

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.032

红葡萄酒中砷含量的流动注射氢化物原子吸收法检测*

郭金英 李 丽 任国艳 易军鹏 吴 影 殷 勇
(河南科技大学食品与生物工程学院, 洛阳 471003)

摘要: 采用微波消解预处理红葡萄酒,对流动注射氢化物原子吸收法(FI-HAAS)测定砷的载气浓度、流速和载气酸度,预还原剂用量及氧化时间,硼氢化钾用量等参数进行优化,建立流动注射氢化物原子吸收检测红葡萄酒中砷含量的方法。结果表明,FI-HAAS检测红葡萄酒中砷的方法为:氩气为载气,盐酸为氢化物反应的酸介质,载气流速 120 mL/min,载流酸度 1%,检测使用液为酸度 8% 的盐酸,硼氢化钾质量浓度为 10 mg/mL,氢氧化钠质量分数为 0.6%,碘化钾-抗坏血酸作为预还原剂,预还原剂质量分数为 1%,用量 0.5 mL,氧化时间 10 min。
关键词: 红葡萄酒 砷 微波消解 流动注射氢化物原子吸收法
中图分类号: O657.31; TS262.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)05-0182-06

Determination of Arsenic in Red Wine by Flow Injection-hydride Atomic Absorption

Guo Jinying Li Li Ren Guoyan Yi Junpeng Wu Ying Yin Yong
(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: Red wine was processed by microwave digestion. Gas concentration, flow, acidity, dosage, potassium borohydride and oxidized time were optimized in the flow injection-hydride atomic absorption (FI-HAAS) of detecting arsenic. Appropriate measurement parameters were established. FI-HAAS of detecting arsenic in red wine was established. The optimal parameters of arsenic detection of red wine in the FI-HAAS were as follows: taking argon as carrier gas, hydrochloric acid as the hydride reaction acid medium, the carrier gas velocity of 120 mL/min, current-carrying acidity of 1%, the hydrochloric acid of 8%, borohydride potassium concentration of 10 mg/mL, sodium hydroxide concentration of 0.6%, KI-ascorbic acid as the prereductant, concentration of 1%, dosage of 0.5 mL, and oxidation time of 10 min.
Key words: Red wine Arsenic Microwave digestion Flow injection hydride atomic absorption

引言

砷,其氧化态为三氧化二砷,俗称“砒霜”。人体尿液中的砷质量浓度若大于 100 μg/L,就会引起中枢神经系统发生紊乱,甚至导致癌症。目前通过动物毒性试验和食品中砷的监测数据,制定了关于各类食品中总砷含量的卫生标准^[1~2]。目前,有关砷的检测报道比较多^[3~10],但是对于红葡萄酒中砷的含量还缺乏直接、快速、准确的检测方法。流动注射氢化物原子吸收法(Flow injection hydride

generation atomic absorption spectrometry, FI-HAAS)于 1990 年被首次用于人体液硒的测定^[11],该技术将流动注射与氢化物原子吸收相结合,流动注射具有自动定量进样、自动化程度高、稳定性好、操作简单方便、节约试剂和试样等优点。氢化物发生器可使被测元素与氢生成挥发性共价氢化物气体,将该种气体引入原子吸收仪器测量可产生极高的灵敏度,提高分析速度^[12]。本文将 FI-HAAS 用于葡萄酒中砷的检测,对 FI-HAAS 法砷测定的载气浓度、流速和载气酸度,预还原剂浓度、用量及氧化时间,

收稿日期: 2012-06-19 修回日期: 2012-07-10
* 河南省教育厅自然科学研究计划资助项目(2011A330001)、河南科技大学博士科研启动基金资助项目(2006050)和河南科技大学青年科研基金资助项目(2007QN013)
作者简介: 郭金英,副教授,主要从事食品营养与安全研究,E-mail: guojinying8@163.com

硼氢化钾用量等测定参数进行优化,确立适宜的测量参数,建立氢化物发生器与原子吸收光谱仪联用测定红葡萄酒中砷含量的方法。

1 材料与方法

1.1 材料

雪兰山干红葡萄酒 2009(吉林雪兰山葡萄酒有限责任公司)、长城干红葡萄酒 2009(中粮酒业有限公司)、白洋河干红葡萄酒 2009(烟台白洋河酿酒有限责任公司)、王朝干红葡萄酒 2009(中法合营王朝葡萄酿酒有限公司)、香格里拉干红葡萄酒 2009(云南香格里拉酒业股份有限公司),以上试验用红葡萄酒均购自洛阳市丹尼斯商场,购买后置冰箱内 10℃ 保存,备用。

