DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2018082004
田倩, 刘英, 张丽,等.武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 的污染特征及评价[J].环境化学,2019,38(6):1367-1374.
TIAN Qian, LIU Ying, ZHANG Li, et al. Pollution characteristics and evaluation of PCBs in the square dust from Wuhan's railway stations[J]. Environmental Chemistry,2019,38(6):1367-1374.

武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 的污染特征及评价*

田 倩[1,2] 刘 英[1] 张 丽[1**] 钟 萍[1,3] 肖宇伦[1] 胡天鹏[2]
张家泉[1] 邢新丽[2]

(1. 湖北理工学院环境科学与工程学院,矿区环境污染控制与修复湖北省重点实验室, 黄石, 435003;
2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉, 430074; 3. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 武汉, 430081)

摘 要 于 2017 年 3 月采集武汉市的 3 个火车站广场灰尘样品 30 个,其中武汉火车站 12 个,武昌火车站 8 个,汉口火车站 10 个,采用气相色谱对样品中 32 种 PCBs 的含量进行了测定,并应用美国国家环保局(USEPA)的暴露评价模型对其进行了健康风险评价.结果表明,在武汉市 3 个火车站广场灰尘样品中∑PCBs 的质量浓度范围分别是 20.6—140 ng·g^{-1}(平均值为 66.0 ng·g^{-1}),20.3—125 ng·g^{-1}(平均值为 71.2 ng·g^{-1}),19.6—62.9 ng·g^{-1}(平均值为 36.7 ng·g^{-1}),与国内外其它城市相比,PCBs 污染较为严重,且六氯联苯所占百分比值均很高.健康风险评价结果显示,成人在武汉火车站和武昌火车站仅通过皮肤接触存在较轻的致癌风险,通过呼吸吸入及经口摄入途径不存在致癌风险;成人在汉口火车站 3 种途径均不存在致癌风险;儿童在武汉、武昌和汉口等 3 个火车站的 3 种途径不存在致癌风险.儿童及成人在 3 个火车站 3 种途径均不存在非致癌风险.

关键词 武汉市火车站, 道路灰尘, PCBs, 组成特征, 健康风险评价.

Pollution characteristics and evaluation of PCBs in the square dust from Wuhan's railway stations

TIAN Qian[1,2] *LIU Ying*[1] *ZHANG Li*[1**] *ZHONG Ping*[1,3]
XIAO Yulun[1] *HU Tianpeng*[2] *ZHANG Jiaquan*[1] *XING Xinli*[2]

(1. School of Environmental Science and Engineering, Hubei Key Laboratory of Mine Environmental Pollution Control and Remediation, Hubei Polytechnic University, Huangshi, 435003, China; 2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China; 3. College of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, 430081, China)

Abstract: In March 2017, 30 dust samples were collected from three railway station squares in Wuhan, including 12 samples in Wuhan Railway Station, 8 samples in Wuchang Railway Station, and 10 samples in Hankou Railway Station. The contents of 32 PCBs in the samples were determined by gas chromatography. The health risk assessment was performed using the US Environmental Protection Agency's (USEPA) exposure assessment model. The results indicated that the mass

2018 年 8 月 20 日收稿(Received: August 20, 2018).
* 国家重点研发计划项目(2017YFC0212602), 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(T201729), 湖北省大学生创新创业训练计划项目(201710920020)和湖北理工学院校级科研项目(16xjz05Q)资助.
Supported by the National Key Research and Development Program of China (2017YFC0212602), the Hubei Universities of Outstanding Young Scientific and Technological Innovation Team Plans (T201729), Hubei College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program (201710920020) and College Research Project of Hubei Polytechnic University (16xjz05Q).
* * **通讯联系人**, E-mail: zhangli@hbpu.edu.cn
Corresponding author, E-mail: zhangli@hbpu.edu.cn

hjhx.rcees.ac.cn

fraction of ΣPCBs in dust samples of the 3 railway stations in Wuhan was 20.6—140 ng·g^{-1} (an average of 66.0 ng·g^{-1}), 20.3—125 ng·g^{-1} (an average of 71.2 ng·g^{-1}), and 19.6—62.9 ng·g^{-1} (an average of 36.7 ng·g^{-1}), respectively. Compared with other cities in China and abroad, PCBs pollution was more serious, and the percentage of hexachlorinated biphenyls showed high levels. The health risk assessment results indicated that, there was low health risk of adults from skin contact and no carcinogenic risk from inhalation and ingestion at Wuhan Railway Station and Wuchang Railway Station, and no carcinogenic risk from the three exposure pathways at Hankou Railway Station. There was no carcinogenic risk of children from the three exposure pathways at the three stations.. In addition, there was no non-carcinogenic risk of both adults and children from the three exposure pathways at the three stations.

Keywords: Wuhan′s railway stations, road dust, PCBs, composition, health risk assessment.

