

基于灰色关联度的 TOPSIS 模型在秦岭生态功能区水土保持治理效益评价中的应用

张霞, 郑郁, 王亚萍

(陕西省环境科学研究院, 西安 710061)

摘要:采用熵值法确定 TOPSIS 的指标权重,利用灰色系统理论,构建了灰色关联度的 TOPSIS 评价模型,并根据陕西省秦岭生态功能区近 10 a 水土流失与治理资料实例验证了该法的有效性,定量评价揭示了该区水土保持治理效益动态变化情况,并采用灰色聚类法加以验证。结果表明:秦岭实施生态环境保护措施初期,各项措施尚未完善、发挥作用相对滞后,水土流失未得到有效控制;随着各项功能措施的逐步深入,水土保持治理效益大幅度提升,与初期相比,治理效益指标增长 1.24 倍,生态环境逐步向良性发展,有利于秦岭生态功能的改善。该评价方法体系的提出为区域水土保持措施有效开展提供了新的思路,也可作为政府决策与综合管理、宏观调控提供科学的理论依据。

关键词:水土保持; 秦岭生态功能区; TOPSIS; 灰色关联

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0188-04

Application of TOPSIS Model to Beneficial Evaluation of Soil and Water Conversation of Qinling Ecological Function Region Based on Gray Correlation Degree

ZHANG Xia, ZHENG Yu, WANG Ya-ping

(Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science, Xi'an 710061, China)

Abstract: In order to solve the determination of the index weight in TOPSIS model, an entropy method was put forward to calculate the index weight, and then gray system theory was combined to construct a TOPSIS evaluation model based on the gray correlation degree. According to ten years of related data on soil and water loss and governance of Qinling region, the effectiveness of this method was finally proven. The quantify evaluation model explored the dynamic state of soil and water conversation in Qinling ecological function region, and was tested by gray clustering. The results showed that soil and water loss had not effectively controlled at the early stage of implementation on ecological environmental protection measures because the measures were not perfect and its roles were relative lag. With various measures gradually deepening, the harness benefit of soil and water conservation was greatly promoted, and its index rose 1.24 times compared to the initial stage. The gradual development of ecological environment benefit was conducive to the improvement of the Qinling ecological functions. The evaluation methodology provided new ideas for the effectiveness of regional soil and water conservation measures, and can provide the reliable basis for government decision-making and comprehensive management, macro-control in Qinling ecological function region.

Key words: soil and water conversation; Qinling ecological function region; TOPSIS; gray correlation degree

秦岭是横贯中国中部的东西走向山脉,是我国中部平均海拔最高的庞大山系,是我国中部最重要的生态安全屏障。水土保持治理效益成效影响着秦岭生态环境和秦岭地区水土资源和土地生产力。因此开展该地区水土保持治理效益评价研究,是治理秦岭生

态功能区的一项基础性工作,可为秦岭生态资源的开发和可持续发展提供决策依据。

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)模型是有限方案多目标决策分析的一种常用方法,可用于效益评价、决策、管

收稿日期: 2013-02-26

修回日期: 2013-07-09

资助项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目“渭河水污染防治关键技术与示范”(2011KTZB03-03-02); 国家自然科学基金项目“植被格局对坡沟水蚀过程调控机理研究”(41071182)

作者简介: 张霞(1982—),女,内蒙古包头人,硕士,工程师,主要从事生态环境研究工作。E-mail: zhangxia20002000@163.com

理等多个领域^[1-2],已广泛应用于多种方案评价^[1-5],如张霞等^[6]采用 TOPSIS 法对秦岭生态功能区水土保持治理效益进行了综合评价,并取得可靠的评价效果。但由于在多指标决策中统计数据十分有限,并且由于人为因素干扰,导致数据波动较大,分布规律不明显。在“贫信息、少样本”情况下,灰色关联分析则具有所需原始数据少、原理简单、运算方便、易于挖掘数据规律等优点^[7-10]。Kuo 等^[11-12]应用灰色关联进行多样指标决策,并取得较好的结果。因此,本研究开展基于灰色关联度的 TOPSIS 模型对秦岭生态功能区水土保持治理效益进行综合评价,以期为秦岭区域水土保持措施有效开展提供新的思路,也为政府决策与综合管理、宏观调控提供科学的理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

