

广州城市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响*

管东生, 陈玉娟, 阮国标
(中山大学环境科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 探讨广州城市及近郊的土壤重金属含量特征. 47个代表性土壤点的结果表明, 广州表土的 Cu、Ni、Zn、Pb、Cr 分别为 10.3、23.1、112.8、58.3 和 42.0 mg/kg. 从土壤类型看, 除 Ni 外, 路边土壤重金属平均含量最高, 农业土壤(果园、菜园、作物土壤)和公园土壤居中, 林地土壤普遍最低. 汽车尾气和农业化学物质的投入是广州土壤中 Pb 污染的重要来源. 工业活动的影响也不可忽视.

关键词: 土壤; 重金属; 人类活动; 广州

中图分类号: X131.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 04-0093-05

土壤重金属污染问题是当今环境科学研究的重要内容, 特别是城市土壤重金属污染问题受到越来越多的重视. 因为城市人口集中, 工业发达, 交通拥挤, 人类活动的影响强烈, 城市土壤中重金属污染源不仅量多, 而且种类繁多, 一旦造成污染, 对人类的健康危害很大. 对城市土壤的重金属污染问题, 欧、美等一些发达国家研究较多^[1-3]. 在香港也作过相关的研究^[4,5], 但珠江三角洲和华南其它城市有关研究较少. 本文旨在通过详细的调查分析, 了解广州城市及近郊土壤重金属含量及污染现状, 进而探讨其产生原因.

1 材料和方法

土壤样品从广州城市及近郊 47 个代表性土壤样点获取. 城市土壤分为路边土壤和公园(校园)土壤, 共 17 个采样点. 近郊土壤选择了 30 个土壤样点, 分为 4 类: 果园土壤、菜园土壤、林地土壤和作物土壤(农作物包括水稻和玉米). 采表层(0~20 cm)土壤, 每个样点分别采 3~5 个样品组成一个混合样.

土壤样品经风干, 过 100 目筛, 用 HNO_3 - HClO_4 - H_2O_2 消化, 用火焰原子吸收法测定 Pb、Cu、Zn、Ni、Cr 等 5 种重金属的浓度. 测定过程用中国环境监测总站的标样(ESS-1)进行质量全程控制. 将所有样品的重金属含量的原始数据进行标准化, 求出各类土壤的重金属含量平均值、标准差, 并进行相关分析和聚类分析.

2 结 果

2.1 不同类型土壤表层的重金属含量特征

由表 1 可见, 除 Ni 外, 路边土壤中重金属平均含量均为各类土壤中最高, 而其 Ni 的平均含量(24.1 mg/kg)与最大值(30.6 mg/kg)相差不大. 农业土壤(果园、菜园、作物土壤)的 Cu、Cr 平均含量远低于路边土壤, Zn、Pb 平均含量也明显低于路边土壤. 公园土壤除 Cu、Cr 较高外, 其它均较低. 而林地土壤中重金属平均含量一般较低. Pb 的平均含量以路边土壤最高; 其次为菜园土壤, 作物土壤、果园土壤, 这三类农业土壤的 Pb 的平均含量均较大; 公园土壤、林地土壤最低. 计算标准差与平均值之比发现, 5 类重金属的变异系数均较大.

整体来说, 路边土壤的 5 种重金属污染均较严重, 农业土壤的 Zn、Pb、Ni 次之, 公园土壤重金属有轻微污染, 林地土壤相对污染最轻.

2.2 不同类型土壤表层重金属含量的相关性

研究土壤中重金属含量的相关性可以推测重金属的来源是否相同^[2]. 若重金属含量有显著的相关性, 说明可能来源相同, 否则来源可能不止一个. 由表 2 可见: 农业土壤(包括果园、菜园、作物土壤)中, Pb-Cu、Pb-Zn、Pb-Ni、Zn-Ni、Zn-Cu、Zn-Cr、Cu-Ni 金属对之间均有显著的相关性, 这说明这些金属对来自同一个源的概率较大. 林地土壤中除 Cu-Cr, 城市土壤中除 Pb-Cu, Cu

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49571064); 广东省环境保护局科技开发项目(粤环 1999-15)

收稿日期: 2000-09-28; 作者简介: 管东生(1957-), 男, 教授.