多氯联苯(Polychlorinated biphenyls, PCBs)是一类人工合成的氯代芳香烃类持久性有机污染物(POPs),化学式为 $C_{12}H_{10-n}Cl_n$($n \leqslant 10$)[1].20 世纪 70 年代陆续被各国禁止生产和使用,但因其具有难降解性、生物累积性、长距离传输和生物毒性等特点造成全球性环境问题[2-3].近年来,PCBs 污染问题引起国内外研究者的广泛关注[4].PCBs 对脂肪有很高的亲和性,一旦进入生物体后,很容易在生物体的脂肪和脏器等器官内累积,不易被排除和降解,同时可以沿着食物链逐级放大,生物体对 PCBs 进行大量富集,给人类健康和生态环境带来严重的威胁,为此《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》将 PCBs 列为首批消除的 12 种持久性有机污染物之一[5-6].动物实验表明,PCBs 对皮肤、肝脏、胃肠系统、神经系统、生殖系统、免疫系统的病变甚至癌变都有诱导效应,一些 PCBs 同系物会影响哺乳动物和鸟类的繁殖,对人类健康也具有潜在致癌性[2].

城市道路灰尘是人类和自然共同作用形成的一种复杂的环境介质,是污染物在城市环境中传播的重要媒介和载体[7],同时也是室内灰尘和城市大气颗粒物的重要来源[8-9].城市道路灰尘中含有来自大气降尘、交通排放、建筑施工等各种来源的颗粒物,因此城市道路灰尘中 PCBs 的污染状况可以在一定程度上指示大气颗粒物中 PCBs 的污染状况[10].灰尘中的污染物可经地表径流、风力作用等途径迁移到大气、水体和土壤等环境介质中,直接或间接影响城市环境质量[11],并且可以通过摄食、呼吸吸入和皮肤接触等暴露途径对人体健康带来危害[12-13].

武汉是我国高铁中心城市,是承东启西、接南转北的国家地理中心,是我国最重要的铁路中转站之一.武汉铁路局官网公布,2017 年春运 40 d 武汉,武昌和汉口火车站共累计发送旅客 2352 万人次.因此,本文开展的武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 污染特征与评价工作,将为高密度人口流动区域有机污染防治和健康风险研究提供理论支撑.

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 样品采集

火车站广场灰尘的采集采用网格布点法,原则上采样点位于网格中心.根据建筑物的规划以及采样的实际情况,武汉火车站布点 12 个,其样品编号为 H01—H12;武昌火车站布点 8 个,其样品编号为 C01—C08;汉口火车站布点 10 个,其样品编号为 K01—K10,共获得 30 个样品,采样图如图 1.

采样时间:2017 年 3 月 2 日,样品采样工作在连续 7 d 无雨后采集,样品用洁净毛刷和塑料簸箕采集,每个样品收集面积为 1 m^2.天气晴朗、无风,路面干燥,周围无其他明显因素的影响,远离污水区、垃圾密集区,现场迅速采样,用聚乙烯袋包装密封,并尽快运回实验室,在-20 ℃条件下避光保存,以待气相色谱(GC)分析测定 PCBs 的种类和含量.

1.2 样品预处理

将冷藏的道路灰尘样品自然风干后,除去杂质,过 200 目筛,准确称量 5 g 筛分样品,加入少量无水硫酸钠,与样品均匀混合.用经 24 h 抽提过的滤纸两层包好,均匀加入适量用浓盐酸以及二氯甲烷、丙酮

hjhx.rcees.ac.cn

清洗过后的的铜片以去硫,将样品放入索氏提取器中,加入 5 μL 回收率指示物,加入约 120 mL 二氯甲烷索氏抽提 24 h,使用旋转蒸发仪浓缩提取液至 2—3 mL.浓缩液通过装有去活化的硅胶和氧化铝(体积比 2:1)的层析柱净化分离,淋洗液浓缩至 0.5 mL,转移至 2 mL 细胞瓶,使用柔和的高纯氮气(纯度>99.999%)吹至 0.2 mL,加入 5 μL 内标标准物,待低温保存至上机分析.其中,硅胶置于烘箱 180 ℃烘 12 h,氧化铝置于烘箱 270 ℃烘 12 h,作用是使其达到活化效果.冷却后,分别加 3%质量比的去离子水去活化.

