



文章栏目：土壤污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.202302002 中图分类号 X53 文献标识码 A

胡星路, 熊杰, 张超艳, 等. 基于层次分析法-熵权法的污染地块异味污染物优先度评价方法——以农药类污染地块为例[J]. 环境工程学报, 2023, 17(6): 1923-1936. [HU Xinglu, XIONG Jie, ZHANG Chaoyan, et al. Priority evaluation method of odor pollutants in contaminated sites based on analytic hierarchy process and entropy weight method: A case study of pesticide contaminated sites[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(6): 1923-1936.]

## 基于层次分析法-熵权法的污染地块异味污染物优先度评价方法——以农药类污染地块为例

胡星路<sup>1,2</sup>, 熊杰<sup>2</sup>, 张超艳<sup>2</sup>, 郭晓欣<sup>2</sup>, 周友亚<sup>2</sup>, 李海明<sup>1,✉</sup>

1. 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心, 北京 100012

**摘要** 土壤中异味污染物的风险管控已成为我国农药化工等行业污染地块环境管理的迫切需求。为筛查土壤优先控制异味污染物, 研究基于土壤中挥发性异味污染物的迁移、暴露过程和危害效应的系统量化与分析, 建立了污染地块异味污染物优先度评价指标体系; 采用层次分析法-熵权法确定指标综合评价权重, 分析了异味污染物优先度的影响因素, 并选取 3 个农药类案例地块进行验证性评价。结果表明, 构成地块异味污染物优先度排序指标体系第二层次的 4 个准则中, 影响程度从高到低为: 危害性、迁移性、防护性与暴露性; 第三层次 15 个要素主客观综合权重范围为 0.033 6~0.149 6, 其中嗅阈值权重最高。案例地块异味污染物基于层次分析法-熵权法的优先度评价等级与基于实测数据通过异味活度值和健康风险影响评价的等级具有一致性。本研究结果可为异味污染地块优先控制异味污染物的筛查提供参考。

**关键词** 污染地块; 异味污染物; 层次分析法; 熵权法; 优先度评价

农药化工类行业生产原辅料及产物中含有大量异味污染物, 因跑冒滴漏和突发事故可能对土壤与地下水造成污染<sup>[1]</sup>。现阶段我国污染地块主要采用基于健康风险的管理思路, 暂未对异味污染物提出明确的风险管控要求<sup>[2]</sup>。实际地块修复与再开发过程中, 施工扰动可能造成土壤中异味污染物挥发扩散, 并对周边环境和人群造成污染与影响<sup>[3-5]</sup>。因此, 开展异味污染物风险管控已成为污染地块环境管理的迫切需求。

异味污染物种类繁多、且对人体嗅觉刺激不一<sup>[6]</sup>, 提出地块优先控制异味污染物筛查和评价方法, 制定土壤异味污染物优先控制名录, 是指导异味污染物调查与评估工作、有效避免和消除异味污染的重要前提。国内外提出的大气和水环境优先污染物名录确定过程一般为筛选待评估污染物清单、对清单中的污染物开展环境风险评估并进行优先度排序、确定应优先管理的污染物<sup>[7]</sup>。优先度排序的具体做法是基于污染物的危害性、暴露性、风险性等因素选择评价指标<sup>[8]</sup>, 建立优先污染物的评价指标体系, 进而采用主观赋权法(如层次分析法、专家打分法等)<sup>[9-11]</sup>、客观赋权法(如熵权法、模糊集理论、主成分分析法等)<sup>[12-13]</sup>和综合赋权法<sup>[14-17]</sup>等确定评价指标的权重并进行打分

收稿日期: 2023-02-01; 录用日期: 2023-04-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41977377); 国家重点研发计划—土壤专项资助项目(2018YFC1803001)

第一作者: 胡星路(1997—), 男, 硕士研究生, 3337628790@qq.com; ✉通信作者: 李海明(1971—), 男, 博士, 教授, lhm@tust.edu.cn

排序。其具体指标的选取主要考虑区域或行业污染物产生、排放与暴露的总体特征，而较少考虑地块水文地质条件、企业环境管理水平等方面的个体差异。孟洁等<sup>[18]</sup>和马妍等<sup>[19]</sup>采用异味活度值与异味贡献率筛查了土壤中的主要异味污染物，具体做法是借助土壤气样品的全扫描结果，确定异味污染物清单；利用近土壤环境空气的各污染物质量浓度，计算其异味活度值并进行排序；计算总异味活度值和各污染物的异味贡献率，最终以累计贡献率超过90%为依据确定主要异味污染物。但这一方法需借助大量现场监测数据，所需时间长、成本高，且异味污染物筛查滞后于调查采样工作，无法有效指导现场调查工作。

本研究旨在综合考虑地块土壤特性、水文地质条件及企业环境管理水平等地块个性化要素，借助层次分析法与熵权法，考虑主客观因素，对场地污染土壤中异味污染物的危害程度、暴露水平、在各介质中的迁移分配以及地层防护能力等相关要素进行系统量化、分析和评价，拟建立地块尺度的异味污染物优先级排序评价方法，并在3个农药异味地块开展实证研究，以期为地块优先控制异味污染物的筛查和名录建立提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 指标体系构建

地块异味污染物优先度评价指标体系的构建可通过3个层次实现：第一层次为目标层(A)，即预定的目标或理想结果；第二层次为准则层(B)，包含了为实现目标所涉及的中间环节，包括所需考虑的准则和子准则；第三层次为要素层(C)，即为实现目标所考虑准则下的具体要素。

农药行业地块土壤中异味污染物对暴露人群的健康和嗅觉器官造成影响需经历以下过程：1)生产过程泄漏等造成污染物下渗并污染土壤<sup>[20-21]</sup>；2)土壤中污染物解吸挥发至气相，在非饱和带土壤中向上迁移；3)气态异味污染物从地表进入大气，在呼吸区混合迁移，被人群吸入<sup>[22]</sup>。基于上述污染物产生、迁移和暴露过程，设置危害性、暴露性、迁移性和防护性4个准则评价异味污染物的优先度，分别表征污染物的异味潜在影响与健康毒性、污染物潜在暴露量、污染物迁移能力和地块防护土壤污染的能力。每一准则可细分为3~5项主要评价指标，评价指标体系如图1所示。

### 1.2 指标分级与赋值

将上述每个评价指标分为5级，按影响程度分别赋值1~5分，其中1为无影响、2为低度影响、3为中度影响、4为高度影响、5为极高影响<sup>[23-30]</sup>，对于数据不足的指标赋分3分。指标的分级与赋值方法如表1所示。

### 1.3 评价指标权重

采用层次分析法与熵权法相耦合的综合赋权法(层次分析法-熵权法)确定评价指标权重值，其优点是既考虑了基于实际经验的人为主观判断排序，又考虑了基于真实数据的客观权重，减少了主客观因素带来的误差，使评价结果更符合客观实际<sup>[31-32]</sup>。

