

石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体质谱法测定香辛料中的铅

王永姣*, 党欣, 刘越, 杨欢, 张亚锋

(西安市食品药品检验所, 西安 710054)

摘要: 目的 比较石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体质谱法测定香辛料中的铅含量。**方法** 采用 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》第一法石墨炉原子吸收光谱法和 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》第二法电感耦合等离子体质谱法, 用2种不同方法对市场抽取的香辛料中的铅含量进行测定, 同时比较2种方法的准确度、重复性、精密度, 通过测定加标样和质控样中铅的含量, 验证其准确性和可靠性。**结果** 石墨炉原子吸收光谱法的平均加标回收率为76.4%, 相对标准偏差为6.1%; 电感耦合等离子体质谱法的平均加标回收率为97.3%, 相对标准偏差为0.4%。**结论** 电感耦合等离子体质谱法的回收率高于石墨炉原子吸收光谱法, 且准确度高、稳定性好、分析速度快。

关键词: 石墨炉原子吸收光谱法; 电感耦合等离子体质谱法; 香辛料; 铅含量

Determination of lead content in spices products by atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry

WANG Yong-Jiao*, DANG Xin, LIU Yue, YANG Huan, ZHANG Ya-Feng

(Xi'an Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710054, China)

ABSTRACT: Objective To compare the determination of lead content in spices products by atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. **Methods** The first method of GB 5009.12—2017 “National food safety standard-Determination of lead in food first method-tomic absorption spectrometry” graphite furnace atomic absorption spectrometry and the second method of GB 5009.268—2016 “National food safety standard-Determination of multi-elements in food second method-inductively coupled plasma mass spectrometry” inductively coupled plasma mass spectrometry were used to determine the content of lead in spices extracted from the market. The accuracy, repeatability and precision of the two methods were compared at the same time. The accuracy and reliability of the two methods were verified by measuring the content of lead in standard sample and quality control sample. **Results** The average recoveries of tomic absorption spectrometry was 76.4%. The relative standard deviation was 6.1%. The average recoveries of inductively coupled plasma mass spectrometry was 97.3%. The relative standard deviation was 0.4%. **Conclusion** The recovery rate of inductively coupled plasma mass spectrometry is higher than that of graphite furnace atomic absorption spectrometry, and it has high accuracy, good

基金项目: 食品安全风险物质筛查检测服务平台建设(2019PT-22)

Fund: Supported by Food Safety Risk Substance Screening and Testing Service Platform Construction (2019PT-22)

*通信作者: 王永姣, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为药品、食品检测。E-mail: 382248108qq.com

*Corresponding author: WANG Yong-Jiao, Master, Pharmacist, Xi'an Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710054, China. E-mail: 382248108@qq.com

stability and fast analysis speed

KEY WORDS: tomic absorption spectrometry; inductively coupled plasma mass spectrometry; spices; lead content

0 引言

香辛料是生活中不可或缺的副食品之一, 绝大多数人的每日每餐均会用到香辛料增加食物的口感, 所以香辛料的品质显得尤为重要。其中香辛料中重金属铅的污染^[1-4]较为突出, 香辛料的种植环境以及加工工艺等均有可能带入重金属铅, 城镇化工业化的加快, 环境污染的日益严重, 致使香辛料中重金属铅污染急剧增加, 但是公众对铅污染的认知并不乐观。

日常食物中摄入的铅很难被人体代谢, 大部分在体内蓄积, 当蓄积的量超出人体所能承受的范围后, 会对人体产生毒害作用。随着人们生活水平的提高, 食品安全问题逐渐成为人们关注的焦点。由于食品自身的固有属性其都有一定的时效性, 需要建立快速准确的检测方法, 通过与实验室传统方法石墨炉原子吸收光谱法的比较发现, 传统方法的铅回收率比较低, 可能因为光源灯老化或者不稳定、背景校正噪声大、灰化或原子化温度不适宜造成回收率低, 因此需要在食品安全国家标准的基础上优化并建立电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)法。为研究香辛料中铅含量^[5-10]的现状, 本研究选取监督抽检中部分香辛料样品和自购香辛料为研究对象, 采用石墨炉原子吸收光谱法(atomic absorption spectrometry, AAS)和 ICP-MS 检测样品中铅的含量^[11-15]。样品经消解后, 从 2 种方法的线性、精密性、重复性、稳定性、回收率对样品中铅含量进行测试验证, 确定一种更适合用于香辛料中铅的检测方法, 以期为香辛料的质量控制制定国家标准提供参考。

