

中图分类号: R917; R927 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2024)20-0086-05
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2024.20.019



电感耦合等离子体质谱法测定重庆黔江区3种地产药材中5种元素及风险评估*

赵光铃, 王春林, 田霞, 代锐, 余为[△]

(重庆市黔江食品药品检验所, 重庆 409000)

摘要:目的 建立测定重庆黔江区地产药材青蒿、瓜蒌、黄精中铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、铜(Cu)含量的电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法,并评估其健康风险。方法 采用微波消解法处理样品,采用ICP-MS法测定,功率为1500 W,检测器电压为-12 V,模拟电压为-1787 V,脉冲电压为1300 V,载气为高纯氩气(Ar),流速为18 L/min,辅助气为Ar,流速为1.0 L/min,雾化气为Ar,流速为0.96 L/min,测试模式动能歧视模式,碰撞气为氦气。以超标率、单因子污染指数、内梅罗综合污染指数评估污染程度;以每日最大可耐受摄入量、目标危害系数和总目标危害系数评估健康风险。结果 Pb、As、Hg、Cd、Cu质量浓度分别在0~50 ng/mL、0~50 ng/mL、0~5 ng/mL、0~5 ng/mL、0~1000 ng/mL范围内与待测元素响应值/对应内标元素响应值的比值线性关系良好($r > 0.999$),检测限为0.00050~0.0070 mg/kg,定量限为0.0017~0.023 mg/kg;精密性、重复性试验结果的RSD均小于5.2%;3种药材的5种元素平均加样回收率为89.72%~108.22%,RSD为0.30%~3.91%($n=6$)。青蒿超标的元素有Cu(70.45%)和Cd(25.00%),总超标率为72.73%,单因子污染指数评价为轻度污染,内梅罗综合污染指数评价为警戒线;黄精超标元素为Cd(11.11%),两种评价结果分别为优良、安全;瓜蒌超标元素为Hg(3.85%),两种评价结果分别为优良、安全。3种药材中5种重金属/有害元素的每日最大可耐受摄入量均低于每日暂定可耐受摄入量,且目标危害系数和总目标危害系数均小于1。结论 3种药材均出现了类别/程度差异化的重金属/有害元素污染,应重视药材此类污染问题,并采取有效监测手段控制。

关键词:地区药材;重金属;有害元素;电感耦合等离子体质谱法;健康风险评估;重庆黔江

Determination of Five Elements in Three Native Chinese Medicinal Materials from Qianjiang District of Chongqing by ICP-MS and Risk Assessment

ZHAO Guangling, WANG Chunlin, TIAN Xia, DAI Rui, YU Wei

(Chongqing Qianjiang Institute for Food and Drug Control, Chongqing, China 409000)

Abstract: Objective To establish an inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) method for determining the contents of lead (Pb), arsenic (As), mercury (Hg), cadmium (Cd) and copper (Cu) in the native *Artemisiae Annuae Herba*, *Trichosanthis Fructus* and *Polygonati Rhizoma* from the Qianjiang District of Chongqing, and to evaluate their health risks. **Methods** The microwave digestion method was used for sample pretreatment. The ICP-MS was used for determination; the power was 1500 W, the detector voltage was -12 V, the simulated voltage was -1787 V, the pulse voltage was 1300 V, the carrier gas was high-purity argon (Ar) with a flow rate of 18 L/min, the auxiliary gas was Ar with a flow rate of 1.0 L/min, and the atomization gas was Ar with a flow rate of 0.96 L/min, the test mode was kinetic energy discrimination mode, and the collision gas was helium. The pollution degree was evaluated based on the over-standard rate, single-factor pollution index and Nemerow comprehensive pollution index. The health risks were evaluated based on the estimated daily intake (EDI), target hazard quotient