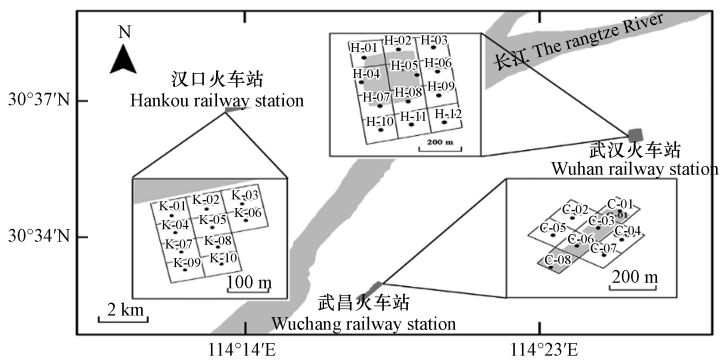

图 1　武汉市火车站采样图

Fig.1　Map of sampling sites at the three railway stations in Wuhan

1.3　仪器分析及试剂标准

采用 Agilent 公司气相色谱仪(Aglient GC 7890)分析了 32 种 PCBs,色谱柱为 HP-5 石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm);进样口温度 250 ℃,检测器温度 320 ℃;色谱柱升温程序:100 ℃保持 3 min,20 ℃·min^{-1}升至 180 ℃,以 2.5 ℃·min^{-1}升至 290 ℃,保持 10 min.采用无分流进样,内标法定量,进样量 2 μL,载气为高纯氮气,流速为 0.8 mL·min^{-1}.

有机溶剂:正己烷(C_6H_{14})、二氯甲烷(CH_2Cl_2)、丙酮(C_3H_6O),纯度均为农残级.无机试剂:盐酸、重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)、浓硫酸、无水硫酸钠(Na_2SO_4)、硅胶(80—100 目)、氧化铝(100—200 目),纯度均为分析纯.

1.4　质量控制

严格的采样要求及样品的及时测定分析避免了待测指标在运输及保存过程中发生变化;实验中每批样品都设置平行样、方法空白及程序空白样,对实验进行了质量控制与保证;内标法校正和消除由于测量仪器的不同运行状态对实验分析结果产生的影响,减少仪器的偶然误差.PCBs 标准样品为 32 种 PCBs 的混合物:PCB008、PCB028、PCB029、PCB037、PCB044、PCB049、PCB052、PCB060、PCB070、PCB074、PCB099、PCB101、PCB105、PCB114、PCB118、PCB126、PCB128、PCB138、PCB146、PCB149、PCB153、PCB156、PCB158、PCB166、PCB169、PCB170、PCB177、PCB179、PCB180、PCB183、PCB187 和 PCB189;回收率指示剂:PCB30,PCB198;内标物:^{13}C 标记的 PCB141.PCBs 样品测定中,方法空白中无目标化合物检出,PCB30 和 PCB198 的平均回收率分别是 50%—86%和 76%—110%,测定结果扣除空白并经回收率校正.

2　结果与讨论(Results and discussion)

2.1　污染物总量分析

武汉市 3 个火车站广场灰尘样品中 PCBs 浓度范围为 19.6—140 ng·g^{-1},污染相对严重,可能是因为火车站人流量大,交通复杂,周围施工等原因导致.国内外道路灰尘中 PCBs 的研究较少,将本研究测定的∑PCBs 含量与其它地区道路灰尘中∑PCBs含量进行比较得出(表 1),武汉市火车站广场灰尘中∑PCBs含量比苏州、无锡、南通、香港以及韩国等地要高,但低于美国纽约、中国上海等地区,污染较为严重.究其原因可能是采样点附近较苏州、无锡、南通工厂等地建筑及工业污染、机动车尾气排放严重

hjkx.rcees.ac.

等,我国 PCBs 较其他欧美发达国家生产较晚,且被禁用较早,所以国内的 PCBs 污染水平低;上海城市道路灰尘中 PCBs 含量显著高于国内其他地区,原因是早在改革开放之前上海就属于“老牌”工业城市,经济发达,PCBs 污染严重.

2.2 PCBs 的空间分布

武汉站、武昌站和汉口站广场灰尘样品中 PCBs 含量范围分别为 20.6—140 $ng \cdot g^{-1}$、20.3—125 $ng \cdot g^{-1}$和 19.6—62.9 $ng \cdot g^{-1}$,武汉站、武昌站的∑PCBs检出量较汉口站要高,但武汉站与武昌站广场灰尘样品中∑PCBs的含量没有明显差异.武汉站、武昌站附近频繁的工业活动和繁忙的交通状况可能造成了样品中 PCBs 含量均值高于汉口站.武昌火车站周围有宏基客运站和航海汽车客运站,武汉站属于重点高铁站,人流量车流量均远多于汉口火车站,且武汉站所在地属于三环外,周围有青山工业区以及武钢集团等,同时有施工单位进行施工,导致了武汉站广场灰尘样品∑PCBs的含量与武昌站相差不多,且大部分采样点∑PCBs的含量略高于武昌站广场灰尘样品.

表 1 不同城市道路灰尘中∑PCBs含量比较

Table 1 Comparison of ∑PCBs content in road dust from different cities

城市 City	∑PCBs/($ng \cdot g^{-1}$)	文献 Reference
纽约·美国	53.0—1.70×10^3	[14]
苏州、无锡、南通·中国	N.D. — 14.0	[15]
上海·中国	1.00—1.97×10^3	[16]
香港·中国	8.00—100	[14]
武汉·中国	19.6—140	本研究

注:N.D. 为未检出(Note: N.D. is not detected.).

