

黄芪建中汤单煎液与合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量差异^Δ

晋 臻*,夏 婷,谭晓梅[#](南方医科大学中医药学院/广东省中药制剂重点实验室/广东省中药制剂技术工程实验室,广州 510515)

中图分类号 R283;R284.1 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2019)05-0661-04
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2019.05.17

摘 要 目的:研究黄芪建中汤(由黄芪、桂枝、白芍、炙甘草、生姜、大枣6味中药材组成)单味药材水煎液(简称“单煎液”)与各药材合煎液(简称“合煎液”)中铜、铅、镉、汞、砷的含量差异,为中药的临床安全应用提供参考。方法:取黄芪建中汤各药材制备药材样品、单煎液样品及合煎液样品;采用原子吸收分光光度法测定各样品中铜、铅、镉、汞及砷的含量;并将测定结果与2015版《中国药典》和《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》中铜(<20 mg/kg)、铅(<5 mg/kg)、镉(<0.3 mg/kg)、汞(<0.2 mg/kg)及砷(<2 mg/kg)的含量限度进行比较,同时比较单煎液与合煎液中5种元素的含量差异。结果:6味药材中,桂枝和生姜的镉含量超标,分别为0.32、0.74 mg/kg(铜、铅、汞、砷均符合要求),其余药材中5种元素的含量均符合要求;6味药材单煎液及合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量均符合要求;与各味药材比较,单煎液中铜、铅、镉、汞及砷含量更低($P<0.01$);与各药材单煎混合液比较,合煎液中铜、汞的含量更低($P<0.01$),铅、镉、砷的含量更高($P<0.01$)。结论:黄芪建中汤各药材合煎会减少铜、汞的溶出,增加铅、镉、砷的溶出;推测合煎过程中各药材之间的相互作用改变了铜、铅、镉、汞及砷的溶出。
关键词 重金属;黄芪建中汤;单煎;合煎;原子吸收分光光度法

Difference of Copper, Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic in the Single Decoction and Combined Decoction of Huangqi Jianzhong Decoction
JIN Zhen, XIA Ting, TAN Xiaomei (School of TCM, Southern Medical University/Guangdong Provincial Key Lab of TCM Preparation/Guangdong Provincial Engineering Laboratory of TCM Preparation Technology, Guangzhou 510515, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To study the difference of the contents of copper, lead, cadmium, mercury and arsenic in the single decoction and combined decoction of Huangqi jianzhong decoction (containing *Astragali radix*, *Cinnamomi ramulus*, *Paeoniae radix alba*, prepared *Glycyrrhiza uralensis*, *Zingiberis rhizoma recens*, *Jujubae fructus*), and to provide reference for safe use of TCM in clinic. METHODS: Samples of medicinal materials, single decoction and combined decoction were prepared from different medicinal materials; the contents of copper, lead, cadmium, mercury and arsenic in various samples were determined by atomic absorption spectrophotometry, which were compared with the limits of copper (<20 mg/kg), lead (<5 mg/kg), cadmium (<0.3 mg/kg), mercury (<0.2 mg/kg) and arsenic (<2 mg/kg) content stated in 2015 edition of *Chinese Pharmacopeia* and *Green Trade Standards of Importing Exporting Medicinal Plants Preparations*. The difference of 5 elements contents were compared between single decoction and combined decoction. RESULTS: Among the 6 medicinal materials, the cadmium content of *Cinnamomi ramulus* and *Zingiberis rhizoma recens* exceeded the standard, 0.32, 0.74 mg/kg, respectively (copper, lead, mercury and arsenic all met the requirements), and the 5 elements content of other medicinal materials all met the requirements; the contents of copper, lead, cadmium, mercury and arsenic in the single and combined decoction meet the requirements; compared with the medicinal materials, the contents of copper, lead, cadmium, mercury and arsenic in the single decoction were lower ($P<0.01$); compared with mixture of single decoction, the contents of copper and mercury in combined decoction were lower ($P<0.01$), while the contents of lead, cadmium and arsenic in the decoction were higher ($P<0.01$). CONCLUSIONS: For Huangqi jianzhong decoction, combined decoction can reduce the dissolution of copper and mercury, and increase the dissolution of lead, cadmium and arsenic. The possible reason is that the interaction of various components in the co-decoction process changes the solubility of copper, lead, cadmium, mercury and arsenic.
KEYWORDS Heavy metal; Huangqi jianzhong decoction; Single decoction; Combined decoction; Atomic absorption spectrophotometry

