

文章编号:1001-6880(2018)Suppl-0057-08

# ICP-OES 法测定水母雪兔子不同部位 21 种元素含量

栾真杰<sup>1,2</sup>, 李佩佩<sup>1,2</sup>, 陈保政<sup>1,2</sup>, 周玉碧<sup>1</sup>, 万丽娜<sup>1,2</sup>, 卢学峰<sup>1</sup>, 孙菁<sup>1\*</sup><sup>1</sup>青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008;<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:**本文采用电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-OES) 对水母雪兔子不同部位中的 21 种矿质元素的含量进行了测定, 利用微波消解法处理目标植物。结果显示, 所有部位均未检出 Mo, 花中未检出 Co 和 Cd。从植株整体上来看, 水母雪兔子以 Cr、Mn、Pb、Se、Sr、Cu、Ni、Zn 这 8 种元素最具有代表性, 为其特征元素。水母雪兔子中含有丰富的钙和镁, 8 种人体必需微量元素中水母雪兔子含有最多的是铁元素, 其中又以叶中含量居多, 其余所测人体必需微量元素含量中, 根据变异系数, 四个部位中含量差异最小的是 Se 元素 ( $CV = 1.13$ ), 含量差异最大的是 Cr 元素 ( $CV = 118.52$ ), 几乎不含有 Co 元素。该植物四个部位之间元素含量存在一定差异。通过探讨该雪莲植物中元素分布特征及差异, 旨在为该植物资源药效物质基础深入研究和后续资源的深度开发利用提供一定的科学依据。

**关键词:**水母雪兔子; ICP-OES 法; 元素含量; 因子分析

中图分类号:O657.3

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.S.008

## Determination of 21 Mineral Elements in Different Parts of *Saussurea medusa* Maxim. by ICP-OES

LUAN Zhen-jie<sup>1,2</sup>, LI Pei-pei<sup>1,2</sup>, CHEN Bao-zheng<sup>1,2</sup>, ZHOU Yu-bi<sup>1</sup>,  
WAN Li-na<sup>1,2</sup>, LU Xue-feng<sup>1</sup>, SUN Jing<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resources, Northwest Institute of Plateau  
Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;<sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** *Saussurea medusa* Maxim. is a rare Chinese medicine, this study is to determine the content and distribution of elements in *Saussurea medusa* Maxim. to provide a basis for its utilization. The plants were digested by nitric acid microwave. The 21 elements in different parts of the plants was determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The data were analyzed by Solutions Statistical Package for the Social Sciences 22.0 (SPSS 22.0). The method for the determination of 21 elements in four different parts of the plant was established. No Mo was detected in all four parts, Co and Cd were not detected in the flowers. For the whole plant, the eight elements of Cr, Mn, Pb, Se, Sr, Cu, Ni, and Zn are the most representative. Among the 11 essential elements required by the human body, the *Saussurea medusa* Maxim. is rich in Ca and Mg. Among the eight essential trace elements, *Saussurea medusa* Maxim. contains the most Fe, which is the most abundant in the leaves. Among the other trace elements which are necessary for human, Se is of the smallest difference among the four parts, the largest one is the Cr, and almost no Co. The established detection method is accurate, reliable and high precision. It's suitable for analyzing the elemental content of plants. There are some differences in the content of elements between the four parts of the plant, which can provide a scientific basis for further study.

**Key words:** *Saussurea medusa* Maxim.; ICP-OES; mineral elements; factor analysis

收稿日期:2018-09-05 接受日期:2018-11-19

基金项目:国家自然科学基金青年基金(81403051);青海省重点实验室发展建设专项(2017-ZJ-Y10);青海省自然科学基金面上项目(2016-ZJ-955);青海省创新平台建设专项项目(2017-GX-G03);西宁市重点研发与转化计划(2018-Y-59)

\*通信作者 E-mail:sunj@nwipb.cas.cn

水母雪兔子 (*Saussurea medusa* Maxim.), 系菊科风毛菊属雪兔子亚属的多年生一次开花植物, 也是中国传统名贵中药种类之一, 为青藏高原地区用作藏药的藏雪莲之原植物<sup>[1]</sup>, 具有散寒除湿、活血

