

ICP-AES 法测定玻璃类药包材中 11 种金属元素的浸出量

刘园园¹, 颜敏¹, 黄海萍¹, 孙会敏², 贺瑞玲²

(1. 湖南省医疗器械检验检测所, 长沙 410014; 2. 中国食品药品检定研究院包装材料与药用辅料检定所, 北京 100050)

摘要 目的: 建立同时测定玻璃类药包材中铝(Al)、钡(Ba)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、铅(Pb)、锑(Sb)、锌(Zn)、铈(Ce)共 11 种元素的浸出量的分析方法, 测定样品, 为提高现有标准提供支持和参考。**方法:** 4% 醋酸溶液对玻璃药包材进行浸提, 采用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法测定浸提液中 11 种元素的浓度, 高频功率为 1.2 kW, 等离子体气体流速为 10 L·min⁻¹, 分析谱线分别为: 394.403(Al)、233.527(Ba)、214.438(Cd)、267.716(Cr)、324.754(Cu)、259.94(Fe)、257.61(Mn)、220.353(Pb)、217.581(Sb)、202.548(Zn)、418.66(Ce)。**结果:** 该方法同时测定 Al、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、Ce, 各元素在一定的浓度范围内呈良好的线性关系, 线性相关系数为 0.999 1~1.000; 加样回收率为 85.8%~106.0%; 精密度试验的 RSD 为 0.4%~1.8%; 重复性试验的 RSD 为 0.6%~4.8%; 检出限为 0.52~75.17 ng·mL⁻¹。测定样品 16 批, 结果测得 Al 浸出量最高为 376.5 ng·mL⁻¹, Ba 浸出量最高为 212 ng·mL⁻¹, 其他元素浸出量均较低, 大多为未检出。**结论:** 该方法可用于同时测定玻璃类药包材中多种元素的浸出量。结果显示 Al 浸出量较高, 澄清剂氧化铈应用广泛, 建议相关标准中增加 Al、Ce 浸出量的测定方法。**关键词:** 电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法; 玻璃类药包材; 包装材料; 金属元素浸出量; 多元素同时测定

中图分类号: R 917

文献标识码: A

文章编号: 0254-1793(2017)04-0712-06

doi: 10.16155/j.0254-1793.2017.04.24

Simultaneous determination of 11 metal elements released from pharmaceutical glass packing materials with ICP-AES

LIU Yuan-yuan¹, YAN Min¹, HUANG Hai-ping¹, SUN Hui-ming², HE Rui-ling²

(1. Hunan Testing Institute for Medical Devices, Changsha 410014, China;

2. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

Abstract Objective: To establish a method for simultaneous determination of aluminum(Al), barium(Ba), cadmium(Cd), chromium(Cr), copper(Cu), iron(Fe), manganese(Mn), lead(Pb), antimony(Sb), zinc(Zn), cerium(Ce) released from pharmaceutical glass packing material, and to provide reference and support for improving existing standards. **Methods:** After extracting glass packing material with 4% acetic acid, elements concentrations were simultaneously determined by ICP-AES. Plasma gas flow rate was set at 10 L·min⁻¹ while RF power was 1.2 kW, and analytical lines of elements were 394.403(Al),

第一作者 Tel: (0731) 84285332; E-mail: lyy19840116@sina.com

233.527 (Ba), 214.438 (Cd), 267.716 (Cr), 324.754 (Cu), 259.94 (Fe), 257.61 (Mn), 220.353 (Pb), 217.581 (Sb), 202.548 (Zn), and 418.66 (Ce). **Results:** The emission intensity of elements showed good linear relationship in a certain concentration ranges as the linear correlation was 0.999 1–1.000. The recoveries were 85.8%–106.0%. The relative standard deviation of precision was 0.4%–1.8%; The relative standard deviation of repeatability was 0.6%–4.8%; and the detection limits were 0.52–75.17 ng·mL⁻¹. 16 samples were determined, and the highest concentration of Al was 376.5 ng·mL⁻¹, and the highest concentration of Ba was 212 ng·mL⁻¹, other elements were barely not determined. **Conclusion:** The method can be used for simultaneous determination of multiple elements released from pharmaceutical glass packing material. The result showed high Al content. In addition, clarifying agent cerium oxide is widely used. Determination of Al and Ce was recommended to be added into the related standard.