^Δ 基金项目:广东省自然科学基金资助项目(No.2017A030313679);
南方医科大学科技开发培育计划项目(No.KJ20160502)
* 硕士研究生。研究方向:中药新制剂。电话:020-61648265。
E-mail:JINZLUCKY@163.com
[#] 通信作者:研究员,博士。研究方向:中药新制剂及中药复方配伍规律。电话:020-61648265。E-mail:txm@smu.edu.cn

中药因毒副作用小、疗效好,越来越被国际社会所关注,但由于在栽培、加工和贮存等过程中可能受到有毒、有害物质的污染,其安全性受到质疑^[1]。重金属会在人体内蓄积,对人体的新陈代谢具有明显的伤害作用,当体内重金属含量超标时会引发心脑血管、消化系统和神经系统等疾病^[2]。砷是一种有毒元素,三价砷可造成

糖代谢紊乱、中毒性神经衰弱症候群等问题;五价砷可造成脊髓炎、再生不良性贫血等后遗症^[3]。因此,加强中药产品的重金属及有害元素的监测意义重大。目前,关于中药及其制剂中重金属及有害元素的研究大多为测定技术及污染情况等^[4-5],另外,对于中药在水煎煮过程中重金属及有害元素的转移情况也多集中于单味药材水煎液^[6-8],而在多味药材合煎液中的转移情况研究较少。

目前,2015年版《中国药典》^[9]中规定检查重金属及有害元素的药材有山楂、甘草、白芍、西洋参、金银花、枸杞、黄芪和丹参等,其对铜、铅、镉、汞及砷5种元素的含量限度要求分别为铜<20 mg/kg,铅<5 mg/kg,镉<0.3 mg/kg,汞<0.2 mg/kg,砷<2 mg/kg;此外,国家中医药管理局自2001年7月1日开始实施的《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》^[10]对药用植物原料、饮片、提取物及其制剂等的重金属限量也进行了规定,其对铜、铅、镉、汞及砷5种元素的含量限度要求与2015年版《中国药典》相同。经方黄芪建中汤源于《金匱要略》,由炙甘草、黄芪、桂枝、白芍、生姜、大枣和饴糖组成,主治慢性胃炎^[11]。因此,本研究以黄芪建中汤为模型方,采用原子吸收分光光度法测定该方中各药材单煎液与合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量差异,为中药的临床安全应用提供参考。

1 材料

1.1 仪器

PinAAcle 900T 原子吸收光谱仪(美国 PerkinElmer 公司);WHG-630B 氢化物发生器(北京瀚时仪器有限公司);DMA-80 直接测汞仪(北京莱伯泰科仪器股份有限公司);PURELAB 纯水机(英国威立雅水处理技术有限公司);CP324S 电子天平(德国 Sartorius 公司);DB-1 不锈钢电热板(常州澳华仪器有限公司)。

1.2 药品、药材与试剂

白芍(广东省药材公司中药饮片厂,批号:B4116613)、黄芪(安国市一方中药材有限公司,批号:201706001)、炙甘草(康美药业股份有限公司,批号:150304481)、桂枝(广州至信药业有限公司,批号:140701)、生姜(产地:四川)和大枣(产地:河南)购自广州保健堂大药房,以上药材均经南方医科大学中医药学院中药鉴定教研室刘传明教授鉴定为真品;盐酸(广州化学试剂厂,批号:20180302);硝酸镁(天津市福晨化学试剂厂,批号:20170620);碘化钾(成都艾科达化学试剂有限公司,批号:201805201);铜标准溶液(批号:04-1725-2004,规格:1 000 μg/mL)、铅标准溶液(批号:04-1742-2004,规格:1 000 μg/mL)、镉标准溶液(批号:04-1721-2004,规格:1 000 μg/mL)、汞标准溶液(批号:04-1729-2004,规格:1 000 μg/mL)、砷标准溶液(批号:04-1714-2004,规格:1 000 μg/mL)均购自国家有色金属及电子材料分析测试中心;硝酸(批号:C10146035)、高氯酸(批号:C10119021)均购自上海麦克林生化科技有

