

徐州北郊土壤重金属污染评价研究

张满满¹, 肖 昕¹, 谭 敏²

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:对徐州北郊农田土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属的含量及对土壤的污染情况进行了测定和评价分析。结果表明:徐州北郊农田土壤受到了污染,该区域内有固体残渣、煤矸石和粉煤灰等的常年堆放,经过雨水淋溶后,这些固废中的重金属元素会向周边土壤中迁移,致使污染土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属的含量均高于当地土壤背景值。采用地质累积指数 Müller 指数分析表明,Zn、Cr 没有表现出污染;Pb、Cu 污染强度不大,表现出轻度污染;而 Cd 则呈现出极强污染,污染程度顺序 $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr$ 。

关键词:工业区;土壤;重金属;污染特征

中图分类号:X 825 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)06-0177-03

土壤是植物生长必不可少的重要物质基础之一,土壤的安全性直接关系到植物的食品安全性,进而影响到人类的健康。近年来,随着人口的急剧增长,煤矿工业随之日趋发达,伴随而来的便是煤矿区附近的环境问题日益严重^[1]。许多重金属元素进入土壤系统,导致土壤的结构、组成及功能发生变化,抑制多种微生物的生长,使某些有害物质得不到微生物的有效分解,大大降低了土壤的环境质量^[2]。重金属在土壤中逐渐积累,最后通过“土壤-植物-人体”食物链的途径间接被摄入人的体内,使人体健康受到严重的威胁^[3]。因此,开展煤矿工业区周边土壤的重金属污染现状及安全性评价研究,对土壤的可持续利用,农产品的健康发展和人类的健康具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省徐州市北郊工业区周边的农田区域,该区属暖温带季风气候,年平均气温 14℃,年平均降水量 860 mm,年无霜期 200~220 d。研究区域内有 2 座较大的煤矿,即垓城矿和柳新矿。煤矿开采过程中会产生大量的煤矸石,常年堆积的煤矸石经雨水淋溶后,其中的重金属经过迁移进入周边的农田土壤,造成土壤重金属污染。此外,该研究区域内有较多的工厂,这些工厂会产生大量的粉煤灰,粉煤灰中也含有较多的重金属,与煤矸石一样也会造成土壤重金属污染。整个研究区域位于东至 307 国道,西至柳沿公路、南至柳新矿北

侧,北至苏北堤河,总面积 703.33 hm²。

1.2 试验方法

样品于 2011 年 5 月中旬采集,根据该研究区域的污染源分布、地形地貌及气象(该地区常年夏季呈东南风向、冬季呈西北风向)等特征,在研究区域内设置了 7 个采样点(分别用 1、2、3、4、5、6、7 表示),见图 1 所示。第 1 点为煤矿等工业区,即污染源,2、3、4、5、6、7 点位分别为以第 1 个取样点(污染源)中心在距其 3、5、10、30、50、100 m 处的采样点位,剥去表面土壤,取 0~15 cm 深度的表层土壤,每个采样点位处取 3 个土壤样品,装入密封袋中,做好标记。将样品置于干净的密封袋中。除去土壤中的植物根系和石块,将土壤样品保持在室温下自然风干,风干样品用玛瑙研钵磨细,过 100 目尼龙筛^[4],保存好待测。

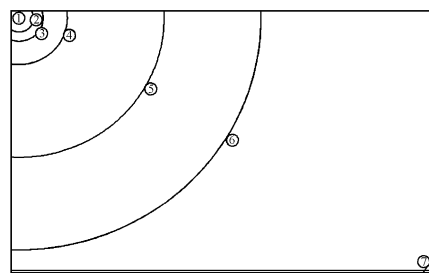


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Location of sampling sites

1.3 项目测定

测定土壤样品中的 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属。称取适量的预处理样品,用 HNO₃-HF-HClO₄-HCl 混合酸法消解^[5]。Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种元素均采用 ICP-MS 测定。

