

土法炼锌场地铅污染及其农作物和居民铅暴露评估

贺坤鹏¹, 李鸣¹, 张丽君², 石聪明², 朱绪文², 王克跃¹

摘要: [目的] 对土法炼锌场地居民铅暴露情况进行评估。[方法] 以贵州省毕节市赫章县妈姑镇水塘村土法炼锌场地为暴露区一, 妈姑镇何家冲村为暴露区二; 妈姑镇水塘村无土法炼锌区及可乐乡和幺站镇为对照区。从暴露区一、二和对照区采集土壤; 从暴露区一、二和幺站镇采集玉米的根、茎、叶、果实, 和其他 4 种农作物以及动物内脏等样本, 测定铅含量。从暴露区一、二随机采集血样 130 份、尿样 141 份, 从幺站镇随机采集血、尿样各 108 份, 测定血铅 (BPb)、尿铅 (UPb) 等指标。[结果] 暴露区一和暴露区二土壤含铅量分别为 $(144\,572.917 \pm 49\,811.950)$ mg/kg、 $(38\,520.833 \pm 28\,580.715)$ mg/kg; 主要农作物含铅量为玉米 $0.273\,1$ mg/kg、卷心菜 $0.008\,9$ mg/kg、小白菜 $0.053\,3$ mg/kg、白萝卜 $0.004\,4$ mg/kg、土豆 $0.033\,6$ mg/kg; 主要可食性动物内脏铅含量为猪肝 $(6.966\,7 \pm 3.196\,0)$ mg/kg、猪肾 $(17.833\,3 \pm 10.662\,4)$ mg/kg、鸡肝 $(1.048\,7 \pm 0.546\,5)$ mg/kg、鸡肾 $(0.330\,7 \pm 0.221\,5)$ mg/kg, 均高于对照区 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。暴露区居民血、尿铅含量分别为 $169.446\,\mu\text{g/L}$ 、 $26.820\,\mu\text{g/gCr}$, 与对照区居民相比, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。[结论] 土法炼锌使当地土壤受到铅污染, 农作物和动物内脏具有铅富集的特征, 暴露区居民的血铅和尿铅均高于对照区。

关键词: 铅污染; 土法炼锌; 暴露; 农作物; 居民; 评估

Assessment of Lead Contamination and Lead Exposure of Residents and Crops in Traditional Artisanal Zinc Smelting Areas HE Kun-peng¹, LI Ming¹, ZHANG Li-jun², SHI Cong-ming², ZHU Xu-wen², WANG Ke-yue¹ (1.School of Public Health, Zunyi Medical University, Guizhou 563003, China; 2.Hezhang County Center for Disease Control and Prevention of Bijie, Guizhou 551700, China). Address correspondence to WANG Ke-yue, E-mail: kywang58@126.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To assess lead exposure in traditional artisanal zinc smelting areas. [Methods] Two areas that were involved in traditional artisanal zinc smelting in Shuitang Village and Hejiachong Village of Magu Town, Guizhou Province were selected as exposed area I and II. Another Shuitang area without lead related involvement, Kele Village, and Yaozhan Town were selected as control area I, II, and III. Soils from 2 exposed areas and 3 control areas, corns (roots, stems, leaves, and fruits), cabbages, Chinese cabbages, white turnips, potatoes, and livestock viscera (kidneys and livers of swines and chickens) from 2 exposed areas and Yaozhan Town were sampled for lead content determination. Blood and urine samples were collected from 2 exposed areas (130, 141) and Yaozhan Town (108, 108) for blood lead (BPb) and urine lead (UPb) detection. [Results] In the exposed area I and II, the lead levels in soil were $(144\,572.917 \pm 49\,811.950)$ mg/kg and $(38\,520.833 \pm 28\,580.715)$ mg/kg, respectively; the average lead levels of 5 vegetables (corns, $0.273\,1$ mg/kg; cabbages, $0.008\,9$ mg/kg; Chinese cabbages, $0.053\,3$ mg/kg; white turnips, $0.004\,4$ mg/kg; potatoes, $0.033\,6$ mg/kg) and edible animal viscera [swine livers, $(6.966\,7 \pm 3.196\,0)$ mg/kg; swine kidneys, $(17.833\,3 \pm 10.662\,4)$ mg/kg; chicken livers, $(1.048\,7 \pm 0.546\,5)$ mg/kg; chicken kidneys, $(0.330\,7 \pm 0.221\,5)$ mg/kg] in the two exposed areas were significantly elevated ($P < 0.05$, $P < 0.01$). The residents' samples from the exposed areas also showed a higher level of BPb ($169.446\,\mu\text{g/L}$) and UPb ($26.820\,\mu\text{g/gCr}$) ($P < 0.01$). [Conclusion] The soils in traditional artisanal zinc smelting areas are contaminated by lead. The crops and livestock viscera demonstrate characteristics of lead migration and enrichment. The contents of BPb and UPb of exposed population are significantly higher than the controls.

