

# 贵阳市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价

武永锋<sup>1,2</sup>, 刘丛强<sup>1</sup>, 涂成龙<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

**摘要:**以贵阳市区土壤为对象, 研究不同功能区土壤中重金属(Cu、Pb、Zn、Cr 和 Cd)污染的特征, 采用 Hakanson 潜在生态危害指数法评价了土壤中重金属的潜在生态危害。结果表明, 贵阳市城区土壤重金属含量差异较大, 变化幅度均高于 35%。产生潜在生态危害的重金属主要是 Cd, 已达到中度生态危害水平, Cu、Pb、Zn、Cr 显示轻度生态危害水平。贵阳市潜在生态危害综合指数(RI=90.86), 表明土壤重金属污染达轻度生态危害。不同功能区潜在生态危害程度的顺序依次是工业区>公园>交通区>郊区耕地>居民区。

**关键词:**城市土壤; 重金属污染; 潜在生态风险; 土壤评价

**中图分类号:**X131.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2007)03-0254-04

## The Heavy Metal Pollution in Urban Soils of Guiyang City and Their Potential Ecological Hazard Assessment

WU Yong-feng<sup>1,2</sup>, LIU Cong-qiang<sup>1</sup>, TU Cheng-long<sup>1,2</sup>

1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** The soil samples of different functional zones in Guiyang city are collected for studying the characteristics of the heavy metal (Cu, Pb, Zn, Cr, Cd) pollution in soils. The potential ecological hazard index method by Hakanson has been applied to assess potential ecological hazard caused by the heavy metal pollution in urban soils. The results show that the contents of Cu, Pb, Zn, Cd and Cr in urban soils of Guiyang City varied significantly with over 35% variation extent. The potential ecological hazard was mainly resulted from Cd in urban soils as it has caused intermediate level ecological risk, while other heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cr) have only caused light level ecological risk. The potential ecological hazard index (RI) of 90.86 for the urban soils in Guiyang City indicates that the heavy metal pollution of the urban soils in Guiyang City resulted in light level ecological hazard. The levels of potential ecological hazard for soils in different functional zones are subsequently decreased from the industrial area, the urban park, the transportation area, the farmland, to the residence area.

**Key words:** urban soil; heavy metal pollution; potential ecological hazard; soil assessment

城市土壤是构成城市环境的一个主要部分。随着城市化、工业化的迅速发展, 城市土壤重金属的污染问题已列入环保部门的议事日程。重金属元素可通过吞食、吸入和皮肤吸收等途径进入人体, 直接危害人体特别是儿童的健康, 还会通过污染食物、大气和水环境间接影响环境质量。因此, 城市土壤的重金属污染已成为国际学界的热点<sup>[1-3]</sup>。我国已评价

过部分城市土壤重金属的污染和潜在生态危害<sup>[4,5]</sup>, 但尚未见有关贵阳市的报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部, 东经 106°07'~107°16', 北纬 26°11'~27°21'。辖 6 个区(云岩区、南明

收稿日期: 2006-09-07 收到, 12-01 改回

基金项目: 中国科学院重要方向项目(KZCX3-SW-140); 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403200)

第一作者简介: 武永锋(1980—), 男, 博士研究生, 专业方向: 环境地球化学。E-mail: yongfengwu888@sohu.com.

区、花溪区、乌当区、白云区、小河区),3个县(开阳县、修文县、息烽县),1个县级市(清镇市)。人口约350万,其中非农业人口160万。本研究主要集中在6个区,总面积为2402.7 km<sup>2</sup>。

贵阳市地处苗岭山脉中段,地势南北高,中部低,最高海拔1763 m,最低海拔529 m。属中亚热带季风湿润气候,年均气温15.3℃,年日照时数1353 h,年降雨量1196.9 mm,无霜期270 d。土壤类型有黄壤、石灰土、水稻土和少量紫色土。

### 1.2 样品的采集

由于人为因素的影响,城市土壤分布往往具有非连续性、土层混乱、土壤物质来源复杂等特征<sup>[6]</sup>。本研究于2006年春季在贵阳市代表性功能区——交通区、工业区、郊区耕地、居民区和公园选取62个采样点,采集0~10 cm表层土壤<sup>[7]</sup>。采集时去掉表皮草层和杂物,采用多点取样方式,各点所取土样质量应尽量相同,混合均匀后按四分法获1 kg左右的样品。经实验室内自然风干,剔除植物残体和石块,磨碎,过100目筛,保存于塑料瓶中备用。

