

# 锡及其无机化合物的毒性及测定方法研究进展

陈纠<sup>1,2</sup>, 吴诗华<sup>1,2</sup>, 郭晓婧<sup>1</sup>, 刘移民<sup>1,2</sup>

**摘要:** 锡及其无机化合物是工作、生活中经常接触到的物质,不同锡化合物的毒性迥然不同。本文对锡及其无机化合物的接触机会、代谢途径、毒性作用、职业接触限值及参考值分别做了概述,并对国内外检测方法作了介绍。

**关键词:** 锡; 无机化合物; 测定方法; 毒性; 生理作用

**Research Progress on Toxicity and Detection Methods of Tin and Inorganic Tin Compounds** CHEN Jiu<sup>1,2</sup>, WU Shi-hua<sup>1,2</sup>, GUO Xiao-jing<sup>1</sup>, LIU Yi-min<sup>1,2</sup> (1.Guangzhou Hospital of Prevention and Treatment for Occupational Diseases, Guangzhou, Guangdong 510620, China; 2.School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510080, China). Address correspondence to LIU Yi-min, E-mail: ymliu61@163.com · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

**Abstract:** In our lives and work, tin and its inorganic compounds are the materials that we are often exposed to. There are very significant differences in the toxicity of different compounds of tin. This paper gave an overview of exposure chances, metabolic pathways, toxicities, and occupational exposure limits and reference values of tin and its inorganic compounds. The methods for detection of tin and its inorganic compounds were introduced as well.

**Key Words:** tin; inorganic compound; detection method; toxicity; physiological function

锡是人类最早接触的职业危害因素之一(金属冶炼),早在远古时代,人们便发现并使用了锡。随着工业的发展,锡越来越多见于职业接触和日常生活。对于空气、食品中的无机锡,国内外均有标准测定方法;然而作为一种常见的微量元素,直到现在我国尚无血液、尿液中锡的正常参考值范围以及职业接触生物限值,也无标准测定方法,此外,现有的行业内方法由于灵敏度偏低并不能满足实际工作的需要。为了更深入地了解总锡及其测定方法,本文以近年来关于锡毒性以及检测方法的文献为基础,综述其研究进展。

## 1 锡及其无机化合物的接触机会及代谢途径

锡是常见的金属元素,在空气中稳定,能被强酸、强碱和酸式盐侵蚀,在空气中加热生成二氧化锡,与

碱性氧化物生成锡酸盐<sup>[1]</sup>。常见的无机锡化合物还包括氯化亚锡、氯化锡、硫酸锡、锡酸钾等。

人体主要是通过食物摄入锡,一般食物中的锡含量很低,食品中的锡主要来源于接触锡容器和器皿。锡常用于焊接金属,用锡的合金(例如锡锌合金)作为水闸部件保护壳,锡镉合金作为机器部件的涂料。锡的无机化合物常用于纺织工业以及玻璃、搪瓷等工业。这些行业工人以及锡矿的开采、冶炼工均有较多机会接触锡及其无机化合物<sup>[2]</sup>。

锡摄入后经消化道吸收很少,即使是摄入酒石酸锡钠这种可溶性的无机锡化合物,其剂量的90%以上亦通过粪便排出<sup>[2]</sup>。锡进入人体后,经血液分布于人体如肾、肝、胸腺等许多器官中,骨是无机锡的主要蓄积处。研究表明,每天摄入超过130 mg,锡将会在肝脏和肾脏中积蓄<sup>[3]</sup>。被吸收的无机锡主要从尿中排出,部分由胆汁排出<sup>[2]</sup>。

## 2 锡的生理作用及毒性

直到20世纪70年代,人们才发现锡也是人体不可缺少的微量元素之一,它对人们进行各种生理活动和维护人体健康有重要的影响。但锡摄入过多会发生中毒,1988年联合国粮食与农业组织/世界卫生组织

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.15295

[基金项目] 广州市民生科技专项(编号: 2014Y2-00067); 广州市职业环境与健康效应重点实验室建设专项(编号: 2014SY000020)