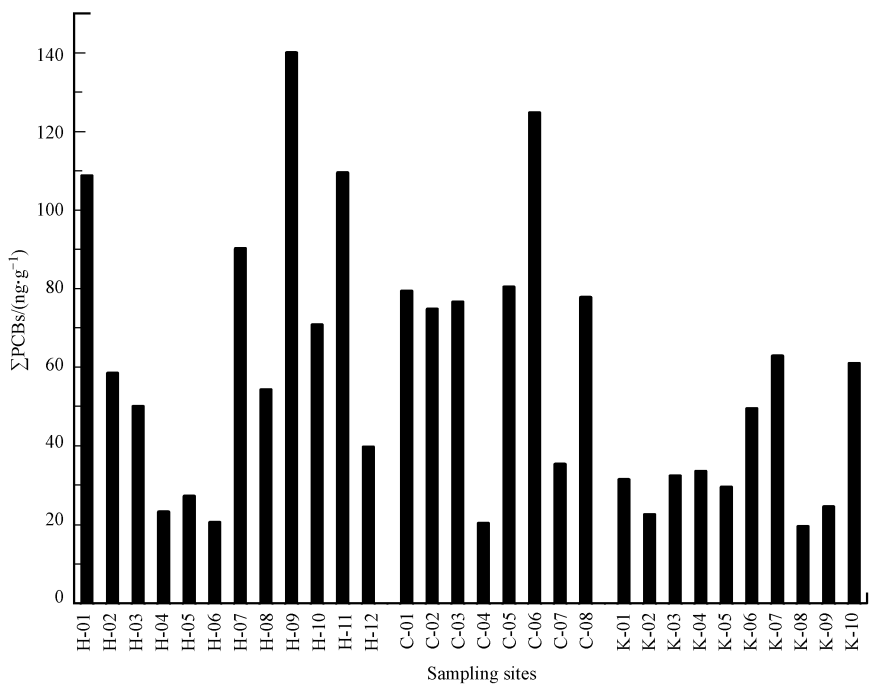

图 2 武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 总量对比

Fig.2 Comparison of PCBs total amount in the square dust from the three railway stations in Wuhan

武汉站 H-01、H-09、H-11 与武昌站的 C-06 采样点∑PCBs含量明显高于同区域的其他采样点,其原因可能是这些采样点周围交通污染相对比较严重,导致地面灰尘中 PCBs 积累量大,H-11 采样点周围有武汉杨春湖长途客运站,车流量、人流量均较高.H-09 采样点∑PCBs含量最高,可能是 9 号采样点靠近交通干道,交通量较大.H-04、H-05、H-06 与 C-04 采样点∑PCBs含量低于 30.0 $ng \cdot g^{-1}$,原因是采样点附近属于居民生活区,受人为影响小或绿化范围较大.汉口站各采样点样品中∑PCBs含量均不超过

65.0 $ng \cdot g^{-1}$,K-06、K-07 和 K-10 样品较其它采样点高,原因是 K-06 采样点属于停车场与酒店混合的交叉区域,K-07 采样点位于地铁 2 号线附近或交通主干道附近,灰尘中 PCBs 积累量大,K-10 采样点附近有 3 个较大型的停车场.K-08、K-09 附近属于商业区或生活区,故灰尘中∑PCBs的含量较低.

2.3　PCBs 的组成特征

武汉站、武昌站和汉口站附近的道路灰尘样品中,PCBs 的检出率为 100%,说明 PCBs 污染物普遍存在于武汉市火车站附近的道路灰尘中.同一地区不同采样点 PCBs 总量及单体的含量范围很大,变异性强,这是因为不同采样点受自然或人为影响不同.在环境中持久难降解的高氯代多氯联苯可与许多细胞受体结合,干扰细胞内和细胞间的信号传递,影响基因表达[17].对武汉站、武昌站、汉口站广场灰尘样品中 PCBs 的组成进行分析结果表明(如图 3),武汉站广场灰尘样品中 PCBs 以六氯联苯为主,其次为三氯联苯、四氯联苯及五氯联苯.武昌站广场灰尘中 PCBs 以六氯联苯和三氯联苯为主,其次为五氯联苯及七氯联苯,汉口站广场灰尘中 PCBs 以六氯联苯和四氯联苯为主,其次为三氯联苯和五氯联苯.武汉市 3 个火车站广场灰尘样品中 PCBs 组成特征基本相似,这说明广场灰尘样品中的 PCBs 很可能有相似的来源.我国 PCBs 主要来源于有机物焚烧、电力电容器的浸渍剂及工业产品添加剂的泄漏,主要运用于生产热传导液、电介质液、液压液、涂料、油漆、吊顶板、密封剂和阻燃剂等,而三氯联苯主要用于电容器的生产,五氯联苯用作涂料添加剂,是油漆添加剂的主要成分[18-20].武汉站、武昌站、汉口站广场灰尘样品中二氯联苯、七氯联苯含量均很低,原因是低氯代物分子中 Cl 原子个数少,蒸气压高,二氯联苯大部分以气相存在,该地区环境中七氯联苯背景值低且很难从其它地方迁移过来造成了研究区道路灰尘中七氯联苯含量较低.

