

# 微波消解-ICP-OES法测定刺梨和无籽刺梨果实中微量元素\*

张源和<sup>1</sup>, 马娜<sup>2</sup>, 何敬愉<sup>2</sup>, 管艳艳<sup>3</sup>, 黄玉<sup>1</sup>,  
袁慧杰<sup>1</sup>, 李松<sup>3</sup>, 赖志辉<sup>1,3</sup>  
(1. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275;  
2. 广州中国科学院先进技术研究所, 广东广州 511458;  
3. 中山大学测试中心, 广东广州 510275)

**摘要:**建立了刺梨 *Rosa roxburghii* 和无籽刺梨 *Rosa sterilis* 中微量元素的分析方法。采用微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定了Al、B、Ba、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、P、S、Sr、Zn共15种元素。结果显示各元素在质量浓度范围0~10 mg/L内线性良好, 相关系数 $R \geq 0.999 1$ , 仪器的检出限为0.000 1~0.006 1 mg/L, 精密度实验相对标准偏差为0.3%~2.7%, 加标回收率为93.3%~107.7%。利用该方法分析了国家标准物质黄芪(GBW10028), 结果与证书值相符。该方法可快速、准确地测定刺梨和无籽刺梨中微量元素。

**关键词:** 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES); 刺梨; 无籽刺梨; 微量元素

中图分类号: 0657.31 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2016)03-0106-05

## Quantitative determination of multiple elements in *Rosa roxburghii* and *Rosa sterilis* fruits using ICP-OES with microwave digestion

ZHANG Yuanhe<sup>1</sup>, MA Na<sup>2</sup>, HE Jingyu<sup>2</sup>, GUAN Yanyan<sup>3</sup>, HUANG Yu<sup>1</sup>, YUAN Huijie<sup>1</sup>, LI Song<sup>3</sup>, LAI Zhihui<sup>1,3</sup>

(1. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangzhou Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences,

Guangzhou 511458, China;

3. Instrumental Analysis & Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** We have established a method for determination of the trace elements within *Rosa roxburghii* and *Rosa sterilis* Fruits in this study. The contents of 15 elements (Al, B, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr, Zn) were determined by ICP-OES with microwave digestion. The linear ranges of the elements were ranged from 0~10 mg/L with a correlation coefficient more than 0.999 1. The detective limits of the instrument were ranged from 0.000 1~0.006 1 mg/L, precision experiments showed RSD ranged from 0.3%~2.7% and the recoveries of the elements were in the range of 93.3%~107.7%. Such method was used to test the national standard substance *Astragalus membranaceus* (GBW 10028), and the result was consistent with the certificate value. Therefore, this method can be used for quickly and accurately measuring trace elements within *Rosa roxburghii* and *Rosa sterilis* Fruits.

**Key words:** inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES); *Rosa roxburghii*; *Rosa sterilis*; trace element

\* 收稿日期: 2015-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51072236)