[作者简介] 陈纠(1981—),男,本科;研究方向:职业卫生检测; E-mail: chenjiucj@163.com

[通信作者] 刘移民, E-mail: ymliu61@163.com

[作者单位] 1.广州市职业病防治院,广东 广州 510620; 2.中山大学公共卫生学院,广东 广州 510080

的食品添加剂联合专家委员会专家会议推荐锡的允许摄入量(以体重计)为14mg/(kg·周)。

锡主要的生理功能表现在抗肿瘤方面。因为锡在人体的胸腺中能够产生抗肿瘤的锡化合物,抑制癌细胞的生成。有研究发现乳腺癌、肺肿瘤、结肠癌等疾病患者的肿瘤组织中锡含量比较少,低于其他正常的组织。此外,锡还促进蛋白质和核酸的合成,有利于身体的生长发育;并且组成多种酶以及参与黄素酶的生物反应,能够增强体内环境的稳定性。

一般认为无机锡及其化合物的毒性较小。锡及其化合物烟尘可刺激眼睛、皮肤、呼吸系统。国内外均无无机锡慢性毒性的报道。在低pH值条件下,长期存放的锡罐装食品或饮料会溶出大量无机锡,当人短时间内大量摄入( $10^2 \sim 10^3$  mg/kg),引起的症状大多限于肠胃不适,如恶心、腹痛和呕吐,多余的锡被迅速排出体外,并没有长期的负面健康影响或毒性作用报道。少数无机锡化合物毒性较大,如氯化亚锡可引起动物瘫痪死亡;吸入四氢化锡后可致动物痉挛并引起中枢神经系统损害<sup>[2]</sup>。此外有研究表明,氯化亚锡对斑马鱼具有致畸和基因毒性作用<sup>[4]</sup>。

### 3 锡及其无机化合物(总锡)的主要检测方法

#### 3.1 分光光度法

苯芴酮法是测定食品中锡的一种国标方法<sup>[5]</sup>。康贞子等<sup>[6]</sup>研究了苯芴酮-溴化十六烷基吡啶-锡体系显色反应测锡方法,该方法对食品中锡的国标方法苯芴酮法做了改进,具有灵敏度高、操作简便、快速、稳定、选择性好等优点。

#### 3.2 原子吸收光谱法(AAS)

根据原子化器的不同,主要分为火焰原子吸收光谱法和石墨炉原子吸收光谱法。

**3.2.1 火焰原子吸收光谱法** 常用于水、滤膜等样品的检测。职业卫生标准GBZ/T 160.22—2004《工作场所空气有毒物质测定 锡及其化合物》<sup>[7]</sup>就是用火焰原子吸收法测定空气中锡及其化合物。但该标准方法在实际应用中存在加标回收率偏低的情况,故应英等<sup>[8]</sup>提出采用盐酸和硝酸的混合酸对滤膜锡进行消解,黄忠科等<sup>[9]</sup>提出直接用盐酸消解样品,然后用火焰原子吸收光谱法对样品进行直接测定,两种前处理均简便且具有较高的回收率。

**3.2.2 石墨炉原子吸收光谱法** 石墨炉原子吸收光谱法灵敏度高,并能用于许多成分复杂的样品和某些固

体样品的直接分析。de Azevedo等<sup>[10]</sup>建立了用钼/镁作为化学改进剂测定全血和尿中锡的石墨炉原子吸收光谱法,用 $t$ 检验分析,在95%可信区间内,实验检测值和标准参考值之间达到较好的一致。

**3.2.3 流动注射氢化物发生-原子吸收光谱法** Tsogas等<sup>[11]</sup>研究了3种基于不同原理的富集技术(阳离子交换、物理吸附和疏水性提取)的石墨炉氢化物发生原子吸收光谱法,来测定天然地表水中镉(Cd)、铅(Pb)和锡(Sn),检出限可低至0.003~0.025  $\mu\text{g/L}$  (Cd<sup>2+</sup>)、0.05~0.10  $\mu\text{g/L}$  (Pb<sup>2+</sup>)和0.10~0.25  $\mu\text{g/L}$  (Sn<sup>4+</sup>)。

#### 3.3 原子荧光光谱法(AFS)

原子荧光光谱法灵敏度高,在国内应用广泛。袁金华等<sup>[12]</sup>建立了氢化物发生-原子荧光光谱法同时测定涉水管材中锑和锡的方法,该法简单快捷,省时省力省试剂,结果准确。原子荧光光谱法也常用于生物材料中锡的测定。例如,袁百利和陈爱国<sup>[13]</sup>采用原子荧光光谱法测定人血、尿中的锡,该方法操作简单,灵敏度高,干扰小,精密度、回收率、最低检出限等测定指标均令人满意。

