

## · 监测与检验 ·

## 皖江工业城市居民尿液中砷、镉水平及分布

## Urinary levels and distribution of arsenic and cadmium in residents of Wanjiang industrial cities

崔艳杰, 钟琦, 梁岭, 何倩, 杨雨薇, 周孟孟, 胡明军, 黄芬

(安徽医科大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系, 安徽 合肥 230032)

**摘要:** 采用多阶段分层随机整群抽样的方法, 于2014年9月至2015年6月从安徽省三个地区(M、C、T地区)的7个乡镇中纳入2 621名18岁及以上当地居民作为研究对象, 同时对其进行问卷调查以及尿液收集。分别采用电感耦合等离子体发射光谱仪、原子吸收分光光度计分析人群尿液中砷、镉水平。结果显示, 三个地区总人群尿砷、镉的几何均数分别为79.10、1.55  $\mu\text{g/g}$ 。随着年龄的增加, 人群尿砷、镉水平随之增加 ( $P < 0.001$ ); 尿砷水平在吸烟、饮酒特征上具有统计学意义; 在性别、地区、饮用水、燃料类型上尿砷、镉水平均存在统计学差异。提示安徽省工业地区成年居民尿砷、镉水平较其他地区高, 且在个体行为和生活环境特征上的分布均存在差异。

**关键词:** 砷; 镉; 尿液; 工业城市

**中图分类号:** O613.63; O614.242 **文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-221X(2017)03-0230-04

**DOI:** 10.13631/j.cnki.zggyyx.2017.03.028

砷、镉是已知的危害人类健康的微量元素, 已被国际癌症研究机构列为人类确定的致癌物<sup>[1,2]</sup>, 长期暴露于砷、镉会造成皮肤、肝、肾等器官功能的损害<sup>[3,4]</sup>。为了解皖江工业城市中人群砷、镉的暴露水平, 本研究对安徽省处于沿江流域的三个工业化程度较高地区(M、C、T地区)的成年人尿液进行分析, 旨在了解人群体内砷、镉的负荷水平及其影响因素。

## 1 材料和方法

### 1.1 对象

采用多阶段分层随机整群抽样的方法, 于2014年9月至2015年6月选取安徽省三个地区的7个乡镇, 以行政村为单位, 从该7个乡镇中随机抽取18岁及以上当地居民作为调查对象, 对其进行问卷调查以及晨尿的收集。共调查2 871名居民, 其中23名问卷信息不完整, 227名无尿液样本, 最后纳入分析的调查对象共2 621名。本研究通过了安徽医科大学伦理委员会的审查, 所有调查对象均签署了知情同意书。

### 1.2 问卷调查及尿液的收集

采用自编式问卷调查研究对象的性别、年龄、受教育水平、婚姻状况、吸烟、饮酒、饮用水和燃料类型等情况。研究对象完成问卷调查之后, 向其发放尿杯和聚乙烯离心管

于次日清洁中段晨尿的收集。尿液样品收集完成后, 置于 $-80^{\circ}\text{C}$ 冰箱中待检测。

### 1.3 实验室检测

#### 1.3.1 尿砷的检测

**1.3.1.1 仪器与试剂** PerkinElmer公司生产的电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES 7000 DV), 硝酸(优级纯, 65%~68%)。国家有色金属及电子材料分析测试中心配制的多元标准溶液(As, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb, Zn, 浓度为100  $\mu\text{g/ml}$ )。

**1.3.1.2 样品的检测** 采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)进行检测。向5 ml尿液中加入5%稀硝酸混匀后离心5 min, 取上清液进样。实验过程中采用内标法进行检测, 加标回收率在标准品浓度的94%~102%之间, 检测性能良好。尿砷的检出限为2  $\mu\text{g/L}$ 。

#### 1.3.2 尿镉的检测

**1.3.2.1 仪器与试剂** 普析通用原子吸收分光光度计TAS-990(石墨炉), 去离子水, 标准品, 浓度为100  $\mu\text{g/ml}$ ; 质控样, 浓度为2  $\mu\text{g/L}$ (标准品和质控样均购自国家有色金属及电子材料分析测试中心)。基体改进剂: 取1.5 ml的硝酸, 加水稀释, 加入1 g的磷酸氢二铵和0.5 g的硝酸镁, 再用去离子水定容至100 ml。