通经、抗炎、镇痛等功效<sup>[2]</sup>,对风湿性炎症、月经不调、白带<sup>[3]</sup>、阳萎、宫寒、胎衣不下、风湿关节炎等症有极好的疗效<sup>[4]</sup>。现代药理学研究发现,水母雪兔子中的主要药用活性成分为类黄酮化合物<sup>[5]</sup>,其总黄酮的抗炎作用机理可能与抑制某些炎症介质和细胞ICP等因子生成有关<sup>[3]</sup>。此外,张育等<sup>[6]</sup>人的研究认为水母雪兔子可改善心肌氧的供求,赵存方<sup>[7]</sup>等人研究认为水母雪兔子可对抗自由基的产生,阻止细胞膜脂质过氧化,达到抗氧化和保护细胞膜结构完整的功能。因此水母雪兔子具有较高的药用价值,受利益驱使,目前野生资源采挖严重,资源匮乏<sup>[3]</sup>。

药用植物中必需宏量元素和微量元素的含量对药材的药效、药性及作用机理有重要作用<sup>[8]</sup>。矿质元素对药材的道地性质量也起到一定的作用<sup>[9]</sup>,如钙元素促进骨骼发育,维持最佳的骨骼健康;保证肌肉正常收缩和舒张;保证神经功能的正常;维持正常血压;维持血液凝集等<sup>[10]</sup>。Fe等微量元素虽然在人体内含量微少,但因其参与体内多种酶、激素等的组成与活性,影响核酸的代谢,维持正常组织的结构与功能,在人体多种生命活动中发挥着不可或缺的作用<sup>[11,12]</sup>。现代医学研究表明,微量元素对人体健康、生长发育和防病治病有着密切的关系<sup>[13,14]</sup>。补充和调整机体内的微量元素是中药治疗的因素之一<sup>[15,16]</sup>,并且特定状态及配比的微量元素是维持健康和防病、治病的必要条件之一<sup>[17]</sup>。如采用化学诱癌模型研究6种抗癌中草药对小鼠前胃癌变的阻断作用发现,其癌变抑制率与硒、锰含量呈正相关,与锌、钼含量无关<sup>[18]</sup>,所以,处于中药复杂体系中的元素与其功效之间必然存在着联系。

电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)具有灵敏度高、线性范围宽、抗干扰能力强、分析速度快等优点,现已广泛应用于食品和药品等领域的多元素同时分析测定<sup>[19]</sup>。目前对水母雪莲元素方面研究,于瑞涛<sup>[20]</sup>等人仅仅测定了水母雪兔子不同

部位中K、Mg、Pb、Cd和P这五种元素的含量,杨若明<sup>[21]</sup>等人测定了水母雪兔子全草11种元素的含量,尚缺乏对水母雪兔子不同部位元素含量的系统测定与研究。因此,为了测定水母雪兔子中不同部位元素含量,探讨该植物中元素分布特征及差异,为后续资源的深度开发利用提供依据,本研究采用ICP-OES法测定了水母雪兔子根、茎、叶、花四个不同部位中21种元素的含量分布,从元素角度阐明水母雪兔子的特征元素及不同部位元素含量的差异,为其药效物质基础深入研究提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

水母雪兔子采自青海省祁连县冰沟大板流石滩。在同一居群内进行采样时,采集20~30株混合,带回实验室纯净水清洗后,阴干,分成根、茎、叶、花等四个不同部位,粉碎过80目筛,干燥器储存备用。原植物经中国科学院西北高原生物研究所卢学峰研究员鉴定为水母雪兔子(*Saussurea medusa* Maxim.)。

### 1.2 仪器与试剂

Optima 7000DV电感耦合等离子发射光谱仪(美国Perkin Elmer公司);微波消解仪(美国CEM公司);VB20型赶酸装置(美国LabTech公司),电子天平(千分之一)。

21种元素混合标准储备液(100 mg/L,国家环保总局标准样品研究中心);盐酸、高氯酸、硝酸、氢氟酸均为优级纯;实验用水为二次去离子水。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 仪器工作条件