第一作者简介:张满满(1988-),女,在读硕士,现主要从事土壤学和环境毒理学等方面的研究工作。

收稿日期:2012-12-11

1.4 数据分析

所有试验数据均采用 Excel 2007、SPSS 17.0 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 重金属含量测定结果及单因子评价

2.1.1 重金属含量测定结果 土壤样品的重金属含量测定结果的平均值及标准偏差见表 1。由表 1 可知,随着与污染源(即第 1 个采样点)水平距离的增加,重金属 Cr、Pb、Cu、Cd 的含量均呈现减少的趋势,而 Zn 则表现出先减少后增加的趋势,这可能是由于第 6 和第 7 个采

表 1 土壤样品重金属元素测定结果

元素	1	2	3	4	5	6	7
Pb	77.88±8.07	77.31±9.59	67.98±0.12	67.26±0.18	59.49±3.07	56.64±0.99	42.79±4.94
Zn	116.01±18.27	113.69±14.11	107.82±1.54	101.54±6.51	82.97±3.99	93.15±14.69	95.46±7.24
Cu	53.52±3.35	55.87±1.09	51.66±3.99	52.41±3.40	51.32±1.44	50.33±2.64	49.10±3.16
Cr	104.33±9.15	104.74±9.79	101.86±7.64	101.52±7.53	100.07±6.22	103.20±9.43	98.60±5.59
Cd	12.78±1.23	7.10±2.02	9.27±0.44	9.04±0.16	6.17±0.59	6.32±0.19	6.68±0.52

表 2 中国和徐州市土壤元素背景值

元素	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd
徐州土壤元素背景值	36	102	32	72	0.42
中国土壤元素背景值	26	72.4	22.6	61	0.097

2.1.2 单因子评价 土壤的重金属污染程度单因子评价采用地质累积指数^[9-10]进行判断。地质累积指数计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n} \quad (1),$$

式中, C_n 为样品中元素 n 的浓度; B_n 为元素 n 的地球化学元素背景浓度;1.5 为常数,是考虑到地理区域可能会引起背景值的变动。参照常用地质累积指数 Müller 指数^[11-12]的分级标准,研究区域的重金属污染等级见表 3。

表 3 地质累积指数 Müller 指数分级标准

地质累积指数 I_{geo} 数值范围	污染级别	污染程度
$I_{\text{geo}} < 0$	0 级	无污染
$0 \leq I_{\text{geo}} < 1$	1 级	无-轻污染
$1 \leq I_{\text{geo}} < 2$	2 级	中度污染
$2 \leq I_{\text{geo}} < 3$	3 级	中-强污染
$3 \leq I_{\text{geo}} < 4$	4 级	强污染
$4 \leq I_{\text{geo}} < 5$	5 级	强污染-极强污染
$5 \leq I_{\text{geo}} < 10$	6 级	极强污染

通过单因子评价-地质累积指数评价法可以看出,Zn、Cr 没有表现出污染;Pb、Cu 污染强度不大,表现出轻度污染;而 Cd 则呈现出强污染甚至极强污染。整体污染程度顺序 $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr$ 。Cd 表现出极强污染,可能是由于该研究区域内污染源包括发电厂,发电

样点位附近有交通路线,而汽车轮胎中含有 Zn 元素,经磨损后会向周边环境中释放大量的 Zn,导致公路周边土壤中 Zn 含量的增加。中国和徐州土壤元素背景值^[6]见表 2。将测定结果与徐州土壤背景值^[6-8]和中国土壤环境背景值进行对比,可以发现,7 个采样点处的 Cr、Pb、Cu、Cd 均高于徐州市土壤背景值;靠近污染源处的前 3 个采样点处的 Zn 含量高于徐州市土壤背景值,随着离污染源距离的增大 Zn 含量逐渐降低,第 4 个采样点至第 7 个采样点处的 Zn 含量均低于背景值。总之,周边土壤受到污染源的影响,含量超过了徐州市区土壤背景值。

