

上海市区公园表层土壤铅含量及其污染评价^①

史贵涛, 陈振楼, 许世远, 王利, 李海雯, 张菊

(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: 通过对上海市区 44 个公园土壤中 Pb 含量的调查, 发现表层土壤中 Pb 的平均含量为 55.06 mg/kg, 变幅为 26.39 ~ 174.35 mg/kg, 为上海市土壤环境背景值的 1.04 ~ 6.85 倍。运用地积累指数法对公园表层土壤 Pb 污染进行评价, 结果表明: 超过半数的公园为轻度污染至中等污染, 近 1/3 的公园无污染, 6 个公园达到中等污染和中等污染至强污染水平。通过对土壤 Pb 含量的空间分布分析发现, 上海市区公园土壤中 Pb 主要来源于交通和工业污染, 土壤 Pb 含量与公园建成时间无显著性相关。

关键词: 上海; 公园; 表层土壤; 铅; 地积累指数

中图分类号: X53

近年来, 国内外城市土壤重金属污染研究已成为一个热点^[1-6], 国内外学者对城市土壤重金属的含量、赋存形态以及对土壤生物的影响等方面进行了较为详细的研究^[7-12]。城市是人口较为密集的地区, 工业、交通运输等所产生的大量污染物进入土壤, 使得城市土壤的各种物理、化学性质发生了变化^[13]。重金属作为一种持久性有毒污染物, 一旦进入土壤环境, 即可以在土壤中慢慢累积^[14-15], 并通过食物链或直接接触等方式进入人体^[16-17], 危害人体健康。

城市公园是重要的休闲娱乐场所, 与人们的日常生活联系密切。上海市区公园每天不但要接收大量游客, 更重要的是为市民提供自由休闲的空间, 尤其是老人和儿童。由于儿童是一个较为特殊的群体, 有较多的手口行为, 有研究表明儿童经口无意的土壤摄入量可达 50 ~ 200 mg/d^[18], 直接摄入污染土壤和灰尘是儿童吸收 Pb 的主要途径之一^[19]。Pb 作为一种有毒的重金属元素, 直接危害人体的肾脏、神经系统和生殖健康, 尤其对儿童智力有较大影响^[20], 因此研究上海市区公园表层土壤 Pb 的含量有重要意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

上海市位于 31.14° N, 121.29° E, 地处长江三

角洲前缘, 为北亚热带季风气候。根据 2000 年全国人口普查结果, 上海市常住人口为 1600 多万, 其中外环线以内的城区人口已接近 1000 万, 跻身世界十大都市之列; 2003 年上海市机动车拥有量达到 173.6 万辆, 年排放的废气量达 $596 \times 10^8 \text{ m}^3$, 且有不断上升的趋势。市区内高强度的人类活动对城市土壤所造成的影响不容忽视。

1.2 研究方法

选取上海市区(外环线以内)44 个公园为研究对象(图 1), 每个公园样品采集采用多点混合方法, 取 0 ~ 5 cm 表层土样组成混合样品。样品烘干后, 磨碎过 120 目 ($<125 \mu\text{m}$)^[21-22]的尼龙网筛, 采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$ 法进行消解^[23-24]。Pb 的测定采用 Perkin Elmer 公司生产的 AANALYST800 型原子吸收光谱仪。在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。样品测定的相对标准偏差均 $<5\%$, 数据的统计与分析采用 Excel、SPSS 软件。

2 结果与讨论

2.1 上海市区公园表层土壤 Pb 含量

上海市区各公园表层土壤中 Pb 的含量如表 1 所示, 变幅为 26.39 ~ 174.35 mg/kg, 平均值为 55.06 mg/kg, 同上海市土壤 Pb 含量的背景值

^①基金项目: 国家自然科学基金(40131020 和 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(41198054)、上海市环保局项目、华东师范大学研究生科研基金共同资助。

作者简介: 史贵涛(1982—)男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 主要从事城市自然地理学研究。E-mail: gtshi@mail.china.com

