

湖北省重点行业企业周边土壤重金属污染现状及潜在生态危害评价

范俊楠¹ 贺小敏¹ 陆泗进² 李爱民³ 宋国强¹

1.湖北省环境监测中心站,武汉 430072; 2.中国环境监测总站,北京 100012; 3.黄石环境监测站,黄石 435000

摘要 对湖北省内 5 类重点行业的 25 家规模化企业周边土壤中的 Hg、As、Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd 等重金属含量进行监测,采用内梅罗污染指数评价法和 Hakanson 生态危害指数对监测结果进行评价。结果表明:湖北省内 5 类重点行业企业周边清洁土壤的监测点位占 50.0%~87.5%,有 37.5%~81.5%的监测点位存在轻微的潜在生态危害风险。矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造两类行业企业周边土壤中 Cd、As 等重金属含量水平较高,Cd 的最大含量分别为 10.3、4.5 mg/kg,As 的最大含量分别为 114.0、766.0 mg/kg。两类企业周边土壤中重度污染的监测点位分别占 3.6%和 5.6%,重度污染监测点位分别占 7.1%和 5.6%;两类行业企业周边有 7.1%和 2.9%的监测点位土壤中重金属存在很强至极强的潜在生态危害风险。

关键词 土壤; 重金属污染; 内梅罗污染指数; 地累积污染指数; 潜在生态危害

中图分类号 X 53; X 820.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)05-0074-07

长期以来,金属矿产采选冶炼、机械加工、电子器件制造、电镀、制药、皮革、纺织、石化等行业生产过程中产生了大量的重金属污染物,这些污染物通过“三废”的方式进入企业周边环境^[1-2]。土壤是重金属地球化学行为重要的环境介质,大量的重金属在土壤中的累积会对生态系统和人体健康构成严重威胁^[3-5]。湖北省是中部地区工业大省,境内矿产资源丰富,工业门类齐全,有冶金、化工、制造等涉重金属企业 300 余家。多年来矿产资源的不合理开发,化工企业“三废”的排放等导致企业周边土壤受污染严重,潜在生态危害风险较大。本研究采用内梅罗污染指数评价比较了湖北省 5 类重点行业企业周边土壤中重金属污染现状,针对不同行业污染特征进行源解析,统计分析主要污染的重金属元素,并采用 Hakanson 生态危害指数评价企业周边土壤中重金属潜在的生态危害风险^[6-8],旨在为湖北省土壤污染防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

选取湖北省境内矿产采选与冶炼(A)、机械与电子器件加工制造(B)、化学原料与化学品制造

(C)、印染与纺织品制造(D)、发电与能源供给(E)等 5 类重点行业 25 家规模化企业,研究区域规模化企业分布见图 1。在企业所在地年主风向的下风向(或企业废水排放去向下游)75、200、400 m 处布设土壤样品采集点位,同时在企业所在地年主风向的上风向(或企业所在地地下水流向的上游)2 km 处布设对照土壤样品采集点位。土壤样品采集点位的采样区域范围为 20 m×20 m(长×宽),采用双对角线采样方法在采样区域内采集 5 个分点的表层 20 cm 深度土壤样品进行混合,共计获得 100 个土壤样品。

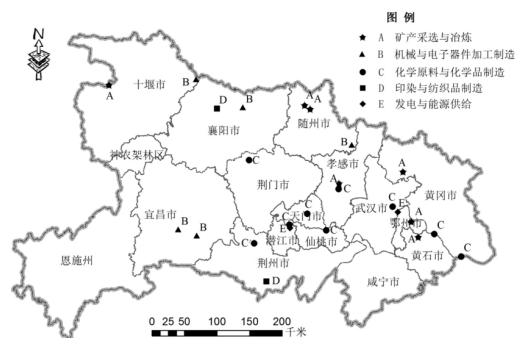


图 1 研究区域规模化企业分布

Fig.1 The enterprise distribution of research region

收稿日期: 2017-11-07

基金项目: 国家环保公益性科研项目(201509031)