#### 3.4 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES/ICP-OES)

何梅和胡军凯<sup>[14]</sup>以氢氧化钾、硝酸钾熔融,在氨水-氯化铵介质中用氢氧化铁共沉淀分离和富集锡、碲后,在标准系列中加入铁进行基体匹配,用电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铜阳极泥和分银渣中锡、碲含量,方法简单快速,易于掌握。Rončević等<sup>[15]</sup>采用氢化物发生电感耦合等离子体原子发射光谱法测定罐装水果和蔬菜样品中锡含量,具有良好的线性、灵敏度以及加标回收率,并成功地检测到样品中存在低浓度锡。

#### 3.5 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

丘红梅等<sup>[16]</sup>代表性地采集深圳海域5个海区海产品,样品经硝酸和过氧化氢微波消解体系消解后,用电感耦合等离子体质谱法测定总锡含量。

#### 3.6 电化学法

常见的有溶出伏安法和极谱法。例如, Monticelli等<sup>[17]</sup>建立了一个改善的差分脉冲伏安法来测定锡,可不受其他稀有金属的干扰。极谱法是通过测定电解过程中所得到的极化电极的电流-电位(或电位-时间)曲线来确定溶液中被测物质浓度的一类电化学分析方法。李朝均等<sup>[18]</sup>用单扫描示波极谱法,利用在硫酸-草酸介质中, Sn<sup>4+</sup>-二苯胍体系可产生灵敏的络合

吸附波的原理,建立了锡的测定方法;可用于硬聚氯乙烯饮用水管材和管件锡及水中微量锡的测定,结果满意。

3.7 其他测定方法

锡及其化合物的测定还有一些不太常见的方法,如滴定分析法、共振散射光谱法、气相分子吸收光谱法、荧光光度法、X射线荧光光谱法等,也有见报道。王献科和李玉萍<sup>[19]</sup>提出了测定锡铅焊料中锡量的络合返滴定法,通过采用混合酸(盐酸-硝酸)溶解样品,加过量的乙二胺四乙酸(EDTA)络合锡、铅等元素,再用六次甲基四胺将溶液的pH调至5.5,以二甲酚橙

为指示剂,用氯化锌标准溶液返滴与锡络合且释放出来的EDTA,测得锡含量。李少旦等<sup>[20]</sup>利用在pH4.3的缓冲介质中,痕量Sn<sup>4+</sup>对氯酚红-人血白蛋白-十二烷基硫酸钠体系的共振散射光谱有明显的减弱作用,共振散射强度的减弱程度(ΔI)与Sn<sup>4+</sup>的质量浓度之间呈线性关系,建立了环境水样中痕量Sn<sup>4+</sup>的测定方法。Cabredo等<sup>[21]</sup>建立了一个用冷阱系统同时测定砷、锑、硒、锡的连续氢化物发生气相分子吸收光谱法。

国外常见的生物材料中无机锡检测方法及检出限见表1<sup>[22]</sup>。

表1 生物材料中无机锡化合物的分析方法

| 样品类型 | 前处理方法              | 分析方法            | 检出限(μg/L)     | 回收率(%) |
|------|--------------------|-----------------|---------------|--------|
| 生物材料 | 生物材料消化             | 原子光谱法           | 无数据           | 无数据    |
| 尿    | 氧化性酸消化,提取酮作为铜铁灵螯合物 | 比色法             | <50           | 98~106 |
| 尿    | 灰化的二硫代氨基甲酸基团聚合树脂提取 | 电感耦合等离子体原子发射光谱法 | 2             | 100±10 |
| 食物   | 氧化性酸消化             | 原子吸收光谱法         | 无数据           | 无数据    |
| 尿    | 树脂、灰树脂提取           | 电感耦合等离子体原子发射光谱法 | 0.1 μg/sample | 100    |
| 食物   | 硝酸和高氯酸湿式消化         | 原子吸收光谱法         | 2.5           | 无数据    |
| 尿    | 硝酸酸化               | 电感耦合等离子体质谱      | 0.05          | 95.5   |

表1中可以看出,国外测定总无机锡的主要方法是ICP-AES、AAS,比色法灵敏度太低,ICP-AES和AAS的灵敏度相当,ICP-MS的方法灵敏度最高,最适合于检出限要求高的生物材料中无机锡的检测。