Keywords: ICP-AES; pharmaceutical glass packing material; packing material; metal elements content released; simultaneous determination of multi-elements

药用玻璃是直接接触药品的包装材料,早已在药品包装领域中得到了广泛的应用,占有很大比重,并且仍然处于发展的上升阶段。由于温度、湿度、空气、光、微生物等的影响,会使药品稳定性受到影响。玻璃包装瓶具有优越的保护性能和良好的化学稳定性,同时,具有不受大气影响,不被不同化学组成的固体或液体物质所分解的特性,且通过改变玻璃的化学组成就可以调整玻璃的化学性质和耐辐射性质,因此玻璃成为药品最好,最常用的包装容器。另外,根据药品包装材料选择的美学性原则和无污染原则,药用玻璃透明、美观,而且价格低廉,可回收,不像PVC材料后期处理非常困难,带来极为严重的环保问题,从而具有许多无可比拟的特点和优势,在我国已被广泛地用于各类注射针剂、粉针剂、生物药品、血液制品、冻干剂、片剂、口服液等包装领域。

由于药用玻璃瓶要直接接触药品,有的还要进行较长时间的药品贮存,药用玻璃瓶的质量直接关系到药品的质量,涉及人身的健康和生命安全。纵观国内外相关标准,目前国际上普遍使用的有美国药典、欧洲药典和日本药局方。美国药典^[1]测定As浸出量,欧洲药典^[2]采用氢化物发生原子吸收光谱法测定As浸出量,日本药局方^[3]采用原子吸收光谱法测可溶性铁Fe。我国现行标准“GB 19778-2005 包装玻璃容器砷、锑、铅、镉溶出允许限量”^[4]和国家药包材标准“YBB00372004-2015 砷、锑、铅、镉浸出量测定法”^[5]均控制As、Sb、Pb、Cd。“YBB00372004-2015 砷、锑、铅、镉浸出量测定法”规定采用紫外-可见分光光度法测定As、Sb,采用原子吸收光谱法测定Pb、Cd。紫

外-可见分光光度法测定As、Sb浸出量前处理操作烦琐,需要用到甲苯、孔雀绿等对人体毒性较大的试剂。且紫外-可见分光光度法灵敏度低,专属性和准确性较差。Pb、Cd均仅采用原子吸收分光光度法,未充分利用其他速度更快效率更高的测定方法。另外,在医药包装瓶的生产中有些厂家使用氧化铈或氧化铟等替代As、Sb的作用,其中氧化铈应用广泛。同时,玻璃生产过程中通常会加入Al、B、Si等金属元素用以改善玻璃强度性能,加入Fe、Cu、Mn、Ti、Co、Cr等为玻璃着色。因此,现有标准仅控制As、Sb、Pb、Cd,不能满足现有药用玻璃产品监管的需求。

ICP-AES虽成本较高,有些元素检出限较高,未知和复杂基体的光谱干扰比较严重,但它适用范围广,可分析的元素较多(70多种元素)且可多元素同时分析,精密度好,动态线性范围宽,分析速度较快^[6-8]。目前作为一种很重要的测定方法得到广泛应用。本文探讨并建立了ICP-AES同时测定玻璃药用包材中Al、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、Ce共11种元素的浸出量的方法,为玻璃类药包材研究和标准修订或提高提供可靠参考。

1 仪器与试剂

ICPE-9000电感耦合等离子体发射光谱仪(岛津公司);Milli-Q Intergral纯水-超纯水一体机(Millipore公司);所用器皿均用10%硝酸浸泡过夜,用超纯水冲洗后备用。

冰醋酸(优级纯;来源:SIGMA-ALDRICH;货号:45727;批号:BCBJ2085V);超纯水:(电阻率18.2 MΩ·cm);多元素标准溶液(元素:Al、As、Ba、Cd、

Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn; 标准值: $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; 编号: GSB04-1767-2004; 唯一标识: 14445; 来源: 国家有色金属及电子材料分析测试中心); Ce 单元素标准溶液(标准值: $1\ 000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; 编号: GSB04-1775-2004; 唯一标识: 143106; 来源: 国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

研究用样品共 16 批, 来自于 10 家不同企业, 品

种包括安瓿、输液瓶、模制注射剂瓶、管制口服液瓶、口服药瓶; 材质涵盖低硼硅玻璃、中性硼硅玻璃、钠钙玻璃。

2 方法与结果

2.1 工作条件

使用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICPE-9000)测定样品, 仪器具体工作条件见表 1。

表 1 ICP-AES 工作参数

Tab. 1 Operational parameters of the ICP-AES

参数 (parameter)	设定值 (set value)	参数 (parameter)	设定值 (set value) /nm			
高频功率 (RF power)	1.2 kW	分析谱线 (analytical line)	Al	394.403	Mn	257.61
等离子体气流速 (plasma gas flow rate)	$10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$		Ba	233.527	Pb	220.353
辅助气流速 (auxiliary gas flow rate)	$0.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$		Cd	214.438	Sb	217.581
载气流速 (carrier gas flow rate)	$0.7 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$		Ce	418.66	Cu	324.754
观测方向 (observation direction)	轴向 (axial direction)		Cr	267.716	Zn	202.548
矩管 (torque tube)	微型 (micro)		Fe	259.94	/	/

2.2 混合标准溶液的制备

分别精密吸取多元素标准溶液 ($100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 及 Ce 单元素标准溶液 ($1\ 000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 适量, 用 4% 醋酸溶液稀释成质量浓度为 10 、 $1 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的混合标准溶液, 再依次用 4% 醋酸溶液稀释成各元素质量浓度分别为 0.05 、 0.1 、 0.5 、 1 、 2 、 $4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的混合标准溶液; 4% 醋酸溶液作为标准空白溶液。

2.3 供试溶液的制备

将样品清洗干净, 精密加入 4% 醋酸溶液, 安瓿灌装至瓶身缩肩部, 其余样品灌装至满口容量的 90%, 用称量纸封住口部, 用橡皮筋固定称量纸, $98 \text{ }^\circ\text{C}$ 蒸煮 2 h, 冷却至室温, 即得供试溶液。取 4% 醋酸溶液作供试空白溶液。

2.4 测定方法

取标准空白溶液、混合标准溶液、供试空白溶液、供试溶液依次进样测定, 采用标准曲线法, 按谱线发射强度计算各元素浓度。

2.5 方法学验证

2.5.1 线性关系、检出限和定量限 取系列混合标准溶液 (各元素质量浓度范围均为 $0.05 \sim 4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), 每个浓度平行测定 3 次, 取平均值, 仪器以待测元素谱线发射强度值 (A) 纵坐标, 待测元素浓度 (C) 为横坐标自动绘制标准曲线。连续测定样品空白溶液 11 次, 测定值的 3 倍标准偏差计算检出限 (LOD); 测定值的 10 倍标准偏差计算定量限 (LOQ)。结果见表 2。

表 2 标准曲线

Tab. 2 Calibration curve, LOD and LOQ

元素 (element)	标准曲线方程 (standard curve equation)	r	LOD/($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)	LOQ/($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)
Al	$A=0.002\ 903 \times C+0.045\ 08$	0.999 1	13.00	43.35
Ba	$A=0.001\ 069 \times C+0.011\ 32$	0.999 9	3.47	11.56
Cd	$A=0.001\ 344 \times C+0.008\ 301$	1.000	14.65	48.84
Ce	$A=0.001\ 977 \times C+0.071\ 20$	0.999 9	40.42	134.73
Cr	$A=0.001\ 674 \times C+0.004\ 940$	1.00 0	3.62	12.07
Fe	$A=0.000\ 887\ 0 \times C-0.001\ 130$	1.00 0	10.26	34.19
Mn	$A=0.000\ 191\ 2 \times C+0.008\ 308$	0.999 9	0.52	1.73
Pb	$A=0.027\ 31 \times C-0.046\ 7$	0.999 8	75.17	250.56
Sb	$A=0.025\ 50 \times C-0.152\ 2$	0.999 9	63.45	211.51
Cu	$A=0.000\ 632\ 6 \times C-0.017\ 63$	0.999 6	2.52	8.42
Zn	$A=0.001\ 449 \times C+0.003\ 847$	1.000	5.04	16.79