范俊楠, 硕士, 工程师。研究方向: 环境分析。E-mail: 112115590@qq.com

通信作者: 贺小敏, 博士, 高级工程师。研究方向: 环境分析。E-mail: 39208454@qq.com

1.2 样品的处理与测试

样品带回实验室后采用自然风干、研磨、过粒径0.149 mm筛处理。样品前处理与分析测试采用标准方法包括 GB/T 22105.1-2008、GB/T 22105.2-2008、GB/T 17138-1997、GB/T 17139-1997、GB/T 17141-1997 和 NY/T 1121.2-2006。采用 pH 计 (PHS-3C, 上海仪科) 测试土壤 pH 值; 原子荧光光度计 (AFS-3100, 北京海光) 测试 Hg 和 As; 原子吸收分光光度计 (Pin AAd 900T, 美国珀金埃尔默) 测试 Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd。样品测试过程采用样品空白、国家土壤标准物质 (GSS-13、GSS-15、GSS-25 和 GSS-28) 对分析结果进行准确度控制; 采用平行样品对分析结果进行精密度控制。样品空白测试结果均符合相应标准方法质量控制与保证要求; 国家

土壤标准物质测试结果均在土壤成分的认定值范围内; 平行样品测试结果的相对偏差小于 4.7%。

1.3 评价方法

内梅罗污染指数评价法是一种既考虑了不同重金属对土壤环境影响, 又突出了最严重的重金属污染物造成的污染危害, 能够比较全面地反映土壤的污染状况^[9]。内梅罗污染指数土壤污染分级标准如表 1 所示。

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}, P_N = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + [\text{Max}(P_i)]^2}{2}} \quad (1)$$

式(1)中, P_i 为土壤中污染物 i 的单项污染指数; C_i 为土壤中污染物 i 的含量, mg/kg; S_i 为土壤中污染物 i 含量的质量评价标准, mg/kg; P_N 为土壤中污染物的内梅罗污染指数。

表 1 内梅罗污染指数土壤污染分级标准

Table 1 The standard of pollution classification for Nemerow pollution index

项目 Item	I	II	III	IV	V
P_N	$P_N \leq 0.7$	$0.7 < P_N \leq 1.0$	$1.0 < P_N \leq 2.0$	$2.0 < P_N \leq 3.0$	$P_N > 3.0$
污染程度 Pollution level	清洁 Clean	警戒限 Alert limit	轻度 Mild	中度 Moderate	重度 Severe

地累积污染指数是一种考虑了重金属背景值和人为活动影响的环境质量评价方法, 用以判别人为活动对环境的影响^[10]。地累积污染指数土壤污染分级标准如表 2 所示。

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (K \times B_i)] \quad (2)$$

式(2)中: I_{geo} 为土壤中污染物的地累积污染指数; C_i 为土壤中污染物 i 的含量, mg/kg; B_i 为土壤中污染物 i 的背景值; K 为背景值变动系数, 取值 1.5。

Hakanson 生态危害指数评价法是综合考虑了重金属的浓度水平、协同作用、生态效应、生物毒性

等因素, 用于土壤或沉积物中重金属及其潜在生态危害评价^[6]。重金属毒性系数参考徐争启等^[11]研究, 研究区域土壤重金属元素背景值参考中国土壤元素背景值^[12], Hakanson 生态危害指数分级关系标准如表 3 所示。

$$C_f^i = \frac{C_s^i}{B_n^i}, E_f^i = T_f^i \times C_f^i, R_1 = \sum_{i=1}^n E_f^i \quad (3)$$

式(3)中: C_f^i 为单个重金属污染系数, C_s^i 为土壤中污染物 i 的含量, mg/kg, T_f^i 为污染物毒性响应系数; R_1 为土壤中污染物的潜在生态危害指数。

表 2 地累积污染指数土壤污染分级标准

Table 2 The standard of pollution classification for geoaccumulation pollution index

项目 Item	I	II	III	IV	V	VI	VII
I_{geo}	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} > 5$
污染程度 Pollution level	清洁 Clean	轻-中 Mild-moderate	中 Moderate	中-强 Moderate-severe	强 Severe	强-极强 Severe-extremely severe	极强 Extremely severe

表 3 潜在生态危害指数土壤污染分级标准

Table 3 The standard of pollution classification for potential ecological index

指数 Index	轻微 Mild	中度 Moderate	强度 Severe	很强 Very severe	极强 Extremely severe
C_f^i	$C_f^i < 1$	$1 \leq C_f^i < 3$	$3 \leq C_f^i < 6$	$C_f^i \geq 6$	/
E_f^i	$E_f^i < 40$	$40 \leq E_f^i < 80$	$80 \leq E_f^i < 160$	$160 \leq E_f^i < 320$	$E_f^i \geq 320$
R_1	$R_1 < 150$	$150 \leq R_1 < 300$	$300 \leq R_1 < 600$	$600 \leq R_1 < 1200$	$R_1 \geq 1200$

