

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017.02.2016053002

姚有如, 方凤满, 朱慧萍, 等. 安徽省部分农村室内灰尘中汞的分布特征与健康风险评价[J]. 环境化学, 2017, 36(2): 282-288.

YAO Youru, FANG Fengman, ZHU Huiping, et al. Distribution characteristics and health risk assessment of mercury in indoor dust of some rural areas of Anhui Province[J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(2): 282-288.

## 安徽省部分农村室内灰尘中汞的分布特征 与健康风险评价\*

姚有如<sup>1</sup> 方凤满<sup>1,2\*\*</sup> 朱慧萍<sup>1</sup> 徐明露<sup>1</sup> 林跃胜<sup>1</sup>

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖, 241003; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 芜湖, 241003)

**摘 要** 为了解安徽省部分地区农村室内灰尘汞的污染分布特征及其对儿童产生的健康风险, 在安徽省 11 个地级市的农村地区采集灰尘样品 132 个, 采用王水水浴-冷原子荧光法测定灰尘中汞含量; 并根据健康风险评价模型, 评价室内灰尘中汞对于儿童的健康风险. 结果表明, 淮南市农村室内灰尘中汞的平均含量高达  $0.62 \pm 0.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 显著高于本研究其他地市灰尘中汞含量; 与土壤背景值相比, 各研究区室内灰尘中汞均存在一定程度的积累, 以淮南市、阜阳市较为严重, 分别超过背景值 25.87 和 11.21 倍; 安徽省农村地区室内灰尘中汞含量, 主要受到燃煤活动影响, 受该地的房屋类型、交通类型因素影响较小; 对于儿童的 4 种途径的平均日暴露量存在差异, 呈现出: 蒸气吸入 > 手-口摄入 > 皮肤接触 > 呼吸吸入; 各地市农村室内灰尘汞对儿童的健康风险系数均小于 1, 在安全阈值内, 非致癌风险较小. 但淮南市、阜阳市、六安市风险指数较高, 应加以重视.

**关键词** 农村室内灰尘, 汞, 分布特征, 风险评价, 安徽省.

## Distribution characteristics and health risk assessment of mercury in indoor dust of some rural areas of Anhui Province

YAO Youru<sup>1</sup> FANG Fengman<sup>1,2\*\*</sup> ZHU Huiping<sup>1</sup> XU Minglu<sup>1</sup> LIN Yuesheng<sup>1</sup>

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, 241003, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, 241003, China)

**Abstract:** In order to investigate the distribution characteristics of mercury (Hg) concentrations in household dust and evaluate the health risk to children posed by dust mercury levels, 132 dust samples were collected from the rural households in 11 prefecture-level cities of Anhui province. Mercury concentrations were determined by using HCl-HNO<sub>3</sub> digestion and cold vapor atomic dust fluorescence method. According to the health risk assessment model, the pollution of mercury in indoor dust was evaluated for the health risk of children. Mercury concentrations in indoor dust were  $0.62 \pm 0.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in rural area of Huainan City, which were significantly different from the rest of the studied cities. Compared with the background mercury concentration in soils, mercury accumulation existed in indoor dust from all the studied cities. Serious pollution happened in Huainan and Fuyang City, where the concentrations of mercury were 25.87 and 11.21 times higher than the local background value, respectively. Mercury levels in indoor dust were mainly affected by coal combustion, and less affected by the types of housing and traffic factors. The average daily

2016 年 5 月 30 日收稿 (Received: May 30, 2016).

\* 国家自然科学基金 (41371480) 资助.

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41371480).

\*\* 通讯联系人, Tel: 0553-5910687, E-mail: ffm1974@mail.ahnu.edu.cn

Corresponding author, Tel: 0553-5910687, E-mail: ffm1974@mail.ahnu.edu.cn

mercury exposure of children varied in types, following the order of inhalation of Hg vapor, direct ingestion, dermal absorption and inhalation. The health risk coefficients of children in these rural areas were less than 1, which were within the safety threshold with lower non-carcinogenic risk. However, more attention should be paid to the children in Huainan, Fuyang and Lu'an City because of the higher risk indexes of mercury in indoor dust.