Key Words: lead contamination; traditional artisanal zinc smelting; exposure; crops; residents; assessment

铅 (Pb) 是一种对人体有害的非必需重金属元素, 在生物圈中不能被生物降解, 只能以各种存在形式在生物圈之间相互转化、分散和富集, 形成铅的迁移与

转化。铅也是一种常见的环境污染物, 所造成的危害已经引起人们的普遍关注。有研究表明, 铅冶炼厂关闭后数年, 该地表层土壤和蔬菜中的镉、铅、锌均仍明显高于对照地区^[1]。赫章县铅锌矿资源丰富, 铅和锌在矿石中共存, 该地 20 世纪中到末期土法炼锌一度十分盛行, 直到 2001 年土法炼锌被取缔, 留下了万吨的废渣及大面积污染的土壤。由于多方面的原因, 村民又开始在这些土壤甚至原炼锌场地种植农作物。

[作者简介] 贺坤鹏 (1983—), 男, 硕士生; 研究方向: 金属毒理学; E-mail: hpeng_szhe@163.com

[通信作者] 王克跃教授, E-mail: kywang58@126.com

[作者单位] 1. 遵义医学院公共卫生学院, 贵州 563003; 2. 毕节市赫章县疾病预防控制中心, 贵州 551700

本研究拟通过测定土法炼锌取缔 10 年后,该地土壤、植物、动物和居民体内的铅含量,了解铅在环境中的迁移。

1 材料与方法

1.1 调查地区概况

贵州省赫章县的铅锌矿储量居贵州之首,占全省储量的 1/3。本次调查的暴露区位于该县的妈姑镇,该地是土法炼锌最集中的地区之一,20 世纪 80—90 年代是土法炼锌的鼎盛时期。至今土法炼锌被取缔 10 年后,遗留了 2×10^7 吨废渣,造成 1200 hm^2 荒地^[2],由于多方面的原因,居民又在这些土壤甚至原炼锌场地种植农作物。

1.2 样本来源

本次调查于 2011 年 12 月分别选取妈姑镇水塘村和何家冲村的土法炼锌场地为暴露区一、二,水塘村中未开展过土法炼锌的区域和相邻周边地区未进行土法炼锌的威宁县幺站镇及妈姑镇可乐乡为对照区。

1.3 样品采集

1.3.1 土壤样本 每个采样地采集 6 份样品,每份样品取表层土壤(0~20 cm)约 1 kg,装入密封袋保存待测。

1.3.2 农作物样本 从暴露区一、二和幺站镇分别采集玉米(包括根、茎、叶、果实)、卷心菜、小白菜、白萝卜、土豆等 5 种农作物,每种样品 6 份,标记后低温密封保存待测。

1.3.3 动物肝、肾脏样本 从暴露区一、二和幺站镇分别采集当地饲养的鸡、猪的肝脏和肾脏,每种样品 6 份,冷冻保存待测。

1.3.4 血样和尿样 从暴露区一、二随机采集血样 135 份、尿样 146 份,对照区分别随机采集血、尿样各 111 份,将采集的血样和尿样 -80°C 冷冻保存待测。

1.4 各样本测定方法

1.4.1 土壤含铅量测定 土壤铅含量依据(GB/T 17141—1997)《土壤质量铅的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》^[3]。

1.4.2 农作物及动物内脏样品铅测定 按照(GB/T 5009.12—2003)《食品安全国家标准 食品中铅的测定》^[4]。

1.4.3 原子吸收光谱法测定血铅和尿铅含量 将全血样本放置室温解冻,摇匀。取 $50 \mu\text{L}$ 全血样本于 1.5 mL 离心管中,加入 $950 \mu\text{L}$ 硝酸, $50\sim 60^\circ\text{C}$ 水浴过夜,再向 1.5 mL 离心管中加入 0.5% 稀硝酸定容至 1 mL 保存待