1 材料与方 法

1.1 仪器与设备

Nexion 350x 电感耦合等离子体质谱仪(美国铂金埃尔默仪器上海有限公司); ZEE nit700P 原子吸收光谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司); BSA124-CW 电子天平[德国赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; ETHOS-One 微波消解仪(意大利迈尔斯特通公司)。

1.2 实验试剂

铅标准溶液(GBW08619, 18032, 1000 $\mu\text{g/mL}$, 中国计量科学研究院); 铈(Re)单元素标准溶液(GSB 04-1745-2004, 1000 $\mu\text{g/mL}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸(优级纯, 美国默克公司); 实验用水为一级水。

本实验所用的 6 批次样品均来自风险监测抽检样品; 质控样品: 大葱成分分析标准物质 GBW 10049 (GSB-27) 标准值为(1.34 \pm 0.16) mg/kg 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

实验过程中所用到的玻璃器皿用 20%硝酸浸泡 24 h, 使用前用去离子水冲洗并烘干备用。

1.3 实验方法

1.3.1 标准溶液的制备

标准储备溶液(100 $\mu\text{g/mL}$): 精密移取铅单元素标准溶液 1 mL, 用水稀释并定容至 10 mL 量瓶。

标准中间溶液(1000 ng/mL): 精密移取上述铅标准储备溶液 1 mL, 用水稀释并定容至 100 mL 量瓶。

标准工作溶液: 精密吸取适量 1000 ng/mL 的铅标准中间溶液, 用水逐级稀释配制成 0、10、20、30、40、50 ng/mL 的铅标准系列溶液。

铈(Re)单元素标准溶液(50 ng/mL): 精密移取铈单元素标准溶液 1 mL, 用水稀释并定容至 100 mL 量瓶; 精密移取上述溶液 0.25 mL, 用水稀释并定容至 50 mL 量瓶。

1.3.2 石墨炉原子吸收光谱法

称取试样 0.2~0.8 g(精确至 0.001 g)于微波消解罐中, 加入 8 mL 硝酸, 按照微波消解的操作步骤消解试样, 消解条件见表 1, 冷却后取出消解罐, 在电热板上于 140~160 $^{\circ}\text{C}$ 赶酸至 1 mL 左右。消解罐放冷后, 将消化液转移至 25 mL 容量瓶中, 用少量水洗涤消解罐 2~3 次, 合并洗涤液于容量瓶中并用定容至 25 mL 容量瓶, 混匀备用。同时做空白实验。

表 1 微波消解条件
Table 1 Microwave digestion condition

阶段	升温时间/min	保持时间/min	功率/W	温度/ $^{\circ}\text{C}$
阶段 1	15	-	1800	130
阶段 2	-	5	1800	130
阶段 3	15	-	1800	180
阶段 4	-	20	1800	180

1.3.3 电感耦合等离子体质谱法

称取试样 0.2~0.5 g(精确至 0.001 g)于微波消解罐中, 加入 8 mL 硝酸, 加盖放置过夜, 旋紧罐盖, 按照微波消解仪标准操作步骤进行消解, 消解参考条件见表 2, 冷却后取出, 缓慢打开罐盖排气, 用少量水冲洗内盖, 将消解罐放在控温电热板上, 于 140 $^{\circ}\text{C}$ 赶酸至 1 mL, 用水定容至 25 mL 容量瓶中, 混匀备用, 同时做空白实验。

