

基于多目标决策灰色关联投影法的水土保持 生态修复生态效益动态评价^{*}

马 骞^{1,2}, 杨子峰³, 于兴修¹, 刘前进¹

(1. 临沂师范学院 环境与旅游学院, 山东 临沂 276005; 2. 华中农业大学 资源与环境学院, 武汉 430070; 3. 浙江省环境保护科学研究设计院, 杭州 310007)

摘 要:科学评价水土保持生态修复效益对进一步完善生态修复模式具有重要意义。水土保持生态修复生态效益评价的对象实际上是区域生态环境系统,涉及自然、生态等多方面具有信息不确定性和不完全性的因素,实质上是一个灰色系统。基于灰色系统理论和矢量投影原理,建立了水土保持生态修复生态效益评价灰色关联投影模型。该模型将评价样本及各级标准视为矢量,分别向同一矢量(理想样本)进行投影,根据投影值的大小,确定样本所属的生态环境质量级别及样本间的优劣排序。利用地处沂蒙山区的国家水土保持生态修复试点工程山东省平邑县项目区的 2002 - 2005 年监测数据,通过建立生态效益评价指标体系,采用多目标决策灰色关联投影法,对水土保持生态修复的生态效益进行评价,结果与预期相一致。即研究区 2005 年生态效益的投影值为 0.661 9,2002 年的投影值 0.593 1。研究表明:利用灰色关联投影模型进行水土保持生态修复效益动态评价是科学的、有效的,具有应用和推广价值。

关键词:水土保持;生态修复;生态效益;多目标决策灰色关联投影法

中图分类号:S157.1;X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)04-0100-04

Ecological Benefit Evaluation on the Ecological Restoration of Soil and Water Conservation Based on Multi-criteria Decision Grey Relation Projection Method

MA Qian^{1,2}, YANG Zi-feng³, YU Xing-xiu¹, LIU Qian-jin¹

(1. College of Geography and Tourism, Linyi Normal University, Linyi, Shandong 276005, China; 2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. Environmental Science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract:Scientific evaluation on ecological restoration benefit of soil and water conservation was significant to further complete ecological restoration model. In fact, the objective of ecological benefits evaluation is a regional environmental system, which involved with multiple uncertain factors about nature and ecology, and it was a virtually grey system. A grey relation projection model for ecological restoration of soil and water conservation evaluation was established based on grey system theory and vector projection principle. In this model, evaluated samples and classified standards are treated as vectors, and projected on the same ideal sample. Then, evaluated samples are classified and arranged in the projective value. Based on the data support of national ecological restoration of soil and water conservation project in Pingyi County, Shandong province, evaluation index system of ecological benefits was established using multi-criteria decision grey relation projection method to assess the ecological benefit. The result is in correspondence with expected condition: the projective value of ecological benefits was 0.661 9 in 2005 and 0.593 1 in 2002. The result showed that this model is scientific and effective for ecological restoration of soil and water conservation evaluation.

Key words:soil and water conservation; ecological restoration; ecological benefit; multi-criteria decision grey relation projection method.

^{*} 收稿日期:2008-12-20

基金项目:山东省优秀中青年科学家奖励基金项目(2007BS08025);山东省自然科学基金项目(Q2006E01)

作者简介:马骞(1982-)男,北京房山人,博士研究生,主要研究方向为水土资源利用。E-mail:maqian16620@126.com

通信作者:于兴修(1967-)男,山东莒县人,教授,博士生导师,主要从事资源利用与环境效应研究。E-mail:xxy2000@126.com

生态修复是治理水土流失的重要途径之一,是我国水土保持生态建设的深化和发展。自 2001 年水利部提出生态修复治理水土流失的新思路以来,众多学者在生态修复范畴、区划、理论、机制、生态修复的潜力与标准、技术措施和评价等方面开展了大量的研究工作^[1-6],取得了丰硕的科研成果,为进一步实施水土保持生态修复措施提供了科学依据。然而,由于水土流失生态修复效益评价所涉及的地域复杂性和因素多样性,至今尚未形成公认的理论体系和方法体系,因此对这一问题的研究非常重要。从总体上看,目前水土流失生态修复评价以定性和定量相结合为主。其中,定量评价多以计算结果为基础进行指标比较和统计分析^[7-13],灰色多目标决策与评价的理论也得到了应用^[14],但缺乏动态效益评价研究。

