

美洲大蠊粪便中金属元素含量的电感耦合等离子体发射光谱法测定

黄磊¹, 黄永明², 鄢婷¹, 崔书赞¹, 杨云川¹,

王家鹏¹, 肖怀^{1*}

(1. 云南省昆虫生物医药研发重点实验室, 药学院, 药用特种昆虫开发国家地方联合工程研究中心, 大理大学, 云南大理 671000;

2. 云南京新生物科技有限公司, 云南巍山 672401)

摘要: 为建立美洲大蠊 *Periplaneta americana* L. 粪便中多种金属元素的检测方法并测定含量, 通过样品经微波消解、混合金属离子标准溶液作对照、电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES) 测定砷 As、镉 Cd、铝 Al、镍 Ni、铜 Cu、汞 Hg、铬 Cr、钴 Co、铅 Pb、锰 Mn 及铁 Fe 共 11 种金属元素含量。结果表明, 待测元素在浓度范围内线性关系良好, 相关系数 $r \geq 0.9990$, 该方法检测限为 0.001~0.067 $\mu\text{g/mL}$, 平均加标回收率为 96.37%~102.01%, RSD 在 2.82%~13.49% 内, 重复性和精密度的 RSD 均小于 5.0%。美洲大蠊若虫、成虫粪便中均检测出 Al、Ni、Cu、Cr、Mn 和 Fe 等 6 种元素, 平均含量顺序为 $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr}$, 若虫中各元素含量略低于成虫, 其余 As、Cd、Hg、Co 和 Pb 5 种元素均未检出。ICP-OES 法同时测定美洲大蠊粪便中多种金属元素含量, 其含有 Al、Ni、Cu、Cr、Mn 和 Fe 等 6 种元素, 含量随虫龄增长略有增加; As、Cd、Hg 和 Pb 等有害金属元素均未检出。本研究可为美洲大蠊粪便在医药应用中的潜在价值及安全性评估提供初步的理论依据。

关键词: 美洲大蠊; 粪便; 电感耦合等离子体发射光谱法; 金属元素; 含量测定

中图分类号: Q968.1;

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2024)00-0000-00

Determination of metal elements in the feces of *Periplaneta americana* by inductively coupled plasma emission spectrometry

HUANG Lei¹, HUANG Yong-Ming², YAN Ting¹, CUI Shu-Zan¹, YANG Yun-Chuan¹, WANG Jia-Peng¹, XIAO Huai^{1*} (1. Yunnan Provincial Key Laboratory of Entomological

基金项目: 国家自然科学基金 (81960755, 82160822); 云南省中药饮片产业发展专项资金 (2019-YG-067); 云南省重大科技专项计划 (202002AA100007); 云南省“兴滇英才支持计划”团队专项 (202305AS350001)

作者简介: 黄磊, 女, 硕士研究生, 研究方向为药品检验及质量控制, E-mail: hl806333566@163.com

*通讯作者 Author for correspondence: 肖怀, 女, 博士, 教授, 主要从事药用昆虫活性物质基础及药理药效研究, E-mail: xiaohuai@dali.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-06-13; 接受日期 Accepted: 2024-09-19

Biopharmaceutical R&D, College of Pharmacy, National-Local Joint Engineering Research Center of Entomocutics Dali University, Dali 671000, Yunnan Province, China; 2. Yunnan Jingxin Biotechnology Co., Ltd, Weishan 672401, Yunnan Province, China)

Abstract: Development of a method for the simultaneous determination of various metallic elements in the feces of *Periplaneta americana* L.. The samples were dissolved by microwave, and the mixed metal ion standard solution was used as the control. Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) was used to determine the contents of 11 metal elements, including Arsenic As, Cadmium Cd, Aluminum Al, Nickel Ni, Copper Cu, Mercury Hg, Chromium Cr, Cobalt Co, Lead Pb, Manganese Mn and Iron Fe. The linearity of the elements to be measured was good in the concentration range with the correlation coefficient $r \geq 0.9990$. The detection limits of the method were 0.001-0.067 $\mu\text{g/mL}$, and the average spiked recoveries were 96.37%-102.01% with the RSDs in the range of 2.82%-13.49%, and the RSDs of the reproducibility and precision were both less than 5.0%. Six elements, including Al, Ni, Cu, Cr, Mn, and Fe, were detected in the feces of both nymphs and adults of *P. americana*. The average content order is $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr}$. The content of each element in nymphs is slightly lower than that in adults, while the other five elements, As, Cd, Hg, Co, and Pb, were not detected. The ICP-OES method can simultaneously determine the content of multiple metal elements in the feces of *P. americana*, Which contains six elements including Al, Ni, Cu, Cr, Mn, and Fe, and their content slightly increases with the increase of insect age. Harmful metal elements such as As, Cd, Hg, and Pb were not detected. This study can provide a preliminary theoretical basis for the potential value and safety assessment of the feces of *P. americana* in medical applications.

