

上海宝山区城市表土重金属累积的空间分布规律^①

叶 荣^{1,2}, 胡雪峰^{1,2}, 潘 赟², 苏 玉², 张甘霖¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 上海大学环境科学与工程系, 上海 200072)

摘 要: 检测了上海宝山区 127 个表土样点的重金属含量。宝山区表土 Zn、Cr、Cd、Pb、Cu、Ni、Mn 的平均含量分别为 228.6、127.6、0.56、118.5、55.2、55.7、718.7 mg/kg。其中 Pb、Zn、Cd 的含量分别是上海土壤背景值的 5.6、3.0、2.8 倍, 受污染较明显。宝山区地表的重金属含量呈现出明显的空间分布规律: 工业区地表, 如吴淞、大场等地, 多种重金属污染均很重, Zn、Cr、Cd、Pb、Cu 的平均含量分别高达 407.6、319.0、0.75、101.2、76.2 mg/kg; 马路绿地土壤 Pb 的累积较显著, 平均为 180.2 mg/kg; 远郊菜地土壤重金属污染不明显。

关键词: 城市表土; 重金属; 上海

中图分类号: X53

城市化已是世界性的普遍现象, 是社会进步的标志。城市化进程的不断加快对我国经济的持续稳定发展和人民生活水平的稳步提高具有重要意义, 但是随之而来的城市环境问题不容忽视。城市化对土壤环境产生深刻影响, 城市污水灌溉、工业三废排放、交通、城市生活垃圾等都会导致土壤中重金属等污染物的累积^[1]。科学家用“化学定时炸弹”来形象地描述土壤污染物的潜在危害^[2-5]。城市土壤重金属的超量累积会对地表水和地下水构成威胁, 还会提高大气悬浮颗粒中的重金属负荷, 直接影响人体健康^[6]; 城郊农业土壤重金属累积, 会使重金属进入食物链, 危害人体健康^[7]。

研究表明, 与农业土壤相比, 城市土壤中重金属元素含量明显偏高^[8]。城市交通运输是城市土壤重金属污染的一个重要来源, 汽车尾气排放、轮胎添加剂中的重金属元素均可影响到土壤中 Pb、Zn、Cu 的含量, 且这些元素的积累量都与交通流量有关^[9-10]。另外, 城市生活垃圾与工业废弃物的堆放及填埋对其附近土壤中重金属的含量与形态特征有着明显的影响, 其与垃圾中的重金属含量及其有效态含量呈明显的正相关^[11]。夏立江^[12]对某城市垃圾堆附近土壤进行分析, 研究表明: 垃圾区附近土壤中 Cu、Zn、Cr、Pb、Mn 的含量都明显高于对照区土壤, 特别是土壤中的 Cd 含量是对照土壤的 8.4 倍, 污染很严重。

宝山区是上海的工业重镇, 迄今也仍是上海市的重要蔬菜基地。宝山区城市土壤和农业土壤在上海有典型意义。本研究以空间分布的均匀性和土壤利用的

多样性为原则, 在宝山区共采集了 127 个表土样品对表土重金属 (Cu、Zn、Pb、Cr、Cd、Ni、Mn) 含量进行检测和评价, 分析上海城郊土壤重金属污染的现状以及重金属累积途径和规律, 为土壤环境保护、土壤资源的合理利用以及城市化与可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况及特点

上海市位于长江三角洲冲积平原, 陆域大多由长江为主的河流所带的泥沙, 在江流海潮共同的作用下, 不断淤积而成。宝山区位于上海市的北部, 北濒长江, 东临黄浦江, 西北与江苏省太仓市为邻; 面积约 415.85 km², 总人口 82.96 万, 人口密度每平方公里 1998 人。宝山区是上海传统的工业基地, 有著名的宝钢、上钢一厂等大型钢铁冶炼企业; 但宝山又是老上海的郊区, 近十几年来, 由于城区的急速外扩, 大量农田和菜地被吞噬、切割和包围, 城市化对土壤环境的影响强烈。宝山区土壤利用方式多样, 有典型的工业土壤、城市土壤、农业土壤和受交通强烈影响的路边土壤。

