

郑小康, 李春晖, 黄国和, 等. 2009 保定城区地表灰尘污染物分布特征及健康风险评价 [J]. 环境科学学报, 29(10): 2195–2202

Zheng X K, Li C H, Huang G H, et al. 2009 Pollutant distribution in urban dusts of Baoding and health risk assessment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 29(10): 2195–2202

保定城区地表灰尘污染物分布特征及健康风险评价

郑小康^{1,2}, 李春晖^{1,3*}, 黄国和^{1,4}, 杨志峰^{1,3}, 庞爱萍¹, 吕莹³

1 北京师范大学环境学院 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875

2 黄河勘测规划设计有限公司规划研究院, 郑州 450003

3 北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875

4 Faculty of Engineering University of Regina Regina Saskatchewan S4S 0A2

收稿日期: 2009-01-08 修回日期: 2009-04-21 录用日期: 2009-07-28

摘要: 以河北省保定市城区为研究区域, 采集了保定城区内办公区、商业区、居住区、工业区、交通区和屋顶 6 个类别共 14 个采样点的地表灰尘, 分析了地表灰尘重金属和营养元素 N、P 在不同区域的分布特征, 并分析了其可能来源。最后, 应用重金属健康风险评价模型 (Chronic Daily Intake, CDI) 对地表灰尘中 Cd、Cr、Cu、Pb 和 Zn 5 种重金属进行了健康风险评价。结果表明, 城市屋顶灰尘污染物质含量普遍高于其它区域, 之后依次是商业区 > 交通区 > 工业区 > 办公区 > 居住区, Cd(5.10 mg kg⁻¹)、Cr(470 mg kg⁻¹)、Pb(997 mg kg⁻¹)、Zn(1377 mg kg⁻¹) 和 P(999 mg kg⁻¹) 的最大值均来自屋顶灰尘, 而 Cu(867 mg kg⁻¹) 和 N(19.40 mg kg⁻¹) 的最大值则来自商业区的地表灰尘。重金属 Cd 和 Cr 具有复合污染特征, 来源复杂且多样化; 重金属 Pb、Zn 和 Cu 的含量在各区域中的变化趋势较一致且显著相关, 主要来源于交通排放。Cd 的平均致癌风险指数均达到了 1.25×10^{-5} , 超过了美国 EPA 10^{-6} 的标准, 由此将导致每百万人增加 12.5 个癌症患者, 已对当地居民的身体健康造成了严重的威胁; 各种重金属的平均叠加风险度达 0.124 重金属摄入为慢性参考剂量的 10% 左右, 不会对居民的身体健康产生较大的非致癌风险。

关键词: 地表灰尘; 重金属; 营养元素; 健康风险评价

文章编号: 0253-2468(2009)10-2195-08 中图分类号: X513 文献标识码: A

Pollutant distribution in urban dusts of Baoding and health risk assessment

ZHENG Xiaokang^{1,2}, LI Chunhu^{1,3*}, HUANG Guohe^{1,4}, YANG Zhifeng^{1,3}, PANG Aiping¹, LU Ying³

1 Ministry of Education Key Lab of Water and Sand Science, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875

2 Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003

3 State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875

4 Faculty of Engineering, University of Regina, Regina, Saskatchewan S4S 0A2

Received 8 January 2009; received in revised form 21 April 2009; accepted 28 July 2009

Abstract This study focused on characterization of heavy metals and nutrients in the dust of the city of Baoding, China. Thirty-six samples were collected from fourteen sampling points including six land-use types. Most of the sites were impervious ground such as office, commercial, residential, industrial and traffic areas as well as building roofs. Concentrations of Cd, Cr, Cu, Pb, Zn and organic N and P were measured to investigate their distribution and possible sources. The results showed that the mean concentration of pollutants in the building roofs was generally higher than in other areas, followed by the commercial traffic, industrial office and residential areas. In addition, the highest concentrations of Cd (5.10 mg kg⁻¹), Cr (470 mg kg⁻¹), Pb (997 mg kg⁻¹), Zn (1377 mg kg⁻¹) and P (999 mg kg⁻¹) were found on the building roofs. However, the highest concentration of Cu (867 mg kg⁻¹) and N (19.40 mg kg⁻¹) were found in commercial areas. Cd and Cr had the most complex and varied sources. The concentrations of Pb, Zn and Cu in all areas were more consistent and had significant correlations, indicating they were mainly from traffic emissions. Based on the above data, the CDI (chronic daily intake) model was applied to assess the health risks associated with Cd, Cr, Cu, Pb and Zn in the dust of Baoding. The results showed that the cancer risk index of Cd was 1.25×10^{-5} , which was higher than the soil management standard of the EPA. The high cancer risk indexes indicate a possible increase of approximately 12.5 cancer patients per million people. The non-carcinogenic average risk index (0.124) of the five heavy metals was less than the standard value, which implied a non-carcinogenic risk to the health of the residents.