表 1 上海市区公园表层土壤 Pb 含量及其地积累指数

Table 1 Lead concentrations and geoaccumulation indexes of the surface soils of the urban parks

公园 编号	公园 名称	建成 时间 (年)	Pb 含量 (mg/kg)	地积累 指数	公园 编号	公园 名称	建成 时间 (年)	Pb 含量 (mg/kg)	地积累 指数
1	蓬莱公园	52	77.79	1.03	23	南浦广场公园	7	35.47	-0.11
2	番禺公园	6	44.50	0.22	24	塘桥公园	4	26.39	-0.53
3	漕河公园*	7	49.43	0.37	25	蔓趣公园	17	39.45	0.05
4	徐家汇公园	4	81.64	1.10	26	上南公园	10	43.36	0.18
5	东安公园	23	60.73	0.67	27	金桥公园	5	33.56	-0.19
6	普陀公园	51	49.73	0.38	28	复兴岛公园	75	103.42	1.44
7	大宁灵石公园	4	31.34	-0.29	29	内江公园	21	67.60	0.82
8	曹杨公园	51	37.35	-0.03	30	民星公园	11	43.77	0.20
9	宜川公园	19	46.77	0.29	31	杨浦公园	47	120.20	1.65
10	复兴公园	96	60.35	0.66	32	工农公园	13	35.65	-0.10
11	襄阳公园	63	38.49	0.01	33	平凉公园	47	37.66	-0.02
12	静安公园	56	43.92	0.20	34	鲁迅公园	83	75.71	0.99
13	淮海公园	47	44.50	0.22	35	人民公园	53	39.26	0.04
14	长寿公园	4	37.97	-0.01	36	黄浦公园	137	48.65	0.35
15	长风公园	48	40.42	0.08	37	和平公园	47	53.81	0.49
16	中山公园	91	50.75	0.41	38	闸北公园	92	174.35	2.19
17	黄兴公园	5	32.48	-0.23	39	曲阳公园	8	173.43	2.18
18	世纪公园	3	29.82	-0.36	40	彭浦公园	21	67.60	0.82
19	共青森林公园	49	49.77	0.38	41	岭南公园	14	30.41	-0.33
20	长青公园	20	63.64	0.74	42	三泉公园	8	34.59	-0.14
21	济阳公园	11	46.92	0.30	43	泗塘公园	11	38.26	0.00
22	临沂公园	16	37.69	-0.02	44	凉城公园	10	43.90	0.20

* 全称为漕河泾开发区公园。

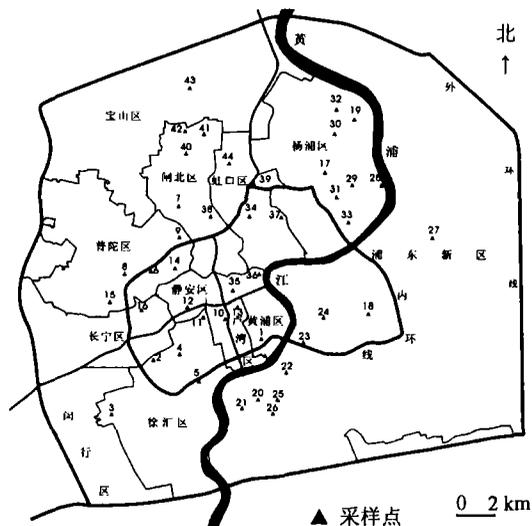


图 1 采样公园分布示意图

Fig. 1 A sketch map showing location of urban parks for soil sampling

议的“土壤环境建议标准”中 Pb 的临界值 (50 mg/kg)。其中, 闸北公园土壤 Pb 的含量最大, 接近上海土壤背景值的 7 倍。

同其他一些城市相比较 (表 2), 上海市区公园土壤 Pb 的含量处于中等水平。从 Pb 的最大含量来看, 香港和塞维利亚公园土壤 Pb 含量的最大值均超过了 400 mg/kg, 北京也超过了 200 mg/kg, 而上海市区公园 Pb 含量的最大值为 174.35 mg/kg, 在这几个城市公园中处于较低水平。