1.2 土壤样品的采集

采样前对宝山区各镇做了详实的考察。按照密集采样的要求, 每个行政区域布置了 8~17 个样点 (图 1)。采样点的布置亦考虑了宝山区城市土地利用方式的多样性, 有菜地土壤 (既有大面积的蔬菜基地、也有被建筑物切割包围的小面积蔬菜用地, 采样数 41 个)、路边绿化土壤 (宝山区几条主要交通干道如沪太路、

^①基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40235054) 和面上项目 (40571067, 40101013) 资助。

作者简介: 叶荣 (1981—), 男, 浙江宁海人, 硕士研究生, 主要从事土壤环境污染的研究。E-mail: yerong100@graduate.shu.edu.cn

蕴川路、逸仙路高架、A20 公路等的绿化用地, 采样数 36 个)、居民区土壤 (如大华新村、通河新村、海滨新村和宝钢新村等小区内的绿化土壤, 采样数 22 个)、工业区土壤 (宝山城市工业园区、吴淞工业区等, 采样数 28 个)。主要是采集表土, 在选定采样点后, 直接用塑料铲子取 0~5 cm 土层。所取样品均为 3~5 个点的混合样品。土壤样品采集经风干后尽可能剔除未分解的有机物质。

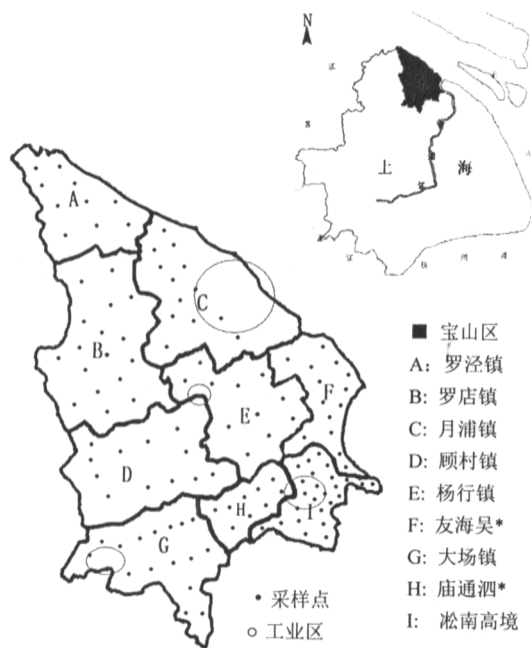


图 1 宝山区各行政区域及采样点分布图

(友谊路*: 友谊路街道、海滨路街道、吴淞街道; 庙通泗*: 庙行、通河、泗塘新村)

Fig.1 A sketch map of Baoshan District showing the sampling sites

1.3 样品消解

采用氢氟酸+高氯酸消解^[13]。称取 0.5 g 左右过 100 目的烘干样品, 放入 50 ml 聚四氟乙烯烧杯中, 加入 5 ml 高氯酸, 再加 25 ml 氢氟酸, 盖上盖子以做回流装置, 在控温电炉上进行消解。控温电炉功率 700 W, 消解完全需 6 h 左右。

1.4 元素含量的测定

对土壤样品中的重金属元素 Cu、Zn、Pb、Cr、Ni、Cd、Mn 进行分析。其中, Pb、Cu、Cr、Zn、Ni、Mn 用火焰原子吸收分光光度法测定; Cd 用石墨炉原子吸收分光光度法测定。测定过程用中国环境监测总站的标样(ESS-1)进行全程控制, 最后将所有样品的重金属含量的原始数据进行标准化。

1.5 数据处理

数据统计采用 Excel 软件。重金属含量空间分布图谱的制作采用 Surfer 软件, 该软件是美国 GOLDEN 公司开发的产品, 用于绘制等值线图及相应的三维图形。其有 9 种不同的内插值方法, 其中 Kriging 插值法被广泛地应用于地下水模拟、土壤制图等领域, 是一种很有用的地质统计格网化方法^[14-15], 本文即采用该方法。

