

## • 专题研究 •

## 铅稳定同位素示踪技术的研究进展

张宏顺, 孟聪申, 孙承业

(中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050)

**摘要:** 铅稳定同位素示踪技术是通过测定各种介质中 4 种铅稳定同位素 ( $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}$ ) 的比值, 来追踪含铅物质来源的技术。目前已经应用于考古、地质勘探、环境污染、食品安全以及医学等专业研究领域, 是进行铅污染暴露来源解析的重要手段。本文就其在相关领域的研究应用进展进行阐述。

**关键词:** 铅; 同位素; 示踪; 考古学; 地质学; 环境污染; 食品安全; 医学

中图分类号: R12 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2014)04-0244-04 DOI: 10.13631/j.cnki.zgggxyx.2014.04.002

## Research progress on lead stable isotope tracer technique

ZHANG Hong-shun, MENG Cong-shen, SUN Cheng-ye

(National Institute of Occupational Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China)

**Abstract:** Lead isotope tracer is such a technique that through the determination of four lead isotope ( $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}$ ) ratio in various medias to track the source of lead compounds. At present, this technique is already widely used in the studies of archaeology, geological exploration, environmental pollution, food safety and medicine. It is a important way of analyzing the sources of lead pollution exposure. This paper will make a brief summarization on the application of the technique on related fields.

**Key words:** lead; isotope; tracer; archaeology; geology; environmental pollution; food safety; medicine

2012 年, 美国疾病预防控制中心发布的儿童铅中毒预防报告中认为, 儿童血铅无安全阈值, 一级预防是儿童铅中毒防控的最主要措施<sup>[1]</sup>。近年来, 我国全面禁止使用含铅汽油, 国内儿童血铅水平已经呈现下降趋势, 但仍显著高于发达国家水平, 儿童铅中毒的防控形势依然不容乐观<sup>[2]</sup>。儿童铅中毒一级预防就是要寻找和消除儿童生活环境周围的铅污染源。铅稳定同位素示踪技术为铅暴露来源解析提供了可能。

## 1 铅及其稳定同位素

自然界铅有 4 种稳定同位素, 分别是  $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}$ 。其中后 3 种分别是  $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$  衰变的最终产物, 这 3 种同位素丰度 (又称天然存在比, 指该同位素在这种元素的所有天然同位素中所占的比例, 丰度的大小一般以百分数表示, 人造同位素的丰度为零) 随着时间而增加;  $^{204}\text{Pb}$  至今尚未发现与哪种母体放射性同位素有关, 其绝对含量不随时间而变化。由于  $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$  和  $^{232}\text{Th}$  的衰变常数不同, 这就决定了其相应的子体同位素  $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  及  $^{208}\text{Pb}$  之间的比值将随时间的增长呈有规律的变化, 但  $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$  衰变成  $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}$  的半衰期都非常长, 分别达到了  $4.51 \times 10^9$  年、 $7.1 \times 10^8$  年和  $1.41 \times 10^{10}$  年<sup>[3]</sup>, 以致在相当长时间内, 自

然界天然物质中的铅稳定同位素组成一般不发生变化。现有不同环境介质的物质来源、成因机制、形成环境及形成时间不一, 故各自具有不同的铅同位素标记特征, 这一特征使铅同位素比值成为含铅物质的一种“指纹”, 由于不同源区铅同位素的组成不同, 因此可利用铅同位素的这种“地球化学指纹”特征来示踪铅的不同来源<sup>[4]</sup>。

铅稳定同位素分析采用的主要检测方法是热电离质谱 (TIMS) 和电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS)<sup>[3]</sup>。TIMS 法是基于同位素稀释法, 要求在超净实验室进行严格的化学分离, 耗时长但数据精度高; ICP-MS 法则可简化样品准备时间, 耗时短但数据精度要略差<sup>[5]</sup>。

## 2 铅稳定同位素示踪技术在医学外领域的应用

## 2.1 铅稳定同位素示踪技术在地质勘探研究中的应用

早在上世纪三四十年代, 国外一些学者就通过测定矿石中铅稳定同位素的组成来计算地球年龄<sup>[6]</sup>。此后, 铅稳定同位素技术在测定矿石年龄、研究矿床成因、矿质来源、成矿时代、演化历史、成矿环境以及矿产勘探等地质领域都得到了广泛应用, 尤其是在地质勘探方面取得了重大突破。