陕西秦岭生态功能区位于陕西省中南部,东连豫鄂,西接甘陇,南望巴蜀,北瞰关中,呈东西向条带延伸,长约 1 500 km,总面积达 5.79 万 km²。涉及西安市、宝鸡市、渭南市、安康市、汉中市和商州市 6 市所辖 38 个县、483 个乡镇。

秦岭山系对我国南北气流运行起着屏障作用,是北亚热带湿润气候带与半湿润季风气候带的天然分界,秦岭南坡属北亚热带湿润气候区,冬温夏热,降雨较多,四季较明显,气候条件较暖温带优越;秦岭北坡属暖温带大陆性季风气候区,冬冷夏热,四季分明,雨热同季,冬春较干旱;秦岭对于调节陕西南部气候效应作用显著,是关中和陕南自然地理和气候的分界。

秦岭山高坡陡,土薄石厚,暴雨频繁,降水量大且集中,水土流失十分严重。年降水量约 70% 集中于夏秋两季,且大雨、暴雨频繁,强度大。大雨、暴雨对地表土体产生强烈的冲击,严重破坏了土层结构,使土壤抗蚀能力大大减弱,侵蚀强度剧增;尤其在 7—9 月汛期,水力和重力侵蚀最为活跃,是该区水土流失最主要的时期。

1.2 基于灰色关联度的 TOPSIS 模型

TOPSIS 法是系统工程一种逼近理想解排序方法,已经在生态效益评价、水环境评估等领域得到了广泛的应用^[1-4,12-14]。其方法是利用灰色关联度在曲线规律分析上的优势来改进 TOPSIS 模型,能够更准确地把握样本方案与理想样本间的空间距离,提高评价的准确度,其具体评价方法如下^[12-14]。

步骤 1:建立指标、样本矩阵,并对数据进行归一化处理。

$$A=(a_{ij})_{m \times n} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

式中: a_{ij} ——第 i 个样本,第 j 项指标; m ——样本数; n ——指标数。为消除制表单位并统一量纲,对数据进行归一化处理,将数据样本处理到 (0, 1, 0.9) 范围内:

$$x_{ij}=a_{ij}/[\sum_{i=1}^m(a_{ij})^2]^{1/2} \quad (2)$$

经过归一化处理后的矩阵为:

$$X=(x_{ij})_{m \times n} \quad (3)$$

步骤 2:确定各指标权重。本文采用熵值法对指标进行赋权,第 j 项指标熵权为:

$$w_j=(1-\eta_j)/\sum_{j=1}^n(1-\eta_j) \quad (4)$$

$$\text{其中:}\eta=\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^m h_{ij} \ln h_{ij}, h_{ij}=(1+x_{ij})/\sum_{i=1}^m(1+x_{ij})$$

求得各指标权重为:

$$W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (5)$$

步骤 3:计算加权标准化矩阵。将归一化处理的指标样本矩阵与对应的指标权重相乘,计算加权的标准化矩阵:

$$Y=(y_{ij})_{m \times n}=(w_j x_{ij})_{m \times n} \quad (6)$$

步骤 4:确定最优、最劣方案。最优、最劣方案为正向指标的最大值和最小值(反向指标则相反),其计算公式为:

$$\begin{aligned} Y^+ &=(y_{\max 1}, y_{\max 2}, \dots, y_{\max m}) \\ Y^- &=(y_{\min 1}, y_{\min 2}, \dots, y_{\min m}) \end{aligned} \quad (7)$$