Key words: *Periplaneta americana*; faeces; inductively coupled plasma optical emission spectrometry; metal elements; content determination

“粪便”作为中药材，其历史源远流长，见证了传统中医药的深厚底蕴。近年来，粪便类中药不断获得新的诠释，与现代医学的结合为其赋予了新的生命力。李强等报道蚕砂联合光动力治疗大鼠类风湿性关节炎的作用及机制（李强等，2019）；五灵脂具有活血化瘀、止痛的功效，临床应用广泛，多见于复方中用于妇科疾病、心脑血管疾病以及胃溃疡等方面的治疗（李叙颖，2017；李娅琦，2020）。

美洲大蠊 *Periplaneta americana* L.为昆虫纲有翅亚纲蜚蠊目蜚蠊科大蠊属昆虫，俗称蟑螂。其药用历史悠久，最早记载于《神农本草经》，多用于治疗活血散瘀、疮痈肿毒和症瘕

积聚等（孙星衍，1955；白月苹等，2020）。现代药理研究表明，美洲大蠊具有抗菌消炎、抗病毒和抗肿瘤等良好的生物活性（Gao *et al.*, 2016; Ren *et al.*, 2017; Zeng *et al.*, 2019），已开发出康复新液、心脉隆注射液以及肝龙胶囊等上市中药。为保障制药企业合格的原料供应，美洲大蠊已形成规模化的标准养殖加工产业链，其中美洲大蠊粪便是该产业链中产量巨大的主要副产物之一，探索其可能得医药应用价值，对拓展产业链，增加产品附加值意义非凡。

有关美洲大蠊粪便的医药用途相关研究，主要有以下几个报告：王子延等报道从中分离并鉴定了包括多种喹啉酮类在内的 12 个化合物（王子延等，2021），明确了美洲大蠊粪便提取物具有明显的 DPPH 自由基清除作用；单鲁豫等通过建立大鼠离体心脏灌流模型，进一步开展了美洲大蠊粪便提取物对大鼠正常离体心脏功能作用的探究（单鲁豫等，2023）。

金属元素作为中药材的重要组成部分，与药材的药性、药效乃至毒副作用密切相关（朱仁愿等，2019）。Pb、Cd、As、Hg、Cu 等重金属和有害元素存在基本不降解、体内代谢慢等特点，长期摄入可能会被人体吸收蓄积至一定量后，引起神经系统、内分泌系统、肝脏、肾脏、免疫系统等的损害，导致严重的健康问题（朱海兰等，2021）。Fe、Mn 及 Cu 等微量元素在人体内不但能促进机体合成生命活动所需要的各种物质，而且还能够提高各种酶的活性，加强机体的免疫功能（萨日娜等，2018；Ni *et al.*, 2022）。从安全性的角度考虑，对美洲大蠊粪便中金属元素的研究具有重要意义，这不仅可以为我們提供更多关于美洲大蠊粪便的化学信息，也有助于我们更全面地了解其潜在的药理作用和安全性。金属元素的检测常用原子吸收光谱法（AAS）、原子荧光光谱法（AFS）及 ICP-OES 等（李焘等，2011；潘巧灵等，2018），其中 ICP-OES 法不仅在多元素分析中具有明显的优势，而且分析过程简单快速，灵敏度和准确度高等特点（康璧等，2018；马杰等，2020；Wang *et al.*, 2023）。

本研究通过微波消解结合 ICP-OES 法，建立美洲大蠊粪便中多种金属元素含量测定方法，并比较美洲大蠊若虫和成虫粪便中各金属元素含量差异，为美洲大蠊粪便的开发应用及其安全性提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