在采矿勘探方面铅同位素示踪技术主要应用在区域上找矿, 圈定大型、超大型矿床产出的远景区; 利用铅同位素打靶法在成矿远景区内优选找矿靶区或在某一具体矿床中圈定矿体产出地段; 铅同位素系统剖面法探法预测隐伏矿深度和评价资源量<sup>[7]</sup>。经过多年的研究发展, 相关研究方法已经形成体系, 主要有铅年龄法 (如模式年龄法、PbSL 等时线年龄法等)、直接对比法、模式图解法、特征参数法、 $\Delta\alpha$ - $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$  图解法等<sup>[8]</sup>。近来, 铅同位素技术研究开始应用于化探与找

收稿日期: 2014-05-22

基金项目: 环保公益性行业科研专项 (涉铅企业周边儿童血铅污染的环境暴露来源解析及防控对策研究, 编号 201109064); 环保公益性行业科研专项 (重金属环境健康风险重点防控区划分及分级技术研究, 编号 2010467046)

作者简介: 张宏顺 (1973—), 男, 副主任医师, 研究方向: 中毒控制。

通讯作者: 孙承业, 研究员, E-mail: pccsun@gmail.com。

矿评价,使用铅同位素三维空间拓扑投影特征值进行隐伏矿深度预测和资源量评价的铅同位素系统剖面化探方法,使铅同位素技术应用得到了新的发展<sup>[7]</sup>。

## 2.2 铅稳定同位素示踪技术在考古研究中的应用

上世纪六七十年代, Bill<sup>[9]</sup> 将铅同位素示踪技术用于玻璃、钱币等物品的考古研究。其后,铅同位素技术在考古领域应用范围迅速扩大,应用在青铜器(包括铜镜)、钱币(包括铜、银、金币)、金属器皿、玻璃、颜料、碳墨、大理石等领域。1984 年,金正耀发表的《晚商中原青铜的矿料来源》是中国学者将铅同位素示踪方法应用于考古学领域的第一篇论文<sup>[10]</sup>。其后这项技术逐渐在我国的青铜器、玻璃、陶器、壁画等考古专业中推广,特别是在商周青铜器考古研究中取得了很多人瞩目的重要成果<sup>[11~13]</sup>。

由于铅的 4 种稳定同位素在古代青铜业的一般冶炼、铸造等加热过程中不会发生分馏,可更好地保留原产地的信息,故通过比较青铜器样品和矿床的铅同位素分析数据,可以进行青铜金属原料来源的产地研究;也可以通过比较各个时代或时期青铜器样品的铅同位素数据,来了解不同时期、不同地区矿山开采利用的盛衰变迁<sup>[12]</sup>。

## 2.3 铅稳定同位素示踪技术在环境污染研究中的应用

上世纪 60 年代, Chow 等<sup>[14]</sup> 就发现洛杉矶盆地的气溶胶中铅同位素组成与乡村降雪类似。其后,铅稳定同位素检测技术逐渐广泛用于各类环境样品,如大气颗粒物、土壤及沉积物、水系沉积物、矿渣、泥炭沉积物和植物等,以监测与示踪污染物铅的来源和变化<sup>[15]</sup>。我国自上世纪 80 年代以来也广泛开展了相关工作,上海、杭州、成都、广东等地均有人进行了本区域大气颗粒物、土壤、水系沉积物、植物以及水生生物等环境介质铅同位素特征的研究<sup>[3,16,17]</sup>。

由于具有不同的铅同位素标记特征,环境物质的铅同位素组成、铅同位素构造环境信息、铅同位素混合模型和源区参数计算结果的有机配合,可强有力地示踪环境物质来源和运移规律<sup>[17]</sup>。应用铅同位素示踪方法应满足 3 个条件,即潜在源区的数据;源区的差异(不同源区的差异显著大于一个源区内的变化)越大,获得的结果越有效;同位素数据精度显著高于源区间的差异<sup>[5]</sup>。铅同位素示踪技术在判定污染物来源,评价重金属污染范围、污染程度、传输途径及迁移速率等方面具有独到的作用,可以弥补以往研究的不足。

