

湖南湘潭市土壤重金属污染调查与评价

息朝庄, 戴塔根, 张惠军, 刘悟辉

(中南大学 地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 对湘潭市土壤、不同土地利用类型及不同土壤类型土壤重金属 Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, As 污染现状进行了调查和分析。结果表明, 湘潭市 54 个样本中镉、汞 2 种重金属属于重污染; 铜、锌属于中污染; 铬属于轻度污染; 铅、砷属于尚清洁区。不同土地利用类型土壤中镉、汞污染严重, 介于重污染与中污染之间, 铅属清洁区或尚清洁区, 其余介于轻度污染与尚清洁区之间。不同类型土壤中镉、汞污染严重, 属重污染, 锌属中污染, 铅属清洁区或尚清洁区, 其余介于轻度污染与尚清洁区之间。总之, 湘潭市镉、汞污染严重, 污染可能由工业三废、汽车尾气、化肥和污水灌溉造成的。

关键词: 土壤; 重金属; 污染; 湘潭市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0133-05

中图分类号: X53, X825

Investigation and Assessment on Pollution of Soil Heavy Metals in Xiangtan City

XI Chaor-zhuang, DAI T a g e n, ZHANG Hu i j u n, LIU W u h u i

(School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: The pollution status of soil heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, and As) under different land use types and different soil types in Xiangtan City was investigated. Results showed that for the 54 samples, pollution by Cd and Hg was in a heavy stage, pollution by Cu and Zn reached a moderate stage, pollution by Cr was in a light stage, and pollution by Pb and As were still in a proximity clean zone. For different land use types, pollution by Cd and Hg was most serious, which was between medium and heavy pollution stages, pollution by Pb stayed in a clean zone or proximity clean zone, and pollution by other metals was in a slight or proximity clean zone. For different soil types, pollution by Cd and Hg were heavy, pollution by Zn was moderate, pollution by Pb was in a clean or proximity zone, and pollution by other heavy metals was between slight and proximity clean zones. As a whole, pollution by heavy metals of Cd and Hg is heavy in Xiangtan City, which is probably caused by the "three wastes", automobile exhaust, fertilizer application, and sewage irrigation.

Keywords: soil; heavy metal; pollution; Xiangtan City

重金属是土壤环境中一类具有潜在危害的污染物。他们在土壤环境中一般不易随水流失, 不能被微生物分解; 相反地, 重金属常在土壤环境中富集^[1]。关于城市土壤目前尚无统一的定义, 不同学者所给的定义和分类各不相同。文中所指的城市土壤指在自然土壤的基础上形成的受人类活动影响强烈的一类独特土壤, 在空间范围主要指城市市区土壤。据调查城市土壤普遍受到不同程度的重金属污染^[2-5]。因此, 在城市化进程不断加快的今天, 城市土壤中的重

金属不仅来源复杂, 而且量大, 重金属对人类的危害方式也变得复杂化。城市生态地球化学评价是城市生态系统评价的重要组成部分, 许多学者已经做过一些研究^[6-18]。

本研究以 Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, As 等为例, 通过野外调查与室内分析研究, 对湘潭市土壤中 Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, As 等重金属含量状况进行系统的调查, 揭示其污染状况并做出相应评价, 以期能为湘潭市土壤生态环境管理提供参考。

收稿日期: 2007-10-11

修回日期: 2007-12-19

资助项目: 国土资源部中国地质调查局项目“湖南省洞庭湖生态地球化学调查”(200314200021)

作者简介: 息朝庄(1979-), 男(汉族), 河北省阜城县人, 博士生, 主要从事应用地球化学研究工作。E-mail: xczcs ummmmm mm@126.com。

1 研究区概况

湘潭市位于湖南省中部偏东,地跨北纬 $27^{\circ}21' - 28^{\circ}05'$,东经 $111^{\circ}58' - 113^{\circ}05'$,土地总面积 $5\,015\text{ km}^2$,人口 267.20 万,是华中地区重要的工业城市。

湘潭市位于湘江两岸冲积平原与红土阶地上,地面为海拔 40~70 m 起伏和缓的平岗地。湘江先自东向西,再转向东北流经市区,并于右岸纳涓、涟 2 支流。属中亚热带气候,年均气温 $17.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量 $1\,315\text{ mm}$;但夏秋之间雨水较少而气温甚高,7 月均温达 $29.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,是湖南省酷暑地区之一。土壤可分为红壤、潮土、黏土 3 类。