1) 指标主观权重。采用层次分析法计算指标的主观权重，可基于人为主观判断各评价指标间的相对重要性排序，步骤包括构建层次结构模型、建立判断矩阵、一致性检验和权重计算<sup>[33-36]</sup>。①根据层次分析法的应用准则，以及目标层、准则层与要素层的相对关系，建立污染地块异味污染物优先度评价的递阶层次结构模型(图1)。②采用1~9标度理论，根据评价指标之间的重要程度进行评价指标两两比较，构造各层级间的判断矩阵。③根据SAATY<sup>[37]</sup>提出的RI值表，计算判断矩阵的一致性比例CR，包括层次单排序一致性检验与层次总排序一致性检验，当 $CR < 0.1$ 则认为判断矩阵满足一致性条件，说明权重分配合理。④将准则层权重值与要素层权重值相乘，得到指标的主观权重值 $w_j^a$ 。CR、CI与 $w_j^a$ 的计算如式(1)~式(3)所示。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

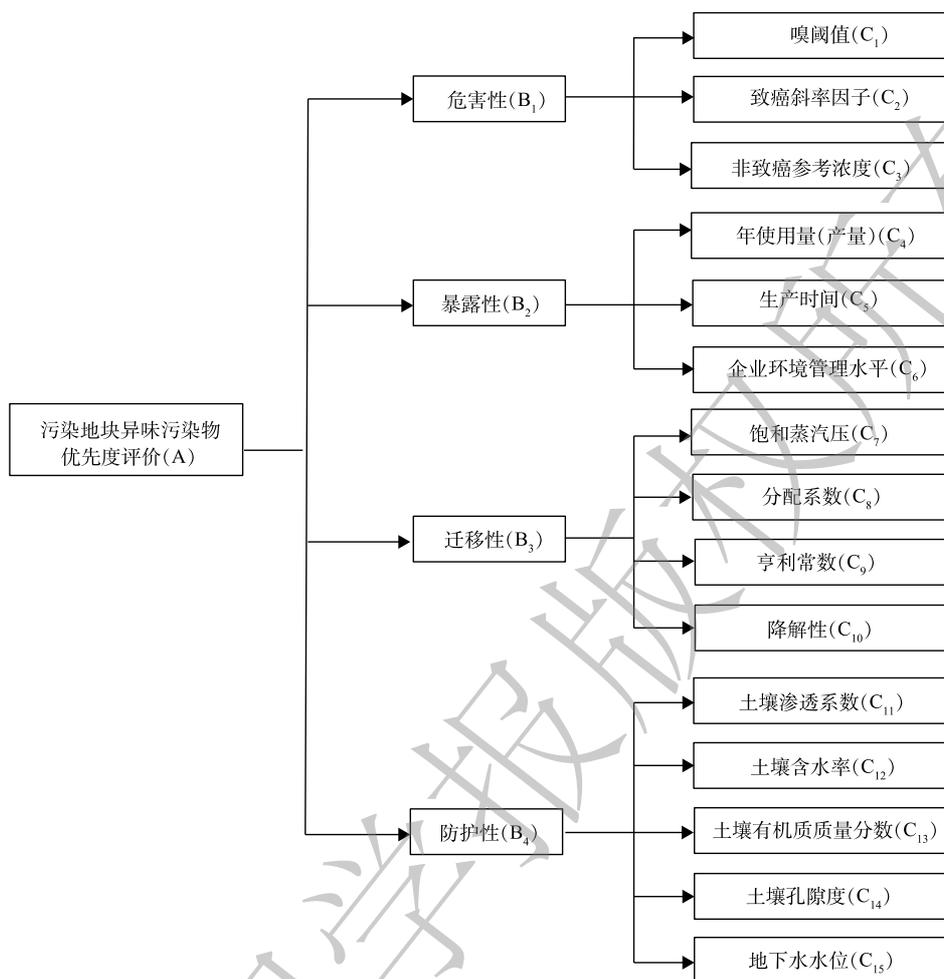


图 1 污染地块异味污染物优先度评价指标体系

Fig. 1 Priority evaluation index system of odor pollutants in contaminated sites

表 1 评价指标的分级与赋值

Table 1 Evaluation index classification and value assignment

评价指标		单位	赋值					分级依据参考文献
准则层	要素层		1	2	3	4	5	
危害性	嗅阈值	mg·m <sup>-3</sup>	>10 <sup>2</sup>	1~10 <sup>2</sup>	10 <sup>-2</sup> ~1	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-2</sup>	<10 <sup>-4</sup>	[23]
	致癌斜率因子	(mg·kg <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup>	<0.005	0.005~0.05	0.05~0.5	0.5~5	>5	[24]
	非致癌参考浓度	mg·m <sup>-3</sup>	<0.001	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	>1	[24]
暴露性	年使用量(产量)	t	<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ~5×10 <sup>3</sup>	5×10 <sup>3</sup> ~10 <sup>4</sup>	>10 <sup>4</sup>	[25]
	生产时间	a	<5	5~15	15~30	30~50	>50	[24]
	企业环境管理水平	无量纲	好	较好	中等	较差	差	[27]
迁移性	饱和蒸汽压	kPa	<10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> ~10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup> ~10	>10	[23]
	分配系数	cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup>	>10 <sup>3</sup>	500~10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup> ~500	1~10 <sup>2</sup>	<1	[24]
	亨利常数	无量纲	<10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> ~10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup> ~1	>1	[24]
	降解性(土壤半衰期)	d	<120	120~150	150~180	180~200	>200	[26]
防护性	土壤渗透系数	cm·s <sup>-1</sup>	<10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup> ~10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup> ~10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-2</sup>	>10 <sup>-2</sup>	[28]
	土壤含水率	%	>40	30~40	25~30	20~25	<20	[29]
	土壤有机质质量分数	g·kg <sup>-1</sup>	>20	15~20	10~15	5.0~10	<5	[29]
	土壤孔隙度	%	<40	40~43	43~46	46~50	>50	[29]
	地下水水位	m	>40	20~40	10~20	2~10	<2	[30]

式中：CR为判断矩阵的一致性比例，无量纲；RI为平均随机一致性指标，无量纲；CI为判断矩阵一致性指标，无量纲。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

式中： $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵最大特征根，无量纲； $n$ 为判断矩阵阶数，无量纲。

$$W_j^a = w_z^b \times w_j^c \quad (3)$$

式中： $W_j^a$ 为要素层 $j$ 指标对于目标层的层次总排序权重值，无量纲； $w_z^b$ 为准则层中 $z$ 准则对于目标层的层次单排序权重值，无量纲； $w_j^c$ 为要素层中 $j$ 指标对于所对应准则层的层次单排序权重值，无量纲。

2) 指标客观权重。采用熵权法计算指标客观权重，可反应评价指标真实数据的贡献，具体步骤包括构建原始数据矩阵、原始数据矩阵标准化、信息熵计算及客观权重值确定<sup>[38-39]</sup>。①选取土壤污染信息，对15个评价指标进行赋值，构成原始数据矩阵 $x_{ij}$ 。②对原始数据矩阵进行标准化处理，构建标准化矩阵 $X_{ij}$ 。③计算各指标的信息熵 $E_j$ 。④计算各指标权重值 $W_j^b$ 。 $X_{ij}$ 、 $E_j$ 和 $W_j^b$ 的计算公式如式(4)~式(6)所示。

