

中图分类号: R917; R927 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2024)16-0092-04
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2024.16.021



电感耦合等离子体质谱法测定鲜河蚌肉水提取物中5种元素含量*

刘瑾¹, 章恒周², 史万忠^{1△}, 许政²

(1. 上海中医药大学附属曙光医院, 上海 200021; 2. 上海万仕诚药业有限公司, 上海 201506)

摘要:目的 建立测定鲜河蚌肉水提取物中铜(Cu)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)含量的电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法。方法 采用微波消解法对样品进行前处理。采用ICP-MS法测定, 等离子体射频功率为1 550 W, 等离子体气体流速为15.0 L/min, 辅助气体(氩气)流速为0.90 L/min, 雾化气流速为1.05 L/min, 蠕动泵速为0.1 r/s, 采样深度为8 mm, 调谐模式为No Gas模式, 重复3次。结果 Cu、As、Cd、Hg、Pb质量浓度分别在0~500 ng/mL、0~200 ng/mL、0~10 ng/mL、0~5 ng/mL、0~20 ng/mL范围内与仪器响应值线性关系良好($r \geq 0.999 6$, $n = 5$), 检测限分别为0.020 5, 0.004 5, 0.000 8, 0.004 2, 0.005 1 mg/kg, 定量限分别为0.068 2, 0.014 9, 0.002 7, 0.014 1, 0.017 0 mg/kg; 精密度、重复性试验结果的RSD均小于5%; 平均加样回收率分别为99.60%, 106.16%, 108.93%, 115.30%, 103.40%, RSD分别为0.84%, 6.03%, 1.15%, 3.56%, 0.55% ($n = 6$)。参考《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》, 9批样品中的Cu、Hg、Pb均符合限量标准, As、Cd超标的样品分别有8批、2批。结论 该方法操作简单, 结果准确, 可用于测定鲜河蚌肉水提取物中Cu、As、Cd、Hg、Pb的含量。

关键词: 鲜河蚌肉; 重金属元素; 有害元素; 电感耦合等离子体质谱法; 含量测定

Determination of Five Elements in Water Extract of Fresh Mussel Meat by ICP-MS

LIU Jin¹, ZHANG Hengzhou², SHI Wanzhong¹, XU Zheng²

(1. Shuguang Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai, China 200021; 2. Shanghai Wanshicheng Pharmaceutical Co., Ltd., Shanghai, China 201506)

Abstract: Objective To establish an inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) method for determining the contents of copper (Cu), arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb) in the water extract of fresh mussel meat. **Methods** The samples were pretreated by microwave digestion, and the contents of five elements were determined by the ICP-MS method. The plasma radio frequency power was 1 550 W, the plasma gas flow rate was 15.0 L/min, the auxiliary gas (argon) flow rate was 0.90 L/min, the atomization gas flow rate was 1.05 L/min, the peristaltic pump speed was 0.1 r/s, the sampling depth was 8 mm, the tuning mode was No Gas mode, the repetition frequency was three times. **Results** The linear ranges of Cu,

* 基金项目: 上海市科技计划项目[22S21900700, 22S21900800]; 上海中医药大学产业发展中心医养结合科创项目[YYKC-2021-01-145]。