- Ni 外, 其它金属对均没有存在显著的相关性, 说明这两类土壤中重金属的来源可能不止一个. 林地土壤受人类活动影响较小, 其重金属含量主要决定于土壤母质. 城市土壤由路边土壤和公园

土壤组成, 重金属含量的决定因素较多. 在全部土壤中, Pb - Cu、Pb - Zn、Pb - Ni、Pb - Cr、Zn - Ni、Cu - Ni、Cu - Cr 金属对之间均有显著的相关性, 其中 5 对与农业土壤的相同.

表 1 广州城市及近郊不同类型土壤表土的重金属含量

Tab.1 Heavy metal concentrations of the top soil in different soil types

mg/kg

项目	路边土壤 (n=9)	公园土壤 (n=8)	果园土壤 (n=8)	菜园土壤 (n=7)	林地土壤 (n=9)	作物土壤 (n=6)	最大值	最小值
Cu	平均值	33.7	13.7	1.8	2.8	2.3	2.5	路边土壤
	标准差	23.98	5.43	1.37	2.56	1.76	2.45	(33.7)
Ni	平均值	24.1	9.6	25.6	25.8	24.5	30.6	作物土壤
	标准差	15.23	7.83	27.90	26.90	20.86	35.03	(30.6)
Zn	平均值	135.3	105.9	134.5	110.7	87.0	100.6	路边土壤
	标准差	110.99	56.46	50.13	76.97	61.55	47.89	(135.3)
Pb	平均值	77.2	49.0	55.3	63.6	45.7	58.9	路边土壤
	标准差	40.47	18.12	21.43	37.88	17.30	29.64	(77.2)
Cr	平均值	104.5	68.8	18.2	13.6	18.6	12.6	路边土壤
	标准差	54.49	17.69	18.06	13.61	13.32	10.67	(104.5)

表 2 广州城市及近郊表层土壤中重金属含量的相关性

Tab.2 Relationships among the heavy metal concentrations in the top soil of urban and suburb Guangzhou

项目	农业土壤					林地土壤				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
Cu	1.000	0.733**	0.575**	0.610**	0.404	1.000	0.686*	0.683*	0.650	0.895**
Ni		1.000	0.725**	0.741**	0.446*		1.000	0.611	0.485	0.761*
Zn			1.000	0.774**	0.607**			1.000	0.767*	0.661
Pb				1.000	0.620				1.000	0.444
Cr					1.000					1.000

项目	城市土壤					全部土壤				
	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
Cu	1.000	0.752**	0.336	0.625**	0.539*	1.000	0.403*	0.260	0.474**	0.862**
Ni		1.000	0.382	0.583*	0.522*		1.000	0.566**	0.649**	0.251
Zn			1.000	0.355	0.493*			1.000	0.653**	0.264
Pb				1.000	0.407				1.000	0.384**
Cr					1.000					1.000

显著性水平: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

2.3 土壤重金属含量的聚类分析

聚类分析是研究土壤重金属含量特征的有效手段, 本研究根据分析结果可将所有的土壤样品分成下面 4 类. 由表 3 及表 4 可看出, 这 4 类土壤样品的分布和重金属含量特征具有如下特点:

A 类: Ni、Zn、Pb 含量在 4 类中最低, Cu、Cr 含量较低. 包括的土壤样品大部分为近郊土壤 (果园、菜园、林地、作物土壤) 和公园土壤. A 类土壤重金属污染程度最轻.

B 类: Ni 含量为 4 类中最高, Zn、Pb 含量

较高, Cu、Cr 含量最低. 包括的土壤样品亦以近郊土壤为主, 特别是农业土壤 (果园、菜园、作物土壤) 占大多数. B 类土壤重金属污染程度居中.