测。采用石墨炉原子吸收光谱法测定血铅含量。依据(WS/T18—1996)《尿中铅的石墨炉原子吸收光谱测定方法》^[5]测定尿铅含量。

1.5 统计分析

采用 SPSS 17.0 分析,对数据进行统计学处理,呈正态分布资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,对数正态分布资料用 $G \pm Slgx$ 表示。 $\alpha=0.05$ 为检验水准。

2 结果

2.1 土壤铅含量测定

各采样区土壤样本含铅量(表 1)差异有统计学意义($F=31.915$, $P<0.01$),进一步两两比较可知,妈姑镇对照区及 2 个暴露区土壤含铅量均高于幺站镇对照区及可乐乡对照区($P<0.05$),并都超过(GB 15618—1995)《土壤环境质量标准》。妈姑镇本区比较,2 个暴露区土壤含铅量高于妈姑镇对照区($P<0.05$),暴露区一为妈姑镇对照区 7.3 倍,暴露区二为妈姑镇对照区 2 倍。妈姑镇暴露区一土壤含铅量最高,平均水平已超过正常标准 413 倍。

表 1 不同地区土壤样本含铅量及 pH 值

Table 1 Lead concentrations in soils in exposed and control areas

测定区域 Measuring area	<i>n</i>	含铅量($\bar{x} \pm s$, mg/kg) Lead content	土壤 pH 值 Soil pH
幺站镇对照区 Control area of Yaozhan Town	6	2783.333 ± 1690.464	6.87
可乐乡对照区 Control area of Kele Village	6	3191.667 ± 1368.637	7.25
妈姑镇对照区 Control area of Magu Town	6	$19695.833 \pm 2159.712^*$	7.06
妈姑镇暴露区一 Exposed area I of Magu Town	6	$144572.917 \pm 49811.950^{**}$	6.92
妈姑镇暴露区二 Exposed area II of Magu Town	6	$38520.833 \pm 28580.715^{**}$	7.39

[注]*: 与幺站镇及可乐乡对照区比较(Compared with Yaozhan Village and Kele Village), $P<0.05$; #: 与妈姑镇对照区比较(Compared with the control area of Magu Town), $P<0.05$ 。

2.2 主要农作物及动物内脏含铅量

各种食用农作物样本含铅量以(GB/T 5009.12)蔬菜 $\leq 0.2 \text{ mg/kg}$ 作为正常标准进行比较。由表 2 可见,暴露区一、二采集的主要农作物含铅量均高于幺站镇($P<0.05$)。在本次调查所采集的所有可食用农作物样本中,玉米果实含铅量(0.2731 mg/kg)最高,暴露地区平均水平高出我国正常标准 1.36 倍,为幺站镇对照区 2.71 倍。由表 3 可见,与幺站镇对照区相比,暴露地区动物肝脏含铅量明显增高($P<0.05$)。

表 2 不同地区主要农作物含铅量($G \pm S/gx$, mg/kg)

Table 2 Lead concentrations of selected crops in exposed and control areas

农作物(Crop)	么站镇(Yaozhen Town)	暴露区一、二(Exposed area I and II)	<i>t</i>	<i>P</i>
卷心菜(Cabbage)	0.0028 ± 0.0010	0.0089 ± 0.0076	2.528	<0.05
小白菜(Chinese cabbage)	0.0032 ± 0.0010	0.0533 ± 0.0230	5.767	<0.01
白萝卜(White turnip)	0.0020 ± 0.0002	0.0044 ± 0.0025	3.000	<0.05
土豆(Potato)	0.0031 ± 0.0018	0.0336 ± 0.0289	3.420	<0.01
玉米根(Corn root)	0.0850 ± 0.0221	0.1898 ± 0.0687	3.176	<0.05
玉米茎(Corn stem)	0.0242 ± 0.0147	0.1570 ± 0.1735	2.541	<0.05
玉米叶(Corn leaf)	0.2506 ± 0.0900	0.5586 ± 0.0997	8.000	<0.01
玉米果实(Corn)	0.0024 ± 0.0015	0.0273 ± 0.0334	5.030	<0.05

表 3 不同地区动物内脏铅含量水平($\bar{x} \pm s$, mg/kg)

