

· 药物研究 ·

微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定藏药唐古特红景天中27种元素

续艳丽^{1,3}, 朱仁愿¹, 姬良亮¹, 杨红霞², 杜玉枝², 赵磊³, 王冠杰^{4*} (1. 兰州市食品药品检验所, 兰州 730050; 2. 中国科学院西北高原生物研究所青海省藏药药理学和安全性评价研究重点实验室, 西宁 810008; 3. 甘肃中医药大学, 兰州 730000; 4. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050)

摘要 目的: 建立微波消解-电感耦合等离子体质谱技术(ICP-MS)同时测定藏药唐古特红景天中Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Ag、Cd、Cs、Ba、Pb、Tl、U、V 27种元素的方法。方法: 唐古特红景天样品经微波消解后采用ICP-MS法测定, 射频功率为1.3 kW, 采样深度为8.0 mm, 等离子体气流速为15.0 L·min⁻¹, 载气体积流量为1.17 L·min⁻¹, 碰撞气体流量为5.0 mL·min⁻¹, 蠕动泵转速为30 r·min⁻¹, 并通过加入Bi、Ce、In、Lu、Rh、Sc、Tb混合内标对照溶液消除基体干扰。结果: 27种元素在0~200 μg·L⁻¹的线性范围内线性良好($r > 0.998$), 定量限为0.0022~34.78 μg·L⁻¹, 检测限为0.0007~9.4 μg·L⁻¹; 精密度、稳定性、重复性试验的RSD ($n=6$)均小于6%; 各元素平均加样回收率为73.4%~128.3%, RSD ($n=6$)为1.1%~9.8%。结论: 该方法操作简单、灵敏度高, 适用于唐古特红景天样品中多元素的同时测定。

关键词: 唐古特红景天; 微波消解; ICP-MS; 元素

中图分类号: R95 文献标识码: A 文章编号: 1002-7777(2020)07-0812-08

doi:10.16153/j.1002-7777.2020.07.013

Microwave Digestion-ICP-MS for the Determination of 27 Elements in Traditional Tibetan Medicine *Rhodiola tangutica*

Xu Yanli^{1,3}, Zhu Renyuan¹, Ji Liangliang¹, Yang Hongxia², Du Yuzhi², Zhao Lei³, Wang Guanjie^{4*} (1. Lanzhou Institute for Food and Drug Control, Lanzhou 730050, China; 2. Qinghai Key Laboratory of Tibetan Medicine Pharmacology and Safety Evaluation, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 3. Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 4. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

Abstract Objective: To establish a method for the determination of 27 elements including Li, Be, Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Cs, Ba, Pb, Tl, U and V in *Rhodiola tangutica*.

Methods: The samples were digested via microwave and measured by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Radio frequency power was 1.3 kW. Sampling depth was 8.0 mm, and the plasma gas flow rate was 15.0 L·min⁻¹. Carrier gas flow rate was 1.17 L·min⁻¹, and collision gas flow rate was 5.0 mL·min⁻¹.

基金项目: 青海省重点实验室专项(编号2017-ZJ-Y08); 青海省藏药药理学和安全性评价研究重点实验室开放课题(编号2018-ZY-03)

作者简介: 续艳丽, 硕士, 工程师; Tel: (0931) 2312065; E-mail: 864093439@qq.com

通信作者: 王冠杰, 硕士, 副主任技师; 研究方向: 药物分析及仪器管理; Tel: (010) 53852042; E-mail: wanggj@nifdc.org.cn

Peristaltic pump revolutions was $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$. The matrix effect and the mass spectrum interferences were corrected by using the internal standards of Bi, Ce, In, Lu, Rh, Sc and Tb. **Results:** The linear relationship of 27 elements was good in the linear range of $0\text{-}200 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($r > 0.998$). The quantitative limit was $0.0022\text{-}34.78 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, and the detection limit was $0.0007\text{-}9.4 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. RSD values of precision, stability and repeatability were less than 6%, and the average recovery was 73.4%-128.3% with RSD of 1.1%-9.8%. **Conclusion:** The established method was simple and sensitive, and was suitable for the determination of multi-elements in Traditional Tibetan Medicine *Rhodiola tangutica*.

