

## 基于熵权的模糊物元模型在坡耕地水土保持耕作技术模式评价中的应用<sup>\*</sup>

魏永霞<sup>1</sup>, 宋族鑫<sup>1</sup>, 严昌荣<sup>2</sup>, 阚宝珠<sup>1</sup>, 张文娥<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

**摘要:** 将熵值理论与模糊物元建模相结合, 应用于水土保持耕作模式评价中, 建立了基于熵权的模糊物元模型。引用信息熵所反映数据本身的效用值来计算指标的权重系数, 有效地避免了权重分配困难的问题和主观确定权重的人为干扰。该模型以一种新的方法进行水土保持耕作模式评价, 能避免单个指标值进行比较而出现的偏离, 并结合实例进行应用, 体现了该模型的合理、简便和实用。

**关键词:** 熵权; 模糊物元; 坡耕地; 水土保持技术; 模式评价

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0194-03

## Application of Fuzzy Matter-Element Model Based on Entropy-Weight in Comprehensive Evaluation of Sloping Farmland Soil and Water Conservation Tillage Technology Models

WEI Yong-xia<sup>1</sup>, SONG Zu-xin<sup>1</sup>, YAN Chang-rong<sup>2</sup>, KAN Bao-zhu<sup>1</sup>, ZHANG Wen-e<sup>1</sup>

(1. Water and Civil Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Institute of Environment and Sustainable Development on Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The method which combine the entropy value theory with fuzzy matter-element modeling was applied in soil and water conservation tillage technology model evaluation, and an entropy fuzzy matter-element model was established. It can avoid the problem of weight allocation effectively that using the utility value which reflected the date themselves by information entropy. The new way evaluating the sloping farmland soil and water conservation technologies can avoid the deviation resulted from the comparison between the single indexes. It was indicated that the method is reasonable and useful through an example analysis.

**Key words:** entropy-weight; fuzzy matter-element; sloping farmland; soil and water conservation technology; model evaluation

随着水土保持科学的发展和国家对国土整治、环境保护工作的重视, 水土保持生态效益的计算与评价工作显得十分重要。为了科学地分析和评价水土保持项目实施后给区域生态环境带来的影响, 为国家相关部门决策提供科学依据, 本文着重对水土保持耕作模式的评价进行研究。对水土保持耕作模式的评价是水土保持的一项重要工作。本文采用基于熵权的模糊物元模型进行评价, 物元分析理论常用于研究不相容的问题<sup>[1]</sup>, 适用于多指标评价问题, 它试图把人们解决问题的过程形式化, 从而建立起相应的物元模型。本文提出利用物元分析的理念, 并结合模糊集的概念, 将熵值法引入到权重的计算中, 就能够较全面、客观地做出评价, 从而为水土保持耕作模式评价提供一条可行的新途径。

### 1 模糊物元模型

#### 1.1 模糊物元及复合模糊物元<sup>[2-3]</sup>

在物元分析中所描述的事物  $M$  及其特征  $C$  和量值  $x$  组成物元  $R = (M, C, x)$  或  $R = [M, C, C(M)]$ , 同时把事物的名

称、特征和量值称为物元三要素。如果物元模型中的量值  $x$  具有模糊性, 便称其为模糊物元。事物  $M$  有  $n$  个特征  $C_1, C_2, \dots, C_n$  及其相应的量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 则称  $R$  为  $n$  维模糊物元。 $m$  个事物的  $n$  维物元组合在一起便构成  $m$  个事物的  $n$  维复合模糊物元  $R_{mn}$ , 即:

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{m1} \\ C_2 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $R_{mn}$  ——  $m$  个事物的  $n$  个模糊特征的复合物元;  $M_i$  —— 第  $i$  个事物 ( $i = 1, 2, \dots, m$ );  $C_j$  —— 第  $j$  个特征 ( $j = 1, 2, \dots, n$ );  $x_{ij}$  —— 第  $i$  个事物第  $j$  个特征对应的模糊量值。

#### 1.2 计算从优隶属度<sup>[4]</sup>

各单项评价指标相应的模糊量值, 从属于标准样本各对

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-04-11

基金项目: 本研究由国家科技支撑计划项目(2006BAD29B01, 2007BAD88B01); 黑龙江省重点科技攻关项目(GB06B106-3); 东北农业大学科技创新团队项目(CXT003-2-3)的资助

作者简介: 魏永霞(1961-), 女, 黑龙江省海伦县人, 教授, 从事水土保持理论与技术、农业节水与水资源可持续利用研究。E-mail: wuyx0915@163.com

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原则,可采用下式计算:

对于越大越优的指标:

$$u_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \tag{2}$$

对于越小越优的指标:

$$u_{ij} = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \tag{3}$$

式中:  $u_{ij}$  ——从优隶属度;  $x_{jmax}$  和  $x_{jmin}$  ——各方案中每一评价指标中的最大值和最小值。由此可构建从优隶属度模糊物元,即:

$$\bar{R}_{mn} = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1m} \\ C_2 & u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nm} \end{bmatrix} \tag{4}$$

1.3 建立标准模糊物元和差平方模糊物元

标准模糊物元  $R_{0n}$ 是由从优隶属度模糊物元  $R_{mn}$ 中各评价指标的从优隶属度的最大值或最小值加以确定。若以  $ij = (u_{0j} - u_{ij})^2 (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  表示标准模糊物元  $R_{0n}$ 与复合模糊物元  $R_{mn}$ 中对应各项差的平方,则组成差平方复合模糊物元  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & i_{11} & i_{12} & \dots & i_{1m} \\ C_2 & i_{21} & i_{22} & \dots & i_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & i_{n1} & i_{n2} & \dots & i_{nm} \end{bmatrix} \tag{5}$$

2 熵值法确定权重系数<sup>[5-7]</sup>

在确定评价指标的权重时,往往多采用主观确定权重的方法,如专家打分、AHP方法等。这样就会造成评价结果可能由于人的主观因素而形成偏差。在信息论中,熵值反映了信息无序化程度,其值越小,系统无序度越小,故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用,即由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重,它能尽量消除各指标权重计算的人为干扰,使评价结果更符合实际。其计算步骤如下:

- (1) 构建  $m$  个事物  $n$  个评价指标的判断矩阵  $R = (x_{ij})_{mn} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。
- (2) 将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵  $B$

$$b_{(i,j)} = \frac{x_{(i,j)} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{6}$$

式中:  $x_{max}, x_{min}$  ——同指标下不同事物中最满意者或最不满意者(越小越满意或越大越满意)。

(3) 根据熵的定义,  $m$  个评价事物  $n$  个评价指标,可以确定评价指标的熵为

$$H_i = - \frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \tag{7}$$

$$f_{ij} = b_{ij} / \sum_{j=1}^m b_{ij}$$

为使  $\ln f_{ij}$  有意义,当  $f_{ij} = 0$  时,根据水土保持耕作模式评价的实际意义,可以理解  $\ln f_{ij}$  为一较大的数值,与  $f_{ij}$  相乘趋于 0,故可认为  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。但当  $f_{ij} = 1, f_{ij} \ln f_{ij}$  也等于 0,这显然与熵所反映的信息无序化程度相悖,不切合实际,故需对  $f_{ij}$  加以修正,将其定义为

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1 + b_{ij})} \tag{8}$$

(4) 计算评价指标的熵权  $W$

$$W = (w_i)_{1 \times n} \tag{9}$$

$$w_i = \frac{1 - H_i}{\sum_{i=1}^n H_i}, \text{且满足 } \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

3 基于熵权的模糊物元模型综合评价

在确定了差平方复合模糊物元  $R$  和权重集  $W$  之后,水土保持耕作模式模糊评价集由下式确定:  $C = W \cdot R = [c_1, c_2, c_3, \dots, c_m]$ ,根据最大隶属度原则进行排序,最终得出评价结果。

4 实例应用

以黑龙江省甘南县东兴村试验区水土保持耕作模式数据为例,应用上述方法进行评价。该试验区供试作物为大豆,品种选用当地主栽品种合丰 35。共有 6 种水土保持耕作模式,以常规耕作作为对照。每一种耕作模式有:  $C_1$  年土壤侵蚀量(g)、 $C_2$  年径流量(mm)、 $C_3$  全生育期净光合速率总量[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]、 $C_4$  全生育期蒸腾速率总量[ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]、 $C_5$  全生育干物质积累总量(g)、 $C_6$  产量(kg) 6 项评价指标,各指标实测数据见表 1。

4.1 建立评价模型

(1) 构建复合模糊物元。根据表 1 数据,对 7 种耕作措施建立 7 处理 6 个指标的复合模糊物元。

表 1 不同耕作模式的评价指标

指标	处 理						
	MQ	SQ	LQ	ZML	ZL	ML	CK
$C_1$	0	2631.31	1159.22	3.925	17.06	17.02	4646.07
$C_2$	0	1.54	0.62	0.058	0.24	0.26	2.94
$C_3$	44.64	40.49	46.62	58.75	46.37	52.99	31.34
$C_4$	24.13	26.47	24.08	28.50	26.92	22.1	26.7
$C_5$	123.54	108.35	110.36	191.09	139	138.23	81.16
$C_6$	983.34	837.84	947.99	1168.65	1015.22	1028.74	794.71

