

## 典型城市城郊土壤重金属含量对比研究

李 杰,施泽明,张成江,倪师军

(成都理工大学 地球化学系,成都 610059)

**摘 要:**选取成都经济区内成都、德阳、蒲江彭山 3 类典型城市作为研究对象,对其城郊土壤中 Cd, Hg, As, Zn, Cr, Cu, Pb 7 种重金属元素含量作了对比研究。与国家土壤二级质量标准比较,成都、德阳、彭山蒲江 Cd 含量均超标,超标率分别为 11.67%, 70.67%, 39.00%, 彭山蒲江 Cr 含量超标,超标率为 20.25%, 其它元素含量均未超标。比较 3 类不同城市城郊土壤重金属含量,成都城郊 Hg, As, Zn, Pb 含量最高, Cd, Cr 含量相对最低;德阳 Cd, Cu 最高;蒲江和彭山 Cr 相对最高, Hg, As, Zn, Cu, Pb 含量则相对最低。与国内其他城市比较,成都、德阳城郊土壤 Hg 含量,彭山蒲江、德阳 Cr 含量在全国处于较高水平;成都的 As, Cd 含量,德阳的 Cd, Zn 含量,蒲江彭山的 Hg, As, Zn, Pb 含量处于全国较低水平。

**关键词:**重金属、城市生态地球化学、城郊土壤

**中图分类号:** X53

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)02-0266-04

## Contrast Research on Heavy Metal Contents in Suburb Soils of Typical Cities

LI Jie, SHI Ze-ming, ZHANG Cheng-jiang, NI Shi-jun

(Department of Geochemistry, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Choosing the three types of typical cities (Chengdu, Deyang, Pengshan-Pujiang) of Chengdu economic area as research objects, this paper did a comparative study on concentrations of seven heavy metals including Cd, Hg, As, Zn, Cr, Cu, Pb in suburb soil of these areas. Compared with the national grade II quality standard of soil, the Cd contents in soils of Chengdu, Deyang, Pengshan-Pujiang exceed the standard, and the exceeding rate are 11.67%, 70.67%, 39.00% respectively; the Cr concentrations in soil of Pengshan-Pujiang exceed the standard, and the exceeding rate are 20.25%; however the contents of other heavy metals not exceed the standard. The comparison of heavy metal concentrations in soils between the three different cities showed that the concentrations of Hg, As, Zn, Pb in Chengdu suburb soil get to the highest, and the concentrations of Cd, Cr are relatively the lowest; the concentrations of Cd, Cu in Deyang suburb soils are the highest; the concentration of Cr in Pengshan-Pujiang suburb soils is relatively the highest, and the concentrations of Hg, As, Zn, Cu, Pb are relatively the lowest. Compared with the other cities in China, the concentrations of Hg in Chengdu and Deyang suburb soil, and the concentrations of Cr in Pengshan-Pujiang are higher than that of other cities, the concentrations of As, Cd in Chengdu, the concentrations of Cd, Zn in Deyang, and the concentrations of Hg, As, Zn, Pb in Pengshan-Pujiang are lower than that of other cities.

**Key words:** heavy metals; city ecological geochemistry; city suburb soils

城郊土壤是指城郊及周边外围区域、受一定人为活动影响的土壤。随着城市化、工业化的迅速发展,城市的工业污染物和生活垃圾大量输入到郊区,使得城郊环境受到影响。城郊环境质量的优劣,尤其是土壤质量的好坏,直接影响供应到城市的农副产品的质量,因此,研究城市郊区土壤质量,尤其查明重金属元素的含量,具有十分重要的意义。

目前我国部分大中城市,如上海、南京、杭州、广州、沈阳、成都等都曾对城郊土壤污染状况作过调查研究,基本查明了重金属污染现状<sup>[1-2]</sup>,主要污染元素为铅、镉和汞。前人对成都市土壤质量及特性也曾进行过细致的调查<sup>[3-5]</sup>,特别对 Hg, Cd 及其形态作过深入的研究<sup>[6]</sup>,但对于不同类型城