**1.3.2.2 样品的检测** 采用原子吸收分光光度计TAS-990进行检测。取1.0 ml尿样于试管中, 加3.0 ml基体改进剂, 混匀, 在228.8 nm波长下用石墨炉原子吸收光谱法测定镉的吸光度。根据标准溶液绘制标准曲线计算得到样品浓度。在测定前后和每测定10个样品后, 测定一个质控样(2  $\mu\text{g/L}$ )。尿镉的检出限为0.2  $\mu\text{g/L}$ 。

**1.3.3 样品肌酐检测** 采用美国BECKMAN生物技术有限公司的肌酐检测试剂盒, 仪器为美国BECKMAN DXC800型生化分析仪, 所有操作步骤均按试剂盒说明严格执行。该方法测定的标准曲线线性良好, 相关系数 $r$ 值为0.998。

### 1.4 统计分析

采用EpiData3.1软件对调查问卷数据进行录入以及动态一致性检验, 采用SPSS16.0软件进行统计分析。尿液中微量元素的浓度均采用肌酐浓度进行校正( $\mu\text{g/g}$ ), 低于仪器检测限的尿液样本浓度用检测限/ $\sqrt{2}$ 代替<sup>[5]</sup>。尿液中2种金属元素均为非正态分布, 采用几何均数95%CI值及 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{90}$ 、 $P_{95}$ 表示。两组间的比较采用Mann-Whitney  $U$ 检验, 三组及以上组之间的比较采用Kruskal-Wallis  $H$ 检验, 检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

收稿日期: 2016-12-02

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 81373071)

作者简介: 崔艳杰(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 环境流行病学。

通信作者: 黄芬, 教授, E-mail: fenh@ahmu.edu.cn。

## 2 结果

### 2.1 砷含量

尿液中砷含量经肌酐校正后的几何均数为 79.10  $\mu\text{g/g}$ ，第 50、75、90、95 百分位数的砷浓度分别为 75.09、107.20、167.53、236.34  $\mu\text{g/g}$ 。其中，女性的尿砷水平的几何均数高于男性 ( $P<0.05$ )；随着年龄的增加，居民尿液中砷含量随之增加 ( $P<0.05$ )；吸烟以及饮酒者的尿砷几何均数低于非

吸烟、非饮酒者 ( $P<0.05$ )；以自来水作为饮用水的人群尿砷水平低于使用其他饮用水类型的居民 ( $P<0.05$ )；以煤炭和柴草作为家用燃料类型的居民具有较高的尿砷水平，以电作为主要燃料的居民尿砷几何均数最低 ( $P<0.05$ )；调查的三个地区中，M 地区居民尿砷几何均数最高，达 98.73  $\mu\text{g/g}$ ；T 地区居民尿砷几何均数最低，为 65.14  $\mu\text{g/g}$ 。具体结果见表 1。

表 1 安徽省工业城市居民尿砷水平分布

特征	几何均数 (95%CI)	$P_{50}$	$P_{75}$	$P_{90}$	$P_{95}$	检验值	P 值
性别						5.597	<0.001
男	76.23 (61.86~93.95)	76.17	107.18	169.78	248.51		
女	81.68 (68.16~97.89)	73.79	107.32	165.81	229.21		
年龄 (岁)						26.74	<0.001
18~29	73.56 (71.68~75.47)	70.31	102.07	149.17	204.96		
30~44	75.63 (73.42~77.93)	72.98	99.44	167.41	252.19		
45~59	79.24 (77.40~81.21)	74.31	109.93	164.57	230.49		
$\geq 60$	86.75 (84.23~89.34)	79.78	117.09	192.01	272.64		
饮酒						4.861	<0.001
是	72.23 (70.15~74.38)	67.89	94.29	155.61	213.63		
否	81.09 (79.84~82.36)	77.00	109.95	170.98	248.66		
吸烟						2.842	0.004
是	77.32 (75.13~79.58)	69.58	101.42	165.83	230.99		
否	79.74 (78.51~80.99)	76.92	108.26	169.40	238.70		
自来水						3.917	<0.001
是	78.03 (76.87~79.19)	73.61	105.81	166.72	232.15		
否	87.22 (84.23~90.31)	83.70	114.43	180.19	293.17		
家用燃料类型						41.302	<0.001
煤炭/柴草	85.64 (83.76~87.53)	81.97	118.68	188.08	294.16		
天然气/液化气/煤气	73.87 (72.60~75.11)	69.91	95.72	148.14	210.84		
电	71.88 (64.01~80.72)	70.07	106.55	139.17	341.80		
地区						269.78	<0.001
M 地区	98.73 (96.09~101.40)	92.64	135.69	222.37	351.56		
C 地区	90.04 (87.20~92.94)	86.26	133.38	207.71	297.68		
T 地区	65.14 (64.09~66.20)	65.32	84.94	114.43	147.42		
合计	79.10 (78.02~80.19)	75.09	107.20	167.53	236.34		