*基金项目:重庆市黔江区科技计划项目[黔科计2021068]。

第一作者:赵光铃,女,大学本科,工程师,研究方向为食品药品检测与质量分析,(电子信箱)458774875@qq.com。

[△]通信作者:余为,女,大学本科,工程师,研究方向为食品药品质量安全管理,(电子信箱)348210347@qq.com。

- https://www.cde.org.cn/zdyz/domesticinfo?page=zdyzIdCO
DE=d83644566caac36d48e1a151008e3e9d.
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(二部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:667.
- [11] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(四部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:133-137.
- [12] 吴哲,易红,李春,等. 流通池法在中成药质量评价中的优势分析——以丹参片为例[J]. 中国中药杂志, 2023,48(20):5548-5557.
- [13] 张海龙,严全鸿,朱海建,等. 多变量置信区间法和模型依赖法在溶出曲线相似性比较中的应用[J]. 药学进展, 2016,40(12):916-923.
- [14] 马莉,祝传勇,何小琳,等. 溶出曲线的常见评价方法及优劣性探讨[J]. 中国新药杂志,2021,30(22):2091-2097.
- [15] 周晓力,曾月林,尹利辉,等. 复方甘草片溶出度方法的建立和溶出曲线相似性评价[J]. 药物分析杂志,2023,43(2):280-288.

(收稿日期:2024-02-28;修回日期:2024-05-20)

(THQ) and total target hazard quotient (TTHQ). **Results** The linear ranges of Pb, As, Hg, Cd and Cu were 0 – 50 ng / mL, 0 – 50 ng / mL, 0 – 5 ng / mL, 0 – 5 ng / mL, 0 – 1 000 ng / mL ($r > 0.999$) respectively. The limit of detection (LOD) was in the range of 0.000 50 – 0.007 0 mg / kg, and the limit of quantification (LOQ) was in the range of 0.001 7 – 0.023 mg / kg. The RSDs of precision and repeatability tests were all lower than 5.2%. The average recovery rates of five elements in three Chinese medicinal materials were in the range of 89.72% – 108.22% with RSDs of 0.30% – 3.91% ($n = 6$). The over – standard elements in Artemisiae Annuae Herba included Cu (70.45%) and Cd (25.00%), with a total over – standard rate of 72.73%; the single – factor pollution index was evaluated as slight pollution, and the Nemerow comprehensive pollution index was evaluated as the warning line. The over – standard element in Polygonati Rhizoma was Cd (11.11%), and the above two indexes were evaluated as excellent and safe, respectively. The over – standard element in Trichosanthis Fructus was Hg (3.85%), and the above two indexes were evaluated as excellent and safe, respectively. The EDI of five heavy metals / harmful elements in three Chinese medicinal materials was lower than the provisional tolerable daily intake, the THQ and TTHQ were both lower than one. **Conclusion** There were varying degrees and categories of heavy metal / harmful element pollution in three Chinese medicinal materials. We should pay attention to this type of pollution in Chinese medicinal materials and adopt effective monitoring methods to control it.

Key words: native Chinese medicinal material; heavy metal; harmful element; inductively coupled plasma – mass spectrometry; health risk assessment; Qianjiang District of Chongqing

中药是中医药行业长期发展的物质保障,是关系国计民生的战略性资源^[1]。近年来,随着中药的使用频率越来越高,其中重金属 / 有害元素污染问题也成为关注焦点^[2]。中药在种植、加工、制剂、运输、保存等过程中,均可能受外源性有毒物质的影响,对消费者的使用安全造成威胁^[3]。重金属 / 有害元素是中药中外源性有害物质,其有着隐蔽性强、蓄积中毒等特性,是环境中常见的污染物,可同时与食品和环境同类污染形成叠加效果,严重影响行业的健康持续发展^[4]。故科学、合理分析药材中重金属 / 有害元素的含量,能推动药材种植行业的持续发展,有利于提高公众的用药安全。重庆市黔江区地处武陵山脉,该地形起源于云南高原山地,地质呈现明显的喀斯特地貌,亚热带季风气候^[5]。其独特的生态环境,适宜大部分药材的种植。本研究中主要收集该地区种植量较大的青蒿、瓜蒌、黄精(分别涉及草本类、果实类、根茎类),采用微波消解法对样品进行前处理,采用电感耦合等离子体质谱(ICP – MS)法同时测定铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、铜(Cu)5种元素,通过超标率^[6]、单因子污染指数、内梅罗综合污染指数^[7]进行污染程度评价,通过每日最大可耐受摄入量(EDI)^[8]、目标危害系数(THQ)和总目标危害系数(TTHQ)^[9]进行健康风险分析,旨在为该地区不同类型地产药材中有害元素污染情况提供数据支持,为其后期质量控制提供靶向性指引^[10]。现报道如下。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