步骤 5 计算各样本到最优、最劣方案的欧式距离。其计算公式为:

$$\begin{aligned} D_i^+ &=\sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{\max j} - y_{ij})^2} \\ D_i^- &=\sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{\min j} - y_{ij})^2} \end{aligned} \quad (8)$$

步骤 6:计算样本到最优和最劣方案的灰色关联度。样本 i 与最优方案关于指标 j 的灰色关联系数为:

$$\xi_{ij}^+=\frac{\min_{i,j} \Delta y_{ij} + \rho \max_{i,j} \Delta y_{ij}}{\max_{i,j} \Delta y_{ij} + \rho \min_{i,j} \Delta y_{ij}} \quad (9)$$

式中: $\Delta y_{ij}=|y_{ij}-y_{\max j}|$; ρ 为分辨系数,一般为 [0, 1]。则样本 i 与最优方案的灰色关联度为:

$$R_i^+=\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_{ij}^+ \quad i=1,2,\dots,m \quad (10)$$

同样,样本 i 与最劣方案关于指标 j 的灰色关联系数 R_i^- 也采用式(9)——(10)计算。

步骤 7:计算样本到最优、最劣方案的相对贴近度。

首先对求得的欧氏距离 D_i^+ 、 D_i^- 和灰色关联度

R_i^+ 、 R_i^- 分别除以对应最大值,完成无量纲化处理,得到 d_i^+ 、 d_i^- 和 r_i^+ 、 r_i^- ,按照式(11)计算:

$$C_i = \varphi_i^+ / (\varphi_i^+ + \varphi_i^-) \quad i=1,2,\cdots,m \quad (11)$$

其中, $\varphi_i^+ = \beta_1 d_i^- + \beta_2 r_i^+$; $\varphi_i^- = \beta_1 d_i^+ + \beta_2 r_i^-$, φ_i^+ 、 φ_i^- 分别代表样本与最优和最劣方案的贴近程度; β_1 、 β_2 分别代表评定者对位置和形状的偏好程度,且 $\beta_1 + \beta_2 = 1$ 。相对贴近度 C_i 反映了待评样本与最优、最劣方案在态势变化上的接近程度。

步骤 8:样本优劣排序。根据计算的相对贴近度 C_i 的大小对样本进行排序。 C_i 越大,待评样本越贴近最优方案,样本越优;反之样本越劣。

表 1 数据处理结果

指标年份	水土保持林 面积	水土保持种 草面积	经济果林 面积	封山育林 面积	梯田面积	坝地面积	治理面积
2001	0.3188	0.3319	0.3092	0.2780	0.3458	0.3055	0.3183
2002	0.3216	0.3110	0.3166	0.2734	0.3400	0.3257	0.3168
2003	0.3239	0.3169	0.3145	0.2798	0.3091	0.3257	0.3173
2004	0.3293	0.3243	0.3229	0.2981	0.3262	0.3290	0.3245
2005	0.3354	0.3320	0.3335	0.3240	0.3291	0.3424	0.3333
2006	0.3391	0.3378	0.3454	0.3431	0.3356	0.3424	0.3396
2007	0.3421	0.3424	0.3528	0.3597	0.3368	0.3424	0.3445
2008	0.3429	0.3498	0.3498	0.3901	0.3359	0.3424	0.3485
2009	0.3457	0.3516	0.3517	0.4203	0.3401	0.3424	0.3547
指标权重 w_j	0.0262	0.0503	0.0792	0.7174	0.0298	0.0428	0.0543