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (4)$$

式中： $x_{ij}$ 为第 $i$ 个地块的第 $j$ 项指标的实际取值构成的原始数据矩阵，无量纲； $X_{ij}$ 为标准化矩阵，无量纲； $\max(x_j)$ 为第 $j$ 项指标在 $i$ 个地块中的上限值，无量纲； $\min(x_j)$ 为第 $j$ 项指标在 $i$ 个地块中的下限值，无量纲。

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \cdot \ln \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right) \right] \quad (5)$$

式中： $E_j$ 为信息熵，无量纲； $n$ 为污染地块的数量，无量纲。

$$W_j^b = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m 1 - E_j} \quad (6)$$

式中： $W_j^b$ 为基于熵权法计算的客观权重，无量纲； $m$ 为要素层中评价指标个数，无量纲。

3) 指标综合权重。综合层次分析法确定的主观权重值 $W_j^a$ 与熵权法确定的客观权重值 $W_j^b$ ，计算各指标的综合权重值，构建综合权重向量 $R_j$ ，反应各指标对异味污染物优先度的影响程度， $R_j$ 越大表示该指标对异味污染物优先度的影响程度越高。 $R_j$ 的计算公式如式(7)所示。

$$R_j = \mu W_j^a + (1 - \mu) W_j^b \quad (7)$$

式中： $R_j$ 为基于层次分析法-熵权法计算的综合权重值，无量纲； $\mu$ 为分布系数，无量纲。

在偏差的平方和最小的前提下，主观权重和客观熵权重分别占50%，主客观权重值对评价指标重要性是一致的<sup>[40-41]</sup>，即 $\mu=0.5$ 。

#### 1.4 优先度等级

将异味污染物评价指标赋值与该指标权重的乘积进行加和，得到污染地块异味污染物优先度评价分值，如式(8)所示。

$$G = \sum R_j \cdot C_j \quad (8)$$

式中： $G$ 为异味污染物优先度评价分值； $C_j$ 为异味污染物评价指标赋值。

优先度等级根据异味污染物对人体健康与嗅觉产生影响的程度采用3级评分制，各等级中具体评价分值区间的对应关系如表2所示。根据计算的异味污染物优先度评价分值，按照表2对应

关系进行综合评价。

### 1.5 优先度验证分析方法

研究选取山东某农药厂(地块 a)、广州某农药化工厂(地块 b)与苏州某农药化工厂(地块 c) 3 个异味污染地块作为验证案例, 通过查询案例地块土壤污染状况调查与风险评估报告等资料, 获取土壤中异味污染物质量分数实测值。采用异味活度值和健康风险影响度表征土壤中异味污染物对暴露人群的嗅觉感官和健康风险的影响程度, 划分并确定案例地块异味污染物的影响等级, 并与基于优先度评价结果进行对比验证。

1) 异味活度值计算方法。采用异味活度值表征土壤中异味污染物对人体嗅觉感官的影响程度, 异味活度值表征污染物在空气中的暴露质量浓度与其嗅阈值之间的比值, 异味活度值越大说明该污染物异味影响越明显<sup>[2]</sup>。污染物异味活度值计算如式(9)所示。

$$OVA = \frac{C_{air}}{C_{thr}} \quad (9)$$

式中: OVA 为异味污染物异味活度值, 无量纲;  $C_{air}$  为异味污染物空气暴露质量浓度,  $mg \cdot m^{-3}$ ;  $C_{thr}$  为异味污染物嗅阈值,  $mg \cdot m^{-3}$ 。

将污染物室内空气暴露质量浓度与土壤污染物质量分数的比值定义为挥发因子, 故  $C_{air}$  计算如式(10)~式(14)所示。

$$C_{air} = C_s \cdot VF_{subia} \quad (10)$$

$$VF_{subia1} = \frac{1}{\frac{K_{sw}}{H} \times \left( 1 + \frac{D_s^{eff}}{L_B \times ER \times \frac{1}{86400} \times L_s} + \frac{D_s^{eff} \times L_{crack}}{D_s^{eff} \times L_s \times \eta} \right) \times \frac{L_B \times ER \times \frac{1}{86400}}{D_s^{eff}}} \times 10^3 \quad (11)$$

$$VF_{subia2} = \frac{d_{sub} \times \rho_b}{L_B \times ER \times \frac{1}{86400} \times \tau \times 31536000} \times 10^3 \quad (12)$$

$$D_s^{eff} = D_a \times \frac{\theta_{air}^{3.33}}{\theta^2} + \frac{D_w}{H} \times \frac{\theta_{water}^{3.33}}{\theta^2} \quad (13)$$

$$K_{sw} = \frac{\theta_{water} + K_{oc} \times f_{oc} \times \rho_b + H \times \theta_{air}}{\rho_b} \quad (14)$$

式中:  $C_s$  为土壤中异味污染物质量分数,  $mg \cdot kg^{-1}$ ;  $VF_{subia1}$  为下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子(算法 1),  $kg \cdot m^{-3}$ ;  $VF_{subia2}$  为下层土壤中污染物扩散进入室内空气的挥发因子(算法 2),  $kg \cdot m^{-3}$ ;  $VF_{subia}$  为土壤中污染物扩散至室内空气的挥发因子(取算法 1 与算法 2 的较小值),  $kg \cdot m^{-3}$ ;  $D_s^{eff}$  为土壤中气态污染物的有效扩散系数  $cm^2 \cdot s^{-1}$ ;  $K_{sw}$  为土壤-水中污染物分配系数  $cm^3 \cdot g^{-1}$ ;  $H$  为污染物亨利常数, 无量纲;  $L_s$  为下层污染土壤上表面到地表距离,  $cm$ ;  $d_{sub}$  为下层污染土壤厚度,  $cm$ ;  $D_a$  为污染物在空气中的扩散系数,  $cm^2 \cdot s^{-1}$ ;  $D_w$  为污染物在水中的扩散系数,  $cm^2 \cdot s^{-1}$ ;  $K_{oc}$  为土壤-有机碳分配系数,  $cm^3 \cdot g^{-1}$ , 其余参数定义及取值如表 3 所示。

2) 健康风险评价方法。健康风险影响度是土壤中污染物质量分数与风险筛选值之间的比值。健康风险影响度越大, 说明该污染物产生的健康风险对暴露人群的影响程度越大<sup>[42]</sup>。健康风险影

表 2 优先度等级与分值对应关系

Table 2 Correspondence between priority grade and score

异味污染物优先度等级	评价分值	优先度等级对应的污染物描述
高优先级	3.5~5.0	对人体健康具有高风险且异味强烈难以接受
中优先级	2.5~3.5	对人体健康具有较高风险且能感觉到明显异味
低优先级	0~2.5	对人体健康风险较低(或风险可接受)且异味较轻(或无异味)

