

农业土壤环境综合评价物元模型的建立及其应用

门宝辉, 梁川

(四川大学 水电学院, 四川 成都 610065)

摘要: 将农业土壤的重金属污染的级别、评价指标及其特征值作为物元, 得到模型的经典域、节域、权系数及关联度, 进而建立了农业土壤环境综合模型, 通过应用实例加以说明, 并用 Hamming 贴近度法、Fuzzy 综合评判法、分级贴近度法进行对照, 取得较好的效果。

关键词: 农业土壤; 污染; 评价指标; 物元; 关联度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2002)04-0037-03

中图分类号: X53

Establishment and Application of Matter Element-based Agriculture Soil Environment Synthesize Evaluation Model

MEN Bao-hui, LIANG Chuan

(Hydroelectric College of Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan Province, China)

Abstract The heavy metal pollution grade of agriculture soil and the evaluating indexes and its eigenvalue are made as matter element, the sutra field, controlled field, weight coefficient and relating degree are obtained. Meanwhile, the model for evaluating agriculture soil environment is built up. The process is explained by an example, the result which is compared by Hamming pressing close to degree method, Fuzzy synthesize evaluation method and graded pressing close to degree method, is better.

Keywords agriculture soil; pollution; evaluating index; matter element; relating degree

1 前言

农业作为我国的国民经济基础产业之一, 在未来相当长的时间内, 还将发挥不可替代的作用。随着工业经济的发展, 作为农业生存之本——土壤的环境污染问题越来越受到诸多人士的关注。本文利用我国学者蔡文教授提出的物元分析理论, 建立了农业土壤环境综合评价的物元模型, 并通过实例说明其过程, 用 Hamming 贴近度法、Fuzzy 综合评判法、分级贴近度法进行对照, 取得了较好的效果。

2 物元模型的建立

物元分析是研究解决矛盾问题的规律和方法, 是系统科学、思维科学、数学交叉的边缘学科, 是贯穿自然科学和社会科学而应用较广的横断学科^[1]。它可将复杂问题抽象为形象化模型, 并应用这些模型研究基本理论, 提出相应应用方法。利用物元分析方法, 可建立事物多指标性能参数的质量评定模型, 并能以定量的数值表示评定结果, 从而能够较完整地反映事物质量的综合水平, 并易于用计算机进行编程处理。

2.1 基本模型

给定事物的名称 N , 它关于特征 C 的量值为 V , 以有序三元 $R = (N, C, V)$ 组作为描述事物的基本元, 简称物元^[2]。若事物有多个特征, 并以 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 来描述, 则可

$$\text{以表示为: } R(t) = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ c_r, & & a_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N(t), & c_1(t), & \langle a_1(t), b_1(t) \rangle \\ c_2(t), & \langle a_2(t), b_2(t) \rangle \\ \dots & \dots \\ c_n(t), & \langle a_n(t), b_n(t) \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

称 R 为 n 维物元

设有 m 评价等级 N_1, N_2, \dots, N_m , 建立相应物元

$$R = \begin{bmatrix} N_i, & c_1, & X_{i1} \\ c_2, & X_{i2} \\ \vdots & \vdots \\ c_n, & X_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i, & c_1, & \langle a_{i1}, b_{i1} \rangle \\ c_2, & \langle a_{i2}, b_{i2} \rangle \\ \vdots & \vdots \\ c_n, & \langle a_{in}, b_{in} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, m$

收稿日期: 2001-11-21

资助项目: 四川省学术和技术带头人培养基金 (2200118)

作者简介: 门宝辉 (1973-), 男 (汉族), 黑龙江省绥化县人, 在读博士研究生, 研究方向为井灌水稻防御冷水害、节水灌溉、水文水资源、水环境资源开发利用、保护以及水土资源环境评价等方面。电话 (028) 5403302, E-mail bhmen1973@sohu.com

其中, $X_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 是评价分级标准 $N_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 关于评价参数 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的量子域, 称为经典域。

对于经典域, 构造其节域: 建立物元, 取 $R_p \supset R_i$

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p, & c_1, & X_{p1} \\ & c_2, & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i, & c_1, & \langle a_{p1} - b_{p1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{p2} - b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & \langle a_{pn} - b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

