

引用:任蕾,武强,焦建华,王颖莉.旋覆代赭汤中的铁元素含量变化研究[J].湖南中医杂志,2023,39(11):159-163.

旋覆代赭汤中的铁元素含量变化研究

任蕾,武强,焦建华,王颖莉

(山西中医药大学,山西 晋中,030619)

[摘要] 目的:对六个不同产地代赭石进入旋覆代赭汤方剂前后的铁元素含量变化进行分析讨论。方法:运用滴定分析法测定不同产地代赭石煎出液和加入不同产地代赭石的旋覆代赭汤中有效成分的铁元素含量;建立测定样品中铁元素火焰原子吸收光谱法的最佳实验条件,并测其含量;利用紫外分光光度法,对产地不同的代赭石及其加入旋覆代赭汤前后铁元素含量变化进行分析。结果:滴定分析法测得不同样品中的铁元素含量有所差异;火焰原子吸收光谱法测得不同产地代赭石及其进入经方前后铁元素含量均有不同程度的变化;紫外光谱结果显示 13 个待测样品均在 510 nm 处有不同强度的吸收峰。结论:不同产地的代赭石及其加入经方前后铁元素含量均有变化,紫外光谱显示不同样品的吸光度不同,铁元素含量亦不同。

[关键词] 不同产地代赭石;旋覆代赭汤;紫外分光光度法;铁元素;火焰原子吸收光谱法

[中图分类号] R284 **[文献标识码]** A **DOI:** 10.16808/j.cnki.issn1003-7705.2023.11.037

旋覆代赭汤出自《伤寒论》,是治疗胃气脾虚、痰浊内阻及心下痞硬、噎气不除的经典名方。代赭石在旋覆代赭汤中为臣药,其主要组成成分是三氧化二铁(Fe_2O_3)^[1-3]。中医学认为代赭石味苦,性寒,归心、肝经,具有平肝潜阳、重镇降逆、凉血止血的功效^[4-10],本方主要取其降胃泄浊及清热作用^[4-7]。现代研究表明代赭石含有丰富的铁(Fe),可以促进红细胞及血红蛋白的新生,调节人体的内分泌平衡^[3]。现代药理研究显示铁元素进入体内,主要以 Fe^{2+} 的形式吸收, Fe^{3+} 很难吸收,但 Fe^{2+} 进入肠黏膜细胞后可氧化成 Fe^{3+} ,其中一部分结合成铁蛋白沉积于肠黏膜细胞中,另一部分则经细胞浆膜面进入血循环。代赭石在处方中作为药物使用时,各种微量元素的协同作用可以促进铁的吸收,并提高铁在体内的利用率,起到兴奋肠道、促进消化吸收、镇吐催眠、镇痛止咳等作用^[9]。因此,本研究拟对代赭石在经典名方旋覆代赭汤的铁元素溶出率进行讨论。

代赭石作为矿物药炮制后方可入药,炮制前后主要元素铁的含量、赋存形式以及元素形态等方面均发生了显著变化,元素的不同价态和不同存在形

式对人体的作用差别较大。2020 年版《中华人民共和国药典》中对代赭石的铁元素含量的测定方法为滴定分析法,但并没有针对方剂中铁元素含量的检测方法^[2],该方法操作较简单、易于掌握、耗时短、无需特殊设备、便于实行、受时间地点的限制少^[2-3],本研究尝试以滴定分析法测定旋覆代赭汤中铁元素的含量,火焰原子吸收光谱法具有灵敏度高、抗干扰能力强、精密度高、选择性强、分析范围广等特点,适用于常见元素的含量测定^[3,11-17];紫外分光光度法操作比较简单,分析速度快,检测范围广,灵敏度高,稳定性好,精密度和准确度较高^[18-22]。因此,本研究根据实际情况采用滴定分析法、火焰原子吸收光谱法和紫外分光光度法 3 种不同检测手段对不同产地代赭石煎出液和其加入旋覆代赭汤液后铁元素的含量进行测定,并对代赭石入药前后铁含量、赋存形式以及元素形态等做了对比讨论,现报告如下。

