

ICP-OES 法测定青海四裂红景天中 21 种矿物元素

陈保政^{1,2}, 栾真杰^{1,2}, 李佩佩^{1,2}, 万丽娜^{1,2}, 孙菁¹, 周玉碧¹, 卢学峰^{1*}¹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;²中国科学院大学,北京 100049

摘要:采用 ICP-OES 对青海省 3 个居群四裂红景天中 As、Be、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、Li、Mg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sr、Ti、Tl、V 和 Zn 等 21 种矿物元素进行分析。结果显示,3 个居群四裂红景天中矿物元素共检出 18 种,Cd、Se 和 Tl 3 种均未检出。除 Mo 和 Cu 外,其它 16 种矿物元素在 3 个居群中均有检出,平均含量排序为 Ca > Mg > Fe > Ti > Sr > Mn > Cr > Zn > Li > V > Pb > Be > Sb > As > Ni > Co,其中,Ca 含量最高,Co 含量最低。3 个居群四裂红景天矿物元素含量存在差异,Mn、Ti、Fe、V 这 4 种矿物元素的变异系数较大。

关键词:ICP-OES;四裂红景天;矿物元素;微量元素

中图分类号:O657.3

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2019) Suppl-0023-07

DOI:10.16333/j.1001-6880.2019.S.005

Determination of 21 mineral elements in *Rhodiola quadrifida* by ICP-OESCHEN Bao-zheng^{1,2}, LUAN Zhen-jie^{1,2}, LI Pei-pei^{1,2}, WANG Li-na^{1,2},
SUN Jing¹, ZHOU Yu-bi¹, LU Xue-feng^{1*}

¹Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resource, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: 21 mineral elements of *Rhodiola quadrifida* from three populations in Qinghai province were determined by ICP-OES, including Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V and Zn. The determined results showed that 18 mineral elements were detected in *R. quadrifida* from three populations, excepting Cd, Se and Tl. Among the detected 18 elements, 16 other mineral elements were detected in all three populations except Mo and Cu, and the average contents of 16 mineral elements were listed as follows: Ca > Mg > Fe > Ti > Sr > Mn > Cr > Zn > Li > V > Pb > Be > Sb > As > Ni > Co. Among which, Ca content was the highest, while Co content was the lowest. The content of different mineral element of *R. quadrifida* in three populations showed difference, of which Mn, Ti, Fe, V with larger variation coefficients.

Key words: ICP-OES; *Rhodiola quadrifida*; mineral element; trace element

我国红景天属植物资源种类丰富,共有 73 种 2 亚种 7 变种,集中分布于西南、西北、华中、华北及东北等地区^[1,2]。据《晶珠本草》记载,四裂红景天 *Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. et. Mey. 为藏药,以根茎入药,藏药名为“索洛玛保”,其味甘、苦、涩、性凉,具有养肺、清热、滋补元气等功效^[3,4]。现代研究发现,四裂红景天富含苯烷基类、黄酮类、萜类、多糖、有机酸和挥发油等多种化合物,具有耐缺氧、抗衰老、抗疲劳、抗辐射、抗过敏、调节血糖和抗肿瘤等

生物活性^[5,6]。

植物体矿物元素含量受生长环境影响,同种植物在不同生境,矿物元素含量也会有所不同。李成义^[7]等分析了甘肃不同产地红芪中微量元素的含量发现 32 个产地间红芪中 Fe、K、Zn、Ni、Na、Mg、Mn 和 Cr 等 8 种元素含量均具有显著性差异。杜友等^[8]测定了不同产地管花肉苁蓉的矿物元素,发现不同产地管花肉苁蓉中 K、P、Ca、Mg、Na、Fe、Mn、Zn、B 等 9 种矿物元素具有明显差异。严宝飞^[9]等对不同产地黄芩茎叶无机元素的研究发现,不同产地黄芩茎叶无机元素含量存在差异。