电感耦合等离子体原子发射仪的工作参数为:射频功率1300 W,冷却气流量0.8 L/min,辅助气流量0.2 L/min,载气流量15 L/min。各元素分析测定波长见表1。如下表所示(表1)。

表1 元素的分析波长

Table 1 Detection wavelength of tested elements

元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength (nm)	元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength (nm)	元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength (nm)
Li	670.784	Co	228.616	Sb	206.836
Be	313.107	Zn	206.200	Tl	190.801

续表 1(Continued Tab. 1)

元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength ( nm )	元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength ( nm )	元素 Elements	测定波长 Detection Wavelength ( nm )
Ca	317.933	As	193.696	Pb	220.353
Ti	334.940	Se	196.026	Cr	205.560
V	292.464	Sr	407.771	Cu	324.752
Mg	285.213	Mo	202.031	Ni	221.648
Fe	238.204	Cd	228.802	Mn	259.372

### 1.3.2 供试品溶液的制备

准确称取样品 0.4000 g, 置于微波消解罐中, 分别依次加入 2 mL HCl, 6 mL HNO<sub>3</sub> 和 2 mL HF, 加盖密封, 放入微波消解炉中。为提高工作效率, 保证样品完全消解, 防止微波初期消解罐内压力上冲而

产生危险, 并保证较高的消解率采用三阶段消解控制方法, 具体消解工作条件见表 2。按工作表条件消解样品, 待冷却至室温后, 将消解罐放入赶酸装置继续加热赶酸, 待酸赶尽, 转移至 50 mL 容量瓶中, 定容。同时制备全程序试剂空白溶液和加标样品。

表 2 微波消解工作条件

Table 2 Working conditions of microwave digestion

步骤 Procedure	功率 Power ( W )	温度 Temperature ( °C )	时间 Time ( s )
1	1 600	120	02: 00
2	1 600	160	03: 00
3	1 600	180	15: 00

### 1.3.3 线性关系考察

精密量取吸取混合标准储备溶液, 加 2% 硝酸溶液制成各待测元素质量浓度分别为 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mg/mL 的系列混合对照品溶液。精密量取上述系列混合对照品溶液适量, 按“1.3.1”项下试验条件进样测定, 记录离子信号相对强度。以各待测元素质量浓度( $x, \mu\text{g/L}$ )为横坐标、离子信号相对强度( $y$ )为纵坐标进行线性回归。

### 1.3.4 检测限考察

分别精密量取“1.3.2”项下待测元素标准溶液适量, 倍比稀释, 并按“1.3.1”项下试验条件进样测定, 当信噪比为 3: 1 时, 得检测限。

### 1.3.5 重复性试验

精密称取同一批样品适量, 按“1.3.1”项下方法制备供试品溶液, 共 3 份, 再按“1.3.1”项下试验条件进样测定, 记录离子信号相对强度。计算各待测元素离子信号相对强度的 RSD 值, 验证本方法的重复性。

### 1.3.6 加样回收率试验

量的待测元素对照品, 按“1.3.3”项下方法制备供试品溶液, 再按“1.3.1”项下实验条件进样测定, 记录离子信号相对强度并计算加样回收率。

### 1.3.7 药材样品中元素含量测定

分别取水母雪兔子的根、茎、叶、花各适量, 分别按“1.3.2”项下方法制备供试品溶液, 再按“1.3.1”项下实验条件进样测定, 记录离子信号相对强度并计算样品含量。

### 1.3.8 数据处理

利用 SPSS 22.0 统计软件对所测元素含量数据用主成分分析的方法进行因子分析, 阐明雪莲的主要元素特征。

## 2 结果与讨论

### 2.1 方法学考察结果

按“1.3.3”项下方法进行测定, 绘制标准曲线, 其结果如表 3。相关系数  $r > 0.999$ , 线性关系良好, 结合重复性考察结果( $RSD < 4.21\%, n = 3$ )。加标回收试验, 加标量为 2.5  $\mu\text{g}$ , 加样回收率  $> 86\%$  (表 4), 加样回收率大于 95% 者有 15 种。说明所建立