称 $X_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 N_i 关于 $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的节域。显然有 $X_{ij} = X_{pi} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 对于要评价的对象 P , 已知其量监测结果为:

$$R_0 = \begin{bmatrix} P, & c_1, & x_1 \\ & c_2, & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & x_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 距的计算

$$\rho(x_j, X_{ij}) = |x_j - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij})| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij})$$

$$\rho(x_j, X_{ij}) = |x_j - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij})| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

2.3 关联函数

$$K_i(x_j) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_j, X_{ij})}{|X_{ij}|}, & x_j \in X_{ij} \\ \frac{\rho(x_j, X_{ij})}{\rho(x_j, X_{pi}) - \rho(x_j, X_{ij})}, & x_j \notin X_{ij} \end{cases} \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

2.4 权系数

对于评价等级 $N_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的门限值 $X_{ji} (j = 1, 2, \dots, n)$ 列于表 1, 其权系数为

$$a_{ij} = x_{ji} \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

表 1 权系数计算

x_{ij}	N_1	N_2	...	N_m
c_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
c_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots
c_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}
\sum	$\sum_{i=1}^n x_{i1}$	$\sum_{i=1}^n x_{i2}$...	$\sum_{i=1}^n x_{im}$

2.5 关联度及评定等级

关联函数 $K(x)$ 的数值表示评价单元符合某标准范围的隶属程度。当 $K(x) \geq 1.0$ 时, 表示被评价对象超过标准对象上限, 数值越大, 开发潜力越大; 当 $0 \leq K(x) \leq 1.0$ 时, 表示被评价对象符合标准对象要求的程度, 数值越大, 越接近标准上限; 当 $-1.0 \leq$

$K(x) \leq 0$ 时, 表示被评价对象不符合标准对象要求, 但具备转化为标准对象的条件, 数值越大, 越容易转化; 当 $K(x) \leq -1.0$ 时, 表示被评价对象不符合标准对象要求, 且又不具备转化为标准对象的条件。令

$K_j(P) = \sum_{i=1}^n a_{ij} K_j(x_i), (j = 1, 2, \dots, m)$, 称 $K_j(P)$ 为待评价对象 P 关于等级 j 的关联度。若 $K_{j_0} = \max\{K_j(P)\}, j \in \{1, 2, \dots, m\}$, 则评定 P 属于等级 j_0 。

3 应用实例

本文以某地区的农业土壤环境评价为例, 采用文献 [3] 中的数据, 说明物元模型理论在土壤环境综合评价中的应用过程。

3.1 评价参数与标准

选取对土壤影响较大的镉、汞、铅、铬、铜、锌等 6 种金属作为评价参数, 具体的监测数据见表 2, 其评价分级标准见表 3。

表 2 某地区土壤环境中重金属含量 mg/kg

测点	镉	汞	铅	铬	铜	锌
C_1	0.46	0.18	22.87	75.72	26.35	19.95
C_2	0.30	0.23	24.62	75.71	28.76	118.53
C_3	0.22	0.23	24.20	61.00	28.90	86.60
C_4	0.10	0.16	14.77	73.59	22.89	76.96
C_5	0.87	0.30	37.15	92.59	50.66	148.28
C_6	0.48	0.19	20.73	88.11	44.26	98.63
C_7	8.20	0.60	50.00	—	40.60	838.46
C_8	—	0.03	26.36	71.62	22.78	76.81
C_9	0.12	0.11	21.45	68.17	28.24	82.55
C_{10}	0.12	0.06	16.90	59.80	21.80	70.00

表 3 土壤金属污染程度分级标准 kg/mg

等级	镉	汞	铅	铬	铜	锌
I	0.1204	0.0920	23.35	74.88	28.37	83.68
II	0.2533	0.2592	36.09	99.54	40.63	116.75
III	0.6000	0.4500	150.00	150.00	120.00	240.00
IV	1.4000	1.0500	350.00	350.00	280.00	560.00
V	2.0000	1.5000	500.00	500.00	400.00	800.00