第一作者: 刘瑾, 女, 大学本科, 副主任药师, 研究方向为中药制剂与药物分析, (电子信箱)liujinzsc@163.com。

△通信作者: 史万忠, 男, 博士, 主任药师, 研究方向为中药制剂与药效物质基础, (电子信箱)shwzh@hotmail.com。

- [3] 施法, 白旭东, 董斌, 等. HPLC法同时分析测定明目上清片中10个化学成分[J]. 药物分析杂志, 2014, 34(1): 91-95.
- [4] 施法, 侯峰, 董斌, 等. GC法同时测定明目上清片中4个成分的含量[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(1): 146-149.
- [5] 柴金苗. 高效液相色谱法测定明目上清片中橙皮苷的含量[J]. 中国中医药信息杂志, 2010, 17(12): 43-44.
- [6] 施法, 佟晓波, 侯峰, 等. 明目上清片质量分析及探索性研究[J]. 中国药学杂志, 2012, 47(20): 1653-1657.
- [7] 张霞, 程晓叶, 廖曼, 等. 高效液相色谱法测定复方制剂中的大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚和二苯乙炔苷的含量[J]. 河北医科大学学报, 2017, 38(2): 201-205.
- [8] 邱学伟, 张春辉, 吴爱英. 不同产地板蓝根中重金属元素的含量测定及分析[J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(5): 715-718.
- [9] 张家春, 曾宪平, 张珍明, 等. 不同功能区土壤-钩藤系统重金属累积特征及评价[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(20): 3746-3752.
- [10] 赵倩, 赵彤乐, 叶盛英, 等. 等离子体质谱法同时测定不同产地制白附子药材中6种重金属元素含量及其聚类分析[J]. 中国药业, 2019, 28(23): 26-30.
- [11] 邱婧, 王湘波, 李瑞莲, 等. ICP-MS法测定湖南特色中成药中的重金属及有害元素及相关风险评估[J]. 中南药学, 2019, 17(11): 1909-1913.
- [12] 聂黎行, 查祎凡, 左甜甜, 等. 基于ICP-MS和对照制剂的牛黄清胃丸中重金属及有害元素残留量测定及风险评估[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(1): 82-87.
- [13] 聂黎行, 钱秀玉, 蒋沁悦, 等. 中成药中重金属及有害元素残留分析、风险评估和限量制定建议[J]. 药学学报, 2020, 55(11): 2695-2701.
- [14] 窦亚洁, 刘慧, 李晓萌, 等. 中药中外源性有害物的残留现状及风险评估的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(2): 396-407.
- [15] 左甜甜, 孔德娟, 金红宇, 等. 基于非靶向快速筛查的山楂中重金属及毒性元素风险评估[J]. 中国药业, 2023, 32(1): 57-60.

(收稿日期: 2023-07-28; 修回日期: 2023-10-30)

As, Cd, Hg, and Pb were in the range of 0 - 500 ng / mL, 0 - 200 ng / mL, 0 - 10 ng / mL, 0 - 5 ng / mL, and 0 - 20 ng / mL ($r \geq 0.999$, $n = 5$) respectively. The limits of detection (LOD) were 0.020 5, 0.004 5, 0.000 8, 0.004 2, 0.005 1 mg / kg respectively, the limits of quantification (LOQ) were 0.068 2, 0.014 9, 0.002 7, 0.014 1, 0.017 0 mg / kg respectively. The RSDs of precision and repeatability tests were lower than 5%. The average recovery rates of the above five elements were 99.60%, 106.16%, 108.93%, 115.30%, 103.40% with RSDs of 0.84%, 6.03%, 1.15%, 3.56%, 0.55% ($n = 6$) respectively. Based on the Green Standards for Medicinal Plants and Preparations for Foreign Trade and Economy, Cu, Hg and Pb in nine batches of samples met the limits, while As and Cd levels were over the limits in eight and two batches of samples respectively. **Conclusion** This method is simple and accurate, which can be used to determine the contents of Cu, As, Cd, Hg, and Pb in the water extract of fresh mussel meat.

Key words: fresh mussel meat; heavy metal element; harmful element; inductively coupled plasma - mass spectrometry; content determination

鲜河蚌肉为蚌科动物三角帆蚌 *Hyriopsis cumingii* (Les) 的新鲜蚌肉, 属药食两用中药材, 收载于浙江省和湖北省的中药材标准^[1-2]。其味甘、咸, 性寒, 归肝、肾经, 有清热解毒、消肿止痛等功效, 用于治疗烦热、消渴、血崩、带下、痔瘕、目赤、湿疹等证^[3-4]。近年来, 我国淡水河中重金属及有害元素污染时有报道^[5-7]。河蚌生活在淡水水域的水底或泥沙中, 会吸收并富集水中的重金属及有害元素, 其具有毒性大、易富集、难被代谢等特点, 会对食用人群的健康产生危害^[8-9]。鲜河蚌肉水提物是上海中医药大学附属曙光医院院内中药制剂怀珍养肝胶囊的主要原料。目前尚未见不同产地鲜河蚌肉及其提取物中重金属及有害元素方面比较研究的报道。鉴于此, 本研究中选取了不同药材来源的鲜河蚌肉水提物, 采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法分析了其中铜(Cu)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)的含量, 为药材来源(产地)的选择和质量标准的建立提供依据。现报道如下。