市土壤质量对比研究却少见报道。选取成都经济区内大型综合性城市成都、中等重工业城市德阳、小型农业城市蒲江、彭山作为研究对象,对其城郊土壤重金属含量作对比研究,旨在查明不同类型城市城郊土壤重金属污染的特征。

### 1 样品的采集与分析

#### 1.1 样品的采集与预处理

在 1:50 000 地形图上布置好采样点,主要考虑重点污染区,同时兼顾采样点均匀分布,采样深度为地表 0—20 cm 土柱,在采样点周围 20 m 半径范围内采集 5 个点(放射状)的土柱组合为 1 件样品,各采样点的土壤类型和土地利用类

收稿日期:2007-04-30

基金项目:中国地质调查局资助项目(200314200015);高等学校博士学科点专项科研基金(20060616020)

作者简介:李杰(1982—),男,山东莱芜人,硕士研究生,主要从事环境地球化学研究。E-mail:lijie-cdut.cn@163.com

型应为此范围内具代表性的类型。采样时去除杂草、草根、砾石、砖块等杂物,避开施肥点、肥料残块等。土壤经自然风干后,剔除生物残骸、植物碎片、碎石和砾石,研磨过 200 目,用四分法取约 10 g 作为分析样品,装入聚乙烯塑料自封袋(避免样品间的污染)送样。

1.2 样品的处理与分析

As、Hg 经硝酸、过氧化氢溶矿分解,用原子荧光法测定;Cd 经氢氟酸溶矿、盐酸提取,用原子吸收法测定;Pb 采用粉末进样,发射光谱法测定;Cu、Zn、Cr 经氢氟酸、王水溶矿,盐酸提取,ICP 法测定。分析方法、检出限详见表 1。

表 1 分析方法、检出限、合格率统计 <span style="float:right">μg/g</span>							
元素	Cd	Hg	As	Zn	Cr	Cu	Pb
分析方法	AAS	AFS	AFS	ICP	ICP	ICP	AFS
检出限	0.03	0.003	0.5	4	5	1	2

注:AFS:原子荧光法,AAS:原子吸收法,ICP 等离子发射光谱法。

1.3 分析数据监控

采用一级标样质量监控、内检质量控制、重复分析检验三类监控办法。一级标样质量监控:分析时分 2 批次分密码插入国家标准物质 4 件(GSS1,GSS2,GSS3,GSS4),分别占

样品总数 10.81%,11.43%;各元素合格率 100%;内检质量控制:分析批次共 2 批,分别密码插入内部检查样 9 件、10 件,分别占样品总数的 24.33%,28.58%,所有元素的合格率均为 100%;重复分析检验:采用了重复样品分析,重复分析结果所有元素的相对偏差均<40%,数据可用。

2 结果分析与讨论

2.1 城郊土壤中重金属含量

各城市城郊土壤中重金属含量见表 2。

由表 2 可见,不同地区土壤中主要重金属含量顺序为: Hg,As,Zn,Pb;成都>德阳>蒲江彭山;Cu:德阳>成都>蒲江彭山;Cd:德阳>蒲江彭山>成都;Cr:蒲江彭山>德阳>成都。由上述比较可知,成都城郊土壤重金属元素以高含量的 Hg,As,Zn,Pb 为特征组合,Cd,Cr 含量相对最低;德阳城郊土壤重金属元素以 Cd,Cu 最高为组合特征;蒲江和彭山城郊土壤重金属元素以 Cr 相对最高,Hg,As,Zn,Cu,Pb 含量相对最低为组合特征。可以看出成都市城郊、德阳城郊土壤质量较彭山蒲江差。

