

电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱联用法 测定中药石菖蒲中的元素

陈 练^{1,2}, 王利兵^{2*}, 吕小园², 贺 鹏², 颜鸿飞², 黎继烈^{1*}

(1. 中南林业科技大学生命科学与技术院, 长沙 410004; 2. 湖南出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 国家食品安全检测重点实验室, 食品安全科学技术湖南省重点实验室, 长沙 410004;)

摘 要: **目的** 建立中药材中多元素的电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱联用法, 对中药石菖蒲中的元素进行分析研究。**方法** 运用微波消解进行前处理, 电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱联用技术结合内标元素校正系统漂移和基体抑制效应, 外标法定量。同时运用标准物质、加标回收、精密度试验等进行方法学验证, 并运用于中药石菖蒲的元素分析。**结果** 成功运用该方法检测出石菖蒲中的 32 种元素。方法回归曲线相关系数大于 0.995, 回收率在 80%~110%之间, 相对标准偏差小于 10%。**结论** 该方法快速、稳定、检出限低、回收率好, 可用于中药石菖蒲元素分析。

关键词: 中药; 石菖蒲; 元素; 电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱法

Determination of metals in *Acori Tatarinowii Rhizoma* by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-mass spectrometry

CHEN Lian^{1,2}, WANG Li-Bing^{2*}, LV Xiao-Yuan², HE Peng², YAN Hong-Fei², LI Ji-Lie^{1*}

(1. School of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2. Technology Center of Hunan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, State Key Laboratory of Food Safety Testing, Hunan Key Laboratory of Food Safety Science & Technology, Changsha 410004, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of elements in Chinese traditional medicine *Acori Tatarinowii Rhizoma* by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-mass spectrometry (ICP-AES/MS). **Methods** Based on microwave digestion as pre-treatment, the samples were detected by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-mass spectrometer, adjusted system shift and matrix depression by internal standard element and quantified by external standard method. The validation of method was proved with data of standard material, spiked recoveries and precisions. The method was further used to analyze the elements of *Acori Tatarinowii Rhizoma*. **Results** Totally 32 metals in *Acori Tatarinowii Rhizoma* were detected by ICP-AES/MS. The correlation coefficients of regression equations were more than

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD29B05)

Fund: Supported by the National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2012BAD29B05)

*通讯作者: 王利兵, 研究员, 主要研究方向为食品安全。E-mail: wanglb1@126.com

黎继烈, 教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: ljilie12@163.com

*Corresponding author: WANG Li-Bing, Researcher, Hunan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Changsha 410004, China. E-mail: wanglb1@126.com

LI Ji-Lie, Professor, School of Life Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China. E-mail: ljilie12@163.com

0.995. The recoveries were between 80% and 110%, and relative standard deviations were less than 10%.

Conclusion The method is fast, stable, and has a low detection limit and good recovery, which can be used for the analysis of metals in Chinese traditional medicine *Acori Tatarinowii Rhizoma*.

KEY WORDS: traditional Chinese medicine; *Acori Tatarinowii Rhizoma*; metals; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-mass spectrometry

1 引言

石菖蒲是天南星科植物石菖蒲的干燥根茎, 秋冬两季采摘。作为一种千百年来常用中药材, 具有开窍豁痰、醒神益智、化湿开胃的疗效^[1]。中药材的疗效、用药安全和质量控制与其金属含量息息相关^[2-5]。例如, Fe 和 Mn 能促进血红蛋白合成, 因此具有活血的功效^[6,7]。有害元素 Cd、Pb、As 有代谢毒性^[8,9], 会严重伤害人体的代谢功能。因此石菖蒲中的元素信息对于中药材的药效评价及质量控制有非常重要的参考价值。近年来虽然也有一些关于中药材中元素研究的文献报道, 但是这些报道多局限于分析一些常规的元素, 比如 Cu、Fe、Pb、Cd。而且, 目前没有关于石菖蒲中如此多种元素同时测定的报道。

常规的元素分析仪器有原子吸收、原子荧光、电感耦合等离子体质谱仪、电感耦合等离子体原子发射光谱质谱仪等^[10-18]。考虑到分析效率、灵敏度、仪器选择性, 本研究采用电感耦合等离子体原子发射光谱-质谱仪(ICP-AES/MS)分析中药中的 40 种元素(Na、Mg、Al、P、Fe、Mn、Ba、Ca、K、Li、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Sr、Mo、Ag、Cd、Sn、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Au、Tl、Pb、Bi)。其中, As 和 Se 采取 ICP-MS 的碰撞模式进行测定以减少多原子光谱的干扰。方法的有效性通过测定有证标准物质“黄芪”中部分相同的元素和加标回收来评价。