1 仪器与试剂

仪器: 7800型电感耦合等离子体质谱仪(美国Agilent公司); 金牛4010型微波消解仪、G-400型智能控温电加热器, 均购自上海屹尧仪器科技发展有限公司; BSA124S型电子天平(德国Sartorius公司, 精度为0.1 mg)。

试剂: Cu标准溶液(批号为2106390)、Pb标准溶液(批号为2202025)、Cd标准溶液(批号为2203809)、As标准溶液(批号为2106295)、Hg标准溶液(批号为2106296)、金元素(Au)标准溶液(批号为2250226), 质量浓度均为1 000 mg / L, 均购自上海安谱瑞世标准技术有限公司; 锗(Ge)、铟(In)、铋(Bi)单元素混合标准溶液(安捷伦科技有限公司, 批号为52-229CRY2, 质量浓度均为100 $\mu\text{g} / \text{mL}$); 硝酸为分析纯, 水为超纯水。鲜河蚌肉9批, 编号S1, S2-S6, S7-S9的分别购自南京珍珠贝生物科技有限公司、上海青浦香花桥农贸市场、杭州康仑中药饮片有限公司, 经上海交通大学药学院王梦月副教授鉴定为正品。来源信息见表1。

表1 鲜河蚌肉来源信息

Tab. 1 Sources of fresh mussel meat

编号	批号	产地	类型	编号	批号	产地	类型
S1	20051230	浙江湖州	育珠蚌	S6	20201205C	上海青浦	育珠蚌
S2	20201121	上海青浦	食用蚌	S7	20220901	浙江诸暨	育珠蚌
S3	20201128	上海青浦	食用蚌	S8	20221011	浙江诸暨	育珠蚌
S4	20201205A	上海青浦	育珠蚌	S9	20230413	浙江诸暨	育珠蚌
S5	20201205B	上海青浦	育珠蚌				

2 方法与结果

2.1 试验条件

等离子体射频功率: 1 550 W; 射频匹配: 1.8 V; 等离子体气体流速: 15.0 L / min; 辅助气体(氩气)流速: 0.90 L / min; 雾化气流速: 1.05 L / min; 蠕动泵速: 0.1 r / s; 采样深度: 8 mm; 雾化室温度: 2 $^{\circ}\text{C}$; 样品引入时间: 30 s; 样品引入转速: 0.30 r / s; 进样针冲洗1时间: 10 s, 冲洗速率: 0.30 r / s; 进样针冲洗2时间: 20 s, 冲洗速率: 0.10 r / s。调谐模式: No Gas模式; 数据分析方法: 全定量分析; 数据分析模式: 质谱图; 峰形为3个点, 扫描100次, 重复3次。选取同位素⁶³Cu、⁷⁵As、¹¹⁴Cd、²⁰²Hg、²⁰⁸Pb, 分别以⁷²Ge、¹¹⁵In、²⁰⁹Bi为内标。仪器的内标进样管在仪器分析工作过程中始终插入内标溶液中。

2.2 溶液制备

单一标准品溶液: 分别精密量取Cu、As、Cd、Hg、Pb单元素标准溶液各适量, 分别用10%硝酸溶液稀释, 制成每1 mL分别含上述元素10 μg 、0.5 μg 、1.0 μg 、1.0 μg 、1.0 μg 的溶液, 即得。

标准曲线工作液: 精密量取Cu、As、Cd、Pb单一标准品溶液各适量, 用10%硝酸溶液稀释, 制成每1 mL分别含Pb 0, 1, 5, 10, 20 ng, As 0, 1, 10, 20, 200 ng, Cd 0, 0.5, 2.5, 5, 10 ng, Cu 0, 50, 100, 200, 500 ng的系列标准品混合溶液。精密量取Hg单一标准品溶液适量, 用10%硝酸溶液稀释, 制成每1 mL分别含Hg 0, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 ng的溶液, 即得。