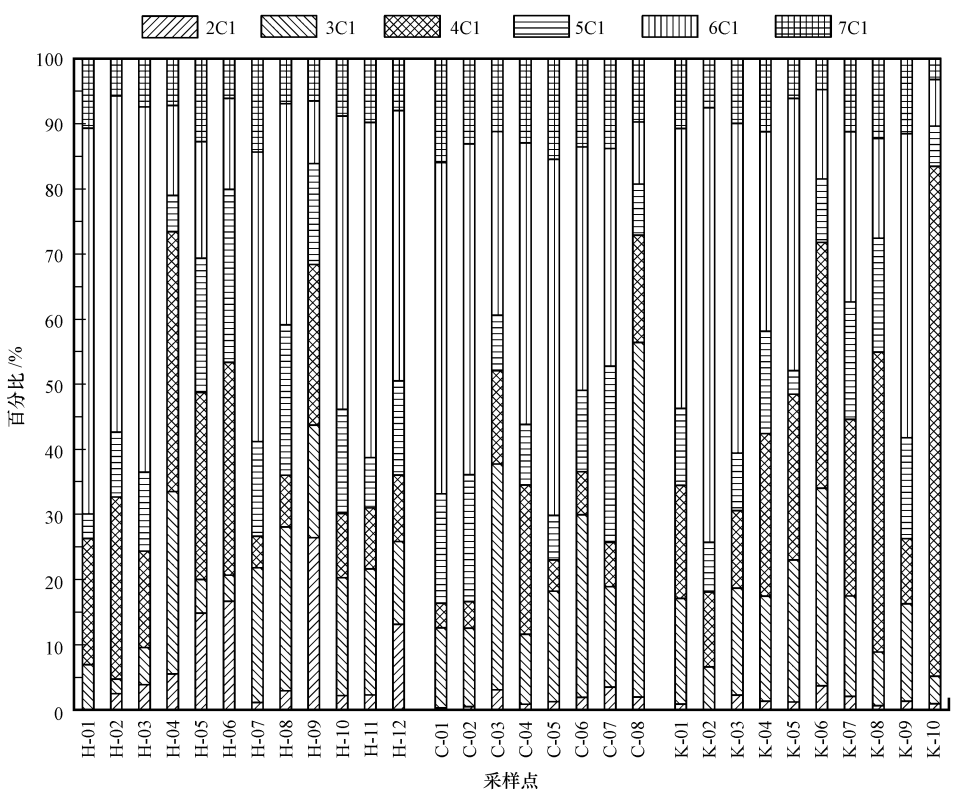

图 3　武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 组成特征

Fig.3　Compositions of PCBs in the square dust from the three railway stations in Wuhan

结合 PCBs 组成特征,3 个火车站广场灰尘样品中六氯联苯的含量均较高,这与我国 PCBs 产品中的 PCBs 异构体组成不同,而与国外大气颗粒物中含大量六氯联苯和四氯联苯的事实较为相符[21],说明 3 个火车站广场灰尘样品中的 PCBs 主要来源于大气沉降,PCBs 附着在颗粒物上长距离迁移至研究区.三氯联苯、四氯联苯、五氯联苯的存在说明国产变压器油或电力电容器浸渍剂的泄漏、油漆挥发等对武汉站广场灰尘中 PCBs 也有贡献.同时武昌站广场灰尘中 PCBs 的组成特征说明大气沉降、变压器油的泄

漏是其主要来源,汉口站广场灰尘中 PCBs 的组成特征说明除大气沉降外,该地区受变压器油、油漆等 PCBs 产品的共同污染.从道路灰尘中 PCBs 的分布来看,机动车尾气的排放对于武汉站、武昌站及汉口站广场灰尘中 PCBs 均具有较大贡献[22-24].

2.4 健康风险评价

不同 PCBs 由于氯原子的取代位置和分子的空间结构的不同,其毒性也具有很大差异,本研究中 7 种PCBs(PCB105、PCB114、PCB118、PCB126、PCB156、PCB169 和 PCB189)由于具有和 PCDD/FS 相似的结构,通常称为类二噁英类多氯联苯,具有较高的毒性和较强的致癌能力,钢铁工业被认为是类二噁英类多氯联苯的重要来源,同时工业生产过程中也会排放出一些副产物,其中就包括多氯联苯,此外垃圾焚烧,含有多氯联苯产品的泄露也都是多氯联苯的重要污染源.

道路灰尘中 PCBs 主要是通过呼吸吸入,皮肤接触和经口摄入 3 种暴露途径进入人体,本次研究仅对类二恶英类多氯联苯利用致癌风险模型来计算居民暴露于武汉市火车站附近道路灰尘的致癌风险,对环境介质中剩余的 25 种 PCBs 进行非致癌风险评价.其中路面灰尘中的 PCBs 慢性日摄入量(chronic daily intake, CDI)($mg\cdot kg^{-1}\cdot d^{-1}$)可以使用如下公式[25]进行估算(相关参数见表 2).

