

上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价

张菊, 陈振楼*, 许世远, 姚春霞, 刘伟, 邓焕广

(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: 对上海市区和郊区城镇中心街道灰尘中铅的含量水平进行了研究, 并应用克里格插值法分析了市区街道灰尘中铅的空间分布特征, 结果表明: 市区街道灰尘中铅的含量为 $28 \sim 4443 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为 $264 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 为上海土壤环境背景值的 10.4 倍; 郊区城镇中心街道灰尘中铅的含量为 $155 \sim 364 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均含量为 $237 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 为环境背景值的 9.3 倍; 市区内环线以内黄浦江两岸区域铅污染较为严重, 平均含量为 $359 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 铅污染中心主要位于商业区和交通干道, 平均含量分别为 642 和 $520 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 地积累指数法和铅污染指数法的评价结果表明: 上海城市街道灰尘中铅污染整体上处于中度污染水平, 其中, 市区内环线以内黄浦江两岸区域街道灰尘中铅污染处于偏重污染水平. 研究结果以期为上海市的城市环境污染防治和城市规划提供重要的科学依据.

关键词: 铅; 街道灰尘; 克里格插值; 污染评价; 上海

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)03-0519-05

Lead Pollution and Its Assessment in Urban Street Dust of Shanghai

ZHANG Ju, CHEN Zhen-lou, XU Shi-yuan, YAO Chun-xia, LIU Wei, DENG Huan-guang

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

Abstract: The content of lead in urban street dust of Shanghai is studied, and Kriging analysis is applied to analyze the spatial distribution of lead in street dust of urban area. The range of lead content in street dust of urban area is $28 \sim 4443 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, with the average value of $264 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, which is 10.4 times of the soil background value in Shanghai; The range of lead content in the street dust of suburban towns' centers is $155 \sim 364 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, with the average value of $237 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, which is 9.3 times of the soil background value. The lead content in urban area within the inner ring is $359 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The lead pollution centers in urban area locate mainly in commercial area and major roads, where the average content of lead in street dust is 642 and $520 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively. The assessment results show that the lead pollution in urban street dust of Shanghai is generally at middle pollution level, and the lead pollution in urban area within the inner ring reaches middle to high pollution level. The results are expected to provide important scientific basis for the urban environmental pollution control and city planning of Shanghai.

Key words: lead; street dust; Kriging analysis; pollution assessment; Shanghai

近年来, 对城市街道灰尘中铅污染的研究逐渐成为热点. 国内外研究表明^[1-5]: 城市街道灰尘中重金属铅是儿童血铅的一个重要的潜在污染源; 街道灰尘中铅含量主要受到交通运输、工业生产以及城市建设等人类活动的影响.

上海市在 1997 年底实施车用汽油无铅化之前, 汽车尾气每年送大气中的铅约为 100~140t 左右, 直接或间接的对环境和人体健康构成危害. 对上海市交警和儿童血铅的调查结果表明^[6-9], 其血铅平均值均超过了国际上铅中毒标准($\geq 100 \mu\text{g/L}$), 生活在工业区内和交通干线附近的儿童普遍受铅中毒的危害.

人类活动带给上海市城市环境的铅污染, 随着经济建设的发展势必逐渐加剧. 城市街道灰尘在城市环境中具有“媒介”和“污染源”双重作用, 并且街道灰尘对儿童血铅的影响远远大于城市土壤^[2], 因

此开展上海城市街道灰尘重金属铅污染研究具有非常重要的现实意义和科学意义.

1 样品采集与实验分析

1.1 研究区域与样品采集

上海地区属北亚热带季风气候, 光照充足, 气候温和湿润, 4 季分明. 2003 年上海常住人口已达到 1 700 万人, 其中外环线以内的城区人口近 1 000 万; 2003 年全市机动车保有量达到 173.76×10^4 辆, 且有不断增加的趋势; 上海的能源结构以煤为主, 用煤量逐年上升, 2003 年废气的排放总量为 8 391 亿 m^3 , 其中工业废气占 92.9%.