Keywords urban dusts; heavy metals; nutrient; health risk assessment

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(No. 2005CB724207, 2006CB403307); 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20070027029)

Supported by the National Basic Research Program of China (No. 2005CB724207, 2006CB403307) and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (No. 20070027029)

作者简介: 郑小康(1983—), 男, E-mail: xk_zheng@163.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: chunhuil@bjnu.edu.cn

Biography ZHENG Xiaokang(1983—), male, E-mail: xk_zheng@163.com; * Corresponding author E-mail: chunhuil@bjnu.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 引言 (Introduction)

城市是人类活动最为强烈的地区, 其环境受到人类活动的深刻影响, 工业生产、交通和居住导致了土壤和灰尘中污染物的富集 (Akhter *et al*, 1993; Kelly *et al*, 1996). 城市地表灰尘是城市环境重要的污染源, 其主要化学成分可分为可溶性成分(大多数无机离子)、有机成分、微量元素和碳元素等4大类, 其中的微量元素对于人类和环境具有较大影响。在城市地表灰尘中富集较明显和研究较多的微量元素主要为重金属, 如 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 和 Ni 等 (Nageotte *et al*, 1998; Han *et al*, 2006; 刘春华等, 2007). 由于重金属元素的难降解性和持久性, 因此, 被称为“化学定时炸弹” (Stigliani *et al*, 1991), 它们在城市地表灰尘中的累积具有重要的环境指示意义和较大的环境污染危害 (Manta *et al*, 2002).

城市地表灰尘在一定的外动力条件下较易扬起, 其中的污染物(重金属和营养元素)通过呼吸吸入和皮肤直接接触等途径进入人体, 从而影响公众健康 (Glikson *et al*, 1995; Heikki *et al*, 2006; Grimm *et al*, 2008), 儿童由于有较多的手口活动以及免疫力低下, 更易受到灰尘中污染物的危害 (Mielke *et al*, 1999; Rasmussen *et al*, 2001). 研究表明, Pb 暴露与减缓儿童认知发展和削弱儿童智力表现相关 (Oskarson *et al*, 1995). Cu、Cd、Cr、Zn、As 和 Hg 也是公认的有毒元素 (ICRCL, 1983; Chatterjee *et al*, 1999), 这些元素可以改变人类神经系统和呼吸系统的功能, 扰乱内分泌系统 (Bocca *et al*, 2004; Pecze *et al*, 2005; Senger *et al*, 2006). 除此之外, 城市地表灰尘还可通过污染食物、大气和水环境间接地影响城市环境质量和危害人类健康 (Burian *et al*, 2002; Nakayama *et al*, 2005; Murakami *et al*, 2008). 因此, 在城市化进程不断加快的今天, 研究城市地表灰尘的污染特性, 不仅是评价城市环境质量的一个重要方面, 而且对于人体健康也具有重要意义.

国内外针对城市地表灰尘中污染物质的研究多为重金属。一方面是对地表灰尘中重金属含量与来源研究 (Sezgin *et al*, 2003; Omaç, 2004), 如应用多元统计学方法进行污染源的识别 (Serife *et al*, 2006), 也有学者将环境磁学应用于重金属来源的判断研究中 (Shilton *et al*, 2005; Wonnyon *et al*,

2007); 另一方面是应用 GIS 技术就不同功能区(工业区、商业区、居住区和交通区等)进行空间分析对比, 并成为当前研究的一个热点 (Han *et al*, 2006, 2008; Shi *et al*, 2008). 因此, 本文通过分析保定市地表灰尘重金属(Cd、Cr、Cu、Pb、Zn)和营养元素(N、P)的空间分布特征, 并利用重金属健康风险评价模型评价城市灰尘对人体健康的危害, 以期为改善城市环境质量、促进城镇居民健康提供科学依据.

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 研究区域

保定市分为南市区、北市区、新市区3个区, 沿京广铁路两侧分布。近20年来, 保定市城市化发展进程异常迅速, 市区人口从60万增长到目前的105万, 建成区面积从 44 km^2 增加到 96 km^2 , 市区机动车保有量从1994年的不足 10×10^4 辆增加到现在的 45×10^4 辆以上(2007年)。2007年保定市区全年工业废气排放量为 $1103.26 \times 10^9 \text{ m}^3$, SO_2 排放量为 $3.24 \times 10^4 \text{ t}$, 烟尘排放量为 9671.00 t , 工业固体废弃物产生量 $247.61 \times 10^4 \text{ t}$

2.2 样品采集

本文侧重研究保定城区不透水区域(包括工业区、商业区、住宅区、停车场、街道、屋顶等)的地表灰尘, 因为不透水区域的地表灰尘更容易随风扬起或者随雨水径流进入河流或湖泊, 对人体健康形成危害 (Schueler, 1994; Amoh *et al*, 1996). 本文将采样点分为办公区、商业区、居住区、工业区、交通区、屋顶6个类别, 共设14个采样点, 具体采样点分布见图1。办公区采样点选在具有代表性的河北大学和富昌乡政府, 地表为沥青和水泥路面; 商业区采样点选择在市中心的保定商场, 采样点为不透水砖面; 居民区采样点分布在市区的东西两侧, 地表为沥青和水泥路面; 工业区采样点选择最具代表性的保定热电厂和其他两个工业区, 地表为沥青和水泥路面; 交通区采样点选择有代表性的火车站停车场和市内的小型停车场, 地表为水泥路面; 屋顶采样点设置在京广线两侧, 一个设在市中心商业区(顶高30m), 另一个则设在市郊的居民区(顶高20m), 均为水泥顶面。在2008年5月22日、6月15日、7月22日采样3次, 前期干燥天数分别为7d、9d、7d, 采集样品36个, 部分采样点因为某种不可控制因素只采集到1个或2个样品。

