同美国学者共同讨论了美国 RUSSEL、WEPP 模型在中国黄土高原的具体应用问题及前景分析, 包括地形因子 (LS)、土壤可蚀性因子 (K) 的应用分析及在不同侵蚀方式下侵蚀预报模型的测试、应用与发展具体应用问题等。

(中国科学院、水利部西北水土保持研究所 郑粉莉供稿)