此外,矿物元素中常量元素和微量元素对植物体维持正常的生命活动和促进植物次生代谢产物的

收稿日期:2018-12-21 接受日期:2019-01-18

基金项目:青海省重点实验室发展建设专项(2017-ZJ-Y10);青藏高原高寒荒漠主要植被群落调查(2017FY100202)

*通信作者 Tel:86-018397108241;E-mail:LXF@nwipb.cas.cn

合成具有重大的意义,如果矿物元素缺失,或是含量不适均会对植物造成致命的影响。如李雪飞等^[10]发现微量元素可以调控相关酶的活性,影响花色苷的合成和积累。李琰等^[11]发现适量 Cu^{2+} 对雷公藤总生物碱及雷公藤甲素的合成有明显的促进作用。矿物元素也会影响人体健康与发育^[12,13],如缺铁可以导致缺铁性贫血;缺碘有可能导致地方性甲状腺肿大,并且适量摄取微量元素可预防癌症、心脏病、骨质疏松、龋齿等。

目前,围绕四裂红景天化学成分、药理作用和理化鉴别方面都展开了一些研究工作^[14,15],但对于矿物元素的研究还尚未见报道。因此,本研究拟利用 ICP-OES 法,对采自青海省 3 个居群四裂红景天中 21 种矿物元素进行系统分析,旨在为四裂红景天药用植物资源的资源开发提供更多的科学数据资料。

1 材料与仪器

1.1 材料

本试验材料分别采自青海省玉树州玉树市、果洛州玛多县扎陵湖和西宁市湟中县拉脊山等 3 个地

区,将样品根茎用超纯水洗净,将样品恒温烘干至恒重,粉碎机粉碎后过 80 目筛备用。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景天科红景天属植物四裂红景天 (*Rhodiola quadrifida* (Pall.) Fisch. et. Mey.)。试验采用的盐酸、高氯酸、硝酸和氢氟酸均为优级纯;100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 21 种元素混合标准储备液(国家环保总局标准样品研究中心)。

1.2 仪器

Optima 7000 DV 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Perkin Elmer 公司),Millipore-Q 超纯水机(法国密理博公司),Mars 6 微波消解仪(美国 CEM 公司),VB 20 型赶酸装置(美国 Lab Tech 公司)。

2 方法与结果

2.1 仪器工作条件

Optima 电感耦合等离子体原子发射光谱仪的测定功率为功率 1.3 kW,冷却气流量为 0.8 L/min,辅助气流量为 0.2 L/min,载气流量为 15 L/min。每个样品测定 3 次,根据灵敏度和干扰情况得各个元素最大检测波长,如表 1 所示。

表 1 元素检测波长

Table 1 Detection wavelength of tested elements

元素 Element	波长 Wavelength (nm)	元素 Element	波长 Wavelength (nm)	元素 Element	波长 Wavelength (nm)
Li	670.784	Co	228.616	Sb	206.836
Ca	317.933	As	193.696	Pb	220.353
Ti	334.940	Se	196.026	Cr	205.560
Be	313.107	Zn	206.200	Tl	190.801
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

2.2 供试品溶液制备

准确称量 0.400 0 g 样品于微波消解罐中,依次加入 2 mL HCl,6 mL HNO_3 和 2 mL HF 溶液,将消解罐密封后置于微波消解炉中,对样品进行消解。

采用三段消解模式对样品进行充分消解,消解条件见表 2。样品消解完成后,将消解罐放入赶酸装置进行加热除酸,待酸除尽,转移样品至 50 mL 量瓶中定容,即得供试品溶液。

表 2 微波消解条件

Table 2 The condition of microwave digestion

步骤 Procedure	功率 Power (W)	温度 Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	时间 Time(s)
1	1 600	120	2:00
2	1 600	160	3:00
3	1 600	180	15:00

2.3 方法的检出限

以连续测定 11 次空白值的标准偏差的 3 倍值为方法的检出限,测定结果见表 3 所示,检出限在

0.000 3 ~ 0.003 6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间,RSD 值在 0.1% ~