**Keywords:** indoor dust in rural area, mercury, distribution characteristics, health risk assessment, Anhui Province.

汞是一种广泛存在于大气、水体、土壤之中的神经性毒物,汞及其化合物,尤其是以甲基汞为代表的有机汞化合物,毒性强,挥发性大,迁移性好,易通过手-口摄入、皮肤接触、呼吸吸入、汞蒸气吸入等途径进入人体,并产生富集,损害人体神经系统、生殖系统和免疫系统,造成急性或慢性汞中毒<sup>[1-2]</sup>。其中,汞蒸气吸入指汞在挥发条件下,进入大气,与大气混合后,人体通过各种途径摄入。呼吸吸入指人体通过口鼻呼吸道吸入细颗粒灰尘,间接摄入灰尘中汞元素。自 20 世纪 50 年代日本的水俣病事件以来,汞污染问题一直受到全球各界的广泛关注,已成为全球性环境问题<sup>[3]</sup>。

灰尘作为一种多相的、复杂的粒子混合物,是众多污染物的载体和反应体,易富集重金属,且广泛存在于人类周边<sup>[4]</sup>。而室内灰尘作为一种异质性与复杂性的环境指标,来源不仅受外部环境的影响,更与其室内环境、居民活动等多重因素有关<sup>[2]</sup>。研究表明,室内灰尘中汞的含量明显高于室外灰尘与土壤<sup>[5-6]</sup>,并且人类活动长期处于室内环境之中,导致室内灰尘中的汞易于进入人体并产生富集,更易威胁人体健康<sup>[7-8]</sup>。

自 20 世纪 80 年代以来,国内外研究者开始了室内灰尘中汞污染的报道,主要关注不同粒径灰尘对汞的富集、灰尘中汞的来源、影响因素以及对人体的健康风险<sup>[9-11]</sup>,室内灰尘中的汞不仅来源于外部自然环境,更与人类活动息息相关,如:燃煤火力发电、焦化厂、垃圾焚烧、水泥等产业排放<sup>[10-11]</sup>。有研究表明,燃煤活动以及生物质燃料的使用导致农村地区汞产生一定的富集,影响农村居民人居环境<sup>[12-13]</sup>。但对于农村地区室内灰尘的汞污染状况以及对居民的健康风险却鲜有报道。

本文通过分析安徽省合肥、亳州、淮南、蚌埠、阜阳、滁州、宿州、马鞍山、安庆、六安、宣城等 11 个地市农村地区室内灰尘中汞的污染分布特征及其健康风险,有助于了解该区汞污染水平,以期提高农村居民汞污染防治意识,促进农村地区生态环境保护。

## 1 材料与方法 (Materials and methods)

### 1.1 样品采集及处理

于 2013 年 7 月初至 8 月底,保证采样前 3 天为晴朗天气,采样当天晴朗无风的天气情况下,在安徽省的 11 个地级市(合肥、亳州、淮南、蚌埠、阜阳、滁州、宿州、马鞍山、安庆、六安、宣城)的农村地区室内采集灰尘样品,共 132 个,周围环境未见明显工业污染源。在每个家庭正常生活情况下(避免大量客人涌入或其他异常情况带入大量固定源的尘土),在室内(客厅、卧室和书房)地面、桌面和柜顶等易积累灰尘的地方,用小刷子和小塑料撮箕收集灰尘(避开厨房和卫生间,主要是避开生活垃圾;小刷子和小塑料撮箕为一次利用,不做二次采集),采集灰尘约 5—10 g,放入密封袋保存。样品经自然风干,用玛瑙研钵研磨后过 100 目尼龙筛,备用<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2 实验分析及质量控制

将处理完毕的灰尘样品称取 0.2000 g,置于三角瓶中,加入 1:1 王水 20 mL,放置恒温水浴锅以 95 ℃ 以上水温加热 2 h,全程于三角瓶中加盖弯管漏斗,并隔 20 min 轻轻晃动 1 次,使样品消解均匀。消解完成后,以 5% 盐酸定容至 50 mL,原子荧光光度计测定样品汞含量<sup>[16]</sup>。测定过程中按样品总量的 15% 比例插入国家土壤标准样品(GSS-3)进行参比<sup>[17]</sup>,回收率为 86%—128%。每 4 个灰尘样品随机挑选 1 个做平行样(重复 3 次),每批样品均做空白样,结果符合质控要求。所用试剂均为优纯级、水为超纯水、器皿均采用 10% 硝酸溶液浸泡 24 h 以上。

### 1.3 健康风险评估方法

采用美国 EPA 提出的土壤健康风险评估方法<sup>[18]</sup>,评估安徽省农村室内灰尘通过手-口摄入、呼吸吸入、皮肤接触摄入和汞蒸气吸入 4 种暴露途径的汞的非致癌风险.各途径暴露剂量及健康评价计算方法及参数取值见文献[14,17].