内标溶液: 精密量取Ge、In、Bi单元素混合标准溶

液适量,用水稀释制成每1 mL各含1 μg的混合溶液,即得。

供试品溶液:医院制剂室用鲜河蚌肉经水提浓缩干燥后制得样品。取约0.5 g,精密称定,置微波消解罐中,加硝酸8 mL,密闭,并按程序进行消解(消解条件见表2)。消解完全后,冷却至60 °C以下,取出消解罐,冷却至室温,将消解液转入50 mL容量瓶中,用少量水洗涤消解罐3次,洗液合并于同一容量瓶中,加入Au标准溶液(质量浓度1 μg/mL)200 μL,加水定容,摇匀,即得。

表2 微波消解条件

Tab. 2 Conditions of microwave digestion

步骤	温度(°C)	保温时间(min)	步骤	温度(°C)	保温时间(min)
1	80	2	4	160	2
2	110	2	5	170	2
3	140	2	6	180	30

空白溶液:按供试品溶液制备方法制备不加样品和Au标准溶液的空白溶液。

2.3 方法学考察

线性关系考察:取2.2项下标准曲线工作液适量,按2.1项下试验条件进样测定,记录仪器响应值,以待测元素质量浓度(X , ng/mL)为横坐标、仪器响应值(Y)为纵坐标进行线性回归。结果见表3。

表3 线性关系及检测限、定量限考察结果

Tab. 3 Results of the linear relation test, LOD and LOQ investigation

元素	回归方程	r	线性范围(ng/mL)	检测限(mg/kg)	定量限(mg/kg)
Cu	$Y_1 = 0.1610X_1 + 0.0156$	0.9998	0~500	0.0205	0.0682
As	$Y_2 = 0.0058X_2 + 0.0022$	1.0000	0~200	0.0045	0.0149
Cd	$Y_3 = 0.0066X_3 + 3.0085 \times 10^{-5}$	0.9996	0~10	0.0008	0.0027
Hg	$Y_4 = 0.0012X_4 + 4.3437 \times 10^{-6}$	0.9996	0~5	0.0042	0.0141
Pb	$Y_5 = 0.1610X_5 + 0.0156$	0.9998	0~20	0.0051	0.0170

检测限与定量限考察:取2.2项下空白溶液11份,按2.1项下试验条件重复进行测定,记录仪器响应值并计算其标准偏差,以3倍、10倍标准偏差对应的各待测元素含量分别作为检测限和定量限。结果见表3。

精密度试验:取2.2项下标准曲线工作液(含Cu 50.0 ng/mL, As 1.0 ng/mL, Cd 0.5 ng/mL, Hg 0.2 ng/mL, Pb 1.0 ng/mg)适量,按2.1项下试验条件进样测定6次,记录仪器响应值。结果Cu、As、Cd、Hg、Pb仪器响应值的RSD分别为0.40%, 3.38%, 3.34%, 4.87%, 2.25% ($n = 6$),表明仪器精密度良好。

重复性试验:取样品(编号S9)适量,按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下试验条件进样测定,记录仪器响应值,并计算含量。结果Cu、As、Cd、Hg、Pb的平均含量分别为2.36, 0.95, 0.07, 0.03, 0.13 mg/kg,

RSD分别为0.98%, 2.37%, 1.80%, 4.75%, 1.70% ($n = 6$),表明方法重复性良好。

加样回收试验:取已知含量样品(编号S9)适量,各6份,加入含Cu、As、Cd、Hg、Pb分别为1.0, 0.5, 0.05, 0.1, 0.1 μg的溶液0.5 mL,按2.1项下试验条件进样测定,记录仪器响应值并计算加样回收率。结果见表4。

表4 加样回收试验结果($n = 6$)

Tab. 4 Results of the recovery test ($n = 6$)