2 结果与分析

2.1 重金属含量及超标状况

5类重点行业企业周边监测点位土壤中 Hg、As、Cu、Zn、Ni、Cr、Pb、Cd 等重金属元素含量特征统计见表4。由表4可知,5类重点行业企业周边土

壤重金属元素含量差异性较大,如矿产采选与冶炼企业周边土壤 Cd 和 Cu 最大含量分别为 10.29、1 204.5 mg/kg,均值分别为 1.19、149.4 mg/kg;化学原料与化学品制造企业周边土壤 As 最大含量为 766.0 mg/kg、均值为 42.0 mg/kg,明显高于其他行业类型。

表4 土壤重金属含量特征统计

Table 4 The statistical characteristics of heavy metal concentration in soil

行业类别 Industry categories	统计项目 Statistical item	Cd	Hg	As	Cu	Pb	Cr	Zn	Ni
A	含量范围 Content range	0.12~ 10.29	0.02~ 0.32	3.3~ 114.0	13.3~ 1 204.5	19.1~ 347.5	32.8~ 411.0	55.4~ 465.7	12.2~ 42.3
	中位值 Median value	0.21	0.05	7.4	21.1	30.1	53.0	78.8	22.3
	均值 Average value	1.19	0.09	18.3	149.4	63.3	78.6	142.2	26.1
	标准偏差 Standard deviation	2.90	0.08	28.9	347.9	82.5	78.5	128.6	8.3
	含量范围 Content range	0.08~ 0.62	0.01~ 0.14	10.1~ 33.1	24.3~ 49.0	24.3~ 57.5	57.3~ 248.6	63.7~ 162.3	31.8~ 58.3
	中位值 Median value	0.30	0.04	15.1	28.8	28.9	92.6	92.6	43.2
B	均值 Average value	0.31	0.06	17.3	33.1	31.1	96.5	100.1	44.3
	标准偏差 Standard deviation	0.14	0.05	7.0	8.4	8.0	47.3	31.9	8.4
	含量范围 Content range	0.13~ 4.52	0.02~ 0.33	4.4~ 766.0	13.3~ 269.2	17.7~ 243.6	31.5~ 264.5	57.3~ 675.5	12.0~ 112.3
	中位值 Median value	0.32	0.09	10.0	33.1	30.1	75.5	12.3	29.8
	均值 Average value	0.50	0.10	42.0	41.7	39.8	84.8	118.7	34.7
	标准偏差 Standard deviation	0.84	0.07	148.0	48.0	42.5	45.2	118.0	19.3
C	含量范围 Content range	0.07~ 1.44	0.02~ 0.16	11.6~ 17.5	23.2~ 82.3	26.6~ 68.3	67.2~ 128.5	66.6~ 166.9	28.9~ 51.0
	中位值 Median value	0.61	0.14	14.8	51.3	46.0	94.2	138.7	44.6
	均值 Average value	0.63	0.12	14.9	52.5	47.3	98.7	121.4	43.5
	标准偏差 Standard deviation	0.58	0.05	2.1	27.0	19.6	21.0	48.4	8.0
	含量范围 Content range	0.16~0.45	0.03~0.54	6.7~10.9	20.5~30.8	23.0~39.7	66.9~74.5	74.8~95.9	27.8~32.8
	中位值 Median value	0.35	0.10	10.2	29.2	31.8	73.6	86.2	29.3
E	均值 Average value	0.31	0.17	8.9	26.6	31.3	71.2	83.6	29.3
	标准偏差 Standard deviation	0.98	0.11	0.20	1.7	3.9	7.2	3.2	7.8

注 Note: A:矿产采选与冶炼 Mineral monitoring and smelting; B:机械与电子器件加工制造 Machinery & electronic device processing and manufacturing; C:化学原料与化学品制造 Chemical raw materials and chemical manufacturing; D:印染与纺织制品制造 Printing & dyeing textile manufacturing; E:发电与能源供给 Power generation and energy supply.下同 The same as below.

