

ICP-MS法同时测定感冒清热颗粒中14种常见金属元素的含量^Δ

周伟娥^{1*}, 谢巍¹, 杨立佼¹, 蒋受军^{2#} (1. 广西中医药大学药学院, 南宁 530299; 2. 玉林食品药品检验所, 广西玉林 537000)

中图分类号 R284.1; R927.2 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2015)24-3406-04
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2015.24.33

摘要 目的: 建立同时测定感冒清热颗粒中镁(Mg)、钙(Ca)、铬(Cr)、锰(Mn)、铁(Fe)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、硒(Se)、镉(Cd)、锑(Sb)、钡(Ba)和铅(Pb) 14种常见金属元素含量的方法。方法: 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法。样品用浓硝酸-双氧水(2:1, V/V)微波消解后采用ICP-MS法测定14种金属元素的含量, 以锂(Li)、钪(Sc)、锗(Ge)、钇(Y)、铟(In)、铋(Bi)、铊(Tb)混合溶液作为内标, 以灌木枝叶作为标准物质。结果: 该方法对14种金属元素的标准曲线相关系数 $r > 0.999 6$, 检出限在0.002~0.035 $\mu\text{g/L}$ 之间, 加样回收率在80.57%~104.2%之间, RSD在0.34%~2.71%之间。结论: 该方法专属性强、快速灵敏, 适用于感冒清热颗粒中14种常见金属元素含量的测定。6个批次样品中的重金属的总量都符合《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》的要求。

关键词 微波消解; 电感耦合等离子体质谱; 感冒清热颗粒; 金属元素

Simultaneous Determination of the Content of 14 Common Metal Elements in Ganmao Qingre Granules by ICP-MS

ZHOU Wei-e¹, XIE Wei¹, YANG Li-jiao¹, JIANG Shou-jun² (1. College of Pharmacy, Guangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanning 530299, China; 2. Yulin Institute for Food and Drug Control, Guangxi Yulin 537000, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To establish a method for simultaneous determination of the content of 14 common metal elements (Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Ba and Pb) in Ganmao qingre granules. METHODS: Microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method was conducted. The samples were digested with concentrated nitric acid-hydrogen peroxide (2:1, V/V), and then ICP-MS was used to determine the mass concentration of 14 metal elements. Li, Sc, Ge, Y, In, Bi and Tb were used as internal standards, and branches and leaves of bush were used as standard substances. RESULTS: The correlation coefficient of the standard curves of 14 elements was larger than 0.999 6, detection limits were in the range of 0.002-0.035 $\mu\text{g/L}$, recoveries were in the range of 80.57%-104.2% and RSDs were in the range of 0.34%-2.71%. CONCLUSIONS: The method is specific, accurate and sensitive, and suitable for the content determination of 14 common metal elements in Ganmao qingre granules. The total mass concentrations of 6 batches of heavy metals are all meet the requirements of *Green Trade Standards of Importing & Exporting Medicinal Plants & Preparations*.

KEYWORDS Microwave digestion; ICP-MS; Ganmao qingre granules; Metal elements

- 白工艺[J].农业工程, 2014, 4(4): 82.
- [4] 韩利梅. 芡实对糖尿病肾病大鼠肾组织 SOCS-3、IGF-1 表达的影响[D]. 太原: 山西医科大学, 2014.
- [5] 董文华. 芡实对糖尿病肾病大鼠肾组织 GLUT1 及 TGF- β 1 表达的影响[D]. 太原: 山西医科大学, 2014.
- [6] 王丽娟, 刘训红, 丁玉华, 等. 麋角超细粉体表征及其水溶性蛋白质溶出度研究[J]. 南京中医药大学学报, 2010, 26(2): 132.
- [7] 曲春香, 沈颂东, 王雪峰, 等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 2006, 22(2): 82.
- [8] da Silva MA, Arruda MA. Mechanization of the Bradford reaction for the spectrophotometric determination of total proteins[J]. *Anal Biochem*, 2006, 351(1): 155.
- [9] 赵宇明, 姜俊, 张建新, 等. 光度法快速测定大豆水溶性蛋白质的研究[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 124.
- [10] 邱葵, 司天润. 用考马斯亮蓝测定动物药材中可溶性蛋白质含量方法初探[J]. 中国中医药信息杂志, 2007, 14(4): 49.
- [11] 张余, 侯长平, 孙艳辉, 等. 芡实淀粉糊黏度特性研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(4): 20.
- [12] 陈蓉, 薛满, 陈伟, 等. 芡实多糖理化性质及抗氧化活性研究[J]. 中国药学: 英文版, 2014, 23(8): 578.
- [13] 陈蓉, 陈广云, 沈蓓, 等. 基于共有峰率和变异峰率双指标序列分析法的芡实红外指纹图谱研究[J]. 中国药房, 2012, 23(23): 2 141.