表 2 典型城市城郊土壤重金属含量统计比较

元素	成都						德阳						蒲江彭山					
	N/件	μg/g					N/件	μg/g					N/件	μg/g				
		min	max	mean	std	Cv/%		min	max	mean	std	Cv/%		min	max	mean	std	Cv/%
Cd	33	0.180	0.960	0.350	0.190	54.3	12	0.300	0.980	0.512	0.273	53.3	16	0.140	0.840	0.417	0.206	49.4
Hg	33	0.090	1.730	0.310	0.276	89.0	12	0.098	0.780	0.307	0.209	68.1	16	0.008	0.380	0.151	0.109	72.2
As	33	3.83	17.40	11.30	4.00	35.4	12	6.76	11.40	9.08	1.16	12.8	16	2.82	11.10	7.21	2.75	38.1
Zn	33	135.0	1266.0	217.7	191.4	87.9	12	73.1	161.0	108.9	31.8	29.2	16	71.0	152.0	102.7	20.4	19.9
Cr	33	45.0	90.0	59.2	11.7	19.8	12	121.0	191.0	157.4	19.0	12.1	16	101.0	477.0	240.5	108.2	45.0
Cu	33	25.6	187.0	41.4	27.2	65.7	12	25.4	102.0	49.2	24.3	49.4	16	24.1	96.3	40.2	17.0	42.3
Pb	33	61.0	115.0	77.2	10.5	13.6	12	32.3	85.5	48.9	14.2	29.0	16	17.3	57.0	39.1	11.0	28.1

2.2 污染源解析

成都作为大型的综合性城市,人口密集,交通发达,为主要工业、经济活动及生活的聚集地,人为活动对环境的扰动最大,各元素的变异系数都相对较大,特别是 Cu,Pb,Zn。工矿企业的搬迁,个体企业的发展,城郊环境相对恶化是造成其城郊土壤污染源的主要因素。杨忠芳(2005)对成都农田区大气干湿沉降、灌溉水和化肥年输入 Cd,As,Hg 和 Pb 的对比研究表明<sup>[5]</sup>,大气干湿沉降是农田区这些元素最主要的输入途经,而非施肥和灌溉。目前成都的主要工矿企业大多集中在城郊周围,相关的异常点与此有密切的联系,如 Hg,Cd,As 高值区出现在东郊热电厂附近,与 Nriagu 和 Pacyna (1988)研究结果<sup>[6]</sup>;成都 Hg 污染的主要来源是燃煤相吻合。Cd 的污染还与冶金、机械加工等工业活动有关,如在黄田坝、琉璃厂外围附近也出现高值区。

德阳 Cd 高的主要原因可能与它的地质背景有关,龙门山构造带低温热液成矿元素 Pb,Zn,Cu 局部矿化富集在平武地区的唐王寨产出铅锌矿矿床,Cd 与 Zn 伴生,闪锌矿就

成了 Cd 的主要集中场所,对大气尘的研究也表明平武一安县一带近地表大气尘中 Cd 含量很高<sup>[7]</sup>,随着矿山的开发利用,相关元素分散迁移,使得环境中尤其是土壤中 Cd,Cu 含量增高。变异系数显示 Cd 超过了 50%,说明除了高背景及矿山开采外,其他重工业活动如:冶金、化工、机械制造等也是造成 Cd 污染的主要原因。由于土壤中 Cd 的环境容量较小,其生物有效态比例又高,与土壤性状,如土壤 pH 值、有机碳含量、氧化还原性能等关系密切,故要对土壤性状时事监控,以降低突发性事件的几率。

蒲江彭山 Cr 含量相对最高,Cd 略高于成都,其他元素 Hg,As,Zn,Cu,Pb 含量均相对最低,从变异系数来看,除 Hg 为 72.2%外,其他元素的变异系数均小于 50%,可以看出作为小型的农业城市,元素含量受人为活动对环境的扰动最小。人口相对稀少,交通不发达,工业活动相对较少,土壤质量就相对较好,Cr 高可能与该地的地质背景有关。

