

ICP-OES 法分析与评价川产麦冬无机元素

马留辉, 石 峰, 窦明明, 张亚琴, 陈 雨, 杨正明, 陈兴福*

四川农业大学农学院 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 成都 611130

摘要: 建立川麦冬无机元素含量测定的电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-OES)分析方法, 并对川麦冬无机元素含量进行分析与系统评价。通过湿法消煮, 用 ICP-OES 方法测定川麦冬无机元素含量, 并用 SPSS 21.0 软件对数据进行相关性分析和主成分分析。结果表明川麦冬药材中 Ca、P、K、Mg、Fe、Al 元素的含量较高, Co、Hg、Se、Si、Sn、V 在麦冬中未检测到或低于检测限, 3 个样品采集点的麦冬药材 Cd 元素含量超过 WM/T2-2004 Cd (≤ 0.5 mg/kg) 的限量标准; 无机元素之间有一定的相关性; 主成分分析表明 As、Ba、Cu、K、Mg、Mn、P、Sr、Ti 是川麦冬的特征无机元素。本研究可为川麦冬质量控制和安全性评价及临床药用提供科学的参考依据。

关键词: 川麦冬; 无机元素; 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES); 主成分分析

中图分类号: R282.71

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2018.3.009

Evaluation and Analysis on Multiple Inorganic Elements in *Ophiopogon japonicus* by ICP-OES

MA Liu-hui, SHI Feng, DOU Ming-ming, ZHANG Ya-qin, CHEN Yu, YANG Zheng-ming, CHEN Xing-fu*

College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China

Abstract: The aim of this study was to establish a method for simultaneous analysis of inorganic elements in *Ophiopogon japonicus* by inductively coupled plasma optical emission spectromter (ICP-OES), and to evaluate the different batches. The sample solutions were analyzed by ICP-OES after wet digestion. The data of correlations and principal components were analyzed with the SPSS 21.0 software. The results showed that the contents of Ca, P, K, Mg, Fe and Al were abundant, while the contents of Co, Hg, Se, Si, Sn and V were not detected or below the detection limit in *O. japonicus*. But it was important to emphasize that the content of Cd was above the Standard of WM/T2-2004 in three samples. And there were some correlations among the inorganic elements in *O. japonicus*. The PCA analysis results showed that As, Ba, Cu, K, Mg, Mn, P, Sr and Ti may be the characteristic elements in *O. japonicus*. This study provided the evidence for the quality control and safety evaluation of *O. japonicus*.

Key words: *Ophiopogon japonicus*; inorganic elements; inductively coupled plasma optical emission spectromter; principal component analysis

药材麦冬为百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f) Ker-Gawl 的干燥块根, 具有养阴生津、润肺清心之功效, 主要用于治疗肺燥干咳, 阴虚癆嗽, 喉痹咽痛, 津伤口渴, 内热消渴, 心烦失眠, 肠燥便秘等症^[1]。麦冬主产于浙江省和四川省, 医药行业又称为浙麦冬和川麦冬, 两者基源植物均为百合科原阶草属植物麦冬 (*Ophiopogon*), 其中浙麦冬生长周期 2~3 年, 川麦冬生长周期仅为 1 年, 但产量高, 目

前国内麦冬类药材主流商品为川麦冬。麦冬具有抗心肌缺血、抗血栓形成、抗炎、降血糖、抗肿瘤、抗氧化、增强免疫、改善肝肺损伤及镇咳等药理作用^[2], 药效成分除甾体皂苷、高异黄酮^[3]、氨基酸^[4]和多糖^[5]等有机物外, 无机元素对药效的协同作用也不容忽视。现代研究表明, 植物体内的无机元素的存在对中药临床治疗效果的影响有着密切关系, 除直接参与体内代谢调节外, 还常与其药用有机成分产生同作用, 增强其疗效。例如张奇凤等研究发现 Fe、Cu、Mn、Zn 等微量元素与舒筋活血中成药的祛风除湿, 理气豁痰, 舒筋活络等的药效存在一定关联^[6]; 李吉峰等通过研究 7 种解表药的微量元素发