Table 3 Lead concentrations of livestock viscera in exposed and control areas

地区(Area)	<i>n</i>	猪肝(Swine livers)	猪肾(Swine kidneys)	鸡肝(Chicken livers)	鸡肾(Chicken kidneys)
么站镇(Yaozhen Town)	6	3.6667 ± 1.4123	2.9333 ± 1.2501	0.4110 ± 0.4051	0.1187 ± 0.0333
暴露区一、二(Exposed area I and II)	6	6.9667 ± 3.1960	17.8333 ± 10.6624	1.0487 ± 0.5465	0.3307 ± 0.2215
<i>t</i>	—	2.671	2.699	3.248	2.564
<i>P</i>	—	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

2.3 居民血、尿样铅含量测定

2.3.1 两地区居民的基本人口学特征 暴露区一、二居民男性平均年龄为(66.80 ± 11.59)岁, 男性最大年龄为 91 岁, 最小年龄为 46 岁, 构成比 36.17%(51/141), 女性平均年龄为(64.20 ± 10.99)岁, 女性最大年龄为 87 岁, 最小年龄为 47 岁, 且以女性居多, 构成比为 63.83%(90/141)。么站镇对照区居民男性平均年龄为(63.20 ± 9.91)岁, 男性最大年龄为 83 岁, 最小年龄为 45 岁, 构成比 38.89%(42/108), 女性平均年龄为(61.38 ± 9.35)岁, 最大年龄为 78 岁, 最小年龄为 45 岁, 以女性居民居多, 构成比为 61.11%(66/108)。

2.3.2 居民血、尿样铅含量测定 由表 4 可见, 暴露区一、二居民血、尿铅含量均高于么站镇对照区居民,

且差异具有统计学意义($P < 0.01$)。由表 5 可见, 暴露地区男性居民尿铅(26.145 μg/gCr)和血铅(175.837 μg/L)及女性居民尿铅(110.509 μg/gCr)和血铅(167.447 μg/L)含量均高于么站镇对照区, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表 4 不同地区人群铅负荷水平($G \pm S/gx$)

Table 4 Lead load levels of residents in different areas

地区 Areas	<i>n</i>	B Pb(μg/L)	<i>n</i>	U Pb(μg/gCr)
么站镇 Yaozhen Town	108	85.268 ± 118.085	108	7.540 ± 11.998
暴露区一、二 Exposed area I and II	130	133.972 ± 125.203	141	19.453 ± 25.289
<i>t</i>	—	3.650	—	6.610
<i>P</i>	—	<0.01	—	<0.01

表 5 不同地区男女血铅和尿铅含量($G \pm S/gx$)

Table 5 Results of B Pb and U Pb by gender and locations

指标 Item	男性 Male				女性 Female			
	么站镇 Yaozhen Town	暴露区一、二 Exposed area I and II	<i>t</i>	<i>P</i>	么站镇 Yaozhen Town	暴露区一、二 Exposed area I and II	<i>t</i>	<i>P</i>
B Pb(μg/L)	84.871 ± 138.817(<i>n</i> =42)	138.299 ± 140.343(<i>n</i> =49)	2.012	<0.05	85.522 ± 103.844(<i>n</i> =66)	131.420 ± 115.899(<i>n</i> =81)	3.138	<0.01
U Pb(μg/gCr)	8.975 ± 8.611(<i>n</i> =42)	19.081 ± 20.464(<i>n</i> =51)	4.529	<0.01	6.748 ± 13.768(<i>n</i> =66)	19.668 ± 27.749(<i>n</i> =90)	5.039	<0.01

2.4 土壤与血、尿铅含量的相关性分析

经相关分析, 土壤铅含量和尿铅呈正相关, 相关系数 $r=0.520$, 但土壤铅含量与血铅无相关性。

3 讨论

重金属从土壤进入食物链的迁移以及随后在食

物链中的生物富集被认为是现今主要的环境污染问题, 已成为人们日益关注的焦点^[6]。检测农作物重金属铅含量不仅可以直接反映土壤污染状况, 同时也能了解不同种类农作物对重金属的蓄积和迁移特点。由于当年土法炼锌产生大量含铅的废渣、废水直接排入周围环境, 尤其是炼锌产生的大量废渣, 赫章县妈姑