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 试验材料

标准物质黄芪(GBW 10028)及所有的标准溶液、内标溶液(1000 mg/L)均购自中国标准物质研究院。硝酸(优级纯, 含量 65.0%~68.0%, 批号: 20140928)、高氯酸(优级纯, 含量 70.0%~72.0%, 批号: 20140712)、过氧化氢(优级纯, 含量 30%, 批号: 20140607)购自中国国药集团。

2.1.2 药材

22 份石菖蒲药材样品, 产地四川。购买自长沙老百姓大药房、千金大药房、楚仁堂大药房。

2.2 方法

2.2.1 仪器条件

电感耦合等离子体原子发射光谱质谱联用仪(Varian 820MS, 美国瓦里安公司), 微波消解仪(MARS, 美国 CEM 公司)。ICP-MS 的工作条件为: 氩气流速 18 L/min, 辅助气流速 1.7 L/min, 鞘气流速 0.16 L/min, 雾化流速 0.98 L/min, 采样深度 6.5 mm, 射频线圈功率 1.40 kW, 泵速 5 r/min, 碰撞气 He, 碰撞气流速 45 mL/min。微波消解的操作条件: 功率 1600 W, 经过 12 min, 温度从室温升至 180 °C, 再保持 20 min。

2.2.2 样品制备

样品研磨粉碎过 20 目筛。称取 0.5 g 粉末样品到一系列微波消解管中, 加入 5 mL 硝酸浸泡过夜。次日, 加入 2 mL 过氧化氢(30%)。微波消解仪消解。消解结束冷却至室温后, 将溶液转移至一系列 50 mL 容量瓶, 加入内标 ⁹Be、⁴⁵Sc、⁷⁴Ge、¹¹⁵In、¹⁸⁵Re, 使内标浓度为 5.00 μg/L, 超纯水定容。同时处理两个样品空白。溶液上机待测。

2.2.3 样品测定

将标准溶液逐级稀释到标准曲线浓度为 1.0、5.0、10.0、15.0、20.0、25.0 μg/L, 同时内标 ⁹Be、⁴⁵Sc、⁷⁴Ge、¹¹⁵In、¹⁸⁵Re 的浓度为 5 μg/L。工作曲线法定量。

3 结果与讨论

3.1 消解方法的选择

微波消解、湿法消解及干法消解是样品前处理的常规方法。对于干法消解, 有机物基本上在碳化和灰化的过程中氧化完全, 因此, 只需要用到很少量的酸进行消解, 酸引入的干扰也会相对较小。但是, 高温不可避免地会引起易挥发元素如 Pb、Cd、Zn、Se、As 的损失。硝酸、高氯酸混合溶液是湿法消解中常用的酸, 有较强的氧化性, 但是高氯酸的沸点将近

200 °C, 在消解的过程中很难被完全赶干净。Cl 会在分析的过程中与 Sn 形成易挥发的 SnCl₄, 影响 Sn 的测定。此外, As 和 Se 也会受到 Cl 的影响。对于微波消解, 封闭的环境和较低的消解温度不会引起易挥发元素的损失, 此外, 微波消解体系只引入元素 H, N, O, 这与等离子体体系的元素一致, 不会带入新的光谱干扰。因此选择微波消解作为前处理方法。

3.2 内标的选择

分析信号会随着分析的进行产生漂移, 内标能监控并校正这类漂移, 而且内标是校正基体抑制的有效方法。选择元素 ⁹Be、⁴⁵Sc、⁷⁴Ge、¹¹⁵In、¹⁸⁵Re 作为内标元素。这些元素在被分析样品中不存在, 与被分析元素之间不会相互干扰, 覆盖了被分析元素的质量数范围, 且与被分析元素间有相近的电离电位。

3.3 光谱干扰及同位素干扰

同位素或多原子、分子光谱干扰在 ICP-MS 中非常常见。如等离子体气 Ar 会形成 ⁴⁰Ar⁴⁰Ar 干扰 ⁸⁰Se 的测定。Ar 也会与 Cl 形成 ⁴⁰Ar³⁵Cl 干扰 ⁷⁵As。Mo 会与 O 形成 ⁹⁵Mo¹⁶O 干扰 ¹¹¹Cd。对于 As 和 Se 的测定, 采用碰撞模式, 运用气体 He 碰撞多原子离子减少此类干扰。同时, 考虑到元素丰度和干扰情况, 元