美洲大蠊粪便为云南省大理白族自治州巍山县美洲大蠊标准化养殖基地提供。

硝酸（重庆川东化工有限公司，批号 20180901）；砷（As）标准溶液（钢研纳克检测技术股份有限公司，批号 22030935）；镉（Cd）标准溶液（钢研纳克检测技术股份有限公

司，批号 22041465)；铝 (Al) 标准溶液 (坛墨质检-标准物质中心，批号 B22050016)；镍 (Ni) 标准溶液 (坛墨质检-标准物质中心，批号 B21110150)；铜 (Cu) 标准溶液 (钢研纳克检测技术股份有限公司，批号 22011835)；汞 (Hg) 标准溶液 (钢研纳克检测技术股份有限公司，批号 22032835)；铬 (Cr) 标准溶液 (钢研纳克检测技术股份有限公司，批号 22021530)；钴 (Co) 标准溶液 (坛墨质检-标准物质中心，批号 B22030256)；铅 (Pb) 标准溶液 (钢研纳克检测技术股份有限公司，批号 22041130)；锰 (Mn) 标准溶液 (坛墨质检-标准物质中心，批号 B22060149)；铁 (Fe) 标准溶液 (坛墨质检-标准物质中心，批号 B22030336)。

1.2 仪器与设备

8000 型电感耦合等离子体发射光谱仪 (美国珀金埃尔默)；Multiwave PRO 型微波消解仪 (奥地利安东帕有限公司)；BHW-09a24 型石墨赶酸仪 (上海博通化工科技有限公司)；XGQ-2000 型电热鼓风干燥箱 (余姚市星辰仪表厂)；CLEVER-S15 型超纯水仪 (上海芷昂仪器有限公司)；FA2004 型电子分析天平 (上海精密科学仪器有限公司) 等。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

分别取新鲜美洲大蠊若虫粪便 (批号 20221216) 及成虫粪便样品 (批号 20221109, 20230317) 适量，经 50°C 烘干至恒重后，粉碎置于洁净干燥的自封袋中，于 4°C 储存备用。

1.3.2 ICP-OES 测定条件

发射功率为 1 200 W；载气流量为 12 L/min；辅助气流量为 0.50 L/min；蠕动泵速为 1.00 L/min；雾化气流量为 0.50 L/min；氩气压力为 0.65 MPa；正常进样时间为 15 s；进样流速为 1.50 mL/min；快泵流速为 4.00 mL/min；清洗时间为 5 s；积分时间为 1 s；测量次数为 2 次。检测波长为 As (193.696 nm)、Cd (228.802 nm)、Al (396.153 nm)、Ni (231.604 nm)、Cu (327.393 nm)、Hg (253.652 nm)、Cr (267.716 nm)、Co (228.616 nm)、Pb (220.353 nm)、Mn (257.610 nm)、Fe (238.204 nm)。

1.3.3 微波消解程序 (表 1)

表 1 微波消解程序

Table 1 Microwave digestion program

步骤	控制温度 (°C)	升温时间 (min)	恒温时间 (min)
Steps	Controlled temperature	Heating up time	Constant temperature time

1	120	5	5
2	150	5	10
3	180	5	15

1.3.4 系列标准测定液制备

分别精确量取浓度为 1 000 $\mu\text{g/mL}$ 的 Al 标准溶液 250.0 μL , As、Cd、Ni、Cu、Hg、Pb、Mn、Fe 标准溶液 125.0 μL 及 Cr、Co 标准溶液 62.5 μL 于 25 mL 容量瓶中, 定容, 制得标准溶液 1, 以标准溶液 1 稀释得标准溶液 2~10。

1.3.5 供试品溶液制备

精确称取样品 0.2 g 于消解罐中, 加入 8.0 mL 硝酸, 混匀, 将内罐置于通风橱中敞口或虚盖浸泡 10 h 左右, 同上述步骤制备样品空白; 将试样与空白同时置于微波消解仪中, 设置微波消解程序 (表 1) 进行消解; 消解完毕后, 缓慢打开消解罐, 注意控制开罐速度, 防止消解液喷溅造成损失, 将消解罐置于赶酸装置上, 设置温度 130 $^{\circ}\text{C}$ 赶酸大约 3~5 h, 至消解液约 0.5 mL; 将消解液用超纯水少量多次转移至容量瓶中并用超纯水定容至 10 mL, 摇匀, 使用 0.22 μm 水相滤膜过滤得供试品溶液, 等体积硝酸溶液按同法进行空白溶液制备。