镇的土壤受到不同程度的铅污染。本实验中,对照区选取了当地土法炼锌暴露区妈姑镇中未开展过土法炼锌场地和相邻周边非炼锌区的威宁县幺站镇、妈姑镇可乐乡。对照区土壤检测结果中显示妈姑镇对照区明显高于其他两组对照区,这可能是由于同在一个很小的范围内,在未取缔之前受到空气中的铅的影响以及铅微粒经降雨的影响长期蓄积的结果。另外,重金属铅一般都积蓄在土壤表层,较难向深层土壤迁移。本研究结果说明妈姑镇土壤含铅量本底值就高于非炼锌区,土法炼锌暴露区一和暴露区二含铅量明显高于其他对照区,并且该结果也明显大于贵州省土壤背景值,表明尽管土法炼锌已被取缔 10 余年,但仍然存在重金属铅在土壤中的蓄积,对生态环境存在潜在的威胁。

在土法炼锌暴露区复垦的土地中主要种植抗贫瘠和抗旱性能较强的农作物,并且这些农作物也是当地居民的主要食物来源,因此本研究选择了暴露区一、二及幺站镇日常食用的农作物如玉米、土豆、小白菜、卷心菜、萝卜等为研究对象,通过检测玉米各部位(根、茎、叶、果实)体内铅含量,了解重金属元素在农作物体内的迁移情况;测定上述不同农作物可食用部分体内铅含量,了解铅在不同农作物中蓄积水平。本研究结果表明玉米各部位含铅量依次为玉米叶>玉米粒>玉米根>玉米茎,说明铅在玉米中的主要蓄积部位为玉米叶及玉米粒。5 种农作物可食用部分铅含量依次为玉米粒>小白菜>土豆>卷心菜>萝卜,说明重金属铅易蓄积于玉米粒中,且小白菜、土豆中铅蓄积量亦较高,对铅的吸收性较强。此外,动物体内的含铅量是农作物含铅量的 15~30 倍。圈养动物的食物来源主要是上述农作物,这些农作物中有铅的蓄积,经圈养动物的摄入后进一步在体内蓄集。

已有大量关于贵州省赫章县土法炼锌区重金属污染的研究报道显示,由于冶炼技术粗放而简单,在冶炼过程中都会造成铅大量残留在废渣和土壤中^[7]。在土壤-植物体系中,重金属的迁移受到元素组合、浓度、植物种类、环境因素等综合因素的影响^[8]。污染土壤的明显酸化,促使残留的铅易于形成可溶态^[9],利于植物吸收的有效态铅含量增多,从而造成铅在植物体内的迁移^[10]。植物体内重金属的迁移蓄积规律一般表现为地下器官>地上器官,但是表 2 所示的结果却显示出相反的规律,这与在辽宁省青城子铅锌矿区玉米中根部铅含量最高的结果不同^[11]。玉米根、茎为

主要的吸收运输器官,共同担负着向地上器官运输水分及营养物质的任务,因此二者铅含量较低;玉米叶、果实是地上器官,由于生长积累及暴露时间长,其含铅量明显增加。本研究采集的 5 种农作物可食用部分中,玉米和小白菜的铅含量较高,研究表明,重金属铅在土法炼锌暴露区复垦农作物中形成迁移,较易蓄积在植物的地上器官部分。

人体摄入铅的主要来源是食用种植的农作物及蔬菜。长期摄入含重金属污染的农作物会引起身体多组织器官的变化,严重影响人体的身体健康,可通过测定血铅和尿铅水平反映机体铅的蓄积情况^[12-13]。血铅是国内外公认的病因学指标,反映近期铅接触的敏感指标及人类铅接触、吸收、分布、代谢、排泄的动态平衡,尿铅是反映近期接触铅水平的敏感指标之一。因姑妈镇地理环境特殊,种植农作物种类稀少,居民摄食单一,长期食用铅污染的农作物和以这些农作物为饲料的动物食品,这成为当地居民对铅的直接接触源。经土壤与尿铅相关性分析可知居民体内铅的蓄积是通过食用铅污染的农作物及动物食品造成,表明生活在该地区的居民铅的内暴露和外暴露均达到较高水平,是否引起了铅损伤有待进一步研究。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] DOUAY F, PELFRENE A, PLANQUE J, et al. Assessment of potential health risk for inhabitants living near a former lead smelter. Part 1: metal concentrations in soils, agricultural crops, and homegrown vegetables[J]. Environ Monit Assess, 2013, 185(5): 3665-3680.
- [2] 林文杰,肖唐付,敖子强,等.黔西北土法炼锌废弃地植被重建的限制因子[J].应用生态学报,2007,18(3): 631-635.
- [3] 中华人民共和国环境保护部. GB/T 17141—1997 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.12—2003 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [5] 中华人民共和国卫生部. WS/T 18—1996 尿中铅的石墨炉原子吸收光谱测定方法[S]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [6] ANTONIOUS GF, KOCHHAR TS, COOLONG T. Yield,