地处沂蒙山区的山东省平邑县是全国首批实施水土保持生态修复试点工程的区域之一,该项目区的生态修复模式多样,效益指标监测规范且数据丰富,是进行水土保持生态修复效益评价研究的良好案例。从矢量投影的角度出发,提出了一种新的多目标决策灰色关联投影模型,并对研究区的水土流失生态修复生态效益进行动态评价,取得了较为理想的研究结果。

1 研究区概况

平邑县地处山东省南部,沂蒙山区西南边缘,淮河流域沂河水系浚河上游。北纬 35°07'35" - 35°43'23",东经 117°25'12" - 117°56'51"。研究区地形复杂,以低山丘陵为主,但又呈明显的带状分布规律。土壤以褐土、棕壤为主;植被主要有落叶阔叶林、针叶林、灌草丛等类型,经济林分布广泛,多为园林栽培;该区属大陆性季风气候区,年均降水量为 784.8 mm,夏季降水量占年降水量的 65%;土壤侵蚀模数达 1 624 t/(km²·a),水土流失较为严重。

2 多目标决策灰色关联投影模型的建立

2.1 多目标决策灰色关联投影法基本原理

水土保持生态修复生态效益评价的对象实际上是区域生态环境系统,它涉及自然、生态等多方面具有信息不确定性和不完全性的因素,实质上是一个灰色系统。所以,对这种系统进行效益评价,实际上是一个灰色多目标决策的问题。

灰色关联投影法是从矢量投影的角度探讨多目标决策与评价的新方法^[15]。该方法中一个决策方案本身就是因素指标集的映射,因素指标集一旦确

定,决策方案也就确定了。灰色关联投影法以各方案在理想方案上的投影值大小作为评判决策方案优劣的标准,并通过特定的算法,使重要指标的加权系数得到进一步的加强,全面而准确地反映了各决策方案和理想方案之间的接近程度,使得生态效益的评价更接近客观实际。

这种方法综合了整个因素指标空间的影响,尤其是在因素指标值样本量少而且数据离散的情况下,能够避免单方向偏差,即可以避免只将各方案的单个因素指标值进行比较而引出的偏离,从而全面地分析了指标间的相互关系。

2.2 多目标决策灰色关联投影模型的建立

(1) 构造决策集合与评价指标集合,找出最佳决策方案 A_0 的因素指标 Y_{0j} ,然后列出方案集 A 对指标集 V 的决策矩阵 Y 。

原指标决策域的集合 $A:A=\{\text{方案 } 1, \text{方案 } 2, \dots, \text{方案 } n\}$,因素指标集合 $V:V=\{\text{指标 } 1, \text{指标 } 2, \dots, \text{指标 } m\}$ 。方案 A_i 对指标 V_j 的属性值记为 Y_{ij} ($i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m$)。通常,将指标分为“成本型”和“效益型”两类。所谓成本型指标,是指属性值愈小愈好的指标;所谓效益型指标,是指属性值愈大愈好的指标。构建方案集 A 对指标集 V 的决策矩阵 Y 。 $Y=(Y_{ij})_{(n+1) \times m}$ ($i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m$)。

(2) 数据初值化处理和关联系数计算。为了消除量纲和量纲单位不同带来的不可公度性,将评价指标按式(1)进行初值化处理。

$$Y_{ij} = Y_{ij} / Y_{0j}$$
$$(i=0,1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m)$$

(1)

经过初值化处理后,很显然 $Y_{0j}=1$ ($j=1,2,3,\dots,m$)。这里 Y_{0j} 即为理想方案。以 Y_{0j} 为母因素,以 Y_{ij} 为子因素,就可以得到其他方案与理想方案的关联度 r_{ij} 。

$$r_{ij} = \frac{\min_n \min_m |Y_{0j} - Y_{ij}| + \max_n \max_m |Y_{0j} - Y_{ij}|}{|Y_{0j} - Y_{ij}| + \max_n \max_m |Y_{0j} - Y_{ij}|}$$

(2)