## 2 结果与讨论(Results and discussion)

### 2.1 安徽省农村地区室内灰尘汞含量水平

安徽省农村地区室内灰尘汞平均含量为  $0.26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,中值为  $0.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .因个别样本浓度过高,导致汞平均含量高于其中值.汞含量分布于  $0\text{--}0.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度区间的样本数占总体的 72.7%,如图 1,说明安徽省农村地区室内灰尘中汞含量普遍较低,农村地区未受到大面积的汞污染.但是在部分地区农村室内灰尘汞含量超过  $1.000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,可能与当地所处环境以及燃煤活动等人类活动有关.与国内外有关研究相比(表 1),安徽省农村地区汞含量明显偏高,安徽省农村地区居民长期在室内进行煤球以及薪柴的燃烧,导致室内灰尘汞含量明显高于乌拉巴托与奥贡州.与国内有关城市广州和庆阳相比,安徽省农村地区室内汞含量明显偏低,即使是室内灰尘汞含量较高的淮南市,其汞含量平均值也明显低于上述两城市.

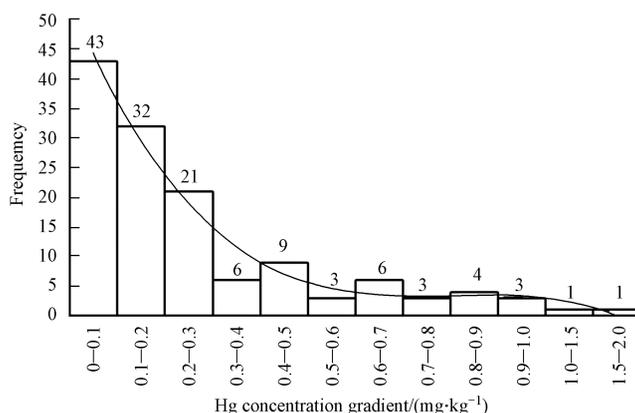


图 1 安徽省农村地区室内灰尘汞含量的频率分布图( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Fig.1 Frequency distribution of mercury concentration in household dust in rural areas in Anhui ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

表 1 国内外室内灰尘汞含量比较

Table 1 Comparison of mercury concentration in household dust in various regions

地区 Region	样点个数 Sample numbers	平均值 Average	中位数 Median	标准差 Standard deviation
广州 <sup>[11]</sup>	50	1.06	0.39	2.17
庆阳 <sup>[11]</sup>	20	4.73	2.45	5.02
奥贡州 <sup>[19]</sup>	45	0.09	0.08	—
乌兰巴托 <sup>[20]</sup>	29	0.068	0.071	—
安徽省(本研究)	132	0.26	0.17	0.27

### 2.2 安徽不同地区农村室内灰尘中汞含量分布特征

安徽省不同地区农村室内灰尘中汞平均含量呈现出:淮南市( $0.62\pm 0.51 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>阜阳市( $0.34\pm 0.26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>六安市( $0.30\pm 0.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>亳州市( $0.26\pm 0.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>蚌埠市( $0.21\pm 0.27 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>滁州市( $0.23\pm 0.19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>合肥市( $0.17\pm 0.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>马鞍山市( $0.16\pm 0.13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) $\approx$ 安庆市( $0.16\pm 0.12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>宣城市( $0.14\pm 0.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>宿州市( $0.087\pm 0.019 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )如图 2.除合肥市、宿州市以外,其余地区变异系数均超过 70%,尤以蚌埠、宣城、亳州最为显著,变异系数分别达到 129.8%、112.0%、110.5%,说明各农村地区室内灰尘中汞含量的空间分布差异较大,来源受外界干扰明显.

与各地土壤背景值<sup>[21]</sup>相比,室内灰尘中的汞均存在一定程度的累积,高出土壤背景值倍数呈现出:淮南市(25.87倍)>阜阳市(11.21倍)>滁州市(9.50倍)>亳州市(8.14倍)>六安市(7.74倍)>合肥市(5.76倍)>蚌埠市(4.26倍)>宿州市(3.83倍)>宣城市(2.09倍)>安庆市(2.04倍)>马鞍山市(0.39倍).其中淮南、阜阳农村地区室内灰尘汞累积程度较高,高出土壤背景值10倍以上.

