

上海城市公园土壤及灰尘中重金属污染特征

史贵涛, 陈振楼, 许世远, 王利, 张菊, 李海雯, 李丽娜

(华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 对上海城市公园土壤和灰尘重金属含量水平进行了研究, 并分析了土壤和灰尘中重金属的空间分布特征, 结果表明, 公园土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 和 Ni 的平均含量分别为 55.06、198.54、44.57、77.01、0.40 和 31.17 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 公园灰尘中重金属含量普遍高于土壤, 各元素的平均含量分别为 416.63、906.29、235.89、162.59、1.58 和 92.19 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 同上海市土壤环境背景值相比, 公园土壤(Ni 除外)和灰尘中重金属元素含量均不同程度超出背景值; 内外环线之间公园土壤(Zn 除外)和灰尘重金属的平均含量均大于内环线以内公园; 在不同的功能区, 公园土壤和灰尘重金属的空间分布则无明显的规律性. 通过 Pearson 相关分析和主成分分析, 认为人类活动造成了公园土壤和灰尘中重金属的积累, 其中最主要的污染源为工业和交通污染.

关键词: 重金属污染; 土壤; 灰尘; 公园; 上海

中图分类号: X502 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)02-0238-05

Characteristics of Heavy Metal Pollution in Soil and Dust of Urban Parks in Shanghai

SHI Gui-tao, CHEN Zhen-lou, XU Shi-yuan, WANG Li, ZHANG Ju, LI Hai-wen, LI Li-na

(Key Laboratory of Geographic Information Science of Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The contents of heavy metals in soils and dust of urban parks in Shanghai were studied, and the spatial distribution of heavy metals was also analyzed. The results showed that the average contents of Pb(55.06 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Zn(198.54 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cu(44.57 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cr(77.01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Cd(0.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and Ni(31.17 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in soils were lower than them in the dust, which were 416.63 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 906.29 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 235.89 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 162.59 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 1.58 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and 92.19 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectively. The heavy metals in soils except Ni and all the six heavy metals in dust were higher than the background values in Shanghai more or less. The heavy metals average contents in dust in the parks of city central area were lower than them in the parks of city surrounding area, and the heavy metals in soils have similar spatial distribution patterns except for Zn. However, in different districts, the distribution of heavy metals in the soils and dust were not regular. Pearson correlative analysis and principal component analysis indicated that the heavy metals accumulation of the soils and dust were induced by anthropogenic input, furthermore traffic and industry were the main pollution sources.

Key words: heavy metal pollution; soil; dust; park; Shanghai

近年来,对城市土壤和灰尘重金属污染的研究逐渐成为 1 个热点. 重金属作为 1 种持久性有毒污染物,进入环境后不能被生物降解,可以通过淋洗和径流等作用污染地表水和地下水,并能通过食物链循环和直接接触等途径进入人体,在人体内积累,危害人体健康^[1~3]. 城市土壤和灰尘中的重金属有多种来源,主要包括交通工具尾气、工业“三废”及其它一些人类活动^[4,5]. 随着上海市工业化和城市化的快速发展以及人口的大量增加,向环境中排放的污染物也越来越多,给城市土壤环境造成了巨大压力. 城市公园作为城市居民重要的休闲娱乐场所,与人们的日常生活联系紧密. 城市公园土壤和灰尘质量状况对游客的身体健康具有重要影响,尤其对儿童这一特殊群体^[6,7]. 到目前为止,针对上海城市公园土壤及灰尘重金属污染的详细研究鲜见报道,因此,开展上海城市公园土壤及灰尘重金属污染特征的研究具有重要意义.

1 材料与方法

本文选取上海城市(外环线以内)44 个公园为研究对象(图 1),每个公园子样点个数设定依据公园面积而定(小于 10 000 m^2 设 5 个子样点,大于 10 000 m^2 设 10 个子样点),采用均匀布点法取表层土壤 0~5 cm 样品,用四分法组成 1 个混合样品;同步在游客较易聚集的公园门口水泥路面,用塑料铲和毛刷采集 1 个地表灰尘样品,共得到土壤和灰尘样品各 44 个. 样品采集后放入聚乙烯塑料袋中密封保存.