Keywords: *Rhodiola tangutica*; microwave digestion; ICP-MS; elements

唐古特红景天 (*Rhodiola tangutica*) 为蔷薇目景天科 (*Crassulaceae*) 红景天属 (*Rhodiola*) 多年生植物, 主要分布于青海、西藏等高寒地带^[1], 《本草纲目》《中华藏本草》《藏药志》等藏医药经典著作中均有记载^[2-3], 曾刊载于《中华人民共和国药典》1977年版, 素有“高原人参”之美称^[4]。现代药理研究发现, 红景天作为一种药食兼用植物资源, 主要含有没食子酸、红景天苷、酪醇等活性成分^[3], 具有抗疲劳、抗衰老、抗缺氧、抗辐射、抗过氧化、抗病毒及抗肿瘤等多种功能^[5-7]。吴启勋^[8]、雷富平^[9]、阮晓^[10]等人的研究表明, 红景天富含铁、镁、铜、铬、锌、锰等人体必需的微量元素, 并含有与治疗抗缺氧疗效密切相关的微量元素, 因此, 研究其微量元素在红景天产品开发方面有重要的意义。同时, 由于环境污染造成的重金属及有害元素超标, 直接影响中药的疗效和安全, 严重制约了我国中医药产业的发展 and 走向国际化市场。因此, 建立唐古特红景天重金属及有害元素含量分析方法有助于其质量控制水平的提升。目前, 中药材元素测定常用方法有原子吸收光谱法^[11-12]、ICP-OES法^[13-14]、ICP-MS法^[15-18]等, ICP-MS法因灵敏度高、检出限低、可以同时测定多种元素而被广泛应用。本试验采用微波消解ICP-MS法同时测定藏药唐古特红景天中的27种元素含量, 为藏药唐古特红景天进一步的质量控制和药理药效研究提供科学依据。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

7900 电感耦合等离子质谱仪 (Agilent公

司); MS105DU电子分析天平 (梅特勒-托利多公司); Milli-Q 超纯水系统 (密理博公司); UltraCLAVELV微波消解仪 (意大利麦尔斯通有限公司)。

1.2 试剂

锂 (Li)、铍 (Be)、钠 (Na)、镁 (Mg)、铝 (Al)、钾 (K)、钙 (Ca)、铬 (Cr)、锰 (Mn)、铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、镓 (Ga)、砷 (As)、硒 (Se)、铷 (Rb)、锶 (Sr)、银 (Ag)、镉 (Cd)、铯 (Cs)、钡 (Ba)、铅 (Pb)、铊 (Tl)、铀 (U)、钒 (V) 多元素混合对照品溶液 (质量浓度均为 $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 批号K2-MEB653023, 美国Inorganic Ventures公司提供); 铋 (Bi)、铈 (Ce)、铟 (In)、镱 (Lu)、铑 (Rh)、钪 (Sc)、铽 (Tb) 混合内标对照溶液 (批号5188-6525, 质量浓度 $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 美国Agilent公司提供); 铈 (Ce)、钴 (Co)、锂 (Li)、镁 (Mg)、铊 (Tl)、钇 (Y) 标准调谐液 (批号5185-5959, 质量浓度 $1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 美国Agilent公司提供)。硝酸 (德国默克公司产品, 批号K50673956838)。

1.3 样品

本试验所用药材样品由中国科学院西北高原生物研究所青海省藏药药理学和安全性评价重点实验室提供。1~5号野生唐古特红景天, 经中国科学院西北高原生物研究所卢学峰研究员鉴定为蔷薇目景天科红景天属多年生植物唐古特红景天 (*Rhodiola tangutica*)。样品编号及来源见表1。