厂在运行过程中会产生粉煤灰等固废^[13-15],这些固废中含有大量镉,同时发电厂也会产生废液^[16],废液外排至灌溉农田,将会导致周边土壤环境中重金属镉的超标。

表 4 土壤样品地质累积指数 Müller 指数计算结果及分级情况

元素	1	2	3	4	5	6	7
Pb	0.53(1)	0.52(1)	0.33(1)	0.32(1)	0.14(1)	0.07(1)	-0.34(0)
Zn	-0.40(0)	-0.43(0)	-0.51(0)	-0.60(0)	-0.89(0)	-0.71(0)	-0.71(0)
Cu	0.16(1)	0.21(1)	0.11(1)	0.12(1)	0.10(1)	0.07(1)	0.03(1)
Cr	-0.04(0)	-0.04(0)	-0.09(0)	-0.09(0)	-0.10(0)	-0.06(0)	-0.14(0)
Cd	4.34(5)	3.49(4)	3.88(4)	3.84(4)	3.29(4)	3.33(4)	3.41(4)

注:括号中为分级情况。

2.2 各种重金属特征相关性分析

对土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属^[17]的相关性分析结果见表 5,Pb 与 Cu、Cr 呈高度相关性,与 Zn、Cd 呈中度相关性;Zn 与 Cu、Cr、Cd 均呈中度相关性;Cu 与 Cr 呈中度相关性;Cd 与 Cu、Cr 呈低度相关性。因

表 5 土样重金属元素相关性分析

	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd
Pb	1.000	0.749 **	0.911 *	0.836 *	0.628 **
Zn		1.000	0.706 **	0.707 **	0.720 **
Cu			1.000	0.783 **	0.368 ***
Cr				1.000	0.437 ***
Cd					1.000

注:* 表示相关系数 $|r| \geq 0.8$,2 个变量间呈高度相关;** 表示相关系数 $0.5 \leq |r| < 0.8$,2 个变量间呈中度相关; $P < 0.01$;*** 表示相关系数 $0.3 \leq |r| < 0.5$,2 个变量间呈低度相关, $P < 0.05$ 。

此,导致土样污染的 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属可被分为 3 类,I类:Pb、Cu;II类:Zn、Cr;III类: Cd。

该分类结果与运用 SPSS 软件对 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属进行聚类分析^[18]得到的结果是一致的(图 2),说明上述 3 类重金属的来源或释放规律具有相似性。

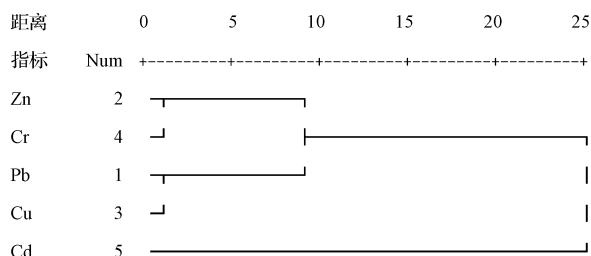


图 2 土样重金属聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of heavy metals

3 结论

被测土壤中 Pb、Cu、Cr、Cd 4 种重金属的含量均高于当地背景值;靠近污染源处的前 3 个采样点处的 Zn 含量高于徐州市土壤背景值,随着离污染源距离的增大 Zn 含量逐渐降低,第 4 个采样点至第 7 个采样点处的 Zn 含量均低于背景值。随与污染源(即第 1 个采样点)水平距离的增加,重金属 Cr、Pb、Cu、Cd 的含量均呈现减少的趋势,而 Zn 则表现出先减少后增加的趋势。

采用地质累积指数 Müller 指数分析表明,Zn、Cr 没有表现出污染;Pb、Cu 污染强度不大,表现出轻度污染;而 Cd 则呈现出极强污染,污染程度顺序 $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr$ 。相关性分析结果表明,Pb 与 Cu、Cr 呈高度相关性,与 Zn、Cd 呈中度相关性;Zn 与 Cu、Cr、Cd 均呈中度相关性;Cu 与 Cr 呈中度相关性;Cd 与 Cu、Cr 呈低度相关性。故导致土样污染的 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属可被分为 3 类,I类:Pb、Cu;II类:Zn、Cr;III类: Cd。运用 SPSS 软件对 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 5 种重金属进行聚类分