2 结果与讨论

2.1 上海宝山城市表土重金属累积的总体状况

对上海宝山区 127 个表土样品进行重金属含量检测, 并与上海土壤背景值和全国土壤背景值比照 (表 1)。Pb、Zn、Cd、Cu、Cr、Ni、Mn 的平均含量为 118.5、228.6、0.56、55.2、127.6、55.7、718.7 mg/kg; 分别是上海背景值的 5.6、3.0、2.8、2.3、2.0、1.8、1.3 倍。可见 Pb、Zn、Cd 这 3 种元素的累积比较明显。大多样点的各项重金属含量普遍低于国家《土壤环境质量标准》中的二级标准限值, 这说明土壤对重金属污染仍有一定的环境容量, 但用该标准限值来衡量宝山区的重金属污染状况, 判定该区域没有受到污染显然是不合适的。从各检测样点的最大值来看, Pb 最高达 2535 mg/kg, 是上海土壤背景值的 110 多倍; Zn、Cr、Cd、Cu 的最大值也分别是上海背景值的 15、23、25、31 倍, Ni 和 Mn 的最大值是上海背景值 2 倍和 7 倍。全部检测样点中, Zn 和 Ni 这两种元素的含量都超过上海土壤背景值; Pb 除了淞南 15 号样点的含量只有 17.5 mg/kg 外, 其他样点也都高于上海土壤背景值。可见上海城市表土的重金属累积现象已很普遍。Pb、Cu、Zn、Cd、Cr 这 5 种元素的变异系数异常高 ($\geq 85\%$), 区域分异显然会比较大。杨元根等^[8]指出: Cu、Pb、Zn、Cd 是典型的人类活动源元素, 对土壤中相应元素的累积作用明显。宝山区作为上海市郊区, 又是传统的工业基地和蔬菜基地, 人类活动相当活跃, 人为污染应该是表土重金属累积的主要污染源。从 1985 年至今, 随着城市化进程步伐的加速, 上海城市土壤重金属含量呈明显上升趋势, 应引起重视^[18]。

2.2 上海宝山不同土壤利用方式的重金属累积差异

由表 2 数据可知, 工业区表土受多种重金属元素的污染, Zn、Cr、Cd、Pb、Cu 等元素的平均含量达到了 407.6、319.0、0.75、101.2、76.2 mg/kg, 这与工业废气悬浮颗粒的沉降、废水排放和废物堆积等因素有关。马路土壤则以 Pb 污染最为严重, 平均含量达到了 180.2 mg/kg, 为上海土壤背景值 9 倍之多。这主要与含 Pb 汽油、机油的使用, 轮胎摩擦等随着降尘在土壤中累积有关。Hamamei 等^[19]研究发现道路灰尘中 Pb

表 1 宝山区表土重金属全量与上海土壤背景值及全国土壤背景值对照表

Table 1 Total elemental contents of heavy metals in the topsoil of Baoshan District

项目		Pb	Cu	Cr	Ni	Cd	Zn	Mn
宝山区 (n = 127)	最大值 (mg/kg)	2535.8	354.4	1619.0	74.8	3.13	2385.4	4266.0
	最小值 (mg/kg)	17.5	20.0	40.0	36.8	0.04	77.7	371.9
	中间值 (mg/kg)	89.2	39.5	72.0	55.4	0.45	152.8	619.5
	平均值 (mg/kg)	118.5	55.2	127.6	55.7	0.56	228.6	718.7
	变异系数 (%)	192	85	154	14	112	110	58
上海土壤背景值 ^[16] (mg/kg)		21.3	23.5	64.6	31.19	0.134	75.8	555.5
全国土壤背景值 ^[17] (mg/kg)		35	35	90	40	0.2	100	
超标倍数*		5.6	2.3	2.0	1.8	2.8	3.0	1.3

*超标倍数是检测值与上海土壤背景值比较结果。

表 2 上海市宝山区典型样点土壤重金属含量 (mg/kg)