表1 样品信息

编号	来源
1	青海省玉树藏族自治州通天河畔
2	青海省果洛藏族自治州班玛县知钦乡莫坝沟
3	青海省格尔木市唐古拉山镇雁石坪区域
4	青海省格尔木市唐古拉山
5	青海省果洛藏族自治州班玛县知钦乡莫坝沟
6	雪域中藏药材批发部
7	青海藏瀚阁商贸有限公司
8	兰州黄河中药材市场
9	甘肃参源堂药业有限公司
10	兰州大地源药材批发经营部

2 方法与结果

2.1 ICP-MS仪器工作条件

采用氦气碰撞反应池模式,用调谐液对仪器质量轴、分辨率、灵敏度、双电荷、氧化物进行优化。最佳优化工作条件:等离子体射频功1.3 kW,等离子体气流速 $15.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,采样深度8.0 mm,载气体积流量 $1.17 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,雾化室温度 2°C ,氦气流速 $5.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,蠕动泵转数 $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,分析时间0.1 s,数据重复采集3次。

2.2 微波消解条件

功率为1200 W; 8 min内由室温升至 110°C ,保持2 min; 6 min内升至 180°C ,保持2 min; 5 min内升至 220°C ,保持2 min; 5 min内升至 240°C ,保持10 min。

2.3 溶液的制备

2.3.1 混合标准溶液的配制

精密量取27种混合对照品溶液,用2%硝酸稀释制成每1 mL含Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Ag、Cd、Cs、Ba、Pb、Tl、U、V的0.0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0、100.0、200.0 ng的

系列浓度混合标准溶液。

2.3.2 内标溶液的配制

精密量取混合内标溶液0.5 mL,置于100 mL量瓶中,用超纯水稀释制成每1 mL含Bi、Ce、In、Lu、Rh、Sc、Tb 500 ng的混合对照溶液,作为混合内标溶液。

2.3.3 供试品溶液

精密称取唐古特红景天样品0.3 g,置微波消解罐中,加入水1 mL,硝酸3 mL,按“2.2”节下微波消解条件进行消解。消解完后转移至50 mL量瓶中,用少量水洗涤消解罐,洗涤3次,洗液并于量瓶中,摇匀,作为供试品溶液。同法制得试剂空白溶液。

2.4 标准曲线的绘制

按“2.1”节下ICP-MS条件,测定“2.3”节下的系列混合对照溶液和内标溶液,记录各元素与内标的仪器响应值,以各元素的质量浓度(x)为横坐标,各元素与内标仪器响应值的比值(y)为纵坐标,绘制各元素的标准工作曲线,计算回归方程及相关系数,结果见表2。27种元素在其限度范围内的 $r > 0.998$,说明线性关系良好。