### 2.2 镉含量

尿液中镉含量经肌酐校正后的几何均数为 1.55  $\mu\text{g/g}$ ，第 50、75、90、95 百分位数的镉浓度分别为 1.89、4.66、11.03、18.97  $\mu\text{g/g}$ 。女性尿镉的几何均数高于男性 ( $P<0.05$ )；随着年龄的增加，居民尿液中镉含量随之增加 ( $P<0.05$ )；吸烟、饮酒者相对于非吸烟、非饮酒者的尿砷几何均数差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )；以自来水作为饮用水的人群尿镉水平高于使用其他饮用水类型的居民 ( $P<0.05$ )；以煤炭和柴草作为家用燃料类型的居民具有较高的尿镉水平，以电作为主要燃料的居民尿镉几何均数最低 ( $P<0.05$ )；三地区之

间居民尿镉几何均数差异明显，其中以 C 地区最高，达 3.36  $\mu\text{g/g}$ 。具体结果见表 2。

### 2.3 不同性别间吸烟、饮酒与尿砷、镉的关系

在男性中，吸烟者相对于不吸烟者具有较高的尿镉水平 ( $P<0.05$ )；饮酒者尿砷水平低于不饮酒者 ( $P>0.05$ )，而饮酒者的尿镉几何均数高于不饮酒者 ( $P<0.05$ )。在女性中，吸烟者与不吸烟者尿砷的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )，而吸烟者的尿镉高于不吸烟者 ( $P<0.05$ )；在饮酒特征上，居民尿砷、尿镉水平差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。具体结果见表 3。

表2 安徽省工业城市居民尿镉水平分布

μg/g

特征	几何均数 (95%CI)	$P_{50}$	$P_{75}$	$P_{90}$	$P_{95}$	检验值	P值
性别						6.410	<0.001
男	1.28 (1.22~1.35)	1.94	4.77	11.35	20.22		
女	1.82 (1.75~1.91)	1.86	4.57	10.84	18.51		
年龄 (岁)						346.89	<0.001
18~29	0.49 (0.46~0.53)	0.55	1.65	4.66	7.35		
30~44	1.69 (1.58~1.80)	1.93	4.95	11.35	18.07		
45~59	2.25 (2.13~2.37)	2.59	5.33	12.54	20.86		
≥60	2.51 (2.37~2.65)	2.60	5.74	15.91	27.96		
饮酒						0.511	0.609
是	1.55 (1.49~1.61)	1.74	4.15	9.99	16.38		
否	1.55 (1.53~1.57)	1.94	4.82	11.36	20.28		
吸烟						1.669	0.095
是	1.77 (1.67~1.88)	1.88	4.59	11.71	18.30		
否	1.48 (1.42~1.54)	1.89	4.68	10.80	19.55		
自来水						2.870	0.004
是	1.61 (1.56~1.67)	1.96	4.73	11.45	19.51		
否	1.17 (1.06~1.29)	1.34	4.25	8.86	15.47		
家用燃料类型						15.196	0.001
煤炭/柴草	1.78 (1.69~1.87)	2.09	5.86	14.73	27.10		
天然气/液化气/煤气	1.38 (1.32~1.44)	1.75	3.94	7.59	12.90		
电	1.28 (0.95~1.72)	1.40	4.06	13.87	21.17		
地区						133.11	<0.001
M地区	1.16 (1.08~1.24)	1.48	5.65	12.60	18.52		
C地区	3.36 (3.12~3.62)	3.91	11.40	30.83	44.85		
T地区	1.35 (1.30~1.40)	1.72	3.29	5.39	7.05		
合计	1.55 (1.50~1.60)	1.89	4.66	11.03	18.97		