1.2% 之间,符合定量分析要求。

表 3 元素的检出限

Table 3 Detection limits of the analyzed element

元素 Element	检出限 Limit of detection ($\mu\text{g}/\text{mL}$,SD * 3)	元素 Element	检出限 Limit of detection ($\mu\text{g}/\text{mL}$,SD * 3)	元素 Element	检出限 Limit of detection ($\mu\text{g}/\text{mL}$,SD * 3)
As	0.003 0	Fe	0.001 2	Sb	0.003 6
Be	0.000 3	Li	0.003 6	Se	0.002 7
Ca	0.001 5	Mg	0.000 3	Sr	0.001 2
Cd	0.000 9	Mn	0.003 0	Ti	0.000 6
Co	0.000 3	Mo	0.000 6	Tl	0.002 4
Cr	0.000 6	Ni	0.000 9	V	0.001 2
Cu	0.001 5	Pb	0.002 7	Zn	0.001 2

2.4 线性关系考察

精密量取系列混合标准储备溶液于 100 mL 量瓶中,用 1% 硝酸稀释定容,制成 0.00,5.00,10.00,20.00 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的标准溶液备用。按照“2.1”项下实

验条件进行检测,以各矿物元素浓度值(x , $\mu\text{g}/\text{mL}$)为横坐标,吸收相对强度值为纵坐标(y)进行线性回归。结果见表 4,各元素的 $r \geq 0.999 0$,在 0.00 ~ 20.00 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 内线性关系较好。

表 4 21 种元素线性回归方程和相关系数

Table 4 The linear regression equations of correlation coefficients for twenty-one elements

元素 Element	线性方程 Linear equation	相关系数 r Correlation coefficient
As	$y = 12\ 210x - 155.5$	0.999 9
Be	$y = 19\ 680\ 000x - 433\ 966.2$	0.999 8
Ca	$y = 827\ 300x + 44\ 444.2$	0.999 0
Cd	$y = 499\ 800x + 3\ 058.4$	0.999 9
Co	$y = 305\ 000x - 317.3$	0.999 9
Cr	$y = 453\ 000x + 3\ 197$	0.999 9
Cu	$y = 1\ 406\ 000x - 11\ 909.7$	0.999 9
Fe	$y = 672\ 400x + 7\ 769.3$	0.999 9
Li	$y = 91\ 310\ 000x - 2\ 801\ 726.0$	0.999 7
Mg	$y = 1\ 309\ 000x - 14\ 987.0$	0.999 9
Mn	$y = 5\ 240\ 000x + 23\ 892.8$	0.999 9
Mo	$y = 55\ 010x - 117.6$	0.999 9
Ni	$y = 179\ 800x + 907.6$	0.999 9
Pb	$y = 25\ 660x - 16.8$	0.999 9
Sb	$y = 8\ 714x - 65.9$	0.999 5
Se	$y = 8\ 439x - 105.6$	0.999 7
Sr	$y = 90\ 060\ 000x + 105\ 829.7$	0.999 9
Ti	$y = 3\ 830\ 000x - 25\ 638.1$	0.999 9
Tl	$y = 5\ 618x + 1\ 033.2$	0.999 0
V	$y = 317\ 600x - 793.2$	0.999 9
Zn	$y = 74\ 320x + 187.5$	0.999 9

2.5 精密度和重复性试验

精密量取“2.2”项下的供试品溶液,按照“2.1”项下的测定方法进行测定,连续测定6次,结果21种矿物元素含量的RSD值介于0.5~2.65%之间,表明该方法具有良好的精密性。按“2.2”项下的方法制备样品溶液6份,再用“2.1”项下的测定方法进行检测。结果显示,各元素含量的RSD值介于0.5%~4.25%之间,表明该方法的重复性较好。

