第37卷 第1期 桂林理工大学学报 Vol. 37 No. 1
2017年2月 Journal of Guilin University of Technology Feb. 2017

文章编号: 1674－9057(2017)01－0170－07 doi: 10.3969/j.issn.1674－9057.2017.01.025

南丹矿业活动影响区人尿镉、砷和锑含量特征

徐 婷[1a]，钟雪梅[1b]，田美玲[1a]，伏凤艳[1a]，陆素芬[1a]，余元元[1a]，曾炜铨[1a]，宋 波[1a]，乔鹏炜[2]

(1. 桂林理工大学 a. 环境科学与工程学院; b. 地球科学学院，广西 桂林 541004;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101)

摘 要: 为评估“有色金属之乡”——南丹典型村庄常住居民体内重金属水平，对矿业活动影响区车河镇、大厂镇和长老乡及对照区六寨镇典型村庄居民尿液Cd、As和Sb含量进行了抽样调查。结果表明，长老乡居民尿Cd平均含量超过参考值的人所占比例高达71.43%，车河镇、大厂镇人尿As含量分别是对照区的1.49倍、1.50倍，车河镇、大厂镇居民尿Sb含量分别是对照区的1.60倍、2.72倍。从不同人群比较结果来看，男性与女性之间尿样Cd、As、Sb含量差异均不显著; 不同年龄段之间As、Sb差异均不显著; 老年组与壮年组之间Cd差异不显著，但都显著高于未成年组。综合起来看，南丹3个矿业活动影响区的常住居民体内重金属含量水平高于对照区，需要引起关注。

关键词: 镉; 砷; 锑; 人尿; 矿业活动; 南丹

中图分类号: X503.1 **文献标志码:** A

0 引 言

矿业活动对周边居民存在不同程度的健康风险，近年来相关的研究报道很多。例如，河南某铅冶炼厂周边村庄儿童血铅呈中等和严重中毒水平的比例高达47.5%[1]。云南某矿区周边村民通过食用蔬菜引起砷的暴露风险指数高达158[2]。大宝山矿区上坝村居民血Cd和尿Cd含量平均值分别为4.69和3.41 μg·g^{-1}，达到非污染地区平均水平的2～3倍[3]。这些研究表明矿业活动释放重金属通过多种途径威胁人体健康。

人体摄入的重金属富集在不同的组织器官和体液中，例如血液、尿液、头发和指甲等，这些组织器官和体液可以作为人体是否健康的诊断指标[4-6]，人尿中重金属含量可反映体内重金属排出情况，间接反映机体的吸收量[4,7-8]，因此，分析人尿重金属含量特征可以反映矿业活动对人体产生的健康风险。

南丹被誉为“有色金属之乡”和“矿物学家的天堂”，但由于矿业资源开采利用结构不合理，先期利用方式粗放和无序开采，矿业活动周边区域生态环境受到严重影响[9-11]。目前，关于南丹矿业活动影响区重金属污染的研究多集中在土壤重金属污染调查，并在此基础上采用数学模型进行潜在健康风险评估[9,12]，而对人体重金属含量采取直接抽样调查的研究鲜见报道。前者较为便捷，但受模型预测精度和参数不确定性的影响，基于土壤重金属含量对人体健康风险的评估结果也可能存在较大的不确定性; 而通过直接采集人体样品了解其重金属含量状况的方法更为准确，也

收稿日期: 2015－11－02
基金项目: 国家自然科学基金项目(41161056; 41261082); 广西“八桂学者”建设工程专项; 广西自然科学基金重大项目(2013GXNSFEA053002)
作者简介: 徐 婷(1990—)，女，硕士，研究方向: 区域环境调查与风险评估，xuting105@163.com。
通讯作者: 宋波，博士，教授，songbo@glut.edu.cn。
引文格式: 徐婷，钟雪梅，田美玲，等. 南丹矿业活动影响区人尿镉、砷和锑含量特征[J]. 桂林理工大学学报，2017，37(1): 170－176.