## 2.4 铅稳定同位素示踪技术在食品安全研究中的应用

铅稳定同位素示踪技术在食品安全的研究早期主要集中在食品原产地溯源方面。由于不同地区在地质结构、地质年龄和矿物质含量以及地区降水分布上存在差异,造成了不同地区铅的同位素组成不同。植物体内的金属元素大部分来自于土壤及地表水,植物中的铅同位素组成也因此具有了地域标志,可以利用测定铅同位素比值来识别植物的产地<sup>[18]</sup>。

近年来,铅同位素技术的应用范围已经扩大到了茶叶、小麦、水稻、葡萄酒、丹参、谷物、蔬菜等农产品<sup>[19,20]</sup>。随着铅同位素示踪技术研究的深入,人们开始应用定量解析来计算污染源相对贡献率,发现土壤不是造成农作物铅污染的

唯一来源,甚至不是主要来源<sup>[19]</sup>。赵多勇等<sup>[20]</sup> 发现研究区域内大气降尘和耕层土壤对小麦样品铅的贡献率分别为 90% ~ 99% 和 1% ~ 10%,表明大气降尘是小麦籽粒铅的主要来源。

## 3 铅稳定同位素示踪技术在医学领域的应用

### 3.1 国外铅稳定同位素示踪技术在医学领域应用的进展

美国是开展血铅暴露同位素溯源研究工作最早的国家,上世纪 80 年代初期, Yaffe 等<sup>[21]</sup> 对加利福尼亚州奥克兰市部分儿童的血液样品进行了铅同位素检测分析,经过与当地的汽油、土壤、灰尘、油漆、空气以及纸张等环境暴露样品的铅同位素比值比较,发现这些儿童的铅暴露来源最可能是房屋外墙的油漆。其后,美国各地开展了许多血铅暴露来源解析的研究工作<sup>[22~24]</sup>。Rabinowitz<sup>[22]</sup> 对波士顿 3 家医院铅中毒儿童进行了铅来源的调查,测定儿童血液和粪便中铅同位素组成提示主要来源是卧室内的油漆。不同油漆的铅同位素组成差别很大,室内灰尘的铅同位素组成与院子中的土类似,但灰尘中的铅同位素组成与现在汽油并不相同,可能是长期积累的影响。Patel 等<sup>[23]</sup> 对来自阿拉斯加州 2 个城镇的 20 名成年女性进行了铅同位素测定以评估铅的来源,结果发现不同城镇人群的血铅同位素组成明显不同,并且血液中铅的来源不是唯一的,在以狩猎为主要活动和饮食方式的区域,铅弹是其重要来源。这些研究工作大大推动了美国铅中毒的防控工作,含铅汽油、含铅油漆和狩猎铅弹的禁止和限制使用对美国儿童血铅水平的不断下降起到了重要作用。

近 20 年,铅暴露来源解析工作在全球各地逐渐展开。澳大利亚 Gulson B L 等人<sup>[25]</sup> 通过比较某矿区 14 个家庭的生物样品(血液和尿液)与环境样品(包括厨房、天花板以及吸尘器中的灰尘和水等)中的铅同位素组成,发现来自同一个家庭中男性的血铅暴露与其职业有关,女性的血铅暴露主要是汽油、食物和水的混合来源,儿童血铅暴露随着年龄而变化,主要是矿区来源。Chaudhary-Webb 等<sup>[26]</sup> 在墨西哥城抽取 16 名血铅 100  $\mu\text{g/L}$  以上、经常使用铅彩上釉陶瓷器具的女性进行观察,结果发现其血铅 3 个同位素比值( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ) 特征和陶瓷器具具有很强的相关性( $r$  值均在 0.99 以上)。秘鲁 Naeher 等<sup>[27]</sup> 在该国两个城市(Lima and Callao) 对 2510 名儿童血铅水平的调查中使用了铅同位素分析技术,结果表明 Callao 的儿童铅暴露来源更近似于该城附近矿山的矿石,而不是汽油。

### 3.2 国内铅稳定同位素示踪技术在医学领域应用的进展

我国医学界使用铅稳定同位素示踪技术的研究很少,尚处于起步阶段,且大多集中在检测方法建立研究<sup>[28,29]</sup>。在人群应用方面,仅有刘景秀、曾静等人<sup>[30~32]</sup> 在北京、成都、太原和苏州四个城市采集了少量人群的血液、尿液和头发样本进行了铅稳定同位素比值特征的分析,结果发现不同地区的各种人体材料样本的铅稳定同位素比值特征均不相同,并且同一个体的血液、尿液和头发样本的铅稳定同位素比值特征也不相同。但由于相关研究每个区域的人群样本量很小(仅有十余人),并且没有配合人群周围环境状况、饮食生活习惯等相关因素,因而可供借鉴的经验十分有限。