5类重点行业企业周边监测点位土壤中重金属元素测定结果与土壤环境质量标准《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)二级标准限值比较,结果显示机械与电子器件加工制造、印染与纺织品制造、发电与能源供给三类行业企业周边土壤监测点位仅Cd、As等重金属元素存在超标情况,最大超标倍数在0.1~1.4范围之内。矿产采选与冶炼和化学原料与化学品制造企业周边土壤监测点位8项重金属元素中有7项存在超标现象,超标元素种类明显多于其他3类行业。

监测点位重金属元素超标率排序结果为:矿产采选与冶炼为Cd(33.3%)>Cu(19.0%)>As、Zn(14.3%)>Pb、Cr、Ni(4.7%)>Hg(未超标);化学原料与化学品制造为Cd、As(14.8%)>Ni(11.1%)>Cu、Zn、Cr、Hg(0.4%)>Pb(未超标)。监测点位重金属元素最大超标倍数排序结果为:矿产采选与冶炼为Cd(33.3倍)>Cu(11.0倍)>As(3.6倍)>Zn(0.9倍)>Cr(0.6倍)>Pb(0.2倍)>Ni(0.1倍)>Hg(未超标);化学原料与化学品制造为As(24.5倍)>Cu(16.9倍)>Cd(14.1倍)>Ni(1.8倍)>Zn(1.7倍)>Cr(0.8倍)>Hg(0.1倍)>Pb(未超标)。矿产采选与冶炼和化学原料与化学品制造企业周边土壤监测点位重金属元素最大超标倍数排在前三位为Cd、As、Cu,其对照点位土壤中Cd、As、Cu的含量范围分别为0.08~0.39和0.19~0.98 mg/kg、3.3~11.1和6.3~32.5 mg/kg、7.5~87.9和21.8~79.6 mg/kg,监测点位土壤中重金属元素含量较对照点变化范围约-30%(含量降低)~2500%(含量升高)不等。

2.2 重金属污染状况评价

对5类重点行业企业周边土壤重金属污染现状采用内梅罗污染指数进行评价,监测点位重金属各级污染程度占比见图2。5类重点行业企业周边土壤未受重金属污染的监测点位占比50.0%~87.5%;矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造两类行业企业周边土壤受重金属污染严重,污染程度为中度的监测点位占比分别为3.6%和5.6%,污染程度为重度的监测点位占比分别为7.1%和5.6%;机械与电子器件加工制造、印染与纺织品制造、发电与能源供给3类行业企业周边土壤监测点位受重金属污染程度为轻度,占比分别为15.0%、50.0%和12.5%。

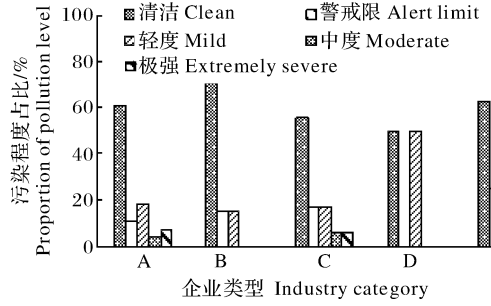


图2 内梅罗污染指数统计结果

Fig.2 The results of Nemerow pollution index statistics

2.3 潜在生态危害评价

对上述5类重点行业企业周边土壤重金属潜在生态危害采用 Hakanson 生态危害指数进行评价,监测点位重金属各级潜在生态危害风险程度占比见图3。5类重点行业类别企业周边土壤中重金属潜在生态危害风险程度为轻微的监测点位占比37.5%~81.5%;矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造企业周边土壤重金属潜在生态危害风险较大,潜在生态危害风险程度为很强的监测点位占比分别为7.1%和2.9%;潜在生态危害风险程度为强度至极强的监测点位占比排序为D(25.0%)>E(12.5%)>A(7.4%)>C(5.7%)>B(5.0%);潜在生态危害风险程度为中度的监测点位占比排序为C(42.9%)>D、E(37.5%)>B(20.0%)>A(11.1%)。