### 1.3 分析测试方法

称取样品0.5 g,在聚四氟乙烯消解罐中以HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>-HF混酸消化<sup>[8]</sup>,用5%硝酸转移至50 mL容量瓶中,稀释定容后用等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)测定Cu、Pb、Zn、Cr;Cd采用原子吸收光谱法测定。所有测定均由空白样和加标回收样进行质量控制,土壤标样为国家地球化学标准物质GBW07404(GSS-4),分析精度优于10%。

实验试剂均为优级纯。实验用水为超纯水,由美国Millipore公司的纯水设备随时制备供应。

### 1.4 潜在生态危害评价方法

潜在生态危害指数(RI)评价方法为Lars Hakanson于1980年建立的一套应用沉积学原理评价重金属污染和生态危害的方法<sup>[9]</sup>。该方法作为国际上土壤(沉积物)中重金属研究的先进方法之一<sup>[10]</sup>,不仅反映了某一特定环境中不同污染物的影响,也反映了多种污染物的综合影响,并定量划分出潜在危害程度,是目前应用很广的一种方法<sup>[5,10,11]</sup>。

单个重金属的潜在生态危害系数 $E_i$ 为: $E_i = T_i \times C_i / C_0$ 。式中 $C_i$ 、 $C_0$ 、 $T_i$ 分别为第*i*种重金属的监测浓度、参比值和毒性系数。

Hakanson根据“元素丰度原则”和“元素稀释度”,指出某一重金属的潜在毒性与其丰度成反比,即与稀少度成正比。某一重金属的潜在生物毒性也与“元素的释放度”(在水中含量与在沉积物中含量的比值)有关,易释放者对生物的潜在毒性较大,他

提出的重金属毒性系数( $T_i$ )为Cd>Pb=Cu>Cr>Zn,对毒性响应系数作规范处理后定值为Cd=30,Pb=Cu=5,Cr=2,Zn=1。

某区域多个重金属的潜在生态危害指数RI为: $RI = \sum E_i$ 。

根据 $E_i$ 和RI值,参照沉积物(土壤)<sup>[10]</sup>中重金属潜在生态危害系数、生态危害指数和污染程度的关系,将沉积物的潜在生态危害状况进行分级(表1)。

表1 Hakanson潜在生态危害评价指标

Table 1 The potential ecological hazard assessment indices by Hakanson

潜在生态危害系数 ( $E_i$ )	潜在生态危害指数 (RI)	潜在生态危害程度
<40	<150	轻度生态危害
40-80	150-300	中度生态危害
80-160	300-600	强度生态危害
160-320	≥600	很强生态危害
≥320		极度生态危害

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤重金属积累状况

贵阳市土壤重金属平均含量均高于该市的土壤背景值,且变化较大(表2)。计算各重金属的变异系数,发现重金属元素的变化幅度均高于35%。Pb的变异系数最大(70.84%),其次为Cu(51.97%)、Zn(46.61%)、Cr(38.85%)和Cd(35.71%)。这种较大的变异性反映了它们的污染在不同地点有较大的差异,Cd相对较小的变异性反映了在各地污染程度的相似性。从上述情况看,区内土壤有明显的重金属积累:Cu、Pb、Zn、Cr与Cd的平均含量分别为贵阳市背景值的1.58倍、1.78倍、1.22倍、1.14倍和2.35倍,以Pb和Cd的积累较明显。

表2 贵阳市土壤重金属含量( $n=62$ )

Table 2 The contents of heavy metals in soils of Guiyang City

元素	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd
最大值	241.40	147.95	174.72	460.38	0.45
最小值	30.20	6.52	9.16	45.84	0.09
平均值	92.91	51.57	44.04	139.25	0.28
变异系数(%)	38.85	51.97	70.84	46.61	35.71
背景值	81.6 <sup>[12]</sup>	32.6 <sup>[13]</sup>	24.7 <sup>[12]</sup>	114.0 <sup>[14]</sup>	0.119 <sup>[12]</sup>

土壤Pb积累受区内各冶炼厂、化工厂工业废气的影响,以冶炼厂的废气中Pb含量最高;汽车来往频繁的地段,汽油燃烧时含铅废气也是一个不可忽视的污染源。Cd主要来自冶炼、电池、电镀、颜

料、涂料、塑料稳定剂等工业排放;与工业发展密切相关<sup>[14]</sup>。表层土壤中 Cu 的积累可能来自上麦坝铁矿区的开采和冶炼厂<sup>[13]</sup>。

## 2.2 不同功能区土壤重金属分布特征

贵阳市不同功能区土壤重金属含量见表 3。由表 3 可见,各功能区土壤重金属含量差别较大。工业区土壤中 Cr 含量最高,其余各区 Cr 含量顺序为公园>交通区>郊区耕地>居民区。公园和交通区土壤中 Cu 的含量分别为 56.81 mg/kg 和 54.40 mg/kg,其他功能区 Cu 含量顺序为:郊区耕地>居民区>工业区。Pb 在公园土壤中含量最高,其余的顺序为:交通区>居民区>郊区耕地>工业区。Zn 在公园土壤中含量最高,在居民区土壤中含量最低。Cd 在不同功能区土壤中含量变化不大,以工业区最高,居民区最低。