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

更具有说服力。鉴于此，以南丹受矿业活动影响的典型村庄为研究区域，采集常住居民的晨尿，分析其特征污染物镉(Cd)、砷(As)和锑(Sb)含量特征，探讨尿液中重金属含量与性别、年龄段的关系，旨在为提高南丹矿业活动影响区居民健康水平提供重要参考，也可为政府制定有关策略提供依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

研究区域分布见图 1，研究区分为矿业活动影响区和对照区，前者包括车河镇、大厂镇和长老乡 3 个乡镇，而以六寨镇为对照区。车河镇和大厂镇均处于多金属矿带核心地带，有色金属采选活动密集，均有数十家矿业有关企业(采矿厂、选矿厂和冶炼厂)分布其中。矿山开采及冶炼活动产生大量的废气、废水、废渣，使得大气、土壤和河流都受到不同程度的重金属污染，发源于车河镇、大厂镇的刁江亦受到严重的污染，而长老乡位于刁江的中上游，该地区地形多为面积较大且接连成片的峰丛洼地地貌[13]，部分农田曾长期遭受含尾砂的洪水冲积和淹没等，农业生产也受到较大的影响。南丹县的矿业活动主要集中在大厂镇、车河镇、芒厂镇[14]，六寨镇位于矿业活动区的西北方，统计南丹历史风向[15]，2011 年 1 月 1 日至 2015 年 10 月 1 日共计 1 734 天，南丹刮东南风的天数仅有 5 天，可见重金属通过风迁移途径从矿业活动区迁移至六寨镇几乎可以忽略不计；且没有受重金属污染的河水流经六寨镇，所以六寨镇几乎不受矿业活动影响，而由于六寨镇与上述矿业活动影响区相距不远，所以自然环境条件和生活方式相近，因而被选作对照区。在上述乡镇均选择一个自然村作为研究区域，要求所选村庄有 30 户以上常住居民，且相对集中。对于车河镇和大厂镇，选择离主要矿区或采选厂 3 ~ 5 km 的村庄，而在长老乡则选择刁江沿岸可能受影响的村庄。

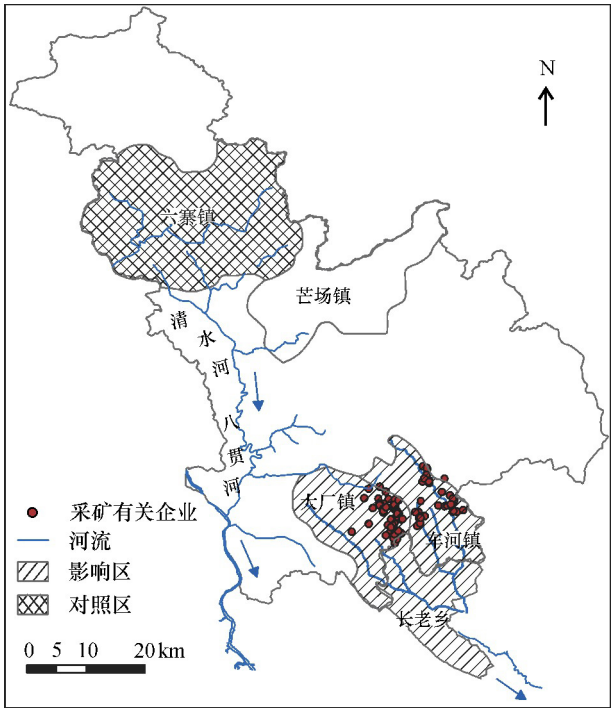

图 1　研究区域位置

Fig. 1　Location map of the study areas

1.2　样品的采集与分析

为减少随机采样而带来的误差，本研究分别于 2013 - 7 - 19 至 2013 - 8 - 4 和 2014 - 11 - 18 至 27 日采集夏季样品和秋季样品。采取居民自愿原则，记录抽样对象姓名、性别、年龄、职业等信息，采集其晨尿，共 229 份样品，年龄涵盖 2 至 81 岁(表 1)。收集晨尿于 100 mL 聚乙烯瓶中，用液体比重计(达宏美拓 DH - 300L)测得尿液比重后快速加入硝酸至 pH < 2，于 4 ℃冰箱中贮存。

取 5 mL 人尿于 150 mL 锥形瓶中，加 1 mL 混合酸(浓硝酸: 浓硫酸: 高氯酸 = 3∶1∶1)，置于电热板上中火加热至冒浓白烟(若消解不完全加适量浓硝酸)，取下稍冷，加 1 mL 30% 的双氧水，继续加热至冒白烟，并持续 1 ~ 3 min，取下稍冷加 10 mL 超纯水，加热赶酸至冒白烟，冷却后转移至 25 mL 具塞比色管中，定容保存待测。同时做空白试样。用石墨炉 - 原子吸收分光光度计(耶拿 Zeenit 700)测定 Cd 浓度，用氢化物发生原子荧光光谱仪(海光 AFS - 2002)测定 As、Sb 浓度。分析过程中加入加标试样进行质量控制，回收率均在90% ~ 110%，