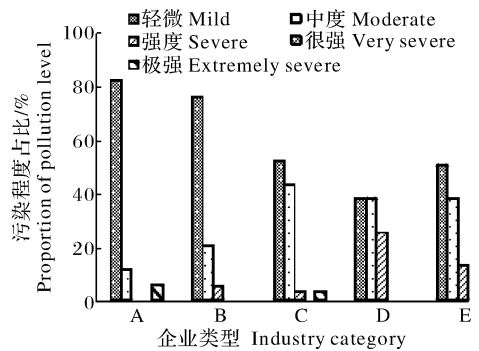


图3 潜在生态危害指数统计结果

Fig.3 The results of potential ecological hazard index statistics

2.4 重金属污染源分析

对矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造企业周边土壤中重金属进行相关性分析和因子分析统计,统计结果分别见表5、表6。

表 5 矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造企业周边土壤中重金属含量相关性

Table 5 The correlation of heavy metal concentration in soil around the mineral monitoring and smelting, and the chemical raw materials and manufacturing

元素 Element	矿产采选与冶炼 Mineral monitoring and smelting							化学原料与化学品制造 Chemical raw materials and chemical manufacturing								
	Cd	Hg	As	Cu	Pb	Cr	Zn	Ni	Cd	Hg	As	Cu	Pb	Cr	Zn	Ni
Cd	1.000								1.000							
Hg	0.883*	1.000							0.057	1.000						
As	0.935*	0.817*	1.000						0.217	0.097	1.000					
Cu	0.991*	0.882*	0.948*	1.000					0.603*	0.164	0.431*	1.000				
Pb	0.917*	0.805*	0.893*	0.931*	1.000				0.440*	0.077	0.451*	0.347	1.000			
Cr	0.118	0.087	0.396	0.147	0.351	1.000			0.039	0.288	0.179	0.302	0.208	1.000		
Zn	0.734*	0.612*	0.709*	0.788*	0.817*	0.148	1.000		0.753*	0.145	0.406	0.881*	0.508*	0.166	1.000	
Ni	0.280	0.212	0.326	0.314	0.423	0.301	0.545*	1.000	-0.026	0.225	0.024	0.332	0.049	0.864*	0.128	1.000

注 Note: *, $P < 0.01$.表 6 第一主因子(F_1)的影响因素Table 6 The influence factors of the first principal factor (F_1)

元素 Element	矿产采选与冶炼 Mineral monitoring and smelting		化学原料与化学品制造 Chemical raw materials and chemical manufacturing	
	F_1 得分 F_1 goal	F_1 载荷 F_1 load	F_1 得分 F_1 goal	F_1 载荷 F_1 load
Cd	0.226	0.984	0.226	0.978
Hg	0.227	0.919	0.023	0.093
As	0.164	0.903	0.220	0.952
Cu	0.218	0.987	0.225	0.974
Pb	0.155	0.903	0.172	0.744
Cr	-0.148	0.041	-0.007	-0.037
Zn	0.121	0.770	0.225	0.976
Ni	-0.087	0.232	-0.016	-0.077

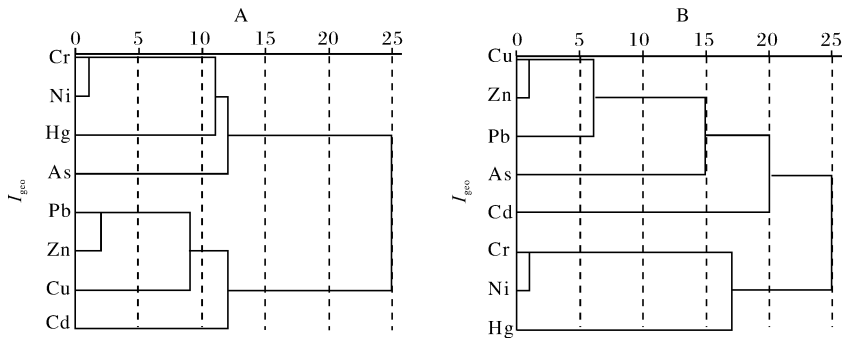
矿产采选与冶炼企业周边土壤污染第一主因子的累积贡献为 68.4%，主要重金属元素是 Cd、Hg、As、Cu、Pb、Zn，且 Cd、Hg、As、Cu、Pb 的方差最大正交旋转后的第一主因子载荷系数大于 0.9，为主要贡献元素。Cd、Hg、As、Cu、Pb、Zn 的相关系数范围 0.546 ~ 0.991，均达到了显著性正相关水平 ($P < 0.01, n = 28$)，表明这几种重金属的同源性概率非常大。