## 4 铅稳定同位素示踪技术在医学领域应用面临的问题及展望

铅稳定同位素示踪技术在医学领域应用时间相对较短,目前大多数研究还局限在使用直接对比法来寻找铅污染源,造成很多研究无法确定主要的污染源。Angle 等<sup>[33]</sup>在美国传统冶炼城市 Omaha 曾经对 21 名 2~3 岁幼儿进行了一项为期 12 个月的研究观察,结果发现幼儿手部尘土擦拭物中的铅同位素比值与其家中窗台和空气的灰尘相似,而其血液和尿液的铅同位素比值要低于手部擦拭物和食物。众所周知,手—口途径和饮食是幼儿铅中毒最主要的暴露途径,Angle 等研究结果却与之相矛盾。另外,由于日常活动接触的铅污染源往往很多,混合铅污染源暴露时单纯使用铅稳定同位素检测技术无法判断出主要污染源。Youssef 等<sup>[34]</sup>在法国选取了 125 名 6 个月至 6 岁、血铅 >20  $\mu\text{g/L}$  的儿童进行研究观察,采集儿童家庭居室内尘土、油漆、室外尘、水等环境样品和血液样品进行铅同位素检测,结果发现 32% 儿童可能为单一铅暴露来源,30% 儿童可以排出单一铅暴露来源,其余儿童无法判定铅暴露主要来源。

随着社会不断进步和生活水平日益提高,除了少数严重铅污染区域外,大多数地区都将是混合铅污染暴露。我们应当借鉴地质勘探、环境污染等领域的研究经验,将数学模型和定量解析等方法用于人群铅暴露来源解析,以更准确找到主要铅污染源。同时,还应将铅稳定同位素技术应用到儿童铅中毒防控措施效果评价中,以不断及时修正防控策略。