2 材料与方法

2.1 采样

根据湘潭市土壤的分布情况,以城区为中心,环城由近及远设定采样点,采样点用便携式 GPS 定位仪定位。每一采样点分别向四周辐射约 10 m 选 3 个点采样,取样重量不小于 500 g,取 0—20 cm 表层土壤,3 个点制成混合样品。共取样 54 个。

采用自然干燥方式干燥样品,将风干样品用木棒压碎,拣去瓦砾残茬等杂物,以四分法留下土样 100 g (其余保存于样品袋中),用玛瑙研磨机进行研磨,过 100 目筛,再充分混匀,装入纸袋中待测。

2.2 测定项目与方法

由国土资源部湖南分析测试中心、地球物理地球化学勘查研究所和中南大学地学院实验室分析,执行标准为“区域生态地球化学评价样品分析指南”,分析仪器为 PW2440 X 荧光光谱仪、PGS—2 发射光谱仪和 ICP—MS 质谱仪。铜、铅、锌、镉、铬的测定,用 $\text{HF}-\text{HClO}_4-\text{HNO}_3$ 消化,原子吸收分光光度法^[19];汞、砷的测定,用硫酸—高锰酸钾消解法对土壤进行消解,冷原子吸收法^[19]。

2.3 评价标准

湘潭市土壤评价标准按照《土壤环境质量标准》(GB15618—1995) 中国二级标准进行(表 1)。

2.4 评价方法

本研究采用单因子污染指数法和内梅罗(Nemrow)污染综合指数法来评价土壤污染状况。

单因子污染指数的计算公式

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i —— i 污染物指数; C_i —— i 污染物实测值; S_i —— i 污染物评价标准。

表 1 土壤环境质量标准(GB 15618—1995) mg/kg

项目	国家二级标准		
	< 6.5	6.5~7.5	> 7.5
pH 值	< 6.5	6.5~7.5	> 7.5
镉	0.3	0.6	1
汞	0.3	0.5	1
砷	30	25	20
铜	50	100	100
铅	250	300	350
锌	200	250	300
铬	120	120	120

内梅罗(Nemrow)污染综合指数法:一种兼顾极值的综合方法,既考虑了单元素的作用,又突出了污染最严重元素的重要性,即

$$P = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \right)^2 + \max P_i^2 \right]}$$

式中: P ——土壤综合指数; n ——评价因子个数;

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ ——元素污染指数的平均值; $\max P_i$ ——元素污染指数的最大值。

2.5 土壤质量分级

土壤质量分级标准^[20]:综合污染指数全面反映了各污染物对土壤污染的不同程度,同时充分考虑了高浓度物质对土壤环境质量的影响。因此,本文中用综合污染指数代表 Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, Hg, As 等 7 种重金属对土壤的综合污染程度,因而评定土壤质量等级更客观。在评价时可兼顾考虑单项污染指数,以表示某一有害物质的影响,单项污染指数越高的元素对综合污染指数的贡献率和影响就越大。结合地区实际和相关标准,将土壤污染等级划分列于表 2。

表 2 土壤污染指数 P 分级

等级	P	污染程度	污染水平
1	≤ 0.7	安全	清洁
2	0.7~1.0	警戒线	尚清洁
3	1.0~2.0	轻污染	超过背景值,视轻污染,作物开始受污染
4	2.0~3.0	中污染	土壤、作物均受到中度污染
5	≥ 3.0	重污染	污染已相当严重

3 结果与分析

3.1 湘潭市土壤重金属含量分布特征

3.1.1 湘潭市土壤污染物含量水平 对湘潭市土壤污染元素进行分析,统计结果见表 3。

从表 3 可知全市 54 个点, pH 值的平均值为 6.3, 变化范围为 4.6~ 8.3, 偏酸性; 铜的平均含量为 37.5 mg/kg, 变化幅度为 12.4~ 204.0 mg/kg; 铅的平均含量为 65 mg/kg, 变化幅度为 16~ 332 mg/kg; 锌的平均含量为 127 mg/kg, 变化幅度为 55~ 348 mg/kg; 镉的平均含量为 0.46 mg/kg, 变化幅度为 0.06~ 2.95 mg/kg; 铬的平均含量为 84 mg/kg, 变化幅度为 40~ 201 mg/kg; 汞的平均含量为 0.239 mg/kg, 其变化幅度为 0.022~ 2.030 mg/kg; 砷的平均含量为 18.72 mg/kg, 其变化幅度为 6.83~ 30.57 mg/kg。