2.6 加标回收率试验

精密量取21种元素的标准溶液2.5 μg置于50 mL容量瓶中后,按“2.2”项制备供试品溶液,并用“2.1”项测定方法进行检测。21种矿物质元素加标回收结果如表5,加标回收率在90%~102%之间,RSD值介于0.5%~3.65%之间,该测定方法符合定量分析的要求。

表5 各元素的回收率试验结果

Table 5 Recovery results of the analyzed elements

元素 Element	样品浓度 Sample concentration (<i>n</i> = 3, μg/mL)	总浓度 Total concentration (<i>n</i> = 3, μg/mL)	加标量 Added amount (μg)	加标回收率 Recovery (%)
Mn	0.469	0.514	2.5	90%
As	0.012	0.057	2.5	90%
Be	0.021	0.067	2.5	92%
Sr	0.407	0.453	2.5	92%
Ti	1.696	1.743	2.5	94%
Cr	0.175	0.222	2.5	94%
Li	0.056	0.103	2.5	94%
Fe	15.16	15.208	2.5	96%
Mg	5.824	5.872	2.5	96%
Se	0	0.049	2.5	98%
Pb	0.042	0.091	2.5	98%
Sb	0.020	0.069	2.5	98%
Mo	0	0.049	2.5	98%
Ca	72.5	72.549	2.5	98%
Cu	0.007	0.056	2.5	98%
Zn	0.131	0.18	2.5	98%
Ni	0.016	0.065	2.5	98%
Tl	0	0.051	2.5	102%
V	0.048	0.099	2.5	102%
Cd	0	0.051	2.5	102%
Co	0.005	0.056	2.5	102%

2.7 样品的测定

取“2.2”项中的供试品溶液,按照“2.1”项中的

测定方法进行测定,根据上述标准曲线计算各元素的含量,测定结果如表6。

表6 各元素的检测结果(*n* = 3, μg/g)

Table 6 Tested results of the analyzed elements (*n* = 3, μg/g)

元素 Element	玉树 Yu-Shu (<i>n</i> = 3, μg/g)	玛多 Ma-Duo (<i>n</i> = 3, μg/g)	湟中 Huang-Zhong (<i>n</i> = 3, μg/g)	平均含量 Average content	变异系数 Coefficient of variation (CV)
As	1.964	2.556	1.444	1.988	0.28
Be	2.696	2.606	2.663	2.655	0.02

续表 6 (Continued Tab. 6)

元素 Element	玉树 Yu-Shu (n = 3, $\mu\text{g/g}$)	玛多 Ma-Duo (n = 3, $\mu\text{g/g}$)	湟中 Huang-Zhong (n = 3, $\mu\text{g/g}$)	平均含量 Average content	变异系数 Coefficient of variation (CV)
Ca	9932	6059	9063	8351	0.24
Cd	-*	-	-	-	-
Co	0.380	0.241	0.637	0.419	0.48
Cr	15.91	14.58	21.84	17.44	0.10
Cu	-	-	0.926	0.926	-
Fe	689.9	567.1	1896	1051	0.70
Li	5.398	4.935	7.056	5.796	0.19
Mg	1340	1276	728.0	1115	0.30
Mn	20.48	16.36	58.57	31.80	0.73
Mo	0.936	0.220	-	0.578	0.88
Ni	2.453	1.453	2.024	1.977	0.25
Pb	4.130	2.772	5.218	4.040	0.30
Sb	1.864	2.310	2.098	2.091	0.11
Se	-	-	-	-	-
Sr	35.25	67.04	50.82	51.04	0.31
Ti	77.79	60.86	212.1	116.9	0.71
Tl	-	-	-	-	-
V	2.981	2.532	5.954	4.243	0.57
Zn	13.33	12.45	16.34	14.04	0.15

注：“-”表示未检出。

Note:“-” indicates not detected.