表 1　样本采集情况

Table 1　Samples collection

地区	样本量/个						
	采样批次		性别		年龄		
	2013 年夏	2014 年秋	男	女	2 ~ 18	19 ~ 60	61 ~ 81
车河镇	25	33	41	17	11	33	14
大厂镇	24	27	29	22	15	32	4
长老乡	36	20	33	23	8	37	11
六寨镇	33	31	41	23	22	30	12

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

满足要求。分析所用试剂均为优级纯，所用的水均为超纯水。

尿样的重金属含量采用比重校正值，校正方程如下。

$$\text{校正浓度(mg/L)} = \frac{\text{实测浓度(mg/L)} \times (1.024 - 1.00)}{\text{尿液比重} - 1.000\ 0}$$

1.3 数据分析方法

利用 SPSS 18 软件进行数据分析，使用 Origin 9.0 软件制作条形图，借助 ArcGIS 10.2 软件绘制研究区域分布示意图。

2 结果分析与讨论

2.1 不同采样批次人尿重金属含量对比

对比分析 2013 年夏季和 2014 年秋季人尿重金属含量旨在说明不同时段人体重金属水平是否一致，进而说明，任意时段所采集的人尿重金属含量能否表征真实状况。经单样本 K－S 检验，不同季节尿 Cd、尿 As、尿 Sb 含量数值均不符合正态分布，经对数转换后符合正态分布，故选择用几何均值来表征其含量。差异性检验结果显示，各地区各元素的两季样品之间差异均不显著(图 2)。所以两批次的样品均可表征真实值。以下分析中均用两批次的数据进行统计说明。

2.2 影响区和对照区人尿重金属含量比较

人尿重金属是否超标并没有相应的标准，可借助于以下两种方法说明其含量的高低：第一，与参考值比较，所谓参考值即一些研究者在某个地区采集大量正常人尿，测其重金属后推荐该地区的人尿重金属可参考的值；第二，与对照区的人尿重金属含量作比较。多采用两种方法相互佐证。

经单样本 K－S 检验，不同地区尿 Cd 含量数值符合正态分布，故采用算术均值来表征其含量，不同地区尿 As、尿 Sb 含量数值均符合对数正态分布，故采用几何均值来表征其含量。

2.2.1 影响区和对照区人尿 Cd 含量比较 从研究区域人尿重金属含量特征(表 2)可以看出 3 个矿业活动影响区(车河镇、大厂镇、长老乡)人尿 Cd 的平均含量分别为 3.92、2.95、8.38 μg/L，对照区为 3.58 μg/L。人尿 Cd 参考值多在 5 μg/L 以内[8,16]，长老乡人尿 Cd 的平均含量是参考值的 1.68 倍，且超过参考值的人数所占比例高达 71.43%，最大值(42.60 μg/L)也出现在长老乡，其是参考值的 8.52 倍。该地区的平均含量是对照区的 2.34 倍，且差异显著($p < 0.05$)。车河镇、大厂镇人尿 Cd 的平均含量均未超过参考值，但均有部分样本超过参考值，超过参考值的所占比例分别为 24.14%、17.65%，说明长老乡居民长期暴露于高 Cd 环境中，人体中已出现了明显的富集现象。就总体而言，车河镇、大厂镇居民体内 Cd 含量均不高，但是均有部分人体内 Cd 含量偏高，需引起关注。

长老乡土壤 Cd 污染严重，金洞村部分农田土壤 Cd 含量是国家土壤环境质量三级标准的 100 多倍[17]。同期对长老乡菜地土壤重金属调查数据也表明，其 Cd 超标率高达 90%。在矿业活动影响区生活、工作的居民长期暴露在高浓度的 Cd 环境中，大量的 Cd 通过膳食[18]、呼吸[19]、皮肤接触[20]等方式进入人体，因此在人尿样品中 Cd 含量普遍偏高。长老乡本身并无矿业活动，其污染主要来源于车河镇、大厂镇排放的含有大量重金属的废水，而其居民体内 Cd 含量却远高于车河镇、大厂镇，这应该引起我们的足够重视。