101 – 2型电热鼓风恒温干燥箱(富利达试验仪器厂);MSA 224S型电子天平(赛多利斯科学仪器<北

京>有限公司,精度为0.1 mg);Flex ELGA型超纯水系统(法国Veolia集团);NexION 350X型电感耦合等离子体质谱仪(美国PerkinElmer公司);EHD – 40型赶酸器(北京东航科仪仪器有限公司);MARS 6型微波消解仪(美国PYNN公司)。

1.2 试剂

铑(Rh)、铋(Bi)、Pb、As、Hg、Cd、Cu标准溶液[国家有色金属及电子材料分析测试中心,批号分别为GSB 04 – 1746 – 2004(215013)、GSB 04 – 1719 – 2004(20B037 – 1)、GSB04 – 1742 – 2004(221008 – 3)、GSB 04 – 1714 – 2004(224020 – 1)、GSB 04 – 1729 – 2004(211002 – 3)、GSB 04 – 1721 – 2004(223063 – 5)、GSB 04 – 1725 – 2004(22B015 – 7),质量浓度均为1 000 $\mu\text{g} / \text{mL}$];铍(Be)、铈(Ce)、铁(Fe)、铟(In)、锂(Li)、镁(Mg)、铅(Pb)、铀(U)调谐液(美国PerkinElmer公司,批号为40 – 221GSX1);优级纯硝酸(重庆川东化工<集团>有限公司,批号20210301)。黄精(27批次,编号为YP1 – 27,为9月、10月采摘的根茎部分,3年生以上),青蒿(44批次,编号为YP28 – 71,为7月、8月采摘的地上部分,除去老茎,1年生),瓜蒌(26批次,编号为YP72 – 97,为10月、11月采摘的果实部分,1年生),均购自重庆市黔江区各乡镇或街道,经重庆市食品药品检验检测研究院蒋万浪主任药师鉴定为正品。

2 方法与结果

2.1 ICP – MS 工作条件

功率:1 500 W;检测器电压:12 V,模拟电压:1 787 V,脉冲电压:1 300 V;载气:高纯氩气(Ar),流速:18 L / min;辅助气:Ar,流速:1.0 L / min;雾化气:Ar,流速:

0.96 L/min。测试模式:动能歧视模式;碰撞气:氦气;数据采集模式:跳峰模式,重复3次。测定时选取的同位素为 ^{208}Pb , ^{111}Cd , ^{78}As , ^{202}Hg , ^{63}Cu 。其中, ^{208}Pb 、 ^{202}Hg 以 ^{209}Bi 作为内标;其余3种同位素以 ^{103}Rh 作为内标。

2.2 溶液制备

混合内标溶液:精密量取Rh、Bi标准溶液各1 mL,置同一100 mL容量瓶中,加2%硝酸溶液定容,摇匀,制成每1 mL含Rh、Bi各1 μg 的混合内标溶液。

混合标准溶液:分别精密量取Hg、Pb、As、Cd、Cu标准溶液各适量,加2%硝酸溶液定容,制成Hg质量浓度为0, 0.1, 0.5, 1, 3, 5 ng/mL, Pb、As、Cd为0, 1, 5, 10, 30, 50 ng/mL, Cu为0, 20, 100, 200, 600, 1 000 ng/mL的系列混合标准溶液。加入混合内标溶液适量,即得每1 mL含50 ng混合内标溶液的混合标准溶液。

供试品溶液:将样品洗净、晾干,置60 $^{\circ}\text{C}$ 鼓风干燥箱中烘干至恒重,粉碎、过筛。称样品约0.3 g,精密称定,置微波消解罐中,加硝酸8 mL,加盖密封,置微波消解仪中。消解功率为1 600 W,室温至120 $^{\circ}\text{C}$,升温7 min,保持5 min;120 $^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ 150 $^{\circ}\text{C}$,升温6 min,保持10 min;150 $^{\circ}\text{C}$ $\rightarrow$ 190 $^{\circ}\text{C}$,升温5 min,保持30 min。转移至50 mL容量瓶中,用2%硝酸溶液洗涤内罐3次,合并洗涤液于容量瓶中,精密加入混合内标溶液适量,加2%硝酸溶液定容,振摇,即得每1 mL含50 ng混合内标溶液的供试品溶液。