(收稿日期: 2014-12-05 修回日期: 2015-02-03)

(编辑: 余庆华)

^Δ 基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目 (No. 桂科攻 10124008-15)

* 硕士研究生。研究方向: 食品药品分析和安生性评价。E-mail: zhouweietj@126.com

通信作者: 主任药师, 博士。研究方向: 食品药品分析和安生性评价。电话: 0775-2827042。E-mail: 809433745@qq.com

感冒清热颗粒属于经典的中成药方,主要成分包括荆芥穗、葛根和桔梗等,具有疏风散寒、解表清热的功效,临床上主要用于风寒感冒和头痛发热等^[1]。微量元素和重金属能够影响人体中药物与营养物质的吸收、分布、代谢和排泄,在中成药中的作用不容忽视^[2-3]。近年来,重金属残留造成中成药不良反应的报道逐渐增多,我国逐渐加大了对中药或中成药中微量成分和重金属的关注^[4-5]。美国等对进出口中药或中成药的重金属都有相关规定^[6-7]。截止目前,2010年版《中国药典》(一部)尚未对感冒清热颗粒中金属元素总含量进行控制,但中药或中成药在生产、加工、储存、运输和销售的过程中容易通过土壤、空气和水受到重金属离子的污染^[8-9]。为了保证感冒清热颗粒的质量、疗效,与国际接轨,我们需要全面控制感冒清热颗粒中微量元素和重金属等常见金属元素的含量。本研究中,笔者首次建立了电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定感冒清热颗粒中14种金属元素,本方法前处理简单、快速、灵敏度高、重复性好,能够实现多离子的中成药检测。

1 材料与方法

1.1 仪器

7500ce型ICP-MS仪(美国Agilent公司);MARS X-press微波消解仪(美国CEM公司);AB204-S型分析天平(瑞士Mettler-Toledo公司);超纯水处理系统(美国Millipore公司)。

1.2 药品与试剂

感冒清热颗粒(山东三九药业有限公司,批号:1406262;北京北卫药业有限责任公司,批号:141005;北京市东升药业有限公司,批号:14480601;北京同仁堂科技发展股份有限公司,批号:13111765、14111717、14111696),规格均为12g/包,均购于各零售药店。镁(Mg)、钙(Ca)、铬(Cr)、锰(Mn)、铁(Fe)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、硒(Se)、镉(Cd)、铈(Sb)、钡(Ba)、铅(Pb)元素标准溶液均为1000 μg/ml(国家钢铁材料测试中心,编号为GSB G62017-90);锂(Li)、钪(Sc)、锆(Ge)、钇(Y)、铟(In)、铋(Bi)、铕(Tb)内标溶液(美国Agilent公司);Li、Mg、Y、钴(Co)、铈(Ce)和铊(Tl)调谐液(美国Agilent公司);硝酸(优级纯,美国Fluka公司);高氯酸(优级纯,北京化学试剂公司);过氧化氢(优级纯,北京化学试剂公司);硫酸(优级纯,北京益利精细化学品有限公司);灌木枝叶标准物质(国家标准物质中心,批号:01036)。

1.3 标准溶液制备

取适量Mg、Ca、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sb、Ba、Pb标准溶液,用2%的稀硝酸溶液溶解后稀释,配制²⁴Mg、⁴³Ca、⁵⁵Mn、⁶⁶Zn、¹³⁷Ba混标溶液,质量浓度为10、50、100、150、200、250、300 μg/L的标准系列工作液;配制⁵³Cr、⁵⁷Fe、⁶⁰Ni、⁶³Cu、⁷⁵As、⁸²Se、¹²¹Sb、²⁰⁸Pb混标溶液,质量浓度为0.1、0.5、1、5、10、20、50 μg/L的标准系列工作液;配制¹¹¹Cd质量浓度为0.01、0.05、0.1、0.5、1.0、5.0、10 μg/L的标准系列工作液。