表2 线性关系、定量限、检测限

元素	回归方程	相关系数 r	线性范围 / ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	定量限 / ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	检测限 / ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
Li	$y=4.198 \times 10^{-4}x+1.365 \times 10^{-3}$	0.9994	0~200.0	17.1666	5.2020
Be	$y=5.459 \times 10^{-4}x$	0.9995	0~200.0	0.0037	0.0012
Na	$y=1.466 \times 10^{-2}x+0.3187$	0.9986	0~200.0	2.1403	0.6115
Mg	$y=6.496 \times 10^{-3}x+2.949 \times 10^{-2}$	0.9999	0~200.0	3.7791	1.1115
Al	$y=1.928 \times 10^{-3}x+6.837 \times 10^{-4}$	0.9999	0~200.0	1.6909	0.4570
K	$y=4.462 \times 10^{-3}x+0.5435$	0.9982	0~200.0	34.7800	9.4000
Ca	$y=1.455 \times 10^{-3}x+6.422 \times 10^{-3}$	0.9980	0~200.0	6.3987	1.9390
V	$y=9.438 \times 10^{-2}x+4.814 \times 10^{-5}$	0.9999	0~200.0	0.0095	0.0027
Cr	$y=1.282 \times 10^{-1}x+4.367 \times 10^{-3}$	0.9997	0~200.0	0.0482	0.0138
Mn	$y=5.138 \times 10^{-2}x+4.319 \times 10^{-3}$	0.9999	0~200.0	0.0722	0.0219
Fe	$y=9.724 \times 10^{-2}x+0.1091$	0.9999	0~200.0	0.1028	0.0286
Co	$y=0.2419x+7.814 \times 10^{-4}$	0.9999	0~200.0	0.0182	0.0052
Ni	$y=6.417 \times 10^{-2}x+8.454 \times 10^{-2}$	0.9999	0~200.0	1.2208	0.3391
Cu	$y=0.2157x+7.983 \times 10^{-3}$	0.9999	0~200.0	0.0410	0.0111
Zn	$y=2.502 \times 10^{-2}x+5.330 \times 10^{-3}$	0.9998	0~200.0	0.7894	0.2392
Ga	$y=4.773 \times 10^{-2}x+3.068 \times 10^{-4}$	0.9999	0~200.0	0.0651	0.0192
As	$y=1.867 \times 10^{-2}x+2.550 \times 10^{-4}$	0.9999	0~200.0	0.0928	0.0281
Se	$y=2.487 \times 10^{-4}x$	0.9992	0~200.0	0.0043	0.0013
Rb	$y=5.602 \times 10^{-3}x+6.040 \times 10^{-5}$	0.9999	0~200.0	0.0442	0.0130
Sr	$y=7.294 \times 10^{-2}x+5.738 \times 10^{-3}$	0.9999	0~200.0	0.1986	0.0567
Ag	$y=1.194 \times 10^{-2}x+4.745 \times 10^{-6}$	0.9999	0~200.0	0.0076	0.0021
Cd	$y=1.400 \times 10^{-3}x+6.336 \times 10^{-6}$	0.9999	0~200.0	0.0514	0.0156
Cs	$y=1.207 \times 10^{-2}x+4.946 \times 10^{-5}$	0.9999	0~200.0	0.0140	0.0039
Ba	$y=2.175 \times 10^{-2}x+5.534 \times 10^{-6}$	0.9999	0~200.0	0.0047	0.0013
Tl	$y=2.710 \times 10^{-2}x+3.000 \times 10^{-5}$	0.9999	0~200.0	0.0022	0.0007
Pb	$y=1.913 \times 10^{-2}x+1.079 \times 10^{-3}$	0.9999	0~200.0	0.1092	0.0303
U	$y=3.561 \times 10^{-2}x+1.597 \times 10^{-5}$	0.9999	0~200.0	0.0036	0.0010

2.5 方法定量限与检测限

定量限和检测限采用基于响应值的标准偏差和标准曲线斜率法公式计算,定量限为 $10\delta/S$,检测限为 $3.3\delta/S$ (δ 为响应值的偏差; S 为标准曲线的斜率)。将“2.3.3”节下的试剂空白溶液,按“2.1”节下ICP-MS条件重复进样测定(不少于6次),记录仪器响应值,结果见表2。计算定量限为 $0.0022\sim 34.78\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,检测限为 $0.0007\sim 9.4\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.6 精密度试验

取“2.3.1”节下配制的混合对照品溶液,按“2.1”节下ICP-MS条件连续进样6次,记录仪器响应值,结果见表3。各元素的RSD在1.1%~5.8%之间,符合《中国药典》2015年版四部通则9101

的规定,表明仪器精密度良好。

2.7 稳定性试验

精密称定唐古特红景天样品(5号)适量,按照“2.3.3”节下方法制备,分别于室温下放置0、1、2、4、6、10、12h测定,记录仪器响应值,结果见表3。各元素仪器响应值的RSD在0.9%~5.4%之间,表明供试品溶液在室温下放置12h内稳定性良好。