限公司;氢氧化钠(批号:20180510)、L(+)-抗坏血酸(批号:20180411)、磷酸二氢铵(批号:20180201)均购自天津市科密欧化学试剂有限公司;硼氢化钠(天津市福晨化学试剂厂,批号:20170607);水为超纯水。

2 方法与结果

2.1 仪器工作条件

2.1.1 原子吸收火焰法测定铜、砷含量的工作条件 参照2015年版《中国药典》(四部)通则2321原子吸收分光光度法^[9],采用原子吸收火焰法测定铜、砷的含量,详细仪器工作条件见表1。

表1 原子吸收火焰法测定铜、砷含量的工作条件
Tab 1 Conditions of atomic absorption spectrophotometer-flame method for content determination of copper and arsenic

元素	波长,nm	狭缝,nm	灯电流,mA	空气流速,L/min	乙炔流速,L/min
铜	324.75	0.7	15	10	2.5
砷	193.70	0.7	380	10	3.3

2.1.2 原子吸收石墨炉法测定铅、镉含量的工作条件 参照2015年版《中国药典》(四部)通则2321原子吸收分光光度法^[9],采用原子吸收石墨炉法测定铅、镉含量,详细仪器工作条件见表2。

表2 原子吸收石墨炉法测定铅、镉含量的工作条件
Tab 2 Conditions of atomic absorption spectrophotometer-graphite furnace method for content determination of lead and cadmium

元素	波长,nm	狭缝,nm	灯电流,mA	干燥条件	灰化条件	原子化条件	清除条件	氩气流速,mL/min
铅	283.31	0.7	10	110℃/30 s	850℃/20 s	1 800℃/5 s	2 550℃/3 s	1.22
镉	228.80	0.7	4	110℃/30 s	500℃/20 s	1 500℃/5 s	2 550℃/3 s	1.22

2.1.3 原子吸收测汞仪测定汞含量的工作条件 精密称取0.1 g药材粗粉或精密量取100 μL水煎液至金属镍舟中测定,其详细仪器工作条件:干燥条件为200℃/60 s,催化条件为650℃/60 s,分解条件为650℃/120 s,歧化条件为900℃/12 s,信号采集时间为30 s,清洗时间为60 s。

2.2 溶液的制备

2.2.1 单一元素标准溶液 分别精密量取铜、铅、镉、汞及砷标准溶液适量,加2%硝酸溶液制成每1 mL含铜(或者铅、镉、汞及砷)1 000 ng的单一元素标准贮备液;再精密量取各标准贮备液适量,加2%硝酸溶液分别制成铜质量浓度为0.05、0.2、0.4、0.6、0.8 μg/mL,铅质量浓度为20、40、60、80、100 ng/mL,镉质量浓度为0.8、2、4、6、8、10 ng/mL,汞质量浓度为1、5、10、20、100 ng/mL,砷质量浓度为2、4、6、8、10、12 ng/mL的单一元素标准溶液。

2.2.2 单味药材样品溶液 分别取黄芪、白芍、炙甘草、桂枝、生姜和大枣粗粉约1 g,精密称定,置于凯氏烧瓶中,加硝酸-高氯酸溶液(4:1,V/V,下同)10 mL,混匀,瓶口加一小漏斗,浸泡过夜。置电热板上加热消解,保持微沸,持续加热至溶液澄明后升高温度,继续加热直至

消解液无色透明停止加热,放冷,转入50 mL量瓶中,用2%硝酸溶液洗涤容器,洗涤液合并于量瓶中,稀释至刻度,摇匀,即得。

2.2.3 单煎液样品溶液 参考《医疗机构中药煎药室管理规范》^[10]中汤剂煎煮的方法制备单煎液。取方中各药材20 g,精密称定,加9倍药材量超纯水,其中白芍、黄芪、甘草和大枣浸泡30 min后煎煮40 min后用双层纱布过滤;桂枝和生姜不浸泡,直接煎煮20 min后用双层纱布过滤,得滤液;再加7倍药材量超纯水,煎煮30 min后再用双层纱布过滤,合并两次滤液,即得到各药材单煎液;将各单煎液水浴加热浓缩后,用超纯水定容至100 mL;精密量取15 mL于凯氏烧瓶中,浓缩至1~2 mL后加硝酸-高氯酸溶液10 mL,混匀,过夜;再消解并保持微沸,直至消解液无色透明后停止加热,放冷,转入50 mL量瓶中,用2%硝酸溶液洗涤容器,洗涤液合并于量瓶中,并稀释至刻度,摇匀,即得单煎液样品溶液。