Table 2 Heavy metal contents in the typical sites of Baoshan District, Shanghai

利用方式	样点	样点描述	Zn	Cr	Ni	Mn	Cu	Pb	Cd
工业区土壤	DC-5	宝山工业区附近的菜地	228.2	131.1	68.3	577.5	85.9	95.5	1.84
	DC-10	上海环球氧化铁颜料厂后面的菜地	898.3	85.4	74.4	535.6	73.5	101.5	0.21
	SN-3	上钢一厂外	280.8	676.0	69.3	1120.0	89.8	169.0	0.72
	SN-9	上海硫酸厂外花坛内	2385.4	375.0	56.3	2280.0	226.8	217.5	0.94
马路绿地土壤	DC-3	祁连山路旁绿化地	534.8	77.4	69.8	736.1	354.4	140.1	0.38
	GJ-5	逸仙路高架下绿化地	500.7	125.1	66.5	691.1	106.3	144.3	0.47
	LD-15	沪太路旁的绿化地	300.1	80.1	55.8	583.4	43.4	699.5	0.27
	YH-11	泰和路高架 (A20) 下绿化用地	602.3	183.5	59.8	1101.2	142.4	156.7	0.38
居民区土壤	GJ-7	与逸仙高架很近的逸仙小区内绿化地	185.8	78.4	44.9	822.7	59.4	158.9	0.35
	DC-16	行知花园小区内绿化地	127.0	61.8	51.8	524.4	36.1	109.2	0.23
	YHW-9	宝山二村内绿化地, 无明显污染源	77.7	57.2	48.8	525.0	20.0	96.9	0.09
	YHW-5	宝山新村内绿化地, 无明显污染源	115.0	75.2	58.5	538.2	26.2	96.2	0.07
农用地土壤	GC-3	顾城路附近的大片蔬菜地, 无明显污染源	132.0	64.4	55.4	521.5	42.3	66.9	0.03
	LD-1	联杨路西边的苗圃	119.9	58.8	44.4	507.6	38.6	68.6	0.04
	LJ-7	远郊菜地	89.3	82.5	43.5	721.8	37.8	53.2	0.02
	LJ-6	远郊菜地	108.1	72.5	57.9	713.8	35.8	54.3	0.04

的平均含量是土壤中的 9 ~ 11 倍。从列举的典型样点中可以发现, 伴随着 Pb 的污染, Zn 元素的累积也比较严重。样点 LD-15 位于沪太路的绿化地, 其 Pb、Zn 含量高达 699.5、300.1 mg/kg。沪太路北接江苏省, 是宝山区的一条主要交通干道, 车流量很大, 整条道路空气混浊、飘尘弥漫, 是两旁土壤中重金属的主要来源。在居民区, Pb 的污染相对其他元素较严重, 平均值为 115.2 mg/kg, 这主要是由于居民区一般与商业区混合交叉, 交通运输比较密集; 另外可能还与居民日常生活废弃物中含 Pb 较多有关。总体上看, 远郊农用

土壤的重金属累积相对较轻, 如样点 LJ-6 和 LJ-7; 但随着城市化进程的加速, 宝山区近郊有不少菜地被夹杂在工业区中, 如样点 DC-5 和 DC-10, 这些菜地土壤的污染还是比较严重 (表 2)。一方面是工业废气的沉降、废物的堆积引起, 另一方面由于工业废水污染了菜地周边河流, 就近取水灌溉使大量重金属进入土壤。

总的来说, 宝山区表土按不同利用方式看, 工业区污染较严重, 受多种重金属污染; 马路土壤、居民区土壤主要以 Pb 污染为主; 远郊农用地受污染很轻,

但近郊蔬菜地有被严重污染的痕迹。

2.3 上海宝山城市表土重金属空间分布规律

对宝山区地表的重金属含量进行数值统计分析(表 3),结果表明上海宝山区表土重金属累积存在明显的区域性分异。大场镇、淞南镇工业分布密集,其中有颜料厂、钢铁厂、煤气厂、合金厂、冶炼厂等等,工业活动(如化工合成,金属冶炼,钢铁制造,燃料燃烧等)排放的污染物显然会对土壤产生直接或间接的污染。大场 10 号点位于陈太路上的环球氧化铁颜料厂附近的菜地,旁边有一条发黑发臭的水沟,土壤颜色呈红黄色,分析后发现其 Zn 含量高达 898.3 mg/kg,将近国家土壤环境质量二级标准值的 3 倍。可见环球氧化铁颜料厂未处理排放的废气、废水对这片土壤产生了明显的影响。据 Chon 等人^[20]研究发现,Cu、Pb、Zn 在土壤和降尘中的各种化学形态含量极为相似。工业污染“大户”吴淞工业区年降尘量达到了 22 t/km²,降尘污染指数一直处于中高级别,使周边地区的重金属含量普遍增高。对于工业粉尘排放量占全市排放量 76% 的宝山区来讲^[21],粉尘污染不容忽视。高镜镇、友海吴、庙通泗则以居民区、商业区为主,人类活动比较密集,交通运输、生活垃圾是导致 Pb、Zn 累积较明显的主要原因。而罗泾、顾村、罗店等镇以发展农业为主,有大片的蔬菜基地和苗圃,污染相对较轻;但其中个别样点,施用过垃圾肥、污泥等,致使其重金属含量明显偏高。如:罗店新镇规划区旁有一小块菜地,以垃圾作为肥料施用,土中有大量的砖瓦以及塑料薄膜等杂物,其土壤 Pb、Zn 含量为 71.3、145.5 mg/kg,分别是上海土壤背景值的 3.3 倍和 1.9 倍。