表 2 风险评估参数[26]

Table 2 Risk assessment parameters[26]

项目 Project	参数 Parameter	单位 Unit	含义 Meaning	儿童取值 Children's values	成人取值 Adult's values
基础参数	C	$ng\cdot g^{-1}$	PCBs 浓度	本研究	
	ED	a	暴露年限	6	70
	BW	kg	平均体重	15	60
暴露行为参数	EF	da^{-1}	暴露频率	180	365
	AT(非致癌)	d	平均作用时间	365×ED	
	AT(致癌)	d	平均作用时间	365×70	
手-口途径摄入	IngR	$mg\cdot d^{-1}$	摄入尘量	200	100
呼吸系统吸入	InhR	$m^3\cdot d^{-1}$	空气摄入量	5	20
	PEF	$m^3\cdot kg^{-1}$	颗粒物排放因子	1.36×10^9	
皮肤接触	SL	$mg\cdot cm^{-3}$	皮肤附着因子	1	
	SA	$cm^2\cdot d^{-1}$	暴露的皮肤面积	2800	5700
	ABS	无量纲	吸入因子		0.13

计算公式:

$$CDI_{ingest}=C\times\frac{IngR\times EF\times ED}{BW\times AT}\times10^{-9}$$

$$CDI_{inhale}=C\times\frac{InhR\times EF\times ED}{PEF\times BW\times AT}\times10^{-3}$$

$$CDI_{dermal}=C\times\frac{SA\times SL\times ABS\times EF\times ED}{BW\times AT}\times10^{-9}$$

式中,CDI_{ingest}、CDI_{inhale}和 CDI_{dermal}分别为经口摄入、呼吸暴露以及皮肤接触 3 种暴露途径下的慢性日摄入量;PCBs 的经口摄入和皮肤接触的致癌斜率因子 CSF 均可取值为 2 $(mg\cdot kg^{-1}d^{-1})^{-1}$,呼吸暴露的致癌斜率因子 CSF 为 0.00218 $(mg\cdot kg^{-1}\cdot d^{-1})^{-1}$[27].致癌风险可以用如下公式计算,计算结果如表 3 所示.

$$Cancer\ risk=CDI\times CSF$$

$$Total\ cancer\ risk=\sum Cancer\ risk$$

3 种暴露途径的致癌风险的大小排序均为武昌>武汉>汉口,成人的 3 种途径产生的危险指数均高于儿童,除成人在武汉火车站和武昌火车站通过皮肤接触的致癌风险指数略大于 1×10^{-6}外,火车站经口摄入、呼吸暴露以及皮肤接触 3 种暴露途径下均小于 1×10^{-6}.根据美国环保署的相关规定:当 $10^{-6}<R<10^{-4}$时说明具有潜在的致癌风险;而当 $R>10^{-4}$时,则表示风险很高,需要优先处理.除成人在武汉火车站和武昌火车站通过皮肤接触产生的致癌风险值略高于美国 EPA 所规定的限值,存在较轻的致癌风险

hjhx.rcees.ac.cn

外,其它点位通过 3 种途径均不存在致癌风险.

表 3　武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 可能存在的致癌风险

Table 3　Possible cancer risk of PCBs in the square dust of the three railway stations in Wuhan

	含量 Concentration/($ng \cdot g^{-1}$)	$Cancer\ risk_{ingest}$		$Cancer\ risk_{inhale}$		$Cancer\ risk_{dermal}$		$\sum_{Cancer\ risks}$	
		儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult
武汉	54.0	6.09×10^{-8}	1.80×10^{-7}	1.22×10^{-15}	2.89×10^{-14}	1.11×10^{-7}	1.33×10^{-6}	1.72×10^{-7}	1.51×10^{-6}
武昌	54.9	6.18×10^{-8}	1.83×10^{-7}	1.24×10^{-15}	2.93×10^{-14}	1.13×10^{-7}	1.36×10^{-6}	1.75×10^{-7}	1.54×10^{-6}
汉口	27.5	3.10×10^{-8}	9.18×10^{-8}	6.22×10^{-16}	1.47×10^{-14}	5.65×10^{-8}	6.80×10^{-7}	8.75×10^{-8}	7.72×10^{-7}

而非致癌风险常用危险系数 HQ 来衡量,表示污染物每日摄入量 CDI 与参考剂量 RfD 的比值,用于表征人体经过某途径暴露于非致癌污染物而受到的危害水平.如果 HQ>1,则表明污染物的暴露剂量超过限值,将会对人体健康产生不良影响.EPA 提出 PCB_S的慢性参考剂量 RfD 为 2×10^{-5} $mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$[28].非致癌风险∑HQ(表 4)的大小排序与致癌风险 Cancer risk 顺序相同,也是武昌>武汉>汉口,且∑HQ 值均小于 1,故不存在非致癌风险.但 PCB_S具有生物累积性,半挥发性,其对健康的影响应引起注意.