1.3.4 加标法

按石墨炉原子吸收光谱法称取 0.2105 g、0.2121 g 的香辛料作为加标的本底样, 分别加入 1000 ng/mL 铅中间液 0.10、0.20、0.35 mL, 如上述实验过程同法处理, 计算加标回收。按电感耦合等离子体质谱法称取 0.2001、0.2011 g 香辛料作为平行加标的本底样, 加入 1000 ng/mL 铅中间液 0.10、0.20、0.35 mL, 如上述实验过程同法处理, 计算加标回收。对比 2 种方法的回收率。

1.3.5 光谱条件

(1) 石墨炉原子吸收光谱法

分别吸取 1000 ng/mL 铅标准溶液 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL(相当于铅含量分别为 0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0 μg)于 50 mL 容量瓶中, 加水稀释至刻度。仪器经光学初始化达最佳测定条件, 采用涂层石墨管; 测定波长 283.3 nm; 灯电流 2 mA; 驱动 6 mA; 狭缝 0.8 nm, 进样量 20 μL , Zeeman2 磁场模式扣除背景, 光路模式: 单光束, 保护气: 氩气; 石墨炉升温程序见表 2, 待稳定后, 在石墨炉原子吸收光谱仪处于最佳条件下测定铅标准工作溶液与试样中的铅含量。铅的测定波长为 283.3 nm, 以标准系列溶液中铅的浓度为横坐标, 以相应的分析谱线强度响应值为纵坐标, 绘制铅标准曲线, 根据铅标准曲线得到待测样品中铅的浓度, 根据计算公式得出样品中铅的含量。

表 2 石墨炉升温程序
Table 2 Program for graphite furnace

步骤	名称	温度/ °C	升温速率/ (°C/S)	保持/s	时间/s	气体 (L/min)
1	干燥	80	6	20	28.3	0.1
2	干燥	90	3	20	23.3	0.1
3	干燥	110	5	10	14.0	0.1
4	灰化	400	50	20	25.8	0.1
5	自动归零	400	0	6	6.0	关
6	原子化	1500	1400	4	4.8	关
7	除残	2450	500	4	5.9	0.1

(2) 电感耦合等离子体质谱法

分别吸取 1000 ng/mL 铅标准溶液 0、0.5、1.0、1.5、

2.0、2.5 mL(相当于铅含量分别为 0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0 μg)于 50 mL 容量瓶中, 加水稀释至刻度。仪器经调谐、光学初始化达最佳条件, 待稳定后, 在电感耦合等离子体质谱仪的最佳条件下测定铅标准溶液与试样中铅的含量。铅的同位素为 208, 以标准系列溶液中铅的浓度为横坐标, 以相应的分析强度响应值为纵坐标, 绘制标准曲线, 根据标准曲线得到待测样液中铅的浓度, 根据计算公式得出样品中铅的含量。仪器条件见表 3。

表 3 ICP-MS 主要工作参数
Table 3 Operating parameters of ICP-MS

工作参数	设定值	工作参数	设定值
射频功率/W	1200	采样锥和截取锥	镍
等离子体气流速/(L/min)	18.00	氧化物	< 2%
辅助气流速/(L/min)	1.20	双电荷	< 3%

(3) 实验计算公式

石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体质谱法铅含量计算公式:

$$X = \frac{(P - P_0) \times V \times f}{m \times 1000}$$

式中: X -样品中铅的含量, mg/kg; P -样品溶液中铅的浓度, $\mu\text{g/L}$; P_0 -空白溶液中铅的浓度, $\mu\text{g/L}$; f -样品的稀释倍数, m -样品质量, g; 1000 为换算系数。

2 结果与分析

2.1 线性关系和检出限的考察

取“1.3.1”项下的铅标准系列工作溶液, 依次按“(1)和(2)”项光谱条件下测定, 记录 2 种不同方法的吸光度值和元素及内标元素的信号响应值。以进样浓度为横坐标, 相应的响应值为纵坐标, 绘制标准曲线(见图 1、图 2), 计算得回归方程。按上述 2 种不同的方法条件分别测定空白消化液 11 次, 按 3 倍标准偏差与斜率之比(3 S/K)计算 2 种不同方法的检出限, 见表 4。表明电感耦合等离子体质谱法能较准确的检测铅含量低的样品。