收稿日期: 2005-04-11; 修订日期: 2005-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40131020, 40173030); 上海市基础研究重点项目(02DJ14029); 国家教育部优秀教师资助计划项目(41198054); 上海市环保局项目

作者简介: 张菊(1980~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市水环境与水资源, E-mail: mickyjuzi@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: zlchen@geo.ecnu.edu.cn

2004-07,对上海市市区(外环线以内区域)采用网格布点法(2.5km×2.5km),用塑料铲和塑料刷子在每个网格内的中心街道上采集2个灰尘样,共采集样品201个(图1);同时在郊区各小城镇(分别为宝山区罗店镇、嘉定区嘉定镇、青浦区朱家角镇、松江区松江区、金山区枫泾镇、闵行区吴泾镇、奉贤区南桥镇、浦东新区川沙镇以及南汇区惠南镇)镇中心的街道上采集了3个街道灰尘样,共采集27个样品.样品采集后放入密实袋密封保存.

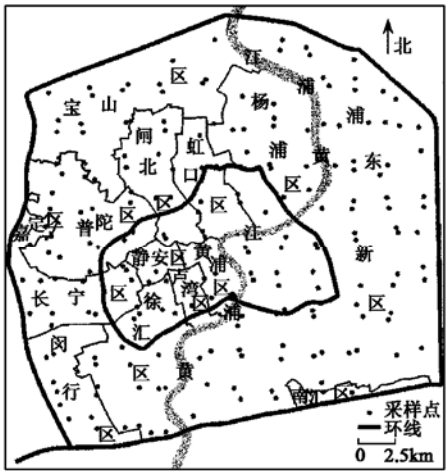


图1 街道灰尘采样点

Fig. 1 The sampling sites of street dust

1.2 实验分析

(1)样品的预处理 用不锈钢镊子除去一些毛发、香烟头、大的石头等杂物,低温烘干后过120目的尼龙网筛,过筛后的样品放入密实袋中保存.

(2)样品重金属的消解和测定 称取过筛后(120目)的样品0.5g于聚四氟乙烯杯中,用HNO₃-HF-HClO₄法消解,每批样品做1个试剂空白.消解后样品用Perkin Elmer公司生产的AANALYST 800型原子吸收光谱仪测定样品中重金属铅的含量.

(3)实验室质量控制 随机抽取了1个样品重复做5次,测得样品中铅含量的相对标准偏差小于10%.同步分析土壤标准物质GBW 07406(GSS-6),测得铅的平均回收率为109%.实验过程中所用试剂均为优级纯;所用器皿均在10%的稀硝酸中浸泡24h以上,用自来水冲洗干净后再用一级水冲洗3遍.

2 结果与讨论

2.1 上海城市街道灰尘中铅的含量

2.1.1 市区街道灰尘中铅的含量

如表1,市区街道灰尘中铅的平均含量为264 mg·kg⁻¹,约是上海市土壤铅背景值^[10](以下均简称为环境背景值)的10.4倍;从重金属含量的范围和变异系数来看,市区街道灰尘中铅的空间分布差异较大,局部污染较为严重.

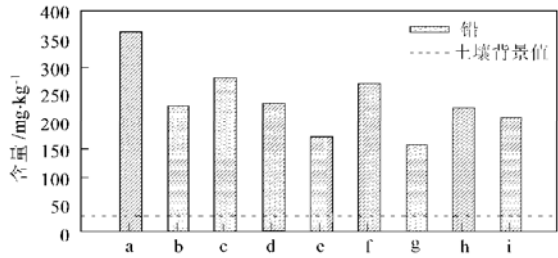
2.1.2 郊区各城镇中心街道灰尘中铅的含量

表1 市区街道灰尘中铅的含量水平/mg·kg⁻¹

Table 1 The content of lead in the street dust of urban area/ mg·kg⁻¹

平均值	中位数	几何平均值	范围	标准差	变异系数	样品数	上海土壤环境背景值 ^[10]
264	190	196	28~4 443	368	1.395	201	25.5

如图2所示,郊区各城镇中心街道灰尘中铅的



a. 罗店镇; b. 嘉定镇; c. 朱家角镇; d. 松江镇; e. 枫泾镇;
f. 吴泾镇; g. 南桥镇; h. 惠南镇; i. 川沙镇

图2 郊区各城镇中心街道灰尘中铅的平均含量

Fig. 2 The average content of lead in the street dust of each suburban town's center

含量为155~364 mg·kg⁻¹,平均含量为237 mg·kg⁻¹,为环境背景值的9.3倍;随着上海市周边小城镇建设的加快,小城镇街道灰尘中铅污染有加重的趋势.

