

# 芜湖市工业区土壤重金属污染状况研究<sup>①</sup>

王友保<sup>1</sup>, 张凤美<sup>2</sup>, 王兴明<sup>1</sup>, 潘超<sup>1</sup>, 刘登义<sup>1</sup>

(1 安徽师范大学生命科学学院, 安徽芜湖 241000; 2 安徽师范大学环境科学学院, 安徽芜湖 241000)

**摘要:** 通过对芜湖工业区(四褐山区、马塘区)土壤中重金属污染状况的调查, 结果表明: 土壤中重金属(Cu、Pb、Zn、Cd)含量绝大部分高于土壤元素背景值。在四褐山工业区, Cu 污染最严重, Cd 次之; 在马塘工业区, Cd 污染最严重, Zn 次之。土壤中重金属含量基本上与土壤 pH 呈负相关关系, 而重金属总量与可浸提态含量呈正相关关系。土壤中重金属污染来源主要是污水, 大气粉尘沉降也是一个重要因素。

**关键词:** 工业区; 土壤; 重金属; 污染

**中图分类号:** X14

目前, 重金属污染已成为影响生态系统的重要污染类型<sup>[1-3]</sup>, 对重金属污染土壤的监测、评价与治理研究引起了众多科研人员的重视<sup>[4-6]</sup>。另一方面, 当前我国城市化进程日益加快, 城市工业迅速发展且分布区不断集中, 形成了功能日趋强化的城市工业区。由于众多工业企业的“三废”排放, 城市工业区土壤的性质与环境特点发生了显著的改变, 进而影响到市民居住环境的质量和城市生态功能<sup>[7-10]</sup>。

芜湖市位于安徽省南部, 长江中下游南岸。近年来城市化十分快速。四褐山工业区位于市北距市中心 11 km 处, 因境内有四褐山而闻名, 全区面积 5.52 km<sup>2</sup>, 原为当涂县农村, 1956 年划归芜湖市区后发展很快; 有发电厂、冶炼厂、纸板厂、砖瓦厂、铜网厂、化工厂、光滑玻璃厂等大中型企业 30 多家, 已建成为芜湖市重要的工业区和电力供应基地。马塘工业区位于青弋江南岸, 一向为农副产品集散地, 现发展为钢铁、化工、卷烟、木材等综合工业区; 拥有工业企业 40 多家, 为该市今后发展方向之一。本研究采集芜湖市四褐山工业区、马塘工业区的土

壤样品, 分析这些土壤的性质以及土壤中 Cu、Pb、Cd、Zn 等重金属污染物分布与特征, 以期为城市土壤环境质量的认识与保护提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土样

土壤样品采自芜湖四褐山和马塘两个工业区, 其基本性质见表 1。鉴于两工业区内土地面积广大, 污染主要为以水型和气型污染相结合的综合污染, 本次研究采用大范围的蛇形采样布点法, 三点等距采样, 共采集了 16 个剖面 32 个样点, 土样采集深度为 0 ~ 25 cm。考虑到研究区与南京市相距仅 90 km 左右, 且两地自然条件非常相似, 本文参照中国科学院土壤背景值调查协作组 1979 年提出的南京地区自然土壤中重金属自然含量平均值: Cu 20.00 mg/kg、Pb 24.80 mg/kg、Cd 0.19 mg/kg、Zn 76.80 mg/kg, 对调查区土壤重金属污染状况进行评价。

### 1.2 样品的处理与分析

在两个工业区, 采用四分法, 分别按污灌区、主风向区和逆主风向区进行土样混合。土壤样品经

表 1 工业区土壤的基本性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soils in industrial sites

地点	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	水溶性盐(g/kg)
四褐山工业区	7.58	9.1	1.01	0.17	9.56	2.87
马塘工业区	7.37	9.3	1.15	0.20	8.81	2.19

①基金项目: 安徽省教育厅基金项目和安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室基金项目资助。

作者简介: 王友保 (1974—), 男, 安徽省肥西县人, 副教授, 博士研究生, 主要从事污染生态学和环境生物学研究。E-mail:wyzbl@tom.com

自然风干，碾碎，过 80 目筛。测定土样 pH 值、水溶性盐、有机质含量及土样全 N、P、K 含量<sup>[11]</sup>；土壤样品经硫酸-高氯酸消化后，原子吸收分光光度法测定 Cu、Cd、Pb、Zn 的总量；土样经 0.1mol/L HCl 浸提（土：水=1:2.5），测定 Cu、Zn、Pb、Cd 的可浸提态含量<sup>[12]</sup>。以上所有容器均用 2% 的稀硝酸浸泡 24 h 以上，以避免各种可能性污染。

