

文章编号: 1000-0585(2002)04-0418-07

北京城市公园土壤铅含量及其污染评价

郑袁明¹, 余 轲^{1,2}, 吴泓涛^{1*}, 黄泽春¹, 陈 煌¹, 吴 晓²,
田勤政², 范克科², 陈同斌^{1**}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室, 北京 100101; 2. 中国人民大学附属中学, 北京 100081)

摘要: 通过对北京市市区 30 个典型公园的土壤取样调查, 测定了表层土壤中铅的含量, 并以欧盟“土壤环境质量建议标准”对污染状况进行了评价。结果表明, 北京市区已有部分公园存在铅污染问题, 其表土的铅含量平均值为 66.2 mg/kg, 变幅为 25~207 mg/kg, 污染指数为 0.5~4.1。用增长曲线拟合的结果表明, 土壤铅含量随着公园建园时间的延长呈不断增加的趋势, 尤其是近几十年来土壤铅含量的增加较快。历史悠久且距离市中心较近的公园土壤铅含量明显偏高; 对于大多数开放历史较短且相对偏僻的公园而言, 表土一般都未见明显的铅污染。

关键词: 北京; 公园; 土壤; 铅; 污染指数

中图分类号: X53 **文献标识码:** A

土壤表层中的重金属既可以通过食物链进入人体^[1~4], 也可通过扬尘等渠道进入人体, 危害人体健康^[5~7]。土壤中的重金属浓度随土壤熟化程度的提高有增加的趋势^[8]。研究发现, 香港市区公路边的尘埃中镉含量超过了标准的 5 倍多, 使得致癌概率大增^[9]。北京市的大气悬浮物中, 有一半来源于地表扬尘, 表土的污染物质可能借助风力, 随扬尘进入大气, 并进入人体。铅作为土壤^[10]和降水^[11,12]中活性较高的元素, 对健康的影响不容忽视。

由于工业、交通等人类活动的强烈影响, 城市土壤重金属的污染源不仅量多, 而且种类繁多。加之城市的人口密度大大高于其他地区, 且城市土地受人类活动影响的强度大、历史长, 因此, 对城市土壤重金属含量的研究及其污染评价具有十分重要的意义。但是, 关于城市土壤的重金属污染问题直到近些年才在国际上受到重视。目前, 欧美、澳大利亚、香港等发达国家和地区对城市土壤重金属污染问题的研究不断增多^[4~17]。

公园是重要的休闲娱乐场所, 与人们日常生活联系紧密。北京市市区的诸多公园客流量很大, 有些公园每年接待数百万甚至上千万的游客。因此, 其表土环境质量显得尤为重要, 尤其是对儿童的健康影响更是不言而喻^[14~17]。但到目前为止, 据作者了解, 世界上还未见有人研究公园的土壤环境质量状况。本研究以铅为例, 通过详细的调查研究北京市

收稿日期: 2002-01-08; 修订日期: 2002-03-20

基金项目: 北京市自然科学基金重大项目 (6990002); 中国科学院知识创新工程重点方向项目 (KZCX2-04-01)

作者简介: 郑袁明 (1977-), 男, 山西临汾人, 在读博士生。主要从事土壤重金属污染及评价研究。

现工作地址: 南京大学环境学院

通讯作者, email: chentb@gsnrr.ac.cn

市区公园表层土壤的铅含量及其污染现状。

1 材料与方法

在北京市市区内选取 30 个代表性公园 (图 1), 每个公园采取 6~10 个点的表层 (0~5cm) 土壤, 经混合后组成混合样品。土壤样品经风干后磨碎过 100 目筛, 用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 进行消化^[17,18], 原子吸收光谱仪 (AAS Vario 6) 测定铅浓度。在分析测定中, 采用国家标准参考土壤样品 (GSS-1) 进行全程分析质量控制。数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