作者简介: 张源和(1990年生)男; 研究方向: 药物分析学; 通讯作者: 赖志辉; E-mail: puslzh@163.com

刺梨 *Rosa roxburghii* 又称缙丝花, 送春归, 是一种蔷薇科蔷薇属多年生落叶丛生灌木<sup>[1]</sup>, 主要分布于我国贵州、四川、云南、广西、湖南、湖北、陕西等地, 尤其以贵州产量最高, 鲜果年产量在 1.5 万吨以上。刺梨作为民族用药材列入《贵州省中药材、民族药材质量标准》(2003 版), 为药食两用药材<sup>[2]</sup>。无籽刺梨 *Rosa sterilis* 又称金刺梨, 与刺梨同属蔷薇科, 是贵州的特有品种, 与刺梨不同, 其果实成熟后表面皮刺基本脱落, 种子败育, 故称无籽刺梨<sup>[3]</sup>。刺梨果实中含有大量的维生素 C, 每 100 g 含维生素 C 高达 2 000 mg, 有水果中的“维生素 C 大王”之称。刺梨和无籽刺梨果实中还含有丰富的超氧化物歧化酶、多酚类化合物、黄酮类化合物、三萜类、多糖、蛋白质和氨基酸等<sup>[4-5]</sup>。现代医学研究表明, 刺梨具有抗氧化、抗诱变、抗癌防癌、抗衰老等多种功效<sup>[6-8]</sup>。当前对刺梨和无籽刺梨果实研究主要集中在果实营养成分、功效活性、产品开发上, 在微量元素的研究上鲜有报道, 杜薇等<sup>[9]</sup>采用原子吸收光谱法 (atomic absorption spectrometry, AAS) 测定了刺梨中 10 种微量元素的含量, 王振伟等<sup>[10]</sup>采用火焰原子吸收光谱法测定了刺梨中 7 种矿物元素的含量, 但是对无籽刺梨中微量元素含量的研究至今未见报道。植物中微量元素不仅对植物的生理代谢活动和生长发育有影响, 而且还是有效成分的构成因子, 与植物化学成分的形成和积累息息相关<sup>[11]</sup>。近年来食品和药品安全事件频发, 人们对其中重金属含量颇为关注。电感耦合等离子体发射光谱法 (inductively coupled plasma-optical emission spectrometer, ICP-OES) 具有成本较低、检出限低、灵敏度高、线性范围宽等特点, 与 AAS 相比, ICP-OES 可多元素同时分析, 快速简便, 已广泛应用于食品药品中微量元素分析<sup>[12-15]</sup>。本实验采用微波消解-ICP-OES 法测定刺梨和无籽刺梨果实中微量元素, 为两种刺梨的后续研究和开发提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

新鲜的刺梨和无籽刺梨果实样品均采自于贵州省。

试剂:  $\text{HNO}_3$  (OmniPure 纯酸机纯化, 美国 Cetec 公司);  $\text{H}_2\text{O}_2$  (优级纯, 广州化学试剂厂); 超纯水 (电阻率  $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ , Milli-Q, 美国 Millipore 公司)。

混合标准溶液: 多元素混标 STD-1 (Al、As、

B、Ba、Be、Bi、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、K、Li、Mg、Mn、Na、Ni、P、Pb、Se、Sr、V、Zn, 1 000 mg/L, 美国 SPEX 公司) 和 STD-2 (Mo、Pd、Re、S、Sb、Si、Sn、Ti、W, 1 000 mg/L, 美国 SPEX 公司)。

混合标准工作液: 准确量取 5.00 mL 混合标准溶液于 50 mL 容量瓶中, 用  $\varphi = 5\%$  硝酸定容至刻度即得 100 mg/L 混合标准中间液, 准确量取混合标准中间液 0.00、0.05、0.25、0.50、1.00、2.00、5.00 mL, 分别置 50 mL 容量瓶中,  $\varphi = 5\%$  硝酸稀释至刻度, 得到浓度分别为 0.00、0.10、0.50、1.00、2.00、5.00、10.00 mg/L 混合标准工作液。STD-1 和 STD-2 分开配制。

### 1.2 仪器与设备

全谱直读等离子体发射光谱仪 (iCAP 6500 Duo, 美国 Thermo Scientific 公司); 微波化学实验工作站 (ETHOS1, 意大利 Milestone 公司); 电子天平 (BS110S, 瑞士 Sartorius 公司); 微控数显电热板 (EH20A Plus, 美国 LabTech 公司)。

### 1.3 样品前处理

新鲜刺梨和无籽刺梨果实样品在 60 °C 烘干至恒重后用粉碎机粉碎。实验对酸的配比进行了比较, 并参考了文献 [16-17], 结果表明, 酸的配比采用  $\text{HNO}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  并且两者体积比为 7:1 时, 可达到良好的消解效果, 样品消解完全。具体方法为准确称取 0.5 g 试样 (精确至 0.000 1 g) 于消解罐中, 加入 7 mL  $\text{HNO}_3$ , 置于通风橱中浸泡过夜, 消解前加入 1 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  后密闭消解罐进行微波消解, 消解程序见表 1, 消解结束后, 开罐, 于赶酸机中 130 °C 赶酸至溶液剩余 1 mL 左右, 待其冷却后用  $\varphi = 5\%$   $\text{HNO}_3$  定容至 25 mL, 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤后待测。同法做 3 个平行, 并进行试剂空白试验。

表 1 微波消解仪消解程序<sup>1)</sup>

Table 1 Digestion procedure of microwave digester

编号	$t/\text{min}$	$E/W$	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$
1	10	1 000	125	140
2	5	1 000	125	140
3	10	1 000	180	140
4	5	1 000	180	140
5	5	1 000	220	140
6	15	1 000	220	140