化学原料与化学品制造企业周边土壤污染第一主因子的累积贡献度为 54.1%，主要重金属元素是 Cd、As、Cu、Pb、Zn，且 Cd、As、Cu、Zn 的方差最大正交旋转后的第一主因子载荷系数大于 0.9，为主要贡献元素。其中，Cd-Cu、Cd-Pb、Cd-Zn、As-Cu、As-Pb、Cu-Zn、Pb-Zn 的相关性系数范围 0.440 ~ 0.881，呈显著性正相关水平 ($P < 0.01, n = 36$)；Cr-Ni 相关性系数为 0.864，达到了显著性正相关水平

($P < 0.01, n = 36$)，但对土壤污染的贡献较小，主要是因为 Cr、Ni 属于第二主因子。

对矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造企业周边土壤中重金属进行地累积污染指数 (I_{geo}) 聚类分析。结果显示：矿产采选与冶炼行业企业周边土壤中 Cd、Cu、Pb 的地累积污染程度为强-极强，Hg 的地累积污染程度为中度，As 的地累积污染程度为轻度；化学原料与化学品制造行业企业周边土壤中 Cd 的地累积污染程度为强-极强，Cu、Pb、Hg、As 地累积污染程度均为中度。

两类行业企业周边土壤重金属地累积污染指数做聚类统计，统计结果见图 4。在组间距离为 15 时，矿产采选与冶炼企业周边土壤 8 项重金属元素地累积污染指数聚为 2 类，化学原料与化学品制造企业周边土壤 8 项重金属元素地累积污染指数聚为 5 类。



A:矿产采选与冶炼 Mineral monitoring and smelting; B:化学原料与化学品制造 Chemical raw materials and chemical manufacturing.

图4 矿产采选与冶炼和化学原料与化学品制造企业周边土壤中重金属地累积污染指数聚类分析

Fig.4 The results of geoaccumulation index clustering statistics of heavy metal in soil around the mineral monitoring and smelting, and the chemical raw materials and manufacturing

3 讨论

本研究考察的5类重点行业企业周边土壤存在不同程度重金属污染,其中矿产采选与冶炼、化学原料与化学品制造企业周边土壤中8种重金属变异系数均大于100%,属强变异。变异系数越大,人为活动的干扰作用越强烈,或者理解为污染程度越严重^[13-14],根据相关性的显著程度来判断重金属元素污染的同源性已得到大多数学者的认可,矿产采选与冶炼企业周边土壤有6种重金属元素含量呈显著性正相关,同源性污染可能性较大^[15]。地累积污染指数聚类分析的结果为两类,进一步说明各重金属元素同源性污染概率较大,也符合重金属污染为伴生性或综合性的复合污染的一般特征^[16]。化学原料与化学品制造企业周边土壤重金属元素显著性呈正相关的元素比较分散,地累积污染指数聚类结果为5类,同源性较差,不同企业产生特征污染物存在差异^[17]。采用因子统计分析,分析可能造成污染的8种重金属变量之间关系,根据8种重金属变量的载荷系数大小,综合得出Cd、As、Cu、Zn等为主要重金属污染元素。对于矿产采选与冶炼行业而言,多数重金属都存在伴生矿的情况,采选与冶炼过程中易造成重金属污染^[18];对于化学原料与化学品制造行业,涉及石化、精细化工、农药和印染等行业,存在行业特征污染物排放造成污染的可能。已有研究表明,化工行业金属配合物催化剂的使用及排放是周边土壤重金属含量富集的重要原因^[19]。

单纯采用重金属含量与土壤环境质量标准限值比较,依据重金属含量超标情况来研究土壤受重金属污染情况存在一定的局限性。本研究中5类重点

行业企业周边土壤中重金属内梅罗污染指数污染现状的评价结果与Hakanson生态危害指数潜在生态危害风险评价结果趋势基本一致,这种趋势既考虑了不同重金属对土壤环境影响,又考虑了超标严重的重金属污染物造成的污染危害^[20],一定程度上反应了土壤中各重金属元素已存在不同程度的累积,对生态环境的潜在危害风险应予以重视。