C 类: Cr 含量 4 类中最高, 其余 4 种重金属含量较低. 只包括 2 个路边土壤. 其特征是有明显的 Cr 污染.

D 类: 这类土壤的 Cu、Zn、Pb 含量均为 4 类中最高, 且与最低值相比均有很大差距. 其只包括 2 个路边土壤.

上述聚类分析结果表明, 路边土壤的重金属污染程度最严重, 一些样品还存在明显的 Cr 污染. 农业土壤大约一半样品, 林地土壤一些样品 (这与其中 2 个样品靠近珠江化工厂有关) 重金属污染程度居中. 余下的一部分农业土壤, 大部分林地土壤和绝大部分公园土壤污染程度较轻. 这和表 1 的结果大致相吻合.

2.4 广州与深圳、香港土壤表层重金属含量的比较

广州、深圳、香港都是大都市, 各方面条件比较相似, 故进行比较是有意义的. 从表 5 可以看出, 广州的 Ni、Pb、Cr 的平均含量均比深圳的高得多, Cu、Zn 则相差不大. 与香港相比, 广州的 Zn 的平均含量很高, Pb 含量相似, 而 Cu

表 3 广州城市及近郊土壤中重金属含量的聚类分析结果中重金属类平均值

Tab.3 Mean values of heavy metal concentrations within each cluster in the cluster analysis based on the heavy metal concentrations in all top soil samples mg/kg

分类	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
A 类	7.7	10.7	69.0	43.2	32.0
B 类	5.0	44.4	172.3	75.1	31.7
C 类	22.5	17.8	88.0	55.0	158.2
D 类	72.7	41.9	305.6	146.3	142.7

表 4 聚类分析中各类包括的各种类型土壤样品的数量

Tab.4 The number of soil samples included in each cluster

分类	路边土壤	公园土壤	果园土壤	菜园土壤	林地土壤	作物土壤
A 类	4	7	4	4	6	3
B 类	1	1	4	3	3	3
C 类	2	0	0	0	0	0
D 类	2	0	0	0	0	0

表 5 广州、深圳、香港土壤表层重金属含量

Tab.5 Comparisons of the mean heavy metal concentrations of top soil in Guangzhou and its neighboring areas mg/kg

土壤	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
广州市 ($n=47$)*	$10.3 \pm 16.05^{**}$	23.1 ± 22.66	112.8 ± 70.92	58.3 ± 29.35	42.0 ± 44.87
深圳 ($n=82$) ^[6]	10.7 ± 10.7	10.6 ± 10.08	132 ± 111.0	39.2 ± 28.0	27.5 ± 26.13
香港 ($n=47$) ^[4]	17.1 ± 16.1	-	55.2 ± 15.2	56.9 ± 48.2	-

* 括号内的数值为样品数; ** 平均值 $\pm$ 标准差

则稍低. 可见, 相对来说, 广州土壤的 Zn 污染比香港严重, Pb 污染比深圳严重.

3 讨 论

3.1 交通和工业活动对土壤重金属含量的影响

广州城市土壤重金属含量普遍比近郊土壤高, 交通和工业活动是主要的影响因素. 前面的结果表明, 路边土壤的重金属污染最严重, 特别是 Pb、Zn 的含量较高. 其中汽车尾气对重金属含量的贡献是一个主要影响因素. 含 Pb 汽油的燃烧是城市 Pb 污染的重要来源. 据有关资料^[7], 各种汽油含 Pb 量在 0.4~1.0 g/kg 之间, 汽车排

气中的 Pb 多达 20~50 $\mu\text{g/L}$. 因此, 公路两侧的土壤和植物 Pb 污染往往十分严重. 很多研究也表明了这一点, Tam 等^[5]研究发现在香港繁忙公路旁的公园内, 植物叶子、表土、尘土中重金属含量与交通流量有显著的相关性, 张学林等^[8]也发现, 土壤样品与公路的距离不同, 其 Pb 含量也不同, 离公路越近, Pb 含量越高. 国外 Pichtel, Nicholas - Hewitt 等^[1,3]也发现, 城市土壤、街上尘土 Pb 含量与交通有很大关系. 广州人口密度大, 市内道路交通流量大, 道路经常堵塞, 而且广州含 Pb 汽油的使用已有很长一段历史, 只是直到近年才禁止使用含 Pb 汽油. 据有关资