1.3.6 定性分析

取“1.3.5”项下的供试品溶液和 12 批空白溶液按“1.3.2”项下的 ICP-OES 测定条件进样检测, 记录信号响应值, 计算各元素的检测限及定量限。

1.3.7 方法学考察

1.3.7.1 线性关系考察

取“1.3.4”项下系列标准溶液按“1.3.2”项下 ICP-OES 测定条件依次进样检测, 记录信号响应值。

1.3.7.2 精密度试验

精密称取样品 (批号 20221109) 按“1.3.5”项下方法制备供试品溶液, 然后按“1.3.2”项下 ICP-OES 条件连续进样测定 5 次, 记录响应值。

1.3.7.3 重复性试验

精密称取样品 (批号 20221109) 共 5 份, 按“1.3.5”项下方法制备供试品溶液, 然后按“1.3.2”项下 ICP-OES 条件进样测定, 记录响应值。

1.3.7.4 稳定性试验

精密称取样品 (批号 20221109) 按“1.3.5”项下方法制备供试品溶液, 然后按“1.3.2”

项下 ICP-OES 条件，每 30 min 进样测定 1 次，共测定 5 次，记录响应值。

1.3.7.5 加标回收试验

精密称取已知含量的样品（批号 20221109），共 3 份，按“1.3.5”项下方法制备供试品溶液，分别取 5 mL 按低、中、高质量浓度加入一定量的多元素混合标准溶液，定容至 10 mL，混匀后制得加标溶液，平行制备 3 份，然后按“1.3.2”项下 ICP-OES 条件进样测定，记录响应值并计算平均加标回收率及 RSD。

1.3.8 样品测定

将美洲大蠊粪便样品按照实验步骤用 ICP-OES 法平行测定 3 次，记录响应值，计算各待测元素含量。

2 结果与分析

2.1 定性分析结果

美洲大蠊粪便样品中 As、Cd、Hg、Co、Pb 元素浓度都低于检测限和定量限，未被检测出（表 2），故后续以检测到的其余 6 种元素进行方法学考察及含量测定。

表 2 美洲大蠊粪便金属元素定性分析结果 ($\bar{X} \pm S$, n=3, $\mu\text{g/mL}$)

Table 2 Results of qualitative analysis of metal elements in the feces of *Periplaneta americana*

元素 Elements	美洲大蠊粪便批号 Sample lot number of the feces of <i>Periplaneta americana</i>			检测限 Limit of detection	定量限 Limit of quantitation
	20221109	20230317	20221216		
	8-9 月虫龄	5-6 月虫龄	2-3 月虫龄		
	Insect age of 8-9 months	Insect age of 5-6 months	Insect age of 2-3 months		
As	-0.14 ± 0.01	-0.13 ± 0.01	-0.12 ± 0.02	0.020	0.066
Cd	-0.09 ± 0.00	-0.08 ± 0.00	-0.08 ± 0.00	0.002	0.005
Al	5.81 ± 0.12	3.40 ± 0.02	3.12 ± 0.08	0.047	0.156
Ni	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.003	0.010
Cu	0.21 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.003	0.010
Hg	-0.26 ± 0.01	-0.23 ± 0.00	-0.21 ± 0.01	0.005	0.016
Cr	0.03 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.011	0.037
Co	0.00 ± 0.00	-0.01 ± 0.00	-0.01 ± 0.00	0.001	0.004

Pb	-0.01 ± 0.03	-0.03 ± 0.00	-0.03 ± 0.49	0.015	0.049
Mn	3.09 ± 0.03	1.76 ± 0.03	1.66 ± 0.01	0.002	0.006
Fe	9.96 ± 0.17	6.71 ± 0.08	5.88 ± 0.03	0.067	0.023

