

小流域治理综合效益评价方法刍议*

李智广 李 锐

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
(水利部)

摘 要 结合实例分析了国内小流域治理综合效益评价主要定量方法(包括加权综合指数法、加乘综合指数法和关联度分析法)的原理、适应性及其局限性。分析表明:3种方法的评价结论基本一致,加乘法比加权法有较高的灵敏度。认为应用GIS技术,从定量和定位两方面评价治理措施及其功能将成为今后治理评价的发展趋势。
中图分类号: S157.2, TP7

关键词: 小流域治理 效益 评价方法

On Benefit Evaluation Methods of Comprehensive Harness for Watershed Management

Li Zhiguang Li Rui

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of
Water Resources, Yangling District, Shaanxi Province, 712100, PRC)

Abstract The principle, adaptability and the limitation on assessment methods of comprehensive benefits for catchment management in China are analyzed with the case study, the quite same results are obtained with three methods, and the future development on assessing benefits of watershed management is also proposed.

Keywords: watershed management; benefit; method of comprehensive evaluation

小流域治理效益评价是多目标、多因素、多层次和多指标的综合评价。评价方法从过去以定性为主的评价,逐步发展为以定量为主的评价,从单因素、单目标评价到多因素、多功能、多指标的综合评价,从主观成分较多的经验性评价到利用数学方法对主观成分进行“滤波”处理,效益评价的方法日渐科学和客观。本文试图分析现有综合评价方法,了解各种模型的适用性和局限性,掌握水土保持评价研究的发展趋势,以期更好地服务于流域治理。

1 加权综合指数法

1.1 评价的基本原理

该方法假设各参评指标相互独立,它们分别对流域治理效益起作用;同时,各个指标对治理效益的贡献并不完全相同,存在相对重要性的量度。因此,该方法可以形象地理解为:反映治理效益各个侧面的评价指标是方向不同的多维矢量,各指标权重是各指标单位值在效益方向上的投影值,治理效益优劣是评价指标的矢量和。

1.2 评价模型和评判依据

对每个评价指标定出评价的等级,并用分值(0~10)表示。将评价指标所得分值采用加权法累计得治理效益总得分值,按总分大小排序,以决定对象的优劣。其计算式为:

$$A = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (0 < W_i < 10, \sum_{i=1}^n W_i = 10)$$

式中: A ——治理效益; W_i ——第 i 指标的权重; X_i ——第 i 指标的得分值

1.3 特点分析

该方法简单易行, 便于计算, 而且反映了指标间的重要性程度。但个别因子对效益的影响反映不敏感(如对治理发展有限制性作用的指标值很小时), 这是因为在指标权重分配较均衡和指标较多时, 加权和掩盖某些真实现象, 漏掉了某些重要信息。这种作用应特殊考虑, 例如制定各指标的阈值限界, 当某指标超出该限界时, 利用 $[0, 1]$ 方法放大该指标的作用: 当该指标达到某数值时, 其权重为 1, 加权模型的作用为 0; 否则, 利用加权模型评价, 模型的作用为 1。

2 加乘综合指数法

2.1 评价的基本原理

将流域治理的总效益分解为经济效果、社会效果和生态效果, 用下式表示:

$$G = \{ \max B_1(x, y, z), \max B_2(x, y, z), \max B_3(x, y, z) \}$$

式中: B_1 ——经济效果; B_2 ——社会效果; B_3 ——生态效果; x, y, z ——系统投入。

这 3 类效益之间的关系基本遵循乘法定律: 3 类效益都是相互作用的, 某类效益对流域总效益的影响受其它效益的影响。各类效益内子指标的关系基本遵循加法定律, 即各子指标间相互独立, 它们分别对评价对象起作用。在这种多指标性、各层关系不同的层次间, 信息传递是采取类似“数组”的形式。

2.2 评价模型和评判依据

按照上述信息传递的方式, 首先计算各类指标子因素的评分值之和, 然后将各类指标分值连乘得总评分值, 并按分数多少排序, 确定优劣。计算式为:

$$B = \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=1}^x B_{ij} \right) \quad (B_{ij} = \sum_{i=1}^3 W_i \cdot X_i)$$

式中: B_{ij} ——第 i 类指标第 j 子指标的得分; x ——第 i 类指标的子指标数目。

2.3 特点分析

该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, 既反映了流域治理“目标—目标因素(3 大效益)—效益指标”间层次递进的关系, 又体现了指标之间、因素之间的相互关系, 其灵敏度较加权法高。该方法的主要不足是对效益指标的分类要求较高, 即必须分清究竟哪些是经济效益指标, 哪些是社会效益指标, 哪些是生态效益指标。