总的来说,宝山区各镇重金属污染不尽相同,污染状况取决于该区所扮演的功能角色,以工业为主的区域污染相对较重,如大场、淞南等镇;以农业为主的区域则相对较轻,如罗泾、顾村、罗店等镇;以居民和商业为主的区域,其主要的污染源是生活垃圾,与人居密度有直接联系。

采用 Kriging 最优内插法得到了宝山区表土中 Pb、Zn、Cd、Cu 的含量空间分布图(图 2)。从图中直接可以看出重金属污染相对较轻的区域有罗泾镇、顾村镇、月浦镇;而污染较严重的集中在南部,特别是在淞南镇与庙通泗的交接处,Pb、Zn、Cu 的累

积比较明显,这与数值分析得出的结论相同。从 Pb、Cd、Cu 的图谱中可以看到,在罗店镇中心有一块含量较高区域,即 DC-15 号样点所在区域,其 Pb 含量高达 700 mg/kg, Cd 含量为 0.28 mg/kg,高出罗店其他样点的 2 ~ 3 倍。吴新民等^[22]用灰色系统理论方法对南京城市土壤重金属污染的影响因子进行了灰色关联度分析,认为重金属累积的主要影响因子是距工业区的距离。将 Zn 的图谱与图 1 进行比较发现,吴淞工业区、宝山城市工业园区、宝山钢铁有限公司附近都出现含 Zn 量较高区域。张金屯等^[23]沿纽约市“市区-郊区-农区”140 km 生态样带,对土壤的重金属含量进行分析后,发现重金属离子总量、重金属离子多样性等随着距市中心的距离的增加而降低,土壤重金属离子格局与人口密度、城市土地利用、机动车密度等关系十分密切。宝山区的重金属含量分布状况也出现类似情况,4 个图谱显示离市中心更近的南部区域含量相对较高,特别是 Cd 图谱南北差异尤其明显。近郊相对于远郊的污染更严重,向外扩张式的城市化进程引起了这个地域差异。

3 结论

(1) 对宝山区 7 种重金属含量进行检测,发现宝山区表土中 Pb、Zn、Cd 的污染较严重,平均含量分别为 118.5、228.6、0.56 mg/kg,是上海土壤背景值 5.6、3.0、2.8 倍。

(2) 根据土地利用方式来看,工业区受到多种重金属元素的污染;马路绿地土壤、居民区土壤主要是 Pb、Zn 污染;远郊菜地土壤污染相对较轻。

(3) 土壤重金属污染区域性分异较大。顾村、罗泾和罗店等以发展农业为主地区的土壤重金属含量相对较低;淞南、大场等以工业为主地区土壤重金属累积较明显,空间分布的差异主要与区域扮演的主导功能不同有关。

(4) 用 Kriging 最优插值法制得 Pb、Zn、Cd、Cu 的空间分布图谱,简洁、直观地呈现了重金属的空间分布规律。发现城市表土重金属含量与离工业区、市中心、主要交通干道等的距离有密切联系;近郊污染比远郊严重,主要是城市化过程的扩张式发展引起。

表 3 上海宝山区不同区域表土重金属含量 (mg/kg)

Table 3 Heavy metal contents in the different sites of Baoshan District, Shanghai