2.2 方法学考察

2.2.1 线性关系考察

按照“1.3.7.1”项下进行试验，以校正强度为纵轴（y），浓度为横轴（x），得到回归方程，结果显示相关系数 r 均 ≥ 0.9990 ，测定元素在线性范围内，且线性关系良好（表3）。

表3 线性范围、标准曲线方程和线性相关系数

Table 3 Linearity range, standard curve equation and linear correlation coefficient

元素	线性范围 ($\mu\text{g/mL}$)	标准曲线方程	线性相关系数
Elements	Linearity range	Standard curve equation	Linear correlation coefficient
Al	0.010~20	$y = 318\ 056.0x + 4\ 294.5$	0.9999
Ni	0.005~3	$y = 77\ 879.0x + 17.3$	0.9999
Cu	0.005~15	$y = 254\ 509.0x + 20\ 251.0$	0.9993
Cr	0.002 5~5	$y = 293\ 183.0x + 2\ 903.7$	0.9997
Mn	0.005~15	$y = 1\ 935\ 414.7x + 63\ 933.3$	1.0000
Fe	0.005~15	$y = 180\ 287.0x + 7\ 977.4$	0.9997

2.2.2 精密度试验

按照“1.3.7.2”项下进行试验，计算RSD在0.25%~3.66%范围内，表明仪器精密度良好（表4）。

2.2.3 重复性试验

按照“1.3.7.3”项下进行试验，计算RSD在0.77%~4.98%范围内，表明方法的重复性良好（表4）。

2.2.4 稳定性试验

按照“1.3.7.4”项下进行试验，计算RSD在0.61%~6.22%范围内，表明溶液稳定性良好（表4）。

2.2.5 加标回收试验

按照“1.3.7.5”项下进行试验，计算平均加标回收率及RSD，平均加样回收率96.37%~102.01%，RSD在2.82%~13.49%内（表4）。

表 4 精密度、重复性、稳定性和加标回收率试验结果 (%)

Table 4 Test results of precision, repeatability, stability and spiked recovery rate

元素 Elements	精密度 Precision RSD	重复性 Repeatability RSD	稳定性 Stability RSD	平均回收率 Average recovery rate	平均回收率 Average recovery rate RSD
Al	0.25	4.28	1.18	96.37	13.49
Ni	3.66	2.02	6.22	100.28	8.45
Cu	0.40	0.79	1.32	98.94	4.81
Cr	1.50	2.41	1.25	100.53	4.84
Mn	0.48	0.77	0.61	102.01	2.82
Fe	0.37	4.98	1.37	97.97	5.20

2.3 样品测定

美洲大蠊粪便中 As、Cd、Hg、Co、Pb 5 种元素含量低于检测限而未检出；若虫、成虫粪便中均能检出 Al、Ni、Cu、Cr、Mn 和 Fe 6 种元素（表 5），其中 Fe、Al、Mn 3 种元素含量比较高，成虫粪便中的含量分别为 335.44 ± 4.09 、 170.02 ± 0.80 、 88.25 ± 1.72 mg/kg，Cu、Ni、Cr 3 种元素含量分别为 6.70 ± 0.04 、 2.60 ± 0.19 、 0.75 ± 0.05 mg/kg；若虫粪便中 6 种元素含量分别为 293.98 ± 1.72 、 156.18 ± 3.83 、 82.85 ± 0.45 、 5.74 ± 0.26 、 2.02 ± 0.07 、 0.67 ± 0.03 mg/kg。检出的 6 种金属元素，在成虫粪便中的含量略高于若虫粪便，但差异不大，可能原因是成虫和若虫的生长发育阶段不同，其代谢速率和消化能力可能存在差异，所以其粪便中残留的金属元素含量会有所不同。

表 5 美洲大蠊粪便 11 种金属元素含量检测结果 ($\bar{X} \pm S$, n=3, mg/kg)

Table 5 Detection results of 11 metal elements in the feces of *Periplaneta americana*

元素 Elements	美洲大蠊粪便样品批号 Sample lot number of the feces of <i>Periplaneta americana</i>		
	20221109	20230317	20221216
	8-9 月虫龄	5-6 月虫龄	2-3 月虫龄
	Insect age of 8-9 months	Insect age of 5-6 months	Insect age of 2-3 months
As	-	-	-
Cd	-	-	-