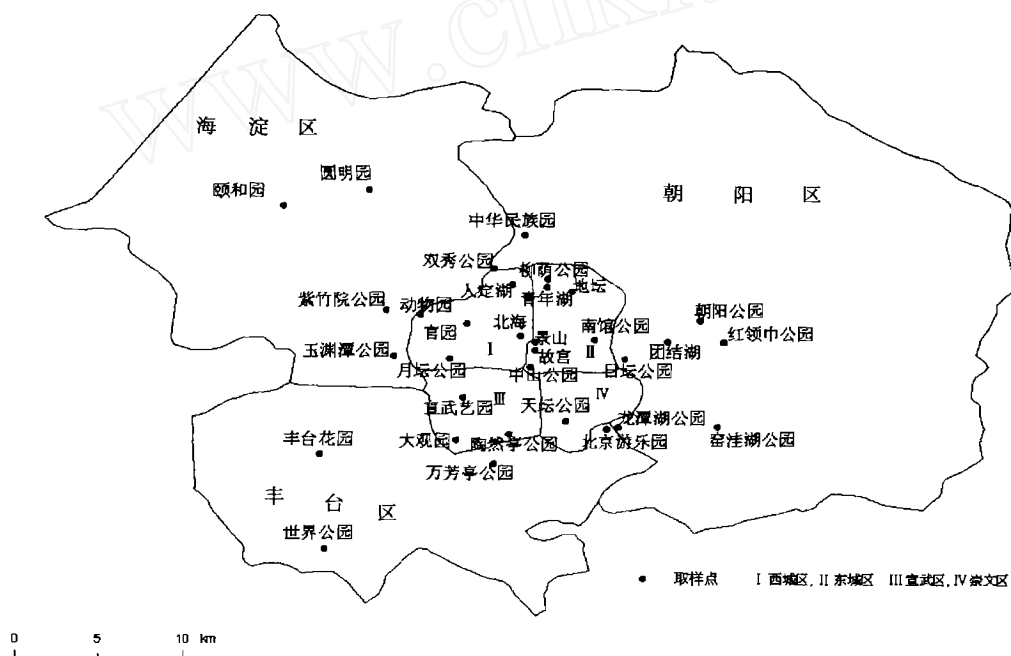


图 1 采样公园分布示意图

Fig. 1 Sketch map showing the location of the urban parks studied

铅污染指数采用下述公式进行计算:

$$P = C / S$$

式中: P 为铅的污染指数; C 为土壤中铅的实测浓度; S 为土壤中铅评价标准的临界值。铅污染的临界值采用欧盟“土壤环境质量建议标准”^[19]。

2 结果与讨论

2.1 土壤铅含量及污染评价

北京城市公园土壤中铅含量为 25~207 mg/kg, 平均值 66.2 mg/kg (表 1)。根据前人的研究, 在北京市非污染土壤中, 铅的平均值 (土壤背景值) 为 25.4 mg/kg^[20]; 在欧盟建议的“土壤环境质量建议标准”中, 铅污染标准的临界为 50 mg/kg。因此, 所调查的公园中, 土壤含铅量的平均值分别相当于北京市土壤背景值的 2.6 倍、欧盟建议“标准”的

1.3 倍。

表 1 北京市市区公园土壤铅含量及其污染指数

Tab. 2 Lead concentrations and pollution index of surface soils in the urban parks

编号	公园名称	建成时间 (年)	铅含量 (mg/ kg)	铅污染指数
1	中华民族园	6	39.76	0.80
2	世界公园	7	25.47	0.51
3	万芳亭公园	10	51.08	1.02
4	北京游乐园 *	13	39.11	0.78
5	大观园 *	14	93.66	1.87
6	丰台花园	14	49.29	0.99
7	人定湖公园	14	36.94	0.74
8	团结湖公园	14	29.98	0.60
9	朝阳公园	16	34.69	0.69
10	双秀公园	16	39.19	0.78
11	官园公园 *	18	94.41	1.89
12	青年湖公园	30	36.25	0.72
13	紫竹院公园	35	26.11	0.52
14	玉渊潭公园	40	31.63	0.63
15	红领巾公园	42	44.13	0.88
16	柳荫公园	42	45.30	0.91
17	龙潭湖公园 *	48	32.26	0.64
18	北京动物园	92	43.37	0.87
19	北海公园 *	204	156.6	3.13
20	颐和园	236	137.3	2.75
21	景山公园 *	249	85.37	1.71
22	圆明园	256	45.15	0.90
23	陶然亭公园 *	305	36.53	0.73
24	地坛公园	470	96.80	1.94
25	日坛公园	470	136.6	2.73
26	月坛公园	470	69.05	1.38
27	宣武艺园 *	536	69.15	1.38
28	中山公园 *	579	90.09	1.80
29	天坛公园 *	580	63.51	1.27
30	故宫 *	594	207.5	4.15
平均值			66.2	1.33

