

模糊物元模型在土壤侵蚀等级划分中的应用

付静, 刘国东, 张贞, 陈彩明, 徐尧

(四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065)

摘要: 土壤侵蚀等级的确定是水土保持工作中的重要问题。参照土壤侵蚀强度分级拟定标准进行等级划分时, 由于其标准是界限明显的量化标准, 指标的选择, 权重及侵蚀程度、范围等都具有模糊性。在物元分析方法中引入模糊数学中的隶属度概念, 建立模糊物元模型来确定土壤侵蚀强度等级更具合理性。通过实例分析, 并与模糊综合评判方法和实际调查结果进行对比, 表明此模型是合理、可行的。

关键词: 土壤侵蚀分级分类; 分级标准; 模糊物元

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0138-03

中图分类号: S157.1

Application of Fuzzy Matter Element Modeling to Classification of Soil Erosion

FU Jing, LIU Guo-dong, ZHANG Zhen, CHEN Cai-ming, XU Rao

(College of Hydraulic Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China)

Abstract: Classification of soil erosion is an important topic in soil and water conservation. Since the classification standards, such as obvious demarcation lines, choice of factors, determination of weights, and the degree and range of soil erosion, are fuzzy, classification of soil erosion evaluation model is made by matter element analysis based on the subject function of fuzzy. Moreover, the specific application of the model is introduced in contrasting with fuzzy comprehensive evaluation model and actual examples. Results show that the model is rational and feasible.

Keywords: classification of soil erosion; classification criterion; fuzzy matter element

土壤侵蚀强度等级划分, 是说明土壤侵蚀严重程度和水土保持规划设计时不可缺少的资料, 也是土壤侵蚀理论研究的重要内容。侵蚀强度划分方法多通过调查、选取地面特征指标以人为划分为主。目前也逐渐形成了以严密的数学运算为基础的划分方法, 而一部分地区收集调查不到土壤侵蚀强度和侵蚀速率资料, 给土壤侵蚀分级带来了困难。物元分析理论常用于研究不相容的问题, 适用于多指标评价问题,

本文将利用模糊物元的理念为土壤侵蚀强度等级划分提供一条可行的新途径。

1 土壤侵蚀等级划分标准

为建立综合评判模型, 首先根据中华人民共和国水利部发布的《土壤侵蚀分类分级标准 (SL190—96)》及有关资料确定土壤侵蚀强度的分级评价基准 (表 1)。

表 1 土壤侵蚀强度分级评价基准^[1-3]

评价指标	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
植被覆盖率/ %	70 ~ 90	50 ~ 70	30 ~ 50	10 ~ 30	< 10
地面坡度/ (°)	3 ~ 5	5 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 25	> 25
沟谷占坡面面积比/ %	< 10	10 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 50	> 50
沟谷密度/ (km ² ·km ⁻²)	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	> 7
崩塌面积占坡面面积比/ %	< 10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	> 30

2 土壤侵蚀强度分级综合评判模型

土壤侵蚀强度等级综合评判模型是以模糊物元

分析原理为基础, 结合土壤侵蚀强度评价的特点提出的。进行评价时, 分别把实验观测处的地面特征指标和土壤侵蚀强度的分级评价基准作为物元事物, 以它

收稿日期: 2007-11-16

修回日期: 2008-01-22

作者简介: 付静 (1983—), 女 (汉族), 河南省濮阳市人, 硕士研究生, 研究方向为水资源开发利用与保护。E-mail: a-cookie@163.com。

们的各项评价指标及其相应的模糊量值构造复合模糊物元,引入熵值法确定权重系数,通过计算与理想模糊物元之间的欧式贴近度,实现土壤侵蚀强度等级的划分。

2.1 模糊物元模型

(1) 模糊物元和复合模糊物元。对于事物 M ,其特征 c 的量值为 v ,以有序三元组 $R = (M, c, v)$ 作为描述事物的基本元,简称物元,若其中量值具有模糊性,便称为模糊物元。如果事物 M 有 n 个特征 (c_1, c_2, \dots, c_n) 和相应的模糊量值 (v_1, v_2, \dots, v_n) ,称 R 为 n 维模糊物元,简记为 $R(M, c, v)$ 。如果 m 个事物的 n 维物元组合在一起,便构成 m 个事物 n 维复合物元,记作 R_{mn} 。若将 R_{mn} 的量值改为模糊物元量值,则称为 m 个事物 n 维复合模糊物元,记作 \tilde{R}_{mn} 。即有

$$R_{mn} = \begin{pmatrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ M_1 & v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ M_2 & v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{pmatrix}$$

$$\tilde{R}_{mn} = \begin{pmatrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ M_1 & u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ M_2 & u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: R_{mn} —— m 个事物 n 维复合物元; \tilde{R}_{mn} —— m 个事物 n 维复合模糊物元; M_i ——第 i 个事物; c_i ——第 j 项特征; v_{ij} ——第 i 个事物第 j 项特征对应的量值; u_{ij} ——第 i 个事物第 j 项特征对应的模糊量值,即隶属度。 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

