

文章编号: 1000-5471(2007)03-0132-04

土壤重金属污染评价的模糊识别模型的建立和应用^①

潘大志¹, 张焱¹, 李成柱², 孙海¹

1. 西华师范大学 数学与信息学院, 四川 南充 637000; 2. 南充市环境监测站, 四川 南充 637000

摘要: 给出由最优权法确定各评价因子的权重, 采用模糊识别方法对土壤重金属污染进行评价, 避免了确定各指标权重时的主观任意性, 增加了评价结果的分辨性. 利用该方法对南充市区土壤进行评价, 得到的结果符合南充市区土壤的实际情况.

关键词: 模糊识别; 最优权法; 土壤; 重金属污染

中图分类号: X53

文献标识码: A

近年来, 随着现代工业和城市的发展, 人类与土壤的相互作用显得越来越重要. 过去由于人们的环保意识薄弱, 只追求经济利益和近期目标, 忽视对环境的保护, 各种对环境污染严重的重工业出现, 而工业中产生的废气、废水、废料等未经严格处理就进行排放, 这必然对当地的环境特别是对土壤环境造成严重的破坏. 影响土壤环境的因素很多, 并且每一种因素之间往往存在相关性, 每一种污染物的污染程度、土壤的类别、分类的标准等都是客观存在的模糊概念. 因而应用模糊理论集进行土壤重金属污染评价更能客观的反映土壤的实际污染情况.

1 模糊识别模型的建立

模糊识别模型^[1]中的关键问题是怎样确定各个评价指标的权重. 最优权法^[1]通过寻找权向量的最优解来确定各指标的权重, 通过此方法可以避免确定评价指标权重时的主观任意性, 并且还可以增加评价结果的分辨性, 更易于分类.

首先通过建立模糊识别单指标的分级标准化矩阵, 然后通过最优权法确定各指标的权重, 最后用模糊识别模型计算各监测点对各标准土壤的模糊贴适度, 并根据贴适度最大者作为该监测点所属土壤类别的原则, 对监测点进行判断^[2].

1.1 建立单因子土壤标准化矩阵和模糊评价矩阵

为了消除各指标量纲的影响, 统一各指标值的变换范围, 需要进行标准化处理. 再将土壤标准矩阵转化为模糊评价矩阵. 设有 n 个土壤评价指标, 按照国家土壤评价标准将土壤质量分成 m 级标准样本. 记土壤标准化矩阵为(1), 记模糊评价矩阵为(2):

$$X = (x_{ij})_{n \times m} \quad (1) \quad R = (r_{ij})_{n \times m} \quad (2)$$

其中, r_{ij} 的值由式(3)和(4)处理得到, 对于越大越优的指标应用公式(3), 对于越小越优的指标应用公式(4):

① 收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 四川省教育厅重点科研项目 (2003A105).

作者简介: 潘大志(1974-), 男, 四川三台人, 硕士, 讲师, 主要从事专家系统、环境工程的研究.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{\max}(j) - x_{ij}}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (4)$$

(3)、(4)式中, $x_{\min}(j)$ 、 $x_{\max}(j)$ 分别为各观测点中第 j 个指标值的最大值和最小值。

1.2 各评价指标权重的确定

我们通过最优权法, 在构造全部无量纲化指标的加权线性函数的基础上, 以该函数的样本方差达到最大值为准则来确定权系数。其基本思想就是寻求等式(5)权向量的最优解, 使在约束条件下, 样本方差 s^2 达最大值。

$$\max s^2 = \omega^T V \omega \quad \text{st. } \omega^T \omega = 1 \quad (5)$$

其中: $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2$, $\bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m u_j$, u_j 为待评价监测点与第 j 类标准土壤的贴近度。

V 为标准化矩阵 R 的样本协方差阵, 其形式为:

$$V = (V_{ij})_{n \times n} \quad (6)$$

其中: $v_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m (r_{ki} - \bar{r}_i)(r_{kj} - \bar{r}_j)$, $i, j = 1, 2, \dots, m$; $\bar{r}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij}$, $\bar{r}_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m r_{ij}$

实际上, 等式(5)的权值问题的最优解 ω 为样本协方差阵 V 的最大特征根 λ 对应的单位特征根向量。

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)^T$$

1.3 各观测点土壤质量等级的确定

设第 k 个监测点的指标为 e_k , 经(2)式标准化后为 f_k :

$$e_k = (e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{km})^T, \quad f_k = (f_{k1}, f_{k2}, \dots, f_{km})^T$$

利用欧氏距离($p=2$)计算贴近度:

$$u_{kh} = \left| \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n (\omega_i (f_{ki} - r_{ih}))^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n (\omega_i (f_{ki} - r_{ij}))^2} \right|^{-1}, \quad h = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