表3 不同性别间吸烟、饮酒与尿砷、镉的关系

μg/g

特征	男性				女性			
	As		Cd		As		Cd	
	几何均数 (95%CI)	检验值	几何均数 (95%CI)	检验值	几何均数 (95%CI)	检验值	几何均数 (95%CI)	检验值
吸烟		0.164		5.986**		0.114		2.251*
是	77.30 (75.01~79.65)		1.69 (1.59~1.80)		77.61 (70.22~85.78)		3.02 (2.51~3.63)	
否	75.11 (72.97~77.32)		0.96 (0.89~1.03)		81.84 (80.35~83.36)		1.79 (1.71~1.87)	
饮酒		2.407*		3.133**		0.800		0.265
是	72.07 (69.97~74.25)		1.51 (1.41~1.61)		73.76 (65.16~83.50)		2.03 (1.68~2.46)	
否	79.35 (77.08~81.70)		1.15 (1.08~1.23)		82.02 (80.56~83.52)		1.82 (1.74~1.90)	

注: \*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ 。

### 3 讨论

砷、镉是常见的环境污染物,广泛应用于医学、农业及工业等领域。研究表明,即使长期低剂量暴露于砷、镉,也会增加患多种慢性病的风险<sup>[6,7]</sup>。尿液中砷、镉含量是一般慢性接触人群体内负荷的判断依据<sup>[8]</sup>。在本研究中,三地区人群尿砷的几何均数为79.10 μg/g,尿镉的几何均数为1.55 μg/g。与其他地区相比,本研究地区人群尿液砷、镉负荷较高。张文丽等针对贵州省赫章县重金属污染地区非职业人群的尿液进行了分析,男女尿砷中位数分别为33.34、37.51 μg/g<sup>[9]</sup>。曾强等对武汉男性尿液的多种微量元素进行了分析,其中尿砷、

镉的几何均数分别为32.35、0.64 μg/g<sup>[10]</sup>。以自来水作为饮用水的居民尿砷水平低于饮用其他类型水的居民,说明居民体内负荷高可能是由于这些地区环境受到了“工业三废”的污染。由于镉的用途相对于砷更广泛,如电镀、颜料、稳定剂、陶瓷制造等,居民除了暴露于工业污染外,还可能通过接触日常生活用品而长期暴露,因此本研究未发现与尿砷类似的结果。

本调查显示,女性尿砷、尿镉水平均高于男性,类似结果已有报道<sup>[5,11]</sup>。目前认为其可能与性别不同而引起的重金属代谢以及体内激素水平不同有关<sup>[12]</sup>。随着年龄的增加,居

民体内砷、镉负荷加重,一方面由于砷、镉元素在体内的蓄积效应,另一方面也反映了当地居民长期处于摄入水平高于排出水平的状态。以煤炭或柴草作为家用主要燃料的居民尿砷、镉均高于其他燃料类型。烟尘是煤炭燃烧产生的主要污染物之一,其颗粒上包裹Pb、As、Cd、Hg等多种有毒有害微量元素<sup>[13]</sup>。而且使用煤炭、柴草作为家用燃料的家庭多属农村居民,其家庭厨房通风环境较差,烟尘尤其是颗粒直径较小的烟尘就会经呼吸道进入机体,造成有害金属的暴露。

本研究中女性尿砷、尿镉水平均高于男性,而女性中吸烟饮酒者所占的比例较少,因此将男女作为一个整体分析可能会低估吸烟、饮酒与尿砷、镉之间的关系。按照性别分层后的分析结果显示,无论在男性还是女性中,吸烟者相对于不吸烟者具有较高的尿镉水平,这与之前田昊渊等报道的吸烟人群的血、尿镉高于非吸烟人群的结论一致<sup>[14]</sup>。另有研究表明,吸烟可使血镉水平升高,每天吸20支香烟,可吸入2~4 μg镉<sup>[15]</sup>。饮酒者相对于不饮酒者具有较低的尿砷水平以及较高的尿镉水平,目前吸烟、饮酒与砷、镉之间的关系还存在争议。

在本次研究的三个地区中,M地区居民尿砷水平相对于其他两个地区较高。从地理位置上来看,M地区位于长江下游地区,而C、T地区位于长江中下游地区。随着水体的迁移,河流底泥中有害元素堆积,造成下游相对于中上游遭受的污染更严重。而居民尿镉的水平在C地区居民中达到最高,这可能与C地区电镀、颜料、塑料、合金、电池业等企业集有关,当地土壤中镉含量均有不同程度的超标<sup>[16]</sup>,T地区与C地区地理位置上接壤,当地环境可能也会受到影响。