表 4 检出限结果($n=11$)
Table 4 Results of detection limit ($n=11$)

AAS 法			ICP-MS 法				
吸光度			检出限/(mg/kg)		元素信号响应值/($\mu\text{g/L}$)		检出限/(mg/kg)
0.00141	0.00162	0.00109	0.244	0.277	0.294	0.286	0.008
0.00151	0.00102	0.00177		0.275	0.270	0.273	
0.00122	0.00161	0.00188		0.276	0.267	0.261	
0.00168	0.00210			0.273	0.273		

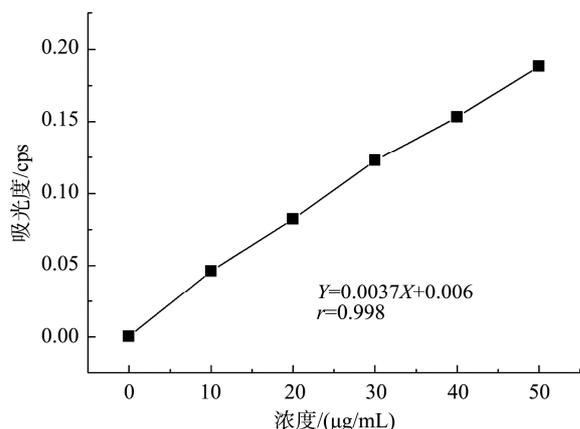


图 1 石墨炉原子吸收光谱法测定铅的标准曲线
Fig.1 Standard curve of determination of Pb by GFAAS

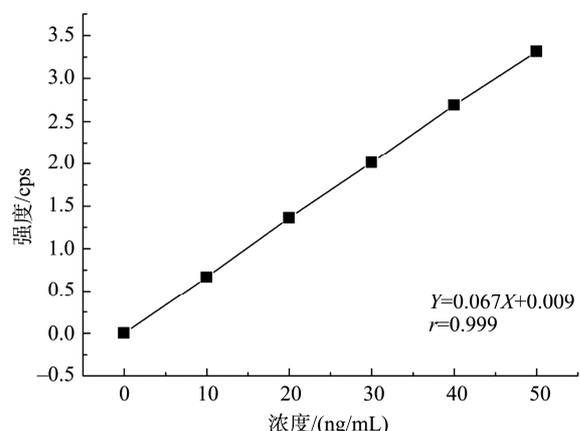


图 2 电感耦合等离子体质谱法测定铅的标准曲线
Fig.2 Standard curve of determination of Pb by ICP-MS

2.2 精密度实验

吸取“1.3.1”项下铅标准工作溶液 30 ng/mL 20 μL, 在(1)和(2)项光谱条件下平行测定 6 次, 分别记录 6 次 2 种不同方法的吸光度值和元素及内标元素的信号响应值; AAS 法吸光度值的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)和 ICP-MS 法的元素信号响应值的相对标准偏差分别为 1.1% 和 0.65%, 表明 ICP-MS 法的精密度明显高于 AAS 法。

2.3 稳定性实验

吸取“1.3.2 和 1.3.3”项下供试品溶液适量, 分别于 0、1、2、4、6、8、10、12、24 h 进行测定, 记录 2 种不同方法的吸光度值和元素及内标元素的信号响应值; AAS 法吸光度值的 RSD 为 2.1%, ICP-MS 法的元素信号响应值 RSD 为 1.4%, 表明 ICP-MS 法在 24 h 内稳定性良好。

2.4 重复性实验

取同一批次调味料样品, 按“1.3.2 和 1.3.3”项下的方法制备 6 份样品溶液, 按在(1)和(2)项光谱条件分别测定 6 次, 记录 2 种不同方法的吸光度值和元素及内标元素的信号响应值; AAS 法吸光度值的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 1.1%, ICP-MS 法的元素信号响应值 RSD 为 0.13%, 表明 ICP-MS 法的重复性明显高于 AAS 法。

2.5 回收率实验

为确定方法的可靠性, 对 2 种检测方法进行加标回收实验, 结果见表 5, 其中 AAS 法的平均加标回收率为 76.4%, ICP-MS 法的平均加标回收率为 97.3%, 表明 ICP-MS 法的可靠性高于 AAS 法。