2.2.2 影响区和对照区人尿 As 含量比较 从研究区域人尿 As 含量特征(表 2)可以看出 3 个矿业活动影响区车河镇、大厂镇、长老乡人尿 As 的平均含量分别为 17.60、17.71、13.31 μg/L，对照区为11.80 μg/L。韦光毅等[21]建议柳州市无As接

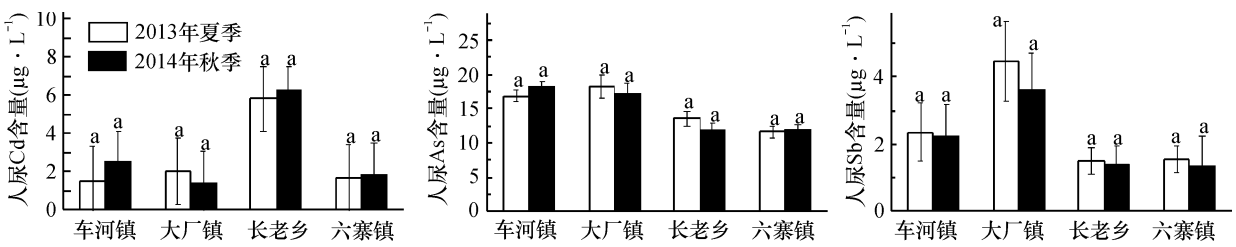

图 2 不同采样批次人尿重金属含量对比

Fig. 2 Heavy metal contents in human urine under different sampling batches

注：图中字母仅用于标注同一地区不同批次之间的差异显著性情况

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　研究区域人尿重金属含量特征

Table 2　Characteristics of heavy metal contents in human urine in the study area

元素	地区	含量/(μg·L^{-1})			超过参考值的所占比例/%	参考值/(μg·L^{-1})
		最小值	最大值	几何平均值		
Cd	车河镇	ND	20.10	(3.919±4.101)^{b}	24.14	5.00
	大厂镇	ND	9.672	(2.950±2.578)^{b}	17.65	
	长老乡	ND	42.60	(8.382±7.086)^{a}	71.43	
	六寨镇	ND	17.08	(3.576±3.525)^{b}	28.1	
As	车河镇	2.865	193.5	17.60(0.811)^{a}	8.62	56.00
	大厂镇	2.923	158.4	17.71(0.765)^{a}	5.88	
	长老乡	0.265	78.76	13.31(0.879)^{b}	3.57	
	六寨镇	2.212	81.01	11.80(0.762)^{b}	0	
Sb	车河镇	ND	35.68	2.284(0.906)^{a}	–	–
	大厂镇	0.67	140.2	3.884(1.230)^{a}	–	
	长老乡	0.295	7.432	1.499(0.486)^{b}	–	
	六寨镇	0.342	6.865	1.427(0.678)^{b}	–	

注: ND 表示为未检出; 图中字母仅用于标注同一元素影响区和对照区之间的差异显著性情况，字母不同表示差异显著($p<0.05$)。

触史的健康成年尿 As 的正常参考值上限为 110 μg/L，秦文华等[7]在测定河南省 2 065 名非职业接触人群晨尿中 As 后建议河南省非职业人群尿 As 参考值上限为 56 μg/L，可见 4 个地区人体尿 As 平均含量均未超过参考值，但是车河镇、大厂镇、长老乡存在一定的超标情况，其超过参考值的人所占比例分别为 8.62%、5.88%、3.57%。车河镇、大厂镇人尿 As 含量分别是对照区的 1.49、1.50 倍，且显著差异($p<0.01$)。长老乡略高于对照区，但差异不显著。可见，在大厂镇、车河镇 As 在人体发生了一定的富集，长老乡居民体内 As 含量较低。大厂镇、车河镇均有严重的 As 污染[17,22-23]，居民长期暴露在高浓度的 As 环境中，As 通过各种途径进入到人体，因此在人尿样品中 As 含量普遍偏高。