取已知含量样品适量, 共 6 份, 分别加入一定质

的实验方法适合用于分析该雪莲中 21 种元素的含量。

表 3 21 种元素线性回归方程、相关系数与检测限  
Table 3 Linear regression equations of elements and detection limits

检测元素 Tested element	标准曲线 Standard curve	相关系数 r Correlation coefficient	检出限 Detection limit (mg/L)
As	$y = 11440x - 1318.1$	0.9990	0.0030
Be	$y = 20360000x - 363941.9$	0.9998	0.0003
Ca	$y = 856500x + 43687.1$	0.9990	0.0015
Cd	$y = 515300x + 2520.9$	0.9999	-
Co	$y = 312000x + 1330.6$	0.9999	0.0003
Cr	$y = 473100x + 381.6$	0.9999	-
Cu	$y = 1420000x - 4647.4$	0.9999	-
Fe	$y = 699400x + 6510.2$	0.9999	0.0012
Li	$y = 94320000x - 2524109$	0.9990	-
Mg	$y = 1354000x - 15272.8$	0.9999	0.0003
Mn	$y = 5402000x + 12446.5$	0.9999	-
Mo	$y = 56380x + 75.3$	0.9999	0.0006
Ni	$y = 186300x + 1091.5$	0.9999	-
Pb	$y = 26760x - 23.9$	0.9999	0.0027
Sb	$y = 9084x - 38.9$	0.9999	-
Se	$y = 9669x - 1955.4$	0.9990	0.0027
Sr	$y = 94270000x - 12991.9$	1.0000	-
Ti	$y = 3788000x - 45239.3$	0.9999	-
Tl	$y = 11950x - 1924.5$	0.9990	-
V	$y = 325000x - 749.4$	0.9999	0.0012
Zn	$y = 78290x + 284.3$	0.9999	0.0012

注：“-”为未检出。

Note: “-” indicates not detected.

表 4 加样回收试验结果  
Table 4 The recovery of standard addition

元素 Element	加标回收率 Recovery rate (%)	元素 Element	加标回收率 Recovery rate (%)	元素 Element	加标回收率 Recovery rate (%)
As	92	Fe	98	Sb	104
Be	88	Li	104	Se	102
Ca	100	Mg	86	Sr	100
Cd	96	Mn	102	Ti	104
Co	92	Mo	96	Tl	98
Cr	100	Ni	96	V	98
Cu	102	Pb	92	Zn	90

## 2.2 元素含量测定结果

对水母雪兔子的根、茎、叶、花分别按“1.3.1”

项下条件进行 21 种元素的含量测定,其结果如下表(表 5)。由表 5 可知,除去在水母雪兔子的根、茎、

叶、花中均未检出 Mo 元素,水母雪兔子根中元素含量最少的是 Co 元素(0.435 mg/kg),含量最多的是 Ca 元素(达到 12 000 mg/kg)。茎中含量最少和最高的元素与根中一致,Co 含量为 0.049 mg/kg,Ca 为 11 210 mg/kg,比根中略低。叶中含量最少的是 Cd(0.435 mg/kg),含量最多的依然是 Ca,可达 11 530 mg/kg,略高于茎中 Ca 含量。花中未检出 Cd 和 Co,含量最多的与其他部位相同,Ca 达到 9 026 mg/kg。

从整体来看,水母雪兔子含有丰富的钙和镁,这两种元素为人体所需常量元素。微量元素以 Fe 含

量较高,其次为 Mn,其中又以叶中含量最多,由于这两种微量元素含量过多,故与常量元素作图于图 1,其余所测微量元素含量见图 2。四个部位中含量差异最小的是 Se(变异系数为 1.13),含量差异最大的是 Cr(叶中含量最多,变异系数为 118.52),几乎不含有 Co。重金属元素(图 3)含量四个部位趋势和含量都基本一致,含量最高的是 As,根据药典标准<sup>[22]</sup>Pb 不得超过 5 mg/kg,Cd 不得超过 0.3 mg/kg,Hg 不得超过 0.2 mg/kg,Pb 含量未超标,Cd 含量略微超标而 As 含量超标更多,推测可能与生长环境、土质变化有关。