1 实验材料

1.1 仪器 电热鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂,仪器编号:20151108,型号 GZX-9030MBE);紫外分光光度计(北京普析通用仪器

基金项目:山西省科技厅青年基金项目(201901D211541);山西中医药大学学科建设项目(2023XKJS-26)

第一作者:任蕾,女,理学硕士,讲师,研究方向:矿物药活性成分

通信作者:王颖莉,女,工学博士,教授,研究方向:中药制剂与开发,E-mail:wyl@sxtcm.edu.cn

有限责任公司,型号 TU-1810);循环水真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司,型号 SHZ-DⅢ);箱式电阻炉(北京科伟永兴仪器有限公司,型号 SX2-2.5-10);电热板(上海力晨邦西仪器科技有限公司,型号 DB-XAB);火焰原子吸收光谱仪(北京普析通用仪器有限责任公司,型号 TAS-986);电子天平(上海舜宇恒平科学仪器有限公司,型号 FA224)。

1.2 试剂 Fe 标准储备液,批号为:GSB 04-1726-2004;钨酸钠,批号:180312;二苯磺酸钠,批号:180502;重铬酸钾,批号:181219;氯化钾,批号:180508;三氯化钛,批号:190212;磷酸,批号:190203;硫酸,批号:190306;氯化亚锡,批号:181005;1,10-菲罗啉溶液,批号:180419;乙酸钠,批号:180706;盐酸羟胺,批号 190504;以上试剂均购自天津市科密化学欧试剂有限公司。去离子水,批号:190922,购自苏州威力特环保科技有限公司。

1.3 药材 旋覆花、半夏、甘草片、人参片、生姜片、大枣,以上中药均购置于北京同仁堂。代赭石产自山西、河北、湖南、甘肃、安徽、四川,来源及批号见表 1。

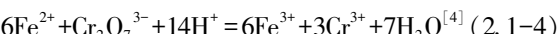
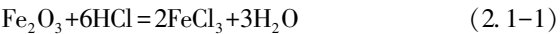
表 1 代赭石产地情况

产地	产品批号	来源	性状
山西	15120301	淘宝店:润鼎养生堂	生代赭石块
河北	190803641	河北百合中药饮片有限公司	生代赭石块
湖南	18110332	淘宝店:益康中药堂	生代赭石块
甘肃	1902001	金安堂中药材有限公司	生代赭石块
安徽	171101	淘宝店:思源堂中药材批发	生代赭石块
四川	190507	成都市荷花池中药材批发市场	生代赭石块

1.4 样品前处理 炮制(煅赭石):取代赭石生品,除去杂质,置于坩埚内,放入箱式电阻炉内,以武火(500℃)温度加热,煅至红透,放冷保存于 4℃ 冰箱以备用;大枣炮制:擘(掰成两半);代赭石煎出液(各产地样品平行煎煮 3 份):取煅赭石 3 g,置于 1000 ml 烧杯中,加去离子水定容至 600 ml,置于电热板上,以小火煎煮至 250 ml,放冷保存于 4℃ 冰箱以备用;旋覆代赭汤液(各产地样品入方剂后平行煎煮 3 份):取旋覆花 9 g、煅赭石 3 g、半夏(洗) 15 g、生姜片 15 g、人参片 6 g、甘草(炙) 9 g、大枣(擘) 12 枚(所取材料质量波动范围均<0.1 g),置于 1000 ml 烧杯中,加去离子水定容至 700 ml,放置于电热板上,小火煎煮,浓缩至 250 ml,放冷保存于 4℃ 冰箱以备用。