2.2 市区街道灰尘中铅的空间分布特征

如表2,市区内环线以内街道灰尘中铅的平均含量明显高于内外环间的铅含量,为407 mg·kg⁻¹,约是内外环线间铅含量的1.7倍;浦西和浦东新区(以黄浦江为界)街道灰尘中铅的平均含量相差不多,浦西略高于浦东新区.

应用克里格插值法绘制出市区街道灰尘中铅含量的三维立体空间等值线分布特征图,如图3所示,市区街道灰尘中铅污染较重的区域主要位于内环线

表 2 市区不同区域范围街道灰尘中铅的平均含量对比/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Table 2 The comparison of lead content in street dust between different areas in urban area/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

参数	环线		区域	
	内环以内	内外环间	浦西	浦东新区
平均值	407	246	290	227
中位数	376	182	210	180
几何平均值	359	182	209	179
范围	83~ 1 165	28~ 4 443	28~ 4 443	45~ 2 232
标准差	217	379	430	255

以内黄浦江两岸,其中黄浦区街道灰尘中铅污染最为严重,平均含量高达 $579 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,为环境背景值的 22.7 倍;其次为卢湾区,铅的平均含量为 $374 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,为环境背景值的 14.7 倍.浦西以四川北路(四川北路与同心路交汇处)、人民广场(斜土东路与西藏南路交汇处)、徐家汇(徐家汇中心)等商业区为污染中心,中心街道灰尘中铅的含量分别高达

594.623 和 $641 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;浦东新区有 3 个污染中心,一个位于陆家嘴金融贸易区(民生路与杨高中路交汇处),铅含量高达 $670 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,另外 2 个位置较为接近,分别位于新浦路(近杨高南路)和上南新村(昌里东路与云莲路交汇处),其中心街道灰尘中铅含量分别为 727 和 $597 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;上南新村主要为居民居住区,同时也是交通繁忙地段,区域内有浦东长途汽车客运总站和众多公交车辆的起点站,汽车尾气排放是该区域内街道灰尘中铅污染的一个重要来源.

内外环线间街道灰尘的铅污染中心主要位于交通要道,一个位于市区外环线西南角(环西一大道和沪闵路交汇处),中心街道灰尘中铅含量为 $610 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;另一个是位于市区西北角的沪太公路,街道灰尘中铅含量为 $429 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.由此可见,虽然实施了车辆汽油的无铅化,但交通干线附近铅污染状况仍比较严重.

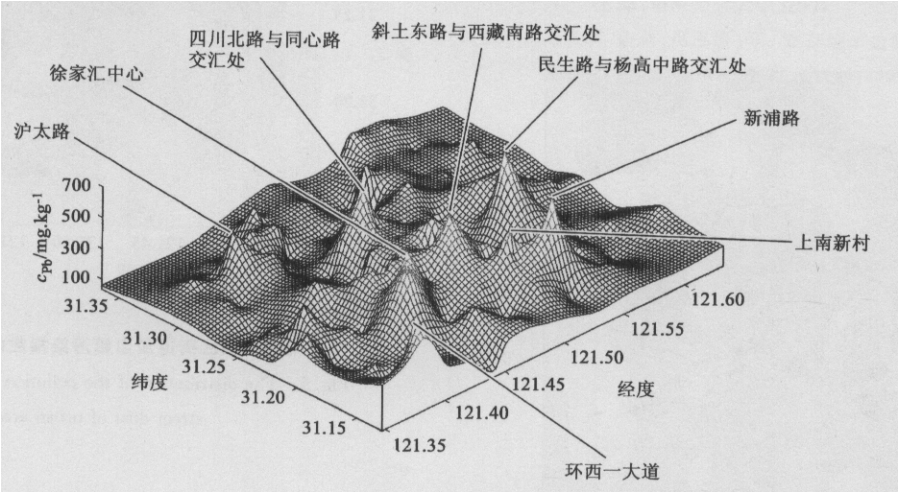


图 3 市区街道灰尘中铅的空间分布特征

Fig. 3 The distribution of lead in the street dust of urban area

在徐汇区的漕河泾新兴技术开发区内,在街道灰尘中监测到了较高的铅含量,分别为 $4443 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (宜山路和桂菁路交汇处)和 $1255 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (桂平路和田林路交汇处),在浦东新区的外高桥保税区附近(港城路、江东路和浦东北路交汇处)街道灰尘中也监测到了高达 $2232 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的铅含量.这 2 个区域内街道灰尘中较高的铅含量可能与该区域内的工业生产活动有关.