利用公式(7), 可计算出各监测点与各类标准土壤的贴近度向量为:

$$u_k = (u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km})^T, \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (8)$$

再利用(8)的结果中各监测点与各类标准土壤的贴近度, 按最大贴近原则确定各监测点土壤所属类别。

2 模糊识别方法在南充市区土壤质量评价中的应用

2.1 评价

通过对南充市区各片区土壤中重金属含量进行测试, 选取对土壤质量影响比较大的镉、铬、铅、锌和铜 5 项作为土壤环境质量评价指标。所使用的土壤污染评价分级标准^[3]见表 1, 各片区土壤中重金属含量的监测数据见表 2。

表 1 土壤污染评价分级标准

mg/kg

重金属元素	I 级(清洁)	II 级(尚清洁)	III 级(轻污染)	IV 级(中污染)	V 级(重污染)
Cd	0.12	0.25	0.60	1.40	2.00
Zn	83.68	116.75	240.00	560.00	800.00
Cr	74.88	99.54	150.00	350.00	500.00
Pb	23.35	36.09	150.00	350.00	500.00
Cu	28.37	40.63	120.00	280.00	400.00

根据表 1, 利用式(3)、(4)和(2)计算得到土壤污染评价分级标准的标准化矩阵 R ; 利用式(1), 将表 2 中各片区监测数据标准化后, 得到表 3 中的结果。

表 2 南充市各片区土壤重金属含量

mg/kg

采样地点	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu	采样地点	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu
石油学院	—	88.48	15.86	43.08	28.18	西华师大	0.27	94.33	13.55	45.09	52.83
炼油厂	0.31	89.69	16.30	44.32	29.91	北湖公园	—	106.95	15.06	40.66	50.17
石油汽修厂	1.10	113.58	39.91	473.50	80.95	川北医学院	1.77	108.30	15.55	64.49	51.45
五里店	1.42	126.44	12.08	57.48	57.75	人民中路	—	129.09	9.81	73.25	76.55
内燃机厂	0.87	97.81	15.57	53.69	64.79	五星花园	—	107.53	11.55	53.00	40.78
罐头厂	1.06	101.16	15.26	56.32	41.25	人民公园	—	107.27	9.89	65.78	43.31
延安路	5.62	112.57	19.90	111.15	55.23	地区医院	—	100.88	10.01	41.77	32.97
蚕种场	0.44	103.48	13.90	48.96	41.62	果山公园	0.32	121.78	10.85	102.79	56.96

注：“—”表示该指标含量在监测值以下。

表 3 各片区监测数据标准化结果

mg/kg

采样地点	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu	采样地点	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu
石油学院	1.000	0.993	0.988	0.959	1.000	西华师大	0.952	0.985	0.992	0.954	0.934
炼油厂	0.945	0.992	0.987	0.956	0.995	北湖公园	1.000	0.968	0.989	0.964	0.941
石油汽修厂	0.804	0.958	0.939	0.056	0.858	川北医学院	0.685	0.966	0.988	0.914	0.937
五里店	0.747	0.940	0.995	0.928	0.920	人民中路	1.000	0.937	1.000	0.895	0.870
内燃机厂	0.845	0.980	0.988	0.936	0.902	五星花园	1.000	0.967	0.996	0.938	0.966
罐头厂	0.811	0.976	0.989	0.931	0.965	人民公园	1.000	0.967	1.000	0.911	0.959
延安路	0.000	0.960	0.979	0.816	0.927	地区医院	1.000	0.976	1.000	0.961	0.987
蚕种场	0.922	0.972	0.992	0.946	0.964	果山公园	0.943	0.947	0.998	0.833	0.923

根据式(6), 计算得到 R 的协方差矩阵 V :

$$R = \begin{pmatrix} 0.979 & 0.956 & 0.893 & 0.751 & 0.644 \\ 1.000 & 0.954 & 0.782 & 0.335 & 0.000 \\ 0.867 & 0.817 & 0.714 & 0.306 & 0.000 \\ 1.000 & 0.973 & 0.734 & 0.315 & 0.000 \\ 0.999 & 0.967 & 0.753 & 0.323 & 0.000 \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} 0.0033 & 0.0037 & 0.0014 & 0.0015 & 0.0016 \\ 0.0037 & 0.0043 & 0.0019 & 0.0029 & 0.0036 \\ 0.0014 & 0.0019 & 0.0050 & 0.0130 & 0.0190 \\ 0.0015 & 0.0029 & 0.0130 & 0.0373 & 0.0555 \\ 0.0016 & 0.0036 & 0.0190 & 0.0555 & 0.0829 \end{pmatrix}$$

协方差矩阵 V 的最大特征根及对应的特征向量为:

$$\lambda = 0.724\ 449, \omega^* = (-0.167\ 726, -0.507\ 769, -0.438\ 909, -0.511\ 191, -0.509\ 981)^T$$

特征向量进行归一化后为:

$$\omega = (-0.078\ 539, -0.237\ 767, -0.205\ 523, -0.239\ 369, -0.238\ 803)^T$$

根据公式(7)得到各监测点与各类标准土壤的贴近度向量, 再利用公式(8)确定各监测点土壤等级, 结果见表 4.