- quality, and concentration of seven heavy metals in cabbage and broccoli grown in sewage sludge and chicken manure amended soil [J]. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng, 2012, 47(13): 1955-1965.
- [7] 林文杰. 土法炼锌区生态退化与重金属污染[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 149-153.
- [8] VAN GESEL CAM, HENSBERGEN PJ. Interaction of Cd and Zn toxicity for *Folsomia candida* Willem (Collembola: Isotomidae) [J]. Environ Toxicol Chem, 1997, 16: 1177-1186.
- [9] HO HH, SWENNEN R, CAPPUYNS V. Potential release of selected trace elements (As, Cd, Cu, Mn, Pb and Zn) from sediments in Cam River-mouth (Vietnam) under influence of pH and oxidation [J]. Sci Total Environ, 2012(435-436): 487-498.
- [10] NAICKER K, CUKROWSKA E, MC CARTHY TS. Acid mine drainage arising from gold mining activity in Johannesburg, South Africa and environs [J]. Environ Pollut, 2003, 122(1): 29-40.
- [11] 顾继光, 林秋奇, 胡韧, 等. 矿区重金属在土壤作物系统迁移行为的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(4): 634-637.
- [12] HU H, SHIH R, ROTHENBERG S, et al. The epidemiology of lead toxicity in adults: measuring dose and consideration of other methodologic issues [J]. Environ Health Perspect, 2007, 115(3): 455-462.
- [13] EKONG EB, JAAR BG, WEAVER VM, et al. Lead-related nephrotoxicity: a review of the epidemiologic evidence [J]. Kidney Int, 2006, 70(12): 2074-2084.

(收稿日期: 2012-10-29)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 张晶; 校对: 丁瑾瑜)

【EHP 专栏】

美国东北部及大西洋中部地区空气中 PM_{2.5} 的化学成分与低出生体重

Keita Ebisu, Michelle L. Bell

摘要: [背景] 以往关于空气污染物与分娩结局的研究结果不一致。颗粒物 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) 的化学成分组成具有空间异质性, 这可能是导致 PM_{2.5} 研究之间存在差异的原因。[目的] 探讨出生体重是否受到 PM_{2.5}、PM₁₀ (PM $\leq 10 \mu\text{m}$) 和气态污染物的影响。[方法] 计算在美国东北部和大西洋沿岸中部地区、出生于 2000—2007 年间的婴儿在怀孕期间以及孕期每三个月的空气污染暴露, 包括 PM_{2.5} 的化学成分、PM₁₀、PM_{2.5}、一氧化碳、二氧化氮、臭氧和二氧化硫。以家庭、个体特点和地区校正暴露与低出生体重 (LBW) 风险之间的关联, 并采用交互作用探讨是否不同种族或性别具有不同风险。[结果] 有多种 PM_{2.5} 的化学成分与低出生体重相关。PM_{2.5} 中的铝、元素碳、镍、钛每增加一个四分位数间距, 风险分别增加 4.9% (95%CI: 3.4%~6.5%)、4.7% (3.2%~6.2%)、5.7% (2.7%~8.8%)、5.0% (3.1%~7.0%)。其他 PM_{2.5} 化学成分和气态污染物显示出相关性, 但在多重污染模型中无统计学意义。污染物不同, 相对风险最高的孕期阶段不同。估计 PM_{2.5} 中元素碳和镍对于母亲为白人的婴儿的影响高于非洲裔母亲的婴儿, 对男婴的影响大于女婴。[结论] 在本研究范围中, 大多数的 PM_{2.5} 暴露水平符合美国环境保护署的空气污染标准; 但是, 研究确定了 PM_{2.5} 的成分与低出生体重之间的关联。研究结果表明, 部分 PM_{2.5} 成分可能会比其他成分更为有害, 而且某些人群可能特别易感。

关键词: 空气污染; 环境健康; 流行病学; 低出生体重

原文详见 *Environmental Health Perspectives*, 2012, 120(12): 1746-1752.