* 为二环以内的公园

根据污染指数可以大致比较不同公园之间的污染程度。污染指数小于 1 的为总数的 53 %，大于 2 的为 16 %，其余 31 % 在 1~2 之间。虽然污染程度轻的公园数量占大多数，但是以故宫、颐和园、北海为代表的北京著名公园的污染指数都远远高于其他公园。这些公园的客流量较大，相应对游人健康造成的影响也较大。因此，北京市区公园的环境质量状况确实令人担忧。

对 30 个公园土壤中铅含量和建园时间的聚类分析（图 2）表明，可以将公园大致分为三类：第 Ⅰ类是所有建园时间在 100 年以下的公园；第 Ⅱ类建园时间在 200 ~ 400 年之间的古代园林，除圆明园和颐和园位于二环以外之外，其余都位于二环以内；第 Ⅲ类是建园时间在 400 年以上的古代园林，且都位于二环以内及二环附近。从聚类分析结果可以看出，建园时间对于土壤铅含量有着重要影响，而公园位置也同样是导致土壤铅积累的不可忽略的因素。这就为揭示铅的污染原因提供了一些参考依据。

2.2 铅的污染原因探讨

利用增长模型对表 1 中所列的土壤铅含量和建园时间进行拟合，方程式如：

$$C = e^{3.7217 + 0.0017t} \quad (R^2 = 0.395, P < 0.001)$$

式中， C 表示土壤铅含量， t 表示时间。

从该方程可以看出，土壤铅含量随时间的增加有较为明显的积累，尤其是 20 世纪以来铅的含量增加较快，因此建园历史是影响土壤铅积累程度的重要因素。

根据聚类分析的结果，以 100 年为界限对公园进行分类比较（表 2），建园时间超过 100 年的公园铅含量范围在 50 ~ 207mg/ kg，平均值 99.5 mg/ kg，最大、最小值以及平均值都为建园时间小于 100 年的公园沿含量的最大、最小值（范围 25.5 ~ 94.4 mg/ kg）和平均值（44.0mg/ kg）的两倍。污染指数的比较结果与此大致类似。可见建园时间对公园土壤铅含量有着明显影响。

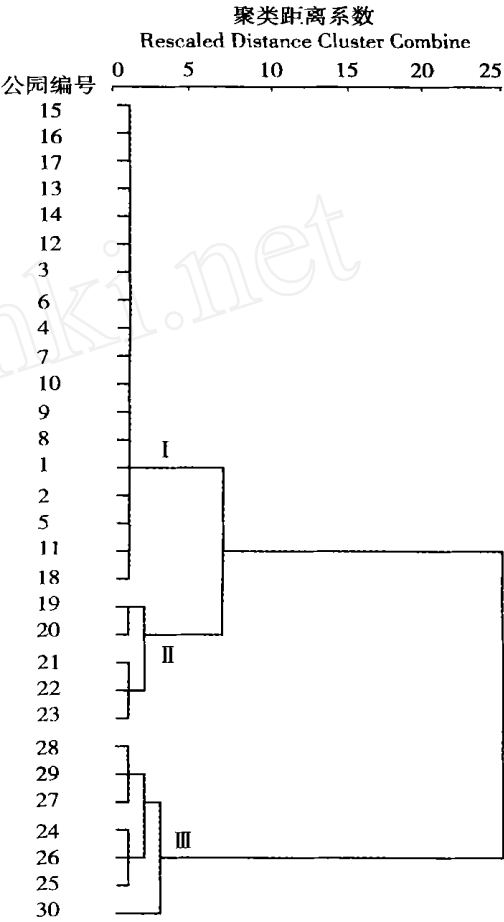


图 2 北京市公园土壤铅污染聚类分析图

Fig. 2 Results of cluster analysis of soil Pb pollution in the urban parks

表 2 北京市公园不同建园历史的土壤铅含量及其污染指数

Tab. 2 Average and range of soil Pb and pollution index calculated based on the park's history

建成历史	公园数量 (个)	铅含量 (mg/ kg)				铅污染指数			
		平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值
< 100 年	18	44.0	19.6	94.4	25.5	0.88	0.39	1.88	0.51
> 100 年	12	99.5	50.5	207.5	36.5	1.99	1.01	4.15	0.73

一般认为，汽车尾气是城市土壤中铅的主要来源之一。城市土壤的铅含量与交通量及人口密度密切相关^[23,24]，研究显示，交通量和人口密度（对数）与表层土壤铅含量呈正