表 5 加标回收率实验对比

Table 5 Experimental comparison for spiked recoveries

方法	本底值/(μg/L)	测量值/(μg/L)	加入量/(μg/L)	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
AAS	20.88	23.99	4	77.75	76.4	6.1
		23.86		74.50		
		23.71		70.75		
		26.78	8	73.75		
		26.58		71.25		
		26.80		74.00		
		32.28		81.43		
		32.54	14	83.29		
		32.25		81.21		
		24.708		97.50		
24.721	97.83					
ICP-MS	20.808	24.689	4	97.03	97.3	0.4
		28.642		97.93		
		28.542	8	96.68		
		28.570		96.98		
		34.400		97.09		
		34.427	14	97.28		
		34.445		97.41		

2.6 干扰实验

取同一批次调味料样品,按“1.3.2 和 1.3.3”项下的方法制备供试品溶液,按(1)和(2)项光谱条件分别测定。当相对平均偏差在 $\pm 10\%$ 之内时,以下元素不干扰测定结果:Na、K(1000 倍)、Cu(1000 倍)、Zn、Ni、Al。上述元素在低浓度下不影响实验测定,结果见表 6。表明多元素对 2 种方法测定样品中的铅元素测定结果均无影响。

表 6 干扰实验
Table 6 Interference test

方法	测定形式	测定值 ($\mu\text{g/L}$)	平均值 ($\mu\text{g/L}$)	相对平均偏差 /%
AAS	样品	22.06	22.44	0.85
	样品+多元素	22.81		
ICP-MS	样品	24.550	24.348	0
	样品+多元素	24.146		

2.7 方法学比较

本研究采用大葱成分分析标准物质中相应元素成分作为参考值,按“1.3.2 和 1.3.3”项下的方法制备供试品溶液,同时做样品空白;按(1)和(2)项光谱条件分别进行测定。计算对该方法做准确度评价,结果见表 7。表明石墨炉原子吸收光谱法的测定值与标准值的相对标准偏差大于 5%,电感耦合等离子体质谱法的测定值与标准值的相对标准偏差小于 1%。

表 7 元素准确度试验
Table 7 Tests of element accuracy

成分分析标准物质	石墨炉原子吸收光谱法	电感耦合等离子体质谱法
标准值/(mg/kg)	平均测定值/(mg/kg)	平均测定值/(mg/kg)
大葱	1.34	1.21
相对平均偏差/%	1.33	7.2
		0.53

2.8 样品结果分析

通过 2 种方法石墨炉原子吸收光谱法和电感耦合等离子体质谱法测^[16-19]定 6 批次样品中的铅含量,样品中铅含量测定结果见表 8。表明石墨炉原子吸收光谱法与电感耦合等离子体质谱法测定值相对标准偏差较大。其中 2 批次不合格样品通过电感耦合等离子体质谱法测定铅含量最终测定值明显高于石墨炉原子吸收光谱法测定的铅含量。

6 批次样品中 2 批次铅含量超标(铅的限量为 $\leq 3.0 \text{ mg/kg}$),其中最大值为 4.7 mg/kg ,依据我国《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[20-22]对香辛料类样品中铅含量的限量规定,分别超出限量 1.57 倍、1.27 倍;对不同

来源的香辛料中铅的含量做了大量数据监测,铅污染这一现象一直存在,且香辛料铅超标较为普遍。根据实验数据以及抽样系统提供资料,追溯到这 2 个样品均来自街边摊位,为无包装的散样,非正规厂家生产,铅含量超标的原因可能是加工料来自铅污染的种植地区或者是加工设备老旧以及加工生产环节暴露,来自诸多外界污染导致。

表 8 样品结果分析($n=6$)
Table 8 Result analysis of samples ($n=6$)

序号	石墨炉原子吸收光谱法 AAS/(mg/kg)	电感耦合等离子体质谱法 ICP-MS/(mg/kg)	RSD/%
1	0.83	0.77	5.3
2	0.29	0.32	7.0
3	4.1	4.7	9.6
4	0.94	1.0	4.4
5	3.4	3.8	7.9
6	1.3	1.4	5.2