2 实验方法

2.1 滴定分析法测定不同样品中铁元素含量 本研究参照 2020 版《中华人民共和国药典·一部》测定:取本品溶液 21 ml,置 250 ml 锥形瓶中,加盐酸 15 ml 与 25%氯化钾溶液 3 ml,盖上表面皿,置于电热板上加热至微沸,滴加 6%氯化亚锡溶液,轻轻摇动 2 min,取下,用少量水冲洗表面皿及瓶内壁,趁热滴加 6% 氯化亚锡溶液至显浅黄色(如氯化亚锡加过量,可滴加高锰酸钾试液至显浅黄色),加水 100 ml 与 25% 钨酸钠溶液 15 滴,并滴加 1% 三氯化钛溶液至显蓝色,再小心滴加重铬酸钾滴定液(0.01667 mol/L)至蓝色刚好褪尽,立即加硫酸-磷酸-水(2:3:5) 10 ml 与二苯胺磺酸钠指示液 5 滴,用重铬酸钾滴定液(0.01667 mol/L)滴定至溶液显稳定的蓝紫色,每 1 ml 重铬酸钾滴定液(0.01667 mol/L)相当于 5.585 mg 的铁(Fe)^[2],化学反应参照式(2.1-1)~(2.1-4),计算公式参照式(2.1-5),不同样品中铁含量见表 2。



$$W(\%) = [(V \times 5.585) / m] \times 100\% \quad (2.1-5)$$

表 2 不同样品中铁含量

样品	铁含量测定/%			平均值/%	RSD/%
旋覆代赭汤(山西)	0.845	0.837	0.841	0.841	0.48
代赭石煎出液(山西)	0.131	0.131	0.120	0.131	0.562
旋覆代赭汤(河北)	0.790	0.785	0.794	0.790	0.572
代赭石煎出液(河北)	0.112	0.113	0.121	0.110	0.790
旋覆代赭汤(湖南)	0.798	0.802	0.790	0.797	0.771
代赭石煎出液(湖南)	0.133	0.124	0.131	0.132	0.581
旋覆代赭汤(甘肃)	0.819	0.823	0.817	0.820	0.371
代赭石煎出液(甘肃)	0.131	0.131	0.122	0.131	0.861
旋覆代赭汤(安徽)	0.978	0.970	0.971	0.973	0.451
代赭石煎出液(安徽)	0.131	0.132	0.121	0.132	0.691
旋覆代赭汤(四川)	1.050	1.052	1.049	1.050	0.151
代赭石煎出液(四川)	0.140	0.151	0.152	0.151	0.671
旋覆代赭汤(不加赭石)	0.612	0.610	0.615	0.612	0.412

通过加样回收率实验进行方法学考察,测得回收率为 97%~99%,RSD 为 1%~2%,符合要求,加样回收率算法参照式(2.1-6),具体实验数据见表 3。

$$\text{回收率}\% = (D - E) / F \times 100\% \quad (2.1-6)$$

注:公式中的 E 为供试品中所含被测分量;F 为加入对照品量;D 为实测值。

表 3 加样回收率

称量样/ mg	样品铁含量/ mg	铁的加标量/ mg	实测值/ mg	回收率/ %	平均回收率/ %	RSD/ %
1000.01	8.42	10.15	18.26	96.95		
1000.13	8.51	10.10	18.35	97.43		
1000.12	8.49	10.11	18.39	97.92	97.69	0.53
1000.09	8.44	10.08	18.30	97.82		
1000.10	8.46	10.13	18.42	98.32		

代赈石中主要成分为 Fe_2O_3 ,参照 2020 版《中华人民共和国药典》中的标准采用滴定分析法检测铁元素,结果显示具有结果稳定、操作简单等优点,再用方法学验证,实验结果较可靠。

2.2 火焰原子吸收光谱法测定铁元素含量

2.2.1 样品前处理 将样品溶液各取 20 ml,真空抽滤,将适量滤液置于 10 ml 具塞试管中。

2.2.2 标准溶液的配制 精密称取 Fe 标准溶液(1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$),用去离子水稀释,将其配置为梯度浓度,浓度依次为 0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 。

2.2.3 仪器工作条件的确定 确定并记录测定铁元素时火焰原子吸收光谱仪的工作条件^[12,16]。(见表 4)

表 4 火焰原子吸收光谱仪工作条件
(空气压力为 0.2 MPa)

灯电流/ mA	负高压/ V	狭缝/ nm	波长/ nm	乙炔气流/ $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$	燃烧器高度/ nm	燃烧器高度/ nm
4	448.5	0.2	248.5	1700	8	5