2.2 污染评价

根据上海市区公园表层土壤 Pb 的含量水平, 采用地积累指数法对市区公园土壤 Pb 污染进行评价。Muller 等^[21]提出了用地积累指数来定量评价沉积物中重金属的污染程度, 其计算公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 (C_n / 1.5B_n)$$

式中: C_n 为元素的实测含量, B_n 为该元素的背景含量。Muller 等所提出的地积累指数的污染程度级别划分标准见表 3。根据上海市土壤 Pb 含量的背景值可以计算出地积累指数的分布频率 (图 2)。

(25.47 mg/kg) 相比较^[25], 公园表层土壤 Pb 含量的平均值超过了背景值 1 倍多, 也超出了欧盟建

表2 上海市与其他城市公园表层土壤 Pb 含量对比

Table 2 Comparison between cities in lead concentration in the surface soils of urban parks

城市公园	公园样品个数	Pb 含量均值 (mg/kg)	Pb 含量范围 (mg/kg)
上海公园	44	55.06	26.4 ~ 174.4
北京公园 ^[7]	30	66.2	25.47 ~ 207.5
广州公园 ^[1]	8	49.0	-
香港公园 ^[3]	65	93.4	5.27 ~ 404
塞维利亚 (西班牙) 公园 ^[9]	31	137	22 ~ 557

表3 Muller 地积累指数分级

Table 3 Grades of Muller geoaccumulation indexes

地积累指数 (I_{geo})	分级	污染程度	地积累指数 (I_{geo})	分级	污染程度
<0	0	无污染	3~4	4	强污染
0~1	1	轻度污染至中等污染	4~5	5	强污染至极严重污染
1~2	2	中等污染	5~10	6	极严重污染
2~3	3	中等污染至强污染			

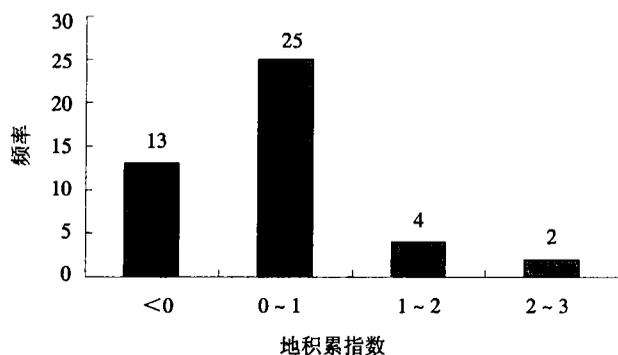


图2 地积累指数频率分布图

Fig. 2 Histogram of geoaccumulation indexes

上海市区公园表层土壤 Pb 的地积累指数的平均值为 0.37, 处于轻度污染至中度污染水平。在 44 个公园中, 大部分公园的污染指数在 0 ~ 1 之间, 为

轻度污染至中等污染; 13 个公园处于无污染水平; 达到中等污染的公园有 4 个; 中等污染至强污染的仅 2 个, 为曲阳公园和闸北公园, 其污染指数分别为 2.18 和 2.19。从总体上来看, 上海市区公园中表层土壤 Pb 污染处于较高水平的所占比例较小。

2.3 Pb 的空间分布与来源探讨

根据公园在空间上的位置, 可将公园划分为 3 个区域, 计算出不同区域公园表层土壤中的 Pb 含量 (表 4)。运用方差分析发现, 内环线以内和内环线附近公园表层土壤中 Pb 的含量存在显著性差异 ($P < 0.05$), 其余的则差异不明显。处于内环线附近的公园共有 5 个, 其表层土壤中 Pb 含量的平均值为 79.84 mg/kg, 是上海市土壤背景值的 3 倍多。由于这些公园靠近内环线, 而内环线是上海市最主要的交通通道之一, 有大量的机动车辆经过, 汽车排

