

Study on environmental quality assessment method of pollution-influenced soil

Na Ning¹ Xiaolei Han²

1. Sichuan Chuangong Huanyuan Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

2. Sichuan Huankeyuan Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract

This article explores the environmental quality assessment methods for soil affected by pollution, analyzes the main sources of soil pollution and the shortcomings of existing assessment methods, and constructs a comprehensive evaluation system for soil heavy metals using fuzzy mathematics. Taking 10 soil monitoring samples from a certain mining area as an example, the fuzzy comprehensive method was used to evaluate the indicators of arsenic, cadmium, chromium, lead, and mercury. The fuzzy mathematical evaluation method has significant advantages in soil environmental quality assessment, which can effectively handle uncertainty and fuzziness, comprehensively consider the influence of multiple factors, and provide intuitive evaluation results.

Keywords

Pollution affected soil; Environmental quality assessment; Fuzzy mathematics; heavy metal

污染影响型土壤的环境质量评价方法研究

甯娜¹ 韩晓磊²

1. 四川省川工环院环保科技有限公司, 中国·四川成都 610041

2. 四川省环科源科技有限公司, 中国·四川成都 610041

摘要

本文探讨了污染影响型土壤的环境质量评价方法, 分析了土壤污染的主要来源以及现有评价方法的不足, 利用模糊数学构建土壤重金属的综合评价体系。以某矿区10个土壤监测样本为例, 采用模糊综合法对砷、镉、铬、铅、汞指标进行评价。模糊数学评价方法在土壤环境质量评价中具有显著优势, 能够有效处理不确定性和模糊性, 综合考虑多因素的影响, 并提供直观的评价结果。

关键词

污染影响型土壤; 环境质量评价; 模糊数学; 重金属

1 引言

随着工业化和城市化的快速发展, 土壤污染问题日益突出。污染影响型土壤是指受到人类活动直接或间接影响而遭受污染的土壤类型, 其污染特征复杂多样, 污染物种类繁多, 包括重金属、有机污染物、放射性物质等。土壤污染不仅影响土壤的生态功能, 还可能通过食物链对人类健康造成潜在威胁, 因此开展污染影响型土壤的环境质量评价具有重要意义。

环境质量评价是土壤污染防治的重要环节, 能够为土壤污染治理和环境管理提供科学依据。然而, 现有的土壤环境质量评价方法存在一定的局限性, 难以全面、准确地反映污染影响型土壤的环境质量。因此, 研究污染影响型土壤的

环境质量评价, 对于提高土壤环境质量、保障生态安全和人体健康具有重要的理论和现实意义。

2 土壤污染的特征

土壤污染来源解析是土壤污染防治的重要基础工作, 能够为污染治理和环境管理提供科学依据。土壤污染的主要来源包括工业污染、农业污染、城市污染、其他污染源等。

2.1 工业污染

工业活动是土壤污染的主要来源之一, 尤其是重金属和有机污染物的富集。工业活动主要通过大气沉降、地面入渗等方式污染土壤环境。

根据相关研究工业生产排放的废气含有大量的重金属(如汞、铅、镉等)和有机污染物(如多环芳烃、苯系物等)已成为周边土壤主要污染来源。2025年崔红标等研究冶炼厂大气沉降对周边土壤铜镉富集的影响^[1]; 2024年叶娇珑等人研究了大气干湿沉降重金属元素通量及对农

【作者简介】甯娜(1988-), 女, 中国重庆人, 硕士, 工程师, 从事环境影响评价、地下水环境研究。

田土壤的影响,研究表明干湿沉降重金属含量 Cd、Pb、Zn 超周边土壤含量, Cd、Zn 超农用地土壤污染筛选值的 2.25 倍、1.09 倍^[2]。土壤大气沉降污染具有累积性、空间异质性等特点。

工业企业通过垂直入渗途径进入土壤的污染物,对土壤环境的影响尤为显著。工业生产过程中,废水、废渣等污染物因防渗措施失效而泄漏,污染物通过土壤孔隙向下迁移,进入土壤深层。