1)  $T_1$  为内罐温度,  $T_2$  为外罐温度

### 1.4 ICP-OES 仪器工作条件

分析泵速为 50 r/min, 入射功率为 1 150 W,

冷却气流量为 14 L/min, 载气流量为 0.5 L/min, 辅助气流量为 0.5 L/min, 样品冲洗时间为 30 s, 积分时间为 10 s, 观测方式为水平观测, 重复读数 3 次。

### 1.5 检测方法

采用 ICP-OES 法, 在仪器的最佳工作条件下, 制作各元素的标准曲线, 根据外标法对样品进行测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 分析波长的选择

实验中对每个测定元素选取 3~4 条谱线进行测定, 根据各元素含量的不同, 选择灵敏度较高、其他元素干扰最小的谱线作为分析线, 本实验中选用的分析波长见表 2。

### 2.2 线性关系考察

各元素的线性回归方程和相关系数见表 2。相关系数在 0.999 1~0.999 9 之间, 各元素线性良好。

### 2.3 精密度实验

取 0.1 mg/L 的 STD-1 和 STD-2 混合标准溶液, 分别重复测定 6 次, 计算出各元素的 RSD。见表 2。

### 2.4 检出限和定量限

以空白溶液测定 11 次的标准偏差的 3 倍所对应浓度作为检出限, 得到各元素的仪器检出限 (limit of detection, LOD)。定量限 (limit of quantification, LOQ) 表示一个分析方法可以有效测定的最低下限, 通常用 5 倍检出限来表示。各元素的检出限、定量限见表 2。

表 2 各元素的分析波长、线性方程、相关系数、精密度、检出限和定量限

Table 2 Analysis wavelength, linear equation, correlation coefficient, precision, LOD and LOQ of each element

元素	$\lambda/\text{nm}$	线性方程	相关系数	RSD/%	检出限/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	定量限/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
Al	396.1	$Y = 15\ 809.9X + 21.3$	0.999 7	0.79	0.001 6	0.008 2
B	249.7	$Y = 9\ 037.4X - 33.1$	0.999 9	0.39	0.001 9	0.009 6
Ba	455.4	$Y = 841\ 275.3X + 108.5$	0.999 8	0.38	0.000 1	0.000 5
Ca	317.9	$Y = 14\ 813.3X + 9.6$	0.999 2	0.86	0.001 4	0.006 8
Cu	324.7	$Y = 19\ 049.4X + 42.6$	0.999 8	0.67	0.001 0	0.005 0
Fe	259.9	$Y = 10\ 441.5X + 5.1$	0.999 5	0.80	0.000 9	0.004 4
K	766.4	$Y = 164.4X + 52.1$	0.999 3	1.34	0.001 1	0.005 5
Mg	279.5	$Y = 1\ 528.3X - 0.3$	0.999 3	2.52	0.002 6	0.012 8
Mn	259.3	$Y = 43\ 267.4X + 21.7$	0.999 5	0.34	0.000 3	0.001 5
Na	599.9	$Y = 322\ 863.3X + 21\ 550$	0.999 1	1.30	0.002 4	0.012 2
Ni	231.6	$Y = 4\ 785.9X + 0.8$	0.999 1	0.33	0.000 6	0.003 1
P	177.4	$Y = 923.0X + 13.7$	0.999 5	0.95	0.001 7	0.008 3
S	182.0	$Y = 330.9X + 43.3$	0.999 3	2.69	0.006 1	0.030 7
Sr	421.5	$Y = 761\ 740.7X + 26.6$	0.999 4	0.23	0.000 1	0.000 3
Zn	213.8	$Y = 13\ 522.7X + 196.1$	0.999 4	0.21	0.000 5	0.002 5

### 2.5 回收率实验

对样品中各元素进行加标回收实验, 准确称取样品 0.5 g (精确至 0.000 1 g), 并加入确定含量的混合标准溶液, 在同等条件下微波消解处理并测定, 各元素回收率结果见表 3。回收率在 93.3%~107.7% 之间, 该方法准确可靠。

有研究表明, 植物中无机元素的来源一方面与其生长的环境条件, 如气候、土壤、水质、光线、化肥、农药等有关, 另一方面与植物本身的遗传特性、主动吸收功能和对无机元素的富集能力有关<sup>[18]</sup>。刺梨和无籽刺梨在微量元素的组成上无显著区别, 都含有大量人体必需元素, 其中 K、Ca、Mg、P 含量较高。K 在许多生理活动方面起着十分