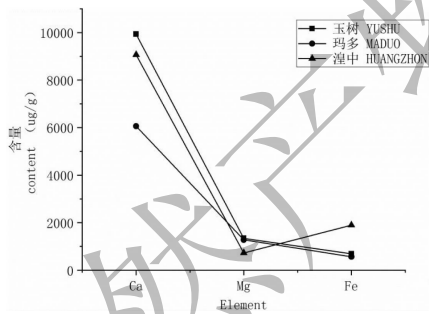


图 1 3 个居群常量元素含量

Fig. 1 The contents of major elements in three populations

由表 6 可知,在玉树、玛多、湟中地区 3 个居群四裂红景天中所检的 21 种矿物元素中,共检出 18 种,Cd,Se 和 Tl 3 种均未检出。在检出的 18 种矿物元素中,Mo 在湟中居群未检出,Cu 在玉树和玛多两个居群中也未检出,其它 16 种在 3 个居群中均有检出。

为便于比较四裂红景天中矿物元素的含量差异,将 16 种矿物元素划分为常量矿物元素和微量矿物元素(图 1 和图 2)。因微量矿物元素 Fe 与常量

元素 Ca 和 Mg 在一个数量级,故将 Fe 并入常量矿物元素统一分析,重金属元素 Pb 和 As 并入到微量矿物元素中。

如图 1 所示,常量矿物元素 Ca(6 059 ~ 9 932 $\mu\text{g/g}$)的含量较高,Mg(728.0 ~ 1 340 $\mu\text{g/g}$)较低。微量元素如图 2 所示,Fe(567.1 ~ 1 896 $\mu\text{g/g}$)的含量最高,Co(0.241 ~ 0.637 $\mu\text{g/g}$)的含量最低。Ti、Sr、Mn、Cr 和 Zn 这 5 种微量矿物元素含量在 12 ~ 212 $\mu\text{g/g}$ 之间,Li、V、Be、Sb 和 Ni 这 5 种元素在 1 ~ 7 $\mu\text{g/g}$ 之间,Cu 和 Mo 两种元素低于 1 $\mu\text{g/g}$ 。重金属 Pb 和 As 的含量分别为(4.130 ~ 5.218 $\mu\text{g/g}$)、(1.444 ~ 2.556 $\mu\text{g/g}$)。其中,湟中居群四裂红景天 Pb(5.218 $\mu\text{g/g}$)的含量高出药典标准(Pb \leq 5 $\mu\text{g/g}$)0.218 $\mu\text{g/g}$,玛多居群四裂红景天中 As(2.556 $\mu\text{g/g}$)的含量高出药典标准^[16](As \leq 2 $\mu\text{g/g}$)0.556 $\mu\text{g/g}$,其它检测值均符合药典标准。