现, Mg、Ca、Fe 等元素对解表类中草药的药效起到了促进作用^[7]; 郑天润等研究发现 Fe/Mn 较高是中草药金龙胆草寒凉性的物质基础, 所含无机元素在其药效发挥的过程中起着协同作用^[8]。

由于近年来涪城麦冬(川麦冬)的价格连续走高, 当地有些种植区的药农为了追求单纯的经济效益, 盲目追求产量, 缺乏科学管理措施如, 持续连作, 大量使用化肥、滥用多效唑等造成药材质量参差不齐。目前, 关于麦冬质量评价, 主要集中于甙体皂苷、高异黄酮等有机成分分析方面, 对无机元素研究报道相对较少。无机元素的测定方法主要有原子吸收分光光度法、原子荧光法、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法、电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)等。其中电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-OES)法原理是利用元素发出的特征谱线进行测定, 该方法具有灵敏度高、干扰小, 可同时、快速测定多种金属元素的优点。目前已经广泛应用于血藤^[9]、牡蛎^[10]、南酸枣^[11]、坐珠达西珠^[12]等中药材的无机元素分析。本研究采用 ICP-OES 法对川产地道中药材麦冬中的 26 种元素进行检测和研究分析, 并对测定结果进行多元统计分析, 为川麦冬质量

控制和安全性评价及临床药用提供科学的参考依据。

1 仪器、试剂与材料

1.1 仪器与试剂

ICP-6300 型电感耦合等离子发射光谱仪(双向观测, CID 检测器 Thermo Fisher 公司, 美国); Milli-Q 超纯水系统(Millipore, USA); 分析天平(Sartorius BSA224S-CW, Germany); DHG-9146A 型电热恒温鼓风干燥箱、小型温控加热板等。各元素的标准液均购自国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院; 高氯酸、硝酸等均为优级纯; 水为超纯水。

1.2 实验材料

实验材料为川麦冬地道产区四川省三台县不同种植区的人工栽培麦冬, 共 29 份, 经四川农业大学陈兴福教授鉴定为百合科植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L. f) Ker-Gawl. 具体采样点见表 1。

根据麦冬种植面积与分布地形, 确定调查田块。每个田块采取“S”型采样, 采集麦冬 15 株, 将 15 株麦冬块根混合成 1 个样品。样品经超纯水洗涤干净后, 自然风干 2 h 后, 于 60 °C 烘干备用。

表 1 样品来源

Table 1 Sources of *O. japonicus* samples

编号 No.	来源 Source	编号 No.	来源 Source
1	灵兴镇灵峰村	16	里程乡回龙村
2	灵兴镇灵峰村	17	里程乡回龙村
3	争胜乡木鱼村	18	里程乡回龙村
4	争胜乡木鱼村	19	老马乡涪江村
5	刘营镇卫星村	20	老马乡泗洲村
6	刘营镇卫星村	21	花园镇营城村
7	刘营镇卫星村	22	花园镇营城村
8	刘营镇大围村	23	花园镇营城村
9	刘营镇大围村	24	花园镇营城村
10	刘营镇新建村	25	花园镇琴山村
11	刘营镇新建村	26	花园镇镇江村
12	刘营镇新建村	27	花园镇光明乡镇江村
13	刘营镇新建村	28	花园镇光明乡白衣村
14	里程乡回龙村	29	花园镇光明乡白衣村
15	里程乡回龙村		

2 实验方法

2.1 样品预处理与消煮

样品经 60 °C 烘干, 粉碎过 60 目筛, 精确称取 0.5 g, 置于聚四氟乙烯烧杯中, 加入硝酸-高氯酸(4 : 1) 混合溶液 25.00 mL, 混匀, 盖上杯口, 浸泡过夜。电热板上加热消解, 温度约 80 °C, 保持微沸, 消化至只剩一至两滴且颜色呈浅黄色或者透明即可, 放冷, 用 2% 硝酸溶液少量洗涤烧杯, 洗液并于 50 mL 容量瓶, 定容摇匀, 即为元素待测液。