料^[9],在广州街道内监测到大气中 Pb 的浓度在 0.27~0.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间,而未污染大气中 Pb 的浓度范围为 0.0001~0.001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 因此,广州路边土壤含 Pb 偏高是不足为奇的.

广州路边土壤含 Zn 量也较高,且与 Pb 含量有一定相关性(在路边土壤中的相关系数是 0.617). 刘廷良等认为^[10],汽车轮胎的添加剂中含有 Zn,所以轮胎磨损产生的粉尘,是路边土壤 Zn 污染的重要来源. 既然这两种重金属的含量都与交通流量有关,因此有一定的相关性.

工业活动也是影响广州土壤重金属含量的一个重要因素. 城市土壤重金属的富集一般认为是由非点源的污染所造成,如汽车尾气、市政建设工程、工业废气排放的重金属进入大气,再经沉降富集到土壤中^[10]. 那些靠近工业“三废”排放点的土壤也会受到不同程度的污染. 广州工业发达,“三废”的排放量很大. 据 1999 年广州市统计年鉴,1998 年市区工业废气排放量为 1 232.14 亿 m^3 ,工业粉尘排放量为 1.24 万 t,废水排放量为 92 478 万 t,废渣堆存量为 413 万 t. 而三废的处理率均较低,故路边土壤重金属含量较高与之也有关. 广州城市公园土壤重金属有轻微污染,其中 Zn、Pb、Cr 也表现出富集趋势.

值得注意的是,广州近郊的农业土壤,特别离市区较近的果园和菜园土壤施用城市生活垃圾及污泥作肥料,且长期引用工业废水和生活污水灌溉. 由于乡镇企业的兴起,而且广州城区要严格控制污染,很多污染严重的工厂搬迁到市郊. 因此工业活动对近郊土壤的影响不可忽视. 本文的结果表明,农业土壤(果园、菜园、作物土壤)中 Ni、Zn、Pb 均表现出富集的趋势.

3.2 农业活动对农业土壤重金属含量的影响

在自然条件下,土壤中的重金属主要来源于母岩和残落的生物物质,但在高强度的农业活动影响下,土壤的性质会发生深刻的改变,某些元素会富集. 如张民等^[11]研究发现,我国菜园和粮田中,随着耕作历史的延长,表层土壤的 Zn、Pb、Cu 含量有增加趋势. 广州农业土壤 Zn、Pb 含量均较高,表现出富集趋势. 而 Cu 含量却较低,这可能与广州土壤中 Cu 的背景值较低且在不同土类中的含量分布很不均匀^[6]有关.

农业土壤中 Zn、Pb 含量偏高,上面提到的工业活动的影响是一个因素,农业化学物质的投

入如大量农药、化肥、有机肥的施用是另一个重要因素. 陈同斌等^[4]研究指出,历史上砷酸铅及其它含铅农药的大量施用使香港果园土壤 Pb 含量偏高. 广州市郊的果园、菜园农药的施用量也很大,对土壤无疑会有一定的影响. 我国化肥中报道最多的污染物质就是重金属元素. 有数据表明,我国磷肥中 Zn、Pb、Cr 等重金属含量均较高^[12]. 另外,我国农民历来有施用人畜粪便等有机肥的耕作习惯. 而有机肥中 Zn、Cu 重金属含量较高. 长期大量施用化肥、有机肥也会提高土壤重金属含量. 在广州农业土壤中, Cu、Zn、Pb 之间均有显著的相关性(Cu-Zn、Cu-Pb、Zn-Pb 相关系数分别为 0.575、0.610、0.774),这也说明农业化学物质对土壤重金属的影响.