3 与国内其它城市研究比较

将本次研究与国内其它城市研究比较见表 3。

表 3 不同城市土壤重金属元素含量

城市	Cd	Hg	As	Zn	Cr	Cu	Pb
广州市郊污灌 <sup>[8]</sup>	2.10	0.28	25.10	142.80	28.00	87.90	99.70
广州市郊清洁 <sup>[8]</sup>	0.47	0.16	22.1	46.00	9.00	21.10	48.67
杭州市城郊 <sup>[9]</sup>	1.35	—	—	186.20	47.00	48.80	137.30
香港 <sup>[10]</sup>	2.18	—	—	168.00	—	24.80	93.40
南京市 <sup>[11]</sup>	1.13	—	—	273.3	—	39.86	117.1
重庆 <sup>[12]</sup>	0.244	0.136	6.389	75.757	54.765	18.753	31.496
长春 <sup>[13]</sup>	2.80	—	—	88.17	—	35.52	41.19
辽宁丹东 <sup>[14]</sup>	4.00	—	—	278.00	61.25	55.51	153.50
辽宁抚顺 <sup>[14]</sup>	4.75	—	—	267.65	93	51.35	229.50
辽宁鞍山 <sup>[14]</sup>	3.05	—	—	244.65	34.75	51.90	162.50
辽宁朝阳 <sup>[14]</sup>	2.25	—	—	164.65	75.5	34.43	151.25
徐州 <sup>[15]</sup>	0.54	0.29	39.00	144.10	78.40	38.20	43.30
上海宝山区 <sup>[16]</sup>	0.54	—	—	191.50	82.70	41.30	154.20
贵阳郊区 <sup>[17]</sup>	0.091	0.366	45.95	—	148.14	—	85.73
乌鲁木齐 <sup>[18]</sup>	—	—	—	168.7	110.3	44.03	55.17
开封 <sup>[19]</sup>	1.72	0.4595	18.7575	—	85.66	—	18.21
保定市清洁 <sup>[20]</sup>	1.047	—	—	176.986	—	20.019	32.773
保定市污灌 <sup>[20]</sup>	1.863	—	—	274.851	—	30.933	54.439
攀枝花农田表土 <sup>[21]</sup>	0.262	—	13.784	88.151	87.405	38.974	30.815
攀枝花草地表土 <sup>[21]</sup>	0.210	—	12.321	72.091	81.04	34.68	28.458
成都	0.350	0.310	11.30	217.70	59.20	41.40	77.20
本次研究 德阳	0.512	0.307	9.08	108.90	157.40	49.20	48.90
蒲江彭山	0.417	0.151	7.21	102.70	240.50	40.20	39.10

从表 3 可以看出,成都城郊土壤 Hg 含量较高,仅低于开封和贵阳,污染较严重,其中为广州市清洁区的近 2 倍,是重庆市的 2.3 倍,这与其城市化进程和能耗结构有关。As, Cd 含量相对较低,As 仅比重庆高,Cd 仅高于贵阳和攀枝花,主要污染区为城西地区。Cr 比以重工业为主的城市偏低,但比沿海一些发达城市要高,其中为广州清洁区的 8 倍多,为其污灌区的 3 倍多,更是香港的几十倍。Cu, Pb, Zn 与全国其他城市比较含量在中等水平。

德阳城郊土壤 Hg 含量比成都略低,污染较为严重,这与它对矿山的开采和工业布局密切相关。Cd, Zn 含量比辽宁抚顺、鞍山等重工业城市含量低得多,与国内城市比较总体含量较低。Cr 含量仅次于蒲江彭山,污染较严重,是抚顺的近 2 倍,鞍山的近 5 倍,更是广州清洁区的十几倍。Cu 与抚顺、鞍山相当, Pb 则相对较低,这与不同工业城市的工业布局有关。

蒲江彭山城郊土壤 Cr 含量在所选国内城市中是最高的,主要取决于其地质背景。Hg, As, Zn, Pb 含量在国内城市中属较低水平, Cd, Cu 含量在中等水平。