表 3 计算模型参数取值  
Table 3 Values of model parameters

参数	定义	单位	取值			取值来源
			地块a	地块b	地块c	
$\theta_{\text{water}}$	非饱和土层土壤中孔隙水体积比	无量纲	0.35	0.36	0.30	实测值
$\theta_{\text{air}}$	非饱和土层土壤中孔隙空气体积比	无量纲	0.07	0.08	0.12	实测值
$f_{\text{oc}}$	土壤有机碳质量分数	无量纲	0.002 5	0.004 26	0.002 9	实测值
$\rho_b$	土壤容重	kg·dm <sup>-3</sup>	1.51	1.52	1.58	实测值
$\theta$	非饱和土层土壤中孔隙空气体积比	无量纲	0.45	0.08	0.42	实测值
$L_B$	室内空间体积与气态污染物入渗面积比	cm	220	220	300	[41]
$ER$	室内空气交换速率	次·d <sup>-1</sup>	12	12	20	[41]
$\eta$	地基裂隙表面积占室内地表面积比例	无量纲	0.005	0.005	0.005	[41]
$L_{\text{crack}}$	室内地基或墙体厚度	cm	35	35	35	[41]
$\tau$	气态污染物入侵持续时间	a	30	30	25	[41]

响度的计算如式 (15) 所示。

$$HRV = \frac{C_{\text{soil}}}{C_{\text{soil,screening}}} \quad (15)$$

式中：HRV 为污染物健康风险影响度，无量纲； $C_{\text{soil}}$  为土壤中异味污染物质量分数，mg·kg<sup>-1</sup>； $C_{\text{soil,screening}}$  为异味污染物的风险筛选值，mg·kg<sup>-1</sup>，参考《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB 36600-2018)<sup>[43]</sup> 中土壤污染风险筛选值和依据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.3-2019)<sup>[42]</sup> 技术方法推导计算的土壤污染风险筛选值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 指标权重值计算结果

1) 主观权重计算结果。以准则层 B 为例，通过专家评分结果，构造目标层 A 与准则层 B 中 4 种指标的判断矩阵  $D_1$ ，进行一致性检验与准则层权重值计算，如表 4 所示。经验证，判断矩阵随机一致性比率  $CR < 0.1$ ，因此所构建判断矩阵一致性可接受，主观权重分配合理，主观权重值如表 5 所示。

表 4 目标层 A 与准则层 Bi 的判断矩阵  $D_1$   
Table 4 Judgment matrix  $D_1$  for layer A and level Bi

目标层	危害性	迁移性	暴露性	防护性	主观权重值	一致性检验	一致性是否可接受
危害性	1	2	3	3	0.454 8	$\lambda_{\text{max}} = 4.009 8$	可接受
迁移性	1/2	1	2	2	0.263 4	CI=0.003 8	
暴露性	1/3	1/2	1	1	0.140 9	RI=0.89	
防护性	1/3	1/2	1	1	0.140 9	CR=0.003 7 < 0.1	

表 5 评价指标权重分配  
Table 5 The weight value distribution of evaluation indicators

目标层	准则层	要素层	主观权重 $W_j^\alpha$	客观权重 $W_j^\beta$	综合权重 $R_j$
污染地块异味 污染物优先度评价	危害性	嗅阈值	0.236 4	0.062 9	0.149 6
		致癌斜率因子	0.125 8	0.079 2	0.102 5
		非致癌参考浓度	0.092 5	0.058 5	0.075 5

续表 5

目标层	准则层	要素层	主观权重 $W_j^a$	客观权重 $W_j^b$	综合权重 $R_j$
污染地块异味 污染物优先度评价	暴露性	年使用量/年生产量	0.075 8	0.060 8	0.068 3
		企业环境管理水平	0.042 0	0.084 0	0.063 0
		生产时间	0.023 0	0.077 4	0.050 2
	迁移性	饱和蒸汽压	0.092 3	0.056 5	0.074 4
		分配系数	0.049 8	0.060 1	0.055 0
		亨利常数	0.092 3	0.072 0	0.082 2
		降解性	0.028 6	0.061 6	0.045 1
	防护性	土壤渗透系数	0.058 6	0.076 5	0.067 6
		土壤孔隙度	0.036 9	0.056 6	0.046 7
		土壤含水率	0.022 6	0.068 3	0.045 5
		土壤有机质质量分数	0.013 9	0.067 1	0.040 5
		地下水水位	0.008 8	0.058 4	0.033 6

2) 客观权重计算结果。①选取地块 a~c 的土壤污染信息，取其平均值，对 15 个评价指标进行赋值，构成原始数据矩阵  $x_{ij}$ 。

$$x_{ij} = \begin{pmatrix} 1.30 & 2.94 & 2.17 \\ 0.14 & 0.07 & 1.11 \\ 0.71 & 5.21 & 0.88 \\ 20\ 000 & 20\ 000 & 30\ 000 \\ 49 & 26 & 50 \\ 2 & 3 & 3 \\ 12.70 & 82.71 & 66.96 \\ 837 & 627.62 & 593.66 \\ 0.30 & 0.23 & 0.27 \\ 1.72 & 1.45 & 1.86 \\ 0.000\ 3 & 0.000\ 02 & 0.000\ 04 \\ 28.98 & 25.16 & 24.00 \\ 4.93 & 6.00 & 4.55 \\ 0.23 & 0.44 & 0.46 \\ 1.50 & 5.67 & 4.76 \end{pmatrix}$$

②对原始数据矩阵标准化处理，得到矩阵  $X_{ij}$

$$X_{ij} = \begin{pmatrix} 0.00 & 1.00 & 0.53 \\ 0.07 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.04 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.96 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.78 \\ 1.00 & 0.14 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.68 \\ 0.65 & 0.00 & 1.00 \\ 1.00 & 0.05 & 0.00 \\ 1.00 & 0.23 & 0.00 \\ 0.26 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.91 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.78 \end{pmatrix}$$

③计算得到信息熵 $E_j$

$$E_j = \begin{pmatrix} 0 & -0.292 & -0.170 \\ -0.049 & 0 & -0.247 \\ 0 & -0.272 & -0.023 \\ 0 & 0 & -0.247 \\ -0.279 & 0 & -0.247 \\ 0 & 0 & -0.247 \\ 0 & -0.292 & -0.214 \\ -0.284 & -0.084 & 0 \\ -0.284 & 0 & -0.198 \\ -0.227 & 0 & -0.247 \\ -0.284 & -0.039 & 0 \\ -0.284 & -0.122 & 0 \\ -0.127 & -0.292 & 0 \\ 0 & -0.278 & -0.247 \\ 0 & -0.292 & -0.215 \end{pmatrix}$$

④根据公式(6)得到指标的客观权重 $W_j^b$ ，见表5。

3) 主客观权重分配结果。根据评价指标的重要性和主客观权重贡献率，确定指标的综合权重分配，见表5。结果显示，4个准则层指标在评价指标体系中所占权重比例从高到低为危害性(0.3277)、迁移性(0.2567)、防护性(0.2339)、暴露性(0.1816)。危害性指标中嗅阈值贡献最大，高达0.1496，它是异味污染物对人体嗅觉潜在刺激的最直观表现。其次为迁移性指标，污染物在三相分配过程中越容易赋存于土壤气相中，就越容易向上扩散至空气中，影响暴露人群，而影响三相分配平衡的最主要因素是亨利常数(0.0822)和饱和蒸汽压(0.0744)。防护性越好，有机物向上挥发扩散能力越差，含水率、有机质质量分数、渗透系数、孔隙度和地下水水位对挥发性异味污染物的迁移扩散均有一定程度的影响<sup>[29,44-46]</sup>。在暴露性指标中，年使用量/年生产量占比最大(0.0683)，它反映了异味污染物的潜在污染量。