本研究提示安徽省工业城市地区居民尿液中砷、镉负荷可能高于其他地区。尿砷、尿镉水平受到行为、环境多方面的影响,但是由于本研究是一个横断面的描述性研究,因此需要长期纵向的随访研究来进一步探讨影响人群体内微量元素的元素。

#### 参考文献:

- [1] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, metals, fibres, and dusts [R]. International Agency for Research on Center, 2012.
- [2] Satarug S, Garrett S H, Sens M A, *et al.* Cadmium, environmental exposure, and health outcomes [J]. *Environ Health Perspect*, 2010,

- 118 (2): 182-190.
- [3] 曹立. 慢性砷暴露与砷毒性的研究新进展 [J]. *医学综述*, 2014, 20 (17): 3161-3163.
- [4] 龚频, 白晓换, 陈福欣, 等. 镉的肝脏毒性研究进展 [J]. *工业卫生与职业病*, 2016, 42 (4): 318-320.
- [5] 丁春光, 潘亚娟, 张爱华, 等. 中国八省份一般人群血和尿液中铅、镉水平及影响因素调查 [J]. *中华预防医学杂志*, 2014, 48 (2): 91-96.
- [6] Steinmaus C, Ferreccio C, Acevedo J, *et al.* High risks of lung disease associated with early-life and moderate lifetime arsenic exposure in northern Chile [J]. *Toxicology & Applied Pharmacology*, 2016, 58 (313): 10-15.
- [7] Tellez Plaza M, Jones M R, Dominguez Lucas A, *et al.* Cadmium exposure and clinical cardiovascular disease: A systematic review [J]. *Current Atherosclerosis Reports*, 2013, 15 (10): 1-15.
- [8] 张洁莹, 柯岫, 成喜雨, 等. 广东省某地区不同年龄段人群镉负荷水平研究 [J]. *环境卫生学杂志*, 2015, 5 (1): 39-43.
- [9] 张文丽, 姚丹成, 冯家力, 等. 有色金属矿区非职业接触人群尿砷含量分析 [J]. *中国公共卫生*, 2012, 28 (1): 85-86.
- [10] Zeng Q, Zhou B, Feng W, *et al.* Associations of urinary metal concentrations and circulating testosterone in Chinese men [J]. *Reproductive Toxicology*, 2013, 41 (6): 109-114.
- [11] Son J Y, Lee J, Paek D, *et al.* Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the Korean population: results from the second Korean national human exposure and bio-monitoring examination [J]. *Environmental Research*, 2009, 109 (6): 738-744.
- [12] Cauli O. Gender differences in neurotoxicity [J]. *Toxicology*, 2013, 311 (1-2): 1-2.
- [13] 范海燕. 煤燃烧超细颗粒物及其重金属生成与分布特征研究 [D]. 浙江大学, 2004.
- [14] 田昊渊, 阎波, 庞妍, 等. 辽宁省一般人群血和尿中镉水平研究 [J]. *中国工业医学杂志*, 2016, 29 (1): 15-19.
- [15] Madeddu R, Solinas G, Forte G, *et al.* Diet and nutrients are contributing factors that influence blood cadmium levels [J]. *Nutrition Research*, 2011, 31 (9): 691-697.
- [16] 许四五. 池州市沿江地区有毒有害重金属调查研究 [J]. *现代农业科技*, 2012, 19 (6): 295-296.

## 紫外可见分光光度法测定尿中百草枯

### Determination of paraquat in urine by ultraviolet visible spectrophotometry

周旋, 冯加武, 黄开发, 刘婕, 孙敬智, 凌瑞杰

(湖北省职业病医院/湖北省中西医结合医院, 湖北 武汉 430015)

**摘要:** 尿中百草枯在碱性溶液中与连二亚硫酸钠反应生成蓝色溶液, 采用紫外可见分光光度计法检测尿中百草枯的

浓度。本方法通过改进, 操作步骤更加简单方便, 重复性好, 在线性范围0~8.0 μg/ml内, 呈线性关系 $r^2=0.9998$ , 平均加标回收率99.43%~102.97%, 相对标准偏差0.62%~2.52%, 方法检出限为0.14 μg/ml。本法可快速定量检测急性中毒患者尿中百草枯的含量, 为临床疑似百草枯中毒病人提供诊断依据, 并有助于临床医生判断百草枯中毒患者的

收稿日期: 2016-11-07

作者简介: 周旋 (1985—), 女, 硕士, 从事职业病防治相关工作。

通信作者: 凌瑞杰, 主任医师, E-mail: ling4240@sina.com。