与国内其他城市对比显示,成都、德阳城郊土壤 Hg 含量,彭山蒲江、德阳 Cr 含量在全国处于较高水平,而成都的 As, Cd 含量,德阳的 Cd, Zn 含量,蒲江彭山的 Hg, As, Zn, Pb 含量处于全国较低水平。

#### 4 质量评价

##### 4.1 与国家土壤二级质量标准比较

本次研究土壤 pH 平均值为 6.89,对照国家土壤二级质

量标准 pH 介于 6.5~7.5 的标准,三地区 Cd 含量均超标,超标率分别为:德阳 70.67%、彭山蒲江 39.00%、成都 11.67%,彭山蒲江 Cr 含量超标,超标率为 20.25%,其它元素含量均低于国家标准。

##### 4.2 潜在生态风险评价

###### 4.2.1 评价方法

采用瑞典科学家 HAKANSON 潜在生态危害系数法<sup>[22]</sup>进行重金属评价。该法的优势在于从重金属的生物毒性角度出发,反映了多种污染物的综合影响,并定量地划分出潜在生态危害的程度。

此法对应指标包括:单一重金属污染系数  $C_i^*$ ,多金属污染度  $C_d$ ,不同金属生物毒性相应因子  $T_i$ ,单一重金属潜在生态风险因子  $E_i^*$ ,多金属潜在生态风险系数(RI),关系如下

$$C_i^* = C_i / C_{ni} \quad C_d = \sum C_i^*$$

$$E_i^* = T_i \times C_i^* \quad RI = \sum E_i^*$$

式中: $C_i^*$ ——土壤样品的实测含量; $C_{ni}$ ——背景参考值。

###### 4.2.2 评价结果

以成都大平原土壤平均值为背景,对城郊土壤主要重金属元素进行评价,评价结果见表 4。

由表 4 综合来看,单个金属元素生态危害因子( $E_i^*$ ),三地区 Cd 均达到中等生态危害,其强度顺序为:德阳>蒲江彭山>成都;成都、德阳城郊土壤 Hg 都达到强生态危害,蒲江彭山 Hg 刚达到中等生态危害;其余元素为轻微生态危害。综合潜在生态危害指数(RI),成都、德阳城郊土壤达到

了中等生态危害,主要是 Hg 和 Cd 的贡献,这是因为 Hg、Cd 的毒性系数较大,加上 2 者的环境容量又很小造成的;蒲江彭山为轻微生态危害,但就单个元素 Hg、Cr 的污染也不容忽视。本次研究与刘重芃等对成都农业土壤的研究结果相比<sup>[23]</sup>,综合潜在生态危害指数总体为小,但个别元素如 Cr 污染有加剧的趋势。

表 4 典型地区重金属元素潜在生态指数评价对照

地区	风险因子 $E_i$							风险指数 $RI$
	Cd	Hg	As	Zn	Cr	Cu	Pb	
成都	62.81	65.50	16.45	2.24	1.90	7.35	15.57	171.82
德阳	96.00	76.75	13.72	1.36	4.45	8.52	10.48	211.29
蒲江 彭山	77.81	37.75	10.89	1.28	6.80	6.96	8.39	149.89

## 5 结 论

(1)与国家土壤二级质量标准比较,成都、德阳、彭山蒲江 Cd 含量均超标,超标率分别为 11.67%,70.67%,39.00%,彭山蒲江 Cr 含量超标,超标率为 20.25%。

(2)比较 3 类不同城市城郊土壤重金属含量,成都城郊 Hg、As、Zn、Pb 含量最高,Cd、Cr 含量相对最低;德阳 Cd、Cu 最高;蒲江彭山 Cr 相对最高,Hg、As、Zn、Cu、Pb 含量则相对最低。城郊土壤质量优级顺序:蒲江彭山>成都>德阳。