## 2 结果与讨论

### 2.1 调查区土壤污染状况

**2.1.1 土壤重金属总量** 与土壤背景值相比，两工业区土壤 Cu、Cd、Pb、Zn 等重金属含量普遍偏高（表 2）。对于四褐山工业区，污灌区和主风向区土壤总 Cu 含量远高于背景值，污染指数超过了 10。此外，四褐山工业区土壤 Cd 污染严重，成为仅次于

Cu 的重要污染物，Pb、Zn 含量相对较少。对于马塘工业区，各重金属也显著超出了土壤元素背景值，其中 Cd 污染最为严重，超出背景值 5 倍多，其次是 Zn，污染指数均在 4 以上，而 Cu、Pb 污染相对较轻。

**2.1.2 土壤中可浸提态重金属含量** 重金属元素可浸提态含量与土壤理化性质、植物生长状况等因素相关，直接影响着重金属的有效性，是影响植物生长的最直接部分。在四褐山工业区，Cu、Pb 的可浸提态含量占其总量的比例较高，而 Cd、Zn 在部分地区具有较高的比例（表 3）。说明影响该工业区最直接的重金属污染可能来源于 Cu 和部分地区的 Cd。对于马塘工业区，Cd、Cu 可浸提态含量所占重金属总量比例较高，而 Pb、Zn 比例相对偏小，说明该工业区最直接的重金属污染来源于 Cd。

表 2 工业区土壤中重金属含量 (mg/kg)

Table 2 Contents of heavy metals in the soil of the industrial sites

指标		四褐山工业区			马塘工业区		
		污灌区	主风向区	逆主风向区	污灌区	主风向区	逆主风向区
Cu	总量	346.00	234.40	51.95	43.35	42.65	39.10
	污染指数	17.300	11.720	2.598	2.168	2.133	1.955
Cd	总量	0.65	0.68	0.56	1.06	1.31	1.02
	污染指数	3.421	3.579	2.947	5.579	6.895	5.368
Pb	总量	36.15	41.60	36.15	63.30	82.20	57.90
	污染指数	1.458	1.677	1.458	2.552	3.315	2.335
Zn	总量	157.70	125.85	90.65	321.15	349.15	316.10
	污染指数	2.053	1.639	1.180	4.182	4.546	4.116

表 3 工业区土壤中重金属可浸提态含量 (mg/kg)

Table 3 Contents of extractable heavy metal in the soils of the industrial sites

样区	四褐山工业区				马塘工业区			
	Cu	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn
污灌区	201.53	0.03	30.85	40.26	11.24	0.46	8.68	67.56
主风向区	100.48	0.20	19.67	22.73	14.25	0.61	14.58	78.79
逆主风向区	18.70	0.02	28.74	62.55	15.40	0.34	8.73	67.49

### 2.2 土壤重金属总量与可浸提态含量间的关系

通过对两工业区土壤重金属总量与可浸提态含量间的相关分析发现，工业区土壤重金属 HCl 提取态含量与相应重金属总量间存在一致的正相关关系。除 Zn 的相关系数为 0.738，未达到显著水平外，Cu、Cd、Pb 均达到显著或极显著水平，其相关系数分别为  $r_{Cu}=0.813$ ， $r_{Cd}=0.925$ ， $r_{Pb}=0.976$ 。由于

工业区土壤重金属主要来源于外源污染（工业企业的“三废”排放等），而 HCl 提取态主要是土壤中的可交换态部分，导致了几种重金属总量与其对应的可浸提态含量间存在较高的正相关关系。因此，加强对工业区土壤重金属有效性的研究，降低 Cu、Cd 等重金属的可浸提态含量，对于改善工业区的重金属污染状况具有重要意义。

### 2.3 土壤 pH 值与土壤中重金属含量的关系

通过计算土壤 pH 与土壤中重金属总量及其可浸提态含量间的相关系数 (表 4), 发现 pH 对土壤中重金属含量影响明显。除 Pb 的可浸提态含量外, 土壤 pH 值与重金属总量及其可浸提态含量呈负相关关系。特别是对于可浸提态, pH 的降低, 将大大提高可浸提态的含量。已有研究表明, 每增加一个 pH 单位, 所有含 Zn 矿物的溶解度可减少为其原溶解度的 1%。比如 Cd 的相关性在所有可浸提态中是比较高的, 土壤 pH 降低, 会增加土壤中植物可吸收 Cd 的含量, 加重土壤的污染水平。

表 4 重金属含量与土壤 pH 的相关性

Table 4 Contents of heavy metals in relation to soil pH

	Cu	Cd	Pb	Zn
总量	-0.613	-0.704	-0.465	-0.341
可浸提态	-0.841*	-0.832*	0.262	-0.728*

\* 表示达到  $P < 0.05$  的显著水平。

### 2.4 土壤重金属的主要来源

两工业区土壤重金属主要来自于工业污水及工业区大气粉尘沉降等。如土壤 Pb、Zn 污染受芜湖冶炼厂、化工厂、钢铁厂工业废气影响较为突出, 尤其是冶炼厂排出的废气中 Pb 的含量较高, 其排放量达 2.68 t/年, 工业废气中的 Pb 随降尘沉降到达地表进入土壤, 使土壤中的 Pb 含量异常升高。表 2 中主风向区土壤 Pb 含量偏高也说明了这一点。土壤 Cu、Cd 的污染主要受冶炼厂、发电厂等工厂排放的工业废水影响, 仅芜湖发电厂排放的废水中 Cd 的总量就达 55 kg/年<sup>[13]</sup>。