素测定质量数如下: ⁷Li、²³Na、²⁴Mg、²⁷Al、³¹P、³⁹K、⁴⁴Ca、⁵⁵Mn、⁵⁶Fe、⁵⁹Co、⁶⁰Ni、⁶³Cu、⁶⁴Zn、⁷⁵As、⁷⁸Se、⁸⁵Rb、⁸⁸Sr、⁹⁵Mo、¹⁰⁷Ag、¹¹²Cd、¹¹⁸Sn、¹³⁸Ba、¹³⁹La、¹⁴⁰Ce、¹⁴¹Pr、¹⁴⁶Nd、¹⁴⁷Sm、¹⁵³Eu、¹⁵⁷Gd、¹⁵⁹Tb、¹⁶³Dy、¹⁶⁵Ho、¹⁶⁶Er、¹⁶⁹Tm、¹⁷²Yb、¹⁷⁵Lu、¹⁹⁷Au、²⁰⁵Tl、²⁰⁸Pb、²⁰⁹Bi。

3.4 方法有效性确认

标准物质“黄芪”(GBW 10028)测定 3 次, 评价方法的准确性。标样的标识值与测定值见表 1。结果显示元素的测定值均在标识值的允差范围内, 说明该方法有足够的准确性。此外, 还运用标准加入法进一步评价方法的有效性。对于不同的元素, 浓度范围相差很大, 比如 Na 的含量约在 1200 mg/kg 左右, 而 Cd 的含量大约只有 0.05 mg/kg。因此, 选择了 4 种加标浓度。回收率数据见表 2。数据显示回收的在 80%到 110%之间。此外, 对样品测定 6 次评价方法的精密度, 数据见表 2。数据显示方法的相对标准偏差不大于 10%。测定样品空白 11 次, 评估方法的检出限。数据见表 2。以上的数据表明该方法有良好的准确性、精密度、回收率及较低的检出限。可以运用该方法测定中药材中的元素。

表 1 标准物质黄芪(GBW 10028)测定值及标识值

Table 1 Observed contents and certified contents of standard material *Astragalus mongholicus* (GBW 10028)

元素	测定值 (mg/kg)	标识值±不确定度 (mg/kg)	元素	测定值 (mg/kg)	标识值±不确定度(mg/kg)
Na	1.29×10 ³	(1.46±0.19)×10 ³	Ca	4.53×10 ³	(4.56±0.18)×10 ³
Mg	2.32×10 ³	(2.28±0.10)×10 ³	Fe	1.07×10 ³	(1.13±0.07)×10 ³
Al	1.7×10 ³	(1.8±0.3)×10 ³	Li	1.24	1.25±0.12
P	2.19×10 ³	(2.25±0.12)×10 ³	Cd	4.1×10 ⁻²	(4.2±1.0)×10 ⁻²
K	6.9×10 ³	(7.0±0.4)×10 ³	La	1.06	1.07±0.09
Ba	19.6	20.5±2.5	Mn	32	33±1
Co	0.43	0.44±0.03	Ce	2.11	2.03±0.23
Ni	2.16	2.26±0.15	Pr	0.225	0.231±0.028
Cu	8.3	8.5±0.7	Nd	0.89	0.90±0.11
Zn	22.7	22.3±1.0	Sm	0.163	0.172±0.013
As	0.54	0.57±0.05	Eu	3.0×10 ⁻²	(3.2±0.6)×10 ⁻²
Se	7.9×10 ⁻²	(7.1±2.4)×10 ⁻²	Yb	4.6×10 ⁻²	(6.2±1.9)×10 ⁻²
Rb	10.4	10.5±0.5	Pb	1.43	1.44±0.10
Sr	49	51±3	Dy	0.121	0.122±0.013
Mo	6.1	5.7±0.6	Ho	2.4×10 ⁻²	(2.3±0.4)×10 ⁻²
Gd	0.149	0.160±0.018	Er	5.8×10 ⁻²	(6.0±1.2)×10 ⁻²
Tb	2.1×10 ⁻²	(2.2±0.2)×10 ⁻²	Tm	7.7×10 ⁻³	(8.8±1.8)×10 ⁻³