2.2 ICP-OES 测定工作条件

射频功率 1150 W, 雾化器压力 0.2 MPa, 载气流量 12 L/min, 辅助气流量 0.5 L/min, 分析泵速 50

rpm, 冲洗泵速 50 rpm; 积分时间: 长波长 5 s, 短波长 15 s; 样品测定次数 3 次; 样品冲洗时间 30 s; 等离子观测方式: 垂直观测。

2.3 线性关系的考察

取各元素的标准液适量, 加 2% 硝酸稀释, 制备一系列的混合标准溶液, 各元素的质量浓度均为 0、0.02、0.2、2、20 mg/L。分别吸取各混合标准溶液, 依法测定空白溶液和标准系列溶液, 以质量浓度为横坐标(X), 吸光度为纵坐标(Y), 绘制标准工作曲线。在各元素的最佳分析波长下, 对空白水溶液连续测定 11 次, 取 3 倍的标准偏差所对应的质量浓度值作为各元素的检出限, 取 10 倍的标准偏差所对应的质量浓度值作为各元素的定量限。结果见表 2。

表 2 元素线性关系考察结果
Table 2 Linear relationship of elements

元素 Element	波长 Wavelength (nm)	回归方程 Regression equation	相关系数 r	检测限 LOD (mg/L)	定量限 LOQ (mg/L)
Al	396.152	$y = 33352x + 3409$	0.996108	0.000757	0.002523
As	193.759	$y = 1018.7x - 5.125$	0.999901	0.001455	0.00485
B	208.959	$y = 0.0002x - 0.0168$	0.99982	0.000454	0.001513
Ba	493.409	$y = 817663x + 7243.9$	0.99998	0.000085	0.000285
Ca	184.006	$y = 1841.9x + 394.21$	0.983586	0.000541	0.001804
Cd	214.438	$y = 49950x + 2564.8$	0.999572	0.000046	0.000154
Co	237.862	$y = 10677x + 58.463$	0.999991	0.000723	0.002412
Cr	284.325	$y = 19951x + 370.14$	0.99998	0.000493	0.001643
Cu	224.7	$y = 7226.4x + 64.146$	0.999995	0.000392	0.001307
Fe	239.562	$y = 13528x + 445.56$	0.99979	0.000536	0.001785
Hg	194.227	$y = 2355.5x - 35.344$	0.999871	0.000533	0.001777
K	769.896	$y = 165624x + 1260.6$	0.998652	0.000237	0.000791
Mg	280.27	$y = 405120x - 22686$	0.998316	0.000023	0.000078
Mn	293.93	$y = 25550x - 167.42$	0.999991	0.000451	0.001502
Mo	204.598	$y = 2017.7x + 9.708$	0.999984	0.000676	0.002254
Na	589.592	$y = 1337836.12x + 49143.2$	0.998033	0.000034	0.000113
Ni	221.647	$y = 16024x + 247.8$	0.999952	0.000169	0.000565
P	185.891	$y = 224.27x - 4.1747$	0.999858	0.004873	0.016242
Pb	182.205	$y = 432.98x + 10.548$	0.9995	0.002082	0.006941
Se	196.09	$y = 844.29x - 22.618$	0.999852	0.001788	0.005959
Si	288.158	$y = 5913.9x + 535.92$	0.999766	0.00207	0.0069
Sn	189.989	$y = 2691.5x + 16.182$	0.999986	0.000435	0.00145
Sr	421.552	$y = 1386207.07x + 2543.90$	0.999989	0.000021	0.000068
Ti	336.121	$y = 54404x - 21.275$	0.999981	0.000272	0.000907
V	268.796	$y = 15101x + 72.841$	0.99999	0.000682	0.002272
Zn	206.200	$y = 20260x + 982.28$	0.9981	0.000086	0.000285

2.4 数据处理

数据统计和相关性分析、主成分分析等采用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS 21.0 软件完成。

3 结果与分析

3.1 无机元素测定结果

分别称取各批次麦冬样品(过 5 号筛)约 0.5

g,精密称定,按“2.1”项下制备方法制备供试品溶液,按“2.2”项的 ICP-OES 测定条件进行测定,得到各无机元素的量,详细结果见表 3。

3.2 无机元素的直观分析

川麦冬无机元素含量丰富,各种元素在麦冬中含量不同,结果见表 3。

表 3 川麦冬中无机元素的测定结果(mg/kg)