3 关联度分析法

3.1 评价的基本原理

关联度分析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。作为一个发展变化的系统, 发展态势的比较就是系统历年来有关统计数据列几何关系的比较。对于单独的一条流域, 治理发展就是流域生态—经济系统历年的演化, 可以直接利用关联度进行评价。对于多条流域的比较性评价, 利用关联度分析的基本假设是: 如果多条流域具有基本相同的自然、社会和经济的环境和条件, 由于区域的基本一致性, 各个流域所处的不同的发展状态可以被看作是一条流域处在不同发展水平。也就是: 用处在相同环境中不同发展阶段的流域代替同一流域发展状态, 用流域数量增加造成的地域扩展代替同一流域发展在时间上的延续。这

相当于同一样地不同试验的比较研究。

3.2 评价模型和评判依据

对于 m 条流域, 它们的评价指标体系由 n 个指标组成。每个流域的所有指标实测值就构成一个数据列, 称为被比较数据列, 计作 X_i ; 参考数据列由参评的 m 条流域中各单项指标实测值的最优值组成, 计作 X_0 。于是得到如下数据列:

$$X_i = \{X_{i(1)}, X_{i(2)}, \dots, X_{i(n)} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m); \quad X_0 = \{X_{0(1)}, X_{0(2)}, \dots, X_{0(n)}\}$$

在无量纲化处理后, 就可以计算 m 条流域与评价标准的关联系数, 其公式如下:

$$\xi_{i(k)} = \frac{\min_i + R \cdot \max_i}{i(k) + R \cdot \max_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m; \quad k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: $i(k) = |X_{i(k)} - X_{0(k)}|$; $\min_i = \min_i \{ \min_k i(k) \}$; $\max_i = \max_i \{ \max_k i(k) \}$; R ——分辨系数 ($R = 0.5$); 关联系数 $\xi_{i(k)}$ 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。全过程的关联程度为: $Y_i = 1/n \cdot \sum_{k=1}^n \xi_{i(k)}$; 当各评价指标的重要程度不同

时, 可以得到带有权数的更为客观实际的关联度: $Y_i = 1/n \cdot \sum_{k=1}^n W_{i(k)} \cdot \xi_{i(k)}$ 。

其参考数据列是多个流域经过治理后所达到的最佳水平, 实际上是特定区域现有流域综合治理的“理想模式”。该模式就是关联度评价的标准, 用各流域与该模式对比作出定量评价: Y 值越大, 说明流域治理成效越好。这是一个高度综合的指标, 是关联度方法评判流域治理成效的依据。

同一条流域的评价模型与多条流域相似。对应于多条流域, 需要变化的只是把 m 条流域变为 m 年, 参考数据列是由 m 年的最优值所构成。

3.3 特点分析

关联度评价的优点是: 根据特定区域的多个流域或单个流域多年治理状态, 构造流域治理评价的最优准则, 即最优指标值构成的参考数据列。这种最优准则, 对单个流域的历年治理发展态势的评价最为合适, 也适合于对多个流域系统所处状态的评价。但是, 对于多个流域阶段治理效果的评价, 该方法的基本假设就显得苛刻。因为多个流域的自然、社会和经济的环境基础总是有差异的, 有些甚至差异较大, 这样, 不一样地的比较研究的可比较性就不能得到保证。

4 综合效益评价实例分析

王茂沟、川掌沟、堡子沟、老虎沟和六道沟是黄河中游多沙粗沙区的 5 条小流域。经过治理, 各流域的单项指标都有较大程度的提高。利用上述 3 种方法对这 5 条流域治理的综合效益进行评价, 评价指标体系和各指标实测值见表 1, 3 种方法的评价结果见表 2。

由各流域效益及其比值可知: (1) 3 种方法的评价结论一致, 说明这 3 种方法对流域治理综合效益的模拟基本上客观地反映了流域生态经济系统的结构和功能; (2) 不同评价方法所得各流域治理效益的比值有所差异, 以加乘法的比值最大, 说明加乘法比加权法有较高的灵敏度, 即放大了三大效益之间的相互影响; (3) 关联度评价得到的各流域效益比值较小, 这主要是因为这 5 条流域分属不同的行政区和不同的土壤侵蚀区, 自然、社会和经济条件存在一些差异。这正反映了关联度评价的基本假设是其模型的前提条件。由此可知: 在评价流域治理的综合效益时, 只要条件满足某模型的基本假设, 就可以选择该方法进行效益评估; 如果条件允许, 最好同时选用多种方法进行评估, 以便从不同角度检验流域治理效益。