1.2 方法

1.2.1 试剂与仪器

As^{III}母液、盐酸、硼氢化钾均为分析纯。AA700 型原子吸收光谱仪,光源为 AS-2 型高性能砷空心阴极灯。仪器工作条件:波长 193.7 nm、灯电流 360 mA、狭缝宽度 0.7 nm、光电倍增管负高压 486.5 V。

AS800 型自动进样器,美国 Perkin Elmer 公司;WHG-103 型流动注射氢化物发生器,北京瀚时制作所;MDS-6 型微波消解仪,上海新仪微波化学科技公司。

1.2.2 样品溶液的制备

精密吸取葡萄酒 5 mL 于 60 mL 溶样杯中,放在可控温加热板上 45℃ 加热,将葡萄酒样中的酒精赶尽,然后加入 10 mL 的 HNO₃,慢慢升温至 150℃ 继续加热,待棕黄色烟雾排尽后,取下放置稍冷,再加入 1.0 mL 质量分数为 30% 的 H₂O₂,继续放在电热板上 100℃ 加热 20 min。取下冷却至室温后,放入消解罐内,按表 1 的程序进行消解。消解完毕后转移至 25 mL 量瓶中,用体积分数 0.5% 的硝酸定容备测。同时准备空白试剂。

表 1 干红葡萄酒样品微波消解程序

Tab.1 Process of the microwave digestion for dry wine samples

步骤序号	压力/MPa	时间/min	功率/W
1	0.3	2	400
2	0.6	1	600
3	1.0	2	800
4	1.5	3	1 000

1.2.3 标准曲线的绘制与样品的测定

向 5 个 50 mL 的量瓶中,分别加入 0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 mL 1 μg/mL 的 As^{III}母液,用体积分数 10% 的盐酸定容,得到质量浓度分别为 2.0、4.0、

6.0、8.0 和 10.0 ng/mL 的标准砷系列溶液,测标准砷溶液的吸光度,以质量浓度对扣除空白的吸光度作标准工作曲线。以同样的方法测定标准样品的吸光度,根据工作曲线计算砷的含量。

2 结果与分析

2.1 载气流速

样品经 KBH₄还原后,生成的氢化物由作为载气的氩气携带至原子化器中进行原子化。还原剂 KBH₄质量分数为 1.5%,HCl 载液体积分数为 1%,其他参数按照仪器推荐条件。在载气流速分别为 80、120、160、180 和 200 mL/min 下测得质量浓度 8 ng/mL 砷的吸光度如图 1 所示。

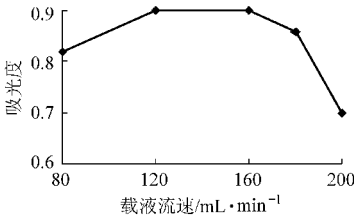


图 1 载液流速对 FI-HAAS 测定砷吸光度的影响
Fig.1 Effect of set flow rate on absorbance of arsenic by FI-HAAS

由图 1 可知,载气流速大于 160 mL/min 时,由于稀释作用,气相中砷化氢的浓度降低,测定灵敏度降低,砷的吸光度降低。载气流速过小时,产生的氢化物与液相分离速度慢,会导致石英管内砷化氢的瞬时浓度降低,使峰高降低,砷的吸光度变小。当载气流速在 120~160 mL/min 之间时,砷的吸光度最大。因此选择 120 mL/min 为本试验的载气流速。

2.2 酸度

2.2.1 载流酸度对砷吸光度的影响

砷、铬、锑等元素,发生氢化物反应所需的酸度范围较大,并且反应所需的时间很短,灵敏度较高^[13],用盐酸作为氢化物反应的酸介质,需要对载流的酸度进行试验研究。在相同的试验条件下,盐酸酸度(体积分数)分别设定为 0.5%、1%、2%、3%、4%、5%、6% 和 7%,以 8 ng/mL 砷的测定吸光度为考察对象,结果见图 2。