按照上述步骤对照公式(6)一(10)分别计算各样本到最优、最劣方案的欧氏距离和灰色关联度:

$$D_i^+ = (0.1022, 0.1055, 0.1009, 0.0877, 0.0691, 0.0554, 0.0435, 0.0217, 0.0002)$$

$$D_i^- = (0.0036, 0.1014, 0.0047, 0.0178, 0.0364, 0.0501, 0.0621, 0.0838, 0.1055)$$

$$R_i^+ = (0.8831, 0.8821, 0.8861, 0.8921, 0.9700, 0.9198, 0.9314, 0.9551, 0.9995)$$

$$R_i^- = (0.9855, 0.9939, 0.9842, 0.9537, 0.9245, 0.9084, 0.8981, 0.8865, 0.8768)$$

对欧氏距离、灰色关联度进行无量纲化处理,在此取 $\beta_1 = \beta_2 = 0.5$,可得样本与最优和最劣方案的贴近程度:

$$\varphi_i^+ = (0.459, 0.448, 0.463, 0.531, 0.626, 0.698, 0.760, 0.875, 1.000)$$

$$\varphi_i^- = (0.980, 1.000, 0.973, 0.895, 0.793, 0.720, 0.658, 0.549, 0.442)$$

利用式(11)计算各样本到最优、最劣方案的相对贴近度为:

$$C_i = (0.319, 0.309, 0.322, 0.372, 0.441, 0.492, 0.536, 0.615, 0.693)$$

由相对贴近度计算结果,绘制秦岭生态功能区

2 结果与分析

本研究根据陕西省水土保持统计资料汇编,选取秦岭生态功能区 2001—2009 年水土保持治理的动态变化进行分析,建立了该区域水土保持治理的效益评价体系,该评价指标包括水土保持种草面积、水土保持林面积、封山育林面积、经济果林面积、坝地面积、梯田面积,指标选取充分体现了水土保持特征。利用式(2)对 2001—2009 年水土保持治理样本、指标数据进行归一化,并按照式(4)求得各指标权重、归一化结果详见表 1。

2001—2009 年水土保持治理效益评价结果(图 1)。由图 1 可以看出,2001—2003 年水土保持治理效益相对较差,2002 年最差;这是由于秦岭实施生态环境保护措施初期,各项措施尚未完善,加之植被、工程措施发挥作用相对滞后,水土流失还未得到有效控制。

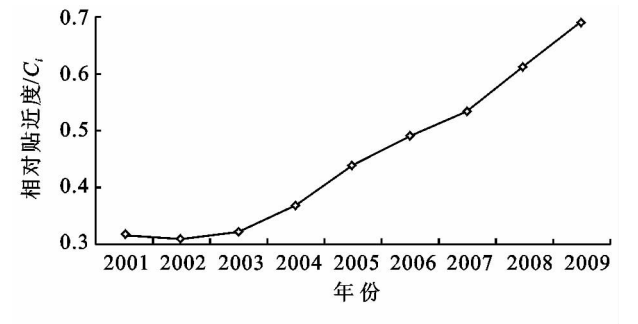


图 1 水土保持效益评价变化

从 2004 年开始,水体保持治理效益逐年增长,至 2009 年,水土保持治理效益已经大幅度提升,与 2002 年相比,治理效益增长了 1.24 倍,生态环境明显改善,表明秦岭生态功能区各项水保措施已经发挥作用,生态效益越来越好,生态环境逐步向良性发展,有利于秦岭生态环境及其各项功能的改善。

为了进一步验证方法的准确性和可靠性,本研究采用灰色聚类方法^[7,8,15]继续对秦岭生态功能区

2001—2009 年水土保持治理的动态变化进行评判,灰色聚类以灰色系统理论为支撑,在诸多领域中得到了应用^[7,8,15]。灰色聚类法分析结果表明,2001—2009 年的评价分值分别为:39.92,39.90,36.42,42.75,58.65,70.98,75.62,78.77,80.65。通过对两种方法的线性回归分析比较可知,灰色聚类法和灰色关联度的 TOPSIS 法所得到的评价分值的直线拟合方程为 $y=66.74x+19.21$ (y 代表灰色聚类分值, x 代表灰色关联度的 TOPSIS 分值),其拟合程度很高,相关系数 R^2 达到 97%,说明基于灰色关联度的 TOPSIS 方法具有一定的准确性和可靠性,可以采用此类评价方法对综合条件下的区域水土保持效益进行综合评判。