表 1 小流域治理经济、社会和生态效益指标实测值

效益类别 B_i	指标项目 I_i	权重 W_i	王茂沟	川掌沟	堡子沟	老虎沟	六道沟
B_1 经济效益 指标	I_1 经济内部回收率/%	0.1600	20.62	21.66	17.51	15.63	22.01
	I_2 土地生产率(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)	0.0674	1173	1634	2192	1023	1408
	I_3 劳动生产率(元/工日)	0.0676	4.74	16.30	8.95	5.70	10.65
	I_4 资金生产率(元/百元)	0.0800	236.7	300.9	235.2	244.4	411
B_2 社会效益 指标	I_5 环境人口容量	0.1000	1.05	1.24	1.04	1.00	1.18
	I_6 粮食满足程度(kg/人)	0.0500	383	456	545	435	508.4
	I_7 人均基本农田(hm^2 /人)	0.0500	0.163	0.14	0.214	0.137	0.092
	I_8 系统商品率/%	0.0500	6.34	8.10	9.13	4.95	23.76
B_3 生态效益 指标	I_9 生态经济结构势	0.0938	0.63	0.40	0.36	0.29	0.35
	I_{10} 种植业能量产投比	0.0634	2.56	2.04	2.34	1.89	1.60
	I_{11} 治理程度/%	0.0468	82.0	78.1	86.6	73.3	79.97
	I_{12} 林草覆盖率/%	0.0469	58.5	71.7	34.4	36.3	35.0
	I_{13} 侵蚀模数/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	0.0772	1650	3222	739	1409	13896
	I_{14} 地表径流模数/($10^4 \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	0.0469	2.01	2.61	0.64	0.43	0.10

表 2 不同评价方法下各流域治理综合效益得分值

	王茂沟		川掌沟		堡子沟		老虎沟		六道沟	
	I_i	B_i	I_i	B_i	I_i	B_i	I_i	B_i	I_i	B_i
B_1	16.00		16.00		12.80		12.80		16.00	
	4.04	30.50	6.74	37.50	6.74	31.35	6.74	31.35	4.04	34.80
	4.06		6.76		5.41		5.41		6.76	
	6.40		8.00		6.40		6.40		8.00	
8.00	10.00		8.42		8.00		9.00			
B_2	3.00	14.00	5.00	18.00	5.00	18.42	4.00	15.00	5.00	17.00
	3.06		3.00		5.00		3.00		0	
	0		0		0		0		3.00	
	9.38		5.63		5.62		0		5.63	
B_3	6.34	35.35	6.34	30.34	6.34	31.40	6.34	24.07	6.34	24.84
	3.74		2.81		3.74		2.81		2.81	
	4.22		4.69		3.28		3.28		3.28	
	6.95		6.18		7.72		6.95		4.63	
	4.69		4.69		4.69		4.69		4.69	
	79.82(1.13)		85.84(1.22)		81.17(1.15)		70.42(1)		76.67(1.09)	
A	15081.64(1.33)	20479.50(1.81)	18132.46(1.60)	11319.92(1)	14695.34(1.30)					
B	83.70(1.08)	85.86(1.11)	85.45(1.10)	77.75(1)	81.33(1.05)					
r										

注: 1. “综合效益”行中, 括号内数值是以效益最小值为 1 所计算的各项流域效益与该最小值的比值; 2. 表中 A, B, Y 分别为治理效益、经济效益及关联系数的总分值; B_1, B_2, B_3 分别为经济、社会和生态效益指标。

5 结 语

效益评价数学模型的确实现了从定性到定量的突破, 在一定程度上反映了治理的综合效果。但是, 它不能回答流域内“哪些地段已经治理了和治理的程度如何?”“哪些地方还需要治理及治理的方向是什么?”等问题。地理信息系统(GIS)技术的发展为解决上面的问题提供了有效的工具。可以预料, 随着 GIS 发展及其在向生物地学方面的应用, 从定性、定量和定位三方面显示水土保持措施空间配置及其综合评价模型和方法将成为效益评价的发展趋势。