空白溶液:不加样品,按供试品溶液制备方法制备,即得。

2.3 方法学考察

线性关系考察:取2.2项下混合标准溶液,按2.1项下条件进样测定,记录响应值。以2%硝酸溶液为空白对照,以各待测元素的质量浓度(X , ng/mL)为横坐标、待测元素响应值/对应内标元素响应值的比值(Y)为纵坐标进行线性回归,得回归方程和线性范围。

检测限(LOD)和定量限(LOQ):取空白溶液适量,按2.1项下条件连续进样测定11次,以空白溶液响应值的3倍标准差所对应的质量浓度作为LOD,以空白溶液响应值的10倍标准差所对应的质量浓度作为LOQ^[11]。结果见表1。

表1 线性回归方程、检测限和定量限

Tab. 1 Linear regression equation, LOD and LOQ

元素	线性回归方程	r	线性范围(ng/mL)	检测限(mg/kg)	定量限(mg/kg)
^{208}Pb	$Y_1 = 0.017X_1$	0.999 872	0~50	0.001 0	0.003 3
^{111}Cd	$Y_2 = 0.002X_2$	0.999 963	0~50	0.000 50	0.001 7
^{78}As	$Y_3 = 0.001X_3$	0.999 958	0~50	0.007 0	0.023
^{202}Hg	$Y_4 = 0.001X_4$	0.999 907	0~5	0.001 5	0.005 0
^{63}Cu	$Y_5 = 0.006X_5$	0.999 979	0~1 000	0.001 0	0.003 3

精密度试验:取2.2项下混合标准溶液(Pb、As、Cd质量浓度为10 ng/mL, Cu为200 ng/mL, Hg为1 ng/mL)适量,按2.1项下色谱条件连续进样测定6次。结果RSD分别为1.18%, 1.62%, 1.35%, 0.93%, 2.70%,表明仪器精密度良好。

重复性试验:取药材样品(编号YP50)粉末0.3 g,共6份,按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下色谱条件进样测定。结果Pb、As、Cd、Cu、Hg含量的RSD分别为2.64%, 1.74%, 3.72%, 1.84%, 5.13%,表明方法重复性较好。

加样回收试验:取药材样品适量,各6份,按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下ICP-MS条件进样测定,并计算回收率。结果回收率为89.72%~108.22%, RSD为0.30%~3.91%。详见表2。

表2 加样回收试验结果($n=6$)

Tab. 2 Results of the recovery test ($n=6$)

药材	元素	平均回收率(%)	RSD(%)	药材	元素	平均回收率(%)	RSD(%)
黄精	Pb	108.22	1.95	瓜蒌	Hg	102.53	3.72
	Cd	89.72	1.04		Cu	101.95	0.30
	As	92.67	0.50		Pb	96.94	1.10
	Hg	90.07	3.38		Cd	96.09	1.09
	Cu	105.35	0.76		As	96.47	1.81
青蒿	Pb	105.59	0.84		Hg	99.10	3.91
	Cd	102.44	1.01		Cu	100.93	0.93
	As	100.41	0.37				

2.4 健康风险评估

2.4.1 污染程度评价

超标率:能客观反映样本中的重金属/有害元素污染状况,计算公式为超标率 = $(N/M) \times 100\%$,其中, N 为超标样品个数, M 为单类药材的样品总数。

单因子污染指数:是通过将实测数据与标准数据进行对比,来进行污染分类评价的方法。计算公式为 $P_i = C_i / S_i$,其中 P_i 为元素 i 环境质量指数, ≤ 0.7 为优良, $> 0.7 \sim 1$ 为安全, $> 1 \sim 2$ 为轻度污染, $> 2 \sim 3$ 为中度污染, > 3 为重度污染; C_i 为元素 i 实测质量分数(mg/kg); S_i 为元素 i 质量分数评价标准(mg/kg)。

