

DOI: 10.16369/j.ohcr.issn.1007-1326.2021.01.020

· 实验技术 ·

# 液相色谱-原子荧光联用测定作业场所空气中的无机砷

匡必玲, 唐磊, 王林

成都市成华区疾病预防控制中心, 四川 成都 610057

**摘要:** 目的 建立液相色谱-原子荧光光谱法测量作业场所空气中亚砷酸盐 As(III)与砷酸盐 As(V)含量的方法。方法 样品经 0.15 mol/L 硝酸 90 °C 浸提 1 h 后, 以 15 mmol/L 磷酸氢二铵为流动相, CNWSep AX (250 mm × 4.0 mm × 10 μm) (LAEQ-4025G7) 色谱柱分离, 分析检测空气样品中 As(III)与 As(V)。结果 As(III)与 As(V)在 0 ~ 100 μg/L 时, As(III)与 As(V) 线性相关系数( $r$ ): 0.999 9 和 0.999 8, 检出限为 0.14 μg/L 和 0.38 μg/L; 洗脱效率: As(III) 为 96.77% ~ 98.66%, As(V) 为 95.27% ~ 98.39%; 加标回收率: As(III) 为 90.67% ~ 95.60%, As(V) 为 91.82% ~ 95.84%; 相对标准偏差( $n = 6$ ): As(III) 为 0.47% ~ 1.44%, As(V) 为 0.48% ~ 1.34%。结论 该前处理方法能有效避免无机砷形态的转化, 对两种无机砷形态分离效果好, 且灵敏度和准确度较高, 适用于作业场所中无机砷的测定。

**关键词:** 液相色谱-原子荧光光谱联用法; 无机砷; 亚砷酸盐; 砷酸盐; 形态分析

**中图分类号:** O655.5    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1007-1326(2021)01-0093-05

**引用:** 匡必玲, 唐磊, 王林. 液相色谱-原子荧光联用测定作业场所空气中的无机砷 [J]. 职业卫生与应急救援, 2021, 39(1): 93-97.

**Determination of airborne inorganic arsenic in workplaces by liquid chromatography-atomic fluorescence** KUANG Biling, TANG Lei, WANG Lin (Chengdu Chenghua District Center for Disease Control and Prevention, Chengdu, Sichuan 610057, China)

**Abstract: Objective** To establish a method for determination of As(III) and As(V) in the air of workplaces by liquid chromatography-atomic fluorescence spectrometry. **Methods** The samples were extracted by 0.15 mol/L HNO<sub>3</sub> solution at 90 °C for 1 h, then As(III) and As(V) were separated and analyzed with the mobile phase of 15 mmol/L diammonium hydrogen phosphate, using CNWSep AX (250 mm × 4.0 mm × 10 μm) (LAEQ-4025G7) column. **Results** In the range of 0 ~ 100 μg/L, the linear correlation coefficients ( $r$ ) of As(III) and As(V) were 0.999 9 and 0.999 8, respectively. The detection limits of As(III) and As(V) were 0.14 μg/L and 0.38 μg/L, and the elution efficiencies were 96.77% ~ 98.66%, 96.77% ~ 98.66% respectively. The recoveries of As(III) and As(V) were 90.67% ~ 95.60%, 91.82% ~ 95.84%, and the relative standard deviations were 0.47% ~ 1.44% and 0.48% ~ 1.34% respectively. **Conclusions** This pretreatment method can avoid morphological changes of inorganic arsenic species. The method has good separation effect on two inorganic arsenic species, and has high sensitivity and accuracy, and is suitable for the determination of inorganic arsenic in the air of workplaces.