其中各重金属超标数分别为: Cu(8 个), Pb(0 个), Zn(15 个), Cd(18 个), Cr(2 个), Hg(7 个), As(2 个)。超

标率分别为: Cu (14. 8%), Pb (0), Zn (27. 8%), Cd (33. 3%), Cr(3. 7%), Hg(13%), As (3. 7%)。

3.1.2 湘潭市不同土地利用类型土壤重金属含量水平
根据湘潭市不同土地利用类型, 将其分为水田、菜地、旱地 3 类。从不同土地利用类型土壤看(表 4), 各重金属平均含量的大小关系如下。

(Cu, Zn, Cd, As): 水田 > 旱地 > 菜地; Pb: 水田 > 菜地 > 旱地; Cr: 旱地 > 水田 > 菜地; Hg: 菜地 > 旱地 > 水田。

3.1.3 湘潭市不同土壤类型重金属含量水平 从不同土壤类型看(表 5), 湘潭市不同土壤类型重金属平均含量大小关系如下。Cu, Pb, Zn, Cd, Hg: 潮土 > 红壤 > 黏土; Cr: 红壤 > 黏土 > 潮土; As: 红壤 > 潮土 > 黏土。

表 3 湘潭市土壤污染物含量

污染物	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	pH
平均值	37.5	65	127	0.46	84	0.239	18.72	6.3
范围	12.4~ 204.0	16~ 332	55~ 348	0.06~ 2.95	40~ 201	0.022~ 2.030	6.83~ 30.57	4.6~ 8.3
标准差	28.2	57	75	0.61	29	0.376	5.37	1.2

注: 重金属含量及 pH 值由地质矿产部湖南省中心实验室检测; 取样数为 54。

表 4 湘潭市不同土地利用类型土壤重金属含量

类型	取样数	项目	pH	金属含量						
				Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
旱地	27	平均值	6.5	34.5	53.3	117	0.27	91	0.235	19.89
		范围	4.7~ 8.3	18.7~ 94.0	25.9~ 176.2	71~ 289	0.06~ 1.10	50~ 198	0.050~ 1.684	13.85~ 30.57
		标准差	1.3	15.8	36	54	0.27	26	0.349	4.12
水田	13	平均值	6.6	60.1	98.6	197	1.11	86	0.232	21.11
		范围	5.2~ 7.9	34.2~ 204.0	29.8~ 185.4	62~ 348	0.22~ 2.95	55~ 201	0.047~ 1.080	9.94~ 30.43
		标准差	1	45.4	54.8	98	0.89	38	0.266	5.35
菜地	14	平均值	5.4	22.3	55.4	80	0.22	68	0.252	14.26
		范围	4.6~ 6.7	12.4~ 32.0	15.5~ 332.1	55~ 164	0.06~ 1.22	40~ 95	0.022~ 2.030	6.83~ 24.11
		标准差	0.7	6.9	80.5	29	0.3	21	0.518	5.23

注: 重金属含量及 pH 值由地质矿产部湖南省中心实验室检测。

表 5 不同土壤类型重金属含量

土壤类型	取样数	项目	pH	重金属含量						
				Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
潮土	18	平均值	6.3	45.9	98.4	153	0.68	77	0.258	19.01
		范围	5.0~ 7.7	18.3~ 204.0	28.7~ 332.1	64~ 348	0.07~ 2.95	44~ 98	0.057~ 2.030	11.47~ 30.43
		标准差	0.9	43.4	79.3	97	0.77	18	0.448	5.45
黏土	22	平均值	6.1	30.9	41.8	101	0.22	86	0.229	17.9
		范围	4.6~ 8.3	12.4~ 94.0	15.5~ 106.3	55~ 237	0.06~ 0.93	40~ 198	0.022~ 1.684	6.83~ 30.57
		标准差	1.5	17.6	25.4	43	0.24	33	0.394	6.01
红壤	14	平均值	6.4	36.9	57.6	134	0.54	90	0.23	19.65
		范围	5.1~ 8.1	25.5~ 52.4	28.5~ 185.4	62~ 343	0.11~ 2.57	55~ 201	0.047~ 0.990	9.94~ 27.84
		标准差	1.1	9.9	39.7	74	0.69	35	0.251	4.28