3 结论

本研究运用灰色关联思想,针对样本数据本身,结合熵值法确定各指标权重值,在此基础上提出基于灰色关联度的 TOPSIS 法,并给出具体算法,同时采用灰色聚类方法加以验证。通过多年样本算例分析验证了该法的有效合理性,灰色关联与 TOPSIS 法相结合,为改进传统的 TOPSIS 评价法,提高 TOPSIS 法进行评价、决策的科学性和准确性是一种有益的探索。

针对秦岭生态功能区 10 a 间水土流失以及治理资料,对该区水土保持治理效益进行了定量评价,揭示了该地区水土保持治理效益动态变化情况。由于秦岭实施生态环境保护措施初期,各项措施尚未完善,加之植被、工程措施发挥作用相对滞后,水土流失还未得到有效控制,2001—2003 年水土保持治理效益相对较差,2002 年最差。从 2004 年开始,水体保持治理效益逐年增长,至 2009 年,水土保持治理效益已经大幅度提升,与 2002 年相比,治理效益增长了 1.24 倍,生态环境明显改善,表明秦岭生态功能区各项水保措施已经发挥作用,生态效益越来越好,逐步向良性发展,有利于秦岭生态功能的改善。该评价方法体系的提出为区域水土保持措施有效开展提供新的思路,也为政府决策与综合管理、宏观调控提供科学的理论依据。

参考文献:

[1] 朱明润,乔明叶,梁士奎,等.改进的 TOPSIS 模型在污

水灌溉安全性评价中的应用[J].长江科学院院报,2010,27(8):25-28.

- [2] 方崇,苏超,黄伟军.基于信息熵大型灌区农业旱情的 TOPSIS 综合评价[J].中国农村水利水电,2011(5):74-76,79.
- [3] 李茂娟,李天奇,王欢,等.基于模糊综合评判的长春市生态系统健康评价[J].水土保持研究,2013,20(1):254-259.
- [4] Jahanshahloo G R, Hosseinzadeh Lotfi F, Izadikhah M. Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data[J]. Applied Mathematics and Computation,2006,181(2):1544-1551.
- [5] Opricovic S, Tzeng G H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS [J]. European Journal of Operational Research,2004,156(2):445-455.
- [6] 张霞,刘晓清,王亚萍,等.秦岭生态功能区水土保持治理效益评价[J].水土保持研究,2012,19(2):86-90.
- [7] 刘思峰,谢乃明.灰色系统理论及其应用[M].4版.北京:科学出版社,2008.
- [8] 邓聚龙.灰预测与灰决策[M].修订版.武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [9] Lin Y, Liu S F. A systemic analysis with data(II)[J]. International Journal of General Systems(UK),2000,29(6):1001-1013.
- [10] 刘斌,刘思峰,翟振杰,等. GM(1,1)模型时间响应函数的最优化[J].中国管理科学,2003,11(4):54-57.
- [11] Kuo Y, Yang T, Huang G W. The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision making problems [J]. Computers & Industrial Engineering,2008,55(1):80-93.
- [12] Wang T C, Lee H D. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights[J]//Expert Systems with Applications,2009,36(5):8980-8985.
- [13] 张德成,殷鸣放,魏进华.用灰色关联度法评价森林涵养水源生态效益[J].水土保持研究,2007,14(4):96-99,104.
- [14] 张先起,梁川,刘慧卿.基于熵权的改进 TOPSIS 法在水质评价中的应用[J].哈尔滨工业大学学报,2007,39(10):1670-1672.
- [15] 王才军,游泳,左太安,等.基于熵权灰色关联法的岩溶石漠化区土地质量评价[J].水土保持研究,2011,18(4):218-222.