参 考 文 献

- 1 孟得顺,郭满才,郭培才,等.黄土高原综合治理效益评价指标体系与计算方法.见:王佑民编.黄土高原沟壑区综合治理及其效益研究.北京:中国林业出版社,1990.13—25
- 2 李锐,巨仁,赵满礼,等.《综合治理评价图》的编制和应用.见:中国科学院水利部水土保持研究所编.土地资源及其生产力研究.北京:科学出版社,1991.201—210
- 3 李玉山,苏陕民.长武王东沟高效生态经济系统综合研究.北京:科学技术文献出版社,1991.201—210
- 4 李锐.试区航空遥感监测研究.见:杨文治,余存祖主编.黄土高原区域治理评价.北京:科学出版社,1992.347—398
- 5 陈国良.黄土高原区域治理生态效益、经济效益和社会效益的综合评价.见:杨文治,余存祖主编.黄土高原区域治理评价.北京:科学出版社,1992.399—417
- 6 孙立达,孙保平,齐实.小流域综合治理理论与实践.北京:中国科学技术出版社,1992
- 7 黎锁平.水土保持综合治理效益的灰色系统评价.水土保持通报,1994,14(5):13—18
- 8 李璧成.小流域水土流失综合治理遥感监测.北京:科学出版社,1995.243—301
- 9 韩冰,汪有科,吴发启.渭北黄土高原沟壑区小流域综合治理评价的研究.水土保持学报,1995,9(3):84—89
- 10 常庆瑞,冯立孝,李岗.小流域综合治理评价方法初探.干旱地区农业研究,1995,13(3):94—99
- 11 李智广.小流域综合治理管理信息系统[硕士论文].陕西杨陵:中国科学院·水利部水土保持研究所,1996
- 12 常茂德,赵光耀,田兴芳,等.黄河中游多沙粗沙区小流域综合治理模式及其评价.郑州:黄河水利出版社,1997.51—63

城市之星(Citystar) 地理信息系统

Citystar 是由北大三秦公司开发的 3S 一体化地理信息系统软件。Citystar 可以运行于 WINDOWS 95/NT 及 UNIX 平台,具有通用 GIS 和图像处理系统的基本功能。主要功能子系统介绍如下。(1) 交互编辑子系统(Editor)。能够对矢量数据、栅格数据、注记和属性数据进行交互式输入和编辑。包括栅矢数据转换(DXF, TIFF, ARCINFO, BMP 等)、全自动拓扑生成、投影变换(20 余种投影)、图幅“无缝”拼接等。(2) 栅矢一体化查询分析子系统(View)。它能够对矢量图、栅格图、数字高程图、注记和属性数据进行逻辑查询和空间查询,有一定的制图功能和较为完善的统计图功能。支持对象连接和嵌入(OLE)技术,显示具有“所见即所得”特性。(3) 矢量地图的制作及输出系统(Plotter)。它完成 Edit 模块成果的整饰及输出,集显示、编辑、制图于一体,同时配以强大的辅助功能,以及丰富的符号库和颜色库,使得地图的制作及设计变得简便轻松。(4) 系统集成器(Interface)。包括界面制作工具(Interface-Maker)和界面应用系统(Interface-Runner)两部分。能够有效地装载、组织管理和调用图型、图像、文本数据、声音、录像等、多媒体数据及用户自己的可执行程序,并可以超文本方式提供查询功能。(5) 数字地形分析子系统(DEM&DTM)。由等高线等数据生成 DEM,计算分析一系列与地形有关的空间分布特征,如高程分布、地面坡度和坡向等。(6) 三维模型制作系统(3D)。可实现数字地形三维化并快速提取信息,本系统由 DEM 和 DTM 直接生成三维图,并可进行空间信息的分析查询。(7) 图像处理子系统(RS)。具有图像几何纠正、增强、分类、分析等功能。并结合 GIS 技术,处理效果好,计算精度高,功能全面,应用广泛。(8) 图像扫描子系统(Scanner)。对扫描输入的栅格数据进行矢量化处理。支持 Windows 位图图像、遥感图像、TIFF 图像等。系统采用了栅格图像、矢量地图的叠加显示方式,系统提供灰度图假彩色显示、图像剪裁、图像平滑、图像反转、图像采样二值化、线状图型细化、优化等功能,并且在此基础上自动或交互矢量化。

(中国科学院水利部水土保持研究所遥感信息工程部)