整体来看,3 个居群四裂红景天中 21 种矿物元素含量顺序基本一致,均是 Ca、Mg、Fe 的含量较高,其它元素含量较低。各居群四裂红景天所检出矿物

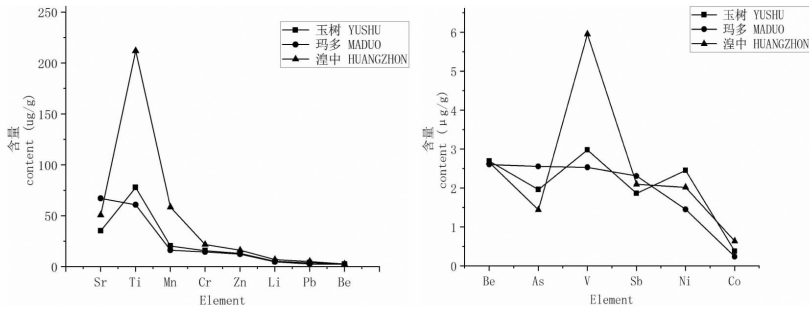


图2 3个居群微量矿物元素含量

Fig. 2 The contents of trace mineral elements in three populations

元素含量的排序分别为:玉树居群(Ca > Mg > Fe > Ti > Sr > Mn > Cr > Zn > Li > Pb > V > Be > Ni > As > Sb > Mo > Co),玛多居群(Ca > Mg > Fe > Sr > Ti > Mn > Cr > Zn > Li > Pb > Be > As > V > Sb > Ni > Co > Mo),湟中居群(Ca > Fe > Mg > Ti > Mn > Sr > Cr > Zn > Li > V > Pb > Be > Sb > Ni > As > Cu > Co)。3个居群中所检出18种矿物元素的含量排序为:Ca > Mg > Fe > Ti > Sr > Mn > Cr > Zn > Li > V > Pb > Be > Sb > As > Ni > Cu > Mo > Co,平均含量与3个居群均检出的16中矿物元素一样, Ca含量最高, Co含量最低。

从单个矿物元素来看,部分矿物元素含量存在差异。如在3个居群均检出的21种矿物元素中,湟中居群四裂红景天中Co、Cr、Fe、Li、Mn、Pb、Sr、Ti、V、Zn这10种含量均高于其它两个居群。且Mn、Ti、Fe、V这4种含量差异明显,湟中居群Mn(CV = 0.73)含量分别是玉树和玛多的2.9倍和3.6倍;Ti(CV = 0.71)含量分别是玉树和玛多的2.7倍和3.5倍;Fe(0.70)含量分别是玉树和玛多的2.7倍和3.3倍;V(CV = 0.57)含量分别是玉树和玛多的2倍和2.4倍。Pb含量是玛多的2.3倍。玉树和玛多这两个居群四裂红景天所检出的矿物元素中,玉树居群是玛多居群的4.2倍,其它矿物元素含量大致相近。

3 结论

本研究采用ICP-OES法对青海3个居群四裂红景天的21种矿物元素进行了检测,方法操作简易,具有较高的灵敏度和准确度。不同元素具有不同吸收线,研究选定矿物元素信噪比较高的谱线进行分析^[17]。在3个居群四裂红景天均检出的16种矿物元素中,常量矿物元素Ca和Mg及微量矿物元素Fe的含量偏高,这与魏永生等^[18]研究狭叶红景天矿质

元素的含量结果一致。通过文献发现,红景天属的矿物元素排序有相似之处,如李熙峰等^[19]研究大花红景天中的微量元素进行了研究,与本研究相同的8种微量矿物元素的含量排序为Mg > Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Co。除了Cr外,其他7种矿物元素含量排序与本研究基本一致。王建元等^[20]研究大花红景天中的矿物元素也发现Fe、Mn、Zn、Cu的排序含量与本研究结果一致。尽管各种矿物元素的含量排序一致,但不同植物的矿物元素含量在不同生长环境存在差异^[21]。本研究中3个居群四裂红景天的矿物元素含量测定也反应了这一现象,说明植物生长环境对植物体内元素含量可能有着不同程度的影响,四裂红景天中矿物元素与环境存在怎样的关系还有待进一步的研究。

本研究采用的ICP-OES测定方法准确可靠,可以用于四裂红景天中的矿物元素研究。3个居群四裂红景天的21种矿物元素除Cd、Se和Tl,出共检出18种。在这18种矿物元素中,除Mo和Cu,其它16种矿物元素在3个居群均有检出。其中,Ca含量最高,Co含量最低,平均含量排序为Ca > Mg > Fe > Ti > Sr > Mn > Cr > Zn > Li > V > Pb > Be > Sb > As > Ni > Co。3个居群矿物元素的含量存在差异,Mn、Ti、Fe、V这4种矿物元素显示出较大的变异系数。

参考文献

- Li T, He X, Wang YJ. Comparative study on morphological classification of rhodiola medicinal plants[J]. West China J Pharm Sci(华西药理学杂志), 2015, 30: 450-451.
- Li T, Wu L, Zhu XD, et al. Study on the germplasm resource distribution and floristic characteristics of rhodiola medicinal plants on the western sichuan province plateau region[J]. West China J Pharm Sci(华西药理学杂志), 2012, 27: 503-505.