城市地表灰尘样品采集采用好运达 RU101 真

空吸尘器(吸力 17kPa)干式吸取(Liu et al., 2007; Kose et al., 2008), 尽量避免在吸取过程中细颗粒中的损失, 吸尘器干式取样对小于 50μm 的颗粒吸取率高达 84% 以上(Bris et al., 1999); 采样在至少连续 7d 不降雨后进行, 以确保样品的代表性(Kose et al., 2008); 每个采样点的范围约在 10m²以内, 每次采样时间约为 5~10min, 采集样品质量约为 300g。样品采集后放入干净的自封袋中密封保存。

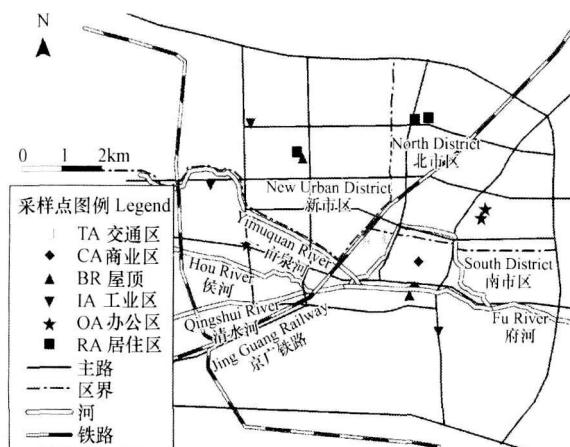


图 1 保定市城市地表灰尘采样点位置示意图 (OA: 办公区; CA: 商业区; RA: 居住区; IA: 工业区; TA: 交通区; BR: 屋顶)

Fig. 1 The location of sampling sites of urban dust in the Baoding urban area (OA: Office area CA: Commercial Area RA: Residential Area IA: Industrial Area TA: Traffic Area BR: Building Roof)

2.3 样品处理与分析方法

地表灰尘样品经风干、研磨, 过 100 目筛, 准确称取 0.1g 置入聚四氟乙烯罐中, 加入 3mL HNO₃、1mL HClO₄、1mL HF(均为优级纯试剂), 放于不锈钢外套中于烘箱中 160℃加热 4~5h, 冷却后取出罐; 在电热板上敞口加热去硅及残留的氢氟酸, 待大量白烟冒尽, 样品呈可流动球珠状时取下, 加入

1mL 硝酸, 冷却至常温; 用高纯水定容至 10mL, 用法国 JYULT MA 型 ICP-AES 电感耦合等离子光谱仪(测量精度 $\leq 0.1\%$ RSD)测定 Cd Cr Cu Pb Zn(检出限分别为 0.1 0.2 0.1 1.0 0.06 mg kg⁻¹)等重金属元素和 P 的含量, 重复测定 3 次取平均值。称取 20mg 左右 (18~23mg) 并用锡纸包好, 用德国 Elementar Vario EL 元素分析仪(测量精度 $\leq 0.1\%$ RSD)测定样品中 N 元素的含量。

用本法对 3 个国家一级标准物质 (GSS-1, GSS-3, GSS-6) 进行分析测定, 其结果与这些标准样的最佳估计值和推荐值一致; 分析过程中插入 3 个平行样(占样品总数的 8%), 样品分析中平行样标准偏差均小于 10%, 平均为 6.5%。

2.4 重金属健康风险评价方法

人体摄取污染物质的途径主要是经过口、皮肤接触和呼吸摄入, 而城市地表灰尘进入人体的主要途径是口鼻摄入和皮肤暴露。健康风险评价模型 CDI 适用于评价不同类型污染物通过口鼻摄入和皮肤暴露等多种途径进入人体后所引起的健康风险, 包括致癌物引致的致癌风险以及非致癌物引致的非致癌风险。因此, 本文选择健康风险评价模型 CDI 作为评价方法, 具体方法见参考文献(刘庆等, 2008)。

3 结果 (Results)

3.1 地表灰尘污染物质含量分布特征

3.1.1 地表灰尘污染物质含量均值 表 1 列出了保定市区不同区域地表灰尘污染物质含量状况, 以及与河北省 A 层土壤元素背景值的比较。由表 1 可知, 保定市地表灰尘中重金属 Cd Cr Cu Pb Zn 的含量均值分别是河北省土壤元素背景值的 29.3 3.3 8.1 13.0 5.3 倍, 可见重金属外源污染的严重性; Cd 和 Pb 的含量都超过了土壤背景值的 10 倍, 尤其是 Cd 达到了近 30 倍, 说明 Cd 和 Pb 受人为影响尤其严重。

表 1 保定市不同区域地表灰尘污染物质含量均值

区域	Table 1 Average pollutants concentration in urban dusts in different land use areas of Baoding						mg kg ⁻¹
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	P	
办公区 (OA)	2.420	220.0	183.0	216.0	407.0	607	5.93
商业区 (CA)	3.080	227.0	398.0	423.0	526.0	804	10.75
居住区 (RA)	2.870	228.0	118.0	197.0	281.0	625	2.92
工业区 (IA)	2.480	208.0	145.0	285.0	364.0	637	4.17
交通区 (TA)	2.840	208.0	178.0	214.0	376.0	681	5.19
屋顶 (BR)	4.710	312.0	171.0	614.0	882.0	837	7.95
平均值	2.840	225.0	177.0	279.0	416.0	666	5.35
河北省土壤元素背景值*	0.097	68.3	21.8	21.5	78.4	-	-