2.2.4 标准曲线的绘制 本实验通过火焰原子吸收光谱法测定 Fe 的标准溶液,从而进行线性考察,绘制回归方程(见表 5),测定铁元素标准曲线的相关系数,若测得的相关系数 ≥ 0.999 时,则表明线性关系良好,可用于实验数据的处理(见图 1)。

表 5 标准曲线的绘制

元素	线性方程	R^2	浓度范围/ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$
Fe	$Y=0.0397X+0.0471$	0.9993	0.05-0.35

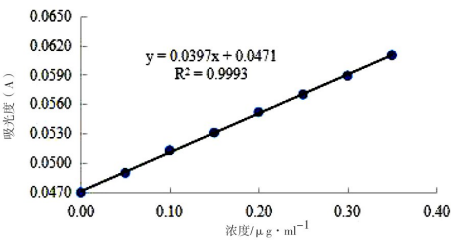


图 1 火焰原子吸收光谱法-Fe 标准曲线图

2.2.5 精密度考察 取浓度为 0.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 的 Fe 的

标准溶液,在“2.2.3”的仪器工作条件下对 Fe 连续测定 3 次,求平均值,再计算其 RSD(%)。(见表 6)

表 6 Fe 的精密度考察

元素	Abs	平均值	RSD/%
Fe	0.0554 0.0550 0.0551	0.0552	0.38

2.2.6 准确度试验 取准备好的样品溶液,精密平行称取 3 份,分别加入 0.15、0.20、0.25 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 的 Fe 标准溶液 3 ml。将配置所得的添加标准品的样品溶液在“2.2.3”的仪器工作条件下,依次对加入标准溶液的样品进行测定,测出加标样品的 Fe 含量,计算回收率实验结果。(见表 7)

表 7 回收率实验结果

元素	样品量/ μg	加入量/ μg	检出量/ μg	平均回收率/%	RSD/%
Fe	1.31	0.45	1.75	0.9865	0.98
Fe	1.31	0.60	1.89		
Fe	1.31	0.75	2.01		

2.2.7 检出限的计算 按照“2.2.2”中的标准溶液配制的操作方法配制 Fe 的试剂空白溶液。在“2.2.3”仪器工作条件下,连续测定 Fe 的试剂空白溶液 20 次,计算试剂空白溶液响应值的标准差 S,回归方程的斜率 a,根据检出限公式:

$$L=3S/a$$

注:L—方法的最低检出浓度;S—空白多次测量的标准偏差;a—校准曲线的斜率。

得出此方法 Fe 的检出限。实验数据见表 8。

表 8 Fe 的检出限结果

元素	标准差/S, $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$	回归方程斜率/a	检出限/L, $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$
Fe	0.0013	0.0397	0.0982

2.2.8 不同样品中铁元素的含量测定 经过方法学考察验证,本研究所选用的样品处理方法及仪器工作条件符合分析要求,采用火焰原子吸收光谱法对样品中铁元素进行测定可以做到分析速度快、处理效率高、抗干扰能力强、精密度高^[12-17]。按照“2.2.1”样品预处理方法制备 13 份样品溶液,在“2.2.3”仪器工作条件下测定各样品中的铁元素含量,并求取平均值。(见表 9)

2.3 紫外分光光度法测定铁元素含量

2.3.1 试剂用量的确定 在紫外分光光度法中,还原剂、显色剂和缓冲剂的加入量对实验结果影响较大,不合适的用量会导致实验的失败。因此,本次研究确定试剂浓度及用量见表 10。根据文献确定,紫外分光光度法中铁元素的最大吸收波长在 510nm 附近,故本次实验确定为 510 nm^[18,21-22]。