Al	290.56 ± 5.80	170.02 ± 0.80	156.18 ± 3.83
Ni	1.88 ± 0.06	2.60 ± 0.19	2.02 ± 0.07
Cu	10.46 ± 0.13	6.70 ± 0.04	5.74 ± 0.26
Hg	-	-	-
Cr	1.29 ± 0.04	0.75 ± 0.05	0.67 ± 0.03
Co	-	-	-
Pb	-	-	-
Mn	154.32 ± 1.47	88.25 ± 1.72	82.85 ± 0.45
Fe	497.84 ± 8.27	335.44 ± 4.09	293.98 ± 1.72

注：表中“-”表示未检出。Note: “-” meant not detected.

3 结论与讨论

3.1 金属元素含量与生物学功能的分析

现代医学和药物研究领域，粪豆类药材以其独特的药用价值受到越来越多的关注，应用前了解其金属元素的含量及对人体健康的潜在影响，显得尤为重要（李耀磊等，2023）。

本研究首次揭示了美洲大蠊粪便中 Fe、Al、Mn 等元素的显著富集以及 Cr、Ni、Cu 的微量存在，Fe 和 Mn 的高含量强调了其在美洲大蠊生理活动中的重要性。Fe 作为血红蛋白和酶的关键成分，对造血和免疫系统的关键作用已被广泛认可（周杰和胡莲，2016）；Mn 在造血、脂肪氧化及酶活性中的多重角色也已被深入研究（杜静等，2012）。Al 元素在昆虫体内的具体作用尚未完全明确，但对人体健康的潜在危害（如神经系统毒性）强调着进一步研究的必要性（姜鑫等，2023）。Cr、Ni、Cu 等元素在美洲大蠊粪便中含量相对较低，但在机体生理方面同样发挥着重要作用（吴茂江，2014；贾成厂，2023）。

3.2 重金属和有害金属元素的安全性评估

参照 2020 年版《中国药典》（四部）对植物药规定的部分重金属和有害元素限量（国家药典委员会，2020）（ $Pb \leq 5 \text{ mg/kg}$ 、 $Cd \leq 1 \text{ mg/kg}$ 、 $As \leq 2 \text{ mg/kg}$ 、 $Hg \leq 0.2 \text{ mg/kg}$ 、 $Cu \leq 20 \text{ mg/kg}$ ），美洲大蠊粪便中 5 种元素 Pb、Cd、As、Hg、Cu 所有检测值均低于限量值。该结果提示美洲大蠊粪便的安全性，也说明在标准化养殖条件下，美洲大蠊不存在重金属摄入超标的问题。

3.3 不同生长发育阶段对金属元素吸收利用的探讨

本研究首次揭示了不同虫龄的美洲大蠊粪便中 6 种金属元素含量存在着微妙而显著的变化规律，随着虫体的逐渐成熟，粪便中金属元素含量呈递增趋势，可能是虫体在不同发育

阶段对环境中金属元素吸收效率与体内利用效率差异化表达的结果。这为探究美洲大蠊生长发育与元素代谢之间的关系提供一定的数据支持,养殖实践中可根据生长阶段调整营养供给,以优化金属元素及其他关键营养物质的吸收效率,提升养殖效益与产品质量,从而推动昆虫资源可持续利用与生态友好型发展。

综上,本研究中采用 ICP-OES 法对美洲大蠊若虫及成虫粪便中 11 种金属元素含量进行测定。结果表明不同虫龄的美洲大蠊粪便中均检出了 Al、Ni、Cu、Cr、Mn 和 Fe 6 种元素,含量均在限量范围内,而有害金属 As、Cd、Hg 和 Pb 元素则未检出。这一研究成果不仅为美洲大蠊粪便的资源开发与利用提供了重要的技术支持,也为相关领域的科学研究提供了一定的数据参考。

参考文献 (References)