从图 2 中可以看出,盐酸酸度在 1% 的时候 8 ng/mL 砷的吸光度最大,随着盐酸酸度的增加,吸光度减小,并趋于稳定。因为,酸介质浓度高的时候,KBH₄会大量分解,产生大量的 H₂,从而使氢化物得到稀释;酸介质浓度低时,会生成 As₂H₂ 和 As₂H₄等固态的氢化物,从而影响氢化物的发生速度与效率^[14],因此,本试验选择载流(盐酸)酸度为 1%。

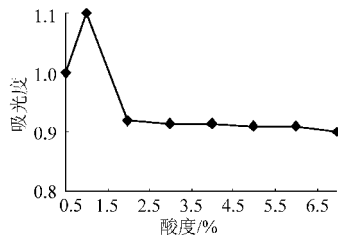


图2 载流酸度对FI-HAAS测定砷吸光度的影响

Fig.2 Effect of carrier acidity on absorbance of arsenic by FI-HAAS

2.2.2 样品及检测砷使用液酸度

样品及检测砷使用液酸度对测定砷吸光度也有影响,本试验选择样品及检测砷使用液为盐酸,对酸度为2%、4%、6%、8%、10%、12%的盐酸进行优化选择,结果如图3所示。

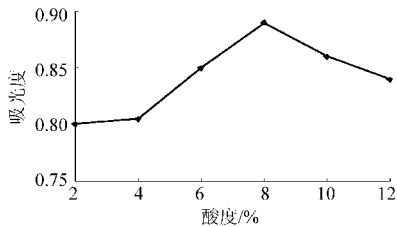


图3 使用液酸度对FI-HAAS测定砷吸光度的影响

Fig.3 Effect of concentration of hydrochloric acid media on absorbance of arsenic by FI-HAAS

从图3可以看出,在酸度为8%时,8 ng/mL 砷的吸光度达最大值。随着酸度的增大,砷的吸光度逐渐减小。本试验选择样品及检测砷使用酸为酸度8%的盐酸。

2.3 硼氢化钾质量浓度

硼氢化钾影响氢化物的生成和砷的原子化效率,同时影响氢化物的充分发生。固定其他条件不变,在质量浓度分别为2、5、10、15和20 mg/mL时,测定8 ng/mL 砷的吸光度。

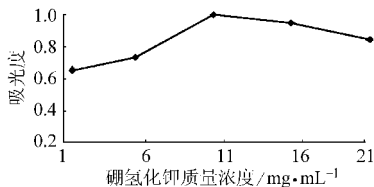


图4 硼氢化钾对FI-HAAS测定砷吸光度的影响

Fig.4 Effect of potassium borohydride on absorbance of arsenic by FI-HAAS

由图4可知,当硼氢化钾质量浓度为10 mg/mL时砷的吸光度最大,随着硼氢化钾浓度的减小或增大,砷的吸光度逐渐减小。硼氢化钾浓度过高,反应就会过于激烈,产生的大量H₂对砷的氢化物会有稀释作用,使得仪器测定的重现性差,灵敏度也会降低。KBH₄浓度过低,氢化物反应不完全,灵敏度也会降低,进而引起砷的吸光度降低。因此,本试验选

择硼氢化钾质量浓度为10 mg/mL。

2.4 氢氧化钠质量分数

氢氧化钠质量分数的大小,会影响反应残留液的酸度,进而影响反应的灵敏度^[14]。当硼氢化钾质量浓度为10 mg/mL时,试验氢氧化钠质量分数对测定灵敏度的影响,结果如图5所示。

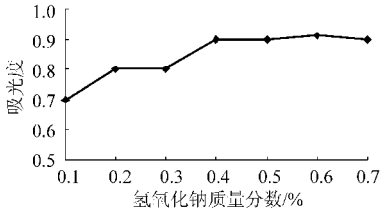


图5 氢氧化钠对FI-HAAS测定砷吸光度的影响

Fig.5 Effect of NaOH on absorbance of arsenic by FI-HAAS

结果表明,随着氢氧化钠质量分数的增大,砷的吸光度逐渐增大。当氢氧化钠质量分数在0.4%~0.7%之间,砷的吸光度最大,并趋于平衡,本试验选用氢氧化钠质量分数为0.6%。