(2) 从优隶属度。各单项指标相应的模糊值从属于标准方案各对应评价指标相应的模糊量值隶属程度,称为从优隶属度,由此建立的原则称为从优隶属度原则。一般有 2 种类型的指标,其从优隶属度计算公式如下。

对于效益型指标

$$u_{ij} = \frac{v_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}} \quad (2)$$

对于成本型指标

$$u_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} - v_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}} \quad (3)$$

式中: v_{ij}, u_{ij} 符号意义同前; $\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij}$ ——各事物中第 i 项特征所对应的所有量值中的最大值; $\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij}$ 为各事物中第 j 项特征所对应的所有量值中的最小值。

(3) 标准模糊物元与差平方复合模糊物元。标

准模糊物元 R_o 是指从优隶属度模糊物元中各评价指标的从优隶属度的最大值或最小值。若以 $_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 表示标准模糊物元 R_o 与复合模糊物元 R_{mn} 各项差的平方,则组成差平方复合模糊物元 R 。即

$$R = \begin{pmatrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ M_1 & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ M_2 & r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_m & r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: $r_{ij} = (u_0 - u_{ij})^2; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

2.2 熵值法确定权重系数

确定评价指标的权重是评价的主要内容,也是模糊物元评判的关键。目前,权重的确定方法大致可分为两种:一种是主观赋权法;另一种是客观赋权法。大多客观赋权法是从指标间的重复信息量出发赋权的,或是消除重复信息后赋权,或是直接根据重复信息赋权。熵值法与其它赋权法的根本区别是根据指标的变异信息量确定权数;且其计算过程相对简单。

(1) 构建 m 个事物 n 个评价指标的判断矩阵 $R = (x_{ij})_{mn}; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。

(2) 将判断矩阵归一化,得到归一化判断矩阵 B :

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

式中: x_{\max}, x_{\min} ——分别为同指标下不同事物中最满意者和最不满意者(越小越满意或越大越满意)。

(3) 评价指标的熵为

$$H_j = - \frac{1}{\ln m} \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) \quad (6)$$

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 + b_{ij})} \quad (7)$$

(4) 计算评价指标的熵权 W

$$W_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}$$

$$W = (w_j)_{1 \times n}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (8)$$

2.3 欧式贴近度和综合评价

贴近度是指被评价方案与最优方案两者互相接近的程度,其值越大表示方案离最优方案越接近,反之则相离较远。本文采用欧式贴近度 R_H 来运算,构建贴近度模糊物元 R_H :

$$R_H = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ H_i & H_1 & H_2 & \dots & H_m \end{pmatrix}$$

式中: $H_i = 1 - \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n u_{ij}}$ ($i = 1, 2, \dots, m$) (9)

3 综合评判模型应用举例

3.1 建立评价模型

(1) 模糊物元模型的建立。实例评价地点选自四川省拟建的西昌 500 kV 输变电工程沿线,文中将以 1# 代表河西乡,2# 代表 S212 边坡,3# 代表飞播林区,4# 代表解放沟。4 处建设开发区指标值和分级标准值的数据采用式(1)得到复合物元 R_{mn} , 其中的分

级标准值是采用各区间的中间值或边界值;根据式(1),(2)构建从优隶属度复合模糊物元 \tilde{R}_{mn} 。 u_1 是效益型指标, u_2, u_3, u_4 是成本型指标。

根据标准模糊物元(本文以最大值,即各指标从优隶属度均为 1 作为最优)和 \tilde{R}_{mn} ,采用式(4)构建差平方复合模糊物元 R 。

(2) 用熵值法确定权重。根据式(5) —(8)构造各评价指标权重复合物元 R

$$R = \begin{pmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 \\ j & 0.2575 & 0.1963 & 0.1920 & 0.1750 & 0.1792 \end{pmatrix}$$