注: 重金属含量及 pH 值由地质矿产部湖南省中心实验室检测。

3.2 湘潭市土壤环境质量评价

3.2.1 湘潭市土壤重金属污染指数 根据湘潭市 54 个样本测定结果, 计算 7 种重金属元素单项污染指数及内梅罗综合污染指数, 列于表 6。

从表 6 可看出, 湘潭市单因子污染指数: Cd, Hg 这 2 种重金属含量已经属于重污染; Cu, Zn 属于中污染; Cr 属于轻度污染; Pb, As 属于尚清洁区。内梅罗综合污染指数已达重污染, 应当引起有关部分高度重视。

3.2.2 不同土地利用类型土壤环境质量评价 根据湘潭市不同土地利用类型土壤含量计算其单因子污染指数和内梅罗综合污染指数列入表 7。与湘潭市土壤重金属单项污染指数、内梅罗综合污染指数对比见图 2。

(1) 旱地。湘潭市旱地中 Hg 属重污染; Cu, Zn, Cd 属中污染; Cr 属轻度污染; As 属尚清洁区; Pb 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。污染可能是由于工业三废和汽车尾气造成的。

(2) 水田。Cd 属重污染; Cu, Zn, Cr, Hg, As 属轻度污染; Pb 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。

(3) 菜地。Hg 属重污染; Cd 属中污染; Zn 属轻度污染; Pb 属尚清洁区; Cu, As 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。水田与菜地中 Cd, Hg 污染可能是由于使用化肥和污水灌溉造成的。从图 1 可看出, 湘潭市土壤中重金属 Cu, Zn, Cd 等单项污染指

数与综合污染指数均大于旱地、水田及菜地, 其它重金属污染指数相差不多。

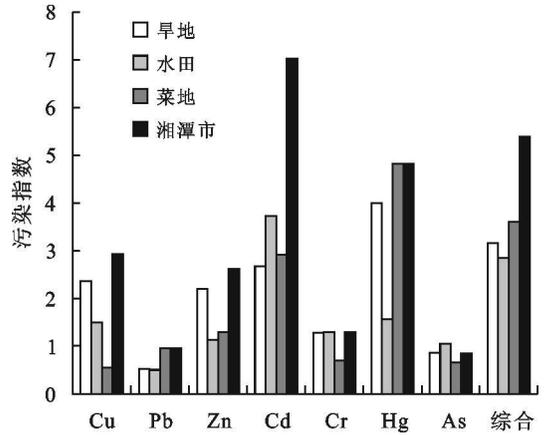


图 1 不同土地利用类型土壤污染指数对比图

3.2.3 不同土壤类型污染指数 根据湘潭市 3 种不同土壤类型样本测定结果, 计算 7 种重金属单项污染指数、内梅罗综合污染指数列于表 8。与湘潭市土壤重金属单项污染指数、内梅罗综合污染指数对比见图 2。

(1) 潮土。Cd, Hg 属重金属; Cu, Zn 属中污染; Pb, As 属尚清洁区; Cr 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。

(2) 黏土。Hg 属重污染; Cd 属中污染; Cu, Zn, Cr 属轻度污染; As 属尚清洁区; Pb 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。

表 6 湘潭市土壤污染指数

污染物	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	综合 ^①
污染指数	2.93	0.96	2.62	7.03	1.29	4.82	0.84	5.39

注: ①指内梅罗综合指数。下同。

表 7 不同土地利用类型土壤污染指数

土地类型	污染指数							
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	综合
旱地	2.36	0.52	2.20	2.67	1.28	4.00	0.86	3.16
水田	1.50	0.50	1.13	3.72	1.29	1.56	1.05	2.85
菜地	0.55	0.95	1.29	2.92	0.69	4.82	0.66	3.61

表 8 不同土壤类型重金属污染指数

土地类型	污染指数							
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	综合
潮土	2.96	0.98	2.69	6.95	0.72	4.83	0.84	5.31
黏土	1.40	0.33	1.78	2.25	1.27	4.00	0.84	3.07
红壤	0.91	0.55	2.60	6.19	1.30	2.40	0.81	4.62

(3) 红壤。Cd 属重污染; Zn, Hg 属中污染; Cr 属轻度污染; Cu, As 属尚清洁区; Pb 属清洁区。内梅罗综合污染指数属重污染。

从图2 可看出, 湘潭市土壤重金属 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg 单项污染指数及综合污染指数与潮土相近均高出黏土和红壤的重金属污染指数。