2.2.4 合煎液样品溶液 取桂枝4.5 g、炙甘草3 g、大枣9 g、白芍9 g、生姜4.5 g和黄芪2.5 g,9倍药材量超纯水浸泡30 min,炙甘草、白芍、黄芪和大枣煎煮20 min后,加入桂枝和生姜再煎煮20 min,双层纱布过滤,得滤液;再加7倍药材量超纯水,煎煮30 min,双层纱布过滤,合并两次滤液,即得合煎液。将合煎液水浴加热浓缩后,用超纯水定容至100 mL;然后按“2.2.3”项下“精密量取15 mL于凯氏烧瓶……摇匀”即得合煎液样品溶液。

2.2.5 空白样品溶液 不加各味药材,其余同“2.2.2”项下方法,制备缺药材的空白样品溶液。

2.3 方法学考察

2.3.1 线性关系及检测限考察 取“2.2.1”项下各元素标准溶液,按“2.1”项下各仪器条件进样测定,以待测元素质量浓度为横坐标(x),吸光度为纵坐标(y)绘制得各元素标准曲线,然后取各元素标准溶液连续进样6次,计算各响应值的标准偏差(SD),并以3倍SD所对应各待测元素的质量浓度作为检测限^[12]。结果,5种元素的回归方程、线性范围及检测限结果见表3。

表3 5种元素的线性关系及检测限

Tab 3 Linear relations and limit of detections of 5 elements

元素	回归方程	r	线性范围	检测限
铜	$y=0.021\ 64x$	0.999 1	0.05~0.8 μg/mL	0.013 μg/mL
铅	$y=0.001\ 11x$	0.996 5	20~100 ng/mL	0.459 ng/mL
镉	$y=0.028\ 51x$	0.997 5	0.8~10 ng/mL	0.058 ng/mL
砷	$y=0.008\ 39x$	0.997 7	2.0~12 ng/mL	0.169 ng/mL
汞	$y=0.001\ 16x$	0.999 1	1.0~100 ng/mL	0.1 ng/mL

2.3.2 精密度试验 取“2.2.1”项下各元素标准溶液,按“2.1”项下各仪器条件重复进样6次,记录各元素吸光度。结果,铜、铅、镉、砷和汞元素吸光度的RSD分别为0.85%、1.07%、0.77%、0.50%、0.98%(n=6),表明仪器精密度良好。

2.3.3 重复性试验 取“2.2.2”项下白芍药材样品溶液6

份,按“2.1”项下各仪器条件进样测定,计算各元素含量及其吸光度RSD。结果,白芍药材所含铜、铅、镉、汞及砷5种元素的含量分别为7.88、0.59、0.19、0.19、0.02 mg/kg,吸光度RSD分别为5.2%、6.8%、1.2%、6.0%、6.7%(n=6),表明该方法重复性良好。

2.3.4 加样回收率试验 精密称取已知各元素含量的白芍药材粗粉0.5 g,平行6份,分别精密加入与其各元素等量的标准溶液,按“2.2.2”项下方法制备样品溶液,再按“2.1”项下各仪器条件进样测定,计算白芍药材中各元素的平均回收率。结果,白芍药材中铜、铅、镉、汞及砷5种元素的平均回收率分别为105.0%、101.4%、95.7%、87.3%、85.9%,RSD分别为4.3%、4.5%、5.1%、4.8%、6.5%(n=6)。表明该方法的准确度良好。