对工业区的几条主要排污明渠的检测表明, 各排污渠污水 Cd 含量均超标严重, 冶炼厂所排污水中 Cu 含量也超标 10 倍以上 (表 5)。虽然 Pb、Zn 含量低于国家农田灌溉水质规定标准, 但这些污水长期用于农田或绿地灌溉, 其累积的后果同样导致了土壤重金属的严重污染。

表 5 不同污染区水样中重金属总量 (mg/L)

Table 5 Heavy metals in water samples from different polluted sites

来源	Cu	Pb	Cd	Zn
冶炼厂排污渠	12.600	0.042	0.861	0.014
钢铁厂排污渠	0.176	0.066	0.066	0.231
印染厂排污渠	3.908	0.200	0.368	0.080
农田灌溉水质标准	1.0	0.5	0.002	2.0

### 3 结论

(1) 与土壤背景值相比, 芜湖市四褐山工业区和马塘工业区土壤 Cu、Cd、Pb、Zn 等重金属含量普遍偏高, 绝大部分高于土壤元素背景值。其中四褐山工业区土壤 Cu、Cd 污染严重, Pb、Zn 含量相对较少; 马塘工业区 Cd 污染最为严重, 其次是 Zn, 而 Cu、Pb 污染相对较轻。

(2) 两工业区土壤中重金属含量基本上与土壤 pH 呈负相关关系, 而重金属总量与可浸提态含量呈正相关关系。工业区土壤重金属主要来自于工业污水及工业区大气粉尘沉降等。

### 参考文献:

- [1] Zhang MK, Ke ZX. Copper and zinc enrichment in different size fractions of organic matter from polluted soils. *Pedosphere*, 2004, 14 (1): 27-36
- [2] 刘霞, 刘树庆, 王胜爱. 河北主要土壤中 Cd 和 Pb 的形态分布及其影响因素. *土壤学报*, 2003, 40 (3): 393-400
- [3] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖. 六合蒋家湾蔬菜基地重金属污染现状与评价. *土壤*, 2004, 36 (5): 557-560
- [4] Zhang MK, Ke ZX. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou City, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 177-186
- [5] 周秀艳, 王恩德, 王宏志. 辽西滨海矿集区重金属污染与评价. *土壤*, 2004, 36 (4): 387-391
- [6] 吴新民, 潘根兴. 影响城市土壤重金属污染因子的关联度分析. *土壤学报*, 2003, 40 (6): 921-928
- [7] Markus JA, Mcbrathey AB. An urban soil study: Heavy metals in Globe. *Aust.J. Soil Res.*, 1996, 34: 453-465
- [8] Lottermoser BG. Natural enrichment of top soils with chromium and other heavy metals in Port M acquire, New South Wales, Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 1997, 35: 1165-1176
- [9] 章明奎, 王美青. 杭州市城市土壤重金属的潜在可淋洗性研究. *土壤学报*, 2003, 40 (6): 915-920
- [10] 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. *土壤通报*, 1999, 30 (2): 93-96
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科技出版社, 1978
- [12] 环境污染分析方法编辑组. *环境污染分析方法*. 北京: 科学出版社, 1980
- [13] 阎伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危害及其对策研究. *土壤学报*, 2000, 37 (1): 136-141

## Heavy Metals in Soils in the Industrial Zones of Wuhu

WANG You-bao<sup>1</sup>, ZHANG Feng-mei<sup>2</sup>, WANG Xing-ming<sup>1</sup>, PAN Chao<sup>1</sup>, LIU Deng-yi<sup>1</sup>

( 1 College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China;

2 College of Environmental Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China )

**Abstract:** An investigation was carried out on heavy metal contamination of soils in the industrial zones of Wuhu (Siheshan District and Matang District). The results indicated that the concentrations of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) in the soils of the two districts were higher than their respective background values. In Siheshan District, the pollution of Cu was the most serious, and the pollution of Cd came the next. In Matang District, the pollution of Cd was the most serious, and the pollution of Zn followed. The concentrations of heavy metals in the soils were basically negatively correlated with soil pH, while the contents of total heavy metals positively correlated with the content of their extractable forms. The heavy metals in the soil came mainly from the wastewater, and atmospheric dry deposition as well.

**Key word:** Industrial area, Soil, Heavy metal, Contamination