1.4 微波消解法前处理方法

准确称量0.5 g(精确至0.000 1 g)样品于洗净的聚四氟乙

烯密闭消解罐中,加入10 ml硝酸,在室温下预消解0.5 h后,再加入5 ml过氧化氢,微波消解,程序如下:在800 W下,8 min内升温至120 ℃,维持10 min后,在1400 W下,5 min内升温至180 ℃,维持20 min,消解完成后静置于室温中。待温度降至室温后取出消解罐,转移样品至聚酯塑料瓶中,用2%稀硝酸稀释定质量至25 g(精确至0.000 1 g)后测定。

1.5 分析仪器的的工作参数

联机前用质量浓度为1 μg/L的Li、Mg、Y、Co、Ce、Ti调谐液对ICP-MS仪进行调谐,以保证仪器的灵敏度和稳定性。分析仪器的正常稳定工作的射频功率为1500 W,射频电压为1.67 V,雾化室温度为2 ℃,载气流速为0.85 L/min,补偿气流速为0.21 L/min,循环次数为3次,蠕动泵提升速率为0.1 rps。

2 结果

2.1 方法的线性关系、检出限

优化仪器参数后,对系列标准工作溶液以及空白溶液(2%硝酸溶液)进行检测,采用在线内标法,内标分别为Li、Sc、Ge、Y、In、Bi、Tb,以元素的质量浓度(x, μg/L)为横坐标、峰面积(y)为纵坐标绘制标准曲线,得到各元素的线性回归方程及相关系数,并以空白溶液所产生的信号响应的标准偏差(σ)的3倍所对应的待测元素质量浓度作为仪器的检出限,结果详见表1。

表1 线性方程、线性范围和检出限

Tab 1 Linear equations, linear range and detection limit

序号	元素	线性方程	线性范围, μg/L	r	检出限, μg/L
1	²⁴ Mg	y=51.27x+10.18	10~300	0.999 9	0.013
2	⁴³ Ca	y=1.391 × 10 ⁻¹ x+7.723 × 10 ⁻²	10~300	0.999 9	0.002
3	⁵³ Cr	y=1.411 × 10 ⁻¹ x+4.328 × 10 ⁻²	0.1~50	0.999 9	0.011
4	⁵⁵ Mn	y=1.381x+1.232	10~300	0.999 9	0.025
5	⁵⁷ Fe	y=2.987x+2.485	0.1~50	0.999 8	0.019
6	⁶⁰ Ni	y=2.823 × 10 ⁻¹ x+7.217 × 10 ⁻¹	0.1~50	0.999 9	0.009
7	⁶³ Cu	y=7.656 × 10 ⁻¹ x+2.215	0.1~50	0.999 8	0.035
8	⁶⁶ Zn	y=2.404 × 10 ⁻¹ x+1.603	10~300	0.999 9	0.003
9	⁷⁵ As	y=2.044 × 10 ⁻³ x+5.525 × 10 ⁻²	0.1~50	0.999 9	0.011
10	⁸² Se	y=6.383 × 10 ⁻³ x+3.798 × 10 ⁻³	0.1~50	0.999 9	0.007
11	¹¹¹ Cd	y=6.686 × 10 ⁻² x+6.380 × 10 ⁻³	0.01~10	0.999 9	0.008
12	¹²¹ Sb	y=2.351 × 10 ⁻¹ x+2.615 × 10 ⁻¹	0.1~50	0.999 6	0.029
13	¹³⁷ Ba	y=9.413 × 10 ⁻² x+6.641 × 10 ⁻²	10~300	0.999 7	0.012
14	²⁰⁸ Pb	y=5.731 × 10 ⁻¹ x+8.499 × 10 ⁻²	0.1~50	0.999 9	0.032

2.2 方法准确性试验

本试验采用灌木枝叶标准物质GBW07603作为参考,评价方法的准确度。结果表明,测定值在参考数据范围内,测定值与参考数据基本相符,说明该方法准确、可靠,结果详见表2。

2.3 精密度的试验

取感冒清热颗粒样品(批号:1406262)适量,按“1.4”项下微波消解法处理样品,在相同的仪器条件下平行测定6次,测得各元素峰面积,计算6个样品中各元素质量浓度的平均值和精密度的RSD。结果,14种常见金属元素的RSD为0.57%~1.58%,表明仪器精密度较好,符合分析方法的要求,详见表3。

2.4 稳定性试验

表2 灌木枝叶标准物质测定结果 (n=6, μg/L)