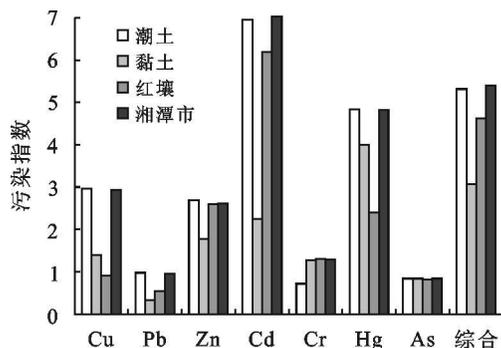


图2 不同土壤类型污染指数对比图

4 结论

(1) 湘潭市 54 个样本中总体 Cd, Hg 这 2 种重金属属于重污染; Cu, Zn 属于中污染; Cr 属于轻度污染; Pb, As 属于尚清洁区。内梅罗综合污染指数已达重污染。

(2) 湘潭市不同土地利用类型土壤中镉、汞污染严重, 介于重污染与中污染之间, 铅属清洁区或尚清洁区, 其余介于轻度污染与尚清洁区之间。

(3) 湘潭市不同类型土壤中镉、汞污染严重, 属重污染, 锌属中污染, 铅属清洁区或尚清洁区, 其余介于轻度污染与尚清洁区之间。

(4) 湘潭市总体镉、汞污染突出, 污染可能由工业三废、汽车尾气、使用化肥和污水灌溉造成的。

[参 考 文 献]

- [1] 刘玉燕, 刘敏, 刘浩峰. 城市土壤重金属污染特征分析 [J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 184—188.
- [2] Bullock, Gregoryp. Soils in the Urban Environment [M]. Great Britain: Blackwell Scientific Publications Oxford, 1991.
- [3] Craul P J. A description of urban soils and their desired characteristic [J]. Journal of Arboriculture, 1985: 11(11): 330—339.
- [4] Chen T B, Wong M H, Wong J W C, et al. Heavy metal distribution in surface soils of Hong Kong and the assessment of the soil environmental quality: A case study [J]. Environmental Pollution, 1997, 96(10): 61—68.
- [5] Stone M, Marsalek J. Trace metal composition in street sediment: Sault site Marie, Canada [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1996, 87: 149—169.
- [6] 倪师军, 葛良全, 滕彦国, 等. 城市生态地球化学评价的盖子模型 [J]. 地质通报, 2005, 24(10—11): 975—977.
- [7] 廖启林, 翁志华, 吴新民, 等. 覆盖区多目标地球化学调查数据应用前景分析: 以江苏省国土生态地球化学调查有关成果为例 [J]. 地质通报, 2005, 24(8): 772—777.
- [8] 马立明, 朱立新, 王之峰. 平原区区域 Cd 地球化学异常成因及其生态效应 [J]. 地质通报, 2004, 23(11): 1083—1087.
- [9] 马振东, 张德存, 闭向阳, 等. 武汉沿长江、汉江 Cd 高值带成因初探 [J]. 地质通报, 2005, 24(8): 740—743.
- [10] 王世纪, 简中华, 罗杰. 浙江省台州市路桥区土壤重金属污染特征及防治对策 [J]. 地球与环境, 2006, 34(1): 35—43.
- [11] 邓秋静, 宋春然, 谢峰, 等. 贵阳市耕地土壤重金属分布特征及评价 [J]. 土壤, 2006, 38(1): 53—60.
- [12] 史文娇, 汪景宽, 边振兴, 等. 黑龙江北部土壤中主要重金属和微量元素状况及其评价 [J]. 土壤通报, 2005, 36(6): 880—883.
- [13] 李亮亮, 依艳丽, 王延松, 等. 葫芦岛市连山区、龙港区土壤重金属空间分布及污染评价 [J]. 土壤通报, 2006(3): 495—499.
- [14] 王明兆, 王鸿欣, 薛莉. 江阴市耕地重金属污染及其评价 [J]. 土壤, 2006, 38(4): 470—476.
- [15] 陈凤, 濮励杰. 昆山市农业土壤基本性质与重金属含量及二者的关系 [J]. 土壤, 2007, 39(2): 291—296.
- [16] 白世强, 卢升高. 洛阳城区及郊区土壤中 Pb 的分布特征及化学形态研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 544—548.
- [17] 黄辉, 檀满枝, 周峰, 等. 南通市城市边缘带土壤重金属污染现状及评价 [J]. 土壤, 2007, 39(2): 286—290.
- [18] 姚春霞, 陈振楼, 许世远, 等. 上海市浦东新区蔬菜地土壤重金属含量及评价 [J]. 土壤, 2005, 37(5): 517—522.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [20] 刘凤枝. 农业环境监测实用手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 590—597.