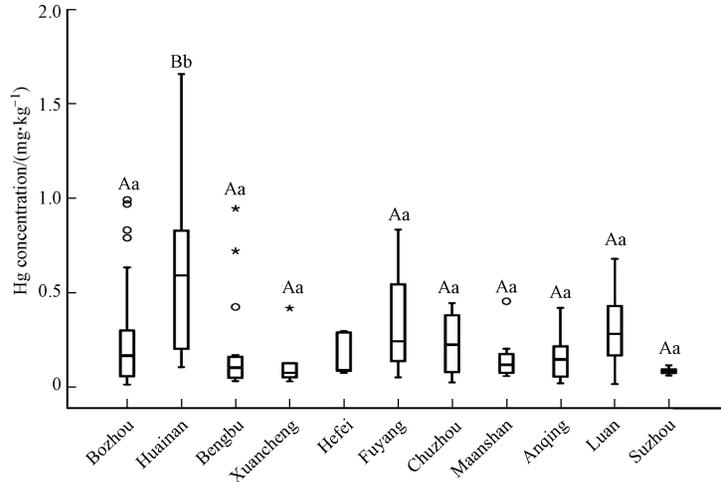


图2 安徽省不同地区农村室内灰尘汞含量分布特征

(注:小写字母表示  $P < 0.05$  显著水平,大写字母表示  $P < 0.01$  显著水平;·表示异常值;\*表示极端异常值.)

Fig.2 Distribution characteristics of mercury concentration in household dust from part of rural areas in Anhui

(Note: Small letter and capital letter means significant level in  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively; ·: outlier value; \*: Extreme outlier value.)

### 2.3 安徽省农村地区室内灰尘中汞含量空间差异性分析

安徽省不同地市农村室内灰尘中汞的空间分布差异较明显(图2),淮南市农村地区室内灰尘中汞含量达到  $0.62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,超过宿州市室内灰尘汞含量7倍以上.通过非参数检验,淮南市农村室内灰尘中汞的平均含量显著高于本研究其他地市灰尘中汞含量( $P < 0.01$ ),其余各地市农村地区室内灰尘中汞含量之间差异无统计学意义.有研究表明,燃煤汞排放是主要的人为大气汞排放源<sup>[22]</sup>,我国煤炭高汞低卤特点,煤炭洗选及燃烧水平参差不齐,导致燃煤行业成为中国最大的汞排放源,占中国大气汞排放总量的50%以上<sup>[23]</sup>.而淮南市是安徽省重要的煤炭城市,农村地区建有一定数量火电厂,煤矿开采以及燃煤发电较为集中,农村地区存在大量散煤的燃烧,使得大气降尘中含汞量也随之增加,加之室内通风性较差,导致室内灰尘中汞的富集.

各地市内部空间也呈现出差异性,通过非参数检验,蚌埠市、淮南市内部室内灰尘汞含量差异极显著( $P < 0.01$ ),亳州市内部呈现显著性差异( $P < 0.05$ ),其余各市内部之间室内灰尘汞含量差异性无统计学意义.蚌埠市下辖禹会区和怀远县农村室内灰尘汞含量较高,由于其临近淮南市潘集区,潘集作为淮南市重要的煤炭产地与火电厂所属地,大气降尘含汞量较高;而蚌埠市北部固镇县汞含量相对较低,因其远离煤矿区,作为国家商品粮基地县,以农业与旅游业作为产业支撑,以上造成蚌埠市农村室内灰尘中汞含量呈现出空间上的差异.朱兰保等<sup>[24]</sup>研究的蚌埠市水稻籽粒中汞含量的空间分布差异与本研究室内灰尘中汞的分布差异保持一致性.淮南市潘集农村地区临近煤矿区,并靠近燃煤发电厂,煤等燃料在燃烧过程中都会释放一定量的汞<sup>[23,25]</sup>,导致该地区农村室内灰尘汞含量升高;而同处于淮南市的大通区与凤台县,则远离煤矿区且以农业生产活动为主,室内灰尘中汞含量相对较低,导致区间变异性较大.亳州市的利辛县临近阜阳市工业区,位于颍上县以北、淮南市潘集区西北部,处于阜阳轮窑厂以及淮南煤矿区辐射范围以内,在夏季盛行的东南风影响下,导致大气降尘中汞的富集,加上本地存在板集煤矿区的影响,使得灰尘中的汞含量也会呈现出区域性差异.