**Keywords:** liquid chromatography-atomic fluorescence; inorganic arsenic; arsenite; arsenate; speciation analysis

砷是自然界中常见的一种类金属元素, 在土壤、食品、大气、水及生物体内常以化合物形态存在; 煤炭燃烧、冶金、建筑材料施工等过程中会产生含有砷及其化合物的粉尘或烟尘, 从业人员通过皮肤接触或呼吸道吸收可引起职业性砷中毒。环境中如土壤、空气和水中常见的砷化物为: 砷酸盐 As(V)、亚砷酸盐 As(III)、二甲基砷酸(DMA)、一甲基砷酸(MMA)、砷甜菜碱(AsB)等。砷化物毒性和形

作者简介: 匡必玲(1984—), 女, 大学本科, 主管技师

态有关, 以砷化物的半数致死量 LD<sub>50</sub> 计, 无机砷的毒性比有机砷大得多<sup>[1-2]</sup>, 且是国际癌症研究机构(IARC)确认的致癌物<sup>[3]</sup>。因此, 仅测定总砷含量并不能全面反映无机砷对空气的污染情况, 对无机砷的形态测定非常重要。根据文献报道, 对无机砷形态测定的方法多采用联用技术, 如高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法<sup>[4-5]</sup>、液相色谱-原子荧光光谱法<sup>[6-8]</sup>、阴离子交换树脂分离-氯化物发生原子荧光光谱法<sup>[9]</sup>、气相色谱质谱法<sup>[10]</sup>, 其中液相色谱-

原子荧光联用测定无机砷形态已广泛应用于食品、环境样品的检测,该方法具有检出限低、线性范围宽、灵敏度高、设备价格较低等优点。本试验选择液相色谱联用原子荧光光谱法,样品经 0.15 mol/L HNO<sub>3</sub> 溶液提取后,不同价态的无机砷通过色谱柱分离后注入原子荧光光度计中,计算出样品中相应无机砷的含量。该方法在 12 min 内完成分离测定,可准确测量空气中无机砷的含量。现将结果报告如下。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

AFS-9330 原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司);SAP-20 形态分析预处理装置(北京吉天仪器有限公司);5500 自动进样器(绿绵科技);砷空心阴极灯;高纯氩气;0.45 μm 水相滤膜;H1850R 离心机(湖南湘仪);Chorus 超纯水机(ELGA);CNWSep AX 阴离子交换色谱柱,250 mm × 4.0 mm × 10 μm(LAEQ-4025G7);保护柱:CNWSep AX 保护柱,5.0 mm × 4.0 mm × 10 μm(LBEQ-4005G7K);便携式多通道采样器 EM-2008(8)。

As(Ⅲ)标准物质:1 000 μg/mL(美国 O2si,编号:060033-08-01);As(Ⅴ)标准物质:1 000 μg/mL(美国 O2si,编号:060033-26-01),配制成 200 μg/mL 的无机砷混合标准使用液[As(Ⅲ):200 μg/L;As(Ⅴ):200 μg/L];磷酸氢二铵(优级纯,科龙)、氢氧化钠(优级纯,科密欧);硼氢化钾(优级纯,Acros,产地中国)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品预处理

采样:采用经碳酸钠-丙三醇处理后的浸渍滤膜,参照文献操作以 3.0 L/min 流量采集 15 min 空气样品。对不同工作场所中空气样品(汽修厂和机电加工不同工位呼吸带采样),使用空白浸渍滤膜分别同时采集两份,1 份用于按建立的方法进行了无机砷的测定,另 1 份按 GBZ/T 300.47—2017《工作场所空气有毒物质测定 第 47 部分:砷及其无机化合物》中砷及其无机化合物酸消解-原子荧光光谱法测定总砷<sup>[11]</sup>。记录采样温度和大气压。

无机砷检测提取方法:采样后的滤纸剪碎后,置于 25 mL 塑料离心管中,加入 10 mL 0.15 mol/L 硝酸溶液,置于 90 ℃恒温混匀仪中浸提 1 h,每 20 min 振摇 30 s,取出后以 8 000 r/min 的速率离心 10 min(离心半径为 95 mm)。取上清液经 0.45 μm 水相膜过滤后供上机。