4 国内外无机锡的标准检测方法现状

对于空气中的总锡,美国职业安全与健康管理局的相关标准方法是火焰原子吸收光谱法<sup>[23]</sup>以及电感耦合等离子体发射光谱法<sup>[24]</sup>,我国国家标准方法是火焰原子吸收光谱法<sup>[7]</sup>。对于食品中的总锡,国际食品标准的标准方法是石墨炉原子吸收光谱法,我国的国标方法是氢化物原子荧光光谱法和苯茚酮比色法<sup>[5]</sup>。伦敦健康科学中心测定尿锡的方法为高分辨扇形磁场电感耦合等离子质谱法<sup>[25]</sup>。

虽然国内空气和食物中总锡的测定方法已经有较多的研究,且已有成熟的检测标准方法,但是血液、尿液中锡的测定方法由于检出限要求较高,以及仪器的限制,国内尚未建立血液、尿液中锡测定的标准方法。尿中锡的测定目前主要参照《工作场所有害物质监测方法》中尿中锡的石墨炉原子吸收光谱法<sup>[26]</sup>进行。该方法以磷酸氢二铵作为基体改进剂,以0.1 mL尿加0.9 mL基体改进剂混匀后直接进样检测,其最低检出

浓度为4.8 μg/L,远大于伦敦健康科学中心给出的正常参考值(0.5~5.0 μg/L)的低值<sup>[25]</sup>。而且该方法原子化温度过高(2 700℃),接近大多数石墨管的最高耐受温度,容易引起记忆效应,并减低石墨管寿命。

ICP-MS的灵敏度高,是测定生物材料中锡的比较理想的检测方法,但是其成本高,现阶段在国内难以推广。AAS、AFS也是较好的选择,文献报导AFS的检出限可达到0.09 μg/L<sup>[27]</sup>。AFS测定血液中锡一般需要对血液进行微波消解处理,需要的血液量较大(约2 mL),需加的酸也较大,而且进行赶酸处理时,需要控制好赶酸的温度等因素,即使如此,其加标回收率仍然容易受到影响,而且赶酸的时间较长。而AAS的检出限受到较多因素(基体改进剂、扣背景技术等)的限制,随着石墨炉原子吸收光谱法技术的不断改进,以及不同基体改进剂的配合使用,理论上可更好地提高灵敏度。这两个方法各有其优缺点,在国内普及,成本低,有可能发展为生物材料中锡的标准测定方法。

5 国内外职业接触限值及参考值

美国职业安全与健康管理局制定了锡(非有机锡)的时间加权平均容许浓度(PC-TWA)为2 mg/m<sup>3</sup><sup>[28]</sup>。澳

大利亚、芬兰、韩国、比利时等国家均制定锡(非有机锡)的PC-TWA为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ,挪威的PC-TWA为 $1\text{mg}/\text{m}^3$ ,荷兰的最高容许浓度为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[29]</sup>。我国制定工作场所空气中的二氧化锡(按Sn计)的PC-TWA为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ <sup>[30]</sup>,超限倍数为2.5。伦敦健康科学中心给出的尿锡正常参考值为 $0.5\sim 5.0\mu\text{g}/\text{L}$ (随机尿),或者 $1.0\sim 7.0\mu\text{g}/\text{d}$ (24h尿)<sup>[25]</sup>。国内尚无尿锡的正常参考值范围。此外,国内外均未查找到有血液、尿液锡的职业接触生物限值。鉴于我国的饮食情况、地质、水土与国外不一致,以及职业卫生的现状,即接触人口多、浓度高、防护落后,有必要建立与我国实际情况相匹配的血液、尿液中锡的正常参考值以及职业接触生物限值。

综上所述,锡的不同化合物,其毒性差异非常大,而且锡还是人体必需的微量元素。查阅文献后,发现比较常见的痕量锡(总锡)的测定方法有原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子体原子发射光谱法、电感耦合等离子体质谱法等,其他方法如分光光度法、电化学法等也见于锡的测定。其中,空气、食物中总锡有较多的文献发表,有较成熟的方法,且国内外均有标准检测方法和参考值;而生物样品由于成分复杂,对仪器、方法要求较高,国内目前没有生物材料中锡的标准测定方法,也没有人体中锡的正常参考值。建立与我国实际情况相匹配的标准方法和正常参考值是非常有必要和有意义的。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