表 4　武汉市火车站灰尘中 PCBs 可能存在的非致癌风险

Table 4　Possible non-carcinogenic risk of PCBs in the dust of the three railway stations in Wuhan

	含量 Concentration/($ng \cdot g^{-1}$)	HQ_{ingest}		HQ_{inhale}		HQ_{dermal}		∑HQ	
		儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult
武汉	12.0	3.96×10^{-3}	1.00×10^{-3}	7.28×10^{-8}	1.48×10^{-7}	7.20×10^{-3}	7.43×10^{-3}	1.12×10^{-2}	8.43×10^{-3}
武昌	16.3	5.37×10^{-3}	1.36×10^{-3}	9.87×10^{-8}	2.00×10^{-7}	9.77×10^{-3}	1.01×10^{-2}	1.51×10^{-2}	1.15×10^{-2}
汉口	9.17	3.01×10^{-3}	7.64×10^{-4}	5.54×10^{-8}	1.12×10^{-7}	5.49×10^{-3}	5.66×10^{-3}	8.50×10^{-3}	6.42×10^{-3}

3　结论(Conclusion)

本文对武汉市火车站附近的道路灰尘中 PCBs 的研究,得到的主要结论如下:

(1)武汉市火车站广场灰尘样品中 PCBs 污染较为严重.武汉站、武昌站附近火车站中 PCBs 的含量相当,而汉口站广场灰尘中 PCBs 略低于武汉站和武昌站.道路灰尘中 PCBs 的含量水平与武汉市经济水平以及研究区附近的工业生产、交通状况密切相关.

(2)武汉市火车站广场灰尘样品中 PCBs 中六氯联苯含量均较高,其 PCBs 组成特征基本相似,这说明广场灰尘样品中的 PCBs 很可能有相似的来源.

(3)健康风险结果显示,武汉市火车站广场灰尘中 PCBs 对暴露其中的生物体,除成人在武汉火车站和武昌火车站通过皮肤接触存在较轻的致癌风险外,其它点位通过 3 种途径均不存在致癌风险,3 个火车站均不存在非致癌风险,成人的 3 种途径产生的危险指数均高于儿童,其致癌和非致癌指数大小顺序均为武昌>武汉>汉口.

hjx.rcees.ac.cn

参考文献(References)

[1] BORJA J, TALEON D M, AURESENIA J, et al. Polychlorinated biphenyls and their biodegradation[J]. Process Biochemistry, 2005, 40(6):1999-2013.

[2] KIM K S, LEE Y M, KIM S G, et al. Associations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in visceral vs. subcutaneous adipose tissue with type 2 diabetes and insulin resistance[J]. Chemosphere, 2014, 94:151-157.

[3] 王会霞,袁浩东,李秋旭, 等.我国西部地区树皮中类二恶英多氯联苯的水平及来源[J]. 环境化学,2017,36(11):2434-2440.
WANG H X, YUAN H D, LI Q X, et al. Levels and sources of dioxinlike polychlorinated biphenyls in the tree bark from the western areas of China[J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(11):2434-2440 (in Chinese).

[4] 施泰安,朱秀华,许倩, 等.大连大气中多氯联苯的气粒分配行为[J]. 环境化学, 2013, 32(10):1874-1884.
SHI T A, ZHU X H,XU Q et al. The gas-particle partitioning behavior of PCBs in the air of Dalian[J]. Environmental Chemistry, 2013, 32(10):1874-1884 (in Chinese).