Table 3 Determination of inorganic elements in samples (mg/kg)

元素 Element	计数 N	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 Std. Deviation	变异系数 CV(%)
Al	29	292.7451	38.3413	115.3270	64.17	55.64
As	29	0.8627	0.3203	0.5209	0.14	26.08
B	29	5.2367	0.2127	2.1023	1.26	59.77
Ba	29	6.2802	1.6520	2.9127	1.06	36.28
Ca	29	2622.8953	1018.0652	1930.4807	383.13	19.85
Cd	29	0.6367	0.0095	0.1682	0.14	82.49
Co	29	-	-	-	-	-
Cr	29	18.8338	5.7783	12.8176	4.10	31.99
Cu	29	5.7173	2.0829	3.6955	0.97	26.13
Fe	29	555.7353	97.3785	255.5645	136.49	53.41
Hg	29	-	-	-	-	-
K	29	1215.4778	194.5283	594.6037	285.92	48.09
Mg	29	917.5785	111.3304	406.3688	207.84	51.15
Mn	29	13.4156	2.2158	5.7990	2.65	45.75
Mo	21	1.8422	0.2383	0.4438	0.35	78.38
Na	29	145.3394	10.9342	43.7781	30.59	69.87
Ni	29	4.7934	2.2974	3.0267	0.55	18.30
P	29	1698.4578	706.0674	1128.1395	271.37	24.05
Pb	9	1.5002	0.7261	0.9887	0.24	23.97
Se	29	-	-	-	-	-
Si	29	-	-	-	-	-
Sn	29	-	-	-	-	-
Sr	29	8.4095	0.4749	3.7891	2.68	70.71
Ti	29	34.7335	2.1544	13.8102	10.11	73.22
V	29	-	-	-	-	-
Zn	29	46.9020	6.6254	19.5534	10.18	52.08

注:“-”表示未检测到或低于检测限。

Note:“-” means not detected or below the detection limit.

通过表 3 可知,川麦冬元素平均含量由高到低为 Ca > P,质量分数均超过了 1000 mg/kg;K > Mg > Fe > Al 的质量分数在 100 ~ 1000 mg/kg;Na、Ti、Zn、

Cr、Mn、Sr、Cu、Ni、Ba、B、Pb、As、Mo、Cd 的质量分数均小于 100 mg/kg。其中 Mo 元素有 8 个采样点未检测到或低于检测限度,Pb 元素只在 9 个样品中检

测到;Co、Hg、Se、Si、Sn、V 在麦冬中未检测到或低于检测限。不同种植区的麦冬药材中各个元素的含量差异明显,变异系数均相对较大,变幅较大,最小的是 Ni,为 18.30%,最大是 Cd,达到了 82.49%。对川麦冬重金属及有害元素 Cd、As、Pb、Cu、Hg 等进行分析显示,各个样品均未检测到 Hg 元素,21 个样品中未检测到 Pb 元素,在其他样品中均检测出重金属及有害元素,应该引起注意。

3.3 麦冬无机元素图谱

根据测定结果并参考何首乌^[13]的无机元素分析方法,筛选出 18 种无机元素(Al、As、B、Ba、Ca、Cd、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、P、Sr、Ti、Zn),取其均值,为了绘图方便,把 Ca、P 含量的数值缩小 100 倍,K、Mg、Fe、Al 含量的数值缩小 10 倍,Mn、Sr、Cu、Ni、Ba、B 含量的数值扩大 10 倍,As、Cd 含量的数值扩大 100 倍,使各个元素含量的数值达到同一数量级,见图 1。川麦冬药材中各种无机元素含量虽有差异,但是可以根据元素的特征曲线谱图的走势来进行鉴别,通过对川麦冬无机元素图谱的研究可以为鉴别川麦冬质量、区分川麦冬与其他中药材提供一定依据。