总砷的测定:样品采集后,按照文献[11]方法进行微波消解后,用质量分数 5% 的盐酸定量至 25.0 mL,摇匀。取 10.0 mL 样品溶液于试管中,加 5 mL 预还原剂溶液和 15 mL 盐酸溶液,摇匀,用原子荧光光谱法测定其总砷。

#### 1.2.2 仪器分析条件

液相色谱-荧光光谱法测定无机砷形态的仪器工作条件见表 1。总砷测定:以质量分数 5% 的盐酸为载液;10 g/L 硼氢化钾和 0.5 g/L 氢氧化钾溶液为还原剂;负高压 300 V;载气流速 400 mL/min;屏蔽气流速 600 mL/min。

表 1 液相色谱-荧光光谱法仪器工作条件

液相色谱		原子荧光	
阴离子 交换 色谱柱	CNWSep AX (250 mm × 4.0 mm × 10 μm); CNWSep AX 保护柱 (5.0 × 4.0 mm × 10 μm)	负高压	300 V
		灯电流	80 mA
流动相	15 mmol/L 磷酸氢二铵	载气流速	400 mL/min
进样体积	100 μL	屏蔽气	600 mL/min
流速	1 mL/min	载液	质量分数 7% 的盐酸
流动相洗脱方式	等度洗脱	还原剂	20 g/L 硼氢化钾和 3.5 g/L 氢氧化钾溶液

#### 1.2.3 结果计算

将配制好的无机砷混合标准溶液[As(Ⅲ):200 μg/L;As(Ⅴ):200 μg/L]和样品放于样品架上,按照表 1 设置好仪器参数,进样量设置为 100 μL,分别测定各标准管的荧光强度,仪器软件自动绘制工作曲线。按式(1)计算滤膜中无机砷的质量浓度:

$$X = [(C_{\text{III}} + C_{\text{V}})V/1000]/V_0 \quad (1)$$

式中:X 为空气中砷质量浓度(mg/m<sup>3</sup>);C<sub>Ⅲ</sub>、C<sub>Ⅴ</sub> 为由回归方程计算得出 As(Ⅲ) 和 As(Ⅴ) 质量浓度(μg/L);V 为定容体积(mL);V<sub>0</sub> 为标准采样体积(L)。

## 2 结果和讨论

### 2.1 前处理过程的优化

文献报道硝酸的酸度过浓和温度过高都易引起砷形态的互相转换<sup>[12-13]</sup>,为保证样品中无机砷形态的提取率且其形态不发生转化损失,宜选择较低的硝酸浓度和提取温度。对前处理过程中影响提取率的各因素进行实验分析,通过实验以加标样品对提取剂的酸度、热提温度和时间进行优化。

#### 2.1.1 提取剂的选择

本实验选择硝酸<sup>[8,13]</sup>作为提取剂,以空白浸渍滤膜分别加入 As(Ⅲ)20 μg/L 和 As(Ⅴ)20 μg/L,按 1.2.1 操作采样后,考察 90 ℃浸提 1 h 下不同硝酸浓度对提取率的影响。由图 1 可见,当硝酸浓度

达到0.15 mol/L时As(Ⅲ)和As(Ⅴ)提取率达到最大,硝酸浓度过高,As(Ⅲ)提取率则略有下降,因硝酸浓度过高可引起样品中部分As(Ⅲ)氧化为As(Ⅴ)<sup>[13]</sup>,造成结果误差。最后选择0.15 mol/L为最佳硝酸浓度。