表 9 不同样品中铁元素含量

样品名称	Fe 含量/%	样品名称	Fe 含量/%
旋覆代赈汤(山西)	0.847	代赈石煎出液(山西)	0.151
旋覆代赈汤(河北)	0.795	代赈石煎出液(河北)	0.112
旋覆代赈汤(湖南)	0.798	代赈石煎出液(湖南)	0.131
旋覆代赈汤(甘肃)	0.821	代赈石煎出液(甘肃)	0.140
旋覆代赈汤(安徽)	0.977	代赈石煎出液(安徽)	0.152
旋覆代赈汤(四川)	1.051	代赈石煎出液(四川)	0.161
旋覆代赈汤(不加代赈石)	0.614		

表 10 试剂规格及用量

名称	浓度	用量
盐酸羟胺溶液	100 g/L	1 ml
乙酸钠溶液	1 mol/L	5 ml
1,10-菲罗啉溶液	1.2 g/L	3 ml

2.3.2 标准溶液的配制 采用移液枪准确吸取 Fe 标准溶液(1000 μg/ml)0、0.1、0.3、0.5、0.7、0.9 ml 置于 6 个 50 ml 容量瓶中,依次加入 1 ml 100 g/L 盐酸羟胺溶液,5 ml 1 mol/L 乙酸钠溶液,3 ml 1.2 g/L 1,10-菲罗啉溶液,用去离子水定容,摇匀,于阴凉处静置 15 min^[21-22]。

2.3.3 标准曲线的确定 标准回归方程为 $y = 0.0232x + 0.0328$, $R^2 = 0.9994$,当测得的相关系数 ≥ 0.999 时,则表明线性关系良好,实验结果较准确。(见图 2)

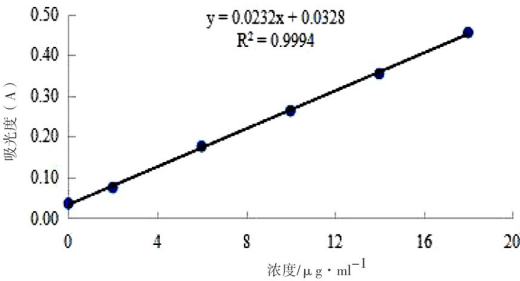


图 2 紫外分光光度法——Fe 标准曲线图

2.3.4 铁元素含量测定 将 13 份样品分别精密称取 10 ml,置于 13 个 50 ml 容量瓶中,依次加入 1 ml 100 g/L 盐酸羟胺溶液,5 ml 1 mol/L 乙酸钠溶液,3 ml 1.2 g/L 1,10-菲罗啉溶液,用去离子水定容,摇匀,于阴凉处静置 15 min。

将 13 个不同待测样品依次移入 10mm 的玻璃比色皿中,将其依次放入紫外分光光度计中作为待测样品溶液,以空白试剂溶液(不含铁标准溶液)为参比溶液,测定其铁元素的吸光度,将所得的吸光度代入“2.2.4”标准曲线的确定的线性回归方程中,分别计算出待测样品的铁元素含量。计算结果见表 11。

表 11 各待测样品中铁元素含量

样品名称	Fe 含量/%	样品名称	Fe 含量/%
旋覆代赈汤(山西)	0.836	代赈石煎出液(山西)	0.141
旋覆代赈汤(河北)	0.786	代赈石煎出液(河北)	0.111
旋覆代赈汤(湖南)	0.787	代赈石煎出液(湖南)	0.132
旋覆代赈汤(甘肃)	0.815	代赈石煎出液(甘肃)	0.131
旋覆代赈汤(安徽)	0.970	代赈石煎出液(安徽)	0.140
旋覆代赈汤(四川)	1.044	代赈石煎出液(四川)	0.153
旋覆代赈汤(不加代赈石)	0.605		

3 实验结果

3.1 滴定分析法所得结果分析 按照 2020 版《中华人民共和国药典》采用滴定分析法检测铁元素的含量^[2],表 2 中列出了不同产地代赈石入方后药剂中铁元素析出含量,结果显示铁含量按产地排序依次为:四川>安徽>山西>甘肃>湖南>河北。无赈石的处方铁元素析出含量约为 0.61%,加入赈石后铁元素析出含量在 0.80%左右,而单纯水煎赈石铁元素析出含量在 0.13%左右,因此,旋覆代赈汤能够更好地帮助药材赈石中铁元素的析出。本次实验部分参照《中华人民共和国药典》方法进行化学分析测定,但旋覆代赈汤煎出液为棕色液体,导致该方法中部分显色反应变得不明显或难以分辨,阻碍了实验的进行。因此,在实验中将经方的煎出液进行稀释,使溶液颜色变淡,从而使实验在操作过程中的实验现象易于被观察到。