3.4 麦冬无机元素含量的相关性

表 4 无机元素相关分析矩阵

Table 4 Analysis matrix of element correlation

	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	Zn
Al	1																	
As	0.453 *	1																
B	0.496 **	0.091	1															
Ba	0.418 *	-0.096	0.155	1														
Ca	-0.072	0.226	-0.178	0.154	1													
Cd	0.661 **	0.209	0.333	0.456 *	-0.37	1												
Cr	0.509 **	0.555 **	0.701 **	0.058	0.169	0.222	1											
Cu	0.670 **	0.665 **	0.331	-0.08	-0.023	0.449 *	0.661 **	1										
Fe	0.961 **	0.519 **	0.491 **	0.378 *	-0.067	0.641 **	0.583 **	0.756 **	1									
K	0.573 **	0.742 **	0.37	0.087	0.044	0.417 *	0.795 **	0.815 **	0.660 **	1								
Mg	0.576 **	0.778 **	0.346	0.038	0.351	0.21	0.782 **	0.806 **	0.706 **	0.782 **	1							
Mn	0.805 **	0.342	0.423 *	0.514 **	-0.146	0.703 **	0.436 *	0.581 **	0.880 **	0.601 **	0.540 **	1						
Na	0.457 *	0.650 **	0.21	0.046	0.405 *	0.152	0.554 **	0.681 **	0.576 **	0.484 **	0.888 **	0.376 *	1					
Ni	0.710 **	0.513 **	0.349	0.335	-0.199	0.678 **	0.530 **	0.758 **	0.785 **	0.748 **	0.605 **	0.848 **	0.443 *	1				
P	0.437 *	0.705 **	0.286	-0.232	-0.027	0.218	0.679 **	0.818 **	0.525 **	0.722 **	0.741 **	0.263	0.603 **	0.487 **	1			
Sr	0.702 **	0.780 **	0.487 **	0.084	0.023	0.423 *	0.795 **	0.791 **	0.786 **	0.893 **	0.870 **	0.682 **	0.626 **	0.751 **	0.705 **	1		
Ti	0.655 **	0.574 **	0.209	0.089	0.158	0.457 *	0.266	0.375 *	0.568 **	0.34	0.353	0.318	0.327	0.3	0.369	0.413 *	1	
Zn	0.584 **	0.743 **	0.234	0.057	0.244	0.317	0.570 **	0.616 **	0.629 **	0.553 **	0.765 **	0.435 *	0.756 **	0.547 **	0.582 **	0.733 **	0.618 **	1

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

3.5 无机元素的主成分分析

根据测定结果并参考苍耳子^[14]、黄管秦艽^[15]等中药材的分析方法,对筛选出的 18 种无机元素数

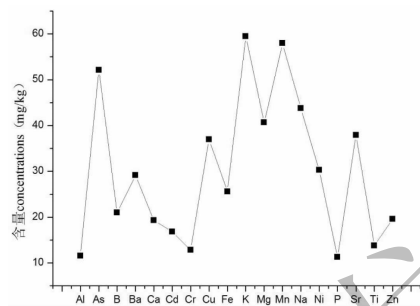


图 1 川麦冬无机元素特征谱图

Fig. 1 Characteristic spectrum of inorganic elements in *O. japonicus*

根据实验结果,对川麦冬中的 18 种无机元素(Al、As、B、Ba、Ca、Cd、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、Ni、P、Sr、Ti、Zn)进行相关性分析,见表 4。结果显示,川麦冬中无机元素之间存在一定的相关性。其中不同元素中有 82 对元素呈极显著正相关($** P < 0.01$),17 对无机元素呈显著正相关($* P < 0.05$)。这些正相关表明:川麦冬对上述 99 对元素的吸收积累有很好的协同作用,揭示川麦冬可能对这些元素按比例吸收,同时也说明川麦冬对元素吸收存在选择性。但是重金属 Cu 与 As、Cd 之间也存在正相关关系,需要引起足够的重视。