2.2 实证分析

1) 异味污染物初步筛选清单。案例地块a~c均曾作为农药化工企业的生产用地，企业生产过程中污染物的跑冒滴漏对地块土壤和地下水造成污染。根据原企业生产工艺流程、产品、原辅材料与中间产物，确定异味污染物的初步筛选清单，如表6所示。

表6 案例地块异味污染物初步筛选清单  
Table 6 List of odor pollutants for case sites

地块	主要产品	异味污染物种类数量	异味污染物
地块a	敌敌畏、百草枯、敌百虫、乐果等	32	苯、甲苯、氯苯、间/对二甲苯、邻二甲苯、1,4-二氯苯、乙苯、1,2,4-三甲基苯、异丙基苯、正丙苯、1,2-二氯苯、1,3,5-三甲苯、2-氯甲苯、4-氯甲苯、1,2,4-三氯苯、1,2,3-三氯苯、氯仿、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、四氯化碳、1,2-二氯丙烷、氯甲烷、氯乙烯、甲硫醚、二甲基二硫醚、二硫化碳、噻吩、2-氯苯酚、苯酚、2-甲基苯酚、丁酸甲酯、邻苯二甲酸二乙酯
地块b	杀螟腈、甲胺磷、虫螨灵等	21	乙苯、甲苯、间/对二甲苯、苯、苯乙烯、异丙苯、邻二甲苯、正丙苯、1,2,4-三甲基苯、1,2-二氯乙烷、氯仿、正己烷、氯乙烷、2-氯甲苯、氯甲烷、丙酮、2-己酮、2-丁酮、苯酚、邻苯二甲酸二乙酯、四氢呋喃
地块c	甲胺磷、草甘膦、甲基毒死蜱等	28	间/对二甲苯、苯、乙苯、1,4-二氯苯、邻二甲苯、甲苯、苯乙烯、异丙基苯、硝基苯、1,2,4-三甲苯、三氯甲烷、三氯乙烯、1,2-二氯乙烷、四氯化碳、三溴甲烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯丙烷、四氯乙烯、1,2-二溴乙烷、2-氯酚、4-硝基苯酚、间甲酚、2,4,6-三氯苯酚、苯酚、2,4-二氯酚、甲硫醚、二甲基二硫醚、邻苯二甲酸二丁酯

2) 异味污染物优先度评价结果。通过查询案例地块土壤污染状况调查报告与风险评估报告中的污染数据和水文地质条件, 以及污染物毒理学参数库和污染物理化性质参数库<sup>[47-50]</sup>, 得到案例地块各评价指标数据并进行赋值, 如表7所示。

表7 案例地块异味污染物优先度评价指标赋值  
Table 7 The evaluation indicators of contaminated sites

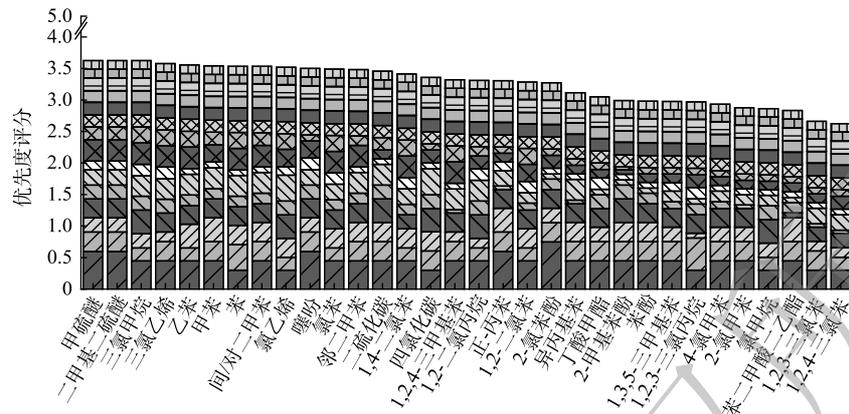
准则层	评价指标		地块a		地块b		地块c	
	要素层	单位	数据	评分	数据	评分	数据	评分
危害性	嗅阈值	mg·m <sup>-3</sup>	3×10 <sup>-5</sup> ~1×10	2~5	3.8×10 <sup>-3</sup> ~1×10	2~4	2×10 <sup>-5</sup> ~7.5	2~5
	致癌斜率因子	(mg·kg <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup>	3.6×10 <sup>-3</sup> ~3×10	2~5	2×10 <sup>-3</sup> ~1.1×10 <sup>-2</sup>	2~3	2.1×10 <sup>-3</sup> ~2.6	2~4
	非致癌参考浓度	mg·m <sup>-3</sup>	0.000 3~5	1~5	0.007~31	2~5	0.002~5	2~5
暴露性	年产量或使用量	t	1×10 <sup>3</sup> ~1×10 <sup>5</sup>	2~5	2×10 <sup>2</sup> ~2×10 <sup>4</sup>	2~5	1×10 <sup>3</sup> ~2×10 <sup>4</sup>	2~5
	工艺生产时间	a	8.0~50	2~5	12~22	2~3	10~34	2~4
	企业环境管理水平	—	中等	3	中等	3	较差	2
迁移性	饱和蒸汽压	kPa	2.7×10 <sup>-4</sup> ~5.7×10 <sup>2</sup>	2~5	2.7×10 <sup>-4</sup> ~5.7×10 <sup>2</sup>	2~5	3.0×10 <sup>-6</sup> ~6.6×10	1~5
	分配系数	cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup>	8.9~1.9×10 <sup>3</sup>	1~4	5×10 <sup>-1</sup> ~1.6×10 <sup>3</sup>	1~5	8.9~6.8×10 <sup>3</sup>	1~4
	亨利常数	无量纲	1×10 <sup>-8</sup> ~1.1	1~5	1×10 <sup>-8</sup> ~0.5	1~4	1×10 <sup>-8</sup> ~1.1	1~5
	半衰期	d	1.2×10 <sup>2</sup> ~1.8×10 <sup>2</sup>	2~4	1.2×10 <sup>2</sup> ~1.8×10 <sup>2</sup>	2~4	1.2×10 <sup>2</sup> ~1.8×10 <sup>2</sup>	2~4
防护性	土壤渗透系数	cm·s <sup>-1</sup>	3.5×10 <sup>-5</sup>	2	2.0×10 <sup>-5</sup>	3	3.3×10 <sup>-4</sup>	4
	土壤含水率	%	24.0	4	25.2	3	29.0	3
	土壤有机质质量分数	g·kg <sup>-1</sup>	4.6	5	6.0	4	4.9	5
	土壤孔隙度	%	45.8	3	43.7	3	50.5	5
	地下水水位	m	4.8	4	5.7	4	1.5	5