表 3 贵阳市不同功能区重金属含量

Table 3 Contents of heavy metals in soils of different functional zones of Guiyang City mg/kg

分 区	交通区	工业区	郊区耕地	居民区	公 园
Cr	87.64	118.48	85.50	80.53	92.38
Cu	54.40	46.99	52.37	47.27	56.81
Pb	44.66	31.81	34.30	35.62	73.79
Zn	141.94	117.80	130.98	111.13	194.40
Cd	0.29	0.31	0.28	0.26	0.27

从上述分析看出,贵阳市不同功能区土壤已受到不同程度的污染。Cr 在工业区最高,主要是受贵阳耐火厂、贵州铝厂和一些电镀、金属酸洗工业废水的影响。Zn 在交通区土壤中的含量较高,不难看出是汽车轮胎硬度添加剂含锌粉尘作祟的结果<sup>[4]</sup>。

公园土壤中 Cr、Cu、Pb 和 Zn 的含量都较高,可能是多种来源、长期积累的结果。贵阳市大多数公园位于繁忙公路或工业区附近,汽车尾气和工业活动是土壤重金属的主要来源。市区的河滨公园紧邻车流量大、汽车尾气排放多的瑞金南路。Tam 等<sup>[15]</sup>研究发现公路附近公园土壤中重金属含量与交通流量有显著的相关性。白云公园位于贵州铝厂附近,铝厂排放的大气颗粒物是土壤重金属污染的重要来源。

## 2.3 贵阳市土壤重金属的潜在生态危害指数评价

将 Hakanson 潜在生态危害指数用于评价土壤重金属污染时,所选择的参比值差别较大,有的以全球沉积物重金属的平均背景值为参比值<sup>[10]</sup>,有的以当地土壤重金属背景值为参比值<sup>[16]</sup>,更多的是以国家土壤环境质量标准(GB 15618-1995)为参比值。

为了反映特定区域的差异性,本文以贵阳市土壤环境背景值为基准,即以  $C_0$  值为背景值,计算出各重金属的潜在生态危害系数  $E_i$ (表 4)。对照表 1 可知,贵阳市城区土壤 Cd 已达到中度生态危害水平,其余重金属元素的危害均为轻度水平。

表 4 土壤中各重金属的潜在生态危害系数

Table 4 Potential ecological hazard coefficient of heavy metals in soils of Guiyang City

元 素	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd
$E_i$	2.23	7.91	8.91	1.22	70.59
污染程度	轻度	轻度	轻度	轻度	中度

从表 4 统计可获得贵阳市潜在生态危害综合指数为  $RI=90.86$ ,说明重金属污染为轻度,有必要及时进行综合治理,Cd 的治理已为当务之急。

贵阳市各功能区,土壤单项潜在生态危害系数(表 5)表明,各功能区 Cd 均到达中度污染,污染程度依次为:工业区>交通区>郊区耕地>公园>居民区。Cu 污染轻微,污染程度依次为:公园>交通区>郊区耕地>居民区>工业区。Zn 均达轻微污染,各功能区污染程度接近。Cr 的污染与 Zn 类似。各功能区 Pb 的污染顺序为:公园>交通区>居民区>郊区耕地>工业区。

表 5 贵阳市各功能区的潜在生态危害系数与潜在生态危害指数

Table 5 Potential ecological hazard coefficient and potential ecological risk index of soils in different functional zones of Guiyang City

分 区	交通区	工业区	郊区耕地	居民区	公 园
$E_{Cr}$	2.15	2.90	2.10	1.97	2.26
$E_{Cu}$	8.34	7.21	8.03	7.25	8.71
$E_{Pb}$	9.04	6.44	6.94	7.21	14.94
$E_{Zn}$	1.25	1.03	1.15	0.97	1.71
$E_{Cd}$	73.11	78.15	70.59	65.55	68.07
RI	93.89	95.73	88.81	82.95	95.69