2.5 预还原剂

2.5.1 预还原剂种类和质量分数

在酸性条件下,研究硫脲、碘化钾和抗坏血酸等3种预还原剂不同组合对As的还原效果。配制质量浓度分别为5%碘化钾-5%抗坏血酸溶液、5%碘化钾-2.5%硫脲溶液和5%碘化钾-5%抗坏血酸-2.5%硫脲溶液,还原体系中碘化钾、抗坏血酸、硫脲质量浓度的比例设置为1:1:0.5。按试样中碘化钾溶液的质量分数分别为0.20%、0.50%、1.00%、1.50%和2.00%进行试验。

从图6中可以看出,碘化钾-抗坏血酸组合对As的还原效果最好,可以将砷完全还原到低价态,吸光度也比较恒定,分析效果达到最佳,而碘化钾-硫脲组合和碘化钾-抗坏血酸-硫脲组合对测定砷的吸光度低。本试验选择碘化钾-抗坏血酸组合作为预还原剂。碘化钾-抗坏血酸溶液质量分数为1%的时候,吸光度达到最大,因此选用质量分数为1%的碘化钾-抗坏血酸溶液。

2.5.2 预还原剂用量

分别加入0.2、0.5、1.0、1.5和2.0 mL质量分数为1%的碘化钾-抗坏血酸溶液进行试验,放置10 min后检测,结果如图7所示。

结果表明,在碘化钾-抗坏血酸用量为0.5 mL的时候,砷的吸光度达到最大。因此预还原剂碘化钾-抗坏血酸用量为0.5 mL。

2.6 氧化时间

在室温25℃时,按照试验方法配制溶液,分别放置0、5、10、15、20、25和30 min后,测定8 ng/mL

砷标液的吸光度,结果如图 8 所示。

从图 8 可以看出,10 min 后氧化反应达到完全,吸光度趋于稳定。因此,本试验选择 10 min 作为氧化反应时间。

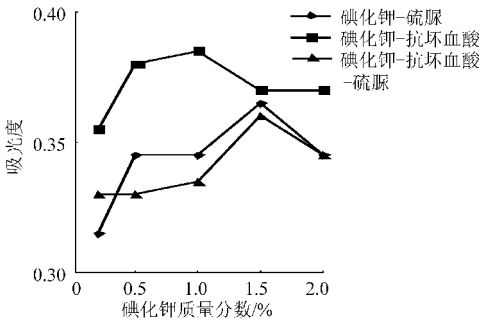


图 6 不同预还原剂对 FI-HAAS 测定砷吸光度的影响

Fig. 6 Effect of different pre-reduction on absorbance of arsenic by FI-HAAS

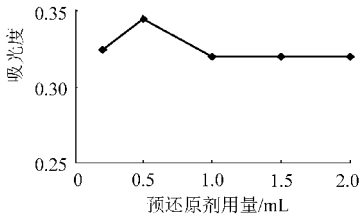


图 7 预还原剂用量对 FI-HAAS 测定砷吸光度的影响

Fig. 7 Effect of ascorbic acid dosage on absorbance of arsenic by FI-HAAS

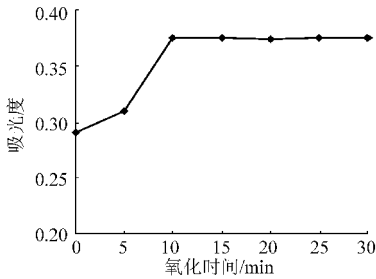


图 8 氧化时间对 FI-HAAS 测定砷吸光度的影响

Fig. 8 Effect of oxidation time on absorbance of arsenic by FI-HAAS

2.7 干扰试验

向 24 mL 的 8 ng/mL 砷标准液中加入 50 mg/L 的 Cu²⁺、Sr²⁺、Mn²⁺ 和 Fe²⁺, 4 mg/L 的 Co²⁺ 和 Zn²⁺, 50 mg/L Mg²⁺、Ca²⁺ 和 Al³⁺ (每种离子分别 1 mL)后测定砷的吸光度,测定结果无明显干扰。证明该法具有较强的抗干扰能力。