对3个案例地块土壤中异味污染物进行优先度评价如图2所示。由图2可知, 地块a、地块b和地块c的各异味污染物优先度评价得分范围分别为2.626~3.625、2.710~3.514和2.808~3.672。对比异味污染物优先度等级分值, 可以判断地块a、b、c中优先级为高风险(得分≥3.5)的异味污染物种类分别为地块a有8种、地块b有2种、地块c有8种, 具体为甲硫醚、二甲基二硫醚、三氯甲烷、三氯乙烯、甲苯、苯、氯乙烯、噻吩、1,2-二氯乙烷、间/对二甲苯、乙苯。其中甲硫醚、二甲基二硫醚在案例地块a与地块c中优先度评价得分均为最高, 这与马妍等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。

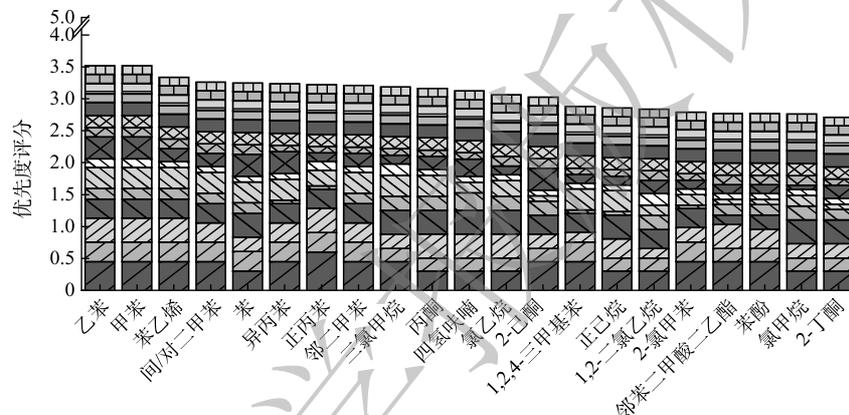
3个案例地块中异味污染物优先度评价准则层的贡献率并不一致, 地块a与地块b从高到低为危害性、迁移性、防护性、暴露性; 地块c从高到低为危害性、防护性、迁移性、暴露性。但3个地块中的危害性指标, 尤其是危害性指标中的嗅阈值要素占绝对最高比重, 分别为13.72%、13%和13.98%。

同一异味污染物在不同地块优先度评价中的暴露性与防护性准则指标得分存在差异, 导致其优先度评分不同, 如地块a、地块b和地块c中三氯甲烷的异味优先度评分分别为3.625 0、3.183 0和3.542 2。造成差异的原因为地块a原企业的生产时间长、规模大, 增加了异味污染物对人群暴露的可能性与潜在暴露量, 导致地块a暴露性准则评分相比地块b与地块c分别提高了118.5%、29.3%; 地块c的渗透系数较高、孔隙度较大, 异味污染物较易向上挥发迁移扩散<sup>[44-47]</sup>, 致使地块c防护性准则评分相比地块a与地块b分别提高了20.7%、28.8%。

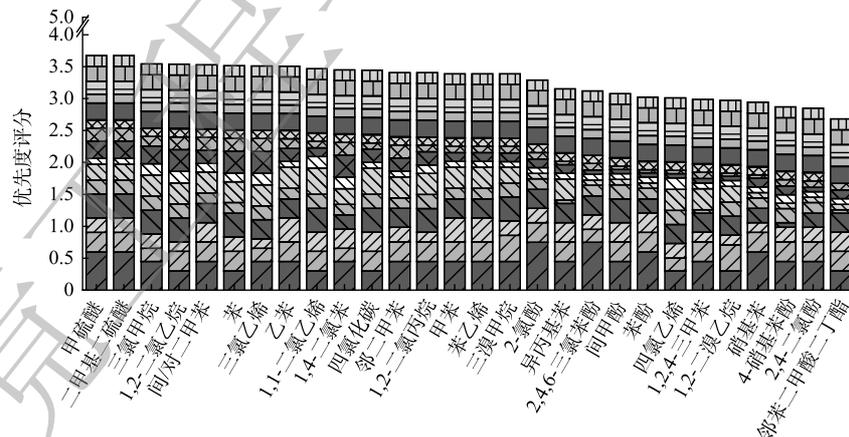
3) 优先度验证分析。基于案例地块土壤中异味污染物的实测质量分数, 参考1.5节式(9)与式



(a) 地块a优先度评价结果



(b) 地块b优先度评价结果



(c) 地块c优先度评价结果



图2 案例地块异味污染物优先度评价结果

Fig. 2 Priority evaluation results of odor pollutants in the case sites

(15) 计算各污染物的异味活度值和健康风险影响度，以 100 和 1 作为影响度高、中、低 3 个等级划分依据，如表 8 所示。确定异味污染物的实际异味活度值与健康风险影响度，并与异味优先度评价结果进行对比分析，如图 3 所示。

表 8 异味活度值、健康风险影响度与优先度等级划分标准  
Table 8 Classification criteria of odor activity value, health risk impact and priority level

异味活度值	划分依据 <sup>[51]</sup>	健康风险影响度	划分依据 <sup>[52]</sup>	优先度等级
<1	污染物空气暴露质量浓度小于嗅阈值，人体嗅觉器官感受不到异味	<1	土壤中污染物质量分数小于筛选值，人体健康风险可接受	低优先级
1~100	污染物空气暴露质量浓度高于嗅阈值1-2个数量级，人体嗅觉器官容易感受到异味	1~100	土壤中污染物质量分数高于筛选值1-2个数量级，人体健康风险不可接受，属于中风险水平	中优先级
>100	污染物空气暴露质量浓度高于嗅阈值2个数量级以上，人体嗅觉器官感受到强烈异味	>100	土壤中污染物质量分数高于筛选值2个数量级以上，人体健康风险不可接受，属于高风险水平	高优先级

由图 3 可知，各异味污染物优先度等级与基于实测数据的异味活度值和健康风险影响度等级的分布具有一致性。高优先度 (评分 ≥ 3.5) 异味污染物的实际异味活度值和健康风险影响度分布于高风险区，中、低优先度 (评分 < 3.5) 异味污染物的实际异味活度值和健康风险影响度分布于中、低风险区。异味和健康风险对污染物的优先级均有重要影响，危害性准则中嗅阈值指标的评