表 5 水母雪兔子中元素含量测定结果( $n=3$ ,mg/kg)

Table 5 Contents of tested elements in *Saussurea medusa Maxim.* ( $n=3$ ,mg/kg)

元素 Element	根 Root	RSD (%)	茎 Stem	RSD (%)	叶 Leaf	RSD (%)	花 Flower	RSD (%)	变异系数 CV (%)
As	13.16	0.99	13.76	1.67	12.3	0.85	12.93	2.58	4.63
Be	1.979	0.38	2.02	0.46	1.882	0.27	1.956	0.9	2.96
Ca	12 000	0.18	11 210	0.3	11 530	0.13	9 026	0.19	12.04
Cd	0.543	1.46	0.45	1.07	0.435	2.15	-	-	12.29
Co	0.435	2.44	0.049	3.2	0.833	3.17	-	-	89.30
Cr	35.04	0.11	6.671	0.16	110.4	0.5	10.47	0.22	118.52
Cu	5.507	0.22	1.623	0.82	4.493	1.01	2.174	0.74	53.68
Fe	1 457	0.31	143	0.26	2 752	0.21	352.7	0.65	101.88
Li	5.743	0.21	4.22	0.18	6.434	0.6	3.735	0.1	25.17
Mg	1271	0.14	1 105	0.77	4 872	0.1	2 013	0.4	75.57
Mn	164.1	0.49	150.9	0.77	448.2	0.39	78.28	0.09	77.47
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	20.43	0.13	2.187	2.01	6.862	0.35	1.818	1.48	111.34
Pb	3.866	4.02	3.987	0.59	5.264	0.81	3.853	2.38	16.11
Sb	1.927	1.5	1.335	3.61	2.661	1.36	1.472	1.82	32.33
Se	26.02	1.51	25.85	1.31	25.43	0.45	26.08	1.45	1.13
Sr	69.85	0.17	82.21	0.12	119.8	0.28	30.35	0.6	48.80
Ti	134.9	0.76	28.92	0.03	279.6	0.77	34.88	0.38	98.05
Tl	15.86	3.1	17.98	1.23	13.64	1.73	17.49	1.34	12.05
V	4.335	1.74	1.231	2.15	7.807	2.56	1.815	1.05	78.84
Zn	10.29	0.33	5.081	0.19	13.32	0.79	15.83	0.29	41.56

注:“-”为未检出。

Note: “-” indicates not detected.

为了确定水母雪兔子中的主要特征元素,用 SPSS 22.0 对元素的测定结果进行因子分析,由于 Cd、Co 和 Mo 元素含量微少,甚至有些部位未检出这些元素,故在数据处理中将这些数据剔除。总方差解释表(表 6)显示前两个因子对变量的解释量达

到了 88.5%,前三个因子组件对变量的解释量达到了 100%,理论上可以涵盖大部分的信息。第一主成分主要包括 Cr、Mn、Pb、Se、Sr;第二主成分主要包括 Cu、Ni;第三主成分主要包括 Zn。这 8 种元素在水母雪兔子中最具有代表性,其得分均大于 9。

表 6 因子分析结果

Table 6 The results of factor analysis

	第一主成分 Component 1	第二主成分 Component 2	第三主成分 Component 3
总计 Total	12.982	2.951	2.066
方差百分比 Percentage of variance	72.123	16.397	11.481
累计百分比 Cumulative percentage	72.123	88.519	100.000
因子 Factor			
As	-0.641	-0.204	-0.740
Be	-0.744	-0.136	-0.654
Ca	0.418	0.679	-0.603
Cr	0.911	0.319	0.261
Cu	0.282	0.942	0.181
Fe	0.804	0.530	0.270
Li	0.715	0.699	0.009
Mg	0.894	-0.013	0.448
Mn	0.978	0.200	0.059
Ni	-0.123	0.990	-0.066
Pb	0.985	0.023	0.169
Sb	0.830	0.470	0.301
Se	-0.997	0.035	0.075
Sr	0.283	0.947	0.153
Ti	-0.428	0.850	0.306
Tl	0.946	-0.257	-0.197
V	-0.167	0.984	-0.066
Zn	-0.724	-0.651	-0.227