2.5.2 回收率 将样品(编号 13-2)清洗干净,分别精密加入质量浓度为 0.6、1.5、3.0 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的混合标准溶液至缩肩部,每个浓度平行做 3 份,按供试品

溶液的制备项下,自“用称量纸封住口部……”起,依法制备供试溶液,测定发射强度,计算回收率。结果见表 3。

表 3 回收率
Tab. 3 Recoveries

元素 (element)	$C/(\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	回收率(recovery)/%	RSD/%	元素 (element)	$C/(\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	回收率(recovery)/%	RSD/%
Al	0.6	86.3	6.0	Mn	0.6	102.9	1.5
	1.5	85.8			1.5	99.8	
	3.0	95.6			3.0	100.8	
Ba	0.6	102.6	1.9	Pb	0.6	102.6	1.9
	1.5	98.8			1.5	98.4	
	3.0	100.6			3.0	101.2	
Cd	0.6	105.6	1.8	Sb	0.6	94.6	2.6
	1.5	101.8			1.5	94.0	
	3.0	103.6			3.0	98.7	
Ce	0.6	99.7	7.0	Cu	0.6	99.3	2.5
	1.5	85.8			1.5	94.7	
	3.0	97.1			3.0	98.1	
Cr	0.6	103.1	2.1	Zn	0.6	106.0	2.2
	1.5	98.5			1.5	101.1	
	3.0	101.0			3.0	102.8	
Fe	0.6	93.0	3.1				
	1.5	95.8					
	3.0	99.6					

2.5.3 精密度和重复性 配制质量浓度为 3 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的混合标准溶液,测定 6 次,测试精密度;取同一批样品(编号 13-2)6 份,分别按回收率试验项下方法

制得质量浓度为 1.5 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的加标供试溶液,测试重复性。结果见表 4。

表 4 精密度和重复性

Tab. 4 Precision and repeatability

元素 (element)	精密度 (precision), RSD/%	重复性 (repeatability), RSD/%	元素 (element)	精密度 (precision), RSD/%	重复性 (repeatability), RSD/%
Al	1.5	4.8	Fe	1.0	0.7
Zn	0.4	0.8	Mn	1.1	0.7
Ba	1.0	0.8	Pb	0.8	1.1
Cd	0.5	0.8	Sb	0.8	0.9
Ce	1.6	1.0	Cu	1.8	1.2
Cr	0.7	0.6			

2.6 样品测定结果

按供试溶液制备项下处理样品并进行测定,将待测元素谱线发射强度代入标准曲线计算求得样品中各元素的浸出浓度,结果见表 5。

2.7 讨论

2.7.1 实验条件 “YBB00372004-2015 砷、锑、铅、

镉浸出量测定法”规定供试溶液制备是用铝箔封口,对此,通过一系列比较和考察发现供试溶液制备时采用铝箔封口对 Al 元素浸出量影响较大,通常会有污染。对于其他元素则影响不大。因此,考察样品中 Al 元素浸出量时,不宜使用锡纸和铝箔等含铝材料。样品处理时,浸出溶剂、浸出温度和浸出时间分别采