2.2.3　影响区和对照区人尿 Sb 含量比较　从研究区域的人尿 Sb 含量特征(表 2)可以看出 3 个矿业活动影响区车河镇、大厂镇、长老乡人体尿 Sb 的平均含量分别为 2.28、3.88、1.50 μg/L，对照区为 1.43 μg/L，关于人尿锑的正常参考值，不同国家和地区存在很大差异[4,24-25]，例如 Goulle 等对 100 名健康志愿者的人尿 Sb 测定后，提出其正常值参考范围为 0.02～0.08 μg/L[4]，叶伟等测定贵阳市 105 名正常人尿 Sb 后建议贵阳市人尿 Sb 正常值 50 μg/L[24]。因此，人尿 Sb 含量的高低的判断用影响区与对照区进行对比分析更为准确。车河镇、大厂镇人尿 Sb 含量分别是对照区的 1.60 倍、2.72 倍，且均与对照区存在显著差异($p<0.05$)。最大值(140.2 μg/L)也出现在大厂镇，其超过对照区平均值 97.00 倍。长老乡人尿 Sb 的含量与对照区差异不显著。结果表明，大厂镇、车河镇居民体内 Sb 含量较高，需引起关注，长老乡居民体内 Sb 含量较低。Sb 被美国国家环保局(EPA)和欧盟(EU)列为优先控制污染物[26]。但是目前国内对于环境中 Sb 的污染状况及生物毒性效应研究很少，而大厂镇 Sb 矿资源居全国第一，且有关模拟计算表明[22]，Sb 在河水中的影响范围比 As 大，可见，应对大厂镇、车河镇居民 Sb 的暴露途径、对人体健康危害程度等方面作进一步的系统研究。

2.3　不同人群尿液重金属含量比较

对研究区域不同人群(不同性别、不同年龄段)的人尿重金属含量进行统计分析，旨在说明不同人群的重金属暴露风险是否一致，进而说明对于大多数人而言重金属暴露风险程度。

经单样本 K－S 检验，不同人群尿 Cd 含量数值均符合正态分布，故采用算术均值来表征其含量，不同人群尿 As、尿 Sb 含量数值均符合对数正态分布，故采用几何均值来表征其含量。

2.3.1　不同性别尿液重金属含量比较　不同性别人尿重金属含量如图 3 所示，可看出在车河镇、长老乡、六寨镇均表现出男性尿 Cd 含量高于女性，但差异不显著，在大厂镇则表现出女性尿 Cd 高

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

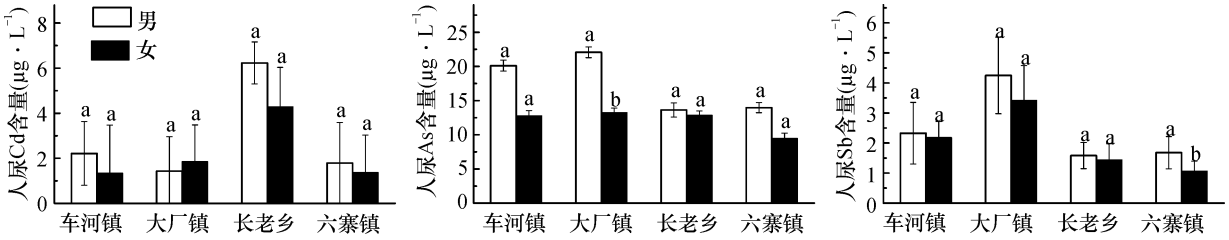

图3 不同性别人尿重金属含量对比

Fig. 3 Heavy metal contents in human urine between under different genders

注：图中字母仅用于标注同一地区不同性别之间的显著性差异情况

于男性，差异也不显著。以往很多研究表明，与男性相比，Cd 在女性体内更易蓄积[27]，正常人群尿 Cd 含量女性的显著高于男性[27-29]，一般而言，男性户外作业的频率及强度高于女性，暴露于重金属的频率较高，可能正因为这双重规律的叠加，导致不同性别暴露于重金属的水平高低没有明显差异，因此不同性别尿 Cd 含量无显著差异。

在车河镇、长老乡、六寨镇均表现出男性尿 As 含量稍高于女性，但差异不显著，在大厂镇表现出男性尿 As 高于女性，但差异显著。在车河镇、大厂镇、长老乡均表现出男性尿 Sb 含量高于女性，但差异不显著，在六寨镇也表现出男性尿 Sb 含量高于女性，但差异显著。有关研究表明，正常人群不同性别对 As、Sb 的吸收不具有显著性差异[30-31]，矿业密集区虽然男性多数从事采矿冶炼活动，但是女性从事选矿工种的也较多，因此总体而言不同性别暴露于重金属的水平高低没有明显差异，不同性别尿 As、Sb 含量无显著差异。