2.2 农业污染

长期过量使用化肥会导致土壤酸化和重金属积累。例如,磷肥中可能含有镉、铅等重金属,长期施用会导致土壤重金属超标。

有机氯农药(如 DDT)和有机磷农药(如毒死蜱)在土壤中的残留时间长,难以降解,会对土壤生态系统和人体健康造成潜在威胁。

2.3 城市污染源

城市生活垃圾中含有大量的重金属和有机物。如果垃圾填埋场的防渗措施不到位,垃圾中的有害物质会通过渗滤液进入周边土壤。

机动车尾气中含有铅、锌、镉等重金属以及多环芳烃等有机污染物。这些污染物通过大气沉降进入道路两侧的土壤。

2.4 其他污染源

部分地区土壤中重金属的自然背景值较高,如西南地区某些土壤中镉、铅、锌等重金属的自然背景值远高于全国平均水平。同时药品、内分泌干扰物、激素等新兴污染物也逐渐成为土壤污染的关注点。

3 污染影响型土壤环境质量评价方法不足

现有的污染影响型土壤环境影响评价方法主要为标准指数法、内梅罗综合污染指数法、富集因子法等^[3-5],现有的污染影响型土壤环境影响评价方法在实际应用中存在多方面的不足,这些不足限制了对土壤污染的准确评估和有效治理。

3.1 缺乏生态毒性效应评估

现有的评价方法主要关注污染物的含量,缺乏对土壤生态毒性效应的全面评估。目前的土壤污染生态毒性效应评价主要基于单物种的急性毒性测试,缺乏针对群落及生态系统高水平评价终点的生态毒性效应评价方法。

3.2 缺乏综合性评价指标

现有的评价方法多侧重于单一污染物的评估,缺乏对多种污染物综合影响的评价。例如,综合污染指数法虽然简单易操作,但容易掩盖单个污染物的问题,且权重的确定不够客观准确。内梅罗指数法虽然兼顾了最高单因子指数和平均单因子指数的影响,但过分强调最高分指数,掩盖污染物种类

3.3 缺乏长期影响评估

现有的评价方法对污染物的长期影响和累积效应评估不足。

4 模糊数学评价在土壤环境质量评价中的运用

土壤环境质量评价是土壤污染防治和生态修复的重要基础。然而,现有的评价方法多侧重于单一指标或少数指标,难以全面反映土壤环境的整体状况。构建综合性评价指标体系,可以更全面地反映土壤环境的整体状况,实现土壤污染的精准治理,提高治理效率,降低治理成本。

模糊数学评价方法是一种基于模糊数学理论的评价技术,特别适用于处理具有不确定性和模糊性的复杂系统^[6]。它在土壤环境质量评价中具有多方面的优点,能够有效克服传统评价方法的一些局限性。

4.1 评价指标和评价标准集构建

评价指标集为参加评价指标构成的模糊子集,即 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 评价标准集即评估结果组成的集合,即 $T=\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 。以砷、镉、铬、铅、汞为指标集,其对应的《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618—2018)为评价标准集。

$$T = \begin{pmatrix} 20 & 25 & 30 & 35 \\ 0.3 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 200 & 250 & 300 & 350 \\ 80 & 100 & 140 & 240 \\ 0.25 & 0.5 & 0.6 & 1.0 \end{pmatrix}$$

4.2 建立隶属度函数

以砷为例,建立隶属度 4 级标准隶属函数:

$$r_{\text{砷}_1}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 20 \\ \frac{25-x}{5} & 20 < x < 25 \\ 0 & x \geq 25 \end{cases}$$

$$r_{\text{砷}_2}(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{20} & 20 < x < 25 \\ \frac{30-x}{5} & 25 < x < 30 \\ 0 & x \leq 20, x \geq 30 \end{cases}$$

$$r_{\text{砷}_3}(x) = \begin{cases} \frac{x-25}{5} & 25 < x < 30 \\ \frac{35-x}{5} & 30 < x < 35 \\ 0 & x \leq 25, x \geq 35 \end{cases}$$

$$r_{\text{砷}_4}(x) = \begin{cases} 1 & x > 35 \\ \frac{x-30}{5} & 30 < x < 35 \\ 0 & x \leq 30 \end{cases}$$