(3)重金属潜在生态危害因子表明:3 地区 Cd 均达到中等生态危害,其强度顺序为:德阳>蒲江彭山>成都;成都、德阳 Hg 都达到强生态危害,蒲江彭山 Hg 为中等生态危害,其余元素均为轻微生态危害;综合潜在生态危害指数(RI)显示:成都、德阳城郊土壤达到了中等生态危害,主要是 Hg 和 Cd 的贡献,蒲江彭山为轻微生态危害。成都 Cr 污染有加剧的趋势。

(4)与国内其他城市对比显示,成都、德阳城郊土壤 Hg 含量,彭山蒲江、德阳 Cr 含量在全国处于较高水平,而成都的 As、Cd 含量,德阳的 Cd、Zn 含量,蒲江彭山的 Hg、As、Zn、Pb 含量处于全国较低水平。

## 参考文献:

- [1] 晓云.我国土壤重金属污染[J].金属世界,2000,10(2):5.
- [2] 梁称福,陈正法,刘明月.蔬菜重金属污染研究进展[J].湖南农业科学,2002(4):45-48.
- [3] 朱礼学.成都平原西部土壤中镉的分布与镉污染[J].成都理工学院学报,2000(增刊):94-97.
- [4] 施泽明,倪师军,张成江,等.成都市城市土壤中重金属的现状评价[J].成都理工大学学报:自然科学版,2005,32(4):391-395.
- [5] 杨忠芳,成杭新,奚小环,等.区域生态地球化学评价思路及建议[J].地质通报,2005,24(8):687-693.

- [6] Nriagu J O, Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals[J]. Nature, 1988, 333: 134-139.
- [7] 施泽明,倪师军,张成江.成都市近地表大气尘的地球化学特征[J].地球与环境,2004,32(3/4):53-58.
- [8] 廖金凤.城市化对土壤环境的影响[J].生态科学,2001,20(1):91-95.
- [9] 王美青,章明奎.杭州市城郊土壤重金属含量和形态的研究[J].环境科学学报,2002,22(5):603-608.
- [10] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. Applied Geochemistry, 2001, 16: 1361-1368.
- [11] 吴新民,李恋卿,潘根兴,等.南京市不同功能区城区土壤中重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的污染特征[J].环境科学,2003,24(3):105-111.
- [12] 李其林,刘光德,等.重庆市蔬菜地土壤重金属特征研究[J].中国生态农业学报,2005,13(4):142-146.
- [13] 刘乃瑜,等.长春市城市土壤中重金属元素的积累及其微生物特性研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(10):134-138.
- [14] 张顺意,尹呈英.辽宁省城区表土元素含量与大气降尘组分的相互关系[J].环境科技,1991,11(5):19-25.
- [15] 王学松,秦勇.徐州城市表层土壤中重金属环境风险测度与源解析[J].地球化学,2006,35(1):88-94.
- [16] 巫和昕,等.上海市宝山区土壤重金属含量及其分异特征[J].上海大学学报:自然科学版,2004,10(4):400-405.
- [17] 陆引罡,王巩.贵州贵阳市郊区菜园土壤重金属污染的初步调查[J].土壤通报,2001,32(5):235-237.
- [18] 刘玉燕,刘敏,刘浩峰.乌鲁木齐城市土壤中重金属分布[J].干旱区地理,2006,29(1):120-123.
- [19] 马建华,等.开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J].土壤通报,1999,2(30):93-96.
- [20] 谢建治,刘树庆,王立敏,等.保定市郊土壤重金属污染现状调查及其评价[J].河北农业大学学报,2002,25(1):38-41.
- [21] 滕彦国,庾先国,倪师军,等.攀枝花市土壤微量元素分布[J].城市环境与城市生态,2003,16(1):47-50.
- [22] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sediment ecological approach [J]. Water Res, 1980, 14: 975-1001.
- [23] 刘重芃,尚英男,尹观.成都市农业土壤重金属污染特征初步研究[J].广东微量元素科学,2006,13(3):41-45.