2.8 重复性试验

精密称定唐古特红景天样品(5号)适量,按照“2.3.3”节下方法制备供试品溶液6份,再按“2.1”节下ICP-MS条件进行测定,记录仪器响应值,结果见表3。各元素仪器响应值的RSD为0.5%~5.9%($n=6$),表明本方法重复性良好。

表3 精密度、重复性、稳定性试验结果($n=6$)

元素	精密度 RSD/%	稳定性 RSD/%	重复性 RSD/%
Li	2.4	1.4	2.4
Be	5.8	5.4	2.5
Na	1.2	0.9	1.3
Mg	1.1	1.3	1.0
Al	1.2	1.1	0.6
K	1.4	2.1	0.8
Ca	1.7	0.9	2.0
V	1.3	3.1	0.5
Cr	1.1	3.6	0.8
Mn	1.6	3.7	0.8
Fe	2.5	2.9	0.9
Co	3.2	2.6	0.6
Ni	1.7	2.5	0.7
Cu	2.0	1.8	2.0
Zn	1.9	2.7	1.8
Ga	3.6	1.4	3.3
As	2.0	2.8	1.8

续表 3

元素	精密度 RSD/%	稳定性 RSD/%	重复性 RSD/%
Se	2.7	4.1	5.8
Rb	2.6	3.2	2.6
Sr	1.6	2.3	1.3
Ag	4.0	3.2	0.9
Cd	4.1	3.6	0.5
Cs	2.7	1.2	1.4
Ba	1.3	1.1	1.3
Tl	2.4	1.5	0.6
Pb	2.0	0.9	2.4
U	2.2	1.0	2.1

2.9 加样回收率试验

采取加样回收法，精密称定已知含量的同一批次唐古特红景天样品（5号）0.15 g，6份，分别加入50 μg · L⁻¹混合对照品溶液1 mL，按照“2.3.3”节下方法制备供试品溶液，再按“2.1”节下ICP-MS条件进行测定，记录仪器响应值。计算各元素平均回收率分别为84.2 %、90.8 %、112.3 %、103.8 %、123.8 %、117.1 %、120.1 %、73.4 %、101.8 %、123.5 %、106.7 %、92.3 %、114.5 %、98.7 %、100.7 %、103.3 %、128.3 %、105.2 %、81.3 %、127.3 %、75.1 %、110.2 %、117.2 %、121.0 %、104.3 %、111.2 %、115.3 %、

RSD分别为4.2%、1.3 %、3.5 %、1.8 %、1.1 %、3.5 %、2.4 %、3.6 %、1.8 %、1.9 %、1.7 %、2.5 %、2.6 %、4.9 %、2.8 %、6.9 %、2.8 %、3.2 %、5.1 %、2.7 %、2.4 %、9.8 %、5.2 %、1.2 %、4.7 %、3.6 %、5.9 %，RSD在1.1%~9.8%范围内，符合试验要求。

2.10 样品测定

取唐古特红景天样品按“2.3.3”节下方法制备供试品溶液，再按“2.1”节下ICP-MS方法测定，计算样品中27种重金属及微量元素的含量，结果见表4。

表4 样品测定结果 (mg · kg⁻¹)

元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Li	0.26	0.12	0.07	0.33	0.01	1.67	1.38	0.56	0.07	0.01
Be	0.06	0.01	33.14	38.26	39.58	36.74	49.85	0.05	0.05	0.01
Na	33.14	38.26	39.58	36.74	49.85	82.19	112.01	30.86	33.86	16.42
Mg	1169.77	657.34	879.78	870.34	621.19	1579.66	2228.23	1012.58	1191.41	1042.86
Al	706.57	306.45	403.88	729.71	311.19	1695.73	1425.57	274.66	569.41	111.47
K	4541.55	3149.54	3368.16	3137.31	2629.43	4033.32	5567.38	4224.57	3143.88	3864.64
Ca	2981.51	4278.86	3913.24	3199.06	4473.08	874.43	1127.51	2152.51	2545.11	2039.87