[5] REN N Q, QUE M X, LI Y F, et al. Polychlorinated biphenyls in Chinese surface soils[J]. Environmental Science and Technology, 2007, 41(11):3871-3876.
[6] 刘敏霞, 杨玉义, 李庆孝, 等. 中国近海海洋环境多氯联苯(PCBs)污染现状及影响因素[J]. 环境科学, 2013, 34(8): 3309-3315.
LIU M X, YANG Y Y, LI Q X, et al. Status and influencing factors of polychlorinated biphenyls (PCBs) pollution in the coastal areas in China [J]. Environmental Science, 2013, 34(8):3309-3315 (in Chinese).
[7] XIE S J, DEARING J A, BOYLE J F. Association between magnetic properties and element concentrations of Liverpool street dust and its implications [J]. Journal of Applied Geophysics, 2001, 48(2):83-92.
[8] SHU J, DEARING J A, MORSE A P, et al. Determining the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(15):2615-2625.
[9] SPASSOV S, EGLI R, HELLER F, et al. Magnetic quantification of urban pollution sources in atmospheric particulate matter[J]. Geophysical Journal International, 2004, 159(2):555-564.
[10] CHRYSIKOU L P, GEMENETZIS P G, SAMARA C A. Wintertime size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in the urban environment: Street-vs rooftop-level measurements [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43 (2):290-300.
[11] KOSE T,YAMAMOTO T, ANEGAWA A, et al. Source analysis for polycyclic aromatic hydrocarbon in road dust and urban run off using marker compounding[J]. Desalination, 2008, 226(1/2/3):151-159.
[12] AELION C M,DAVIS H T, MCDERMOTT S, et al. Metal topsoil in South Carolina: Potential for concent ration in rural human health impact [J]. Science of the Total Environment, 2008, 402(2/3):149-156.
[13] 于洋, 马俊花, 宋宁宁, 等. 北京市地表灰尘中 Cu 的分布及健康风险评价[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(4):744-750.
YU Y, MA J H, SONG N N, et al. Distribution of Cu in urban dust of Beijing and the health risk assessment[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2014,9(4):744-750(in Chinese).
[14] 李琛, 余应新, 张东平, 等. 上海室内外灰尘中多氯联苯及其人体暴露评估[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4):433-441.
LI C, YU Y X, ZHANG D P, et al. Polychlorinated biphenyls in indoor and outdoor dust of Shanghai and exposure assessment of them to human[J]. China Environmental Science, 2010, 30(4):433-441(in Chinese).
[15] 史双昕, 董亮, 李玲玲, 等. 苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯[J]. 环境科学, 2013, 34(10):4024-4030.
SHI S X, DONG L, LI L L, et al. Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in road dust from Suzhou, Wuxi and Nantong[J]. Environmental Science, 2013, 34(10):4024-4030(in Chinese).
[16] 康园, 李宁, 钟文凤, 等. 室内外灰尘中多氯联苯的质量分数及人体健康风险评估[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2014, 46(2):67-71.
KANG Y, LI N, ZHONG W F, et al. Risk assessment of human exposure to polychlorinated biphenyls via indoor and outdoor dust[J]. Journal of South China Normal University(Naturalal Science Edition), 2014, 46(2):67-71 (in Chinese).
[17] SONG Y, BUETTNER G R, PARKIN S, et al. Chlorination increases the persistence of semiquinone free radicals derived from polychlorinated biphenyl hydroquinones and quinones[J]. The Journal of Organic Chemistry, 2008, 73:8296-8304.
[18] ZHANG Z, LIU L, LI Y-F, et al. Analysis of polychlorinated biphenyls in concurrently sampled Chinese air and surface soil[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(17):6514-6518.
[19] XING Y, LU Y L, DAWSON R W, et al. A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China[J]. Chemosphere, 2005, 60(6): 731-739.
[20] NOMIYAMA K, YONEHARA T, YONEMURA S, et al. Determination and characterization of hydroxylated polychlorinated biphenyls (OH-PCBs) in serum and adipose tissue of Japanese women diagnosed with breast cancer[J]. Environmental Science Technology, 2010, 44(8):2890-2896.
[21] 朱洁羽, 王栋, 王远坤, 等. 太湖流域持久性有机污染物特征分析和生态与健康风险评价[J]. 南京大学学报(自然科学), 2016, 52(2):370-381.
ZHU J Y, WANG D, WANG Y K, et al. Comprehensive analysis and ecological and health risk assessment of persistent organic pollutants in Taihu Lake Basin[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2016, 52 (2):370-381(in Chinese).
[22] BAEK S Y, CHOI S D, PARK H, et al. Spatial and seasonal distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the vicinity of an iron and steel making plant[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(8):3035-3040.
[23] SUN P, BASU I, HITES R A. Temporal trends of polychlorinated biphenyls in precipitation and air at Chicago[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 40(4):1178-1183.
[24] ARIES E, ANDERSON D R, FISHER R, et al. PCDD/F and "Dioxin-like" PCB emissions from iron ore sintering plants in the UK[J]. Chemosphere, 2006, 65(9):1470-1480.
[25] 邓绍坡, 骆永明, 宋静, 等.电子废弃物拆解地 PM10 中多氯联苯, 镉和铜含量调查及人体健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2010, 23(6):733-740.
DENG S P, LUO Y M, SONG J, et al. Concentrations of polychlorinated biphenyls, cadmium and copper in inhalable particulate (PM10) from an ewaste recycling area and human health risk assessment[J]. Environmental Science Research, 2010, 23 (6):733-740(in Chinese).
[26] YU B B, XIE X J, LENA Q, et al. Source, distribution, and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban street dust from Tianjin, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 21(4):2817-2825.
[27] WANG Y, ZHANG X Y, HUANG K, et al. The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM2.5 and TSP areosol in Shanghai[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40:2935-2952.
[28] 周玲莉, 吴广龙, 薛南冬, 等. 废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 704-710.
ZHOU L L, WU G L, XUE N D, et al. Pollution patterns and health risk assessment for polychlorinated biphenyls in soils from acapacitor storage site[J]. Environmental Science, 2014, 35 (2):704-710 (in Chinese).

hjhx.rcees.ac.cn