区域	主要功能	特征值	Zn	Cr	Ni	Mn	Cu	Pb	Cd
高境 (n = 8)	居民	最大值	500.7	125.1	66.5	822.7	106.3	158.9	0.65
		最小值	106.2	57.2	42.9	490.1	31.3	61.7	0.06
		平均值	246.8	78.1	52.5	615.0	57.6	100.0	0.28
		变异系数(%)	57	27	15	17	45	34	84
庙通泗 (n = 9)	居民商业	最大值	339.9	117.7	63.6	856.0	117.3	399.2	0.72
		最小值	121.9	66.0	49.6	500.4	33.8	93.4	0.09
		平均值	220.8	77.4	56.9	623.3	56.6	146.3	0.31
		变异系数(%)	40	20	8	16	50	67	71
顾村 (n = 12)	农业	最大值	324.1	83.9	72.5	1181.7	150.1	112.8	0.17
		最小值	96.4	53.3	45.0	371.9	29.7	58.5	0.03
		平均值	154.3	64.7	56.8	614.8	54.7	76.5	0.09
		变异系数(%)	41	13	16	34	66	23	48
罗店 (n = 17)	农业	最大值	1163.7	129.7	70.1	938.4	181.3	699.5	1.05
		最小值	116.2	50.8	36.8	404.8	32.3	68.2	0.04
		平均值	227.2	69.4	52.9	585.2	50.6	128.0	0.18
		变异系数(%)	110	26	17	25	68	119	123
杨行 (n = 11)	工业	最大值	602.3	183.5	74.8	1178.5	142.4	156.7	0.84
		最小值	119.3	57.6	48.7	535.4	25.3	68.8	0.12
		平均值	198.9	92.1	59.3	693.6	47.6	98.5	0.34
		变异系数(%)	72	45	15	33	71	29	76
月浦 (n = 13)	工业农业	最大值	608.9	100.6	61.3	1137.4	47.8	118.5	1.03
		最小值	104.3	60.6	40.4	445.2	26.0	67.1	0.23
		平均值	185.9	75.2	49.4	664.5	33.1	87.5	0.43
		变异系数(%)	74	17	14	27	19	18	58
友海吴 (n = 14)	居民工业	最大值	338.5	119.2	61.9	757.5	64.1	2535.8	0.89
		最小值	77.7	57.2	45.9	492.7	20.0	69.4	0.27
		平均值	169.5	80.5	56.3	605.2	39.5	274.6	0.42
		变异系数(%)	41	21	9	13	32	237	45
淞南 (n = 17)	工业	最大值	2385.4	1619.0	73.2	4266.0	226.8	217.5	0.94
		最小值	111.6	40.0	44.0	671.0	26.0	17.5	0.12
		平均值	395.0	426.6	57.2	1340.9	81.4	100.8	0.34
		变异系数(%)	137	98	13	64	89	57	70
罗泾 (n = 10)	农业	最大值	771.4	632.5	59.9	721.8	157.5	57.5	0.18
		最小值	89.3	57.5	43.5	508.0	34.3	34.4	0.02
		平均值	200.9	136.0	52.7	623.8	58.4	46.0	0.08
		变异系数(%)	102	129	10	12	77	20	55
大场 (n = 16)	工业	最大值	898.3	131.1	74.4	756.8	354.4	140.1	1.84
		最小值	107.4	60.9	51.3	502.0	32.7	83.2	0.08
		平均值	228.4	75.0	60.7	602.7	65.4	99.8	0.37
		变异系数(%)	90	22	11	14	120	15	124



图 2 宝山区表土重金属含量空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of heavy metal contents in the urban topsoil in Baoshan District, Shanghai

参考文献：

- [1] Hu XF, Wu HX, Zhang GY, Fang SQ, Wu CJ. Impact of urbanization on Shanghai's soil environmental quality. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 151-158
- [2] Stigliani WM, Doelman P, Salomons W, Schulin R, Smidt GRB, van der Zee SEATM. Chemical time bombs-predicting the unpredictable. *Environment*, 1991, 33: 4-30
- [3] Xie XJ, Cheng HX. The suitability of flood plain sediment as a globe sampling medium: evidence from China. *Geochem. Explore*, 1997, 58: 51-62
- [4] 龚子同, 黄标. 关于土壤中“化学定时炸弹”及其触爆因素的探讨. *地球科学进展*, 1998, 13 (2): 184-191
- [5] 严光生, 谢学锦. “化学定时炸弹”与可持续发展. *中国地质*, 2001, 28 (1): 13-18
- [6] Chen TB, Wong JWC, Zhou HY, Wong MH. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environmental Pollution*, 1997, 96 (1): 61-68
- [7] Ustyak S, Petrikova V. Heavy metal pollution of soils and crops in Northern Bohemia. *Applied Geochemistry*, 1996, 11 (1/2):