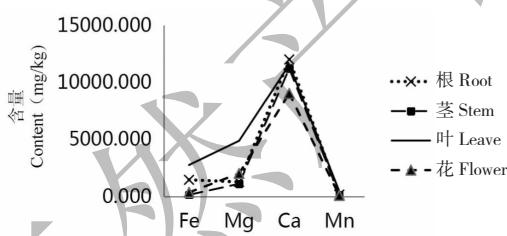


图 1 不同部位中常量元素含量

Fig. 1 The contents trend of major elements in different parts

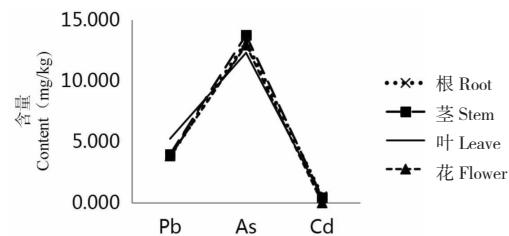


图 3 不同部位中重金属元素含量

Fig. 3 The contents trend of heavy metal elements in different parts

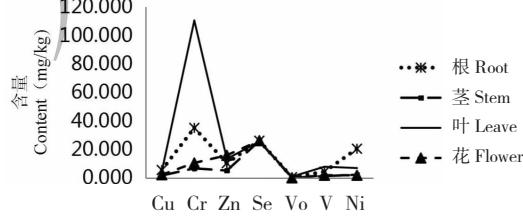


图 2 不同部位中微量元素含量

Fig. 2 The contents trend of trace elements in different parts

### 3 结论

本研究通过电感耦合等离子体原子发射光谱法建立 21 种元素的标准曲线, 相关系数  $r > 0.999$ , 线性关系良好, 结合重复性考察结果 ( $RSD < 4.21\%, n = 3$ ), 加样回收率  $> 86\%$ , 其中大于 95% 者有 15 种。说明所建方法准确、可靠, 适合于目标植物的元

## 素含量测定。

水母雪兔子根、茎、叶、花中的元素含量测定表明在人体所需 11 种常量元素中水母雪兔子含有丰富的钙和镁,这与于瑞涛<sup>[20]</sup>等人发现的水母雪莲中具有丰富的镁元素之研究结果具有一致性,然而其所测镁含量由高至低为根>茎>花>叶,本研究所测镁含量由高至低为叶>花>根>茎。推测可能因产地不同,元素分布差异较大。8 种人体必需微量元素中水母雪兔子含有最多的是铁元素,其中又以叶中含量最多,其余所测人体必需微量元素含量中,四个部位中含量差异最小的是 Se 元素,含量差异最大的是 Cr 元素,几乎不含有 Co 元素。从植株总体来看,所测 21 种矿质元素中共检出 20 种,除未检出 Mo 外,元素含量由高至低依次为 Ca, Mg, Fe, Mn, Ti, Sr, Cr, Se, Tl, As, Zn, Ni, Li, Pb, V, Cu, Be, Sb, Cd, Co。古元梓<sup>[23]</sup>等人研究共检出 17 种,含量由大到小依次为:K, Ca, P, Mg, Al, S, Fe, Si, Na, Mn, Ti, Sr, Ba, B, Zn, Cu, Cr。

从植株整体上来看水母雪兔子以 Cr、Mn、Pb、Se、Sr、Cu、Ni、Zn 这 8 种元素最具有代表性,为其特征元素。这些结果为该植物资源的后续利用以及资源的开发提供了一定的借鉴。