所采样品于 35℃ 条件下烘干后,用玛瑙碾钵研磨成粉末,过 40 目尼龙网筛测定 pH 值,过 65 目尼

收稿日期: 2006-02-20; 修订日期: 2006-04-11

基金项目: 上海市基础研究重点项目(05JC14059); 上海市重大科技攻关项目(05DZ12007); 国家自然科学基金重点项目(40131020); 上海市环保局招标项目

作者简介: 史贵涛(1982~),男,硕士研究生,主要研究方向为城市水资源与水环境, E-mail: gtsi@mail.china.com

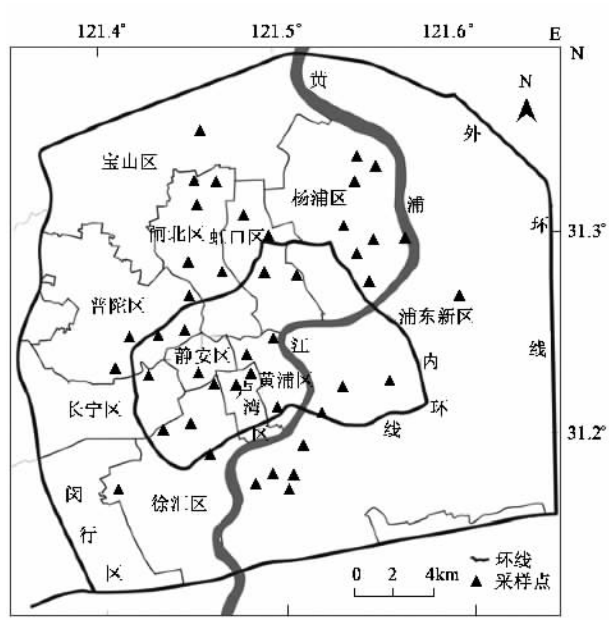


图1 采样公园分布示意

Fig.1 Sampling sites of soils and dust

龙网筛测定有机质含量,过120目尼龙网筛测定重金属含量,重金属的测定项目有Cu、Zn、Pb、Cr、Cd和Ni。pH值的测定采用玻璃电极法;有机质的测定采用重铬酸钾氧化-外加热法;样品经酸溶法(HNO₃-HClO₄-HF)加热消解后,采用Perkin Elmer公司生产的AANALYST800型原子吸收光谱仪测定,其中Cu、Zn、Ni、Cr及灰尘中Pb的测定采用火焰法,Cd及土壤中Pb的测定采用石墨炉法。在重金属元素的分析测定中采用国家标准土壤样品(GSS-6)进行全过程的分析质量控制。为检测实验分析的可靠性,随机抽取1个样品作5次重复实验,其中Cu、Zn、Pb和Cd的相对标准偏差均小于10%,Cr和Ni的相对标准偏差均小于20%。

2 结果与讨论

2.1 公园土壤和灰尘基本性质

对上海城市公园土壤和灰尘pH值及有机质含量的测定结果如表1,从表1中可以看出,土壤略显碱性,而灰尘则呈现出明显的碱性。土壤及灰尘中碱性物质可能来源于大气颗粒物的沉降、各种建筑材料的输入等。土壤和灰尘有机质含量相差较大,灰尘有机质含量为土壤的2倍多。公园土壤及灰尘中较高的有机质含量可能主要源于游客丢弃的有机垃圾、植物残体及土壤施肥等。

表1 公园土壤和灰尘pH值及有机质含量/%

Table 1 pH and organic matter contents in soils and dust of urban parks in Shanghai/%

介质 ¹⁾	参数	平均值	最小值	最大值	变异系数
土壤 (n = 44)	pH 值	7.04	4.37	8.63	0.13
	有机质	3.26	1.46	6.41	0.35
灰尘 (n = 44)	pH 值	8.53	6.87	10.36	0.11
	有机质	7.21	1.77	14.00	0.36

1)n 表示样本个数

2.2 公园土壤和灰尘中重金属含量

上海城市公园土壤和灰尘中重金属的含量如表2,从表2可以看出,重金属含量的空间分布差异性较大,灰尘中除Zn外,其余5种重金属元素含量的空间分布差异均大于土壤。在所测定的6种重金属元素中,除土壤中Ni外,其余重金属元素的含量均超出上海市土壤背景值(以下均简称背景值)^[8]。在土壤中,Cd的平均含量为背景值的3.1倍,Cr的平均含量与背景值基本相当,Pb、Zn和Cu的平均含量分别为背景值的2.2倍、2.3倍和1.6倍。在灰尘中,6种重金属元素积累均较明显,尤其是Pb,其平均含量达到背景值的16.4倍,Zn、Cu和Cd的平均含量

表2 公园土壤和灰尘重金属含量/mg·kg⁻¹

Table 2 Heavy metal concentrations in soils and dust of urban parks in Shanghai/mg·kg⁻¹