式中:——分辨系数,其作用在于调整比较环境的大小。当 $\alpha=0$ 时,环境消失; $\alpha=1$ 时,环境保持不变。通常,取 $\alpha=0.5$ 。

(3) 构造灰色关联度判断矩阵。称由 $(n+1) \times m$ 个 r 组成的矩阵为多目标灰色关联判断矩阵 F 。

$$F = (r_{ij})_{(n+1) \times m} \quad (i=0,1,\dots,n; j=1,2,\dots,m)$$

(4) 确定多目标综合评价指标的加权向量。设评价指标集的加权向量为 W

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}^T > 0$$

设在指标间加权向量 W 的作用下构造而成的增广型矩阵为加权灰色关联决策矩阵 F , $F = FW$ 。将每个决策方案看成一个行向量(矢量),则称每个决策方案 A_i 与理想方案 A^* 之间的夹角 r_i 为灰色关联投影角。

决策方案 A_i 与理想方案 A^* 之间的夹角余弦为:

$$r_i = \frac{A_i A^*}{\sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m F_{ij}^2}} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j F_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m F_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (3)$$

夹角余弦 $0 < r_i \leq 1$, 且总是愈大愈好, r_i 愈大, 表示决策方案 A_i 与理想方案 A^* 之间的变化方向愈一致。决策方案 A_i 的模数为 d_i 。

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2 F_{ij}^2} \quad (4)$$

记 W_j 为一组新的因素指标权值矢量, 称其为灰色关联投影权值矢量。

$$W_j = [W_j^1, W_j^2, \dots, W_j^m] \quad (5)$$

(5) 计算灰色关联投影值。将模的大小与夹角余弦的大小结合考虑, 计算出各个决策方案在理想方案上的投影 D_j 。

$$D_j = \sum_{i=1}^m F_{ij} W_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (6)$$

(6) 根据各个投影值的大小, 就可以对每个决策方案作出科学的评价。投影值越大, 说明该决策方案与理想方案越接近, 则该方案就越优秀。

3 生态效益评价

3.1 生态效益评价指标体系建立

建立生态效益评价指标体系的过程是: 首先根

$$A_0 = (529.62 \quad 0.19 \quad 2618.91 \quad 0.828 \quad 1.408 \quad 31.18 \quad 13.96 \quad 343 \quad 38 \quad 56.86)$$

下面就可以列出方案集 A 对指标集 V 的属性矩阵 Y 。

$$Y = \begin{bmatrix} 529.62 & 0.19 & 2618.91 & 0.828 & 1.408 & 31.18 & 13.96 & 343 & 38 & 56.86 \\ 939.10 & 0.27 & 3762.02 & 0.780 & 1.408 & 31.18 & 13.96 & 343 & 35 & 41.82 \\ 529.62 & 0.19 & 2618.91 & 0.828 & 1.414 & 34.96 & 12.73 & 346 & 38 & 56.86 \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2) 据式(7), 对 Y 进行初值化处理, 得到 Y 。

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.5640 & 0.7037 & 0.6961 & 0.9420 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.9211 & 0.7354 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0.9958 & 0.8619 & 0.9120 & 0.9913 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(3) 在得到初始化序列 Y 后, 根据公式(8), 就可以得出灰色关联判断矩阵 F 。

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.3333 & 0.4239 & 0.4177 & 0.7899 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.7343 & 0.4517 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0.9811 & 0.6121 & 0.7124 & 0.9616 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

(4) 通过主成分分析计算, 可得到一组加权系数 W 。

据区域特征、生态系统的服务功能等确定评价的目标及生态健康的标准, 通过对反映生态系统的水、土壤、大气和生物这 4 个方面要素特征的指标敏感性及其相关性分析, 选择健康诊断指标, 然后建立生态系统健康诊断指标体系。本文借鉴国内外有关生态效益评价指标体系研究的成果与实践经验, 结合研究区的实际, 通过对众多指标的筛选, 建立了生态效益评价指标体系(表 1):