- Bai YP, Liu HB, Ren Y, *et al.* Herbal evidence for cockroach [J]. *Sichuan Animal*, 2020, 39 (1): 116-120. [白月苹, 刘海波, 任艳, 等. 蜚蠊的本草考证 [J]. 四川动物, 2020, 39 (1): 116-120]
- Du J, Qin MJ, Huang LF, *et al.* Determination of trace elements in Dendrobium and their safety evaluation [J]. *Chinese Pharmacy*, 2012, 23 (47): 4477-4479. [杜静, 秦民坚, 黄林芳, 等. 石斛中微量元素的含量测定及其安全性评价 [J]. 中国药房, 2012, 23 (47): 4477-4479]
- Gao J, Jiang Y, Niu L, *et al.* Novel Isoflavone from the Cockroach *Periplaneta americana* [J]. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016, 52 (3): 413-416.
- Jia CC. Crucial for Human Health — Fun Facts About Copper [J]. *World of Metals*, 2023, 2: 14-19. [贾成厂. 对人体健康至关重要-铜的趣话 [J]. 金属世界, 2023, 2: 14-19]
- Jiang X, Wang C, Wu Q, *et al.* A study on the determination of aluminum content in traditional Chinese medicine compositions [J]. *Branding and Standardization*, 2023, 2: 97-99. [姜鑫, 王超, 吴琼, 等. 中药制剂中铝元素含量测定的研究 [J]. 品牌与标准化, 2023, 2: 97-99]
- Kang B, Zhu Q, Wu Y. A methodological study on the determination of 12 trace elements in Shiquan Dabu wan by inductively coupled plasma emission spectrometry [J]. *Chinese Pharmacy*, 2018, 29 (5): 637-639. [康璧, 朱琼, 吴芸. 电感耦合等离子体发射光谱法测定十全大补丸中 12 种微量元素含量的方法研究 [J]. 中国药房, 2018, 29 (5): 637-639]
- Li D, Qu XY, Zhang XG, *et al.* Determination of metal elements in herbs of two different sources of Rhizoma Paridis by microwave digestion-flame atomic absorption spectrometry [J]. *Spectroscopy Laboratory*, 2011, 28 (1): 113-117. [李焘, 屈新运, 张序贵, 等. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定 2 种不同来源重楼药材中的金属元素含量 [J]. 光谱实验室, 2011, 28 (1): 113-117]
- Li Q, Shi WJ, Miao DB, *et al.* Effects and mechanisms of silkworm sand combined with photodynamic therapy for rat rheumatoid arthritis [J]. *Clinical Research on Traditional Chinese Medicine*, 2019, 11 (13): 21-23. [李强, 石文军, 苗东滨, 等. 蚕砂联合光动