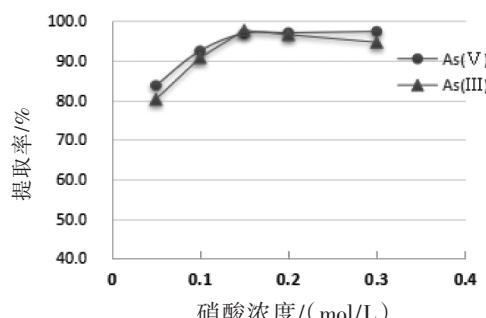


图1 不同硝酸浓度对提取率的影响

### 2.1.2 提取温度和时间的选择

使用2.1.1中相同加标样品,以0.15 mol/L硝酸为提取液,考察常温、60℃、90℃、110℃浸提1 h,随着温度升高提取率上升,90℃达到最高;温度>90℃提取率有所降低,可能是温度过高而造成无机砷的挥发损失。同样的空白加标样品,以0.15 mol/L硝酸为提取液,提取温度为90℃,提取时间分别为:0.5 h、1 h、1.5 h、2 h,结果表明提取时间在60 min内,随着时间的增加,提取率有明显提升;>60 min,提升效果并不明显。最后选择0.15 mol/L硝酸溶液为提取剂,90℃浸提1 h。见图2、图3。

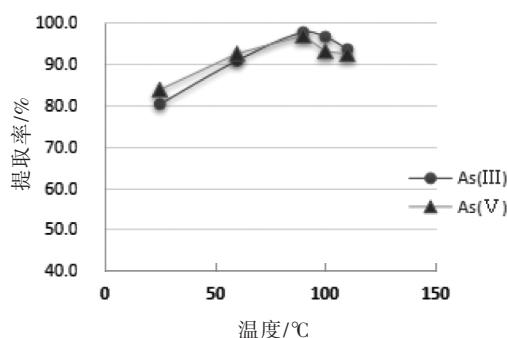


图2 不同提取温度对提取率的影响

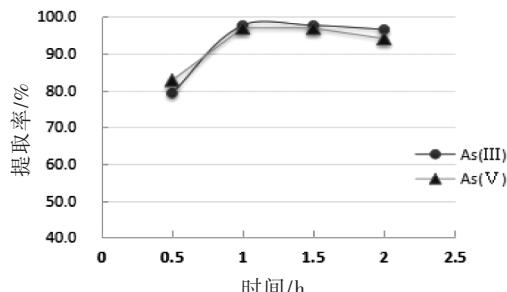


图3 不同提取时间对提取率的影响

### 2.1.3 对As(Ⅲ)和As(Ⅴ)在消化过程中形态转化的考察

选择空白浸渍滤膜分别进行单一形态加标回收实验( $n=3$ ),按照1.2.1无机砷样品前处理后进样测定,结果表明,空白样中只添加As(Ⅴ)(20 μg/L),对应的测定平均值为19.38 μg/L,回收率为96.9%,同样只添加As(Ⅲ)(20 μg/L)做加标回收实验,测定平均值为19.61 μg/L,回收率为98.0%,均未发现As(Ⅲ)和As(Ⅴ)相互转换,结果表明选择0.15 mol/L硝酸溶液90℃浸提1 h可有效避免无机砷形态的转化。

### 2.2 浸渍滤膜采样后洗脱效率的测定

取空白滤膜18张,分别加入5、20、50 μg/L 3个质量浓度的无机砷标准溶液,每个浓度制作6份加标滤膜,待干燥后按上述选择的最佳条件洗脱提取后供测定,同时做空白试验。测得洗脱效率:As(Ⅲ)96.77%~98.66%;As(Ⅴ)95.27%~98.39%。见表2。

表2 洗脱效率实验结果 (μg/L)

加入的 质量 浓度	组分	测定值						平均 值	洗脱 效率/ %
		1	2	3	4	5	6		
5	As(Ⅲ)	4.76	4.92	4.82	4.85	4.90	4.78	4.84	96.77
	As(Ⅴ)	4.77	4.69	4.72	4.80	4.85	4.75	4.76	95.27
20	As(Ⅲ)	19.45	19.56	19.49	19.60	19.52	19.69	19.55	97.76
	As(Ⅴ)	19.35	19.44	19.26	19.52	19.49	19.54	19.43	97.17
50	As(Ⅲ)	49.45	49.28	49.35	49.20	49.41	49.29	49.33	98.66
	As(Ⅴ)	49.02	49.16	49.18	49.3	49.22	49.3	49.20	98.39

