

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

魏 强^{1,2}, 柴春山²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010018; 2. 甘肃省林业科学研究院, 兰州 730020)

摘 要: 小流域水土流失治理综合效益分析与评价是一个多因素、多目标、多指标综合效益的系统评价问题, 评价结果是否具有可靠性则与所选评价指标体系及方法有着直接关系。在对水土流失治理综合效益评价指标体系与方法深入研究的基础之上, 结合当地实际情况提出了半干旱黄土丘陵沟壑区安家沟流域水土流失治理综合效益评价的指标体系、评价方法以及评价过程, 以利于该区水土流失治理综合效益的分析与评价。

关键词: 半干旱黄土丘陵沟壑区; 小流域; 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(2007) 01-0087-03

Index System and Method on Comprehensive Effects Evaluation of Small Basin Water - Soil Loss Control in Semiarid Loess Hill-valley Areas

WEI Qiang^{1,2}, CHAI Chun-shan²

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

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

Abstract: It is a systematic assessment with multi-factor, poly-objective and multi-index that the analysis and evaluation of comprehensive effects of water - soil loss control in small basin, whereas the reliability of its assessment result is closely related to the selected index system and evaluation method. Based on the deep studies on index system and method of comprehensive effects assessment of water - soil loss control and combined with local present condition, the index system, method and process of evaluation of comprehensive effects of water - soil loss control in semiarid loess hill-valley areas are put forward.

Key words: semiarid loess hill-valley area; small basin; index system; evaluation method

半干旱黄土丘陵沟壑区是指年均降水量为 250 ~ 600 mm、*K* 值(干燥度)为 1.50 ~ 3.99、地表切割破碎、沟壑纵横且密度较大、植被覆盖度较小、水土流失严重的黄土低山区。在该区, 水土流失是造成生态环境恶化最主要的原因之一。我国水土保持的长期经验证明, 在半干旱黄土丘陵沟壑区以小流域为单位的治理是防治水土流失的最佳形式^[1]。开展小流域治理, 从生态经济学的观点看, 既是解决生态环境问题——水土流失的主要途径, 也是促进当地经济发展的好办法。我国多年来所开展的小流域治理, 在生态效益和经济效益方面已取得了很好的效果。所以, 小流域治理是生态环境保护与建设的重要方式, 也是实现山川秀美战略的主要途径。通过有效控制水土流失, 使小流域的人口、环境、经济三者平衡协调发展, 实现小流域生态效益、社会效益和经济效益的统一, 进而实现区域的可持续发展。

以小流域为单元的水土流失治理是一项复杂的系统工程。其治理的综合效益包括生态、经济和社会效益三个方面, 对小流域水土流失治理综合效益的分析与评价, 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。目前虽然有人利用单一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, 尤其是缺乏系统评价的最优标准。因此有时会出现较大误差, 甚至得出反常的结论^[2]。本文在深入研究分析模糊评判、综合评分、层次分析和灰色系统理论评价等方法的基础上^[2~7], 结合当地实际情况提出了利用层次分析与灰色系统理论评价相结合, 对半干旱黄土丘陵沟壑区安家沟流域水土流失治理综合效益进行分析评价的方法。

1 研究区域概况

研究区域位于甘肃定西市安家沟流域, 104°38'13" ~ 104°40'25" E, 35°33'02" ~ 35°35'29" N。该区属中温带半干旱黄土丘陵沟壑区, 年均气温 6.3℃, 年均 10℃的活动积温 2 239.1℃, 极端最高、最低气温为 34.3℃和 -27.1℃; 年均降水 427 mm, 但时空分布极不均匀, 降水主要集中在 7 ~ 9 月, 在植物生长需水期严重缺水。太阳辐射 592.1 kJ/(cm²·a), 年日照时数 2 409 h, 无霜期 141 d; 蒸发量 1 510 mm。沟壑密度 3.14 km/km², 土壤为黄绵土, 有机质含量为 0.37% ~ 1.34%, 0 ~ 200 cm 土壤容重平均为 1.2 g/cm³。由于干旱缺水、植被稀少, 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。