内梅罗综合污染指数:以单因子污染指数评价为前提,同时兼顾使用极值环境质量分数^[12]。计算公式为 $P_{\text{综合}} = \sqrt{(P_{\text{max}}^2 + P_{\text{ave}}^2)/2}$,其中, $P_{\text{综合}}$ 为内梅罗综合污染指数, ≤ 0.7 为安全, $> 0.7 \sim 1.0$ 为警戒线, $> 1.0 \sim 2.0$ 为轻度污染, $> 2.0 \sim 3.0$ 为中度污染, > 3.0 为重度污染; P_{max} 为各单因子污染指数最高值; P_{ave} 为所有单因子污染指数平均值。

2.4.2 健康风险分析

EDI:应用EDI计算单日重金属/有害元素摄入大量,并完成药材中的重金属/有害元素对人体的风险评估^[13]。计算公式为 $EDI = (C \times IRD) / (BM \times 1\,000)$ 。其中,C为药材的重金属/有害元素质量分数(mg/kg);IRD为单日摄入药材量(g/d),根据2020年版《中国药典(一部)》相关要求,药材的单日摄入量标准为黄精15 g^{[14]319-320},青蒿12 g^{[14]207},瓜蒌15 g^{[14]116-117};BM为人的平均体质量(kg),此处选择国际通用标准60 kg^[15]。EDI与暂定每日可耐受摄入量(PTDI)对比即可得出药材可能导致的健康风险水平。参照文献^[16-17]设定Pb, Cd, As, Hg, Cu的PTDI分别为0.003 570, 0.000 830, 0.002 140, 0.000 570, 0.500 00 mg/(kg·d),若EDI < PTDI,代表人体负荷重金属/有害元素并未对身体产生显著影响。

THQ和TTHQ:参考2000年美国环保局提出的方法分析药材中重金属/有害元素对人体的健康危害^[16]。THQ计算公式为 $THQ = (C \times EF \times ED \times IRD) / (BW \times AT \times RFD)$ 。其中,THQ设定为单一的有重金属/有害元素危害系数;C为药材中重金属/有害元素含量(mg/kg,采用此次测得的平均值);EF为每年暴露于毒物的天数(设为30 d)^[13];ED为暴露于毒物的年数(设为30年)^[13];AT是指平均接触药材的时间,以人平均寿命70年为标准,按照每年365 d计算总天数^[13];BW和IRD均同上;RFD指参考剂量,根据美国环保局设置的日参考剂量,Cu, As, Cd, Hg分别为0.04, 0.000 3, 0.001, 0.000 3 μg/g,结合欧洲食品安全局设置的日参考剂量,Pb为0.001 5 μg/g^[18]。THQ ≤ 1为健康风险可接受,THQ > 1为存在潜在的健康风险。TTHQ是指各元素的危害系数之和,计算公式为 $TTHQ = \sum THQ$ 。TTHQ ≤ 1为健康风险可接受,TTHQ > 1为存在健康风险^[19]。

2.5 样品含量测定及分析

重金属/有害元素残留量:取3种药材共97批次,按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下条件进样测定,计算各元素的含量。结果Cd超标的样品有黄精和青蒿,其超标率分别为11.11%,25.00%;Cu超标的样品为青蒿,超标率达70.45%,超标最大值为29.789 mg/kg;Hg超标的样品为瓜蒌,超标率为3.85%。青蒿中Cu超标较普遍,其次为Cd。重金属超标药材共36批次(37.11%),按总超标率大小排序为青蒿>黄精>瓜蒌。详见表3[其中限量标准参考2020版《中国药典(四部)》指导原则9302“中药有害残留物限量制定指导原则”关

表3 97批样品5种重金属/有害元素含量测定结果

Tab. 3 Results of the content determination of five heavy metals / harmful elements in 97 batches of samples