* : 数据来源于文献(中国环境监测总站, 1990); “-”表示无数据。

3.1.2 不同区域地表灰尘污染物质含量分布 图2表示重金属(Cd Cr Cu Pb Zn)和营养元素P N在保定市不同区域的富集水平,用SPSS 13.0中的非参数检验—Friedman检验对不同区域的地表灰尘中污染物质含量进行分析可得, $p = 0.001 < 0.05$, 可

见6类不同区域中地表灰尘污染物质含量存在显著差异。城市屋顶污染物质含量普遍高于其他区域,之后依次是商业区>交通区>工业区>办公区>居住区。Cd($5.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Cr($470 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Pb($997 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、Zn($1377 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和P($999 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

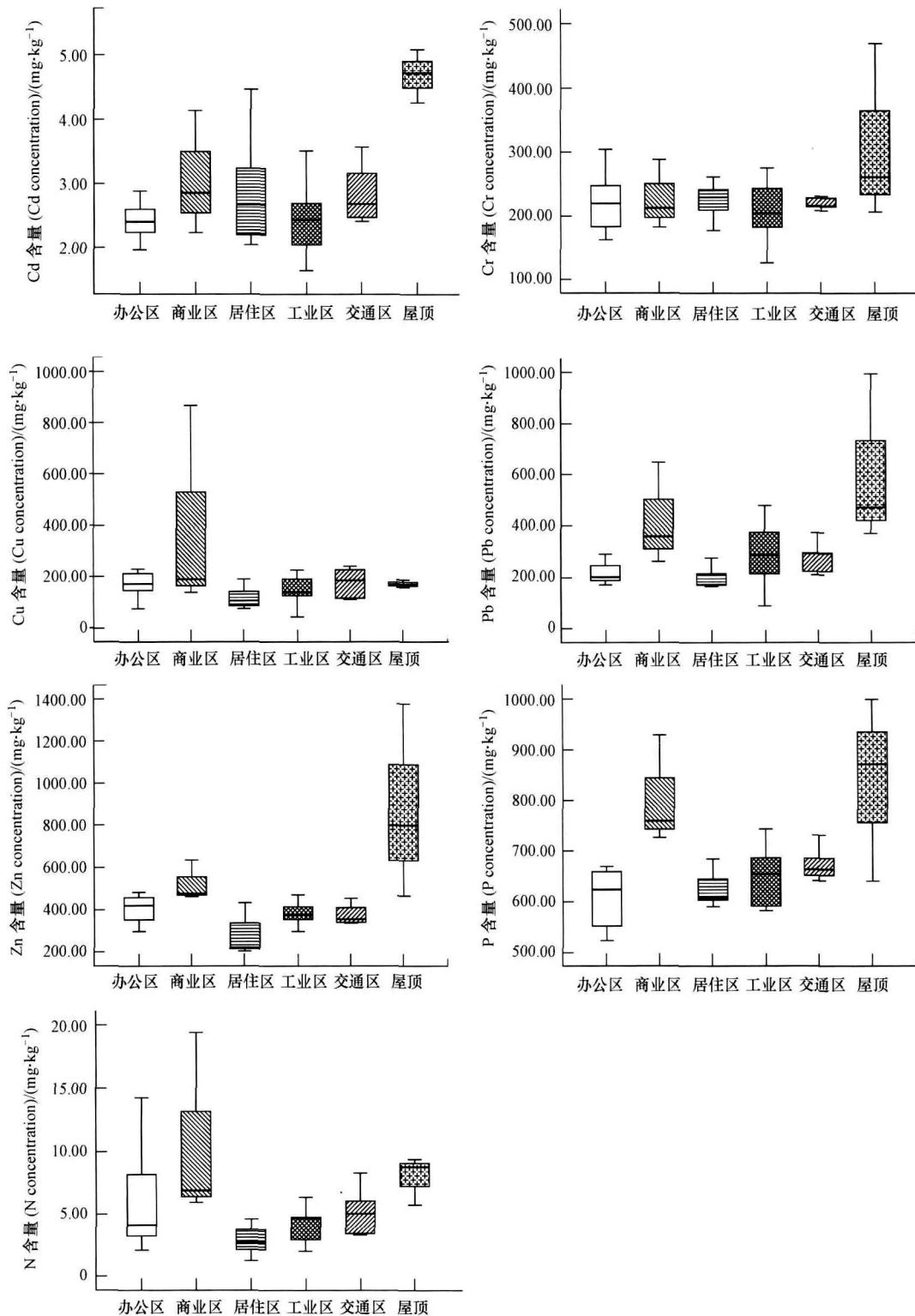


图2 保定市不同区域地表灰尘污染物质含量箱状图

的最大值均来自屋顶灰尘;而 Cu(867 mg kg^{-1})和 N(19.40 mg kg^{-1})的最大值则来自商业区的地表灰尘。

用 SPSS13.0 中的 Spearman 相关分析,分析地表灰尘污染物含量之间的相关关系,结果见表 2。由表 2 可知,各区域地表灰尘中重金属 Cd 和 Cr 含量显著相关且均值差异不大,因此,Cd 与 Cr 具有复合污染特征,结合前面研究的结论 Cd 和 Cr 来源主要为外源污染,可以判定城市灰尘中 Cd 和 Cr 来源复