2.8 灵敏度与精密度试验

本试验优化后的最佳条件:盐酸为样品的介质;氩气为载气;载气流速为 120 mL/min;载流酸度为 1%;检测使用液为酸度 8% 的盐酸;硼氢化钾质量浓度为 10 mg/mL;氢氧化钠质量分数为 0.6%;质量分数 1% 的预还原剂碘化钾-抗坏血酸溶液用量为 0.5 mL,;氧化时间为 10 min。按照试验步骤对

8 ng/mL 的砷使用液和空白连续测定 11 次,计算其平均值、相对标准偏差。结果表明,连续 11 次测定 8 ng/mL 砷的相对标准偏差为 4.6%,11 次测定空白相对标准偏差为 2.8%,相对标准偏差均小于 5%,说明该方法有较高的灵敏度与精密度。

2.9 准确度试验

为了确定分析结果的可靠性,对红葡萄酒进行加标回收试验。在红葡萄酒中定量加入砷标准液,计算加标回收率(见表 2)。

表 2 准确度结果

Tab. 2 Results of accuracy

红葡萄酒 种类	本底值 /ng·mL ⁻¹	加标值 /ng·mL ⁻¹	测定值 /ng·mL ⁻¹	加标回收 率/%
雪兰山	10.40	1.6	11.95 ± 0.08	99.52 ± 0.18
香格里拉	12.62	1.6	14.18 ± 0.05	99.68 ± 0.11
王朝	10.92	1.6	12.47 ± 0.04	99.54 ± 0.12
长城	13.82	1.6	15.39 ± 0.02	98.13 ± 0.11
白洋河	13.58	1.6	15.17 ± 0.06	99.38 ± 0.10

本方法回收率范围在 98.13% ~ 99.68% 之间,平均回收率为 99.45%,表明方法的准确度高。

3 讨论

3.1 微波消解条件

消解溶剂种类、用量和消解条件对消解效果有较大的影响,消解过程中需要根据被测元素的性质,样品的基体组分,分解效果,以及所用的酸在测定过程中引入空白值的大小和反应的速率等多方面来决定用何种酸及方法。单一一种酸只能有效地分解某一基体中个别组分,而混合酸则具有在溶样过程中可与另一种酸形成络酸,从而达到互补的作用。试验过程中为了加强氧化剂对样品有机质的氧化效力,常选择适合的混酸组和合理的混酸比^[15]。

3.2 预还原剂

氢化物原子吸收法灵敏度的大小通常会受到待测元素价态的影响,所以在待测元素发生氢化物之前,需要先进行预还原。常用的还原剂有硫脲^[16~17]、碘化钾^[18]、坏血酸^[19]和 L-半胱氨酸^[20]等。碘化钾与抗坏血酸联合使用进行元素的预还原,可以使高价态的砷还原到低价,高价砷与硼氢化钾反应比较慢^[21]。同时还可以掩蔽其他离子的干扰,它是一种比较理想的预还原体系^[22~23]。硫脲和抗坏血酸联合使用对 As 的还原效果最好,并且它与还原掩蔽剂酒石酸混合使用还有增敏效应^[24]。

4 结 束 语

运用流动注射氢化物与原子吸收光谱仪联用,微波消解对红葡萄酒进行预处理,氦气为载气,盐酸作为氢化物反应的酸介质。流动注射氢化物原子吸收法测定红葡萄酒中砷含量的条件为:载气流速

120 mL/min,载流盐酸酸度为 1%,检测使用液为酸度 8% 的盐酸,硼氢化钾质量浓度为 10 mg/mL,氢氧化钠体积分数为 0.6%,碘化钾-抗坏血酸溶液作为预还原剂,质量分数为 1%,用量为 0.5 mL,氧化时间为 10 min。该方法快速、经济,具有较高的灵敏度和精密度,适用于红葡萄酒中砷含量的定量检测。

参 考 文 献

1 WHO. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans Vol 84[M]. Lyon: IARC Press, 2004: 39.

2 GB 5009.12—2010 食品中铅的测定[S]. 2010.

3 彭速标,蔡慧华. 环境中砷的原子光谱分析方法进展[J]. 广东化工, 2005(9): 55~57.
Peng Subiao, Cai Huihua. Progress in the determination of arsenic in environment by atomic spectrometry[J]. Guangdong Chemical Industry, 2005(9): 55~57. (in Chinese)