* 收稿日期: 2006-03-02

基金项目: 国家“十五”科技攻关延续项目“半干旱黄土丘陵沟壑区水土流失防治技术与示范”部分研究内容, 项目编号(2001BA606A-03)

作者简介: 魏 强(1974-), 男, 甘肃渭源人, 在读硕士, 主要从事林业科学研究工作。

2 建立评价指标体系

2.1 指标选取原则

根据研究流域的主要特征、流域治理目标以及综合效益评价目的,评价指标体系应能全面、真实和定量地反映流域治理前后综合效益的变化程度,其指标选取原则为^[1,8]:

(1)科学性。指标应该建立在一定的科学理论基础之上、并且是客观存在的,概念内涵和外延应明确,能反映流域水土流失治理在时间、空间上的变化特征和水平;应尽可能反映流域水土流失治理后直接和间接效益。

(2)系统性。各评价指标及其所反映流域水土流失治理综合效益特征之间应有内在联系,单个指标仅反映流域水土流失治理效益的某个方面,只有相互联系的指标体系才能全面地反映流域水土流失治理的综合效益。

(3)可比性。所建立的指标应充分考虑流域水土流失治理的阶段性和综合效益的不断变化,使选择的指标既有纵向的连续性,又有不同流域水土流失治理效益的横向可比性。

(4)层次性。流域水土流失治理综合效益评价指标体系包括生态、社会和经济效益,而每个效益又可用众多指标进行标度,最终合成一个指标来描述水土流失治理的综合效益,因此,指标体系的设置也应具有层次性。

(5)可操作性。指标具有可测性和可比性,指标的获取具有可能性,易于量化,指标的设置尽可能简洁明了,避免繁杂。

2.2 指标体系的建立

针对该流域干旱缺水、植被覆盖率低、水土流失严重、生态环境脆弱、人民生活水平低等实际情况,本文将从如何提高当地群众经济收入以及走经济、生态和社会相互协调、可持续发展道路的角度出发,提出了本流域水土流失治理综合效益评价的指标体系^[1,2,9,10](表 1)。

表 1 小流域水土流失治理综合效益评价指标体系

总目标层(第一层)		准则层(第二层)	指标层(第三层)
小流域水土流失治理综合效益评价 A	生态效益 B ₁		林草覆盖率 C ₁
			土壤侵蚀模数 C ₂
			治理度 C ₃
			禽牧圈养率 C ₄
			退耕还林面积占应退耕还林的面积比 C ₅
			土壤有机质 C ₆
	社会效益 B ₂		恩格尔系数 C ₇
			农业技术人员变化率 C ₈
			人均粮食 C ₉
			农产品商品率 C ₁₀
	经济效益 B ₃		外出务工人员比重 C ₁₁
			人均纯收入 C ₁₂
			人均 GDP 值 C ₁₃
			产投比 C ₁₄
			劳动生产率 C ₁₅
			土地生产率 C ₁₆

3 评价方法

在查阅相关资料并结合当地实际情况,提出了利用层次分析与灰色系统理论相结合对安家沟流域水土流失治理综合效益进行分析评价的方法。

3.1 层次分析评价法

层次分析法(AHP)是一种新的定性分析和定量分析相

结合的决策方法,1980年由 T. L. Satty 首创的,较完整地体现了系统分析和系统综合的思想。它将复杂问题分解为若干层次,在比原问题简单得多的层次上进行分析,比较量化,单排序,然后总排序,最后得到所需问题的解。它使思维过程条理化、数学化,简单易于掌握^[4~7]。其优点是指标权重的确定较为科学合理。

3.2 灰色系统评价法

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做出全面、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列几何关联相似程度的量化分析比较方法^[2]。其优点是构造了评价的最优标准。

4 分析评价过程

4.1 建立层次模型

在深入分析所要研究的问题之后,将问题中所包含的因素划分为不同层次,包括总目标层、准则层和指标层。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,同时又从属于上一层次的因子,其建立的模型如表 1 所示。

4.2 构造判断矩阵

在建立层次结构模型的基础上,需要对每一层次中各因子的相对重要性作出判断。本文将采用 1~9 标度法对本层次与之有关因子之间的相对重要性进行标度,最后建立相应的判断矩阵。