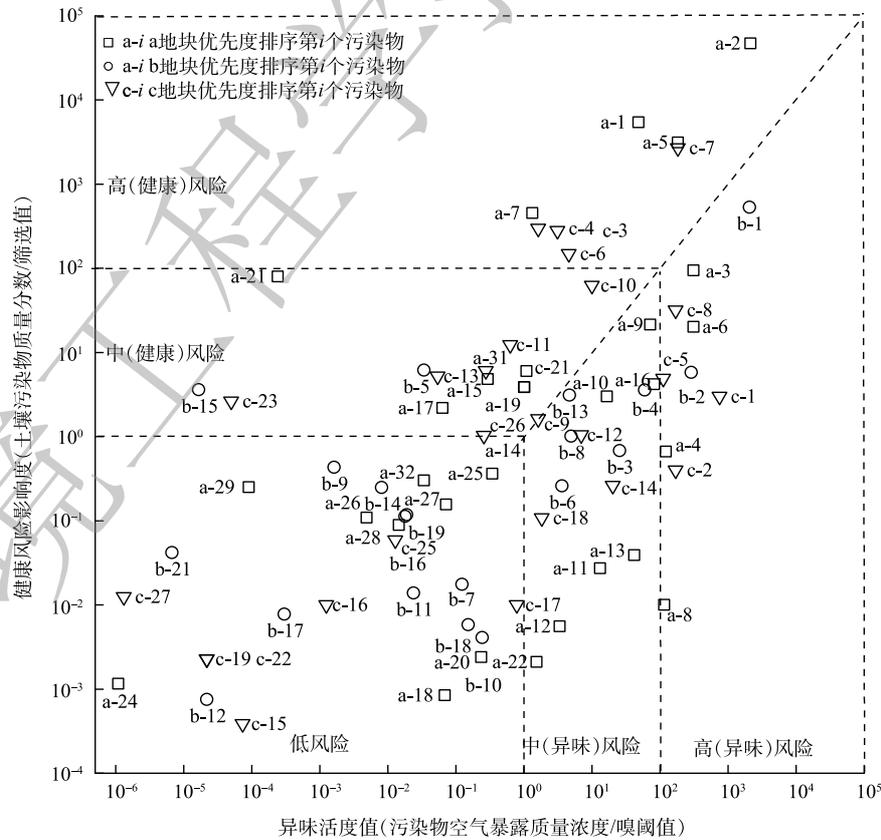


图 3 案例地块污染物异味活度值、健康风险影响度与优先度评价结果

Fig. 3 Assessment results of odor activity value, health risk impact and priority of pollutants in the case sites

分占比高于致癌斜率因子和非致癌参考浓度的异味污染物分布于图3的中(异味)风险与高(异味)风险区,在实际地块中异味影响大于健康风险影响;危害性准则中致癌斜率因子和非致癌参考浓度指标的评分占比高于嗅阈值的异味污染物分布于图3的中(健康)风险与高(健康)风险区,在实际地块中健康风险影响大于异味影响。这与张施阳等<sup>[2]</sup>的研究结果一致,苯的异味活度值远高于健康风险影响度,当空气中苯质量浓度引起人嗅觉感知时,其健康风险已超过可接受水平。

综上所述,本研究异味污染物优先度评价结果在一定程度上符合实际地块污染物对人体的异味和健康风险影响等级,说明该优先度评价体系具有一定的合理性。

### 3 结论

1) 在地块异味污染物优先度评价的4个准则层中,指标综合权重从高到低为:危害性、迁移性、防护性与暴露性。这表明,危害性是影响异味污染物优先度评价的主要因素。指标综合权重的计算结果与实际情况相符。

2) 同一异味污染物在不同地块的优先度评分不同,防护性与暴露性是造成不同地块评价结果差异的主要因素,其影响了异味污染物由土壤至空气的迁移扩散程度和对人群暴露程度。

3) 案例地块基于层次分析法-熵权法计算的异味污染物优先度等级与异味活度值、健康风险影响度风险等级的分布具有一致性,表明基于层次分析法-熵权法的污染地块异味污染物评价体系具有合理性,可为地块调查工作中关注异味污染物名录的确定提供科学依据。

### 参考文献

- [1] 翟增秀,孟洁,刘绿叶,等.某复合化工污染场地不同介质有机物污染特征层次分析[J].环境化学,2022,41(5):1603-1615.
- [2] 张施阳,吉敏,李青青,等.基于嗅觉效应的土壤苯系物关键因子识别及安全阈值研究[J].环境科学学报,2022,42(8):390-396.
- [3] 张施阳,李青青,杨洁,等.挥发性有机污染土壤开挖异味风险评估及控制对策[J].环境科学研究,2022,35(9):2185-2194.
- [4] 张石磊,薛南冬,杨兵,等.有机氯农药污染场地挖掘过程中污染物的分布及健康风险[J].环境科学,2015,36(2):686-693.
- [5] BRANCHER M, PIRINGER M, FRANCO D, et al. Assessing the inter-annual variability of separation distances around odour sources to protect the residents from odour annoyance[J]. Journal of Environmental Sciences, 2019, 79: 11-24.
- [6] 胡冠九,高占敬,张涛,等.环境空气中异味物质的监测、评价与溯源[J].中国环境监测,2019,35(4):10-19.
- [7] 张丽丽,朱晓晶,于洋,等.京津冀及周边地区优先控制有毒有害大气污染物名录研究[J].环境科学研究,2021,34(1):194-201.
- [8] 胡凤琦,胡洁,卓丽,等.重庆市涪陵工业园区优先评估化学品名录筛查[J].环境科学与技术,2020,43(S2):262-270.
- [9] JABBAR F K, GROTE K, TUCKER E. A novel approach for assessing watershed susceptibility using weighted overlay and analytical hierarchy process (AHP) methodology: a case study in eagle creek watershed, USA[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(31): 31981-31997.
- [10] 赵增锋,石伟,邱小琼,等.基于层次分析法的闽海湖水生态承载力评价[J].环境科学与技术,2020,43(2):213-219.
- [11] AHYAP R, ATAMA A, SARNO R. Application of analytic hierarchy process (AHP) and simple additive weighting (SAW) methods in singer selection process[J]. International Conference on Information and Communications Technology, 2018, 9: 234-239.
- [12] XIAO Y, ZHANG J H, GUO T T. Evaluation of quaternary groundwater quality based on AHP-entropy weight method in baoshan basin, Yunnan, China[J]. World Scientific Research Journal, 2021, 7(12): 76-82.
- [13] WANG D M, LI S L, TOKTARBEK S, et al. Research on the coordination between agricultural production and environmental protection in kazakhstan based on the rationality of the objective weighting method[J]. Sustainability, 2022, 14(6): 3700.
- [14] 王晓艳,章四龙,刘磊,等.基于AHP-熵权法的水环境承载力模糊综合评价[J].环境科学与技术,2021,44(9):206-212.
- [15] QI J W, ZHANG Y C, ZHANG J Q, et al. Research on the evaluation of geological environment carrying capacity based on the AHP-CRITIC empowerment method[J]. Land, 2022, 11(8): 1196.
- [16] 李笑诺,易诗懿,陈卫平,等.污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析[J].环境科学,2022,43(5):2699-2708.
- [17] ZHONG C H, YANG Q C, LIANG J, et al. Fuzzy comprehensive evaluation with AHP and entropy methods and health risk assessment of groundwater in Yinchuan basin, northwest China[J]. Environmental Research, 2022, 204(PA): 111956.
- [18] 孟洁,王静,肖威德,等.有机磷农药污染地块异味污染调查与健康风险评估[J].岩矿测试,2021,40(6):907-18.
- [19] 马妍,郑红光,史怡,等.典型农药污染地块土壤中异味物质的筛查与分布特征研究[J].环境科学研究,2022:1-12.