杂且多样化,大气沉降、机动车尾气排放、生活垃圾和建筑工地等都可以成为其污染源;而 Pb, Zn 和 Cu 的含量在各区域中的变化趋势较一致且显著相关,反映了来源的一致性,并且这 3 种元素在屋顶和商业区地表灰尘中含量最高,本研究区的屋顶也处于交通繁华地段,而 Pb, Zn 和 Cu 主要来源于汽车轮胎的磨损及油的泄漏,所以,可以判断 Pb, Zn 和 Cu 主要来源于交通排放;而营养元素 P 则与 Cd 显著相关,N 则与 Pb, Zn, Cu 显著相关。

表 2 地表灰尘污染物含量的 Spearman 相关系数

Table 2 Spearman correlation coefficient for the concentrations of pollutants in urban dusts

污染物	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	P	N
Cd	1.000						
Cr	0.754*	1.000					
Cu	-0.029	-0.145	1.000				
Pb	0.486	0.319	0.371	1.000			
Zn	0.486	0.406	0.657	0.829*	1.000		
P	0.829*	0.348	0.200	0.714	0.657	1.000	
N	0.429	0.290	0.829*	0.771*	0.943*	0.600	1.000

注: * 表示在 5% 水平上显著相关, ** 表示在 1% 水平上显著相关。

3.2 城市地表灰尘重金属健康风险评价

应用重金属健康风险评价模型(CD I)对保定市地表灰尘各分区重金属进行健康风险评价,其中,灰尘的摄入量为经过口鼻和皮肤接触的摄入量之和,评价结果见表 3。从表 3 可知,致癌风险指数(RISK_I)最小值为办公区灰尘 1.06×10^{-5} ,最大值为屋顶灰尘 2.07×10^{-5} ,平均值为 1.25×10^{-5} 。美国 EPA 在国家风险计划中建立了污染导致增加的致癌风险指数为 10^{-6} (即污染导致百万人增加 1 个癌症患者)作为土壤治理的基准,而保定市区地表灰尘的平均致癌风险指数均达到了 10^{-5} 以上,所以

应该加强风险防范,采取一定措施降低灰尘中的 Cd 污染水平。非致癌风险度(RISK_Q)单因子影响最大的为 Cr 平均风险度为 0.076,然后为 Pb 平均值为 0.033。从单因子来说,均远远小于 1,即可以忽略这种风险。但是,从叠加风险度(RISK_T)来看,屋顶和商业区的风险度分别高达 0.199 和 0.153,平均风险度为 0.124,虽然还是小于 1,但是本研究只是考虑了一部分重金属;再者,本研究只是考虑通过口鼻和皮肤接触的摄入量,没有考虑通过食物富集的摄入量,所以应该适当加强防范,以免污染加重,对居民健康产生不利影响。

表 3 各分区重金属健康风险评价结果

Table 3 Results of health risk assessment of different metals in different land use areas

区域	RISK _I	RISK _Q					RISK _T
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
OA	1.06×10^{-5}	0.004	0.074	0.008	0.026	0.002	0.114
CA	1.35×10^{-5}	0.005	0.076	0.018	0.051	0.003	0.153
RA	1.26×10^{-5}	0.005	0.077	0.005	0.024	0.002	0.112
A	1.09×10^{-5}	0.004	0.07	0.006	0.034	0.002	0.117
TA	1.25×10^{-5}	0.005	0.07	0.008	0.026	0.002	0.11
BR	2.07×10^{-5}	0.008	0.105	0.008	0.074	0.005	0.199
平均值	1.25×10^{-5}	0.005	0.076	0.008	0.033	0.002	0.124

4 讨论 (Discussion)

4.1 国内外研究结果对比

本文结果与国内外其它研究结果具有较好的一致性(表4),即人口数量与城市灰尘中的重金属含量成正相关关系。由于Cd与Cr缺失值较多,故本文仅对Cu、Pb和Zn做了分析(与Cu, $r = 0.49$, $p = 0.053$;与Pb, $r = 0.74$, $p = 0.003$;与Zn, $r = 0.48$, $p = 0.056$)。其中,Pb含量与人口数量在0.01水平上显著正相关;Cu和Zn含量与人口数量不相关,这可能是因为部分研究者仅给出的城市灰尘重金属

含量的取值范围,而本文取其范围均值做相关分析,所取均值与实际均值之间存在一定差异。研究发现,保定市地表灰尘的重金属含量比同人口数量等级的渥太华市高4~6倍,而与是保定市人口数量3倍的马德里市的污染水平基本相当。这可能与保定市城市化的迅速发展有关,城市工业的发展以及汽车的大量增加都会造成地表灰尘中重金属的聚集。而发达国家城市渥太华和马德里的城市化水平已经进入了相对稳定的阶段,也较为注重环境的保护问题,因此,比保定市城市灰尘的污染水平低。