4.3 确定权重系数并一致性检验

(1)计算判断矩阵每一行乘积 M_i , 则 $W_i = \sqrt[n]{M_i} = \sqrt[n]{a_{ij}}$, 从而求得 W_1, W_2, \dots, W_n ;

(2)对向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ 正规化,即 $W_i = W_i / W_i$, 即为所计算的权重数;

(3)一致性检验,其公式为 $CR = \frac{CI}{RI}$ 。其中 $CI =$

$$\frac{\max_{1 \leq i \leq n} \frac{(AW)_i}{nW_i} - \max_{1 \leq i \leq n} \frac{(AW)_i}{nW_i}}{n-1}, \max_{1 \leq i \leq n} \frac{(AW)_i}{nW_i}; RI \text{ 可由已知表所得}^{[4]}。$$

如 $CR < 0.1$, 则认为判断矩阵有满意的一致性;当 $CR > 0.1$, 则必需对判断矩阵进行自修正^[11], 其修正公式

$$B = t_{ij}(1) = \frac{\sqrt[n]{t_{il}}}{\sum_{l=1}^n \sqrt[n]{t_{il}}} \times \frac{\sqrt[n]{t_{jl}}}{\sum_{l=1}^n \sqrt[n]{t_{jl}}}, \text{ 后得完全一致化矩阵 } B, \text{ 再对 } B \text{ 求权重即得原矩阵各指标所对应的权重数。}$$

通过以上方法,可计算准则层、指标层中各指标所对应的权重数,进而确定各指标的组合同权重。设准则层中各指标权重为 \overline{W}_i , 指标层中各指标权重为 \overline{W}_{ij} , 则各指标的组合同权重为 $\overline{W}_i \times \overline{W}_{ij}$ (其中 i 为 1, 2, 3, 为准则数;而 j 为 1, 2, 3, ..., k , 为指标数)。

经对评价指标体系的分析与研究,本文所建立的判断矩阵、各指标对应的权重及组合同权重如表 2、表 3、表 4、表 5 所示。

表 2 判断矩阵 A 及对应的权重

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重
B ₁	1	5	3	0.6370
B ₂	1/5	1	1/3	0.1047
B ₃	1/3	3	1	0.2583

4.4 指标无量纲化处理

由于评价指标的单位不同,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,在对小流域水土流失综合效益评价分析之前必须进行无

量纲化处理。

表 3 判断矩阵 B_1 及对应的权重

B_1	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	权 重	组合权重
C_1	1	3	4	5	6	7	0.4467	0.2845
C_2	1/3	1	2	3	4	5	0.2240	0.1427
C_3	1/4	1/2	1	2	3	5	0.1464	0.0933
C_4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0.0898	0.0572
C_5	1/6	1/4	1/3	1/2	1	3	0.0598	0.0381
C_6	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1	0.0334	0.0213

表 4 判断矩阵 B_2 及对应的权重

B_2	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	权 重	组合权重
C_7	1	3	4	5	6	0.4727	0.0495
C_8	1/3	1	2	4	5	0.2447	0.0256
C_9	1/4	1/2	1	3	4	0.1581	0.0166
C_{10}	1/5	1/4	1/3	1	3	0.0800	0.0084
C_{11}	1/6	1/5	1/4	1/3	1	0.0449	0.0047

表 5 判断矩阵 B_3 及对应的权重

B_3	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	权 重	组合权重
C_{12}	1	2	4	5	7	0.4479	0.1157
C_{13}	1/2	1	3	4	5	0.2865	0.0740
C_{14}	1/4	1/3	1	3	4	0.1451	0.0375
C_{15}	1/5	1/4	1/3	1	2	0.0735	0.0190
C_{16}	1/7	1/5	1/4	1/2	1	0.0471	0.0122

4.4.1 确定评价标准值

由灰色系统理论可知,因参与评价的不同时期每一个单项指标的取值各不相同,所以在分析评价前要选一个参考数列作为评价标准。但在不同治理时期所实测的值中总有一个是最优值,所有单项指标的最优值可组成参考数列 $x_0(k)$,即为 $x_0(k) = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k)\}$ 。参考数列是流域在不同治理时期生态、经济和社会效益所能达到的最佳水平,它实际上是现有流域综合治理的“理想效果”,把此作为分析评价的标准进行对比分析,作出定量评价^[2]。