待测元素	取样量(g)	样品含量(μg)	加入量(μg)	测得量(μg)	回收率(%)	\bar{X} (%)	RSD(%)
Cu	0.2506	0.5917	0.5	1.0866	98.98	99.60	0.84
	0.2501	0.5906	0.5	1.0904	99.96		
	0.2503	0.5910	0.5	1.0874	99.28		
	0.2511	0.5929	0.5	1.0858	98.58		
	0.2507	0.5920	0.5	1.0966	100.92		
	0.2513	0.5934	0.5	1.0927	99.86		
As	0.2506	0.2386	0.25	0.5272	115.44	106.16	6.03
	0.2501	0.2382	0.25	0.5008	105.04		
	0.2503	0.2383	0.25	0.4922	101.56		
	0.2511	0.2391	0.25	0.5139	109.92		
	0.2507	0.2387	0.25	0.5081	107.76		
	0.2513	0.2393	0.25	0.4824	97.24		
Cd	0.2506	0.0181	0.025	0.0449	107.20	108.93	1.15
	0.2501	0.0181	0.025	0.0453	108.80		
	0.2503	0.0181	0.025	0.0451	108.00		
	0.2511	0.0181	0.025	0.0454	109.20		
	0.2507	0.0181	0.025	0.0455	109.60		
	0.2513	0.0181	0.025	0.0458	110.80		
Hg	0.2506	0.0086	0.05	0.0653	113.40	115.30	3.56
	0.2501	0.0086	0.05	0.0680	118.80		
	0.2503	0.0086	0.05	0.0670	116.80		
	0.2511	0.0086	0.05	0.0628	108.40		
	0.2507	0.0086	0.05	0.0684	119.60		
	0.2513	0.0086	0.05	0.0660	114.80		
Pb	0.2506	0.0325	0.05	0.0843	103.60	103.40	0.55
	0.2501	0.0324	0.05	0.0840	103.20		
	0.2503	0.0325	0.05	0.0839	102.80		
	0.2511	0.0326	0.05	0.0840	102.80		
	0.2507	0.0325	0.05	0.0846	104.20		
	0.2513	0.0326	0.05	0.0845	103.80		

2.4 样品含量测定

取样品适量,按2.2项下方法制备供试品溶液,按2.1项下试验条件进样测定,结果见表5。9批样品中Cu、As、Cd、Hg、Pb的含量分别为1.61~9.90 mg/kg、0.95~10.10 mg/kg、0.01~0.55 mg/kg、0.01~0.04 mg/kg、0.03~1.60 mg/kg。

表5 样品含量测定结果(mg/kg, n=2)

Tab. 5 Results of content determination of five elements in samples (mg/kg, n=2)

编号	Cu	As	Cd	Hg	Pb	编号	Cu	As	Cd	Hg	Pb
S1	1.61	2.62	0.04	0.04	0.25	S6	7.45	3.65	0.15	0.03	0.89
S2	9.90	3.20	0.55	0.02	0.86	S7	2.80	2.60	0.03	0.02	0.07
S3	6.78	3.85	0.34	0.03	1.60	S8	2.25	10.10	0.01	0.01	0.03
S4	9.55	5.90	0.14	0.02	0.70	S9	2.36	0.95	0.07	0.03	0.13
S5	9.40	4.45	0.18	0.03	0.84						

中药材及其提取物中重金属及有害元素限量标准主要有3个,即2020年版《中国药典(四部)》指导原则9302中药有害残留物限量制定项^[10]下重金属及有害元素一致性限量指导值(Cu、As、Cd、Hg、Pb分别不得过20,2,1,0.2,5 mg/kg),2001年公布的《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》^[11](最严格,Cu、As、Cd、Hg、Pb分别不得过20,2,0.3,0.2,5 mg/kg)和2005年国际标准化组织颁布的《中医药-中药材重金属限量》^[12](As、Cd、Hg、Pb分别不得过4,2,3,10 mg/kg,Cu未作规定)。以《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》中限量值为标准,分别计算9批样品测定值与限量值的比值(测定值/限量值),以比值>1的样品为超标样品,结果显示Cu、Hg和Pb均符合限量标准,As和Cd中分别有8批、2批样品存在超标现象。