- [20] XIA W W, LIANG B, CHEN L, et al. Atmospheric wet and dry depositions of polycyclic aromatic compounds in a megacity of southwest China[J]. *Environmental Research*, 2021, 204: 112151.
- [21] 张焱鑫, 席劲瑛, 张占恩, 等. 农药行业污染场地挥发性有机物释放能力及其评价方法研究[J]. *环境科学学报*, 2022, 42(3): 450-456.
- [22] 姜林, 钟茂生, 夏天翔, 等. 基于土壤中实测苯浓度的健康风险评价[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 717-723.
- [23] 李伟芳. 国内恶臭污染物优先控制的筛选研究[J]. *上海环境科学*, 2012, 31(1): 1-4.
- [24] 中华人民共和国生态环境部. 关闭搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定(试行) [EB/OL]. [2022-04-21]. <https://sthj.sh.gov.cn/fa/cms/upload/uploadFiles/2017-09-18/file2814.pdf>.
- [25] 中华人民共和国生态环境部. 在产搬迁企业地块风险筛查与风险分级技术规定(试行) [EB/OL]. [2022-04-20]. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201708/W020170818581370130828>.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价实验准则 第1部分: 土壤降解试验 GB/T31270.1-2014 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [27] 周新荣. 工业园区环境风险源识别与分级研究[J]. *环境监控与预警*, 2013, 5(4): 4-8.
- [28] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 水利水电工程地质勘察规范GB50487-2008 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [29] WANG Y, WANG S J, JIANG L L, et al. Does the geographic difference of soil properties matter for setting up the soil screening levels in large countries like China?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56(9): 5684-5693.
- [30] 中华人民共和国水利部. 地下水动态月报[EB/OL]. [2022-04-15]. <http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/dxsdtyb/>.
- [31] 邹宇, 董建国, 刘军军, 等. 府城遗址浅层地下水水质的分类判别技术研究[J]. *环境科学与技术*, 2019, 42(8): 217-225.
- [32] 刘焯彤, 汤玥, 马宗伟. 江苏省太湖流域排污许可证制度绩效评估: 以印染行业为例[J]. *环境科学与技术*, 2021, 44(9): 220-227.
- [33] MIN L, YAN X Z, XIN M Z. Research on plastic pollution and ecological risk assessment based on AHP[J]. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2020, 127: 18-29.
- [34] ZHANG R, ZHANG X, YANG J, et al. Wetland ecosystem stability evaluation by using analytical hierarchy process (AHP) approach in Yinchuan plain, China[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2013, 57(3): 366-374.
- [35] 丁琪琪, 龚雄虎, 王兆德, 等. 基于多指标综合评分法筛选地表水环境优先污染物——以湖北涨渡湖为例[J]. *湖泊科学*, 2022, 34(1): 90-108.
- [36] 余波平, 韩琦, 仪修玲, 等. 基于危害性综合评价的优先控制化学品筛选识别——以南方某市为例[J]. *环境工程技术学报*, 2021, 11(4): 789-796.
- [37] SAATY T L. How to make a decision: the analytic hierarchy process[J]. *European Journal of Operational Research*, 1994.
- [38] SUN S Y, ZHENG N, WANG S J, et al. Source analysis and human health risk assessment based on entropy weight method modification of PM2.5 heavy metal in an industrial area in the northeast of China[J]. *Atmosphere*, 2021, 12(7): 852-852.
- [39] 余文波, 蔡海生, 张莹, 等. 湖北省土地生态安全预警评价及调控[J]. *环境科学与技术*, 2018, 41(2): 189-196.
- [40] 徐明亮, 赵双军. 基于层次分析法与模糊综合评价法的纺织企业绿色供应链评估研究[J]. *自动化技术与应用*, 2021, 40(3): 133-136.
- [41] DUMANIC I, JOZIC S, BAJIC D, et al. Optimization of semi-solid high-pressure die casting process by computer simulation, taguchi method and grey relational analysis[J]. *International Journal of Metalcasting*, 2020, 15(1): 108-118.
- [42] 中华人民共和国生态环境部. 建设用地土壤污染风险评估技术导则 HJ25.3-2019 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019.
- [43] 中华人民共和国生态环境部. 土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行) GB36600-2018 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2018.
- [44] 龙雨, 杨兵, 秦普丰, 等. 土壤包气带含水率对氯代烃垂向迁移影响的模拟研究[J]. *环境科学研究*, 2017, 30(8): 1255-1261.
- [45] WANG G, RECKHORNS B F, GRATHWOHL P. Volatile organic compounds volatilization from multicomponent organic liquids and diffusion in unsaturated porous media[J]. *Vadose Zone Journal*, 2003, 2(4): 692-701.
- [46] 李卫东, 张超艳, 郭晓欣, 等. 基于土壤气挥发通量的污染场地三氯甲烷健康风险评估[J]. *生态毒理学报*, 2021, 16(1): 87-96.
- [47] United States National Library of Medicine. National center for biotechnology information[EB/OL]. [2022-04-13]. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- [48] US EPA. Comptox chemicals dashboard[EB/OL]. [2022-04-02]. <https://comptox.epa.gov/dashboard/>.
- [49] US EPA. Integrated risk information system[EB/OL]. [2022-05-03]. <https://www.epa.gov/iris>.
- [50] 王亘, 翟增秀, 耿静, 等. 40种典型恶臭物质嗅阈值测定[J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(6): 348-351.
- [51] 安慧, 赵东风, 王志伟, 等. 炼油厂厂界恶臭强度分级评估[J]. *化工环保*, 2018, 38(6): 733-737.
- [52] 能昌信, 邱盼盼, 徐亚, 等. 氨渣豁免处置情景下的地下水污染与健康风险[J]. *中国环境科学*, 2022, 42(2): 688-696.

(责任编辑: 金曙光)

## Priority evaluation method of odor pollutants in contaminated sites based on analytic hierarchy process and entropy weight method: A case study of pesticide contaminated sites

HU Xinglu<sup>1,2</sup>, XIONG Jie<sup>2</sup>, ZHANG Chaoyan<sup>2</sup>, GUO Xiaoxin<sup>2</sup>, ZHOU Youya<sup>2</sup>, Li Haiming<sup>1,\*</sup>

1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;
2. Technical Centre for Soil, Agriculture and Rural Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China

\*Corresponding author, E-mail: lhm@tust.edu.cn

**Abstract** An urgent requirement for environmental management of contaminated sites in China's pesticide and chemical industries is the risk control of odorous contaminants in soil. In order to screen the priority control odor pollutants in soil, the evaluation index system of the priority of odor pollutants in contaminated sites was established based on the systematic quantification and analysis of the migration, exposure process, and hazard effect of volatile odor pollutants in soil. The analytic hierarchy process-entropy weight method was used to determine the comprehensive evaluation weight of the index, and the influencing factors of the priority odor pollutants were analyzed. Three pesticide case sites was selected for confirmatory evaluation. These results exhibited that among the four criteria that constitute the second level of the priority ranking index system of odor pollutants in sites, the influence degree from high to low was harmfulness, migration, protection and exposure. The subjective and objective comprehensive weights of the 15 elements in the third level ranged from 0.033 6 to 0.149 6, and the weight of the olfactory threshold was the highest. The priority evaluation grade of odor pollutants in the case sites based on the analytic hierarchy process-entropy weight method was consistent with the grade of odor activity value and health risk impact assessment based on the measured data. This research can provide a reference for the screening of priority control of odor pollutants in odor pollution sites.

**Keywords** contaminated site; odor pollutants; analytic hierarchy process; entropy weight method; priority evaluation