重要的作用, 它同钠、氯等矿物元素一起作为体液中的电解质, 参与维持体液的渗透压和酸碱平衡、保持细胞形态、供应消化液中的酸和碱<sup>[19]</sup>。Ca 是构成骨骼的主要成分, 血液凝固和肌肉收缩都必须有钙离子参与<sup>[20]</sup>。Mg 是体内重要的电解质, 在细胞外液中的含量仅次于 K, 它广泛参与蛋白质的合成和能量代谢, 是许多酶的活化因子, 还是神经细胞中最多的矿物元素, 能使神经和肌肉的机能正常运行<sup>[21]</sup>。P 是 DNA、RNA 的重要组成部分, 是传递遗传信息和控制机体细胞正常代谢的重要物质, 同时参与体内的能量代谢、氨基酸代谢及蛋白质和磷脂的形成<sup>[22]</sup>。

2.6 标准物质分析

对国家标准物质黄芩 (GBW 10028) 按照上述方法进行微波消解后, 采用 ICP-OES 最佳工作条件测定, 所得结果见表 4。测定结果均在证书值范围之内, 符合要求。

2.7 样品结果测定

样品按照上述方法进行微波消解后, 采用 ICP-OES 最佳工作条件测定, 所得结果见表 5。

本实验还测定了 As、Cd、Hg、Pb 等重金属元

素, 在最优测定条件下, 该方法下各元素检出限  $w/(mg \cdot kg^{-1})$  分别为: As 0.18, Cd 0.005, Hg 0.50, Pb 0.10, 《中国药典》<sup>[23]</sup>2015 版对几种重金属的含量限定  $w/(mg \cdot kg^{-1})$  为: As  $\leq 5$ , Cd  $\leq 1$ , Hg  $\leq 1$ , Pb  $\leq 10$ , 《中华人民共和国国家标准 食品中污染物的限量》<sup>[24]</sup> 的含量限定  $w/(mg \cdot kg^{-1})$  为 Cd  $\leq 0.05$ , Pb  $\leq 0.1$ , 刺梨和无籽刺梨作为药食两用的药材和水果, 在测试的样品中上述重金属元素均未检出。

表 3 样品加标回收率结果  
Table 3 Recoveries of the elements

元素	$\rho(\text{样品})/$ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	加标量/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	回收值/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	回收率/%
Al	0.154	0.200	0.338	95.5
B	0.216	0.200	0.414	99.5
Ba	0.318	0.200	0.549	106.0
Ca	62.40	20.00	79.57	95.5
Cu	0.094	0.200	0.316	107.7
Fe	0.335	0.200	0.563	105.2
K	215.0	200.0	313.9	99.5
Mg	19.58	20.00	39.60	100.1
Mn	0.197	0.200	0.407	102.4
Na	0.367	0.200	0.580	102.2
Ni	0.010	0.200	0.221	105.2
P	28.23	20.00	48.03	99.3
S	10.87	20.00	30.14	93.3
Sr	0.078	0.200	0.288	103.7
Zn	0.162	0.200	0.369	101.9

表 4 国家标准物质黄芩(GBW 10028)分析结果( $n=3$ )  
Table 4 Analysis of national standard substance

<i>Astragalus membranaceus</i> (GBW 10028)			
元素	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$	标准值/( $mg \cdot L^{-1}$ )	相对误差/%
Al	$0.17 \times 10^4$	$(0.18 \pm 0.03) \times 10^4$	-5.56
B	15.4	$16.8 \pm 1.6$	-8.33
Ba	19.6	$20.5 \pm 2.5$	-4.39
Ca	$0.436 \times 10^4$	$(0.456 \pm 0.018) \times 10^4$	-4.39
Cu	8.0	$8.5 \pm 0.7$	-5.88
Fe	$0.106 \times 10^4$	$(0.113 \pm 0.007) \times 10^4$	-6.19
K	$0.73 \times 10^4$	$(0.70 \pm 0.04) \times 10^4$	4.28
Mg	$0.218 \times 10^4$	$(0.228 \pm 0.010) \times 10^4$	-4.39
Mn	34	$33 \pm 1$	3.03
Na	$0.134 \times 10^4$	$(0.145 \pm 0.019) \times 10^4$	-7.59
Ni	2.13	$2.26 \pm 0.15$	-5.75
P	$0.205 \times 10^4$	$(0.225 \pm 0.012) \times 10^4$	-8.89
S	$0.182 \times 10^4$	$(0.193 \pm 0.012) \times 10^4$	-5.70
Sr	47	$51 \pm 3$	-7.84
Zn	21.7	$22.3 \pm 1.0$	-2.69