(3) 计算贴进度。由式(9)可以得到各地区的贴进度 R_H 。

$$R_{mn} = \begin{pmatrix} 1\# & 2\# & 3\# & 4\# & \text{轻度} & \text{中度} & \text{强度} & \text{极强度} & \text{剧烈} \\ u_1 & 60 & 25 & 72 & 20 & 80 & 60 & 40 & 20 & 10 \\ u_2 & 10 & 28 & 5 & 5 & 4 & 9 & 2 & 20 & 25 \\ u_3 & 8 & 35 & 6 & 10 & 10 & 8 & 30 & 3 & 50 \\ u_4 & 2 & 5 & 1 & 2 & 1.5 & 3 & 4 & 6 & 7 \\ u_5 & 12 & 25 & 5 & 17 & 10 & 3 & 8 & 25 & 30 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{R}_{mn} = \begin{pmatrix} 1\# & 2\# & 3\# & 4\# & \text{轻度} & \text{中度} & \text{强度} & \text{极强度} & \text{剧烈} \\ u_1 & 0.7143 & 0.2143 & 0.8857 & 0.1429 & 1 & 0.7143 & 0.4286 & 0.1429 & 0 \\ u_2 & 0.7500 & 0 & 0.9583 & 0.9583 & 1 & 0.8358 & 0.6875 & 0.3333 & 0.1250 \\ u_3 & 0.9545 & 0.3409 & 1 & 0.9091 & 0.9091 & 0.7386 & 0.4545 & 0.1705 & 0 \\ u_4 & 0.8333 & 0.3333 & 1 & 0.8333 & 0.9167 & 0.7500 & 0.5000 & 0.1667 & 0 \\ u_5 & 0.7200 & 0.2000 & 1 & 0.5200 & 0.8000 & 0.7000 & 0.5000 & 0.2000 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} 1\# & 2\# & 3\# & 4\# & \text{轻度} & \text{中度} & \text{强度} & \text{极强度} & \text{剧烈} \\ u_1 & 0.0816 & 0.6173 & 0.0131 & 0.7347 & 0 & 0.0816 & 0.3265 & 0.7347 & 1 \\ u_2 & 0.0625 & 1 & 0.0017 & 0.0017 & 0 & 0.0109 & 0.0977 & 0.4444 & 0.7656 \\ u_3 & 0.0024 & 0.4344 & 0 & 0.0083 & 0.0083 & 0.0683 & 0.2975 & 0.6881 & 1 \\ u_4 & 0.0278 & 0.4444 & 0 & 0.0278 & 0.0069 & 0.0625 & 0.2500 & 0.6944 & 1 \\ u_5 & 0.0784 & 0.6400 & 0 & 0.2304 & 0.0400 & 0.0900 & 0.2500 & 0.6400 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_H = \begin{pmatrix} 1\# & 2\# & 3\# & 4\# & \text{轻度} & \text{中度} & \text{强度} & \text{极强度} & \text{剧烈} \\ H_i & 0.7707 & 0.2056 & 0.9391 & 0.5129 & 0.9001 & 0.7483 & 0.5011 & 0.1970 & 0.0233 \end{pmatrix}$$

3.2 成果分析

根据计算得出的贴进度从大到小排序,得出各地区土壤侵蚀强度由轻至重依次为:3#,1#,4#,2#。再通过与土壤侵蚀分级标准的贴进度比较可知,1# 属于中度,2# 属于极强度,3# 属于轻度,4# 属于强度,上述结果与采用模糊综合评判法的计算结果和实际调查结果基本一致(表 2)。结果表明,模糊物元模型应用在土壤侵蚀等级划分中是合理可行的,且计算简便实用。

(1) 对于任意一块土壤侵蚀区,只需掌握与反映侵蚀特征的有关资料,就可利用模型来判定其土壤侵蚀强度等级,且计算简单、方便,结果合理。

表 2 评价结果对比

方法	1#	2#	3#	4#
模糊物元模型	中度	极强度	轻度	强度
模糊综合评判模型	中度	极强度	轻度	强度
实际调查结果	中度	极强度	轻度	强度

(2) 对于任何一个开发建设项目,项目实施过程中,特别是土壤开挖、回填时,肯定会发生水土流失,为了采取相应的对策和措施,在项目规划初步设计阶段,就必须对其可能引发的水土流失情况进行预测。利用该模型可对土壤侵蚀强度进行预测。

(下转第 192 页)