4.4.2 无量纲化处理

对于数值越大治理效果越好的指标^[1,2],则 $x_i(k)$ 无量纲化 $= x_i(k) / \sqrt{x_i(k)}$, 其中 $\sqrt{x_i(k)} = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m x_i(k)$, ($i = 0, m, k =$

$1, n$);对于数值越小治理效果越好的指标,如土壤侵蚀模数和恩格尔系数,则 $x_i(k)$ 无量纲化 $= [x_i(k) / \sqrt{x_i(k)}]^{-1}$ 。

4.5 计算各指标与评价标准的关联度系数

小流域水土流失治理不同时期与评价标准 $\{x_0\}$ 的关联度系数为 $i(k)$,计算公式为: $i(k) = \frac{\min + R \cdot \max}{i(k) + R \cdot \max}$, ($i = 1, m, k = 1, n$)。其中, $i(k) = |x_i(k) \text{ 无量纲化} - x_0(k) \text{ 无量纲化}|$, $\min = \min_i [\min_k i(k)]$, $\max = \max_i [\max_k i(k)]$, R 为分辨系数(0.1 R 0.5)。

4.6 计算带有权重关联度

关联系数 $Q_i(k)$ 只反映流域在一个指标上的关联情况,不反映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: $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i(k)$ 称为关联度。它表示流域治理与最优评价标准在全部指标上的关联程度,与流域治理综合效益成正相关。它是一个高度综合的指标,是小流域水土流失治理综合效益评价的依据。在实际应用中,常计算带有权重的关联度: $r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i(k) \cdot i(k)$, 其中 $i(k)$ 表示各评价指标的组合权重,且 $\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n i(k) = 1, i = 1, m, k = 1, n$ 。

小流域不同治理时期综合效益的好坏,可由所计算的不同治理时期关联度综合指标 r_i 值来确定。 r_i 值越大,则表明该阶段水土流失治理较接近于所构造的理想模式,治理效果比较显著; r_i 值越小,则表明该阶段水土流失治理与所构造的理想模式差距较大,治理效果较差,因此在今后小流域水土流失治理过程应进一步优化治理模式及技术。

5 结 语

小流域水土流失治理综合效益分析与评价涉及指标体系的建立、评价方法的选择、指标权重的确定、数据的测定等多方面内容,所以评价结果能否真实反映治理的实际情况则与其有着直接关系。不同类型区、同类型区不同流域由于自然、社会和经济条件相差很大,评价指标及指标权重的确定相差也很大,因此在分析评价过程中要根据当地实际情况、治理目标和评价目的来确定指标体系、评价方法和指标权重,尽量减少人为因素所致误差,使评价结果更趋于真实性,这便是选择不同评价方法、不同评价指标体系的目的所在。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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):13-18.

[3] 梁静国. 科研院所综合实力评估方法实践[J]. 决策与决策支持系统,1994,4(3):64-70.

[4] 马立平. 层次分析法——现代统计分析方法的学与用(七)[J]. 北京统计,2000,125(7):38-39.

[5] 曹文华,周伟,于乃润. 层次分析法判断矩阵自适应调整的一种新方法[J]. 西北纺织工学院学报,1996,39(3):249-261.

[6] 阵元双,万兰芳. 层次分析法在科研成果评价中的应用[J]. 嘉应大学学报(社会科学),1996,(5):52-57.

[7] 刘晓红,刘莉,曾现来,等. 用层次分析法对延安市区生活垃圾处理方案的优选[J]. 水土保持研究,2005,12(1):98-100.

[8] 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.

[9] 王兵,吴斌,李建牢. 小流域水土保持生态经济效益综合评价模型的研究[J]. 水土保持学报,1994,8(3):59-63.

[10] 李锋瑞,王树芳,高崇岳. 作物轮作复种模式综合评价的 AHP 模型设计与应用[J]. 草业学报,1996,5(3):22-26.

[11] 贾华. 层次分析法中权重算法的一种改进[J]. 武测科技,1995,(3):25-30.

[12] 古丽努尔·沙布尔哈孜,尹林克,热合木都拉·阿地拉. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):80-83.