表 5 样品测定结果

Tab. 5 Determination results of the samples

样品 (sample)	编号 (No.)	浸出量 (released elements content) / (ng · mL ⁻¹)										
		Al	Cd	Pb	Sb	Ce	Ba	Zn	Cr	Cu	Fe	Mn
低硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of low borosilicate glass)	13-2	130	N.D	N.D	N.D	N.D	97.05	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of borosilicate glass)	47-1	119.5	N.D	N.D	N.D	N.D	96.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
中硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of middle borosilicate glass)	43-2	127	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
低硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of low borosilicate glass)	49-3	177.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
中硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of middle borosilicate glass)	46-3	387	N.D	N.D	N.D	N.D	165.5	< 16.8	N.D	N.D	N.D	N.D
低硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of low borosilicate glass)	50-4	406	N.D	N.D	N.D	N.D	212	< 16.8	N.D	N.D	< 34.2	N.D
低硼硅玻璃安瓿 (ampoules made of low borosilicate glass)	58-1	376.5	N.D	N.D	N.D	N.D	133	< 16.8	N.D	N.D	N.D	N.D
中硼硅玻璃输液瓶 (ampoules made of middle borosilicate glass)	zp-100	158.5	N.D	N.D	N.D	N.D	54.15	N.D	N.D	N.D	67.05	N.D
中性硼硅玻璃模制注射剂瓶 (injection vials made of moulded middle borosilicate glass)	zp-50	95.7	N.D	N.D	N.D	N.D	34	N.D	N.D	N.D	41.3	N.D
玻璃管制口服液瓶 (oral liquid bottles made of glass tubing)	A65	93.2	N.D	N.D	N.D	N.D	37.25	N.D	N.D	N.D	44.85	N.D
玻璃管制口服液瓶 (oral liquid bottles made of glass tubing)	B68	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
玻璃管制口服液瓶 (oral liquid bottles made of glass tubing)	A615	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
钠钙玻璃模制注射剂瓶 (injection vials made of moulded soda lime glass)	NMZ-10	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	19.4	N.D	N.D	N.D	< 34.2	N.D
钠钙玻璃药瓶 (medicinal bottles made of soda lime glass)	100ZK	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	17	N.D	N.D	N.D	< 34.2	N.D
钠钙玻璃药瓶 (medicinal bottles made of soda lime glass)	100ZD	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	< 16.8	N.D	N.D	N.D	N.D
钠钙玻璃输液瓶 (infusion bottles made of soda lime glass)	NS-10	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

注 (note): N.D 表示浓度低于该元素的检出限, 浓度低于定量限的样品统一表示为 < 元素定量限 (N.D means that determined results are below LOD. < LOQ means that determined results are below LOQ but above LOD)

用 4% 醋酸溶液, 98 °C 蒸煮 2 h, 通过正交试验对不同浓度的酸碱性溶剂, 不同浸出温度和浸出时间做了考察, 综合考虑标准现有的实验条件最佳。

2.7.2 测定结果及建议 从结果可以看出 Al 浸出量较高, Ba 浸出量次之, Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、Ce 浸出量均很低, 多数未检出。在医药包装瓶的生产中常用的澄清剂有三氧化二砷, 三氧化二锑等, 现在也用氧化铈或氧化铊等作为澄清剂, 其中氧化铈应用广泛。同时, 玻璃生产过程中通常会加入 Al、B、Si 等金属元素用以改善玻璃强度性能, 加入 Fe、Cu、Mn、Ti、Co、Cr 等为玻璃着色。鉴于 Al 浸出量较高, 氧化铈又是目前应用广泛的澄清剂, 建议现有国家标准除了对药用玻璃中 As、Sb、Pb、Cd 的浸出量进行控制外, 增加 Al、Ce 元素的浸出量控制, 以保障人们用药安全。

2.7.3 待改进问题 本文旨在建立 ICP-AES 同时测定玻璃药用包材中 Al、As、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb、Sb、Zn、Ce 12 种元素浸出量同时测定的方法。根据文献 [9-15] 经验, 进行了发射功率、雾化气流量、分析线的选择及共存元素的干扰等试验条件的研究和确定。结果 As 的检出限为 155.85 ng · mL⁻¹, 定量

限较高 (519.50 ng · mL⁻¹), 虽然能满足一般药用玻璃的 As 的测定, 但不能体现灵敏度方面的先进性, 本研究测定 As 的方法还有待进一步摸索和改进。