析得到的结果与相关性分析结果是一致的,说明 Pb 与 Cu、Zn 与 Cr 重金属的来源或释放规律具有相似性。

参考文献

- [1] 梅惠. 城郊部分菜地土壤重金属污染简述[J]. 地质科技情报, 2004, 23(1): 89-93.
- [2] 周建利, 陈同斌. 我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(5): 476-480.
- [3] 崔斌, 王凌, 张国印, 等. 土壤重金属污染现状与危害及修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 373-375, 447.
- [4] 张娟, 王艳春, 田宇. 北京市属公园土壤重金属分布及风险评价[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(6): 161-164.
- [5] 袁永强, 刘丛强. 广西某地金属冶炼废水外溢对农田土壤的污染特征[J]. 环境科学, 2011, 32(11): 3312-3317.
- [6] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国科学出版社, 1990.
- [7] 土壤环境质量标准 GB15618-1995, 中华人民共和国国家标准[S]. 1995-7-13 发布, 1996-03-01 实施.
- [8] 王学松, 秦勇. 徐州城市表层土壤中重金属元素的富集特征与来源识别[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(3): 84-88.
- [9] 滕彦国, 庚先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价攀枝花地区土壤重金属污染[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(4): 25-27, 31.
- [10] Föstner U, Müller G. Concentrations of trace metals and polycyclic aromatic hycarbons in river sediments; geochemical background, man's influence and environmental impact[J]. Geojournal, 1981(5): 417-432.
- [11] Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river[J]. Geojournal, 1969, 2(3): 108-118.
- [12] 李保杰, 于法展, 纪亚洲. 徐州市九里矿区土壤重金属插值分析及污染评价[J]. 测绘科学, 2010, 35(6): 166-169.
- [13] 罗宇, 石英. 垃圾焚烧发电厂飞灰稳定化处理技术研究进展与展望[J]. 热力发电, 2004(2): 69-71.
- [14] 李建新, 严建华, 金余其, 等. 生活垃圾焚烧飞灰重金属特性分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004, 38(4): 490-495.
- [15] 张乔, 夏凤毅, 田一光, 等. 温州临江垃圾焚烧发电厂飞灰的性质研究[J]. 中国环境监测, 2007, 23(6): 11-15.
- [16] Li M, Xiang J, Hu S, et al. Characterization of solid resi-dues from municipal solid waste incinerator [J]. Fuel, 2004, 83(10): 1397-1405.
- [17] 李飞, 王晓钰, 汤富强. 新乡市近郊农田土壤重金属的生态风险评价[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 84-87.
- [18] 赵光杰, 李海滨, 赵增立, 等. 垃圾焚烧飞灰基本特性研究[J]. 燃料化学学报, 2005, 33(2): 184-188.

Study on the Soil Heavy Metals Pollution Evaluation in the Northern Suburb of Xuzhou City

ZHANG Man-man¹, XIAO Xin¹, TAN Min²

(1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, School of Environmental Science and Spatial Informatics, China University of Mine and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116; 2. College of Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)

Abstract: The contents of elements Pb, Zn, Cu, Cr and Cd of heavy metals in the farmland soil in the Northern suburb of Xuzhou city were measured and studied. The results showed that the area had solid wastes, coal gangues and fly ash. The elements of heavy metals in the soil will transfer to the aroundings by raining. The concentrations of heavy metals was higher than the background level. According to the geo-accumulation index, the contamination degree from strong to weak in soil was: $Cd > Pb > Cu > Zn > Cr$, among which Zn, Cr expressed no pollution, Pb, Cu light pollution and Cd heavy pollution.

Key words: industrial area; soil; heavy metals; pollution characteristics