药材	批次	元素	限量标准	实测值(mg/kg)		单项元素超标		总超标	
			(mg/kg)	平均值	最大值	批次	超标率(%)	批次	超标率(%)
黄精	27	Pb	5	0.635	4.805	0	0	3	11.11
		Cd	1	0.392	2.775	3	11.11		
		As	2	0.0743	0.414	0	0		
		Hg	0.2	0.004	0.015	0	0		
		Cu	20	4.309	9.397	0	0		
青蒿	44	Pb	5	0.905	2.020	0	0	32	72.73
		Cd	1	0.835	1.392	11	25.00		
		As	2	0.144	0.433	0	0		
		Hg	0.2	0.022	0.050	0	0		
		Cu	20	21.786	29.789	31	70.45		
瓜蒌	26	Pb	5	0.094	0.506	0	0	1	3.85
		Cd	1	0.013	0.020	0	0		
		As	2	0.000	0.000	0	0		
		Hg	0.2	0.021	0.387	1	3.85		
		Cu	20	8.519	11.104	0	0		

表4 3种药材重金属/有害元素污染指数及评价

Tab. 4 Pollution indexes and evaluation of heavy metals / harmful elements in three Chinese medicinal materials

药材	单因子污染指数					评价	内梅罗综合污染指数	评价
	Pb	Cd	As	Hg	Cu			
黄精	0.127	0.392	0.037	0.023	0.215	优良	0.299	安全
青蒿	0.181	0.835	0.072	0.112	1.095	轻度污染	0.894	警戒线
瓜蒌	0.019	0.013	0.000	0.104	0.426	优良	0.311	安全

于植物类药材重金属及有害元素一致性限量指导值^[20]。

污染指数:结果见表4。

健康风险评估:3种药材各元素的EDI < PTDI,THQ和TTHQ远小于1,故3种药材服用后,其有害元素残留量对人体无明显的健康风险危害。详见表5。

3 讨论

本研究结果显示,重庆市黔江区地产3种药材均存在重金属/有害元素污染,除青蒿外,黄精、瓜蒌风险基本可控。黄精和青蒿均检测出Cd超标样品,可能是土壤中该元素含量较高,且富集性强,在药材种植期间易被吸收。Cd超标在药材中较常见^[21],可优先考虑对土壤中Cd污染加以治理,再严格监控药材中Cd的含量。青蒿中的Cu超标率高达70.45%,可考虑限值是否太低,基于世界卫生组织认为Cu非致癌、高暴露同时未形成积累性危害毒副效果,左甜甜等^[22]建议提高根和根茎类药材Cu的限量标准;且可进一步考察是否由于青蒿对Cu富集能力太强导致检测值超标,不同植物富集能

表 5 3 种药材重金属 / 有害元素的 EDI、THQ 及 TTHQ
Tab. 5 EDI, THQ and TTHQ of heavy metals / harmful elements in three Chinese medicinal materials

药材	EDI[mg / (kg·d)]					THQ					TTHQ
	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Cu	
黄精	0.000 159	0.000 098 1	0.000 018 6	0.000 001 13	0.001 08	0.003 73	0.000 345	0.002 18	0.000 133	0.000 949	0.010 3
青蒿	0.000 181	0.000 167	0.000 028 8	0.000 004 50	0.004 36	0.004 25	0.005 88	0.003 38	0.000 528	0.003 84	0.017 8
瓜蒌	0.000 023 4	0.000 003 34	0	0.000 005 20	0.002 13	0.000 550	0.000 118	0	0.006 11	0.001 88	0.003 2

力不同,土壤 pH 和有机质含量是影响土壤中 Cd,Cr,Pb,Cu 生物可给性的主要因素^[23]。

不足之处:1)药材与食品的使用方式不同,其需根据药方配药,经过煎煮等方式提取,本研究中未参考煎煮后重金属 / 有害元素的转移率来分析数据,可能导致结果的偏差。2)未做进一步的形态分析。2020 年版《中国药典(四部)》中不仅规定了对重金属 / 有害元素的检测,同时也对 As 及 Hg 的不同价态作了相应规定。元素形态不同,其危害及毒性存在差异,比如无机砷毒性较大,多数有机砷则无毒或低毒;Hg 在自然界中存在金属汞、无机汞和有机汞 3 大类,毒性比较,有机汞 > 无机汞 > 金属汞^[23]。植物性中主要以无机汞为主,此次瓜蒌检出 Hg 超标,并以总汞进行安全评价,存在一定的不确定性,需对 Hg 的污染情况作进一步研究分析。故后续对药材重金属 / 有害元素的健康风险评价,建议考虑药材煎煮等提取方式的转移率和增加特定有害元素的形态分析,科学制订限量标准。

综上所述,本研究中建立了测定重庆市黔江区地产药材青蒿、瓜蒌、黄精中 5 种元素的 ICP-MS 法,并对其健康风险评估。其可为本地区制订药材重金属 / 有害元素标准限值提供数据支撑。

参考文献

[1] 潘 锋. 加强中药资源利用,促进中药材产业发展[J]. 中国医药导报,2023,20(9):1-3.