2.2 结果分析

根据表 4 的结果可知, 各监测点的优劣顺序依次为: 石油学院, 炼油厂, 地区医院, 蚕种场, 北湖公园, 西华师大, 五星花园, 罐头厂, 人民公园, 内燃机厂, 川北医学院, 五里店, 人民中路, 果山公园, 延安路, 石油汽修厂, 其中, 石油汽修厂为 III 级, 延安路、果山公园、人民中路、五里店为 II 级, 川北医学院、内燃机厂、人民公园、罐头厂的评价结果与 I 级和 II 级的贴近度很接近, 属于准 I 级, 其他的属于 I 级. 评价结果与实际所测得样本数据保持一致. 通过对表 4 中数据分析可知, 南充地区较大部分地区土壤已不同程度的受到了重金属污染, 受污染程度与各观测点是否有厂区和医院有关.

3 结 论

模糊识别方法在土壤中重金属污染重的应用, 充分考虑了各级土壤标准界限的模糊性, 使评价结果接近于实际. 在确定各指标权重时采用最优权系数法, 避免了确定评价指标权重的任意性. 该方法简单直观, 用于土壤评价有较好的效果.

表4 模糊综合评价结果

采样地点	与各类土壤的贴适度					评价结果
	I级(清洁)	II级(尚清洁)	III级(轻污染)	IV级(中污染)	V级(重污染)	
石油学院	0.631 872	0.323 619	0.037 495	0.004 821	0.002 194	清 洁
炼油厂	0.621 565	0.332 947	0.038 427	0.004 857	0.002 203	清 洁
石油汽修厂	0.197 609	0.209 835	0.336 966	0.176 361	0.079 228	轻污染
五里店	0.442 224	0.446 899	0.096 419	0.010 068	0.004 39	尚清洁
内燃机厂	0.474 432	0.433 018	0.080 236	0.008 558	0.003 756	清 洁
罐头厂	0.522 607	0.406 889	0.060 45	0.006 957	0.003 097	清 洁
延安路	0.337 36	0.358 464	0.250 921	0.037 03	0.016 226	尚清洁
蚕种场	0.551 284	0.389 288	0.050 836	0.005 938	0.002 653	清 洁
西华师大	0.542 088	0.393 794	0.054 932	0.006 352	0.002 833	清 洁
北湖公园	0.545 044	0.395 746	0.050 717	0.005 874	0.002 619	清 洁
川北医学院	0.456 509	0.436 082	0.092 905	0.010 079	0.004 424	清 洁
人民中路	0.399 705	0.438 672	0.142 835	0.013 168	0.005 62	尚清洁
五星花园	0.542 042	0.393 663	0.055 039	0.006 4	0.002 856	清 洁
人民公园	0.505 052	0.412 74	0.070 811	0.007 9	0.003 498	清 洁
地区医院	0.595 34	0.351 937	0.044 559	0.005 619	0.002 545	清 洁
果山公园	0.396 744	0.426 71	0.155 965	0.014 425	0.006 157	尚清洁

参考文献:

- [1] 郑 彤,陈春云.环境系统数学模型[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 石晓翠,熊建新.模糊数学模型在土壤重金属污染评价中的应用[J].天津农业科学,2005,11(3):28-30.
- [3] 刘凤枝.农业环境监测实用手册[M].北京:中国标准出版社,2001.
- [4] 王作雷,蔡国梁,李玉秀,等.土壤重金属污染的非线性可拓综合评价[J].土壤,2004,36(2):151-156.

Construction and Application of Fuzzy Recognition Model in Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soil

PAN Da-zhi¹, ZHANG Yan¹, LI Cheng-zhu², SHUN Hai¹

1. School of Math and Information, China West Normal University, Nanchong Sichuan 637000;

2. Institute of Environment and Science of Nanchong, Nanchong Sichuan 637000

Abstract: This paper quantifies the weights of different evaluation indexes with optimizing weight approach, and evaluates heavy metal pollution to soil by fuzzy recognition method, which can avoid the subjective randomness and increase the distinguishability of result. Nanchong city is evaluated with this method and its result is accorded with facts of Nanchong.

Key words: fuzzy recognition; optimization weight method; soil; heavy metal pollution