3 结论

通过对 6 批次样品中铅含量的测定结果进行比较,石墨炉原子吸收光谱法所测样品的回收率均比电感耦合等离子体质谱法测得的回收率低,这是由于石墨炉原子吸收光谱法测定样品过程中易受到干燥温度、灰化温度、原子化温度等因素的影响,易造成结果偏差;电感耦合等离子体质谱法操作过程简单,整个实验过程中干扰因素较少;从大葱质控样品的检测结果可以得出,电感耦合等离子体质谱法的准确度更高。6 批次样品测定结果中,电感耦合等离子体质谱法所测结果更为准确,而石墨炉原子吸收光谱法在遇到边缘检测结果时,需用电感耦合等离子体质谱法进行二次检测验证才能得到较为准确的检测结果。

香辛料中的重金属铅超标原因很多,包括加工过程中所用机械设备中含金属毒物迁移,在粉碎、混合加工工艺中混入含铅的杂质;由于土壤污染、大气污染、水源污染所导致原料铅超标。建议有关部门加强对香辛料的原材料进行相关的重金属检测,以保障市民的饮食安全。

参考文献

- [1] 赵静,孙海娟,冯叙桥.食品中重金属铅污染状况及其检测技术研究进展[J].食品与发酵工业,2014,40(9):122-127.
ZHAO J, SUN HJ, FENG XQ. The status of heavy metal lead in food and its detection technology research progress [J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(9): 122-127.
- [2] 程晓平,董方,赵艳霞,等.微波消解-原子吸收法测定辣条中铅的含量[J].中国卫生检验杂志,2017,27(9):38-40.
CHENG XP, DONG F, ZHAO YX, et al. Determination of lead in spicy strips by microwave digestion-atomic absorption method [J]. Chin J