3.5 石菖蒲中的元素分析

该方法在石菖蒲样品中检测出 32 个元素, 数据见表 3。Ag、Sn、Tm、Yb、Lu、Au、Tl、Bi 在石菖蒲样品中未检出。检出的元素中, 元素 K 的含量最高, 在表 3 中, 不同样品相同元素的分散性用相对标准偏差衡量。表 3 显示 K、Fe、Sm、Ho 4 个元素的相对标准偏差很大, 均大于 100%, 而元素 Zn 的相对标准偏差最小。不同样本中这 4 个元素含量的差异很大, 说明影响这些元素含量的因素很多, 可能的原因包括采摘季节、种植的土壤、灌溉水等。而不同样本中元素 Zn 受这些因素的影响较小。

4 结 论

金属含量情况与中药药效及中药质量控制有非常紧密的联系。所以测定中药材中的金属元素非常必要。然而, 现有的报道中, 同时运用有证标准物质及实际样品进行方法有效性确认的高通量检出方法并不多。本文建立了同时测定中药材中 40 种元素的方法。该方法稳定、高效, 具有较低的检出限, 较高的准确性, 精密度和回收率。此外, 还成功的运用该方法对 22 份石菖蒲样品进行检测。该研究对中药材的元素研究具有参考价值。

表 2 回收率、精密度及检出限
Table 2 Recoveries, precision and detection limit

元素	回收率 (%)				回归方程	相关系数	精密度 (相对标准偏差, %)	检出限 (mg/kg)
	5000 mg/kg	100 mg/kg	10 mg/kg	0.2 mg/kg				
Li	109	/	/	/	$Y=1752.0X+35.6$	0.997	6.34	0.02
Na	102	/	/	/	$Y=7217.6X+119.2$	0.999	1.19	10
Mg	103	/	/	/	$Y=327.0X+87.3$	0.995	4.18	1
Al	102	/	/	/	$Y=923.3X-29.1$	0.996	4.86	20
P	99	/	/	/	$Y=320.9X+24.2$	0.996	5.03	25
K	92	/	/	/	$Y=1484.3X+89.9$	0.997	3.11	25
Ca	95	/	/	/	$Y=2244.7X+121.3$	0.999	2.17	5
Mn	/	107	/	/	$Y=3933.6X+17.6$	0.998	2.94	5
Fe	98	/	/	/	$Y=612.7X-0.2$	0.995	3.22	2
Co	/	/	112	/	$Y=3379.0X+61.5$	0.996	5.67	0.01
Ni	/	/	103	/	$Y=718.2X+12.1$	0.995	3.54	0.05
Cu	/	/	102	/	$Y=1400.0X+75.2$	0.999	4.97	0.05
Zn	/	/	103	/	$Y=543.3X+102.4$	0.995	1.74	0.1
As	/	/	87	/	$Y=240.1X+18.2$	0.998	3.62	0.05
Se	/	/	/	83	$Y=199.2X+40.3$	0.998	7.99	0.070
Rb	/	/	93	/	$Y=3462.0X+61.7$	0.999	4.36	0.007
Sr	/	/	95	/	$Y=4267.0X+113.5$	0.999	3.28	0.02
Mo	/	/	101	/	$Y=458.0X+9.0$	0.995	1.97	0.02
Ag	/	/	95	/	$Y=185.9X-20.8$	0.997	4.28	0.03
Cd	/	/	/	89	$Y=950.6X+13.6$	0.998	2.17	0.009
Sn	/	/	87	/	$Y=242.6X+23.6$	0.996	6.21	0.10
Ba	/	102	/	/	$Y=54036.9X-620.1$	0.996	5.87	1
La	/	/	104	/	$Y=6510.0X+562.8$	0.999	6.42	0.007
Ce	/	/	109	/	$Y=2217.0X+154.0$	0.995	4.93	0.02