### 2.3 流动相的选择

液相色谱-原子荧光光谱法测定砷形态分析的流动相为磷酸二氢铵溶液,若分离检测常见的5种形态砷[As(Ⅲ)、As(Ⅴ)、MMA、DMA、AsB],则需要用质量分数10%的甲酸调节pH值为6.0,能很好地将各种形态的砷完全分开。配制15 mmol/L磷酸氢二铵溶液(不用调节pH值)和用质量分数10%的甲酸调节pH值为6.0的15 mmol/L磷酸氢二铵溶液为流动相,分别测定无机砷形态,结果表明两种形态的无机砷均能在12 min内得到很好的分离,所以本实验选择15 mmol/L的磷酸氢二铵溶液(不需要调节pH值)为流动相。流动相须经溶剂过滤器过滤抽滤,并超声30 min去除气泡。

### 2.4 线性范围及检出限

由于As(Ⅲ)和As(Ⅴ)于流动相中在色谱柱上吸附能力不同,其出峰顺序为As(Ⅲ)、As(Ⅴ)。原子荧光线性范围较宽,根据样品中无机砷含量,取一定量上述标准物质配制成As(Ⅲ)、As(Ⅴ)分别为200 μg/L的混合标准溶液,上机后由自动进样器自

动稀释成 10、20、40、80、100  $\mu\text{g}/\text{L}$  的标准系列。结果表明,两种无机砷形态的浓度与峰面积呈良好的线性关系,相关系数( $r$ )均 $>0.999$ ;以 3 倍信噪比( $S/N$  为 3:1 时对应的浓度)计算检出限。实验结果见表 3,标准曲线图谱见图 4。

表 3 方法的线性范围和检出限

组分	线性方程	线性范围	相关系数	检出限
As(Ⅲ)	$y = 12795.1$ $x - 1240.8$	0 ~ 100 $\mu\text{g}/\text{L}$	0.999 9	0.140 $\mu\text{g}/\text{L}$
As(Ⅴ)	$y = 6326.4$ $x - 6008.2$	0 ~ 100 $\mu\text{g}/\text{L}$	0.999 8	0.380 $\mu\text{g}/\text{L}$

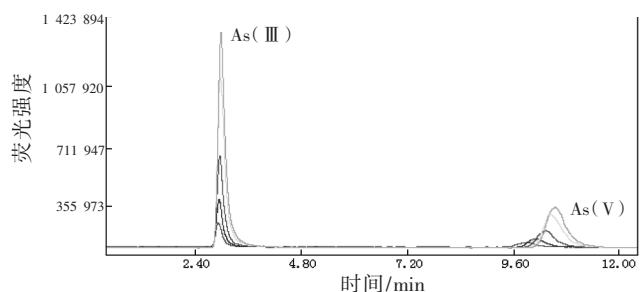


图 4 无机砷混合标准溶液色谱图

## 2.5 准确度和精密度实验

以采集的空气样品为本底,分为3组,每组6个样品,加入3个不同浓度水平的无机砷混合标准溶液,进行加标回收实验和精密度实验。相对标准偏差(RSD):As(Ⅲ)为0.47%~1.44%,As(Ⅴ)为0.48%~1.34%,加标回收率:As(Ⅲ)为90.67%~95.60%,As(Ⅴ)为91.82%~95.84%。见表4。

## 2.6 稳定性实验

将本底样品分为3组,每组3个样品,分别加入一定量的As(Ⅲ)和As(Ⅴ)后,制备成加标样品,4℃下密闭避光保存,选择第1、3、7天各测一组,以第1天的值为参考,计算不同时间测定值的下降率。加标后样品7 d内检测下降率均<5%,表明样品在4℃下可保留7 d。结果见表5。