- Health Insp, 2017, 27(9): 38–40.
- [3] 黄杰周. 食品中重金属铅污染状况及检测技术分析[J]. 微量元素与健康研究, 2017, 34(4): 54–55.
HUANG JZ. Heavy metal lead pollution in food and analysis of detection technology [J]. Res Trace Elements Health, 2017, 34(4): 54–55.
- [4] 邓泽英, 李京晶, 张珺男. 调味品中铅的氢化物发生-原子荧光光谱分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(8): 1888–1889.
DENG ZY, LI JJ, ZHANG JN. Hydride generation-atomic fluorescence spectroscopy analysis of lead in condiments [J]. Chin J Hyg Lab, 2011, 21(8): 1888–1889.
- [5] 董亚蕾, 李梦怡, 董磊, 等. 调味品及调味品配料中铅和砷含量的测定[J]. 中国调味品, 2018, 43(9): 163–166.
DONG YL, LI MY, DONG Z, *et al.* Determination of lead and arsenic content in condiments and condiment ingredients [J]. China Cond, 2018, 43(9): 163–166.
- [6] 洪国盛. 火焰原子吸收测定食品中铅含量的背景干扰与消除[J]. 海峡预防医学杂志, 2001, 7(2): 46–47.
HONG GS. Background interference and elimination in determination of lead in food by flame atomic absorption [J]. Strait J Prev Med, 2001, 7(2): 46–47.
- [7] 黄为红. 石墨炉原子吸收法测定调味品中痕量铅[J]. 中国酿造, 2012, 31(7): 169–171.
HUANG WH. Determination of trace lead in condiments by graphite furnace atomic absorption method [J]. China Brew, 2012, 31(7): 169–171.
- [8] 邓泽英, 李强, 李京晶, 等. 高钠盐基体食品铅含量的综合测定[J]. 中国调味品, 2009, 38(8): 146–149.
DENG ZY, LI Q, LI JJ, *et al.* Comprehensive determination of lead content in high-sodium salt matrix foods [J]. China Cond, 2009, 38(8): 146–149.
- [9] 王玉萍, 庞艳华, 李军, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定调味品中砷的含量[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 231–233.
WANG YP, PANG YH, LI J, *et al.* Determination of arsenic in condiments by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Food Sci, 2008, 29(1): 231–233.
- [10] 王培, 李露. ICP-MS 法分析香辛料粉中 5 种重金属含量及来源[J]. 现代农业科技, 2019, 13(11): 232–233.
WANG P, LI L. ICP-MS analysis of the content and source of 5 heavy metals in spice powder [J]. Mod Agric Sci Technol, 2019, 13(11): 232–233.
- [11] 肖亚兵, 何健, 马兴, 等. 固相萃取-电感耦合等离子质谱测定酱油中铅和镉[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(6): 146–150.
XIAO YB, HE J, MA X, *et al.* Determination of lead and cadmium in soy sauce by solid phase extraction-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2018, 39(6): 146–150.
- [12] 陈燕芹, 刘红, 刘登曰, 等. 微波辅助消解 ICP-AES 法测定 8 种香料中矿物质元素[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 110–112.
CHEN YQ, LIU H, LIU DY, *et al.* Determination of mineral elements in eight spices by microwave-assisted digestion ICP-AES method [J]. China Cond, 2014, 39(7): 110–112.
- [13] 汪勇, 姚婷, 孙秉康, 等. 电感耦合等离子体质谱法同时分析食盐中 24 种元素[J]. 化学试剂, 2018, 40(5): 449–453.
WANG Y, YAO T, SUN BK, *et al.* Simultaneous analysis of 24 elements in salt by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chem Reag, 2018, 40(5): 449–453.
- [14] 郭礼强, 王亮亮, 张立, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定芝麻酱中多种重金属残留[J]. 中国调味品, 2018, 43(2): 154–157.
GUO LQ, WANG LL, ZHANG L, *et al.* Determination of multiple heavy metal residues in sesame sauce by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. China Cond, 2018, 43(2): 154–157.
- [15] 徐红颖, 包玉龙, 王玉兰. 蛋及蛋制品中重金属铅、镉的含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(4): 145–148.
XU HY, BAO YL, WANG YL. Determination of heavy metals lead and cadmium in eggs and egg products [J]. Food Res Dev, 2015, 36(4): 145–148.
- [16] 张岩, 马光路, 杨志杰. 微波消解-石墨炉原子吸收法测定香辛料中铅含量[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(19): 160–162.
ZHANG Y, MA GL, YANG ZJ. Determination of lead in spices by microwave digestion-graphite furnace atomic absorption method [J]. Food Res Dev, 2016, 37(19): 160–162.
- [17] 林葵, 黄文琦, 刘培杰, 等. 食品香料大茴香醛中铅和砷的含量测定[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(3): 125–128.
LIN K, HUANG WQ, LIU PJ, *et al.* Determination of lead and arsenic in anisaldehyde in food spices [J]. J Central South Univ Forest Technol, 2013, 33(3): 125–128.
- [18] 黄俊, 钟潇骁. 石墨炉原子吸收法测定枸橼酸铁铵中的铅[J]. 华西药理学杂志, 2019, 34(1): 87–89.
HUANG J, ZHONG XX. Determination of lead in ferric ammonium citrate by graphite furnace atomic absorption method [J]. West China Pharm J, 2019, 34(1): 87–89.
- [19] 邓桂添, 梁健梅, 钟海强, 等. 不同前处理方法对蔬菜中铅含量测定的影响[J]. 现代农业科技, 2019, 1(10): 227–229.
DENG GT, LIANG JM, ZHONG HQ, *et al.* The influence of different pretreatment methods on the determination of lead content in vegetables [J]. Mod Agric Sci Technol, 2019, 1(10): 227–229.
- [20] GB 5009.12—2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].
GB 5009.12—2017 National food safety standard-Determination of lead in food [S].
- [21] GB 5009.268—2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].
GB 5009.268—2016 National food safety standard-Determination of multi-elements in food [S].
- [22] GB 5009.12—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 5009.12—2017 National food safety standard-Limits of contaminants in food [S].

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



王永姣, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为药品、食品检测。
E-mail: 382248108@qq.com