- 77-80
- [8] 杨元根. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应. 环境科学, 2001, 22 (3): 44-48
- [9] 菲尔汗·汉杰尔, 潘丽英, 陈勇, 娜孜拉·扎曼别克, 王涛. 汽车废气中的铅对城市土壤污染状况调查. 干旱环境检测, 2002, 16 (3): 154-161
- [10] Falahi-Ardakani A. Contamination of environment with heavy metals emitted from automobiles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1984, 8: 152-161
- [11] Lin ZX, Harsbo K, Ahlgren M, Qvarfort U. The source and fate of Pb in contaminated soils at the urban area of Falun in central Sweden. *The Science of the Total Environment*, 1998, 209 (1): 47-58
- [12] 夏立江, 温小乐. 生活垃圾堆填区周边土壤的性状变化及其污染状况. 土壤与环境, 2001, 10 (1): 17-19
- [13] 劳家桢. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988: 23
- [14] Cattle AJ, McBrantney AB, Minasny B. Kriging methods evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination. *Environ. Qual.*, 2002, 319: 1576-1588
- [15] 曹尧东, 孙波, 宗良纲, 汤勇辉. 丘陵红壤重金属复合污染的空间变异分析. 土壤, 2005, 37 (2): 140-146
- [16] 庞金华. 上海郊县土壤和农作物中金属元素的污染评价. 植物资源与环境, 1994, 8 (1): 20-26
- [17] 夏家祺. 土壤环境质量标准详解. 北京: 中国环境科学出版社, 1996, 84-86
- [18] 巫和听, 胡雪峰, 张国莹, 方圣琼, 吴晨娟. 上海市宝山区土壤重金属含量及其分异特征. 上海大学学报 (自然科学版), 2004, 10 (4): 400-405
- [19] Hamamei C, Gumgum B, Akba O, Erdogan S. Lead in urban street dust in Diyarbakir, Turkey. *Fresenius Environ. Bull.*, 1997, 6: 430-437
- [20] Chon HT, Ahn TS, Jung MC. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, 20: 77-86
- [21] 邵俊, 车越, 赵沁娜. 高强度开发区域生态环境规划研究—以上海市宝山区生态环境规划为例. 环境科学与技术, 2005, 28 (2): 68-73
- [22] 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
- [23] 张金屯, Pouyat R. “城-郊-乡”生态样带森林土壤重金属变化格局. 中国环境科学, 1997, 17 (5): 410-413

Spatial Distribution of Heavy Metals in Urban Topsoil in Baoshan District, Shanghai

YE Rong^{1,2}, HU Xue-feng^{1,2}, PAN Yun², SU Yu², ZHANG Gan-lin¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Department of Environmental Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Heavy metal contents in topsoils of 127 urban sites in Baoshan District, Shanghai were detected to study impact of urbanization on urban environment. Results indicated that the average value of Zn, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni and Mn in the topsoils was 228.6, 127.6, 0.56, 118.5, 55.2, 55.7, and 718.7 mg/kg, respectively, among which, the value of Pb, Zn and Cd was 5.6, 3.0 and 2.8 times their respective background value in Shanghai. Spatial variation of heavy metal contents in the urban topsoil was also observed: Heavy metals in the topsoil of the industrial sites, such as Wusong and Dachang Towns etc., were the highest, with Zn, Cr, Cd, Pb and Cu being 407.6, 319.0, 0.75, 101.2, and 76.2 mg/kg on average, respectively; Pb was significantly accumulated in the topsoil of the Greenlands alongside highways, with the average being 180.2 mg/kg; but heavy metal contamination of the vegetable soils in the suburbs, such as Gucun, Luoijing and Luodian Towns, was not significant.

Key words: Urban topsoil, Heavy metals, Shanghai