注:MQ——免耕秸秆覆盖;SQ——少耕;LQ——垄向区田;ZML——振动深松+行间覆膜+垄向区田;ZL——振动深松+垄向区田;ML——行间覆膜+垄向区田;CK——常规耕作。

(2) 根据式(2), (3), 构建从优隶属度模糊物元  $\bar{R}_{mn}$

		$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$
$\bar{R}_{mn} =$	$C_1$	1	0.4336	0.7505	0.9992	0.9963	0.9963	0
	$C_2$	1	0.4762	0.7891	0.9803	0.9184	0.9116	0
	$C_3$	0.4955	0.4494	0.5175	0.6521	0.5174	0.5882	0.3479
	$C_4$	0.4769	0.5231	0.4759	0.5632	0.5320	0.4386	0.5277
	$C_5$	0.4538	0.3980	0.4054	0.7019	0.5106	0.5077	0.2981
	$C_6$	0.5008	0.4267	0.4828	0.5952	0.5171	0.5240	0.4048

(3) 根据标准模糊物元和  $\bar{R}_{mn}$  构建差平方模糊复合物元  $\bar{R}$

		$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$
$\bar{R} =$	$C_1$	1	0.1880	0.5633	0.9984	0.9926	0.9926	0
	$C_2$	1	0.2268	0.6227	0.9670	0.8435	0.8310	0
	$C_3$	0.2245	0.2020	0.2678	0.4252	0.2649	0.3460	0.1210
	$C_4$	0.2274	0.2736	0.2265	0.3172	0.2830	0.1908	0.2785
	$C_5$	0.2059	0.1584	0.1643	0.4927	0.2607	0.2578	0.0889
	$C_6$	0.2508	0.1821	0.2331	0.3543	0.2674	0.2746	0.1639

(4) 用熵值法确定权重。根据式(5)构造归一化判断矩阵  $B$

$B =$	0	0.5664	0.2495	0.0008	0.0037	0.0037	1
	0	0.5238	0.2109	0.0197	0.0816	0.0884	1
	0.4852	0.3338	0.5575	1	0.5483	0.7899	0
	0.0712	0.1533	0.0695	1	0.1691	0	0.1614
	0.3855	0.2473	0.2656	1	0.5262	0.5191	0
	0.5044	0.1153	0.4099	1	0.5891	0.6239	0

由式(6)和式(7)计算可得熵  $H_i = (0.9820, 0.9834, 0.9902, 0.9849, 0.9897, 0.9879)^T$ ,  $i = (1, 2, \dots, 6)$  和  $W = (0.2198, 0.2027, 0.1196, 0.1844, 0.1258, 0.1477)^T$ ,  $i = (1, 2, \dots, 6)$ 。由公式  $C = W \cdot R = [c_1, c_2, c_3, \dots, c_m]$  可得  $C = (0.5567, 0.2088, 0.3789, 0.6391, 0.5454, 0.5362, 0.1013)$  将评价  $C$  值按从大到小排序, 即可得出 7 种水土保持耕作模式的优劣顺序:  $M_4 > M_1 > M_5 > M_6 > M_3 > M_2 > M_7$ 。

## 4.2 结果分析

根据计算得出  $C$  值按从大到小排序, 黑龙江省甘南县东兴村试验区水土保持耕作模式由优到劣依次为: ZML——振动深松 + 行间覆膜 + 垄向区田, MQ——免耕秸秆覆盖, ZL——振动深松 + 垄向区田, ML——行间覆膜 + 垄向区田, LQ——垄向区田, SQ——少耕, CK——常规耕作。

## 5 结论

应用基于熵权的模糊物元模型对水土保持耕作模式进行评价, 反映了实际情况。水土保持耕作的评价值均大于常规耕作的评价值, 表明基于熵权的模糊物元模型应用在水土保持耕作模式中的评价是可行的, 且计算简便实用。

将模糊物元理论应用于水土保持评价中, 建立了基于熵权的模糊物元水土保持评价模型, 丰富和改进了水土保持的

评价方法, 且计算简单、方便、结果合理。引入熵值理论, 从数据本身所反映的信息无序化效用值来计算权重系数, 可以有效地减少其计算的主观性。另外, 此方法还可应用于水质评价、项目决策、招投标和水资源利用程度综合评价等方面, 具有广泛的推广前景。

## 参考文献:

- [1] 蔡文. 物元模型及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [2] 张斌, 雍歧东, 肖芳淳. 模糊物元分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [3] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057-1061.
- [4] 张斌. 参数投影寻踪模型在坡耕地水土保持牧草优选中的应用[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 299-301.
- [5] 付强. 农业水土资源系统分析与综合评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 350-352.
- [6] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [7] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评价中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报, 2004, 36(1): 98-100.