2.3.2 不同年龄组尿液重金属含量比较 依据户外作业的频率和强度将人群分为 3 个年龄组，未成年组(2～18 岁)、壮年组(19～60 岁)、老年组(61～81 岁)。壮年组户外作业的频率及强度最高，少年组次之，老年组最低，一般而言，户外作业的频率及强度越大，暴露于重金属的水平也会越高。从不同年龄组人尿重金属含量对比(图 4)可以发现，对于 Cd 元素，在 4 个地区均表现出老年组与壮年组之间无显著差异，且这两组均显著高于未成年组。由于 Cd 在人体内的蓄积时间长达几十年，正常人群尿 Cd 含量随年龄的增加而上升[28-30]，依照此规律，老年组人尿 Cd 含量应该最高。而壮年组暴露于重金属的水平最高，依照此规律，壮年组人尿 Cd 含量理应最高。所以在此处出现老年组与壮年组人尿 Cd 含量均显著高于未成年组的情况。可把壮年组和老年组合并为成年组后与未成年组进行分析，在车河镇、大厂镇、长老乡、六寨镇成年人尿 Cd 含量分别是未成年人的 5.28 倍、3.19 倍、2.66 倍、2.66 倍，且差异显著，因此成年人的 Cd 暴露风险远大于未成年人。在居民 Cd 暴露风险最高的长老乡，其未成年人尿 Cd 含量为 2.00 μg·L^{-1}，对照区为 0.46 μg·L^{-1}，但两者差异不显著，且长老乡未成年人尿 Cd 含量远远小于 Cd 参考值(5 μg·L^{-1})。可见即使在 Cd 暴露风险最高的长老乡其未成年人 Cd 暴露风险仍较低。各地区不同年龄组之间尿 As、Sb 含量均差异不显著，即不同年龄组之间体内 As、Sb 含量均没有明显差异，这与其他地区有关的研究结果一致[30]。

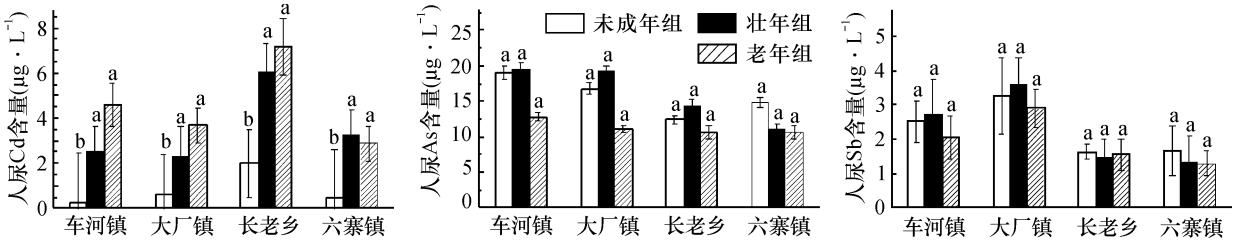

图4 不同年龄段人尿重金属含量对比

Fig. 4 Heavy metal contents in human urine among different age groups

注：图中字母仅用于标注同一地区不同年龄组之间的显著性差异

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.4　人尿中 Cd、As、Sb 相关性分析

用 spearman 双变量相关性检验法对车河镇、大厂镇、长老乡、六寨镇尿样中的 Cd、As、Sb 含量之间的相关性进行检验，结果为 4 个地区 As、Sb 在 0.01 水平上均显著正相关，说明在人尿中这两种元素可能具有同源性。而人尿 Cd 与 As 含量之间、人尿 Cd 与 Sb 含量之间相关性未达到显著性水平。由于在元素周期表中 As 和 Sb 属于同族元素，它们具有相似的化学性质和毒性机制[31]，且在矿物中，As 与 Sb 往往是共存元素，As 污染和 Sb 污染往往共存[32]，所以人尿 As 与 Sb 含量之间显著相关。目前，Sb 污染及治理在中国没有像 As 一样得到足够的重视。

3　结　论

(1) 长老乡人尿 Cd 含量超过参考值的人数所占比例高达 71.43%，该地区的平均含量分别是车河镇、大厂镇和对照区的 2.14 倍、2.84 倍、2.34 倍。车河镇、大厂镇人尿 As 含量分别是对照区的 1.49 倍、1.50 倍，车河镇、大厂镇人尿 Sb 含量分别是对照区的 1.60 倍、2.72 倍。总体而言，矿业活动影响区居民体内重金属水平较高，另外长老乡居民体内 Cd 含量远高于其污染源头——车河镇、大厂镇，应该引起我们的足够重视。