3 讨论

重金属和有害元素超标引发的安全问题日益受到重视,国际人用药品注册技术协调会(ICH)元素杂质指导原则(Q3D, R2)中建议的口服每日允许暴露量^[13],Cu、As、Cd、Hg、Pb分别为每日3 000,15,5,30,5 μg。以每日服用提取物量2 g计,本研究中仅编号S8样品中As超过每日允许暴露量。

对水产品重金属风险评估中,发现蚌类和贝类重金属超标风险较高^[14-15],鲜河蚌水提取物中,As元素超标批次较多,As来源主要与农药使用和养鸡场鸡禽粪污处理不当有关,因此在考察和选择鲜河蚌肉产地时,要特别注意周边的环境和农药使用情况。As的提取转移率可达80%,而鲜河蚌肉水提取物(干浸膏)得率仅约为5%,因此有必要注意提取环节As元素的提取富集风险^[16]。2批食用蚌样品(编号S2、S3)中Cd均超标,其他育珠蚌样品中Cd均符合要求,说明育珠蚌养殖场的Cd污染风险低于普通河流。浙江诸暨和湖州产的4批样品中的Cd和Pb含量少于上海青浦产的样品;且Cu元素含量多于9 mg/kg的样品均产自上海青浦;9批样品中Hg含量差异较小。

综上所述,本研究中所建方法能用于测定鲜河蚌肉水提取物中Cu、As、Cd、Hg、Pb的含量;有必要加强对不同产地和水质环境下河蚌重金属及有害元素污染风险评估,进一步积累数据,选用合适产地,制订合理的控制标准,为其安全使用提供保障。

参考文献

- [1] 浙江省食品药品监督管理局. 浙江省中药材标准(第一册)[EB/OL]. (2017-09-26)[2023-08-10]. http://mpa.zj.gov.cn/art/2017/9/26/art_1228989285_41327950.html.
- [2] 湖北省药品监督管理局. 湖北省中药材质量标准[M]. 北京:中国医药科技出版社,2019:186-187.
- [3] 陈贵廷. 本草纲目通释[M]. 北京:学苑出版社,1992:2008-2009.
- [4] 江苏新医学院. 中药大辞典[M]. 上海:上海人民出版社,1977:1848.
- [5] 汪桂玲,白志毅,刘晓军,等. 三角帆蚌种质资源研究进展[J]. 水产学报,2007,38(9):1618-1627.
- [6] 袁孟杰. 不同生态位河流动物对底泥重金属迁移转化的影响研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [7] 丁婷婷,杜士林,王宏亮,等. 嘉兴市河网重金属污染特征及生态风险评估[J]. 环境化学,2020,39(2):500-510.
- [8] 项黎新,邵健忠. 三角帆蚌对水体Cr、Pb和Cd的净化与吸收[J]. 浙江大学学报:理学版,2002,29(5):569-572.
- [9] 刘立婷,陈希超,于云江,等. 广州市售水产品中重金属健康风险评估及消费建议[J]. 环境与健康杂志,2019,36(8):731-735.
- [10] 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.
- [11] WM/T2-2004,药用植物及制剂外经贸绿色行业标准[S].
- [12] ISO 18664: 2005 Traditional Chinese Medicine - Determination of Heavy Metals in Herbal Medicines Used in Traditional Chinese Medicine [EB/OL]. (2015-08-01)[2023-08-10]. <http://www.iso.org/standard/63150.html>.
- [13] ICH. ICH Q3D (R2) guideline for elemental impurities [EB/OL]. (2022-04-26)[2022-04-24]. https://database.ich.org/sites/default/files/Q3D-R2_Guideline_Step4_2022_0308.pdf.
- [14] 陈清德,黄艳桃,唐琼,等. 2017-2020年广西市售水产品重金属污染评价及健康风险评估[J]. 职业与健康,2021,37(9):2332-2335.
- [15] 郑浩然,陈修报,刘洪波,等. 基于背角无齿蚌生物监测鄱阳湖和微山湖的重金属污染[J]. 环境监测管理与技术,2021,33(4):49-52.
- [16] 罗汝锋,周静仪,蓝泽基,等. 不同灵芝重金属含量及其水提取转移率分析[J]. 现代食品,2022,28(14):205-208.

(收稿日期:2023-09-18;修回日期:2024-02-20)