参考文献

- [1] USP 38-NF 33. Vol I [S]. 2014: 450
- [2] EP8. 0. Vol I [S]. 2013: 409
- [3] JP16. General Test [S]. 2011: 120
- [4] GB 19778-2005 包装玻璃容器 铅、镉、砷、锑溶出允许限量 [S]. 2005
GB 19778-2005 Packaging Glass Containers-Release of Lead, Cadmium, Arsenic and Antimony-Permissible Limits [S]. 2005
- [5] YBB00372004-2015 砷、锑、铅、镉浸出量测定法 [S]. 2015: 304
YBB00372004-2015 Test for Release of Arsenic, Antimony, Lead and Cadmium [S]. 2015: 304
- [6] 陈阳, 金薇, 杨永健. 电感耦合等离子体发射光谱法在国内药物分析中的应用现状 [J]. 药物分析杂志, 2013, 33 (6): 907
CHEN Y, JIN W, YANG YJ. Current situation of the application of ICP-AES for the pharmaceutical analysis in China [J]. Chin J Pharm Anal, 2013, 33 (6): 907
- [7] 阮桂色. 电感耦合等离子体原子发射光谱 (ICP-AES) 技术的应用进展 [J]. 中国无机分析化学, 2011, 1 (4): 15
RUAN GS. Development and application of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Chin J Pharm Inorg Anal

- Chem, 2011, 1(4): 15
- [8] 连莹,仲平. ICP发射光谱法测定辅酶 A 中金属元素的含量[J]. 药物分析杂志, 2010, 30(7): 1287
LIAN Y, ZHONG P. ICP-AES determination of metallic elements in coenzyme A [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2010, 30(7): 1287
- [9] 闫清华,杨理,杨利娟. 微波消解 ICP-AES 检测 6 种清热解类中草药中 14 种常量元素[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(7): 1393
YAN QH, YANG L, YANG LJ. Determination of constant and trace elements in six herbal drugs for relieving heat and toxic by microwave digestion with ICP-AES [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2011, 31(7): 1393
- [10] 鲁丹. 水平观测 ICP-AES 法测定玻璃食具中铅、镉、铊和砷的溶出量[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(5): 836
LU D. Determination of release of Pb, Cd, Sb and As from glass food containers by axial view ICP-AES [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2008, 18(5): 836
- [11] 王昌钊,张遴. ICP-AES 法测定玻璃器皿中铅、镉、砷、铊溶出量的研究[J]. 化学分析计量, 2012, 21(4): 50
WANG CZ, ZHANG L. Simultaneous determination of Pb, Cd, As, Sb released from glassware by ICP-AES [J]. *Chem Anal Meterage*, 2012, 21(4): 50
- [12] 刘磊,刘毅,李红梅. ICP-AES 法同时测定食品玻璃容器中铅、镉、砷、铊的溶出量[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 353
LIU L, LIU Y, LI HM. Simultaneous determination of lead cadmium arsenic and antimony released from glass contains by ICP-AES [J]. *Food Sci*, 2008, 29(2): 353
- [13] 邓卫萍,解成喜,钱秀英. 新疆阿魏中多种微量元素的 ICP-AES 分析[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(9): 1543
DENG WP, JIE CX, QIAN XY. Study on determination of trace elements in *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen by ICP-AES [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2008, 28(9): 1543
- [14] 王艳君,蒋晓光,张彦甫,等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定铜磁铁矿中铜、锰、铝、钙、镁、钛和磷的含量[J]. 中国无机分析化学, 2015, 5(3): 64
WANG YJ, JIANG XG, ZHANG YF, *et al.* Determination of Cu, Mn, Al, Ca, Mg, Ti and P in copper magnetite by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) [J]. *Chin J Pharm Inorg Anal Chem*, 2015, 5(3): 64
- [15] 覃文霞 龚琦 李敏,等. 超声辅助固相萃取分离/ICP-AES 测定食品包装铝材中砷的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(4): 1043
QIN WX, GONG Q, LI M, *et al.* Determination of arsenic in food package aluminum by ultrasound assisted solid phase extraction/ICP-AES [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2015, 35(4): 1043

(本文于 2016 年 4 月 18 日收到)