参考文献:

- [1] PICHTEL J, SAWYER H T, CZARNOWSKA K. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland[J]. *Environmental Pollution*, 1997, 98: 169 - 174.
- [2] GALLEY F A, LLOYD O L. Grass and surface soils as monitors of atmospheric metal pollution in central Scotland[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1985, 24: 1 - 18.
- [3] NICHOLAS-HEWITT C, CANDY G B B. Soil and street dust heavy metal concentrations in and around Cuenca, Ecuador[J]. *Environmental Pollution*, 1990, 63: 129 - 136.
- [4] 陈同斌, 黄铭洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状[J]. *地理学报*, 1997, 52(3): 228 - 236.
- [5] TAM N F Y, LIU W K, WONG M H, et al. Heavy metal pollution in roadside urban parks and gardens in Hong Kong[J]. *The Science of the Total Environment*, 1986, 59: 325 - 328.
- [6] 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.
- [7] 孟可, 张学林, 秦建业, 等. 我国大城市环境铅污染影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 1995, 15(2): 135 - 141.
- [8] ZHANG X L, MENG K. Lead content of urban soils in China[J]. *J Environmental Science*, 1994, 6(3): 355 - 360.
- [9] 覃有钧, 陈鲁言. 汽车尾气污染[M]. 广州: 中山大学出版社, 1995.
- [10] 刘廷良, 高松武次郎, 左濂裕之. 日本城市土壤的重金属污染研究[J]. *环境科学研究*, 1996, 9(2): 47 - 51.
- [11] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. *土壤学报*, 1996, 33(1): 85 - 93.
- [12] 李天杰. 土壤环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.

(下转第 101 页)

- 数值分析与解析方法讨论论文集[C]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 43 - 57.
- [13] 董建国, 赵锡宏. 高层建筑地基基础—共同作用理论与实践[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997. 279 - 286.
- [14] RANDOLPH M, WROTH C P. An analysis of the vertical deformation of pile groups[J]. *Geotechnique*, 1979, 29 (4): 423 - 439.

Research on the Mechanism of Interaction between Piles and Soil Layers Under the Dynamic and Static Loads

ZHOU Cui-ying¹, TAN Xiang-shao¹, LI De-fu¹, LI Zhi-zhong², WANG Jin²

(1. Department of Geosciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. Yongji Construction and Foundation Co.Ltd., Shunde 528300, Guangdong, China)

Abstract: The fracture mechanism of engineering piles is one of the important issues in foundation engineering. Many quantitative studies have been carried out on the interaction of piles and soil layers. In the paper, based on the research of mathematical model of the interaction between piles and soil layers under axial loads, considerations are focused on the horizontal vibration force representing pile-pushing machine while it moves. Then, the mathematical model of interaction between piles and soil layers under the synthetic action of horizontal vibration load from pile - pushing machine and axial loads is established. The application of the model to a certain construction case in Guangzhou city shows that the position of stress concentration in prefabricates pile body is closed to the fractured location of the piles.

Keywords: prefabricate pile; dynamic and static loads synthetic action; interaction between piles and soil layers

(上接第 96 页)

Study on Heavy Metal Concentrations and the Impact of Human Activity on Them in Urban and Suburb Soils of Guangzhou

GUAN Dong-sheng, CHEN Yu-juan, YUAN Guo-biao

(Department of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Heavy metal concentrations in urban and suburb soils of Guangzhou were studied in this paper. The results show that averages of total Cu, Ni, Zn, Pb, Cr concentrations in surface soils were 10.3, 23.1, 112.8, 58.3 and 42.0 mg/kg. It is found that road side soil has the maximum average concentrations of heavy metals except for Ni, followed by agricultural soil and urban park soil. The minimum ones were found in forest soil. Automobile tail gas and repeated applications of agrochemicals were the major sources of Pb pollution in the soils. The industrial activities were also an important impact that could not be neglected.

Keywords: soils; heavy metal; human activity; Guangzhou