## 参考文献:

- [1] The Centers of Disease Control and Prevention. Low Level Lead Exposure Harms Children: A Renewed Call for Primary Prevention [R]. Report of the Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention of the Centers for Disease Control and Prevention, 2012.
- [2] 张金良,何康敏,王舜钦,等. 中国儿童血铅水平及变化趋势研究 [J]. 环境与健康杂志, 2009, 26 (5): 393-398.
- [3] Cheng H, Hu Y. Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: a review [J]. Environ Pollut, 2010, 158 (5): 1134-1146.
- [4] 刘敬勇,罗建中. 元素铅同位素示踪环境中铅污染物来源的研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (8): 3743-3746.
- [5] 常向阳,付善明,陈南,等. 铅稳定同位素示踪在铅污染研究中的应用 [J]. 广州大学学报 (自然科学版), 2012, 11 (3): 86-90.
- [6] 张理刚. 同位素地质研究现状与展望 [J]. 地质与勘探, 1992, 28 (4): 21-29.
- [7] 张建芳,张刚阳. 铅同位素在矿床研究和找矿勘探中的应用综述 [J]. 地质找矿论丛, 2009, 24 (4): 322-328.
- [8] 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,等. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述 [J]. 地质地学化学, 2002, 30 (3): 73-81.
- [9] Brill R H, Shields W R. Lead Isotopes in Ancient Coins, Royal Numismatic Society Special Publication no. 8 (A) [M]. Oxford: Oxford University Press, 1972: 279-303.
- [10] 金正耀. 中国学者的首篇铅同位素考古研究论文 [J]. 文物保护与考古科学, 2004, 16 (4): 64, 66.
- [11] 李晓岑. 从铅同位素比值试析商周时期青铜器的矿料来源 [J]. 考古与文物, 2004, 2: 61-67.
- [12] 金正耀. 铅同位素示踪方法应用于考古研究的进展 [J]. 地球学报, 2003, 24 (6): 548-551.
- [13] 向芳,蒋镇东,张攀. 成都金沙遗址青铜器的化学特征及矿质来源 [J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32 (2): 144-148.
- [14] Chow T J, Johnstone M S. Lead isotopes in gasoline and aerosols of los angeles basin, California [J]. Science, 1965, 147 (3657): 502-503.
- [15] Komárek M, Ettler V, Chrástný V, et al. Lead isotopes in environmental sciences: a review [J]. Environ Int, 2008, 34 (4): 562-577.
- [16] Zhe B Q, Chen Y W, Peng J. Lead isotope geochemistry of the urban environmental in the Pearl River Delta [J]. Applied Geochemistry, 2011, 16 (8): 409-417.
- [17] 尹慧,尹观. 铅稳定同位素在环境污染示踪中的应用和进展 [J]. 广东微量元素科学, 2007, 14 (5): 1-5.
- [18] 张晓静,胡清源,朱凤鹏,等. ICP-MS 测定土壤中铅同位素比值及地域差异性比较 [J]. 分析实验室, 2009, 28 (12): 77-81.
- [19] 赵多勇,魏益民,郭波莉,等. 铅同位素比率分析技术在食品污染源解析中的应用 [J]. 核农学报, 2012, 25 (3): 534-539.
- [20] 赵多勇,魏益民,魏帅,等. 小麦籽粒铅污染来源的同位素解析研究 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (8): 258-262.
- [21] Yaffe Y, Flessel C P, Wesolowski J J, et al. Identification of lead sources in California children using the stable isotope ratio technique [J]. Arch Environ Health, 1983, 38 (4): 237-245.
- [22] Rabinowitz M B. Stable isotope mass spectrometry in childhood lead poisoning [J]. Biol Trace Elem Res, 1987, 12 (1): 223-229.
- [23] Patel M M, Adrienne H, Jones R, et al. Use of lead isotope ratios to identify sources of lead exposure in Alaska Natives [J]. Int J Circumpolar Health, 2008, 67 (2-3): 261-268.
- [24] Gwiazda R H, Smith D R. Lead isotopes as a supplementary tool in the routine evaluation of household lead hazards [J]. Environ Health Perspect, 2000, 108 (11): 1091-1097.
- [25] Gulson B L, Howarth D, Mizon K J, et al. Source of lead in humans from Broken Hill mining community [J]. Environ Geochem Health, 1994, 16 (1): 19-25.
- [26] Chaudhary-Webb M, Paschal D C, Romieu I, et al. Determining lead sources in Mexico using the lead isotope ratio [J]. Salud Publica Mex, 2003, 45 (Suppl 2): S183-188.
- [27] Naeher L P, Rubin C S, Hernandez-Avila M, et al. Use of isotope ratios to identify sources contributing to pediatric lead poisoning in Peru [J]. Arch Environ Health, 2003, 58 (9): 579-589.
- [28] 曾静,王晓燕,刘虎生,等. CAIS 法校正 ICP-MS 测定血铅浓度及同位素比值基体效应的研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27 (2): 374-377.
- [29] 李惠玲,周博,张宏顺,等. 血铅浓度和铅同位素比值同时测定的电感耦合等离子体质谱法 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2013, 31 (12): 971-973.
- [30] 刘景秀,曾静,王晓燕,等. 成人血和尿铅浓度和同位素比值的的关系及地域影响研究 [J]. 中国食品卫生杂志, 2007, 19

- (4): 297-299.
- [31] 曾静, 王京宇, 刘雅琼, 等. ICP-MS 分析四城市血铅浓度及同位素指纹地区特征 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31 (11): 3101-3104.
- [32] 刘景秀, 王晓燕, 曾静, 等. 同体儿童血、发铅浓度及同位素比值研究 [J]. 卫生研究, 2009, 38 (3): 375-377.
- [33] Angle C R, Manton W I, Stanek K L, *et al.* Stable isotope identification of lead sources in preschool children—the Omaha study [J]. J Toxicol Clin Toxicol, 1995, 33 (6): 657-662.
- [34] Youssef Oulhote, Barbara Le Bot, Joel Poupon, *et al.* Identification of sources of lead exposure in French children by lead isotope analysis: a cross-sectional study [J]. Environ Health, 2011, 10: 75-84.