介质	参数	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Ni
土壤	平均值	55.06	198.54	44.57	77.01	0.40	31.17
	变异系数	0.59	0.73	0.62	0.40	0.32	0.49
	最小值	26.39	102.45	23.12	25.53	0.19	4.95
	最大值	174.35	1025.65	151.74	163.70	0.67	65.70
灰尘	平均值	416.63	906.29	235.89	162.59	1.58	92.19
	变异系数	1.09	0.41	0.77	0.56	0.40	0.55
	最小值	49.64	278.42	48.16	52.51	0.64	28.00
	最大值	2 219.80	2 135.96	1 174.64	411.19	4.72	255.94
上海土壤背景值		25.47	86.10	28.59	75.00	0.13	31.90

也分别达到背景值的 10.5 倍、8.3 倍和 11.9 倍,相比较而言,Cr 和 Ni 的积累相对较轻,但也达到背景值的 2.2 倍和 2.9 倍.

土壤和灰尘 2 种介质中重金属含量相比较,灰尘中各重金属含量均远远超出土壤.从平均值来看,灰尘中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 和 Ni 的含量分别为土壤含量的 7.6 倍、4.6 倍、5.3 倍、2.1 倍、4.0 倍和 3.0 倍,灰尘中各重金属元素含量的最大值也均大于土壤中的最大含量.因此,从总体上看,城市公园土壤和灰尘均已受到重金属污染.

2.3 公园土壤和灰尘重金属的时空分布

以市区内外环线为参照,将上海城市公园分为

2 个区域,其重金属含量统计如表 3,从表 3 可以看出,除元素 Zn 外,内环线以内公园土壤重金属含量平均值均小于内外环线之间公园,尤其以 Pb、Cr 和 Ni 最为明显.就公园灰尘而言,内环线以内公园灰尘重金属含量平均值均小于内外环线之间公园,尤其以 Pb 和 Cr 最明显.这种重金属含量空间分布上的差异,可能与工业生产活动有关.近年来,上海旧城区的污染企业大量外迁,外环线附近集聚了康桥工业区、宝山工业园区等一批工业区,导致城市外围的公园更容易接受工业产生的污染,从而导致重金属含量比内环线以内公园高.

根据公园所处的功能区,上海城市公园土壤和

表 3 不同区域范围公园土壤和灰尘重金属含量对比/mg•kg⁻¹

Table 3 Comparison of heavy metals concentrations in soils and dust between different regions in urban parks/mg•kg⁻¹

重金属	土壤				灰尘			
	内环线以内		内外环线之间		内环线以内		内外环线之间	
	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数	平均值	变异系数
Pb	49.34	0.33	58.66	0.67	313.68	0.75	481.45	1.13
Zn	223.48	1.00	182.83	0.34	888.70	0.43	917.36	0.40
Cu	43.47	0.65	45.26	0.61	231.59	0.56	238.60	0.88
Cr	69.63	0.28	81.65	0.43	106.28	0.45	198.05	0.48
Cd	0.38	0.38	0.42	0.29	1.48	0.31	1.65	0.44
Ni	25.45	0.57	34.77	0.43	88.79	0.44	94.34	0.60

灰尘重金属含量的统计如图 2.对于公园土壤,不同功能区重金属含量无明显的差异,居民区公园土壤重金属含量略偏高,各重金属元素含量在各功能区的变化无明显的规律性.同土壤相比较,公园灰尘中的重金属在不同功能区含量的差异较为显著,但各重金属含量的变化也无一致的规律性,Pb、Ni 和 Cd 在工业区内含量最高,在商业区 Zn 和 Cu 含量最高.同其它城市土壤和灰尘重金属的污染规律相比较^[9,10],上海城市公园土壤和灰尘重金属含量在不同功能区的变化无明显规律性,可能主要由人为活动扰动以及介质中重金属来源的复杂性所造成.

土壤和灰尘重金属含量与公园建成时间的相关性分析如表 4,可以看出,公园土壤和灰尘重金属含量随公园的建成时间无明显变化,说明上海城市公园土壤和灰尘随着时间的变化无明显积累,这与国内外

其他学者对公园土壤重金属的研究有所差异^[11,12].