表4 国内外城市(以人口排序)地表灰尘重金属污染含量及变化范围

Table 4 Global studies of individual heavy metal concentrations and ranges of concentrations in urban dusts in population order

城市	人口数量 /人	城市灰尘中的重金属全量/(mg kg ⁻¹)					数据来源
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
上海	1845×10^4	Nd	743~1264	110~278	1272~4725	6022~7593	孟飞等, 2007
纽约	1697×10^4	8.00	Nd	355	2582	1811	Li et al., 2001
首尔	1063×10^4	3.00	Nd	101	245	296	Li et al., 2001
伦敦	923×10^4	Nd	Nd	111~512	544~1636	988~3358	Li et al., 2001
沈阳	720×10^4	200~1500	Nd	47~204	63~509	277~423	李崇等, 2008
西安	609×10^4	5.00	167	95	231	422	Han et al., 2006
香港	545×10^4	Nd	Nd	92~392	208~755	574~2397	Li et al., 2001
重庆	542×10^4	100~1900	12~769	21~261	37~149	109~247	李章平等, 2006
马德里	291×10^4	Nd	Nd	188	193	476	Miguel et al., 1997
长沙	190×10^4	0.40~5.00	215~413	40~54	90~144	325~433	郭琳等, 2008
渥太华	106×10^4	0.33	42	38	33	101	Rasmussen et al., 2001
保定	105×10^4	2.84	225	177	279	416	本研究

注: Nd表示无数据。纽约、伦敦部分数据来自文献 (Charlesworth et al., 2003)

4.2 城市地表灰尘污染物空间分布特征

国内外对城市地表灰尘污染物含量的空间分布特征进行了大量的研究,并且普遍认为地表灰尘污染水平是工业区>交通区>商业区>办公区>居住区(Han et al., 2008; 刘庆等, 2008)。本文研究结果为城市屋顶灰尘污染物质含量高于其他区域,之后依次是商业区>交通区>工业区>办公区>居住区,这与国内外其他研究结果存在差异。李凤全等(2008)对浙江金华市的城市灰尘研究结果表明,窗台灰尘含量普遍高于城市地表灰尘,这与本文的研究结论城市屋顶平均污染物水平最高较为一致。另外,本研究结果得出工业区地表灰尘污染水平较低,可能是因为研究区为保定城区,城区的工业区多为低污染或无污染企业,而高污染的化工厂、皮革厂、金属加工厂则远离市区;商业区由于车流量和人流量较大,车流缓慢和信号灯较多致使刹车增多,公交车停靠站点较多而导致污染水平较高。

(Fergusson et al., 1980; A-Khashman, 2004; Wahlin et al., 2006)。张菊等(2006)研究了上海城市街道灰尘重金属铅污染现状,也得出商业区具有较高的污染水平主要是因为商业区处于交通繁忙地段,重金属铅主要源于交通排放的结论,这与本文的研究结果一致。

4.3 城市灰尘与人体健康

室内灰尘污染也被认为是影响人体健康的重要因素之一(Maertens et al., 2004)。Meyer等(1999)认为,人在室内呆得时间较长,所以,室内灰尘对人体健康的影响较大; Rasmussen等(2001)研究发现,室内灰尘中的Cd、Pb和Hg的含量比室外地表灰尘要高。本文仅考虑了地表灰尘重金属通过口鼻和皮肤的摄入量,没有考虑重金属通过食物富集、饮用水以及室内灰尘等途径的摄入量,并且仅考虑了5种重金属对健康的健康风险,因此,研究结果还存在一定不确定性。但本文研究结果表明,仅

通过口鼻和皮肤摄入的城市地表灰尘重金属已经对人体健康构成威胁。

5 结论 (Conclusions)

1) 保定市区不同区域地表灰尘中污染物质重金属 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 及营养元素 P、N 的富集水平中, 城市屋顶污染物质含量普遍高于其他区域, 之后依次是商业区 > 交通区 > 工业区 > 办公区 > 居住区。Cd(5.10 mg kg^{-1})、Cr(470 mg kg^{-1})、Pb(997 mg kg^{-1})、Zn(1377 mg kg^{-1}) 和 P(999 mg kg^{-1}) 的最大值均来自屋顶灰尘; 而 Cu(867 mg kg^{-1}) 和 N (19.40 mg kg^{-1}) 的最大值则来自商业区的地表灰尘。重金属 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 的含量均值均超出了河北省土壤元素背景值, Cd 和 Pb 的含量都超过了土壤背景值的 10 倍以上, 尤其是 Cd 达到了近 30 倍, 说明 Cd 和 Pb 受人为影响尤其严重。

2) 城市地表灰尘中重金属 Cd 和 Cr 具有复合污染特征, 来源复杂且多样化, 大气沉降、机动车尾气排放、生活垃圾和建筑工地等都可以成为其污染源; 重金属 Pb、Zn 和 Cu 的含量在各区域中的变化趋势较一致且显著相关, 其主要来源于交通排放。

3) Cd 的平均致癌风险指数均达到了 1.25×10^{-5} , 超过了美国 EPA 10^{-6} 的标准, 由此将导致每百万人增加 125 个癌症患者, 已对当地居民的身体健康造成了严重的威胁。