据进行主成分分析。主成分分析中特征值及贡献率是选择主成分的主要依据,见表 5。从表 5 中可以看到,选择前 5 个主成分,累积贡献率达到

88.404% (>85%), 因此选择前 5 个主成分, 它们代表了川麦冬药材中无机元素全部的信息。

表 5 主成分的初始特征值与贡献率

Table 5 Initial eigenvalue and contribution rate of principal component

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	初始特征值方差贡献率 Variance Contribution Rate (%)	累计特征值方差贡献率 Accumulated variance contribution rate (%)
1	9.731	54.063	54.063
2	2.595	14.416	68.479
3	1.486	8.254	76.733
4	1.165	6.473	83.206
5	0.936	5.198	88.404

为了更好地看出主成分负荷矩阵中的各元素对主成分贡献率, 采用最大方差法对初始负荷矩阵进行旋转分析, 得到旋转后的因子负荷矩阵见表 6。由表 6 可知, 对第一主成分贡献大的元素为: As、Cu、K、Mg、P、Sr; 对第二主成分贡献大的元素为 Ba、

Mn; 对第三主成分贡献大的元素为 Ti; 对第四主成分贡献大的元素为 B; 对第五主成分贡献大的元素为 Ca。因为总方差 76.7% (>70%) 以上的贡献来自前 3 个主因子, 所以可以认为 As、Ba、Cu、K、Mg、Mn、P、Sr、Ti 是川麦冬的特征无机元素。

表 6 旋转变换后的因子矩阵

Table 6 Factor matrix after rotation transform

元素 Element	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
Al	0.386	0.667	0.476	0.285	-0.05
As	0.824	0.025	0.39	-0.087	0.12
B	0.156	0.221	0.091	0.932	-0.107
Ba	-0.22	0.834	-0.058	0.053	0.322
Ca	0.107	-0.115	0.07	-0.065	0.937
Cd	0.15	0.734	0.329	0.067	-0.379
Cr	0.689	0.118	0.018	0.654	0.137
Cu	0.847	0.326	0.116	0.107	-0.098
Fe	0.53	0.668	0.351	0.261	-0.036
K	0.836	0.3	0.024	0.21	-0.076
Mg	0.883	0.196	0.113	0.198	0.318
Mn	0.379	0.846	0.08	0.17	-0.093
Na	0.728	0.14	0.184	0.052	0.441
Ni	0.618	0.681	0.032	0.06	-0.218
P	0.865	-0.088	0.192	0.162	-0.153
Sr	0.827	0.33	0.167	0.294	-0.016
Ti	0.226	0.185	0.929	0.068	0.055
Zn	0.665	0.185	0.509	0.058	0.248

4 讨论与结论

本实验采用 ICP-OES 法分析川麦冬地道产区

的 29 批样品中的 26 种元素, 并用 SPSS 21.0 对数据进行相关性分析、主成分分析。分析结果显示川麦冬中含有丰富的常量元素如 Ca、P、K、Mg、Al、Na

等,以及人体必须的微量元素如 Fe、Zn、Cr、Mn、Sr、Cu、Ni 等。其中 Ca 可以降低毛细血管的通透性和神经肌肉的兴奋性,并参与肌肉的收缩以及血液凝固的过程等^[16];P 参与构成核酸、磷脂等重要的生命物质,参与能量代谢等^[17];K 具有维持体内水分平衡及神经传导,调节血流量并协助肌肉正常收缩等生理作用^[18];Fe 主要参与血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素氧化酶及辅酶的合成,并与许多酶的活性有关,对人体健康有重要意义^[19];Zn 参与人体代谢,影响器官发育,促进食欲,促进细胞正常分化,对维持人体生长发育及免疫健康起着重要的作用^[13,19];Cr 具有发挥胰岛素作用,调节胆固醇、糖和脂质代谢,防治血管硬化的作用^[19];Mn 具有提高机体免疫功能,延缓衰老、抗癌的作用等^[13,19];Sr 可以促进骨骼生长、维持血管功能和通透性、维持组织弹性的作用^[19,20]。上述元素所表现出的生理功能与麦冬具有抗心肌缺血、增强免疫、降血糖、抗衰老、抗肿瘤等作用相一致。现代研究也表明麦冬中 Fe、Mg、Zn 等元素可能与其用于治疗食欲不振、抑肿瘤以及防治心血管疾病有一定关联^[21],Zn、Cu 元素与其养阴益气效果相关^[22]等,因此可认为川麦冬中所含有的无机元素是其功效物质基础之一,且这些元素在麦冬药效发挥过程中起着协同作用。主成分分析表明 As、Ba、Cu、K、Mg、Mn、P、Sr、Ti 是川麦冬的特征无机元素,在今后的研究中可重点研究这几种元素。