3.2 火焰原子吸收光谱法所得结果分析 采用火焰原子吸收光谱法测定不同样品中铁元素的含量^[12-17],表 8 中列出了不同产地代赈石入方后药剂中铁元素析出含量,结果显示铁含量按产地排序依次为:四川>安徽>山西>甘肃>湖南>河北,与滴定分析得出结果一致,含量也基本接近,即可验证此方剂能够更好地帮助药材赈石中铁元素析出。采用火焰原子吸收光谱法时需要对浓度梯度和标准曲线进行不断调整,才能达到适合样品的测量条件,从而较准确的完成本次实验。

3.3 紫外分光光度法所得结果分析 采用紫外分光光度法测定不同样品中铁元素的含量^[18,21-22],表 10 中列出了不同产地代赈石入方后药剂中铁元素析出含量,结果显示铁含量按产地排序依次为:四川>安徽>山西>甘肃>湖南>河北,与前两种方法分析结果一致,含量也基本接近,再次验证旋覆代赈汤能够更好地帮助药材赈石中铁元素析出。代赈石煎出液的铁元素含量低于代赈石加入经方后的

煎出液的铁元素含量。

4 讨 论

中药处方治病是各种物质协同作用的结果,各元素在处方中赋存的特点会随着药物的炮制手法、药物水煎液中的渗溶特征、药物的物质结构与药效的关系不同而发生变化,可以体现在入药后元素含量的高低及微量元素的络合物与有机金属络合物产生的生物化学效应、生物物理效应。本研究选择了化学滴定分析法、火焰原子吸收光谱法和紫外分光光度法 3 种分析方法对不同产地的矿物药代赈石从单方药物到进入方剂旋覆代赈汤的铁含量进行了测定,并对其变化规律进行了讨论。3 种方法测得的铁含量基本相近,产地及处方中其他药物对铁含量的变化规律影响也趋于一致。因此可以得到以下结论:不同产地代赈石的铁元素含量有所差异,单煎矿物药中铁元素含量变化关系为:代赈石煎出液(四川)>代赈石煎出液(安徽)>代赈石煎出液(山西)>代赈石煎出液(甘肃)>代赈石煎出液(湖南)>代赈石煎出液(河北)。其中火焰原子吸收光谱法结果显示四川代赈石水煎液中铁元素含量最高,但与其他产地含量差距不大,每克能煎出 0.0016 mg 左右;矿物药样品成分比较复杂,在滴定法中溶液本底颜色容易产生混淆,受试剂和人为因素的干扰较大;紫外分光光度法测定铁元素含量时,检出浓度要求较高,微小含量的测定误差较大;本次研究建立的火焰原子吸收光谱法对方剂中铁元素含量测定具有操作简单,灵敏度高,检出限低的特点,更适合实验要求。

加入不同产地的代赈石对旋覆代赈汤中铁元素含量影响不同,汤剂中的铁元素含量均远高出单矿物药的煎出液,汤剂中铁含量变化,与单味药代赈石以相同方法测得铁含量变化规律相同:旋覆代赈汤(四川)>旋覆代赈汤(安徽)>旋覆代赈汤(山西)>旋覆代赈汤(甘肃)>旋覆代赈汤(湖南)>旋覆代赈汤(河北)>旋覆代赈汤(不加代赈石)。

本研究结果显示,不同方法测得的数据均显示四川代赈石入方剂后中铁元素含量最高,与其他产地入药后煎出含量差距不大,每克能煎出 0.01 mg 左右,故代赈石加入经方后,其铁元素析出量会增加。可以设想中药的处方配制可以增加不同药物有效成分的溶出,以方剂用药可以弥补由于产地不同导致的药材品质差异。本研究可为研究产地对