续表 4

元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	1.15	0.43	0.61	1.12	0.44	2.56	2.31	0.42	0.83	0.17
Cr	7.81	2.53	6.96	6.94	3.11	39.45	44.99	9.73	16.54	4.36
Mn	91.09	85.39	98.77	93.52	110.70	39.16	34.81	73.70	92.64	107.33
Fe	451.39	178.23	262.02	471.48	186.55	1078.88	1083.14	233.24	425.08	95.48
Co	0.33	0.16	0.23	0.31	0.18	0.47	0.45	0.15	0.20	0.10
Ni	5.07	3.13	5.35	4.95	3.17	6.41	3.57	1.96	1.63	3.18
Cu	1.98	0.69	1.03	1.57	0.85	5.09	5.27	1.75	2.96	1.13
Zn	10.33	5.52	7.77	8.40	5.66	14.56	16.89	11.41	15.14	11.30
Ga	69.13	7.51	7.83	17.40	8.75	7.25	9.66	19.92	16.07	12.35
As	0.34	0.10	0.19	0.30	0.10	0.59	0.58	0.14	0.22	0.03
Se	0.63	0.24	0.32	0.47	0.37	0.85	1.03	0.09	0.30	0.19
Rb	4.58	1.86	2.44	2.80	1.67	3.85	3.59	4.12	2.93	1.38
Sr	79.44	68.09	68.92	68.31	77.25	44.43	52.61	36.96	54.85	36.98
Ag	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Cd	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.11	0.16	0.17	0.39	0.14
Cs	0.22	0.08	0.10	0.19	0.08	0.36	0.30	0.18	0.25	0.03
Ba	321.40	46.36	50.04	109.64	54.31	52.21	68.84	153.02	119.31	91.31
Tl	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00
Pb	0.81	0.41	0.46	0.66	0.68	1.78	0.95	0.50	0.54	0.13
U	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.05	0.06	0.02	0.04	0.01

3 讨论

3.1 内标物的选择

唐古特红景天样品自身成分复杂,与标准溶液相比会产生基体干扰,为了消除基体效应,本试验按照质量数相近的原则^[19-20]选择Sc作为Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、V内标;Ce作为Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr内标;Ag作为Rh内标;In作为Cd、Cs、Ba、U内标;Bi作为Pb、Tl内标,消除基体干扰对结果准确性的影响。

3.2 各元素结果分析

通过唐古特红景天27种元素含量测定结

果可以看出,10批唐古特红景天中铅元素含量为0.13~1.78 mg·kg⁻¹,镉元素含量为0.02~0.39 mg·kg⁻¹,砷元素含量为0.03~0.59 mg·kg⁻¹,铜元素含量为0.69~5.09 mg·kg⁻¹。参照《中国药典》2015年版,铅不得超过5 mg·kg⁻¹,镉不得超过0.3 mg·kg⁻¹,砷不得超过2 mg·kg⁻¹,铜不得超过20 mg·kg⁻¹的限度指标规定,即除1批镉元素含量超标外,其它重金属有害元素均符合规定要求。

4 结论

本试验采用ICP-MS法,建立藏药唐古特红景天中27种元素同时测定的方法,操作简单,结果准确。从测定结果可知,10批唐古特红景

天样品中钾的含量为2629.43~5567.38 mg·kg⁻¹, 钙的含量为874.43~4473.08 mg·kg⁻¹, 镁的含量为621.19~2228.23 mg·kg⁻¹, 不仅富含人体必需的常量元素钾、钙、镁, 还含有铁、镁、铜、铬、锌、锰等人体必需的微量元素, 其中铁的含量为95.48~1083.14 mg·kg⁻¹、镁的含量为621.19~2228.23 mg·kg⁻¹、铜的含量为0.69~5.27 mg·kg⁻¹、铬的含量为2.53~44.99 mg·kg⁻¹、锌的含量为5.52~16.89 mg·kg⁻¹、锰的含量为34.81~110.7 mg·kg⁻¹。吴启勋等研究表明, 红景天富含铁、镁、铜、铬、锌、锰等人体必需的微量元素, 与红景天治疗抗缺氧和因缺氧而产生的急慢性心脑血管疾病密切相关。因此, 可将钾、钙、镁、铁、铜、铬、锌、锰等元素作为特征元素, 进一步研究微量元素与红景天药效之间的关系。同时, 该方法的建立可对修订完善藏药唐古特红景天质量标准 and 进一步开发红景天产品提供试验基础。