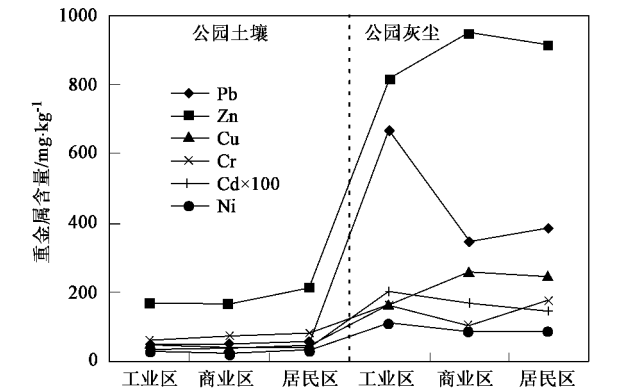


图 2 不同功能区公园土壤和灰尘中重金属含量

Fig.2 Heavy metal contents in soils and dust of urban parks in different districts

表 4 公园土壤和灰尘重金属含量与公园建成时间及有机质含量的 Pearson 相关系数¹⁾

Table 4 Pearson correlative coefficients of heavy metals contents and the opening times of parks added the organic matter contents

项目	介质	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Ni
公园建成时间	土壤	0.287	0.241	0.309 *	0.032	0.363 *	-0.166
	灰尘	-0.076	0.110	-0.069	-0.271	-0.122	-0.166
有机质含量	土壤	0.445 * *	0.273	0.507 * *	0.227	0.596 * *	-0.098
	灰尘	0.190	0.170	0.112	0.245	0.257	0.233

1) * * 相关系数在 0.01 概率水平上显著; * 相关系数在 0.05 概率水平上显著

2.4 城市公园土壤和灰尘中重金属来源探析

为探讨公园土壤和灰尘中重金属的主要来源,利用 SPSS 软件包对公园土壤和灰尘中重金属和有机质含量作了主成分分析(PCA),在分析前对所有数据进行了标准化转换(lg + 1)以消除因数量级不同带来的影响,在分析中采用正交旋转来突出影响重金属来源的主要因子,分析结果如图 3 和图 4(图中括号内的百分数为主成分在总变量中的贡献率)。就公园土壤而言,前 2 个主成分可以解释总变量的 65.5%,Pb、Cu、Zn 和 Cd 在第 1 主成分上表现出较高的正载荷,而 Cr 和 Ni 的载荷较低,由于上海城市公园土壤已遭受明显的 Pb、Cu、Zn 和 Cd 污染,而 Cr 和 Ni 的污染水平较低,说明第 1 主成分主要代表人为的污染影响。此外,土壤中有有机质在第 1 主成分上也表现出较高的正载荷,有机质与 Pb、Cu 和 Cd 表现出显著的相关性(表 4),说明有机质是 Pb、Cu 和 Cd 在土壤中的重要载体。Ni 在第 2 主成分上表现出较高的正载荷,分析 Ni 的含量略小于上海市土壤背景值,说明 Ni 可能主要来源于土壤母质。重金属 Cr 在 2 个主成分上均表现出较低的载荷,说明土壤中 Cr 可能还存在着其它来源。

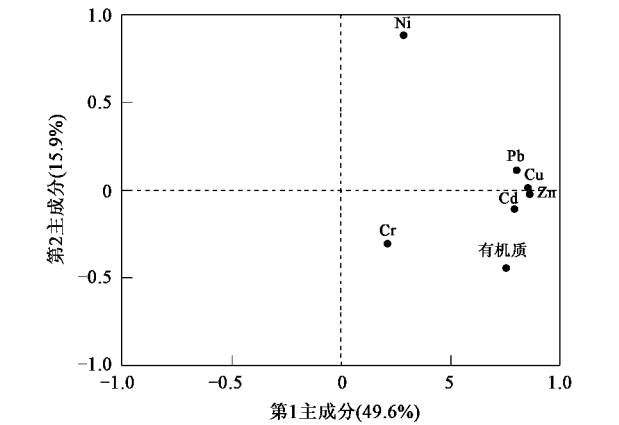


图 3 公园土壤重金属含量的平均主成分得分
Fig.3 Illustration of total metal concentrations in urban park soils in the coordinate system of two principal components

对于公园灰尘,前 2 个主成分可以解释总变量的 64.3%,在第 1 主成分上,Pb、Zn、Cd 和 Cr 表现出较高的正载荷,有研究表明汽车轮胎和尾气中含有 Pb、Zn、Cd 等多种重金属元素^[13,14],说明第 1 主成分可能主要代表交通所产生的污染。在第 2 主成分上,Cu 和 Ni 表现出极高的载荷,与其它重金属元素分开,说明这 2 种元素接受外来污染时存在较大的相似性,除受交通污染影响外,主要受其它污染源的影响。工业污染可能构成了灰尘中 Cu 和 Ni 的主要来源^[15,16]。