## 尿液基质效应对尿铅含量检测的影响

马婧<sup>1</sup>, 李惠玲<sup>1</sup>, 周博<sup>1</sup>, 董芳<sup>1</sup>, 张宏顺<sup>2</sup>

(1. 首都医科大学附属北京朝阳医院职业病与中毒医学科, 北京 100020; 2. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050)

**摘要:** 目的 探讨尿液不同基质对尿铅含量检测的影响。方法 将尿铅样品按浓度分成 3 个区间, 低浓度 ( $< 100 \mu\text{g/L}$ )、中浓度 ( $100 \sim 1000 \mu\text{g/L}$ ) 和高浓度 ( $\geq 1000 \mu\text{g/L}$ ), 采用不同稀释方法处理样品后, 用石墨炉原子吸收光谱法进行测定。结果 尿液样品稀释倍数大于 10 倍时, 尿液基质改变使得尿铅测定结果明显低于实际浓度; 不同稀释方法对尿铅检测结果影响很大, 加入正常人尿样稀释处理后, 尿铅检测回收率最好 ( $95.5\% \sim 101.8\%$ )。结论 加入正常人尿样对尿液样品进行稀释处理, 可最大程度地减少基质效应对尿铅检测的影响。

**关键词:** 尿铅; 石墨炉原子吸收光谱法; 样品稀释

中图分类号: R446.12 文献标识码: A 文章编号: 1002-221X(2014)04-0247-03 DOI: 10.13631/j.cnki.zgggxyx.2014.04.003

### Effect of urine matrix constituents on determination of urine lead

MA Jing\*, LI Hui-ling, ZHOU Bo, DONG Fang, ZHANG Hong-shun

(\* . Department of Occupational Disease and Toxication, Chaoyang Hospital Affiliated to Capital University of Medical Sciences, Beijing 100020, China)

**Abstract:** **Objective** To explore the effects of urine matrix constituents on the determination of urine lead. **Methods** According to the concentration of lead, urine samples were divided into three levels: low concentration ( $< 100 \mu\text{g/L}$ ), medium concentration ( $100 \sim 1000 \mu\text{g/L}$ ) and high concentration ( $\geq 1000 \mu\text{g/L}$ ), treated with different dilution method, then measure lead contents in urine samples by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Results** The results showed that when the dilution time of urine samples was bigger than ten, the determination result of urine lead would be obviously lower than real level because of changes of urine matrix. Dilution method had obvious effect on determination result of urine lead, the best way was dilute the sample with normal human urine, the recovery rate of urine lead might reach  $95.5\% \sim 101.8\%$ . **Conclusion** Using normal human urine as diluting agent, could extremely decrease the effect of matrix constituents on the determination of urine lead.

**Key words:** urine lead; graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS); sample dilution

尿铅是诊断铅中毒和评价治疗效果最重要指标, 也是职业性接触铅的重要生物监测指标, 能够敏感反映近期人体铅接触的水平, 是观察驱铅效果的最可靠指标<sup>[1-3]</sup>。在临床诊断性驱铅试验和用药治疗过程中发现, 铅中毒患者的尿铅浓度大多高于  $1000 \mu\text{g/L}$ , 甚至高达  $10000 \mu\text{g/L}$  以上。如果参照国家卫生标准《石墨炉原子吸收光谱法》(WS/T18—1996), 用 1% 硝酸稀释尿铅样品, 当稀释倍数在 10 倍以上, 基质会发

生明显变化, 出现测定结果远远低于实际浓度的情况, 有时反复改变稀释倍数, 都不能得到满意结果。本研究拟采用不同稀释方法对低、中、高 3 个浓度区间的尿铅样品进行处理, 寻找对尿铅检测影响最小的方法。

#### 1 材料与方法

##### 1.1 仪器

AA-6800 原子吸收分光光度计、铅空心阴极灯 (日本岛津), 纯水器 (法国 Millipore)。

##### 1.2 试剂

去离子水 (电阻率  $18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ );  $1000 \mu\text{g/ml}$  铅元素标准溶液 (GBW08619, 国家标准物质中心); 氯化钡溶液: 称取  $0.33 \text{ g}$  氯化钡粉末 (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司), 加微热溶于  $10 \text{ ml}$  硝酸, 用水稀释至  $500 \text{ ml}$  (放置过夜后使用); 硝酸 (BV-III 级, 北京化学试剂研究所); 模拟尿:

收稿日期: 2014-05-22

基金项目: 环保公益性行业科研专项 (重金属环境健康风险重点防控区划分及分级技术研究, 编号 2010467046); 环保公益性行业科研专项 (涉铅企业周边儿童血铅污染的环境暴露来源解析及防控对策研究, 编号 201109064)

作者简介: 马婧 (1980—), 女, 主管技师, 研究方向: 毒化检测。

通讯作者: 张宏顺, 副主任医师, E-mail: lswlpd@yeah.net。