### 2.4 室内灰尘中汞含量影响因素分析

#### 2.4.1 农村地区不同类型房屋对汞分布的影响分析

通过对农村地区不同类型房屋室内灰尘中汞含量的统计分析(表2),楼房中室内灰尘汞含量略高于平房,高出10.9%,但是平房的变异系数较楼房高,高出28.5%.二者变异系数分别达1.36、0.97,呈现

出强变异特征,说明在不同地市农村地区不同类型房屋间汞的分布较为离散.通过图 3 可知,除淮南市农村地区楼房室内灰尘汞含量呈现明显峰值外,各地市不同房屋类型灰尘汞的含量起伏较小.对于淮南市农村地区实地调查发现,部分采样区楼房靠近电厂附近,楼房楼层相对平房较高,窗户的面积也相对较大,导致灰尘的迁入与积累较为严重,因此汞的含量较高<sup>[14]</sup>.通过非参数检验,发现安徽农村地区不同类型房屋类型室内灰尘汞含量差异性无统计学意义( $P>0.05$ ),说明安徽省室内灰尘汞含量受房屋类型影响较小.

表 2 不同类型房屋室内灰尘汞含量统计表

Table 2 Statistics of mercury concentration of rural household dust in the different house type

房屋类型 House type	样点数 Sample numbers	分布范围 Range/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	均值 Average/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficients
楼房	69	0.02—0.99	0.31aA	0.27	0.97
平房	63	0.02—2.40	0.28aA	0.44	1.37

注:小写字母表示  $P<0.05$  显著水平,大写字母表示  $P<0.01$  显著水平

Note: Small letter and capital letter means significant level in  $P<0.05$  and  $P<0.05$ , respectively.

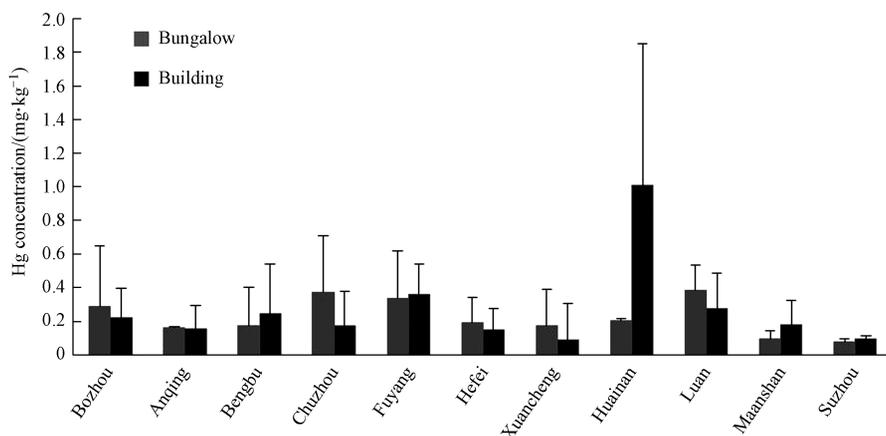


图 3 部分地市不同类型房屋室内灰尘汞含量统计图

Fig.3 Statistics of mercury concentration of rural household dust in the different house type from different cities

#### 2.4.2 农村地区交通对室内灰尘汞分布的影响

根据采样点距离 500 m 以内的交通状况,存在的乡村道路、县市道、省道及以上 3 种交通类型,将居民室内灰尘加以分类统计(表 3).不同道路周边农村室内灰尘汞平均含量呈现出:临近县市道路>临近乡村道路>临近省道及以上,其中临近县市道路周边室内灰尘汞含量分别高出临近乡村道路和省道及以上汞含量的 26.4%、34.9%.三者间的变异系数均高于 0.8 以上,呈现出强变异特征.安徽省各地市农村地区乡村道路车流量较少,且无大型车辆通行,因此乡村道路对周边居民点室内灰尘汞积累影响较小;农区县市道路车辆较多,且以农用车为主,燃料利用率较低,并且在水泥路面导致车胎磨损较为严重;省道及以上路况较好,交通较为顺畅,道路旁灰尘中汞的浓度与车辆的行驶状态有关,怠速状态下的元素汞浓度明显高于行驶畅通时的元素汞浓度<sup>[26]</sup>.因此,临近县市道路旁室内灰尘汞含量高于临近省道及以上道路的汞含量.通过非参数检验分析,临近乡村道路、县市道、省及以上干道三者之间差异性无统计学意义,并且交通道路周边的农村地区室内灰尘汞含量的分布变异均呈现强变异.综上所述,安徽省部分农村地区室内灰尘中汞的积累受房屋周边交通因素影响较小.