2.3 上海城市街道灰尘中铅污染评价

目前,国内外尚无统一的对于城市街道灰尘中重金属污染评价的标准和方法^[2, 11~13],本文主要采用了地积累指数法^[14, 15]和铅污染指数法对上海城

市街道灰尘中铅污染的现状进行评价.

2.3.1 地积累指数法

地积累指数 I_{geo} 的计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 [c_n / 1.5 \times B_n] \quad (1)$$

式(1)中, c_n 为街道灰尘中铅的实测值, B_n 为上海市土壤重金属铅的环境背景值,为 $25.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. M $\ddot{u}$ ller 污染指数分级见表 3.

由式(1)可得,市区街道灰尘中铅的地积累指数为 $-0.43 \sim 6.68$,平均值为 2.36,处于中度污染水平;郊城镇中心街道灰尘中铅的地积累指数为 $2.02 \sim 3.25$,平均值为 2.59,处于中度污染水平.

市区街道灰尘铅的地积累指数的空间分布如图

表 3 Müller 污染指数分级

Table 3 The grades of geoaccumulation indexes

污染指数(I_{geo})	分级	沉积物污染程度
10~ 5	6	严重污染
4~ 5	5	重污染
3~ 4	4	偏重污染
2~ 3	3	中度污染
1~ 2	2	偏中度污染
0~ 1	1	轻度污染
≤ 0	0	无污染

4 所示: 市区街道灰尘普遍存在不同程度的污染; 内环线以内黄浦江两岸区域街道灰尘中铅的地积累指数均在 3~ 4 之间, 处于偏重污染水平; 内环线以外区域街道灰尘中铅的含量总体上处于中度污染水平, 但局部地区也出现铅的偏重污染现象; 宝山区部分区域和浦东新区外环线附近区域街道灰尘中铅污染处于偏中度水平; 只有极少部分区域街道灰尘中铅污染为轻度污染。

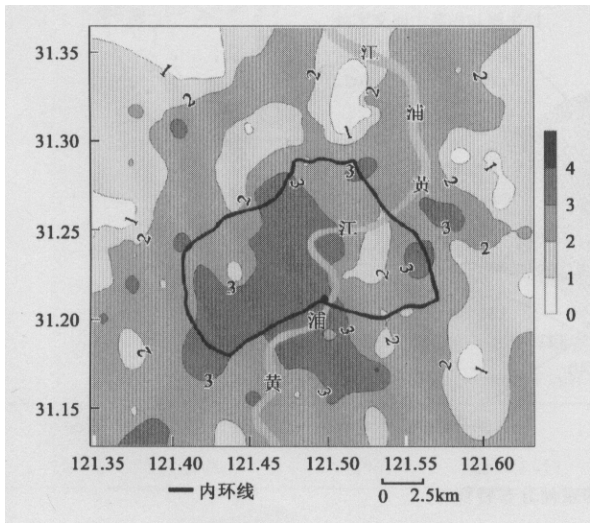


图 4 市区街道灰尘铅的地积累指数的空间分布

Fig. 4 The distribution of the geoaccumulation indexes of lead in street dust of urban area

2.3.2 铅污染指数评价法

铅污染指数采用公式(2)进行计算:

$$P = c / S \tag{2}$$

式中, P 为铅的污染指数; c 为城市街道灰尘中铅的实测浓度; S 为铅污染的临界值, 本文采用欧盟“土壤环境质量建议标准”^[16]中规定的铅污染标准临界值 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

市区街道灰尘的铅污染指数为 0.57~ 88.86, 平均值为 5.27; 郊区城镇中心街道灰尘的铅污染指

数为 3.10~ 7.27, 平均值为 4.75。

市区街道灰尘铅污染指数的空间分布如图 5 所示: 市区街道灰尘普遍存在着铅污染(铅污染指数 > 1); 在内环线以内黄浦江两岸区域内街道灰尘中的铅污染较为严重(铅污染指数 7); 浦西有 4 个污染中心, 3 个位于内环线以内, 均位于四川北路、徐家汇、人民广场等商业区, 1 个污染中心位于外环线西南角附近; 浦东新区主要有 2 个污染中心, 1 个位于陆家嘴金融贸易区(内环线附近), 另外 1 个位于交通干道杨高南路, 且在它的附近还有 1 个次污染中心, 位于上南新村。