## 2.7 实际应用

对不同工作场所中空气样品进行检测,样品测定结果见表6。其中样品提取液中三价砷的质量浓度为未检出~1.56  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,五价砷的质量浓度为8.69~17.42  $\mu\text{g}/\text{L}$ ;各采样点空气中总砷浓度为

表 4 精密度实验和加标回收实验结果

砷形态	本底 平均值	加标 质量浓度	测定值						RSD/%	加标 回收率/%
			1	2	3	4	5	6		
As(Ⅲ)	1.804 3	10	11.818	11.676	11.555	11.405	11.538	11.824	11.636	1.44
		20	21.495	21.961	21.633	21.583	21.852	21.624	21.691	0.82
		50	52.126	51.636	51.483	51.532	51.690	51.882	51.725	0.47
As(Ⅴ)	12.175	10	21.064	21.204	20.891	20.938	21.323	21.654	21.179	1.34
		20	31.272	31.456	31.781	31.587	30.962	31.623	31.447	0.93
		50	62.212	61.731	61.664	61.363	61.561	61.481	61.669	0.48

表 5 稳定性实验结果 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )

保存 时间	样 品 数	As(Ⅲ)			As(Ⅴ)			无机砷 占比/%	
		加标质 量浓度	本底 值	测定 值	下降 率/%	加标 量	本底 值	测定 值	
第1天	3	50	未检出	48.62	—	50	16.95	56.39	—
第3天	3	50	未检出	48.19	1.17	50	16.95	55.93	0.82
第7天	3	50	未检出	47.32	2.67	50	16.95	55.34	2.36

注:“—”表示不需计算该项结果。

0.002 5~0.005 3  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,参照GBZ/T 2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分:化学有害因素》<sup>[14]</sup>中砷及其无机化合物的短时间接触容许浓度为0.02  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,各采样地点砷浓度均未超标。本实验中无机砷占总砷的比例为79.0%~86.1%,初步了解了所测定样品中无机砷在总砷的占比。

表 6 空气样品的检测结果

样品 名称	样品提取液 质量浓度/( $\mu\text{g}/\text{L}$ )		空气中砷质量 浓度/( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		无机砷 占比/%
	As(Ⅲ)	As(Ⅴ)	总砷	无机砷	
1号	未检出	9.52	4.56	0.002 1	0.002 5
2号	未检出	16.95	8.18	0.003 8	0.004 5
3号	1.56	17.42	9.61	0.004 2	0.005 3
4号	未检出	10.23	4.86	0.002 3	0.002 7
5号	未检出	14.87	7.16	0.003 3	0.004 0
6号	0.86	11.48	5.73	0.002 7	0.003 2
7号	0.76	8.69	4.72	0.002 1	0.002 6

## 3 结论

本法样品采集后以0.15 mmol/L硝酸为提取剂,90℃浸提1 h,采用液相色谱-原子荧光光谱连用法测定作业场所中无机砷含量,选择15 mmol/L

磷酸氢二铵溶液为流动相,在12 min内2种无机砷可以完全分离。根据不同形态砷的毒性,重点监测空气中无机砷含量,经方法学考察及实际样品测定,该方法快速、灵敏、准确,检出限低,适合作业场所中无机砷的形态学分析。