4) 各种重金属的单因子非致癌风险度均远小于 1, 就单个重金属来讲, 不会对居民产生非致癌风险; 各种重金属的平均叠加风险度达 0.124, 重金属摄入达到慢性参考剂量的 10% 左右, 不会对居民的身体健康产生较大的非致癌风险。

责任作者简介: 李春晖 (1976—), 男, 博士, 985 基地研究员, 研究生导师, 主要从事水文水资源研究。

参考文献 (References):

- Akhter M S, Madany IM. 1993. Heavy metals in street and house dust in Bahrain [J]. Water Air Soil Pollut 66: 111—119.
- Akhshamian O A. 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan [J]. Atmospheric Environment 38: 6803—6812.
- Amod J C L, Gibbons J C. 1996. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator [J]. Journal of the American Planning Association 62(2): 243—259.
- Bocca B, Almoniti A, Petrucci F, et al. 2004. Quantification of trace elements by sector field inductively coupled plasma spectrometry in urine, serum, blood and cerebrospinal fluid of patients with Parkinson's disease [J]. Spectrochim Acta Part B 59: 559—566.
- Bris F J, Gamaud S, Apperry N, et al. 1999. A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment [J]. Science of the Total Environment 235: 211—220.
- Burian S J, McPherson T N, Brown M J, et al. 2002. Modeling the effects of air quality policy changes on water quality in urban areas [J]. Environmental Assessment 7: 179—190.
- Charlesworth S, Everett M, McCarthy R, et al. 2003. A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK [J]. Environment International 29(5): 563—573.
- Chatterjee A, Banerjee R N. 1999. Determination of lead and other metals in a residential area of greater Calcutta [J]. Sci Total Environ 277: 175—185.
- Chon H T, Ahn J S G, Jung M C. 1995. Metal contamination of soils and dusts in Seoul metropolitan city, Korea [J]. Environmental Geochimistry and Health 17: 23—37.
- Fergusson J E, Hayes R W, Yong T S, et al. 1980. Heavy metal pollution by traffic in Christchurch, New Zealand: lead and cadmium content of dust and soil and plant samples [J]. New Zealand Journal of Science 23: 293—310.
- Glikson M, Rutherford S, Simpson R W, et al. 1995. Microscopic and submicroscopic components of atmospheric particulate matter during high and low periods in Brisbane, Queensland, Australia [J]. Atmospheric Environment 29: 549—562.
- Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. 2008. Global change and the ecology of cities [J]. Science 319: 756—760.
- 郭琳, 曾光明, 程运林. 2003. 城市街道地表物特性分析 [J]. 中国环境监测, 19(6): 40—42.
- Guo L, Zeng G M, Cheng Y L. 2003. Identity analysis of the surface sediment on the urban streets [J]. Environmental Monitoring in China 19(6): 40—42 (in Chinese).
- Han Y M, Cao J J, Posmentier E S, et al. 2008. Particulate-associated potentially harmful elements in urban road dusts in Xi'an, China [J]. Applied Geochemistry 23: 835—845.
- Han Y M, Du P X, Cao J J, et al. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xian, Central China [J]. Sci Total Environ 355: 176—186.
- Heikkilä T, Kaarle J K, Mäkitalo R, et al. 2006. Generation of urban road dust from asphalt and asphalt concrete aggregates [J]. Journal of Hazardous Materials 132: 39—46.
- IRCL (Inter-Departmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land). 1983. Guidance on the Assessment and Redevelopment of Contaminated Land [R]. IRCL Paper 59/83. London: Department of the Environment, 1—19.
- Kelly J, Thornton I, Simpson P R. 1996. Urban Geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain [J]. Applied Geochemistry 11: 363—370.
- Kose T, Yamamoto T, Anegawa A, et al. 2008. Source analysis for polycyclic aromatic hydrocarbon in road dust and urban runoff using marker compounds [J]. Desalination 226: 151—159.
- Leahy S, Charlesworth D, Choudhry B. 1992. A survey of metal levels in street dusts in an inner London neighbourhood [J]. Environment International 18: 263—270.
- 李崇, 李法云, 张营, 等. 2008. 沈阳市街道灰尘中重金属的空间分布特征研究 [J]. 生态环境, 17(2): 560—564.
- Li C, Li F Y, Zhang Y, et al. 2008. Spatial distribution characteristics of heavy metals in street dust in Shenyang city [J]. Ecology and Environment 17(2): 560—564 (in Chinese).