(2) 就研究区域总体而言，人尿 Cd、As、Sb 含量男性、女性均没有显著差异，人尿 As、Sb 含量未成年组、壮年组、老年组之间均没有显著差异，车河镇、大厂镇、长老乡、六寨镇成年人尿 Cd 含量分别是未成年人的 5.28 倍、3.19 倍、2.66 倍、2.66 倍，成年人体内的 Cd 含量远大于未成年人。即使在 Cd 暴露风险最大的长老乡，其未成年人 Cd 暴露风险仍较低。所以对于大多数人群而言重金属暴露风险基本一致，需重点关注成年人的 Cd 暴露风险情况。

(3) 调查区域人尿 As 与 Sb 含量之间均有较明显的相关性，人尿 Cd 与 As 含量之间、人尿 Cd 与 Sb 含量之间不具有显著相关性。Sb 和 As 具有同源性，且它们具有相似的化学性质和毒性机制，Sb 同样对人体危害严重，可利用 As 和 Sb 化学性质的相似性同时处理 As－Sb 的共污染。

参考文献:

[1] 周小勇，雷梅，杨军，等. 某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响[J]. 环境科学，2013，34(9)：3675－3678.

[2] 谢华，刘晓海，陈同斌，等. 大型古老锡矿影响区土壤和蔬菜重金属含量及其健康风险[J]. 环境科学，2008，29(12)：3503－3507.

[3] 邹晓锦，仇荣亮，周小勇，等. 大宝山矿区重金属污染对人体健康风险的研究[J]. 环境科学学报，2008，28(7)：1406－1412.

[4] Goullé J P，Mahieu L，Castermant J，et al. Metal and metalloid multi-elementary ICP－MS validation in whole blood，plasma，urine and hair：reference values[J]. Forensic Science International，2005，153(1)：39－44.

[5] Rashed M N，Hossam F. Heavy metals in fingernails and scalp hair of children，adults and workers from environmentally exposed areas at Aswan，Egypt[J]. Environmental Bioindicators，2007，2(3)：131－145.

[6] Samanta G，Sharma R，Roychowdhury T，et al. Arsenic and other elements in hair，nails，and skin-scales of arsenic victims in West Bengal，India[J]. Science of the Total Environment，2004，326(1)：33－47.

[7] 张素静. 血液和尿液中 34 种元素检测方法及其应用研究[D]. 苏州：苏州大学，2013.

[8] 杨荣兴，庄志雄，蒋海青，等. 镉接触工人尿镉血镉与尿 β_2MG RPB 含量的跟踪研究[J]. 微量元素与健康研究，2006，23(6)：41－44.

[9] 蔡刚刚，张学洪，梁美娜，等. 南丹大厂矿区周边农田土壤重金属健康风险评价[J]. 桂林理工大学学报，2014，34(3)：554－559.

[10] 黄宇妃，宋波，袁立竹，等. 南丹金竹坳尾矿库及周边重金属污染调查与耐性植物筛选[J]. 桂林理工大学学报，2014，34(3)：560－567.

[11] 肖细元，陈同斌，廖晓勇，等. 中国主要含砷矿产资源的区域分布与砷污染问题[J]. 地理研究，2008，27(1)：201－212.

[12] 张丽娥，莫招育，覃健，等. 广西大厂矿区下游农村土壤重金属污染及儿童健康风险评估[J]. 环境与健康杂志，2014，31(6)：512－516.

[13] 宋书巧. 矿山开发的环境响应与资源环境一体化研究——以广西刁江流域为例[D]. 广州：中山大学，2004.

[14] 邓坤，胡振光. 广西南丹矿产资源及可持续发展探讨[J]. 矿产与地质，2010，24(6)：552－556.

[15] 天气网. 南丹历史天气[EB/OL]. (2015－10－01)[2015－12－25]. http://lishi.tianqi.com/nandan/index.html.

[16] 尚琪. 环境镉污染人群健康评价的标准适用问题[J]. 环境与健康杂志，2010，27(9)：830－831.

[17] 宋书巧，梁利芳，周永章，等. 广西刁江沿岸农田受矿山重金属污染现状与治理对策[J]. 矿物岩石地球化学通报，2003，22(2)：152－155.