#### 2.5 基于儿童室内灰尘中汞的健康风险评价

根据研究区各样点灰尘汞含量及各参考值,按健康风险模型分别计算安徽省部分地市农村室内灰尘汞儿童平均日暴露量及其风险商(表 4).安徽省部分地市室内灰尘汞进入人体途径暴露量为蒸气吸入>手-口摄入>皮肤接触>呼吸吸入,其中以淮南市汞蒸气吸入暴露量最为显著.对于各途径非致癌风险均未超过 1,均在安全阈值内,说明研究区室内汞污染均未达到非致癌风险.风险指数(HI)为淮南市

(0.069) > 阜阳市(0.038) > 六安市(0.033) > 亳州市(0.029) > 蚌埠市(0.024) > 滁州市(0.026) > 合肥市(0.019) > 马鞍山市(0.018) ≈ 安庆市(0.018) > 宣城市(0.016) > 宿州市(0.010), 其中淮南市、阜阳市、六安市风险指数较高, 应加以重视. 对于其余各市, 其风险指数均较小, 对人体没有明显的健康风险.

表 3 不同交通类型周边室内灰尘汞含量统计表

Table 3 Statistics of mercury concentration of rural household dust around the different traffic type

	样点数 Sample numbers	均值 Average/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	标准差 Standard deviation	极小值 Minimum/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	极大值 Maximum/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	变异系数 Variation coefficients
临近乡村道	106	0.29	0.33	0.02	2.41	1.17
临近县市道	12	0.39	0.64	0.03	2.02	1.64
临近省道及以上	14	0.25	0.20	0.03	0.72	0.81

表 4 室内灰尘汞的不同途径暴露剂量及风险评价 ( $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ )

Table 4 Exposure dose, hazard quotient for mercury and exposure pathway ( $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ )

	$\text{ADD}_{\text{ing}}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{ADD}_{\text{inh}}$ ( $\times 10^{-11}$ )	$\text{ADD}_{\text{dermal}}$ ( $\times 10^{-9}$ )	$\text{ADD}_{\text{vapor}}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{HQ}_{\text{ing}}$ ( $\times 10^{-2}$ )	$\text{HQ}_{\text{inh}}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\text{HQ}_{\text{dermal}}$ ( $\times 10^{-4}$ )	$\text{HQ}_{\text{vapor}}$ ( $\times 10^{-1}$ )	HI ( $\times 10^{-1}$ )
亳州市	1.68	4.72	1.94	1.97	0.56	0.55	0.92	0.23	0.29
淮南市	4.06	11.40	4.67	4.74	1.36	1.33	2.23	0.55	0.69
蚌埠市	1.35	3.78	1.55	1.57	0.45	0.44	0.74	0.18	0.24
宣城市	0.93	2.62	1.07	1.09	0.31	0.31	0.51	0.13	0.16
阜阳市	2.25	6.31	2.59	2.63	0.75	0.74	1.23	0.31	0.38
滁州市	1.52	4.26	1.75	1.77	0.51	0.50	0.83	0.21	0.26
马鞍山市	1.04	2.91	1.16	1.21	0.35	0.34	0.57	0.14	0.18
安庆市	1.04	2.91	1.16	1.21	0.35	0.34	0.57	0.14	0.18
六安市	1.95	5.48	2.25	2.28	0.65	0.64	1.07	0.27	0.33
宿州市	0.57	1.61	0.66	0.67	0.19	0.19	0.31	0.08	0.10
合肥市	1.11	3.12	1.28	1.30	0.37	0.36	0.61	0.15	0.19

注:  $\text{ADD}_{\text{ing}}$ : 手口途径摄入量;  $\text{ADD}_{\text{inh}}$ : 呼吸途径摄入量;  $\text{ADD}_{\text{dermal}}$ : 皮肤途径摄入量;  $\text{ADD}_{\text{vapor}}$ : Hg 蒸汽途径摄入量;  $\text{HQ}_{\text{ing}}$ : 手口途径下非致癌风险;  $\text{HQ}_{\text{inh}}$ : 呼吸途径下非致癌风险;  $\text{HQ}_{\text{dermal}}$ : 皮肤途径下非致癌风险;  $\text{HQ}_{\text{vapor}}$ : Hg 蒸汽途径下非致癌风险.