2.4 样品中铜、铅、镉、汞、砷的含量测定及其转移率

取“2.2.2”“2.2.3”“2.2.4”项下各样品溶液,按“2.1”项下各仪器条件对铜、铅、镉、汞及砷5种元素进行含量测定,并计算单煎混合液(各单煎液混合后的溶液)中各元素的含量及单煎液、合煎液中5种元素的转移率。单煎混合液某元素含量计算公式为 $0.14C_g+0.09C_z+0.28C_d+0.28C_b+0.14C_s+0.08C_h$ (C_g :桂枝单煎液中某元素含量; C_z :炙甘草单煎液中某元素含量; C_d :大枣单煎液中某元素含量; C_b :白芍单煎液中某元素含量; C_s :生姜单煎液中某元素含量; C_h :黄芪单煎液中某元素含量;各系数为单煎混合液与合煎液之间的换算系数);单煎液各元素转移率计算公式为单煎液中某元素含量/药材中某元素含量×100%;合煎液各元素转移率计算公式为 $C_H/(0.14C_{gy}+0.09C_{zy}+0.28C_{dy}+0.28C_{by}+0.14C_{sy}+0.08C_{hy})\times 100\%$ (C_H :合煎液中某元素含量; C_{gy} :桂枝药材中某元素含量; C_{zy} :炙甘草药材中某元素含量; C_{dy} :大枣药材中某元素含量; C_{by} :白芍药材中某元素含量; C_{sy} :生姜药材中某元素含量; C_{hy} :黄芪药材中某元素含量;各系数为各单味药材质量与合煎时药材总质量之比)。各样品中5种元素的含量及转移率计算结果见表4。

由表4可知,桂枝和生姜药材的镉含量超标,其含量分别为0.32、0.74 mg/kg,桂枝和生姜中的铜、铅、汞及砷的含量均符合要求;其余4味药材中铜、铅、镉、汞及砷的含量均符合要求;6味药材单煎液及合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量均符合要求。

生姜药材的镉含量超出规定量一倍,但其单煎液中镉含量符合要求,转移率为32.20%。桂枝药材的镉含量超标,但其水煎液的镉含量也符合要求,转移率为13.47%;由此推测,中药在煎煮过程中镉不易溶出。与各味药材比较,各单煎液中铜、铅、镉、汞及砷含量更低($P<0.01$);与各药材单煎混合液比较,合煎液中铜、汞的含量更低($P<0.01$),铅、镉、砷的含量更高($P<0.01$);由此推测,中药合煎可能会减少铜、汞的溶出,增加铅、镉和砷的溶出。

3 讨论

表4 各样品中5种元素的含量及转移率

Tab 4 Content determination and transfer rates of 5 elements in samples

元素	白芍			黄芪			炙甘草			桂枝			生姜			大枣			合煎液, mg/kg	单煎混合液, mg/kg
	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %	药材, mg/kg	单煎液, mg/kg	转移率, %		
铜	7.88	2.32 [#]	29.44	7.63	2.67 [#]	35.00	7.45	1.53 [#]	20.52	3.90	2.15 [#]	55.13	11.41	3.76 [#]	32.98	14.38	4.38 [#]	30.50	2.12 [*]	2.70
铅	0.59	0.12 [#]	20.34	0.48	0.11 [#]	22.67	0.48	0.10 [#]	21.23	1.34	0.14 [#]	10.57	0.25	0.04 [#]	16.24	0.16	0.07 [#]	46.27	0.11 [*]	0.09
镉	0.19	0.03 [#]	15.30	0.07	0.02 [#]	32.46	0.05	0.01 [#]	16.92	0.32	0.04 [#]	13.47	0.74	0.24 [#]	32.20	0.08	0.01 [#]	18.00	0.08 [*]	0.05
砷	0.19	0.10 [#]	54.38	0.16	0.08 [#]	50.75	0.19	0.11 [#]	55.78	0.08	0.03 [#]	39.75	0.33	0.11 [#]	36.19	0.22	0.04 [#]	18.77	0.10 [*]	0.07
汞	0.020	N.D. [#]		0.003	0.002 [#]	66.67	0.003	N.D. [#]		0.032	0.002 [*]	6.25	0.007	N.D. [#]		0.004	N.D. [#]			0.60

注:“N.D.”为未检出;与药材比较,[#]*P*<0.01;与单煎混合液比较,^{*}*P*<0.01

Note:“N.D.”means not detected; vs. medicine, [#]*P*<0.01; vs. mixture of single decoction, ^{*}*P*<0.01

本文研究了黄芪建中汤中各药材单煎液与合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量变化情况。组方中白芍、黄芪、炙甘草中的铜、铅、镉、汞及砷的含量均符合2015年版《中国药典》规定,大枣中5种元素的含量符合《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》对中药饮片重金属及有害元素的规定,但是桂枝和生姜的镉元素含量超出《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》对中药饮片中间元素的含量限度规定(0.3 mg/kg)。本方中生姜和大枣为药食同源中药^[13],应用广泛,从食品和药品安全的角度出发,建议《中国药典》补充此类药材的重金属及有害元素含量限度。