表 1 研究区生态效益评价指标实测值

项目	指标	2002 年	2005 年
水土保持 指标	侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	939.10	529.62
	径流系数	0.27	0.19
	年养分流失量/(t·a ⁻¹)	3762.02	2618.91
土壤环境 指标	植被覆盖率/%	41.82	56.86
	土壤肥力指数(SFI)	0.780	0.828
	容重/(g·m ⁻³)	1.408	1.414
	土壤砾石含量/%	31.18	34.96
大气环境 指标	微生物含量(10 ⁷ 个/g干土)	13.96	12.73
	CO ₂ 含量/(mg·L ⁻¹)	343	346
	物种丰富度	35	38

3.2 计算分析与评价

已知方案 $A = \{2000 \text{ 年}, 2005 \text{ 年}\}$, 指标集 $V = \{\text{侵蚀模数、径流系数、年养分流失量、SFI、容重、土壤砾石含量、微生物含量、CO}_2 \text{ 含量、物种丰富度、植被覆盖率}\}$ 。就生态效益而言, 指标集 V 中属于成本型指标的有侵蚀模数、径流系数、年养分流失量、容重、土壤砾石含量、CO₂ 含量, 其它指标为效益型指标。

(1) 根据获取的评价指标数据, 可以知道相对最佳设计方案 A_0 的因素指标。

$$W = (0.0707 \ 0.0925 \ -0.0851 \ -0.2765 \ 0.3208 \ 0.2824 \ -0.1260 \ 0.3154 \ -0.1292 \ -0.3245) \quad (9)$$

根据式(9),可以得到一组新的加权矢量,既灰色关联投影权值矢量 w_j 。

$$W_j = (0.0069 \ 0.0119 \ 0.0101 \ 0.1063 \ 0.1431 \ 0.1109 \ 0.0221 \ 0.1383 \ 0.0232 \ 0.1464) \quad (10)$$

(5) 根据式(10),就可以最后得出各个决策方案的投影值 D_j 。

$$D_j = (0.5931 \ 0.6619)$$

(6) 根据这两个决策方案投影值的大小,可见研究区 2005 年的生态效益好于 2002 年。

4 结论与讨论

(1) 采用多目标决策灰色关联投影法,对研究区水土保持生态修复的生态效益进行综合评价的结果是:2002 年的生态效益投影值为 0.593 1,2005 年的生态效益投影值为 0.661 9。表明 2005 年的生态效益高于 2000 年的生态效益,说明研究区实施的生态修复模式是有效的。

(2) 多目标决策灰色关联投影法以各方案在理想方案上的投影值大小作为生态效益动态比较的标准,使得水土保持生态修复生态效益的评估更接近客观实际,过程简单,具有推广价值。

(3) 本文旨在利用多目标决策灰色关联投影法评价研究区实施生态修复措施前后的生态效益变化,未来将加大观测密度、增加观测指标,以提高生态效益评价的精确度。

参考文献:

[1] 焦居仁. 生态修复的要点与思考[J]. 中国水土保持, 2003(2):1-2.

[2] 刘国彬,杨勤科,陈云明. 水土保持生态修复的若干科学问题[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6):126-130.

[3] 蔡建勤,张长印,陈法杨. 全国水土保持生态修复分区研究[J]. 中国水利, 2004(4):46-48.

[4] 杨爱民,刘孝盈,李跃辉. 水土保持生态修复的概念、分

类与技术方法[J]. 中国水土保持, 2005(1):11-13.

[5] 姜德文. 以生态修复为指导思想的水土保持技术路线探讨[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6):86-89.

[6] 杨少林,孟菁玲. 浅谈生态修复的含义及其实施配套措施[J]. 中国水土保持, 2004(10):7-9.

[7] 王海英,刘桂环,董锁成. 黄土高原丘陵沟壑区小流域生态环境综合治理开发模式研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2):207-216.

[8] 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[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3):84-89.

[9] 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.

[10] 彭鸿嘉,莫保儒,蔡国军. 甘肃中部黄土丘陵沟壑区农林复合生态系统综合效益评价[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3):367-371.

[11] 刘国彬,胡维银,许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1):44-49.

[12] 赵西宁,冯浩,吴普特. 黄土高原小流域雨水资源化综合效益评价体系研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3):354-360.

[13] 赖亚飞,朱清科,张宇清. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3):83-87.

[14] 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.

[15] 吕锋,崔晓辉. 多指标决策灰色关联投影法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002(1):103-107.