从表 5 可以看出各个功能区受重金属生态危害程度依次为:工业区>公园>交通区>郊区耕地>居民区。

## 3 小 结

贵阳市城区土壤重金属含量差异较大,具潜在生态危害的重金属主要是 Cd,已达到中度危害水平,其余重金属(Cu、Pb、Zn、Cr)均显示为轻度危害水平。

贵阳市潜在生态危害综合指数为  $RI=90.86$ ,

说明存在轻度生态危害。不同功能区潜在生态危害程度的顺序依次为:工业区>公园>交通区>郊区耕地>居民区。

### 参考文献 (References):

- [1] Stagliani W M, Doelman P, Salomons W, Schulin R, Smidt G R B, Van der Zee SEATM. Chemical time bombs: Predicting the unpredictable [J]. *Environment*, 1991, 33(4): 4-30.
- [2] Chen T B, Wong J W C, Zhou H Y, Wong M H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong [J]. *Environmental Pollution*, 1997, 96: 61-68.
- [3] Manta D S, Angelone M, Bellanca A, Neri R, Sprovieri M. Heavy metal in urban soil: A case study from the city of Palermo (Sicily), Italy [J]. *The Science of the Total Environment*, 2002, 300: 229-243.
- [4] 郭平, 谢忠雷, 李军, 周琳峰. 长春市土壤重金属污染特征及其潜在生态风险评价 [J]. *地理科学*, 2005, 25(1): 108-112.  
Guo Ping, Xie Zhonglei, Li Jun, Zhou Linfeng. Specificity of heavy metal pollution and the ecological hazard in urban soils of Changchun City [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1): 108-112. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李章平, 陈玉成, 杨学春, 魏世强. 重庆市主城区土壤重金属的潜在生态危害评价 [J]. *西南农业学报 (自然科学版)*, 2006, 28(2): 227-230.  
Li Zhangping, Chen Yucheng, Yang Xuechun, Wei Shiqiang. Assessment of potential ecological hazard of heavy metals in urban soils in Chongqing City [J]. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2006, 28(2): 227-230. (in Chinese with English abstract)
- [6] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究 [J]. *土壤通报*, 1999, 30(2): 93-96.  
Ma Jianhua, Zhang Li, Li Yali. Primary studies of urban soil property and pollution in Kaifeng [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(2): 93-96. (in Chinese with English abstract)
- [7] Daniela S M, Massimo A, Adriana B. Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo (Sicily) [J]. *Italy The Science of the Total Environment*, 2002, 300: 229-243.
- [8] 鲁如坤, 主编. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1999: 147-211  
Lu Rukun, ed. *Soil agriculture chemistry analysis method* [M]. Beijing: Agriculture Science Press of China, 1999: 147-211. (in Chinese)
- [9] Lars H. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach [J]. *Water Research*, 1980, 14: 975-1001.
- [10] 贾振邦, 梁涛, 林建枝, 吕凤伟. 香港河流重金属污染及潜在生态危害研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 1997, 33(4): 485-492.
- Jia Zhenbang, Liang Tao, Lin Jianzhi, Lü Fengwei. Study on heavy metal contamination and potential ecological risk in Hong Kong rivers [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1997, 33(4): 485-492. (in Chinese with English abstract)
- [11] 兰天水, 林健, 陈建安, 杜恣闲, 张琦, 邱卿如. 公路旁土壤中重金属污染分布及潜在生态危害的研究 [J]. *海峡预防医学杂志* 2003, 9(1): 4-6.  
Lan Tianshui, Lin Jian, Chen Jian'an, Du Zixian, Zhang Qi, Qiu Qingru. Study on the heavy metal contamination in roadside soil and the ecological hazard [J]. *Strait Journal of Preventive Medicine*, 2003, 9(1): 4-6. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陆引罡, 王珉. 贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查 [J]. *土壤通报*, 2001, 32(5): 253-237.  
Lu Yingang, Wang Gong. Heavy metal pollution in vegetable-planting soils in the suburbs of Guiyang City, Guizhou Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(5): 253-237. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王济. 贵阳市表层土壤重金属污染元素环境地球化学基线研究 [D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2004.  
Wang Ji. Study of environmental geochemical baseline of pollutional heavy metals in surficial soil of Guiyang, Guizhou [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2004. (in Chinese)
- [14] 邓秋静, 宋春然, 谢锋, 何锦林, 谭红, 吉玉碧, 陈安宁. 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.  
Deng Qiujing, Song Chunran, Xie Feng, He Jinlin, Tan Hong, Ji Yubi, Chen Anning. Distribution and evaluation of heavy metals in cultivated soil of Guiyang [J]. *Soil*, 2006, 38(1): 53-60. (in Chinese with English abstract)
- [15] Tam N F Y, Liu W K, Wong M H, Wong Y S. Heavy metal pollution in roadside urban parks and gardens in Hong Kong [J]. *The Science of the Total Environment*, 1987, 59: 325-328.
- [16] 赵沁娜, 徐启新, 杨凯. 潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 2005(1): 111-116.  
Zhao Qinna, Xu Qixin, Yang Kai. Application of potential ecological risk index in soil pollution of typical polluting industries [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science Edition)*, 2005(1): 111-116. (in Chinese with English abstract)