续表 2

元素	回收率 (%)				回归方程	相关系数	精密度 (相对标准偏差, %)	检出限 (mg/kg)
	5000 mg/kg	100 mg/kg	10 mg/kg	0.2 mg/kg				
Pr	/	/	/	84	$Y=7649.0X+366.7$	0.999	6.74	0.007
Nd	/	/	103	/	$Y=1373.0X+40.7$	0.999	5.26	0.008
Sm	/	/	107	/	$Y=1254.1X+110.3$	0.998	3.47	0.009
Eu	/	/	/	102	$Y=3254.2X+114.3$	0.999	5.32	0.006
Gd	/	/	/	89	$Y=1274.0X+100.0$	0.999	1.86	0.006
Tb	/	/	/	111	$Y=6231.7X+113.0$	0.999	6.03	0.007
Dy	/	/	/	96	$Y=1624.0X+130.1$	0.999	2.77	0.007
Ho	/	/	/	95	$Y=5613.0X+113.7$	0.999	6.63	0.006
Er	/	/	/	99	$Y=1851.3X+121.7$	0.999	5.21	0.007
Tm	/	/	102	/	$Y=5524.8X+199.4$	0.999	6.36	0.0060
Yb	/	/	106	/	$Y=5934.1X+113.2$	0.999	4.11	0.006
Lu	/	/	103	/	$Y=375731.7X+4412.0$	0.999	9.04	0.01
Au	/	/	105	/	$Y=598.5X+19.0$	0.998	5.67	0.005
Tl	/	/	102	/	$Y=1147.1X+60.9$	0.997	6.03	0.02
Pb	/	/	96	/	$Y=1771.5X+344.0$	0.999	5.24	0.05
Bi	/	/	92	/	$Y=2047.6 X +399.0$	0.995	3.73	0.01

表 3 石菖蒲样品的定量分析结果

Table 3 Analysis results of *Acori Tatarinowii Rhizoma*

元素	平均值(mg/kg)	相对标准偏差(%)	元素	平均值(mg/kg)	相对标准偏差(%)
Na	6.69×10^2	86.2	Sr	62.1	38.7
Mg	1.72×10^3	38.3	Mo	1.80	25.5
Al	2.60×10^3	57.3	Cd	0.182	44.0
P	2.43×10^3	43.0	Ba	62.4	33.3
K	1.61×10^4	268.9	La	1.34	26.9
Ca	1.24×10^4	48.2	Ce	2.60	37.0
Li	1.27	62.5	Pr	0.363	30.0
Mn	2.87×10^2	44.8	Nd	1.06	39.2
Fe	5.51×10^3	142.8	Sm	0.425	113.7
Co	1.62	32.6	Eu	5.47×10^{-2}	37.3
Ni	2.61	50.2	Gd	0.219	47.1
Cu	8.86	27.1	Tb	6.34×10^{-2}	144.5
Zn	32.9	10.5	Dy	0.122	42.1
As	3.31	53.3	Ho	4.19×10^{-2}	244.7
Se	0.334	48.5	Er	6.21×10^{-2}	49.8
Rb	9.75	39.5	Pb	2.27	43.1