4 唐虹,黄截,王延琦,等. 石墨炉原子吸收分光光度法测定中药中微量砷[J]. 职业与健康, 2001, 17(8): 42~43.
Tang Hong, Huang Jie, Wang Yanqi, et al. Determination of the trace arsenic in traditional Chinese medicine by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Occupation and Health, 2001, 17(8): 42~43. (in Chinese)

5 莫晓玲,张志. 氢化物发生-原子吸收光谱法测定食品中总砷含量[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 105~107.
Mo Xiaoling, Zhang Zhi. Determination total arsenic in food by hydride generation-atomic absorption spectrometry[J]. Food Research and Development, 2009, 30(2): 105~107. (in Chinese)

6 张志,莫晓玲,梁柏林,等. 连续流动氢化物发生-原子吸收光谱法测定果酒中砷含量[J]. 酿酒科技, 2008, 171(9): 101~103.
Zhang Zhi, Mo Xiaoling, Liang Bolin, et al. Determination of arsenic content in fruit wine by continuous flow-hydride generation-atomic absorption spectrometry[J]. Liquor-making Science and Technology, 2008, 171(9): 101~103. (in Chinese)

7 严方,谢永杰. 石墨炉原子吸收光谱法测定加氢催化剂中的痕量砷[J]. 化学分析计量, 2009, 18(5): 48~49.
Yan Fang, Xie Yongjie. Determination of the trace arsenic in hydrogenation catalyst by graphite furnace atomic absorption spectrometry[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2009, 18(5): 48~49. (in Chinese)

8 侯晋,周钰明. 毛细管电泳法进行化妆品中砷的形态分析[J]. 化学分析计量, 1987, 13(6): 4 849~4 850.
Hou Jin, Zhou Yuming. Speciation analysis of arsenic in cosmetics by capillary electrophoresis[J]. Chemical Analysis and Meterage, 1987, 13(6): 4 849~4 850. (in Chinese)

9 刘宏. 氢化物-原子荧光法测定水中痕量砷、硒、汞[J]. 西南给排水, 2008, 30(1): 44~45.
Liu Hong. Determination of trace arsenic, selenium and mercury in water by hydride-atomic fluorescence spectrometry[J]. Southwest Water and Wastewater, 2008, 30(1): 44~45. (in Chinese)

10 薛鹏,富景奇,徐苑苑,等. 两种尿砷检测方法的比较[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(7): 624~627.
Xue Peng, Fu Jingqi, Xu Yuanyuan, et al. Comparison between two methods for determination of arsenic in urine[J]. Journal of Environment and Health, 2008, 25(7): 624~627. (in Chinese)

11 Negretti de Brätter V E, Brätter P, Tomiak A. An automated microtechnique for selenium determination in human body fluids by flow injection hydride atomic absorption spectrometry (FI-HAAS)[J]. Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease, 1990, 4(1): 41~48.

12 Leal L O, Elsholz O, Forteza R, et al. Determination of mercury by multisyringe flow injection system with cold-vapor atomic absorption spectrometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 573~574: 399~405.

13 周景涛. 包头矿中砷、锑、铋、锡、铅的测定[D]. 北京:北京科技大学, 2007.
Zhou Jingtao. Determination of As, Sb, Bi, Sn and Pb in baotite[D]. Beijing: University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)

14 王元忠,李涛,曹玉娟,等. 微波消化-氢化物原子吸收法测定巨大口蘑中砷的含量[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 23(6): 48~49.
Wang Yuanzhong, Li Tao, Cao Yujuan, et al. Determination of arsenic in *Tricholoma giganteum* Massee by hydride generation atomic absorption spectrometry with microwave digestion[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2006, 23(6): 48~49. (in Chinese)

15 周勇义,谷学新,马群,等. 微波消解-石墨炉原子吸收法测定中药中铅、镉含量的研究[J]. 光谱试验室, 2004, 21(3): 465~468.
Zhou Yongyi, Gu Xuexin, Ma Qun, et al. Determination of Pb and Cd in Chinese medicine by GFAAS with microwave digestion [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2004, 21(3): 465~468. (in Chinese)

16 曾云康,汪勇,敬永计. 氢化物原子吸收光谱法与 DDCAg 分光光度法测定生活饮用水中砷的探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(4): 740~741.