表4 上海市区不同位置公园土壤 Pb 含量 (mg/kg)

Table Concentrations of Pb varying with location of parks

公园位置	公园个数(个)	平均值	最大值	最小值	标准差
内环线以内	14	48.27	81.64	26.39	15.69
内环线附近	5	79.43	173.43	35.47	54.78
内环线以外	25	53.98	174.35	30.41	33.14

放的尾气及轮胎磨损所释放的 Pb 进入内环线附近的土壤中^[27], 因而造成了土壤中 Pb 的含量相对较高。以曲阳公园为例, 其位于内环线和连接内外环线的交通干道旁, 受到的交通污染极为严重, 因此

土壤 Pb 的含量很高, 为 173.43 mg/kg, 污染指数达到了 2.18, 为中等污染至强污染。内环线以内公园共有 14 个, 其 Pb 含量的平均值为 48.27 mg/kg; 内环线以外公园共有 25 个, Pb 含量的平均值为 53.98

mg/kg, 这种 Pb 含量的差别可能受到工业的影响^[28]。随着上海城市的发展, 大量的工业在内环线以外和郊区建立, 因而由工业所排放的各种污染物进入土壤, 造成了内环线以外公园土壤 Pb 的含量较内环线以内高。如杨浦公园和复兴岛公园离工业区较近, 土壤中 Pb 的含量均超过了 100 mg/kg, 其污染水平也都在中等污染以上。

郑袁明等^[7]对北京城市公园土壤 Pb 含量与公园建成时间的聚类分析发现, 建园时间越长, 土壤中 Pb 的含量越高, 土壤 Pb 含量有随建园时间加长而累积的趋势。但对上海市区 44 个公园表层土壤中的 Pb 含量和建成时间进行相关性分析, 发现二者之间无显著性相关 ($r=0.287$)。这可能由于上海市区公园建园时间较短, 均在 100 年以内 (黄浦公园除外), 土壤中 Pb 随时间无明显的累积。因此, 推断上海市区公园表层土壤中 Pb 主要为外来源, 与公园建成时间无关。

3 结论

(1) 上海市区公园表层土壤中 Pb 含量的平均值为 55.06 mg/kg, 变幅为 26.39 ~ 174.35 mg/kg。

(2) 运用地积累指数法对 44 个公园土壤 Pb 污染进行评价, 表明: 无污染、轻度污染至中等污染、中等污染、中等污染至强污染的公园分别为 13 个 (29.5%)、25 个 (56.8%)、4 个 (9.1%)、2 个 (4.5%)。

(3) 通过对公园表层土壤 Pb 含量的空间分析发现: 内环线附近最高, 依次为内环线以外、内环线以内, Pb 污染主要来源于交通和工业污染。

参考文献:

- [1] 管东生, 陈玉娟, 阮国标. 广州市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响. 中山大学学报 (自然科学版), 2001, 40 (4): 93-97
- [2] 符娟林, 章明奎, 厉仁安. 杭州城市土壤铅的化学形态和可溶性研究. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2004, 30 (3): 305-310
- [3] Li XD, Poon CS, Liu PS. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry, 2001, 16: 1361-1368
- [4] Chirenjea T, Mab LQ, Reevesb M, Szulczewski M. Lead distribution in near-surface soils of two Florida cities: Gainesville and Miami. Geoderma, 2004, 119: 113-120
- [5] Lin ZX, Harsbo X, 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: 47-58
- [6] Ge Y, Murray P, Hendershot WH. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. Environmental Pollution, 2000, 107: 137-144
- [7] 郑袁明, 余轲, 吴鸿涛, 黄泽春, 陈煌, 吴晓, 田勤政, 范克科, 陈同斌. 北京城市公园土壤铅含量及其污染评价. 地理研究, 2002, 21(4): 418-424
- [8] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤 Pb 的含量及其化学形态. 环境科学学报, 2002, 22 (2): 156-160
- [9] Madrid L, Díaz-Barrientos E, Madrid F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. Chemosphere, 2002, 49: 1301-1308
- [10] 王作雷, 蔡国梁, 李玉秀, 史雪荣, 陶华. 土壤重金属污染的非线性可拓综合评价. 土壤, 2004, 36 (2): 151-156
- [11] Zhang MK, Ke ZX. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou City, China. Pedosphere, 2004, 14 (2): 177-185
- [12] 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 龙健, 姚槐应. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. 土壤学报, 2004, 41 (1): 113-119
- [13] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理. 土壤与环境, 2002, 11 (2): 206-209
- [14] Pouyat RV, McDonnell MJ. Heavy metal accumulations in forest soils along an urban rural gradient in southeastern New York, USA. Water Arid and Soil Pollution, 1991, 57 (8): 797-807
- [15] Lottermoser BG. Natural enrichment of top soils with chromium and other heavy metals, Port Macquarie, New South Wales, Australia. Australian Journal of Soil Research, 1997, 35: 1165-1176
- [16] 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. 广西师院学报 (自然科学版), 1999, 16 (4): 87-92
- [17] Lanphear BP, Roghmann KJ. Pathways of lead exposure in urban children. Environmental Research, 1997, 74: 67-73
- [18] Davis S, Waller P, Buschbom R, Ballou J, White P. Quantitative estimates of soil ingestion in normal children between the ages of 2 and 7 years: Population-based

- estimates using aluminium, silicon, and titanium as soil tracer elements. *Arch Environment Health*, 1990, 45: 112-122
- [19] Healy MA, Harrison PG, Aslam M, Davies SS, Wilson CG. Lead sulphide and traditional preparations: Routes for ingestion, solubility and reactions in gastric fluid. *J. Clin. Hosp. Pharm.*, 1982, 7: 169-173
- [20] 沈晓明. 儿童铅中毒. 北京: 人民卫生出版社, 1996
- [21] Duggan MJ, Inskip MJ. Childhood exposure to lead in the surface dust and soil: A community health problem. *Public Health Rev.*, 1985, 13: 1-54
- [22] Baltrop D, Meek F. Effect of particle size on lead absorption from the gut. *Arch. Environ. Health*, 1979, 34: 280-285
- [23] 傅昀, 赵黔榕, 方绮军. 原子吸收法直接测定土壤中的铅. *土壤通报*, 2000, 32 (1): 47-48
- [24] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- [25] 王云. 上海市土壤环境背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1992
- [26] Muller G. Index of geoaccumulation in sediment of the Rhine river. *Geojournal*, 1969, 2 (3): 108-118
- [27] 钱华. 环境铅污染来源及其对人体健康的影响. *环境监测管理与技术*, 1998, 10 (6): 14-17
- [28] 丛艳国, 魏立华. 土壤环境重金属污染物来源的现状分析. *现代化农业*, 2002 (1): 18-20

Lead Concentrations in Surface Soils of Urban Parks of Shanghai and It's Pollution Assessment

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

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

Abstract: Lead concentrations in surface soils of 44 urban parks of Shanghai were determined. Results showed that Pb concentrations in the soils averaged 55.06 mg/kg, ranging from 26.4 to 174.4 mg/kg, which was 1.04 ~ 6.85 times the background value of soil Pb in Shanghai. Geoaccumulation index was used to assess Pb pollution of the surface soils. Results indicated that more than a half of the parks were light- or medium-polluted, nearly one third of the parks were not polluted, and 6 parks were medium- and medium-heavily polluted. The spatial distribution of Pb concentrations showed Pb might come from traffic and industry, and Pb concentrations were not significantly correlated to the history or duration of the parks.

Key Words: Shanghai, Park, Surface soil, Pb, Geoaccumulation index