重金属及有害元素是中药材安全性评价的重要指标,目前许多中药都已经制定了 Pb、Hg、As、Cd 等元素的限量标准^[23]。实验结果显示,所测试的川麦冬样品,As、Pb、Cu、Hg 的含量均低于《药用植物及制剂进口绿色行业标准(WM/T2-2004)》(Pb \leq 5.0 mg/kg, Hg \leq 0.2 mg/kg, Cu \leq 20 mg/kg, As \leq 2.0 mg/kg)的限量标准,而 Cd 元素只有刘营镇 2 个样品和花园镇 1 个样品中的含量超过了限定值(Cd \leq 0.3 mg/kg)。因此,就整体而言,川麦冬基本上没有受到重金属的污染,质量较好,这与吴发明等^[24]的研究结论一致。对川麦冬中重金属含量的研究分析,既为药材的质量评价提供依据,也为制定药材中重金属限量标准提供参考。指纹图谱是鉴定中药材基本属性和评价质量的先进手段之一,通过建立川麦冬无机元素图谱,可以为建立川麦冬无机元素标准图谱、鉴定川麦冬质量、区分川麦冬与其他中药材提供参考依据。

本实验建立了采用湿法消解,电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定川麦冬中 26 种无机元素含量的方法。测定了地道产区不同种植区麦冬药材的无机元素含量,并对测定结果进行了多元统计分析,从而为川麦冬质量控制、安全性评价及临床药用提供科学的参考依据。

参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission (国家药典委员会). Pharmacopoeia of the People's Republic of China; Vol I. (中华人民共和国药典:第一部)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015:155.
- 2 Yuan CL (袁春丽), Sun L (孙立), Yuan ST (袁胜涛), et al. Pharmacological activities and possible mechanism of effective components in *Ophiopogonis radix*[J]. *Chin J New Drug* (中国新药杂志), 2013, 22:2496-2502.
- 3 Bai J (白晶). Progress in studies on steroidal saponins and homoisoflavonoids in *Ophiopogon japonicus*[J]. *J Beijing Univ* (北京联合大学学报), 2014, 28(2):9-12.
- 4 Liu J (刘江), Chen XF (陈兴福), Liu WG (刘卫国), et al. Amino acid composition analysis and food value investigation of wild *Ophiopogon japonicus* resources in Sichuan basin [J]. *Food Sci* (食品科学), 2010, 31(5):82-85.
- 5 Zhang LX (张璐欣), Zhou XQ (周学谦), Li DK (李德坤), et al. Research progress on chemical composition, analytical methods, and pharmacological effects of *Ophiopogon polysaccharides*[J]. *Drug Eval Res* (药物评价研究), 2017, 40:279-284.
- 6 Zhang QF (张奇凤), Fan MM (范玫玫), Wang GM (王官民), et al. Exploration of quality control of inorganic elements in Chinese herbal medicines for stimulating blood circulation and relaxing muscles and joints by atomic absorption spectrophotometry[J]. *Spectrosc Spect Anal* (光谱学与光谱分析), 2007, 27:2595-2597.
- 7 Li JF (李吉锋), Jiao GS (焦更生). Determination of microelements in seven kinds of traditional Chinese medicines and the analysis of relations between the microelement content and medicinal effect[J]. *Chin J Spectrosc Lab* (光谱实验室), 2010, 27:1583-1585.
- 8 Zheng TR (郑天润), Liu S (刘姗), Sun R (孙蓉), et al. Determination and correlation analysis of the inorganic elements in *Conyza blinii* H. Lev [J]. *Molecul Plant Breed* (分子植物育种), 2016, 14:1021-1026.
- 9 Chen YQ (陈燕芹), Liu H (刘红), Yang ZY (杨志银). Determination of 17 elements in Xue Teng by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with microwave