Tab 2 Results of bush branches and leaves of certified reference materials (n=6, μg/L)

元素	理论值	测定平均值	元素	理论值	测定平均值
²⁴ Mg	4 800 ± 400	4 930	⁶⁶ Zn	20.6 ± 2.2	18.87
⁴³ Ca	1.68 ± 0.11	1.568	⁷⁵ As	1.25 ± 0.15	1.125
⁵³ Cr	2.6 ± 0.20	2.575	⁸² Se	0.12 ± 0.02	0.122
⁵⁵ Mn	61.0 ± 5.0	61.01	¹¹¹ Cd	0.38	0.381
⁵⁷ Fe	1 070 ± 57	1 019	¹²³ Sb	0.095 ± 0.014	0.091
⁶⁰ Ni	1.7 ± 0.30	1.681	¹³⁷ Ba	18 ± 2	17.92
⁶⁵ Cu	6.6 ± 0.80	6.791	²⁰⁸ Pb	47 ± 3	45.81

表3 精密度试验结果 (n=6)

Tab 3 Results of precision tests (n=6)

元素	平均值, μg/ml	RSD, %	元素	平均值, μg/ml	RSD, %
²⁴ Mg	6.425	0.67	⁶⁶ Zn	2.714	1.58
⁴³ Ca	11.67	0.86	⁷⁵ As	0.361	1.26
⁵³ Cr	0.006 1	1.79	⁸² Se	0.018 3	1.42
⁵⁵ Mn	6.31	0.73	¹¹¹ Cd	0.001 61	1.28
⁵⁷ Fe	0.456	0.62	¹²³ Sb	-	-
⁶⁰ Ni	0.218	0.57	¹³⁷ Ba	3.012	0.83
⁶⁵ Cu	0.211	1.08	²⁰⁸ Pb	-	-

注：“-”示未检测到

Note:“-” means it was not detected

表4 加样回收率试验结果 (n=6)

Tab 4 Result of recovery tests (n=6)

元素	样品含量, μg/L	低质量浓度, μg/L				中质量浓度, μg/L				高质量浓度, μg/L			
		加入量	测得量	平均加样回收率, %	RSD, %	加入量	测得量	平均加样回收率, %	RSD, %	加入量	测得量	平均加样回收率, %	RSD, %
²⁴ Mg	127.5	1	128.4	92.32	1.81	10	136.9	94.03	1.34	50	176.4	97.82	0.95
⁴³ Ca	233.4	1	234.3	91.69	1.04	10	243.1	97.32	1.12	50	282.1	97.47	1.03
⁵³ Cr	1.069	1	2.057	87.29	2.71	5	6.057	99.76	0.78	10	11.05	99.81	1.54
⁵⁵ Mn	128.4	1	129.2	83.13	0.93	10	227.1	98.72	1.92	50	177.9	99.27	0.49
⁵⁷ Fe	9.118	1	10.12	100.20	1.32	5	13.94	96.44	0.58	10	18.72	96.02	0.73
⁶⁰ Ni	4.284	1	5.273	98.92	1.51	5	8.939	93.18	0.83	10	14.07	97.86	1.42
⁶⁵ Cu	0.402	1	1.271	86.89	1.82	5	5.212	96.19	1.02	10	10.23	98.28	0.81
⁶⁶ Zn	46.82	1	47.63	81.62	1.23	10	55.74	89.24	0.92	50	92.63	91.62	1.15
⁷⁵ As	0.138	1	1.079	94.13	1.72	5	4.981	96.96	1.37	10	9.756	96.18	0.76
⁸² Se	0.322	1	1.127	80.57	2.61	5	5.013	93.82	0.68	10	10.03	100.50	1.38
¹¹¹ Cd	0.031	0.1	0.119	88.14	1.99	0.5	0.454	84.61	0.79	1	1.213	89.18	0.87
¹²³ Sb		1	1.042	104.20	1.25	5	5.002	100.00	0.83	10	9.263	92.63	0.98
¹³⁷ Ba	59.98	1	60.81	83.32	0.34	10	68.51	85.32	1.12	50	107.8	95.64	1.49
²⁰⁸ Pb		1	1.021	102.10	1.78	5	4.762	95.24	0.83	10	8.931	89.31	1.54