## 参考文献

- [1] 蔡剑秋,陈逢阳,肖振华,等.化学化工大辞典[M].北京:化学工业出版社,2003:2436.
- [2] 何凤生,王世俊,任引津.中华职业医学[M].北京:人民卫生出版社,1999:283-288.
- [3] Winship KA. Toxicity of tin and its compounds[J]. Adverse Drug React Acute Poisoning Rev, 1988, 7(1): 19-38.
- [4] Şişman T. Early life stage and genetic toxicity of stannous chloride on zebrafish embryos and adults: toxic effects of tin on zebrafish[J]. J Occup Health, 2011, 53(3): 175-187.
- [5] 中华人民共和国卫生部.食品中锡的测定:GB/T 5009.16—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [6] 康贞子,朴斗铉,李洪宇.苯芴酮-溴化十六烷基吡啶-锡三元体系高灵敏显色反应测定食品中微量锡[J].中国卫生检验杂志,2007,17(10):1891-1892.
- [7] 中华人民共和国卫生部.工作场所空气有毒物质测定 锡及其化合物:GBZ/T 160.22—2004[S].北京:人民卫生出版社,2006.
- [8] 应英,汤璠,冯靓,等.原子吸收法测定滤膜中锡的方法学研究[J].中国卫生检验杂志,2011,21(9):2181-2182.
- [9] 黄忠科,艾中元,宋为丽,等.火焰原子吸收分光光度法测定工作场所空气中锡及其化合物[J].中国卫生检验杂志,2009,19(8):1932-1933.
- [10] de Azevedo SV, Moreira FR, Campos RC. Direct determination of tin in whole blood and urine by GF AAS[J]. Clin Biochem, 2013, 46(1/2): 123-127.
- [11] Tsogas GZ, Giokas DL, Vlessidis AG. Graphite furnace and hydride generation atomic absorption spectrometric determination of cadmium, lead, and tin traces in natural surface waters: study of preconcentration technique performance[J]. J Hazard Mater, 2009, 163(2/3): 988-994.
- [12] 袁金华,陈辉,于平胜,等.原子荧光光谱法同时测定涉水管材中锑和锡[J].中国卫生检验杂志,2011,21(11):2642-2644.
- [13] 袁百利,陈爱国.原子荧光光谱法测定人血、尿中锡[J].中国卫生检验杂志,2004,14(2):211-212.
- [14] 何梅,胡军凯.电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定铜阳极泥和分银渣中锡、锑的含量[J].中国无机分析化学,2012,2(2):45-48.
- [15] Rončević S, Benutić A, Nemet I, et al. Tin content determination in canned fruits and vegetables by hydride generation inductively coupled plasma optical emission spectrometry[J]. Int J Anal Chem, 2012: 376-381.
- [16] 丘红梅,邓利,张慧敏,等.微波消解/ICP-MS法测定海产品中总锡[J].实用预防医学,2007,14(3):614-616.
- [17] Monticelli D, Psaro R, Pozzi A, et al. Differential pulse voltammetric determination of tin in the presence of noble metals[J]. Anal Bioanal Chem, 2005, 383(1): 115-121.
- [18] 李朝均,黄淑英.锡的示波极谱法测定[J].预防医学情报杂志,1999,15(1):1-2.
- [19] 王献科,李玉萍.用TGA作释放剂选择性螯合滴定法测定锡[J].电镀与环保,1994,14(2):33-34.
- [20] 李少旦,李延志,李木兰.共振散射光谱法测定环境水样中痕量锡(Ⅱ)[J].理化检验(化学分册),2008,44(10):994-995,998.
- [21] Cabredo S, Galbán J, Sanz J. Simultaneous determination of arsenic, antimony, selenium and tin by gas phase molecular absorption spectrometry after two step hydride generation and

(下转第76页)