NOTE:  $\text{ADD}_{\text{ing}}$ : average daily dose by intaking;  $\text{ADD}_{\text{inh}}$ : average daily dose by breathing;  $\text{ADD}_{\text{dermal}}$ : average daily dose by skincontacting;  $\text{ADD}_{\text{vapor}}$ : average daily dose by Hg vaporing;  $\text{HQ}_{\text{ing}}$ : hazard quotient of intaking;  $\text{HQ}_{\text{inh}}$ : hazard quotient of breathing;  $\text{HQ}_{\text{dermal}}$ : hazard quotient of skincontacting;  $\text{HQ}_{\text{vapor}}$ : hazard quotient of Hg vaporing.

### 3 结论 (Conclusion)

(1) 安徽省部分农村地区室内灰尘汞平均含量普遍较低, 农村地区未受到大面积的汞污染. 但与土壤背景值相比, 总体上均存在一定量的积累, 其中以淮南市、阜阳市较为严重, 均超过当地土壤背景值 10 倍以上.

(2) 安徽省部分农村地区室内灰尘汞含量空间差异性显著, 呈现出: 淮南市 > 阜阳市 > 六安市 > 亳州市 > 蚌埠市 > 滁州市 > 合肥市 > 马鞍山市 ≈ 安庆市 > 宣城市 > 宿州市.

(3) 安徽省部分农村地区室内灰尘中的汞含量, 受该地的燃煤活动影响较大, 受房屋类型、交通类型因素影响较小.

(4) 安徽省部分地区农村室内灰尘汞对于儿童的 4 种途径的平均日暴露量存在差异, 呈现出: 蒸气吸入 > 手-口摄入 > 皮肤接触 > 呼吸吸入. 各地市农村室内灰尘汞健康风险系数均小 1, 在安全阈值内, 非致癌风险较小. 但淮南市、阜阳市、六安市风险指数较高, 应加以重视.

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] MOZHGON R, RACHEL N L, ELISHA P R, et al. Mercury exposure assessment and spatial distribution in a Ghanaian small-scale gold mining community[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2015, 12 (9): 10755-10782.
- [ 2 ] BERNALTE E, MARÍN S C, PINILLA G E. High-Throughput mercury monitoring in indoor dust microsamples by bath ultrasonic extraction