## 参考文献

- Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences(中国科学院西北高原生物研究所). *Zang Yao Zhi*(藏药志)[M]. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1991:222.
- Yi T, Zhao ZZ, Yu ZL, et al. Comparison of the anti-inflammatory and anti-nociceptive effects of three medicinal plants known as "Snow Lotus" herb in traditional Uighur and Tibetan medicines[J]. *J Ethnopharmacol*, 2010, 128:405-411.
- Yang WP(杨伟鹏), Lin N(林娜), Liu CF(刘春芳), et al. Effects of total flavonoids from *Saussurea medusa* Maxim. and *Saussurea medusa* Maxim. cell culture on inflammatory factors in serum of inflammatory rats[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*(中国实验方剂学杂志), 2005, 11(6):39-41.
- Jin K(金崑). Precious plant resources in Sanjiangyuan Nature Reserve[J]. *Plants*(植物杂志), 2003, (4):7.
- Liu CZ, Saxena PK. *Saussurea medusa* cell suspension cultures for flavonoid production[J]. *Methods Mol Biol*, 2009, 547:53-59.
- Zhang Y(张育). Pharmacodynamic study on anti-hypoxia of *Saussurea medusa* Maxim [J]. *Chin Med Mat*(中药材), 2008, 31:1887-1888.
- Zhao CF(赵存方), Geng JX(耿进霞), Wang P(王沛). Experimental study on the anti-fatigue and anti-oxidation effects of *Saussurea medusa* Maxim. on the mice[J]. *Med Pharm J Chin People's Liber Army*(解放军医药杂志), 2009, 21(4):1-2.
- Cao ZQ(曹治权). Trace elements and traditional Chinese medicine(微量元素与中医药)[M]. Beijing: Traditional Chinese Medicine Press, 1993.
- Li MQ(李梅青), Kong XL(孔祥淋), Du XM(杜晓妹), et al. Determination of soluble elements in *Paeonia ostii* flowers by ICP-MS with microwave digestion[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2014, 26:1926-1929.
- Wang XY(汪晓阳), Tian JH(田江辉), Feng ZY(冯志勇), et al. Study on the characteristics of calcium content and application of health function in 56 Chinese herbal medicines[J]. *Sport Forum*(搏击体育论坛), 2011, 4:79-81.
- Qiu C(邱城), Yu YW(余耀斌), Wu XL(吴雪莲). Determination of trace elements in highland barley by ICP-AES [J]. *J Agric Sci Tech China*(中国农业科技导报), 2012, 14(3):94-100.
- Wang YR(王亚茹), Li YM(李雅萌), Zhou BS(周柏松), et al. Determination of essential trace elements in *Hedysarum diffusa* and *A. sinensis* by ICP-MS[J]. *Specialty Res*(特产研究), 2018, 1:26-31.
- Ma W(马稳), Zhang XL(张秀兰). Determination of trace elements in aloe vera of different growth stages by ICP-AES [J]. *Chin J Pharm Anal*(药物分析杂志), 2008, 9:1547-1550.
- Zhou TZ(周天泽). Synergistic and antagonistic effects of trace element chemistry and trace elements in Chinese herbal medicine[J]. *J Beijing Normal Univ:Nat Sci Ed*(北京师范大学学报:自然科学版), 1992, 1:53-59.
- Lyu Y(吕毅), Bao LD(宝力道), Zhao YY(赵玉英). Determination of 15 elements in huanghe and millet by ICP-AES[J]. *Chin J Inorg Anal Chem*(中国无机分析化学), 2013, 3(4):62-64.
- He JZ(何晋浙), Kui XY(黄霄云), Yang K(杨开), et al. Analysis of trace elements in *Ganoderma lucidum* by ICP-AES [J]. *Spectrosc Spectr Anal*(光谱学与光谱分析), 2009, 29: 1409-1412.
- Zhang XW(张兴旺), Zhao XH(赵晓辉), Wen HX(文怀秀), et al. Determination of trace elements in gentianamacrophylla in different areas by microwave digestion-FAAS[J]. *Guangdong Trace Elem Sci*(广东微量元素科学), 2010, 17(3):37-41.
- Yuan ZQ(原志庆), He ZA(贺志安), Zhang MH(张美华), et al. Study on the relationship between the blocking effect of Chinese herbal medicine on the change of gastric cancer and the content of trace elements in mice[J]. *Chin J Integr Trad West Med*(中国中西医结合杂志), 1996, 1:151-153.

(下转第 96 页)