- 李凤全, 潘虹梅, 叶玮, 等. 2008 城市灰尘重金属污染特征及生态危害评价 [J]. 安徽农业科学, 36(6): 2495—2498
- Li F Q, Pan H M, Ye W, et al. 2008. Specificity of the heavy metal pollution and the ecological hazard in urban dust [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 36(6): 2495—2498 (in Chinese)
- Li X D, Poon C S, Liu P S. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong [J]. Applied Geochimistry, 16: 1361—1368
- 李章平, 陈玉成, 杨学春, 等. 2006 重庆市主城区街道地表物中重金属的污染特征 [J]. 水土保持学报, 20(1): 114—116
- Li Z P, Chen Y C, Yang X C, et al. 2006. Heavy metals contamination of street dusts in core zone of Chongqing municipality [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 20(1): 114—116 (in Chinese)
- 刘春华, 岑况. 2007. 北京市街道灰尘的化学成分及其可能来源 [J]. 环境科学学报, 27(7): 1181—1188
- Liu C H, Cen K. 2007. Chemical composition and possible sources of elements in street dusts in Beijing [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 27(7): 1181—1188 (in Chinese)
- Liu M, Cheng S B, Ou D N, et al. 2007. Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China [J]. Atmospheric Environment, 41: 8785—8795
- 刘庆, 王静, 史衍玺, 等. 2008. 基于GIS的县域土壤重金属健康风险评价—以浙江省慈溪市为例 [J]. 土壤通报, 39(3): 634—640
- Liu Q, Wang J, Shi Y X, et al. 2008. Health risk assessment on heavy metals in soil based on GIS-A case study in Cixi city of Zhejiang province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 39(3): 634—640 (in Chinese)
- Maertens R M, Baiky J, White P A. 2004. The mutagenic hazards of settled house dust: A review [J]. Mutation Research, 567: 401—425
- Manta D S, Angelone M, Bellanca A, et al. 2002. Heavy metals in urban soils: A case study from the city of Palermo (Sicily), Italy [J]. Sci Total Environ, 300: 229—243
- 孟飞, 刘敏, 候立军, 等. 2007. 上海中心城区地表灰尘与土壤中重金属累积及污染评价 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 7(4): 56—63
- Meng F, Liu M, Hou L J, et al. 2007. Heavy metals in urban dusts and soils of Shanghai and its pollution assessment [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 7(4): 56—63 (in Chinese)
- Meyer I, Heinrich J, Lippold U. 1999. Factors affecting lead and cadmium levels in house dust in industrial areas of eastern Germany [J]. The Science of the Total Environment, 234: 25—36
- Mielke H W, Gonzalez C R, Smith M K, et al. 1999. The urban environment and children's health: Soils as an integrator of lead, zinc and cadmium in New Orleans, Louisiana, USA [J]. Environmental Research, 81: 117—129
- Miguel E, Llamas J F, Chacon E, et al. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead [J]. Atmospheric Environment, 31(17): 2733—2740
- Murakami M, Nakajima E, Funmai H. 2008. The sorption of heavy metal species by sediments in soakaways receiving urban road runoff [J]. Chemosphere, 70(11): 2099—2109
- Nagerotte S M, Day J P. 1998. Lead concentrations and isotope ratios in street dust determined by electrothermal atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Analyst, 123: 59—62
- Nakayama S, Harada K, Inoue K, et al. 2005. Distributions of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) in Japan and their toxicities [J]. Environ Sci, 12(6): 293—313
- Omar A A. 2004. Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak industrial estate, Jordan [J]. Atmospheric Environment, 38: 6803—6812
- Oskarsson A, Hallen I P, Sundberg J. 1995. Exposure to toxic elements via breast milk [J]. Analyst, 120: 765—770
- Pecze L, Papp A, Nagymarjenyi I, et al. 2005. Effect of acute administration of certain heavy metals and their combinations on the spontaneous and evoked cortical activity in rats [J]. Environ Toxicol Pharmacol, 19: 775—784
- Rasmussen P E, Subramanian K S, Jessiman B J. 2001. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada [J]. Science of the Total Environment, 267: 125—140
- Schueler T R. 1994. The importance of perviousness [J]. Watershed Prot Tech, 1(3): 100—111
- Senger M R, Rico E P, de Ben A M, et al. 2006. Exposure to Hg²⁺ and Pb²⁺ changes NTPDase and ecto-50-nucleotidase activities in central nervous system of zebra fish (Danio rerio) [J]. Toxicology, 226: 229—237
- Serife T, Senol K. 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the organized industrial district in Kayseri (Turkey) [J]. Atmospheric Environment, 40: 2797—2805
- Sezgin N, Ozcan H K, Demir G, et al. 2003. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway [J]. Environment International, 29: 979—985
- Shi G T, Chen Z L, Xu S Y, et al. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China [J]. Environmental Pollution, 56: 251—260
- Shilton V F, Booth C A, Smith J P, et al. 2005. Magnetic properties of urban street dust and their relationship with organic matter content in the West Midlands, UK [J]. Atmospheric Environment, 39: 3651—3659
- Stigliani W M, Doelman P, Salmons W, et al. 1991. Chemical time bombs—predicting the unpredictable [J]. Environment, 33: 4—30
- Wahlén P, Berkowicz R, Palmgren F. 2006. Characterisation of traffic generated particulate matter in Copenhagen [J]. Atmospheric Environment, 40: 2151—2159
- Wonnyon K, Seong J D, Yong H P, et al. 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea [J]. Atmospheric Environment, 41: 7627—7641
- 张菊, 陈振楼, 许世远, 等. 2006. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价 [J]. 环境科学, 27(3): 519—523
- Zhang J, Chen Z L, Xu S Y, et al. 2006. Lead pollution and its assessment in urban street dust of Shanghai [J]. Environmental Science, 27(3): 519—523 (in Chinese)
- 中国环境监测总站. 1990. 中国土壤元素背景值 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 329—483
- Environmental Monitoring Center of China. 1990. Soil Element Background Values of China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 329—483 (in Chinese)