- Respir Crit Care Med, 2001, 22(4): 435-448.
- [8] Cugell DW, Morgan WX, Perkins DG, et al. The respiratory effects of cobalt[J]. Arch Intern Med, 1990, 150(1): 177-183.
- [9] Naqvi AH, Hunt A, Burnett BR, et al. Pathologic spectrum and lung dust burden in giant cell interstitial pneumonia( hard metal disease/cobalt pneumonitis): Review of 100 Cases[J]. Arch Environ Occup Health, 2008, 63(2): 51-70.
- [10] 吴西雅.特殊影像学表现的巨细胞间质性肺炎1例[J].中国医药导报, 2009, 6(35): 130.
- [11] 李西西, 陈艳霞, 陈晓文, 等.硬金属肺病的临床特点[J].中华劳动卫生职业病杂志, 2015, 33(5): 387-391.
- [12] Shirakawa T, Kusaka Y, Fujimura N, et al. Occupational asthma from cobalt sensitivity in workers exposed to hard metal dust[J]. Chest, 1989, 95(1): 29-37.
- [13] Della Torre F, Cassani M, Segale M, et al. Trace metal lung diseases: a new fatal case of hard metal pneumoconiosis[J]. Respiration, 1990, 57(4): 248-253.
- [14] Enriquez LS, Mohammed TL, Johnson GL, et al. Hard metal pneumoconiosis: a case of giant-cell interstitial pneumonitis in a machinist[J]. Respir Care, 2007, 52(2): 196-199.
- [15] 刘云, 代静泓, 苗立云, 等.巨细胞间质性肺炎两例报道及文献复习[J].中国呼吸与危重监护杂志, 2011, 10(4): 350-353.
- [16] Nureki S, Miyazaki E, Nishio S, et al. Hard metal lung disease successfully treated with inhaled corticosteroids[J]. Intern Med, 2013, 52(17): 1957-1961.
- [17] 王穆兰, 刚葆琪.现代劳动卫生学[M].北京: 人民卫生出版社, 1994: 152-156.
- [18] Okuno K, Kobayashi K, Kotani Y, et al. A case of hard metal lung disease resembling a hypersensitive pneumonia in radiological images[J]. Intern Med, 2010, 49(12): 1185-1189.
- [19] Davison AG, Haslam PL, Corrin B, et al. Interstitial lung disease and asthma in hard-metal workers: bronchial veolar lavage, ultrastructural, and analytical findings and results of bronchial provocation tests[J]. Thorax, 1983, 38(2): 119-128.
- [20] Potolicchio I, Mosconi G, Forni A, et al. Susceptibility to hard metallung disease is strongly associated with the presence of glutamate 69 in HLA-DPI3 chain[J]. Eur J Immunol, 1997, 27(10): 2741-2743.
- (收稿日期: 2015-04-15)
- (英文编辑: 汪源; 编辑: 张晶; 汪源; 校对: 郑轻舟)

(上接第68页)

- preconcentration in a cold trap system[J]. Talanta, 1998, 46(4): 631-638.
- [22] U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for tin and tin compounds[EB/OL].(2005-8)[2015-08-16]. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp55.pdf>.
- [23] Occupational Safety and Health Administration. Metal & metalloid particulates in workplace atmospheres(atomic absorption). OSHA Method ID-121[EB/OL].(2002-2)[2015-08-16]. <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id121/id121.pdf>.
- [24] Occupational Safty and Health Administration. ICP analysis of metal/metalloid particulates from solder operations. OSHA Method ID-206[EB/OL].(1991-5)[2015-08-16]. <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id206/id206.pdf>.
- [25] London Health Sciences Center. Laboratory test information guide[EB/OL].(2012-11-20)[2015-08-16]. [https://ltig.lhsc.on.ca/?action=view\\_rec&test=Tin%2CUrine](https://ltig.lhsc.on.ca/?action=view_rec&test=Tin%2CUrine).
- [26] 徐伯洪, 闫慧芳.工作场所有害物质监测方法[M].北京: 中国人民公安大学出版社, 2003: 338.
- [27] 刘焕珍, 李永新, 钟远波, 等.氢化物发生-原子荧光光谱法测定尿锡[J].中国职业医学, 2007, 34(3): 227-229.
- [28] National Institute for Occupational Safty and Health. ICSC#1535[EB/OL].(2004-10-28)[2015-08-16]. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng1535.html>.
- [29] National Institute for Occupational Safty and Health. RTECS#XP7320000[EB/OL].(2009-5)[2015-08-16]. <http://www.cdc.gov/niosh-rtecs/XP6FB1C0.html>.
- [30] 中华人民共和国卫生部.工作场所有害因素职业接触限值第1部分: 化学有害因素: GBZ 2.1—2007[S].北京: 人民卫生出版社, 2008.
- (收稿日期: 2015-04-20)
- (英文编辑: 汪源; 编辑: 张晶; 校对: 葛宏妍)