- and anodic stripping voltammetry on gold nanoparticles-modified screen-printed electrodes[J]. *Electroanalysis*, 2013, 25(1): 289-294.
- [ 3 ] 曾少军, 曾凯超, 杨来. 中国汞污染治理的现状与策略研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(3): 92-96.  
ZENG S J, ZENG K C, YANG L. Study on situation and strategy of mercury pollution of China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(3): 92-96 (in Chinese).
- [ 4 ] 李良忠, 胡国成, 张丽娟, 等. 矿区家庭灰尘中重金属污染及其潜在生态风险[J]. *中国环境科学*, 2015, 35(4): 1230-1238.  
LI L Z, HU G C, ZHANG L J, et al. The pollution and potential ecological risk assessment of the heavy metals in household dusts from mineral areas[J]. *China Environmental Science*, 2015, 35(4): 1230-1238 (in Chinese).
- [ 5 ] RASMUSSEN P E, SUBRAMANIAN K S, JESSIMAN B J. 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*, 2001, 267: 125-140.
- [ 6 ] KURT-KARAKUS P B. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk[J]. *Environment International*, 2012, 50: 47-55.
- [ 7 ] ZHENG L G, TANG Q, FAN J, et al. Distribution and health risk assessment of mercury in urban street dust from coal energy dominant Huainan City, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22: 9316-9322.
- [ 8 ] LU X, LI LY, WANG L, et al. Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 2489-2496.
- [ 9 ] 方凤满, 张志明, 陈文娟, 等. 芜湖市区春季地表灰尘中汞和砷的空间及粒径分布规律[J]. *环境科学学报*, 2009, 29(9): 1871-1877.  
FANG F M, ZHANG Z M, CHEN W J, et al. Spatial and particle size distribution of mercury and arsenic on surface dust in spring in the Wuhu urban district[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(9): 1871-1877 (in Chinese).
- [ 10 ] VARDUHI P, MARGRIT C B, SUSAN M S. et al. Seasonal variations of lead concentration and loading rates in residential house dust in northern Idaho[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 132: 68-79.
- [ 11 ] WANG W, WU F Y, ZHENG J S, et al. Risk assessments of PAHs and Hg exposure via settled house dust and street dust, linking with their correlations in human hair[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, 263: 627-637.
- [ 12 ] 魏文. 中国农村地区生物质燃料燃烧的汞排放研究[D]. 北京: 北京大学硕士学位论文, 2012.  
WEI W. China's rural biomass fuel combustion mercury emissions research[D]. Beijing: Master's thesis, Peking University, 2012 (in Chinese).
- [ 13 ] 赵亚娟, 龚巍巍, 栾胜基. 河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究[J]. *环境科学*, 2012, 33(9): 2960-2966.  
ZHAO Y J, GONG W W, LUAN S J. Pollution characteristics and health assessment of particulate mercury in Hebei rural households[J]. *Environmental Science*, 2012, 33(9): 2960-2966 (in Chinese).
- [ 14 ] LIN Y S, FANG F M, WANG F, et al. Pollution distribution and health risk assessment of heavy metals in indoor dust in Anhui rural, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187: 565-574.
- [ 15 ] 张舒婷, 李晓燕. 城市室内灰尘重金属的水平及来源[J]. *环境化学*, 2014, 33(7): 1201-1207.  
ZHANG S T, LI X Y. Concentrations and sources of heavy metals in indoor dust of cities[J]. *Environmental Chemistry*, 2014, 33(7): 1201-1207 (in Chinese).
- [ 16 ] 中华人民共和国农业部. N Y/T1121.10—2006 和 N Y/T1121.11—2006 中华人民共和国农业行业标准[S]. 北京: 中华人民共和国农业部.  
THE MINISTRY OF AGRICULTURE OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. N Y/T1121.10—2006 and N Y/T1121.11—2006 agricultural industry standard of the People's Republic of China [S]. Beijing: ministry of agriculture of the People's Republic of China (in Chinese).
- [ 17 ] FANG F M, WANG H D, LIN Y S. Spatial distribution, bioavailability, and health risk assessment of soil Hg in Wuhu urban area, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 179: 255-265.
- [ 18 ] US EPA. Risk assessment guidance for superfund (volume I) human health evaluation manual[M]. Washington: Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, 1989:1-89.
- [ 19 ] OLANREWAJU O, OLIVER S, WALTER G. Pollution indexing and health risk assessments of trace elements in indoor dusts from classrooms, living rooms and offices in Ogun-State, Nigeria[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2015, 101: 396-404.
- [ 20 ] SUNWOO C, HYO T C. Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar, Mongolia[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 147: 237-244.
- [ 21 ] 安徽省环境监测中心站. 安徽省土壤环境背景值调查研究报告[R]. 1992.  
ANHUI ENVIRONMENTAL MONITORING CENTER. Soil environmental background value in anhui province investigation report [R]. 1992 (in Chinese).
- [ 22 ] 王起超, 沈文国, 麻壮伟. 中国燃煤汞排放量估算[J]. *中国环境科学*, 1999, 19(4): 318-321.  
WANG Q C, SHEN W G, MA Z W. The estimation of mercury emission from coal combustion in China[J]. *China Environmental Science*, 1999, 19(4): 318-321 (in Chinese).
- [ 23 ] 孙阳昭, 陈扬, 蓝虹, 等. 中国汞污染的来源、成因及控制技术路径分析[J]. *环境化学*, 2013, 32, (6): 937-942.  
SUN Y Z, CHEN Y, LAN H, et al. Study on pollution sources, cause of mercury pollution and its control technical roadmap in China[J]. *Environmental Chemistry*, 2013, 32, (6): 937-942 (in Chinese).
- [ 24 ] 朱兰保, 盛蒂, 戚晓明, 等. 蚌埠市水稻籽粒重金属污染及康风险评价[J]. *食品工业科技*, 2014, (4): 53-56.  
ZHU L B, SHENG D, QI X M, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment of rice grain in Bengbu City[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, (4): 53-56 (in Chinese).
- [ 25 ] PACYNA E G, PACYNA J M, STEENHUISEN F, et al. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(22): 4048-4063.
- [ 26 ] 田亚, 刘红美, 王晓浩, 等. 城市道路及隧道空气中元素汞分布特征的研究[J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(7): 64-67.  
TIAN Y, LIU H M, WANG X H, et al. Distribution feature of atmospheric elemental mercury emission of urban traffic and tunnels[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, 35(7): 64-67 (in Chinese).