表 5 刺梨和无籽刺梨中微量元素含量测定结果

Table 5 Element Contents of *Rosa roxburghii* and *Rosa sterilis* fruits

元素	$w/(mg \cdot kg^{-1})(n=3)$					
	刺梨 1	刺梨 2	刺梨 3	无籽刺梨 1	无籽刺梨 2	无籽刺梨 3
Al	$7.20 \pm 0.90$	$5.27 \pm 0.73$	$4.90 \pm 0.04$	$7.71 \pm 0.37$	$6.65 \pm 0.44$	$5.14 \pm 0.43$
B	$13.10 \pm 0.15$	$9.54 \pm 0.58$	$10.21 \pm 0.01$	$10.77 \pm 0.09$	$11.11 \pm 0.07$	$11.38 \pm 0.12$
Ba	$13.92 \pm 0.24$	$3.56 \pm 0.09$	$16.51 \pm 0.05$	$15.88 \pm 0.19$	$18.46 \pm 0.15$	$17.25 \pm 0.16$
Ca	$4\ 602.37 \pm 147.42$	$3\ 199 \pm 7.69$	$3\ 250 \pm 76.84$	$3\ 225.21 \pm 184.15$	$2\ 941.09 \pm 47.52$	$3\ 303.54 \pm 28.06$
Cu	$6.64 \pm 0.04$	$6.31 \pm 0.04$	$6.05 \pm 0.03$	$4.68 \pm 0.12$	$4.65 \pm 0.09$	$4.72 \pm 0.15$
Fe	$17.39 \pm 0.64$	$15.57 \pm 0.65$	$14.98 \pm 0.11$	$16.77 \pm 0.27$	$17.40 \pm 0.56$	$14.86 \pm 0.17$
K	$14\ 534.35 \pm 249.67$	$13\ 573.14 \pm 103.62$	$11\ 837.98 \pm 115.80$	$11\ 929.51 \pm 277.47$	$12\ 377.16 \pm 84.47$	$13\ 616.09 \pm 143.59$
Mg	$1\ 530.28 \pm 26.07$	$889.32 \pm 33.83$	$1\ 107.94 \pm 23.79$	$978.38 \pm 2.96$	$852.78 \pm 2.98$	$950.20 \pm 5.82$
Mn	$15.17 \pm 0.15$	$11.68 \pm 0.09$	$36.50 \pm 0.20$	$10.31 \pm 0.08$	$11.76 \pm 0.07$	$9.57 \pm 0.10$
Na	$10.78 \pm 1.27$	$17.05 \pm 2.94$	$13.72 \pm 1.67$	$15.91 \pm 0.42$	$12.70 \pm 1.34$	$11.37 \pm 3.45$
Ni	$0.61 \pm 0.02$	$0.72 \pm 0.01$	$0.99 \pm 0.01$	$0.50 \pm 0.01$	$0.62 \pm 0.01$	$0.66 \pm 0.02$
P	$1\ 409.23 \pm 23.68$	$1\ 640.58 \pm 16.48$	$1\ 403.03 \pm 23.79$	$1\ 661.89 \pm 1.29$	$1\ 278.75 \pm 10.09$	$1\ 404.84 \pm 26.32$
S	$596.27 \pm 8.46$	$595.598 \pm 6.02$	$623.52 \pm 10.84$	$482.28 \pm 5.80$	$545.16 \pm 4.10$	$541.21 \pm 12.11$
Sr	$6.12 \pm 0.09$	$5.59 \pm 0.05$	$8.77 \pm 0.02$	$3.91 \pm 0.04$	$4.88 \pm 0.04$	$5.56 \pm 0.01$
Zn	$8.25 \pm 0.45$	$7.69 \pm 0.23$	$9.61 \pm 0.20$	$8.09 \pm 0.33$	$6.49 \pm 0.39$	$7.25 \pm 0.50$