[18] Wilkinson J M，Hill J，Hillman J P. The accumulation of potentially toxic elements in edible body tissues of lambs grazing after a single application of sewage sludge[J]. Water Research，2003，37(1)：128－138.

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[19] Madrid L, DíAz-Barrientos E, Madrid F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville [J]. Chemosphere, 2002, 49 (10): 1301 - 1308.
[20] Abrahams P W. Soils: their implications to human health [J]. Science of the Total Environment, 2002, 291(1): 1 - 32.
[21] 韦光毅, 柳元, 陈启玲. 柳州市正常人群尿砷的正常参考值 [J]. 职业与健康, 2010, 26 (19): 2208 - 2209.
[22] 李玲, 张国平, 刘虹, 等. 广西大厂矿区土壤 - 植物系统中 Sb、As 的迁移转化特征 [J]. 环境科学学报, 2010, 30 (11): 2305 - 2313.
[23] 李玲, 张国平, 刘虹, 等. 广西大厂多金属矿区河流中 Sb 和 As 的迁移及环境影响 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (6): 682 - 687.
[24] 叶伟, 张玉明, 董丽春. 贵阳市尿锑正常值及其实用意义 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1988, 6 (3): 29.
[25] 覃红浪, 雷珍莲, 胡万达. 应用火焰原子吸收光谱法测定正常人尿锑值 [J]. 工业卫生与职业病, 1996, 22 (4): 240 - 241.
[26] Filella M, Belzile N, Chen Y W. Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence [J]. Earth-Science Reviews, 2002, 57 (1): 125 - 176.
[27] 仲立新, 朱宝立. 职业性镉接触工人尿镉含量的影响因素 [J]. 职业与健康, 2009, 25 (22): 2367 - 2370.
[28] 韩京秀, 胡冀, 孙宏, 等. 我国三个农村非镉污染区人群尿镉水平特征分析 [J]. 卫生研究, 2014, 43 (6): 939 - 943.
[29] 周正敏, 程志, 陈建伟. 健康人群尿镉水平的研究 [J]. 湖北预防医学杂志, 1996, 7 (1): 20 - 21.
[30] 刘碧君, 吴丰昌, 邓秋静, 等. 锡矿山矿区和贵阳市人发中锑、砷和汞的污染特征 [J]. 环境科学, 2009, 30 (3): 907 - 912.
[31] 武汉大学, 吉林大学. 无机化学 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 696.
[32] Gebel T. Confounding variables in the environmental toxicology of arsenic [J]. Toxicology, 2000, 144 (1 - 3): 155 - 162.

Characteristics of Cd, As and Sb in human urine affected by mining activities in Nandan of Guangxi

XU Ting[1a], ZHONG Xue-mei[1b], TIAN Mei-ling[1a], FU Feng-yan[1a], LU Su-fen[1a], YU Yuan-yuan[1a], ZENG Wei-quan[1a], SONG Bo[1a], QIAO Peng-wei[2]

(1. a. College of Environmental Science and Engineering; b. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Center for Environmental Remediation of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: To evaluate the heavy metals in human body from permanent residents affected by mining activities in typical villages of Nandan, the cadmium (Cd), arsenic (As) and antimony (Sb) concentrations in their urine were analyzed. Liuzhai town was chosen as a control area which has received negligible influence from the mining activities. Results show that there are no significant differences in urine Cd, As and Sb concentrations between samples collected in the summer of 2013 and those collected in the autumn of 2014. Thus, the two batches of samples can represent the true value. There are significant differences in Cd, As and Sb concentration between mining activities affected areas and the control area. The average urinary Cd concentration of the subjects form Zhanglao Town exceeds 71.43%, the reference value. The urinary As concentration of the subjects form Chehe Town and Dachang Town is 1.50 times and 1.49 times than that of the control area, respectively. The urinary Sb concentration of the subjects form Chehe Town and Dachang Town is 2.72 times and 1.60 times than that of the control area, respectively. Comparing the Cd, As and Sb concentrations among different groups, no significant difference is found between male and female, or among different ages. The urine Cd concentration between the old group and the prime group is not significantly different, but significantly higher than the minor group. To sum up, the heavy metal level in human body of the permanent residents from the three mining activities affected areas is higher than that in the control area.

Key words: Cadmium; Arsenic; antimony; human urine; mining activities; Nandan

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net