参 考 文 献

- [1] NABULO G, ORYEM-ORIGA H, DIAMOND M. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda[J]. Environmental research, 2006, 101(1): 42-52.
- [2] PRUVOT C, DOUAY F, HERVE F, et al. Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas[J]. Journal of soils sediments, 2006, 6(4): 215-220.
- [3] RODRIGUEZ L, RUIZ E, ALONSO-AZCARATE J, et al. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain[J]. Journal of environmental management, 2009, 90(2): 1106-1116.
- [4] LI X, THORNTON I. Chemical partitioning of trace and major elements in soils contaminated by mining and smelting activities[J]. Applied geochemistry, 2001, 16(15): 1693-1706.
- [5] 戴彬, 吕建树, 战金成, 等. 山东省典型工业城市土壤重金属来源、空间分布及潜在生态风险评价[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 507-515.
- [6] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach[J]. Water research, 1980, 14(8): 975-1001.
- [7] 王斐, 黄益宗, 王小玲, 等. 江西钨矿周边土壤重金属生态风险评价: 不同评价方法的比较[J]. 环境科学, 2015, 34(2): 225-233.

- [8] 余璇,宋柳霆,滕彦国.湖南省某铅锌矿土壤重金属污染分析与风险评价[J].华中农业大学学报,2016,35(5):27-32.
- [9] 陈怀满.环境土壤学[M].北京:科学出版社,2005:522-523.
- [10] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J].Geochemical journal,1969,2:108-118.
- [11] 徐争启,倪师军,张成江.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J].环境科学与技术,2008,31(2):112-115.
- [12] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990:330-381.
- [13] KIM J Y, KIM K W, AHN J S, et al. Investigation and risk assessment modeling of as and other heavy metals contamination around five abandoned metal mines in Korea[J]. Environmental geochemistry and health, 2005, 27(2): 193-203.
- [14] 丁园,钟桂芳,刘燕红,等.南昌地区不同企业周边重金属分布及影响规律[J].生态环境学报,2009,18(5):1783-1787.
- [15] LIAO G L, LIAO D X, LI Q M. Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones[J]. Transactions of nonferrous metals Society of China, 2008, 18(1): 207-211.
- [16] 凌其聪,严森,鲍征宇.大型冶炼厂重金属环境污染特征及其生态效应[J].中国环境科学,2006,26(5):603-608.
- [17] 赵秀峰,王强盛,石宁宁,等.石化园区周边农田土壤重金属污染分析与评价[J].环境科学学报,2010,30(1):133-141.
- [18] 张溪,周爱国,甘义群,等.金属矿山土壤重金属污染生物修复研究进展[J].环境科学与技术,2010,30(3):106-112.
- [19] 雷国建,刘千钧,陈志良,等.不同行业污染土壤重金属污染特征比较研究[J].土壤,2013,45(6):1023-1027.
- [20] 黄璜,南忠仁,胡小娜,等.金昌市城区土壤重金属空间分布及潜在生态危害评价[J].环境监测管理与技术,2009,21(5):30-34.

Status of heavy metal pollution and potential ecological hazard assessment in surrounding soil of enterprises in Hubei Province, China

FAN Junnan¹ HE Xiaomin¹ LU Sijin² LI Aimin³ SONG Guoqiang¹

1. Hubei Environmental Monitoring Centre Station, Wuhan 430072, China;

2. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China;

3. Huangshi City Environmental Protection Monitoring Station, Huangshi 435000, China

Abstract The content of Hg, As, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb and Cd in the soil of twenty-five large-scale enterprises in five key industries in Hubei Province was determined. The Nemerow pollution index and Hakanson ecological risk index evaluation methods are applied to evaluate the determination results of eight heavy metals in the soil. The results showed that the proportion of monitoring sites in the soil around the five key industries that are not polluted by heavy metal was less than 50.0% -87.5%, and the proportion of monitoring sites with slight potential risks of heavy metals was 37.5%-81.5%. In the two enterprises-mineral mining and smelting as well as chemical raw material and chemical manufacturing, the maximum concentration of Cd is 10.3 mg/kg and 4.5 mg/kg respectively, and As is 114.0 mg/kg and 766.0 mg/kg respectively. The soil is contaminated by heavy metals with a moderate contamination of 3.6% and 5.6%, a severe contamination of 7.1% and 5.6% respectively. 7.1% and 2.9% of the monitoring soil around the two enterprises are facing seriously potential ecological risks of heavy metals.

Keywords soil; heavy metals pollution; Nemerow pollution index; cumulative pollution index; potential ecological hazard

(责任编辑:陆文昌)