### 3 结 论

建立了采用硝酸-过氧化氢体系微波消解样品, ICP-OES测定刺梨和无籽刺梨中多种微量元素(Al、B、Ba、Ca、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、P、S、Sr、Zn)的定量分析方法, 并通过加标回收实验和国家标准物质的测定验证了方法的准确度, 该方法操作简便, 快速准确, 精密度满足痕量分析要求, 为测定刺梨和无籽刺梨及其他果实中的微量元素提供参考方法和理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 戴支凯, 余丽梅. 刺梨的药理作用[J]. 中国药房, 2007, 18(21):1668-1669.
- [2] 代甜甜, 杨小生. 刺梨化学成分及药理活性研究进展[J]. 贵阳中医学院学报, 2015, 37(4):93-97.
- [3] 吴洪娥, 金平, 周艳, 等. 刺梨与无籽刺梨的果实特性及其主要营养成分差异[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8):221-223.
- [4] 简崇东. 刺梨药理作用的研究进展[J]. 中国医药指南, 2011, 9(29):38-40.
- [5] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015(14):118-121.
- [6] van der WESTHUIZEN F H, van RENSBURG C S J, RAUTENBACH G S, et al. In vitro antioxidant, anti-mutagenic and genoprotective activity of *Rosa roxburghii* fruit extract[J]. Phytotherapy Research, 2008, 22(3):376-383.
- [7] LIU W, LI S, HUANG X, et al. Inhibition of tumor growth in vitro by a combination of extracts from *Rosa roxburghii* Tratt and *Fagopyrum cymosum*[J]. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2012, 13(5):2409-2414.
- [8] MA Y X, ZHU Y, WANG C F, et al. The aging retarding effect of 'Long-Life CiLi' [J]. Mech Ageing Dev, 1997, 96(1/2/3):171-180.
- [9] 杜薇, 任永全. 刺梨中微量元素和总黄酮的含量测定[J]. 中国医院药学杂志, 2003, 23(9):530-532.
- [10] 王振伟, 张品品. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定刺梨中矿质元素含量[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6):125-127.
- [11] 王红, 吴启南, 伍城颖, 等. 不同产地芡实中无机元素微波消解-ICP-OES法分析[J]. 中药材, 2015, 38(1):30-36.
- [12] 杨正明, 李波, 王静霞, 等. ICP-OES法测定不同栽培条件下白花丹茎中的无机元素[J]. 华西药学杂志, 2015, 30(3):325-327.
- [13] GÜLFEN M, ÖZDEMİR A. Analysis of dietary minerals in selected seeds and nuts by using ICP-OES and assessment based on the recommended daily intakes[J]. Nutrition & Food Science, 2016, 46(2):282-292.
- [14] 陈文军, 周宗宇, 朱媛媛, 等. ICP-OES法同时测定螺旋藻中11种矿物元素的含量[J]. 中国卫生检验杂志, 2015(17):2888-2890.
- [15] BARROS J A V A, de SOUZA P F, SCHIAVO D, et al. Microwave-assisted digestion using diluted acid and base solutions for plant analysis by ICP OES[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2016, 31(1):337-343.
- [16] 赖志辉, 周嘉欣, 管艳艳, 等. 微波消解 ICP-AES法定量测定芥菜中微量元素的含量[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6):1377-1380.
- [17] 赖志辉, 徐晓铭, 管艳艳, 等. 微波消解-ICP-AES法定市售丹参中的微量元素[J]. 广西大学学报:自然科学版, 2010, 35(3):497-501.
- [18] 王冬梅, 冯洁, 覃富景, 等. ICP-AES法测定12个产地两面针药材中重金属元素的含量[J]. 中药材, 2012, 35(3):366-368.
- [19] 朱伟星, 睢敏, 何亚丁, 等. 钾在水产动物中的生理作用和营养代谢功能[J]. 动物营养学报, 2014, 26(5):1174-1179.
- [20] 任向英. 农产品中金属元素的 ICP-AES测定分析[D]. 浙江工业大学, 2007.
- [21] 张剑, 房少新, 高真贞. 冬虫夏草中8种矿物元素含量分析[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(8):32-36.
- [22] 余华, 李建. 公共营养基础[M]. 成都:四川大学出版社, 2006.
- [23] 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.
- [24] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准:食品中污染物限量(GB2762-2012)[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.