注: I 级指清洁; II 级指尚清洁; III 级指轻污染; IV 级指中污染; V 级指重污染。下表同。

3.2 土壤环境评价物元模型的建立

3.2.1 经典域及节域 根据表 3, 取 I—V 级土壤金属污染程度分级标准所对应取值范围作为经典域

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \text{I 级} & \text{镉} & \langle 0, 0.1204 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 0, 0.0920 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 0, 23.35 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 0, 74.88 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 0, 28.37 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 0, 83.68 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} \text{II 级} & \text{镉} & \langle 0.1204, 0.2533 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 0.0920, 0.2592 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 23.35, 36.39 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 74.88, 99.54 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 28.37, 40.63 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 83.68, 116.75 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \text{III 级} & \text{镉} & \langle 0.2533, 0.6 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 0.2592, 0.45 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 36.09, 1.50 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 99.54, 150 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 40.63, 120 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 116.75, 240 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{04} = \begin{bmatrix} \text{IV 级} & \text{镉} & \langle 0.60, 1.40 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 0.45, 1.05 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 150, 350 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 150, 350 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 120, 280 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 240, 560 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{05} = \begin{bmatrix} \text{V 级} & \text{镉} & \langle 1.40, 2.00 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 1.05, 1.50 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 350, 500 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 350, 500 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 280, 400 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 560, 800 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_P = \begin{bmatrix} \text{I—V 级} & \text{镉} & \langle 0.8, 20 \rangle \\ & \text{汞} & \langle 0, 1.50 \rangle \\ & \text{铅} & \langle 0, 500 \rangle \\ & \text{铬} & \langle 0, 500 \rangle \\ & \text{铜} & \langle 0, 400 \rangle \\ & \text{锌} & \langle 0, 838.46 \rangle \end{bmatrix}$$

3.2.2 计算权系数及关联度 根据公式 (7) 计算权系数。见表 4

表 4 权系数计算结果

a_{ij}	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}
a_{1j}	0.0006	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
a_{2j}	0.0004	0.0009	0.0007	0.0007	0.0007
a_{3j}	0.1109	0.1230	0.2269	0.2269	0.2269
a_{4j}	0.3557	0.3391	0.2269	0.2269	0.2269
a_{5j}	0.1348	0.1348	0.1815	0.1815	0.1815
a_{6j}	0.3975	0.3978	0.3631	0.3631	0.3631

利用公式 (5), (6) 计算各测点的综合关联度及各种方法的评价结果如表 5 所示

根据表 2 实际监测数据及表 5 评价结果分析: 测点 10, 无超标项, 属清洁 I 级; 测点 9, 仅汞 1 项略高于清洁标准, 从综合角度考虑, 也评价为清洁 I 级; 测点 7, 有镉、汞、锌等 3 项严重超标, 故评价为重污染 V 级。从表 5 中可以看出, 物元模型的评价结果与贴近度法比较接近, 而且也比较符合实际情况。

根据表 1 表 2 中数据的取值范围来确定该模型的节域。

表 5 综合关联度及评价成果

测点	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	贴近度法	综合评判法	分级贴近度法	物元分析法
C_1	0.1024	-0.3036	-0.5021	-0.7799	-0.9057	II	I	III	I
C_2	-0.1018	0.0222	-0.1742	-0.6246	-0.8391	I	II	III	II
C_3	0.0464	-0.0132	-0.3090	-0.6957	-0.8696	I	II	III	I
C_4	0.1048	-0.1095	-0.3970	-0.7149	-0.8778	I	II	II	I
C_5	-0.2494	-0.0009	0.1020	-0.5011	-0.7862	II	II	III	III
C_6	-0.1223	0.3128	-0.1705	-0.6182	-0.8364	II	II	III	II
C_7	-0.8619	-0.9407	-0.5633	-0.7643	-0.4680	V	V	V	V
C_8	0.0635	-0.0471	-0.3303	-0.7011	-0.8719	I	I	II	I
C_9	0.0468	-0.0463	-0.3261	-0.6965	-0.8699	I	I	I	I
C_{10}	0.1986	-0.1997	-0.4418	-0.7448	-0.8906	I	I	I	I

[参 考 文 献]

[1] 蔡文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994 22- 23.

[2] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 16- 17.

[3] 张松滨, 李万海, 王红. 分级贴近度法与环境质量评价 [J]. 环境工程, 2000, 18(5): 50- 52