4.3 权重集构建

权重集的确定方法主要有专家打分法、熵权法、层次分析法等,但上述方法均有一定主观性,会使得评价结果存在误差。重金属毒性系数是用于评估重金属对生态环境和人体健康潜在危害的一个重要参数,它反映了重金属的毒性水平以及生物对重金属污染的敏感程度。本次采用重金属毒性系数确定权重集: $B=\{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7\}$, 公式如下^[7]:

$$E_i = \frac{C_i}{C_{si}} \times D_i$$

式中： E_i 为权重； C_i 为第重金属元素实测浓度； C_{si} 为重金属元素标准值的算术平均值； D_i 为重金属元素的毒理系数，砷、镉、铬、铅、汞值分别为 10、30、2、5、40。

归一化处理：

$$b_i = \frac{E_i}{\sum_{i=1}^n E_i}$$

式中： b_i 为归一化后重金属元素的权重， E_i 为权重。

$$B = \{0.504, 0.340, 0.012, 0.040, 0.104\}$$

4.4 模糊综合评价

由于评价集 W 与因素集 T 之间存在映射关系，因此可以建立综合评价模型 (W, T, B) ，通过 R 代表综合评判集，则 $R = T \times B$ 即为模糊运算表达式。

4.5 实例分析

某矿山开采项目，对矿区及周边 10 个样本点砷、镉、铬、铅、汞进行监测，结果见表 4。

表 4 土壤样本监测结果

样品编号	砷 mg/kg	镉 mg/kg	铬 mg/kg	铅 mg/kg	汞 mg/kg
1	30.4	0.8	98	28.6	0.09
2	35.4	0.65	107	25	0.087
3	35.2	0.36	108	23.4	0.082
4	41.5	0.55	116	24.8	0.083
5	35.4	0.35	120	22	0.094
6	38.4	0.28	119	22.5	0.096
7	26.2	0.66	63	111	0.087
8	21.8	0.53	76	113	0.084
9	24.2	0.28	68	108	0.083
10	78.2	0.1	100	178	0.304

采用模糊综合评价，对矿区土壤监测结果进行评价，得出 10 个样本点模糊综合评价结果见表 5。

根据评价结果，8#、9# 点环境质量隶属度在优级较大，7# 点环境质量隶属度在良好级较大，1# 点环境质量隶属度在较差级较大，2#、3#、4#、5#、6#、10# 点环境质量隶属度在差级较大。根据采样点位置，2#、3#、4#、5#、6#、10# 点位于矿区开采平硐区附近，土壤环境主要受矿山开采影响。

表 5 矿区土壤环境模糊综合评价结果表

样品编号	优	良	较差	差
1	0.156	0	0.464	0.38
2	0.156	0	0.255	0.589
3	0.292	0.204	0	0.504
4	0.156	0.085	0.255	0.504
5	0.326	0.170	0	0.504
6	0.496	0	0	0.504
7	0.116	0.4	0.382	0.102
8	0.439	0.332	0.229	0
9	0.537	0.455	0.008	0
10	0.454	0.002	0.025	0.519

5 结论

模糊数学评价方法在土壤环境质量评价中具有显著优势，能够有效处理不确定性和模糊性，综合考虑多因素的影响，并提供直观的评价结果。通过实际案例分析，验证了模糊数学评价方法的有效性和实用性。未来需要进一步改进和拓展模糊数学评价方法，以满足日益复杂的土壤环境质量评价需求。

参考文献

- [1] 崔红标,王晓龙,张威,周俊,周静. 大气沉降对冶炼厂周边土壤-构树铜镉富集的影响[J/OL]. 农业环境科学学报.<https://link.cnki.net/urlid/12.1347.s.20250328.1805.006>.
- [2] 叶娇珑, 钟红梅, 徐争强等. 大气干湿沉降重金属元素通量及对农田土壤的影响——以四川崇州为例[J].物探与化探,2025,49(03):708-717.
- [3] 朱婧,袁海,程科等.土壤质量评价方法的概述[J].科技创新与应用,2019,33(5):50-55.
- [4] 李利.土壤重金属污染环境评价方法[J].中国高新科技,2019,57:99-101.
- [5] 孙波,王梦颖,何晨等.某油田油泥处理场站土壤环境质量评价及污染防治对策[J].油气田环境保护,2023,33(1):41-45.
- [6] 陈晓杰,何政伟,薛东剑.基于模糊综合评价的土壤环境质量研究——以九龙县里伍铜矿区为例[J].水土保持研究,2012,19(1):130-133.
- [7] 安卓.基于模糊数学方法的土壤重金属污染评价[J].能源与环保,2021,43(7):62-65.