目前临床广泛使用的配方颗粒(单味中药饮片经提取浓缩制成)和复方制剂多以水为提取溶剂,但对于中药中重金属及有害元素的限定大多指向药材和饮片,而对以水为提取溶剂制备的中药制剂缺少有关限定。本研究的生姜、桂枝药材中镉含量超出规定,但其单煎液中镉元素含量符合要求。由此可见,中药在水煎煮过程中重金属及有害元素不易溶出,安全可靠,此结论与相关文献^[6,14]报道的结论一致。

本研究比较了黄芪建中汤合煎液中铜、铅、镉、汞及砷的含量与单煎混合液的关系,结果发现,黄芪建中汤合煎液中每种元素的含量不等于各单煎液含量的简单相加,与单煎液相比,合煎会减少铜和汞元素的溶出,增加铅、镉和砷元素的溶出。推测可能是由于方中各种成分之间相互作用改变了金属元素的溶解性。目前,关于单味药材煎煮前后的重金属及有害元素的含量变化研究较多,如胡麟等^[15]研究发现,3种中药饮片经水煎煮后药材中的重金属及有害元素溶出较低;但较少研究中药合煎后重金属及有害元素的溶出情况,相比中药单煎液,合煎液的成分更为复杂,且合煎液中各药材的不同配比、不同煎煮方式等都会影响重金属及有害元素的溶出^[16]。

综上,本研究以黄芪建中汤为模型方,比较了组方中各药材单煎与合煎后铜、铅、镉、汞及砷的含量差异,可为中药的临床安全应用提供参考。

参考文献

[1] 杨毅,田侃,田虹.中药资源外源性污染问题管控研究[J].

中国药房,2016,27(34):4885-4888.

[2] 刘静,李树先,朱江,等.浅谈几种重金属元素对人体的危害及其预防措施[J].中国资源综合利用,2018,3(36):182-184.

[3] 陈强.砷的危害及其污染治理技术[J].福建农业科技,2017(6):67-69.

[4] 范家文,刘仕灵,韦对.中药中重金属检测的研究[J].微量元素与健康研究,2017,35(5):38-39.

[5] 张慧莉.我国中药材中重金属污染现状分析及对策研究[J].山东化工,2018,47(1):56-57.

[6] 罗艳,黄文琦,龙智翔,等. ICP-MS测定中药煎制前后8种重金属元素的含量及溶出率[J].光谱实验室,2012,29(2):925-928.

[7] 曹帅,王文建,权春梅,等.水煮工艺对白芍重金属含量影响的研究[J].西昌学院学报(自然科学版),2016,30(1):30-33.

[8] 罗艳,黄文琦,蒋天成,等.中药煎制前后重金属含量测定及溶出特性研究[J].化学分析计量,2011,20(4):48-50.

[9] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].2015年版.北京:中国医药科技出版社,2015:3-385.

[10] 中华人民共和国对外贸易经济合作部.药用植物及制剂进出口绿色行业标准[S].北京:中国标准出版社,2001:1-4.

[11] 许文倩,胡英还,秦雪梅.黄芪建中汤临床应用及实验研究进展[J].山西中医学院学报,2018,19(2):67-71.

[12] 刘纪琳,郑永章.原子吸收分析的某些基本概念:检出限和测定下限[J].冶金分析,1982,1(3):52-55.

[13] 予辑.药食同源原料目录[J].口腔护理用品工业,2017,27(6):24-28.

[14] 徐以亮,刘秀琴. ICP-OES法测定菊花药材及配方颗粒中重金属和有害元素的含量[J].中国现代中药,2008,10(7):30-34.

[15] 胡麟,胡昌江,吴文辉.微波消解 ICP-MS法测定3种中药饮片及配方颗粒中的重金属及其转移率[J].中成药,2015,37(10):2238-2242.

[16] 万益群,柳英霞,郭岚,等.原子吸收光谱法测定当归补血汤中重金属的含量[J].南昌大学学报(理科版),2006,30(4):365-367.

(收稿日期:2018-10-09 修回日期:2019-01-07)

(编辑:唐晓莲)