药材代赈石主要元素含量的影响提供数据支持、为进一步讨论药材入方剂后对微量元素的溶出影响关系提供理论参考,并从单味药和方剂的药效不同讨论中药材有效化学成分的研究,以便今后能更合理地利用代赈石药材。

参考文献

- [1] 梁生旺,贡济宁. 中药分析[M]. 10 版. 北京:中国中医药出版社,2016:127-129.
- [2] 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.
- [3] 康莲薇. 矿物药赈石的成分分析[D]. 保定:河北大学,2008.
- [4] 管华全,樊巧玲,陈柳春. 旋覆代赈汤中的代赈石剂量探讨[J]. 现代中医药,2013,33(5):77-78.
- [5] 朱美香,吴小明. 张仲景代赈石配伍特点探析[J]. 浙江中医杂志,2019,54(1):63.
- [6] 钟欢,李杏瑶,孙铜林,等. 旋覆代赈汤防治化疗性呕吐的疗效观察及最佳配比研究[J]. 湖南中医杂志,2019,35(12):10-13.
- [7] 李莎莎,侯西娟,张磊,等. 经典名方旋覆代赈汤历史沿革探析[J]. 中国中药杂志,2019,35(12):10-13.
- [8] 李伊然. 旋覆代赈汤方证规律研究[D]. 北京:北京中医药大学,2022.
- [9] 田硕,刘万里,苏坤涵,等. 旋覆代赈汤临床应用研究进展[J]. 亚太传统医药,2021,17(7):205-209.
- [10] 李玉芳. 六君子汤合旋覆代赈汤对大鼠胃 Cajal 间质细胞活性及钙离子浓度的影响[D]. 扬州:扬州大学,2021.
- [11] 丁霞,李冠业,高思国. H 点标准加入法同时测定代赈石及其炮制品在不同介质中的 $\text{Fe}(\text{II})$ 和 $\text{Fe}(\text{III})$ [J]. 中成药,2011,33(4):637-641.
- [12] 付晓平,王凤芝,李冬. 原子吸收法测定皮肤止痒膏中铜、铁、锌、锰含量实验研究[J]. 中国民康医学,2012,24(14):1777,1792.
- [13] 乌兰其格,宝力道,路洪波,等. 蒙药阿嘎日中铁等 10 种微量元素初级形态研究[J]. 辽宁中医,2016,43(7):1447-1449.
- [14] 薛文静,邵磊,邱学伟,等. 含白矾中药制剂中铁元素含量测定及限量标准研究[J]. 食品与药品,2021,23(3):232-234.
- [15] 屈璇,屈撑囤,王帆. 溶液中铁含量测定及其氧化作用机理研究[J]. 应用化工,2020,49(7):1807-1812,1817.
- [16] 王永姣,李卓,张亚锋,等. 微波消解-火焰原子吸收分光光度法测定复方肝浸膏片中铁的含量[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(18):6261-6265.
- [17] 罗婷,张立雯,林玲. 原子吸收分光光度法测定多维铁口服溶液中的铁和锌[J]. 华西药学杂志,2018,33(1):99-100.
- [18] 韩毅丽,贺润丽,史泽天. 玫瑰花青素测定中药中微量铁的应用研究[J]. 分子科学学报,2019,35(4):330-336.
- [19] 冯涛. 甘草多糖铁对 14 种中药单体成分及白芍有效成分溶解性和稳定性的影响研究[D]. 天津:天津中医药大学,2021.
- [20] 许方雪,刘百惠,狄志彪,等. 基于均匀设计法分析铁元素对虫草素产量的影响[J]. 辽宁中医,2018,45(1):135-137.
- [21] 赵大洲. 运用紫外分光光度法测定枣肉、枣核的铁元素含量[J]. 轻工学报,2019,34(6):9-14.
- [22] 邵紫秋. 紫外分光光度法测定食物铁元素研究[J]. 食品安全导刊,2016(18):154-156. (收稿日期:2023-07-22)

[编辑:徐霜俐]