Zeng Yunkang, Wang Yong, Jing Yongji. Determination of arsenic in drinking water by hydride generation atomic absorption spectrometry and DDCAg[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2007, 17(4): 740 ~ 741. (in Chinese)

17 林力, 郑琳, 黄永江, 等. 氢化物发生-原子吸收光谱法测定萤石粉中砷[J]. 理化检验-化学分册, 2007, 43(4): 270 ~ 271, 274.

Lin Li, Zheng Lin, Huang Yongjiang, et al. Determination of arsenic in fluorspar powder by hydride generation atomic absorption spectrometry[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2007, 43(4): 270 ~ 271, 274. (in Chinese)

18 陈泓文, 王志婷, 陈玉珊, 等. 氢化物原子吸收光谱法测定豆奶中砷及不确定度评定[J]. 海峡预防医学杂志, 2007, 13(2): 58 ~ 59.

Chen Hongwen, Wang Zhiting, Chen Yushan, et al. Determination of arsenic in soymilk by hydride generation atomic absorption spectrometry and evaluation of uncertainty[J]. Strait Journal of Dpreventive Medicine, 2007, 13(2): 58 ~ 59. (in Chinese)

19 王传化. 氢化物原子吸收光谱法测定磷复肥中砷的含量[J]. 磷肥与复肥, 2007, 22(1): 58 ~ 59.

Wang Chuanhua. Determination of arsenic in phosphatic compound fertilizer by hydride generation atomic absorption spectrometry [J]. Phosphate and Compound Fertilizer, 2007, 22(1): 58 ~ 59. (in Chinese)

20 吴庆梅, 康清蓉, 郑坚, 等. 连续流动冷原子吸收光谱法测定鱼体中总汞、无机汞和有机汞[J]. 光谱实验室, 2007, 24(2): 103 ~ 105.

Wu Qingmei, Kang Qingrong, Zheng Jian, et al. Determination of total mercury, inorganic-mercury and organic-mercury in fish by running cold atomic absorption spectrometry[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2007, 24(2): 103 ~ 105. (in Chinese)

21 刘红波, 李勋, 薛珺, 等. 氢化物发生-原子吸收光谱法测定钨精矿中的痕量砷[J]. 中国钨业, 2007, 22(4): 39 ~ 41.

Liu Hongbo, Li Xun, Xue Jun, et al. Determination of trace arsenic in tungsten concentrates by hydride generation atomic absorption spectrometry[J]. China Tungsten Industry, 2007, 22(4): 39 ~ 41. (in Chinese)

22 高生泉. 氢化物发生-原子吸收法测定海水中痕量砷(III)和砷(V)[J]. 海洋通报, 1985, 4(3): 19 ~ 23.

Gao Shengquan. Determination of trace arsenic(III) and (V) in seawater by hydride generation atomic absorption spectrometry [J]. Marine Science Bulletin, 1985, 4(3): 19 ~ 23. (in Chinese)

23 季海冰, 何梦常, 赵承易. 环境中锑的形态分析研究进展[J]. 分析化学评述与进展, 2003, 31(11): 1 393 ~ 1 398.

Ji Haibing, He Mengchang, Zhao Chengyi. Research advances of the analytical methods in antimony speciation[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2003, 31(11): 1 393 ~ 1 398. (in Chinese)

24 王宁伟, 柳天舒, 朱金连, 等. 氢化物发生-原子吸收光谱法测定磷矿石中砷[J]. 冶金分析, 2008, 28(4): 68 ~ 69.

Wang Ningwei, Liu Tianshu, Zhu Jinlian, et al. Determination of arsenic in phosphorus ore by hydride generation-atomic absorption spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2008, 28(4): 68 ~ 69. (in Chinese)

25 李蕾, 张涛, 孙志健, 等. 普洱茶中丙烯酰胺含量检测与生成机理研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(3): 123 ~ 129.

Li Lei, Zhang Tao, Sun Zhijian, et al. Survey of acrylamide contents in Pu-erh tea and study on its formation mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 123 ~ 129. (in Chinese)