3 水土流失治理中存在的主要问题

潮河流域经济状况落后,社会生产力低下,经济发展水平较低,丰宁县和滦平县目前仍是国家级贫困县,是典型的农业县。由于大部分乡镇生产条件差,经济基础薄弱,科技落后,投入不足,生态、环境的恶化程度尚未得到有效控制,水土流失治理方面尚存在一些问题。

3.1 治理任务重,投入不足

潮河流域沟壑纵横、地表破碎,山体坡度多在 $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间,坡度在 15° 以上的土地面积占总面积的67.75%,沟壑密度大,约为 $1.51\text{ km}/\text{km}^2$,治理难度较大。造林成活率虽可达80%以上,但保存率低,仅为40%,重复造林,补植费用高。修筑梯田、谷坊等工程措施需耗费大量人力、物力和财力。

自1980年代以来,虽然在该流域实施了一系列水土保持重点建设项目,但都不能善始善终,大多投资中断,半途夭折。1989年开始的潮河上游水土保持重点防治项目只实施了3~5 a,完成了1/3投资计划,便中断了投资。“21世纪首水项目”中25个水保项目,总投资6.95亿元,设计治理水土流失面积 $2\,094\text{ km}^2$,规划实施期为2001—2005年,到2005年底只实施了7个项目16249万元,完成治理面积 318 km^2 ,又已搁浅。同时在项目规划设计、项目投资补助标准方面也存在严重不足。所有水保项目都是限额设计,且标准很低。在1989年密云水库上游重点治理项目中,每 1 km^2 投资1.1~1.2万元左右,主要靠农民投工投劳。在市场经济和国家取消两工的新形势下,虽然新的水保项目每平方公里投资标准提高到20~30万元,但标准仍然很低。如果能达到水土保持技术规范的设计标准,每平方公里投资至少需要60~120万元^[10]。水保项目不稳定,补助费用低,投

入不足,限额设计,势必影响小流域综合治理功能和效益。

3.2 水土保持科学研究滞后

区域水土保持的开展,需要科学评价以往水土保持各项措施的实施效果,为明确不同时期水土保持的发展战略、合理配置各项治理措施奠定基础。由于科学试验研究资金不足,科研设备缺乏等限制因素的影响,使得流域内水土流失动态监测未能开展,水土流失治理成果的动态跟踪未能到位。

[参 考 文 献]

- [1] Greenland D J, Lal R. Soil Conservation and Management in the Humid Tropics [M]. Great Britain: William Clowes and Sons Press, 1977.
- [2] 王礼先,孙保平,余新晓. 中国水利百科全书·水土保持分册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:28.
- [3] 刘震. 中国水土保持生态建设模式[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 封志明,刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报,2006,21(5):689—699.
- [5] 宋秀清. 论京津与承德滦、潮河流域生态与水资源补偿机制的建立(上)[J]. 河北水利,2006(5):8—9.
- [6] 宋秀清. 论京津与承德滦、潮河流域生态与水资源补偿机制的建立(下)[J]. 河北水利,2006(6):10—11.
- [7] 丰宁满族自治县水利水保局. 丰宁水利志[M]. 北京:团结出版社,1995.
- [8] 滦平县水利志编委会. 滦平县水利志[M]. 滦平:滦平县水利局,1993.
- [9] 密云水库上游水土资源保护领导小组办公室,水利部海河水利委员会. 潮白河密云水库上游水土保持规划(1989—2000年)[R]. 天津:水利部海河水利委员会,1989.
- [10] 屈志成,刘海平,李兆春,等. 京津水源地生态与水资源补偿问题[J]. 中国水利,2006(22):39—41.

(上接第140页)

(3) 本文模型在对各个评价指标权重的确定中引入熵值理论,虽然可能有效地减少主观性,但笔者认为在权重的确定过程中不应完全忽视人的主观能动性(特别是专家的意见),仅靠单纯的数学模型来确定权重意义不大。因此,该模型还有待进一步的研究和完善,可以通过建立完善的专家决策系统,结合其它数学模型来确定。

[参 考 文 献]

- [1] 希有. 水土保持原理与规划[M]. 内蒙古:内蒙古大学出版社,1992.
- [2] 张斌. 模糊物元分析[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [3] 中华人民共和国水利部 SL190—96. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [4] 姚水萍. 浙江省土壤侵蚀等级划分模糊综合评判模型的初步探讨[J]. 水土保持通报,2006,26(6):32—34.