- 力治疗大鼠类风湿性关节炎的作用及机制 [J]. 中医临床研究, 2019, 11 (13): 21-23]
- Li SY. Experimental study on the effect of Wulingzhi Kuanzhong Decoction in treatment of peptic ulcer [D]. Yanji: Yanbian University, 2017. [李叙颖. 五灵脂宽中汤治疗消化性溃疡的实验研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2017]
- Li YL, Li HL, Zan K, *et al.* Study and safety evaluation of heavy metals and arsenic morphology and valence in Wu Ling Lipid [J]. *Drug Evaluation Research*, 2023, 46 (11): 2354-2359. [李耀磊, 李海亮, 管珂, 等. 五灵脂中重金属及砷形态、价态的研究和安全性评价 [J]. 药物评价研究, 2023, 46 (11): 2354-2359]
- Li YQ. Study on the Spectrum-effect Relationship of the Anticoagulant Effect of Flying Squirrel's Droppings and the Improvement of Quality Standard [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2020. [李娅琦. 五灵脂抗凝血作用谱效关系及质量标准完善研究 [D]. 北京中医药大学, 2020]
- Ma J, Ding Y, Fang L, *et al.* Determination and correlation analysis of 13 trace elements in *Achyranthes aspera* by inductively coupled plasma emission spectrometry [J]. *China Pharmaceutical*, 2020, 29 (17): 71-73. [马杰, 丁野, 方磊, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定土牛膝中 13 种微量元素及相关性分析 [J]. 中国药业, 2020, 29 (17): 71-73]
- National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: four parts [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 522. [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: 522]
- Ni S, Yuan Y, Kuang Y, *et al.* Iron metabolism and immune regulation [J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 1-11.
- Pan QL, Jiang B, Li HH, *et al.* Determination of 14 metals in 4 Guangxi characteristic lung-clearing herbs by microwave digestion-atomic absorption [J]. *Modern Horticulture*, 2018, 19: 41-43. [潘巧灵, 姜波, 李欢欢, 等. 微波消解-原子吸收法测定 4 种广西特色清肺药材中 14 种金属含量 [J]. 现代园艺, 2018, 19: 41-43]
- Ren PW, Yang WJ, Wang DD, *et al.* Kangfuxinye enema combined with mesalamine for ulcerative colitis: A systematic review and GRADE approach [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2017, 2017: 1-15.
- Sa RN, Wang LX, Chen W, *et al.* Study on the contents of 7 inorganic elements in 20 wind-expelling medicine and their correlation [J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine Information*, 2018, 25 (5): 90-95. [萨日娜, 王丽霞, 陈雯, 等. 20 种风药中 7 种无机元素含量及其相关性研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2018, 25 (5): 90-95]
- Shan LY, Wang ZY, Zhang YP, *et al.* Studies on the effect of fecal extracts of the *Periplaneta Americana* on isolated cardiac function in rats [J]. *Tianjin Traditional Chinese Medicine*, 2023, 40 (4): 490-494. [单鲁豫, 王子延, 张亚平, 等. 美洲大蠊粪便提取物对大鼠离体心脏功能的影响研究 [J]. 天津中医药, 2023, 40 (4): 490-494]
- Sun XY. Shennong's Herbal Classics [M]. Shanghai: The Commercial Press, 1955: 90. [孙星衍. 神农本草经 [M]. 上海: 商务印书馆, 1955: 90]
- Wang JH, Long JQ, Yang F, *et al.* Open acid dissolution-Ammonia solution extraction ICP-OES rapid determination of 7 trace metal elements in soil [J]. *PLoS ONE*, 2023, 18 (10): 1-8.
- Wang ZY, Wu D, Zhu L, *et al.* Study on antioxidant activity and chemical constituents of the fecal extracts of *Periplaneta Americana* [J].

- Tianjin Traditional Chinese Medicine*, 2021, 38 (8): 1056-1061. [王子延, 吴丹, 牛璐, 等. 美洲大蠊粪便提取物抗氧化活性及其化学成分研究 [J]. 天津中医药, 2021, 38 (8): 1056-1061]
- Wu MJ. Chromium and human health [J]. *Trace Elements and Health Research*, 2014, 31 (4): 72-73. [吴茂江. 铬与人体健康 [J]. 微量元素与健康研究, 2014, 31 (4): 72-73]
- Wu MJ. Nickel and human health [J]. *Trace Elements and Health Research*, 2014, 31 (1): 74-75. [吴茂江. 镍与人体健康 [J]. 微量元素与健康研究, 2014, 31 (1): 74-75]
- Zeng C, Liao Q, Hu Y, *et al.* The role of *Periplaneta americana* (Blattodea: Blattellidae) in modern versus traditional chinese medicine [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2019, 56 (6): 1522-1526.
- Zhou J, Hu L. Determination of Ca, Fe, Mg and Na in 6 mineral Chinese Medicinal materials by ICP-OES [J]. *Northern Pharmacy*, 2016, 13 (2): 14-15. [周杰, 胡莲. ICP-OES 法测定 6 种矿物类中药材中 Ca、Fe、Mg、Na 的含量 [J]. 北方药学, 2016, 13 (2): 14-15]
- Zhu HL, Hou JJ, Wang B, *et al.* Preliminary risk analysis and enrichment characteristics of heavy metals and harmful elements in *Coptidis Rhizoma* [J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2021, 41 (4): 705-713. [朱海兰, 侯俊杰, 汪波, 等. 黄连中重金属和有害元素残留初步风险分析及富集特性的研究 [J]. 药物分析杂志, 2021, 41 (4): 705-713]
- Zhu RY, Ji LL, Zhang XP, *et al.* Simultaneous determination of 27 kinds of heavy metals and trace elements in *Halloysitum album* by ICP-MS [J]. *Chinese Pharmacy*, 2019, 30 (10): 1380-1385. [朱仁愿, 姬良亮, 张晓萍, 等. ICP-MS 法同时测定白石脂药材中 27 种重金属及微量元素的含量 [J]. 中国药房, 2019, 30 (10): 1380-1385]