[2] 徐宜宏,张 敏,付海滨,等. ICP-MS 法检测中药材中 7 种重金属元素含量[J]. 福建分析测试,2021,30(1):7-10.

[3] 任晓航,杜 锐,张 旭,等. 中药外源性污染物检测技术的现代研究[J]. 中草药,2019,50(10):2480-2490.

[4] 左甜甜,王 莹,张 磊,等. 中药中外源性有害残留物安全风险评估技术指导原则[J]. 药物分析杂志,2019,39(10):1902-1907.

[5] 钟 颖,张永东,瞿显友,等. 武陵山区中草药资源研究[J]. 中医药导报,2006,12(2):64-65.

[6] 范家文,黄江深,陈可先,等. 广西常见 10 种壮药的重金属含量分析与评价[J]. 微量元素与健康研究,2022,39(4):34-35.

[7] 卿 艳,赵春艳,张思荻,等. 鱼腥草药材及饮片中重金属及有害元素的污染评价[J]. 华西药理学杂志,2020,35(6):677-682.

[8] 闫卉欣,孔丹丹,李歆悦,等. 动物药僵蚕中重金属及有害元素的污染水平及其健康风险评估[J]. 中国中药杂志,

2019,44(23):5051-5057.

[9] 程志飞,刘品祯,吴 迪. 部分市售药材重金属污染状况及健康风险评估[J]. 山东化工,2021,50(13):263-265.

[10] 周 利,杨 健,詹志来,等. 不同产地黄连中重金属的含量测定及不同用药方式下黄连重金属的风险评估[J]. 药理学学报,2018,53(3):432-438.

[11] 李 姮,王玺宁,杨颖. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定桑白皮药材中 7 种元素含量[J]. 中国药业,2023,32(14):92-95.

[12] 金正强,尚丙鹏,张公信,等. 天麻滇黄精和玛咖 3 种云南药材及种植土壤重金属安全评价[J]. 中国现代中药,2022,24(8):1525-1530.

[13] 闫 研,秦 斌,梁 雪,等. 17 种中药材中重金属污染分析与健康风险评估[J]. 药学研究,2023,42(11):902-908.

[14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020.

[15] 李歆悦,孔丹丹,王 蓉,等. 小柴胡复方制剂中重金属残留污染分析及其健康风险评估[J]. 中国中药杂志,2019,44(23):5058-5064.

[16] 姚姣姣,孔丹丹,骆骄阳,等. 膜荚黄芪中重金属污染分析及其健康风险评估[J]. 中国中药杂志,2019,44(14):3094-3099.

[17] SAWUT R, KASIM N, MAIHEMUTI B, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in the vegetable bases of northwest China[J]. Sci Total Environ, 2018,642:864-878.

[18] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on lead in food[J]. EFSA Journal,2010,8(4):1570.

[19] 黄先亮,赵 博,吴彦蕾,等. 广西八角中铅、镉、铬含量分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(1):128-133.

[20] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(四部)[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:520-522.

[21] 王 焱,秦佳琪,周同宁,等. 银川市兴庆区 24 种中药材中重金属残留检测分析及健康风险评估[J]. 职业与健康,2023,39(1):33-38.

[22] 左甜甜,张 磊,石上梅,等. 10 种根和根茎类中药材中重金属及有害元素的风险评估及最大限量理论值[J]. 药物分析杂志,2020,40(10):1870-1876.

[23] 周德来,马春旭,姚晓玲,等. 植物类中药中重金属及有害元素来源及危害的研究进展[J]. 华西药理学杂志,2023,38(5):593-598.

(收稿日期:2024-02-05;修回日期:2024-06-17)