- digestion[J]. *Chin J Inorg Anal Chem* (中国无机分析化学), 2014, 4(2): 70-73.
- 10 Yang KZ (杨奎真), Zheng K (郑康), Zheng YJ (郑永军), et al. The application of inorganic elemental fingerprint to determine Rushan Bay oysters[J]. *Chin J Mar Drug* (中国海洋药物), 2013, 32(2): 41-46.
- 11 Zhai YX (翟宇鑫), Chen J (陈军), Li C (李俦), et al. Determination of mineral elements in *Choerospondias axillaris* and its extractives by ICP-AES[J]. *Spectrosc Spect Anal* (光谱学与光谱分析), 2015, 35: 1052-1055.
- 12 Chen Y (陈莹), Wang CS (王长生), Kuang G (况刚), et al. Determination and correlation analysis on 26 inorganic elements in Tibetan treasures medicine Zuozhudaxi and major raw mineral material by microwave digestion-ICP-OES[J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2016, 47: 2346-2352.
- 13 Luo YY (罗益远), Liu XJ (刘娟秀), Hou Y (侯娅), et al. ICP-MS analysis on inorganic elements in *Polygoni Multiflori Radix* from different habitats and commercial herbs[J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2015, 46: 1056-1064.
- 14 Liu XJ (刘娟秀), Luo YY (罗益远), Liu XH (刘训红), et al. Analysis of inorganic elements in *Xanthii Herba* from different areas using ICP-MS[J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2016, 28: 699-706.
- 15 Xie M (谢敏), Wang H (汪洁), Zhang QL (张启立), et al. Correlation and principal component analyses of inorganic elements in *Gentiana officinalis* H. Smith. from different areas of Gansu province[J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2016, 28: 1402-1408.
- 16 Zhang SB (张胜帮), Zhang XJ (张学俊), Guo YS (郭玉生). Study on the determination of calcium in Chinese medicine by ICP-AES[J]. *Spectrosc Spect Anal* (光谱学与光谱分析), 2004, 24: 1260-1261.
- 17 Wei LY (魏凌云), Liu SP (刘生鹏), Wang JH (王建华), et al. Life begins with phosphorus[J]. *Chem Life* (生命的化学), 2016, 36: 298-302.
- 18 Wu MJ (吴茂江). Potassium and human health[J]. *Trace Elements Health* (微量元素与健康研究), 2011, 28(6): 61-62.
- 19 Xia M (夏敏). Indispensable trace elements and health of human body[J]. *Guangdong Trace Elements Sci* (广东微量元素科学), 2003, 10(1): 11-16.
- 20 Fang HL (房海灵), Guo QS (郭巧生), Shao QS (邵清松). Principal component analysis and correlational analysis of elements in *Flos Chrysanthemi Indic* from different regions[J]. *Chin J New Drug* (中国新药杂志), 2010, 35: 2432-2436.
- 21 Fu LW (傅立雯). Studies on the quality standards and extraction technology of the *Liriope muscari* in Fujian[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (福建农林大学), 2008.
- 22 Tang JY (唐建阳), Chen JY (陈菁瑛), Su HL (苏海兰), et al. Mineral contents in tubers of *Ophiopogon* and *Liriope* from different botanical sources and producing areas[J]. *Fujian J Agric Sci* (福建农业学报), 2009, 24: 513-516.
- 23 Zhao LH (赵连华), Yang YH (杨银慧), Hu YC (胡一晨), et al. Current situation analysis and countermeasures on contamination of heavy metal in traditional Chinese medicinal materials in China[J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2014, 45: 1199-1206.
- 24 Wu FM (吴发明), Yang HY (杨海燕), Yang RS (杨瑞山), et al. Study on quality evaluation of *Ophiopogonis Radix* in Sichuan[J]. *Chin Med Mat* (中药材), 2016, 39: 1803-1808.

致谢:对以下合作单位参与本刊的学术建设表示由衷的感谢!

广西壮族自治区药用植物园

广西科学院

重庆市药物种植研究所

昆明医科大学药学院