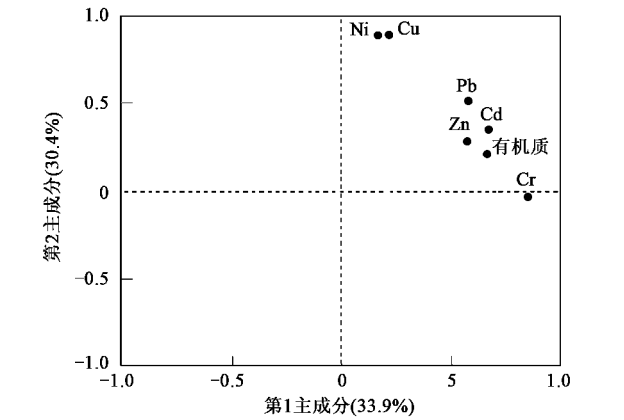


图 4 公园灰尘重金属含量的平均主成分得分
Fig.4 Illustration of total metal concentrations in urban park dust in the coordinate system of two principal components

3 结论

- (1)上海城市公园土壤和灰尘中各重金属元素均有不同程度的积累,土壤中 Pb、Zn、Cu、Cr、Cd 和 Ni 的平均含量分别为 55.06、198.54、44.57、77.01、0.40 和 31.17 mg·kg⁻¹;同土壤相比较,灰尘中各重金属元素积累更为严重,平均含量分别为 416.63、906.29、235.89、162.59、1.58 和 92.19 mg·kg⁻¹。
- (2)内环线以内公园土壤(Zn 除外)和灰尘中各重金属元素平均含量小于内外环线之间公园;公园土壤和灰尘重金属含量在各功能区上的变化无明显的规律性。
- (3)通过分析推测,上海城市公园土壤和灰尘中重金属主要源于人类活动的输入,交通和工业污染构成了重金属的最主要来源。

参考文献:

[1] Lanphear B P, Roghmann K J. Pathways of lead exposure in urban children[J]. Environmental Research, 1997, 74: 67 ~ 73.

[2] 李恋卿,潘根兴,张平究,等. 太湖地区水稻表层土壤 10 年尺度重金属元素积累速率的估计[J]. 环境科学, 2002, 23 (3): 119 ~ 123.

[3] 宋书巧,吴欢,黄胜勇. 重金属在土壤-农作物系统中的迁移转化规律研究[J]. 广西师院学报(自然科学版), 1999, 16 (4): 87 ~ 92.

[4] 杨元根, Paterson E, Campbell C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 44 ~ 48.

[5] 张辉,马东升. 城市生活垃圾向土壤释放重金属研究[J]. 环境化学, 2001, 20(1): 43 ~ 47.

[6] Davis S, Waller P, Buschbom R, *et al.* Quantitative estimates of soil ingestion in normal children between the ages of 2 and 7 years: population-based estimates using aluminum, silicon, and titanium as soil tracer elements[J]. Arch Environment Health, 1990, **45**: 112 ~ 122.

[7] Healy M A, Harrison P G, Aslam M, *et al.* Lead sulphide and traditional preparations: routes for ingestion, solubility and reactions in gastric fluid[J]. J. Clin. Hosp. Pharm., 1982, **7**: 169 ~ 173.

[8] 王云. 上海市土壤环境背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 37.

[9] 王金达, 刘景双, 于君宝, 等. 沈阳市城区土壤和灰尘中铅的分布特征[J]. 中国环境科学, 2003, **23**(3): 300 ~ 304.

[10] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能城区土壤中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的污染特征[J]. 环境科学, 2003, **24**(3): 105 ~ 111.

[11] Xiangdong Li, Chi-sun Poon, Pui Sum Liu. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. Applied Geochemistry, 2001, **16**: 1361 ~ 1368.

[12] 郑袁明, 余轲, 吴鸿涛, 等. 北京城市公园土壤铅含量及其污染评价[J]. 地理研究, 2002, **21**(4): 418 ~ 424.

[13] Pichtel J, Sawyerr H T, Czarnowska K. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland [J]. Environmental Pollution, 1997, **98**: 169 ~ 174.

[14] Kelly J, Thornton I. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain [J]. Applied Geochemistry, 1996, **11**: 363 ~ 370.

[15] 陈玉娟, 温琰茂, 柴世伟. 珠江三角洲农业土壤重金属含量特征研究[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(3): 75 ~ 77.

[16] Banerjee A D K. Heavy metals levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India[J]. Environ. Pollut., 2003, **123**: 95 ~ 105.