- 3 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences. Tibetan Medicine (藏药志) [M]. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1991: 432-433.
- 4 Qinghai Provincial Institute of Drug Control. Chinese Tibetan Medicine: Vol III (中国藏药: 第 3 卷) [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1996: 372-373.
- 5 Chiang HM, Chen HC, Wu CS, et al. Rhodiola plants: chemistry and biological activity [J]. J Food Drug Anal, 2015, 23: 359-369.
- 6 Skopinska-Rozewowska E, Wojcik R, Siwicki AK, et al. The effect of *Rhodiola quadrifida* extracts on cellular immunity in mice and rats [J]. Pol J Vet Sci, 2008, 11: 105-111.
- 7 Li CY, Qiang ZZ, Wang MW, et al. Quantitative determination of trace elements in *Hedysari Radix* from different places in Gansu province [J]. Chin J Exp Tradit Med Form (中国实验方剂学杂志), 2016, 12: 54-59.
- 8 Du Y, Sheng JH, Cui XS, et al. Determination of the content of mineral elements in *Cistanche tubulosa* from different areas [J]. Spectrosc Spect Anal (光谱学与光谱分析), 2012, 32: 2824-2827.
- 9 Yan BF, Fu YX, Su SL, et al. Simultaneous determination of inorganic elements in stems and leaves of *Scutellaria bicalensis* from different regions by ICP-MS [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2018, 22: 5418-5425.
- 10 Li XF, Hu JJ, Wang QJ, et al. Effects of spraying microelement on anthocyanin and the relevant biosynthesis enzymes in *Prunus persica f. atropurpurea* leaves [J]. Sci Silva Sin (林业科学), 2010, 46(12): 75-79.
- 11 Li Y, Wen PF, Cui L, et al. Effects of trace elements on adventitious root growth and secondary metabolites content of *Tripterygium wilfordii* [J]. Sci Silva Sin (林业科学), 2014, 50: 134-138.
- 12 Tian ZP, He BP, Wang XY, et al. The efficacy of medicine of the Chinese herbal medicine with its a research for containing trace element relating to progress [J]. Stud Trace Elements Health (微量元素与健康研究), 2005, 22(4): 57-59.
- 13 Wiedenfeld H, Dumaa M, Malinowski M, et al. Phytochemical and analytical studies of extracts from *Rhodiola rosea* and *Rhodiola quadrifida* [J]. Pharmazie Die, 2007, 62: 308-311.
- 14 Xu J, Li Y. Effects of salidroside on exhaustive exercise-induced oxidative stress in rats [J]. Mole Med Rep, 2012, 6: 1195-1198.
- 15 Fan WX. Comparative study on trace elements in benefit traditional Chinese medicines [J]. Spectrosc Spect Anal (光谱学与光谱分析), 2007, 27: 1433-1435.
- 16 Chinese Pharmacopoeia Commission. 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: 31.
- 17 Zhang ZJ, Lei HC, Li Pei, et al. Determination of 24 elements in chicken gizzard membrane by ICP-OES/ICP-MS based on microwave digestion [J]. Chin J Pharm Anal (药物分析杂志), 2018, 38: 1500-1506.
- 18 Wei YS, Ning JG, Zheng MY, et al. Determination of mineral elements of *Rhodiola kirilowii* by the method of microwave digestion and ICP-OES [J]. App Chem Ind (应用化工), 2011, 40: 728-731.
- 19 Li XF, Zhang JD, Li CF, et al. Analysis of second speciation of trace elements in rhodiola saccharinensis [J]. Chin J Pharm Anal (药物分析杂志), 2011, 31: 1146-1149.
- 20 Wang JY. Studies on the extraction technology of available composition and trace elements of Rhodiola [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University (西南交通大学), 2013.
- 21 Liao W, Gao TH, Lin MS, et al. Correlation between heavy metal elements in curcuma herbs and their genuineness [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2018, 49: 2833-2839.