相关。城市街道的灰尘中铅含量一般都很高^[9,21,23]。陈同斌等^[9]的研究发现，香港海拔 800 米的人类活动很少的山上土壤铅含量也可能受到人类活动排放铅的影响。可见，铅以大气为传播途径导致了污染的重新分配，尤其在北京这样一个降尘量很高的城市（2000 年北京月降尘量为 15 t/km²，据北京市环保局）。从此观点出发，以二环为界（二环以内的车流量比较大）将公园分为两个大类（表 3），二环以内公园铅的平均含量比二环以外公园平均值高大约 0.5 倍，达到 88 mg/kg，为背景值的 3 倍多。由此可以看出，公园的位置与其铅污染程度有较大关系，城市中心区的公园铅污染问题相对比较严重。

公园的铅污染程度与人类活动密切相关。以颐和园为例，其建园时间二百多年，土壤铅含量 137mg/kg，污染指数 2.75，因此受到较严重的污染。虽然其地理位置离市中心较远，但是建园时间长，而且客流量大，人类活动的干扰剧烈。实际上，根据聚类分析的结果，无论是建园时间还是距离市中心的远近，都是反映人类活动剧烈程度的。开园时间长，历史悠久，距离市中心近，人类活动对土壤铅含量的影响就越剧烈。但时间仍然是一个非常重要的影响因素。

表 3 不同位置的公园的土壤铅含量及其污染指数

Tab. 3 Average and range of soil Pb and pollution index calculated based on the park's location

建成历史	公园数		铅含量 (mg/ kg)				铅污染指数		
	量 (个)	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值
二环以内	11	88.0	53.1	207.5	32.3	1.76	1.06	4.15	0.65
二环以外	19	53.6	33.6	137.3	25.5	1.07	0.67	2.75	0.51
全部样品	30	66.2	44.2	207.5	25.5	1.33	0.88	4.15	0.51
北京非污染土壤 ^[9]		25.4	6.29	46.0	10.0				

另外，由于铅的化学特性，在装饰用建筑材料如油漆、涂料中常常添加铅作为着色剂或者其他用途^[22]。北京古老的皇家园林历史悠久，在建筑中会长期使用油漆和涂料。在长期的风化作用下，油漆和涂料中的铅不可避免地会进入环境，并可能导致土壤铅含量的增加。有研究显示，建筑物周围的土壤铅含量有增加的趋势^[25]。

铅是一种对儿童的毒性较大的重金属^[12]，其吸附在小粒径颗粒物上会变得更为活泼^[11]。因而，北京公园土壤的铅污染程度必须引起重视，尤其在故宫、北海、日坛和颐和园等土壤铅含量较高的公园，目前的污染状况已不容乐观。建议对上述污染严重的公园进行适当的土壤污染治理，减少暴露在空气中的土地面积，避免扬尘的发生。

3 结论

研究表明，北京市区公园土壤铅含量平均值达到 66.2mg/kg，变幅 25~207mg/kg，部分公园土壤已经受到明显铅污染：（1）一些历史悠久、客流量大、位于市中心的公园，土壤的铅含量及污染指数均大大高于平均水平；（2）聚类分析的结果表明，北京公园土壤铅含量明显受到建园时间和空间位置的影响：建园时间越长，土壤铅含量越高，增长模型的拟合结果也表明，土壤铅含量有随建园时间加长而累积的趋势，尤其近几十年来增加较快。土壤铅含量受公园地理位置影响，市中心公园铅污染问题比较突出。另外，建园时间较短的公园未发现明显铅污染。

参考文献:

- [1] 陈怀满,等. 土壤-植物系统中的重金属污染. 北京:科学出版社,1996.
- [2] 李天杰,主编. 土壤环境学. 北京:高等教育出版社,1995.
- [3] 何振立,主编. 污染及有益元素的土壤化学平衡. 北京:中国环境科学出版社,1998.
- [4] 管东升,陈玉娟,阮国标. 广州城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): 93~96.
- [5] Staglini W M, Doelman P, Salomons W, *et al.* Chemical time bombs: predicting the unpredictable. *Environment*, 1991, 33: 4~30.
- [6] Konstern C J M, *et al.* Summary of the workshop on delayed effects of chemical in soils and sediments (chemical time bombs) with emphasis the Scandinavian region. *Applied Geochemistry*, 1993, 12: 295~299.
- [7] Chen T B, Wong M H, Wong W J C, *et al.* Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hongkong. *Environmental Pollution*, 1997, 96: 61~68.
- [8] 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. *土壤学报*, 1996, 33(1): 85~92.
- [9] 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. *地理学报*, 1997, 52(3): 228~236.
- [10] 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.
- [11] 高连存,冯素萍,何桂华,等. 不同粒径降尘中痕量金属元素 Cu、Pb、Zn、Cr 的形态分析. *环境科学研究*, 1995 8(4): 35~39.
- [12] Culbard E B, *et al.* Metal contamination in British urban dusts and soils. *Journal of Environment Quality*, 1988, 17: 226~334.
- [13] Pouyat R V, McDonnell M J, Pickett STA. Soil characteristics of oak stands along an urban-rural land use gradient. *J. of Environ. Qual.* 1995, 24: 516~526.
- [14] Tiller K G. Urban soil contamination in Australia. *Aust. J. Soil Res.* 1992, 30: 937~957.
- [15] Weiss P, Riss A, Gschmeidler E, *et al.* Investigation of heavy metal. PAH. PCB patterns and PCDD/F profiles of soil samples from an industrialized urban area (Linz. upper Austria) with multivariate statistical methods. *Chemosphere*, 1994, 29(9~11): 2223~2336.
- [16] Lau P F. A survey of heavy metal contents in children playgrounds in Hong Kong: Hong Kong Baptist University. 1994. 73.
- [17] Tam N F Y, Liu W K, Wong M H, *et al.* Heavy metal pollution in roadside urban parks and gardens in Hong Kong. *The Science of the Total Environment*. 1987. 59: 325~328.
- [18] USEPA. Method 3050B-Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.
- [19] 林成谷,主编. 土壤污染与防治. 北京:中国农业出版社,1996.
- [20] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京:中国环境科学出版社,1990.
- [21] Stone M, Marsalek J. Trace metal composition in street sediment: Sault site. Marie, Canada. *Water, Air and Soil Pollution*, 1996, 87: 149~169.
- [22] 何嫁敏,等. 用 X 线荧光衍射法和原子吸收光谱法测定油漆中的铅含量. *广东微量元素科学*, 1998, 5(6): 26~29.
- [23] Chan G Y S, Chui V W D, Wong M H. Lead concentration in Hong Kong roadside dust after reduction of lead level in petrol. *Biomedical and Environmental Science*, 1989, 2: 131~140.
- [24] Tillet K G. Urban soil contamination in Australia. *Australia. Journal of. Soil Research*, 1992, 30: 937~957.
- [25] Rolfe G L, *et al.* Environmental contamination by lead and other heavy metals. Vol. 2. *Ecosystem Analysis*. 1977. Institute for Environmental Studies. University of Illinois, Urban - champaign. 112pp.

Lead concentrations of soils in Beijing urban parks and their pollution assessment

ZHENG Yuan-ming¹, YU Ke^{1,2}, WU Hong-tao¹, HUANG Ze-chun¹, CHEN Huang¹,
WU Xiao², TIAN Qin-zheng², FAN Ke-ke², CHEN Tong-bin¹

(1. Laboratory of Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and
Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Middle School Affiliated to People's University of China, Beijing 100081, China)

Abstract : Lead concentrations of surface soils taken from 30 typical parks in Beijing urban area were studied. The pollution index, which was used to assess the situation of soil pollution, was calculated according to the Soil Environment Quality Standard recommended by European Union. The results indicated that the average concentration of Pb in soils was 66.2 mg/kg, ranging from 25 to 207 mg/kg; the pollution index was ranging from 0.51 to 4.15. It was found that soils from some parks were polluted with Pb apparently.

The results of cluster analysis showed that all of the parks could be divided into three categories: (1) the parks with a history shorter than 100 years; (2) the parks with a history ranging between 200 and 400 years; and (3) the parks with a history longer than 400 years. Regression analysis was carried out to explore the relationship between two variables of Pb concentrations in soils and the history of parks. Using the "growth curve" to fit the datum, it could be concluded that the two variables were significantly positive correlated ($p < 0.001$). Furthermore, geographical location of the parks was also an essential factor affecting the lead concentrations in the soils. In some parks with longer history and/or near the center of the city, the concentrations of Pb in the soils were obviously high. However, Pb pollution was not notable in the soils of other parks with relative short history.

Key words : Beijing; park; soil; Pb; pollution index