取6批次样品,按“1.4”项下方法进行前处理后检测,每个样品平行3份,采用平均值表示,测定样品中各元素的含量。结果,⁴³Ca的含量最高,²⁴Mg、⁵⁵Mn、¹³⁷Ba次之,实际样品中各元素的含量测定值详见表5。

3 讨论

3.1 内标法的校正

本研究采用内标法,采用质量浓度均为1.0 μg/L的Li、Sc、Ge、Y、In、Bi、Tb混合溶液作为内标。由于采用ICP-MS法作多元素分析时,容易受到氧化物和多原子离子的干扰,样品溶液中不同元素间的质量浓度的差异也容易引起误差而在线内标法可有效监控和校正信号的漂移,可有效的校正误差。

取样品(批号:1406262)约0.5 g,精密称定,按“1.4”项下方法制备供试品溶液,分别于放置0、2、4、8、24、48 h时测定样品含量。结果,Mg、Ca、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sb、Ba、Pb的RSD分别为1.17%、1.12%、1.03%、1.86%、1.72%、1.05%、0.82%、1.22%、1.99%、1.19%、1.82%、1.43%、1.05%、2.33%,表明14种元素在48 h内稳定性良好。

2.5 重复性试验

取样品(批号:1406262)约0.5 g,精密称定,按“1.4”项下方法制备供试品溶液,平行试验6份。结果,Mg、Ca、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Cd、Sb、Ba、Pb的RSD分别为0.96%、0.52%、1.23%、0.68%、1.45%、1.92%、1.24%、1.65%、1.12%、0.86%、1.87%、1.69%、1.77%、1.89%,表明本方法重复性较好。

2.6 加样回收率试验

取感冒清热颗粒(批号:1406262)适量,共6份,样品前处理按“1.4”中的步骤操作,测得6个样品峰面积后,计算各测定元素含量的加样回收率和精密度。结果,各元素加样回收率均在80.57%~104.2%之间,方法回收率良好,各元素的RSD在0.34%~2.71%之间,符合分析要求,详见表4。

2.7 样品中各元素含量测定

3.2 消解溶剂的优化

中成药中含有较多的有机成分,所以选择硝酸、硫酸、双氧水、高氯酸等强氧化剂作消解溶剂,可使有机组分充分分解,便于微波消解,而双酸的效果更加明显。因此,本研究分别考察以浓硝酸-双氧水(3:1, V/V)、浓硝酸-双氧水(2:1, V/V)、浓硝酸-双氧水(1:1, V/V)、浓硝酸-双氧水(1:2, V/V)、浓硝酸-硫酸(3:1, V/V)、浓硝酸-硫酸(2:1, V/V)、浓硝酸-硫酸(1:1, V/V)、浓硝酸-硫酸(1:2, V/V)、浓硝酸-高氯酸(3:1, V/V)、浓硝酸-高氯酸(2:1, V/V)、浓硝酸-高氯酸(1:1, V/V)、浓硝酸-高氯酸(1:2, V/V)作为消解溶剂进行微波消解时,比较各元素的回收率效果。结果,采用浓硝酸-双氧水(2:1, V/V)作为消解溶

剂时,各分析元素的回收率均在83.13%~104.2%之间,满足分析要求,而其他比例的消解溶剂回收率不理想。

表5 样品中各元素的含量($n=3$, mg/g)

Tab 5 Results of elements' contents in the samples ($n=3$, mg/g)

编号	元素	批号					
		1406262	141005	14480601	13111765	14111717	14111696
1	²⁴ Mg	6 425	6 721	6 823	6 521	5 710	6 210
2	⁴⁰ Ca	12 120	13 218	14 216	13 561	13 986	11 234
3	⁵² Cr	63.45	71.88	80.97	74.43	70.01	64.86
4	⁵⁵ Mn	6 420	6 321	6 723	6 512	6 721	6 108
5	⁵⁶ Fe	398.1	356.2	421.8	301.2	465.2	342.8
6	⁵⁸ Ni	214.2	301.9	342.9	231.9	198.5	199.2
7	⁶³ Cu	20.12	19.32	18.94	17.12	18.42	16.98
8	⁶⁶ Zn	2 341	2 456	2 543	1 929	2 135	2 147
9	⁷⁵ As	345.2	379.4	381.6	301.2	297.4	312.9
10	⁸² Se	16.12	16.31	18.01	17.01	16.77	16.63
11	¹¹¹ Cd	1.553	1.812	1.703	1.329	1.212	1.345
12	¹²¹ Sb	-	-	-	-	-	-
13	¹³⁷ Ba	3 024	2 861	3 120	2 901	3 213	3 412
14	²⁰⁶ Pb	-	-	-	-	-	-