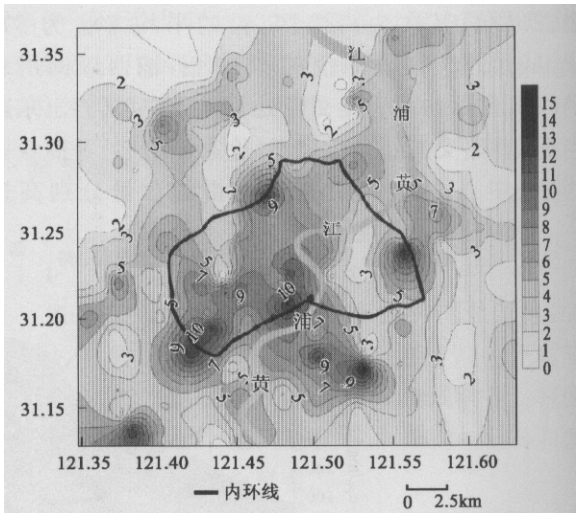


图 5 市区街道灰尘铅污染指数的空间分布

Fig. 5 The distribution of the pollution indexes of lead in street dust of urban area

3 结论

(1) 上海市区和郊区城镇中心街道灰尘中铅的平均含量分别为 $264 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (范围 28 ~ 4443 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 $237 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (范围 155 ~ 364 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 远大于上海市土壤铅的环境背景值, 污染状况严重。

(2) 上海市区内环线以内黄浦江两岸区域内街道灰尘中铅的平均含量为 $359 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 污染较为严重; 铅污染中心主要位于商业区和交通干道, 其平均含量分别为 642 和 $520 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(3) 地积累指数和铅污染指数的评价结果表明: 上海城市街道灰尘中铅污染整体上处于中度污染水平; 其中, 市区内环线以内黄浦江两岸区域铅污染均处于偏重污染水平, 且存在多个重污染中心; 内环线

以外局部区域尤其是交通干道附近也表现出偏重的铅污染水平。

参考文献:

- [1] De Miguel E, Llamas J F, Chacon E, *et al.* Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead [J]. *Atmos. Environ.*, 1997, **31**: 2733 ~ 2740.
- [2] 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.
- [3] Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, *et al.* A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dust in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK [J]. *Environmental International*, 2003, **29**: 563~ 573.
- [4] Wang W H, Wong M H, Leharne S, *et al.* Fractionation and biotoxicity of heavy metals in urban dusts collected from Hong Kong and London [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1998, **20**: 198~ 198.
- [5] Chon H T, Kim K W, Kim J Y. Metal contamination of soils and dusts in Seoul metropolitan city, Korea [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 1995, **17**: 139~ 146.
- [6] 叶舜华. 汽车排气对交警及隧道工健康的影响[J]. *上海医科大学学报*, 1990, **17**(4): 283.
- [7] 沈晓明. 儿童铅中毒[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1996, 81.
- [8] 许道礼, 王佩英. 智力杀手, 铅中毒[J]. *科学生活*, 1996, (6): 4~ 5.
- [9] 钱华. 环境铅污染源及其对人体健康的影响[J]. *环境监测管理与技术*, 1998, **10**(6): 14~ 17.
- [10] 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.
- [11] Sutherland R A, Tolosa C A. Multi-element analysis of road deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii [J]. *Environmental pollution*, 2000, **110**: 483~ 495.
- [12] Li X, Poon C, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong [J]. *Appl. Geochem.*, 2001, **16**: 1361~ 1368.
- [13] Rasmussen P E, Subramanian K S, Jessiman B J. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada[J]. *Sci. Total Environ.*, 2001, **267**: 125~ 140.
- [14] 张辉, 马东升. 公路重金属污染的形态特征及其解吸、吸持能力探讨[J]. *环境化学*, 1998, **17**(6): 564~ 568.
- [15] 毕春娟. 长江口滨岸潮滩重金属环境生物地球化学研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004.
- [16] 郑袁明, 余轲, 吴泓涛, 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.