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015
Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.
- [2] 秦俊法. 中国的中药微量元素研究 V. 微量元素: 中药质量控制不可或缺的特征参数[J]. 广东微量元素科学, 2011, 18(3): 1-20
Qin JF. The research of trace elements of Chinese medicine in China V. essential parameters of quality control in traditional Chinese medicine [J]. Guangdong Sci Microelem, 2011, 18(3): 1-20
- [3] 季申, 王柯. 基于有效性和安全性相关的中药质量控制方法的建立[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2014, 16(3): 502-5055
Ji S, Wang K. Establishment quality control method of traditional chinese medicine based on efficacy and safty [J]. Word Sci Technol-Mod Tradit Chin Med Mater Med, 2014, 16(3): 502-5055
- [4] 杜莹, 欧阳荔, 刘雅琼, 等. 不同产地商路中 25 种元素的波浪式分布[J]. 中国药学杂志, 2004, 13(4): 271-275
Du Y, Ouyang L, Liu YQ, et al. Wavy distribution of trace elements in *phytolacca* samples from different areas [J]. J Chin Pharm Sci, 2004, 13(4): 271-275
- [5] 雷连娣, 欧阳荔, 刘雅琼, 等. 不同产地黄芪中元素分布特征及相关性分析[J]. 中国药学杂志, 2008, 33(3): 255-258
Lei LD, Ouyang L, Liu YQ, et al. Character study of content and correlativity of elements in *Rradix Astragali* obtained from different regions [J]. J Chin Pharm Sci, 2008, 33(3): 255-258.
- [6] 张胜帮, 郭玉生. ICP-AES 法测定温里类中药中锰的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(1): 46-47
Zhang SB, Guo YS. Study on manganese in warm Chinese medicine by ICP-MS [J]. Chin J Health Lab Technol, 2005, 15(1): 46-47
- [7] 毕桂宏. 简析微量元素铁与中药临床疗效的相关性[J]. 中国医药杂志, 2011, 9(32): 160-161
Bi GH. Analysis the relation of Clinical curative effect of Chinese traditional medicine and trace element iron [J]. J Chin Pharm Sci, 2011, 9(32): 160-161
- [8] 林龙勇, 于冰冰, 廖晓勇, 等. 三七及其中药制剂中砷和重金属含量及健康风险评估[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(2): 244-249
Lin LY, Yu BB, Liao XY, et al. Content and health risk of As and heavy metal in *Panax notoginseng* and Their pharmaceutical preparations [J]. Asian J Ecotoxicol, 2013, 8(2): 244-249
- [9] 常晓红, 李静. 浅谈中药与重金属[J]. 中国药业, 2011, 20(10): 79-80
Chang XH, Li J. Research of Chinese traditional medicine and heavy metal [J]. China Pharm, 2011, 20(10): 79-80
- [10] 王联芝, 屈桃李, 唐树进. 原子吸收光谱法测定中药厚朴中的铜、铁和钙[J]. 光谱实验室, 2013, 30(6): 3197-3199
Wang LZ, Qu TL, Tang SJ. Determination of Copper, Iron and Calcium in *Magnolia officinalis* by AAS [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2013, 30(6): 3197-3199
- [11] 赵林静, 邓保国, 王沛珍, 等. AAS 测定太行山甘草中的微量元素[J]. 光谱实验室, 2012, 29(5): 3078-3081
Zhao LJ, Deng BG, Wang PZ, et al. Determination of Trace Elements in *Radix Glycyrrhizae* from Taihang Mountains by AAS [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2012, 29(5): 3078-3081
- [12] 石杰, 蒋永贵, 朱永琴. 高压溶样冷原子荧光光谱法测定中药中痕量汞[J]. 理化检验-化学分册, 2005, 41: 835-836
Shi J, Jiang YG, Zhu YQ. CV-AFS Determination of Trace amounts of mercury in Chinese traditional medicines [J] Phy Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2005, 41: 835-836
- [13] 朱永琴, 石杰. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定中药中的痕量砷[J]. 光谱实验室, 2010, 27(4): 1651-1654
Zhu YQ, Shi J. Determination of trace arsenic in Chinese traditional medicine by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2010, 27(4): 1651-1654
- [14] 崔旭盛, 郭玉海. ICP-AES 技术分析野菊花不同器官矿物质元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(10): 2828-2830
Cui XS, Guo YH. Analysis of mineral elements in different organs of *Chrysanthemum Indicum* L. based on ICP-AES [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2012, 32(10): 2828-2830
- [15] 张金渝, 王元忠, 金航, 等. ICP-AES 法测定滇重楼中的微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(8): 2247-2249
Zhang JY, Wang YZ, Jin H, et al. Determination of trace elements in *Paris Polyphylla* var. *Yunnanensis* by ICP-AES [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2009, 29(8): 2247-2249
- [16] 李文龙, 荆森, 陈军辉, 等. 微波消解-ICP-MS 测定 40 种中药材中 5 种有毒元素[J]. 分析实验室, 2008, 27(2): 6-9
Li WL, Jin M, Chen JH, et al. Determination of five poisonous elements in 40 kinds of traditional Chinese medicine by microwave digestion with ICP-MS [J]. Chin J Anal Lab, 2008, 27(2): 6-9

- [17] 苏俊, 段玉林, 吕仕军, 等. ICP-MS 法测定中药鸡血藤中 28 种元素[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2013, 31(1): 76-81
Su J, Duan YL, Lv SJ, *et al.* Determination of 28 elements of *Spatholobus subrectus* Dunn by ICP-MS [J]. J Guangxi Norm Univ: Nat Sci Ed, 2013, 31(1): 76-81
- [18] 段玉林, 莫峰文, 陈震华, 等. ICP-MS 法测定中药虎杖中 28 种元素[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(6): 1136-1143
Duan YL, Mo FW, Chen ZH, *et al.* Determination of 28 elements of *Polygonum cuspidatum* Dunn by ICP-MS [J]. J Guangxi Norm Univ: Nat Sci Ed, 2012, 37(6): 1136-1143

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



陈 练, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: chenl@hnciq.gov.cn



王利兵, 研究员, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: wanglb1@126.com



黎继烈, 教授, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: lijilie12@163.com