**作者声明** 本文无实际或潜在的利益冲突

## 参考文献

- [1] 陆守平,陈曦,刘洋,等.液相色谱-原子荧光光谱联用法测定地下水中的三价砷和五价砷[J].中国无机分析化学,2017,7(3):12-15.
- [2] NORWOOD W P, BORGGMANN U, DIXON D G. Chronic toxicity of arsenic, cobalt, chromium and manganese to *Hyalella azteca* in relation to exposure and bioaccumulation [J]. Environ Pollut, 2006, 147(1):262-272.
- [3] SMITH A H, HOPENHAYN RICH C, BATES M N, et al. Cancer risks from arsenic in drinking-water [J]. Environ Health Perspect, 1992, 97:259-267.
- [4] NAM S H, OH H J, MIN H S, et al. A study on the extraction and quantitation of total arsenic and arsenic species in seafood by HPLC-ICP-MS[J]. Microchem J, 2010, 95(1):20-24.
- [5] LIU X, ZHANG W, HU Y, et al. Extraction and detection of organoarsenic feed additives and common arsenic species in environmental matrices by HPLC-ICP-MS [J]. Microchem J, 2013, 108:38-45.
- [6] 宋冠仪,梅勇,商律,等.高效液相色谱-氢化物发生-原子荧光联用技术测定饮用水中四种形态砷[J].环境与职业医学,2017,34(4):350-353.
- [7] 杨艳,陈宏靖,林宏琳,等.高效液相色谱-氢化物发生原子荧光光谱联用测定市售海产品中砷形态学研究[J].中国预防医学杂志,2017,18(4):258-262.
- [8] 吴思霖,于建,王欣美,等.高效液相色谱-原子荧光联用技术测定水产品中无机砷[J].食品安全质量检测学报,2016,7(7):2658-2662.
- [9] 韦昌金,刘霁欣,裴晓华.离子交换色谱-氢化物发生双道原子荧光法同时测定砷和硒形态[J].分析化学,2008,36(8):1061-1065.
- [10] PANTSAR-KALLIO M, KORPELA A. Analysis of gaseous arsenic species and stability studies of arsine and trimethylarsine by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Anal Chim Acta, 2000, 410(1/2):65-70.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.工作场所空气有毒物质测定 第47部分:砷及其无机化合物:GBZ/T 300.47—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [12] 张磊,吴永宁,赵云峰.不同形态砷化合物稳定性研究和砷形态分析中样品前处理技术[J].国外医学(卫生学分册),2007,34(4):238-244.
- [13] 杨芬,韦朝阳,刘金鑫.砷形态分析的样品前处理技术研究进展[J].环境科学与技术,2016,39(10):79-86.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.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—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.

收稿日期:2020-06-12

## (上接第65页)

- [8] 曹义战,李志立,王伯良.医院提高应急抢救能力的探讨[J].解放军医院管理杂志,2008,15(6):520-522.
- [9] 李锋,张辉,程苏琴.公共卫生应急能力建设影响因素分析[J].中国公共卫生,2007,23(10):1235-1236.
- [10] 李奕萱.有关新疆恐怖主义犯罪问题解决路径的思考[J].法制博览,2015(5):235.
- [11] 宋雅楠,王存奎.关于涉疆系列暴恐案件性质的理论思考[J].大连大学学报,2017,38(5):125-131.
- [12] 蔡红兵,龚时薇.医院应急演练评价体系比较研究[J].医学与社会,2017,30(3):19-21.
- [13] 詹芙蓉,谢忠杭,蔡少健,等.突发公共卫生事件应急预案评价指标体系构建初探[J].预防医学论坛,2019,25(3):190-193.
- [14] 徐婷婷,陈其伟,冯俊,等.广西边境地区县级医院突发公共卫生事件应急能力调查[J].中国公共卫生管理,2018,34(1):38-40;44.
- [15] 钱均琪,孙国祥,常伟冰.常熟市疾控机构提高突发公共卫生事件应对能力的体会[J].职业与健康,2006,22(4):250-251.
- [16] 伏军贤,李景梦,刘丹平.综合医院应对危机和突发公共卫生事件的探讨[J].中国医院管理,2005,25(12):43-45.
- [17] 陈锦治,王旭辉,杨敬,等.突发公共卫生事件预防与应急处理[M].长沙:东南大学出版社,2005:8;62.
- [18] 宋瑞霖.突发公共卫生事件应急条例传染性非典型肺炎防治管理办法问答[M].北京:中国法制出版社,2003:15;21.
- [19] 方娴,张秀敏,郑红霞.基于医疗应急管理视角下三级综合医院突发事件应急救援风险水平分析[J].中国卫生事业管理,2019,36(8):573-575.

收稿日期:2020-05-17