参考文献:

- [1] 张树娜, 芦殿香, 常荣, 等. 藏药唐古特红景天水提取物对人乳腺癌细胞 MCF-7 增殖的抑制作用[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(3): 605-608.
- [2] 吕秀梅, 李艳, 范刚, 等. 藏药红景天及其常用近缘品种研究进展[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(7): 1698-1701.
- [3] 吕秀梅, 范芳芳, 文检, 等. HPLC法同时测定3种红景天药材中5种化学成分的含量[J]. 中国药房, 2018, 29(18): 2515-2517.
- [4] 贺美艳, 张小龙. 唐古特红景天提取工艺研究[J]. 中国现代应用药学, 2012, 29(6): 495-497.
- [5] 张俊彪, 郭军霞. 红景天苷对人心肌细胞缺氧损伤的保护作用及可能机制[J]. 中国现代医学杂志, 2017, 27(8): 21-26.
- [6] 王小博, 侯娅, 王文祥, 等. 藏药红景天的药理作用及其机制研究进展[J]. 中国药房, 2019, 30(6): 851-856.
- [7] 尼玛次仁, 刘青, 多杰仁青, 等. 藏高原红景天研究进展及存在问题[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(9): 2675-2678.
- [8] 吴启勋, 冀兰, 库进良, 等. 抗缺氧藏药中微量及宏亮元素的测定[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(8): 1938-1941.
- [9] 雷富平, 张志军, 陈亮, 等. 红景天中微量元素及其营养保健作用[J]. 饮料工业, 2015, 18(3): 60-63.
- [10] 阮晓, 侯平, 王强, 等. 新疆6种红景天属植物中微量元素和氨基酸含量分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2001, 21(4): 542-547.
- [11] 李铭芳, 汪小强, 黄志, 等. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定五味子中的微量元素[J]. 分析试验室, 2008, 27(1): 4447-4448.
- [12] 杨李东, 高林, 周长兵, 等. 火焰原子吸收光谱法测定山药中微量元素的含量[J]. 化工技术与开发, 2019, 48(3): 42-44.
- [13] 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, 25(17): 2888-2890.
- [14] 张治军, 雷超海, 李沛, 等. 基于微波消解的 ICP-OES/ICP-MS法测定鸡内金中24种元素[J]. 药物分析杂志, 2018, 38(9): 1500-1502.
- [15] 钱正明, 周建桥, 李文庆, 等. ICP-MS法测定鲜冬虫夏草中5种重金属的含量[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(1): 66-68.
- [16] 姜涛, 施枝江, 陈林明, 等. ICP-MS法测定枸杞子5种金属元素的含量分析[J]. 亚太传统医药, 2018, 14(8): 41-43.
- [17] 李承范, 姚艳红, 张敬东. 微波消解-ICP-MS法测定野生及种植红景天中的微量元素含量[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14616-14617.
- [18] 林丽, 晋玲, 高素芳, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱仪测定藏药黑果枸杞中5种元素含量[J]. 药物分析杂志, 2008, 38(12): 2135-2140.
- [19] 刘柳, 刘喆, 杨一兵, 等. KED-ICP-MS法测定尿样中21种无机元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(2): 1262-1266.
- [20] 张平, 马潇, 张明童, 等. ICP-MS分析不同产地侧柏叶中18种重金属及微量元素[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(7): 75-76.

(收稿日期 2019年8月29日 编辑 范玉明)