注:“-”示未检测到

Note:“-” means it was not detected

3.3 消解方法的选择

本试验对比了微波消解方法和电热板消解方法。微波和电热板分别对0.5 g样品实现完全消解,酸消耗量分别为6、20 ml,消解时间分别为30、100 min,可见微波消解法试剂消耗少、效率高、时间短,是进行样品预处理的较理想方法。这可能是因为微波消解法具有高压消解和微波加热相结合的特点。张磊等^[10]认为,微波消解法具有样品分解速度快、挥发性成分损失少、背景值低等优点,所以本试验采取微波消解法对样品进行前处理。

3.4 试验结果分析

现代医学表明,Zn具有清热、凉血、消炎、生肌等功效;Mn是多种酶的激活剂,对糖类、脂类代谢和蛋白质合成有重要的作用^[11]。从试验结果中可知,感冒清热颗粒中Ca、Mg、Mn、Zn等元素含量较高,具有清热凉血、调节机体代谢和提高免疫力等作用。对这些元素的测定,有助于评价该药的疗效。另外,中药重金属残留一直是人们关注的问题。1999年,美国加州卫生署公布了200多种中成药的重金属检测结果,其中有123种不合格^[12],无疑限制了中药或中成药的国际化发展。美国、欧盟和东南亚国家对中药都提出了重金属的残留限量指标。其中,美国药典规定,草药中重金属重量不超过10~20 mg/kg,而汞(Hg)<3 mg/kg;As<3 mg/kg等^[13]。我国《药用植

物及制剂进出口绿色行业标准》规定了重金属总量不得高于20 mg/kg^[5]。从本试验结果看,6个批次的重金属总量符合《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》的要求。而2010年版《中国药典》(一部)未对感冒清热颗粒中具体微量元素作出限量规定,但该中成药使用量较大,有必要制定重金属等的残留限量,以提高药物的安全性。因此,建立一种迅速有效、专属性强的分析方法同时测定感冒清热颗粒中14种常见金属元素的含量,对规范该中成药成分和提高该药安全性具有重要作用。

参考文献

- [1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].2010年版.北京:中国医药科技出版社,2010:1 185.
- [2] 胡军高,梁旭霞,钟洪兰,等.ICP-MS技术测定清热解毒胶囊中常见金属元素的含量[J].中国药房,2012,23(35):3 331.
- [3] Soetan KO, Olaiya CO, Oyewole OE. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: a review[J]. *Afr J Food Sci*, 2010, 4(5): 200.
- [4] 施晓光,赵庄,陆敏仪,等.微波消解ICP-MS法测定黄芪注射液中5种重金属元素含量[J].中国药师,2013,16(4):494.
- [5] 段红福,荣春蕾.ICP-MS在中药重金属及有害元素限量检测中的应用[J].中国医药科学,2015,5(1):95.
- [6] 李敏,刘渝,周睿,等.国内外有关中药中重金属和砷盐的限量标准及分析[J].时珍国医国药,2007,18(11):2 859.
- [7] 陈家春,贾敏如.中、美、英、日和欧洲药典中植物药重金属和农药残留量的限量规定及分析[J].华西药学杂志,2005,20(6):525.
- [8] 洪薇,赵静,李绍平.中药重金属限量控制现状与对策[J].药物分析杂志,2007,27(11):1 849.
- [9] 冯云霞,朱旭,张介眉.100种常用药材重金属残留状况探析[J].中国药师,2014,17(10):1 696.
- [10] 张磊,王晓艳,李波,等.微波消解技术在金属分析中的应用[J].光谱实验室,2010,27(3):953.
- [11] 张俊清,刘明生,符乃光,等.中药材微量元素及重金属研究的意义与方法[J].中国野生植物资源,2002,21(3):48.
- [12] 陈建存.输美中成药受重金属/化学品污染及违反FDA规定情况[J].中国中医药信息杂志,2000,7(8):90.
- [13] 黄训瑞.ICP-MS法测定生脉注射液中5种重金属元素的含量[J].中国药房,2014,25(17):1 619.

(收稿日期:2015-02-03 修回日期:2015-06-21)

(编辑:余庆华)

《中国药房》杂志——《化学文摘》(CA)收录期刊,欢迎投稿、订阅