

· 实验技术 ·

# 微波消解-八极杆碰撞模式-电感耦合等离子体质谱法 检测花生中6种重金属

张雪杰, 胥艳, 王改改, 宋彩瑞, 杜鹏程

开封市疾病预防控制中心理化检验室, 河南 开封 475000

**摘要:** **目的** 建立微波消解-八极杆碰撞模式-电感耦合等离子体质谱法 (ORS-ICP-MS) 同时测定花生中铬 (Cr)、镍 (Ni)、砷 (As)、镉 (Cd)、铅 (Pb) 和汞 (Hg) 6种重金属含量。**方法** 样品去壳粉碎均匀, 称取0.350 0 g于消解罐中, 加入5 mL硝酸和1 mL过氧化氢消解体系, 经微波消解后以纯水定容, 在线加入内标元素消除基体性干扰, 采用八极杆碰撞模式消除多原子离子干扰, ICP-MS测定6种重金属含量, 采用标准物质黄豆 (GBW10013)、四川大米 (GBW10044)、加标回收试验验证方法的准确度和精密度。**结果** 6种重金属在选定的线性范围内线性关系良好,  $r$ 值均 $\geq 0.999\ 8$ , 方法的检出限为0.001 4~0.023 8 ng/mL, 平均回收率为94.7%~98.8%, 相对标准偏差 (RSD) 为0.7%~3.6%, 标准物质的测定结果均在参考值范围内。检测60份花生样品, 6种重金属的检出率为100.0%, 含量均较低。**结论** 本法适用于花生中多种重金属含量的同时测定。

**关键词:** 花生; 重金属; 微波消解; 八极杆碰撞模式; 电感耦合等离子体质谱法

**中图分类号:** R155.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2096-5087 (2022) 01-0101-05

## Determination of six heavy metals in peanuts using microwave-assisted digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry with an octopole reaction system

ZHANG Xuejie, XU Yan, WANG Gaigai, SONG Cairui, DU Pengcheng

*Physical and Chemical Laboratory, Kaifeng Municipal Center for Disease Control and Prevention, Kaifeng, Henan 475000, China*

**Abstract: Objective** To establish a microwave-assisted digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with an octopole reaction system for simultaneous determination of six heavy metals in peanuts, including Cr, Ni, As, Cd, Pb, Hg. **Methods** Peanut samples were shelled and crushed evenly, and 0.350 0 g was accurately weighed and digested with 5 mL nitric acid and 1 mL hydrogen peroxide in a digestion tank. Following microwave-assisted digestion, pure water was used to quantify the samples, and internal standards and an octopole reaction system were used to remove the interference. Then, the contents of six heavy metals were determined in peanuts by ICP-MS. The accuracy and precision of ICP-MS were evaluated using national criteria (GBW 10013 and GBW 10044) and spike-and-recovery testing. **Results** The six heavy metals showed good linearity at the selected linear range ( $r \geq 0.999\ 8$ ). The detection limits of ICP-MS ranged from 0.001 4 to 0.023 8 ng/mL, and the spike-and-recovery rates ranged from 94.7% to 98.8%, with the relative standard deviations ranging from 0.7% to 3.6%. In addition, the determination results of the standard reference materials were all within the normal reference range. The detection of six heavy metals was 100.0% in 60 peanut samples, and the contents of six heavy metals were all low. **Conclusion** The established ICP-MS assay is feasible for simultaneous determination of multiple heavy metals in peanuts.

**Keywords:** peanut; heavy metal; microwave-assisted digestion; octopole reaction system; inductively coupled plasma mass spectrometer

**DOI:** 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2022.01.021

**作者简介:** 张雪杰, 硕士, 主管技师, 主要从事卫生理化检验工作

**通信作者:** 胥艳, E-mail: xuyan19771203@163.com

近年来,农药、地膜、化肥的不合理使用及环境污染等因素,导致花生中的重金属含量增加。铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)、镉(Cd)、铅(Pb)和汞(Hg)等常见重金属不能被生物降解,易在人体器官中积累,使蛋白质酶丧失活性,对消化系统、神经系统和血液系统等造成较大危害,可引发恶性肿瘤,已被国际癌症研究中心列为人类致癌物<sup>[1]</sup>。国家食品药品监督管理局和农业部均对包括花生在内的食品中Cr、Ni、As、Cd、Pb和Hg等重金属含量做出严格限定<sup>[2-3]</sup>。为保证花生食用安全,一种准确高效检测花生中重金属含量的方法至关重要。

目前,食品中重金属含量的检测方法主要有原子吸收光谱法、原子荧光光谱法和电感耦合等离子体发射光谱法,这些分析方法检测周期长,操作烦琐,抗干扰能力差,多元素同时测定的能力较弱<sup>[4-6]</sup>。电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)分析速度快,抗干扰能力强,可进行同位素分析及多元素同时测定<sup>[7-8]</sup>,我国食品安全国家标准已将其作为食品中多元素测定的第一法<sup>[9]</sup>。八极杆碰撞池(octopole reaction system, ORS)内径小,压力高,可增加离子/气体的碰撞次数,减少目标离子损失<sup>[10]</sup>。本研究建立微波消解-八极杆碰撞模式-电感耦合等离子体质谱法(ORS-ICP-MS)测定花生中Cr、Ni、As、Cd、Pb和Hg含量,现将结果报道如下。

## 1 材料与方 法

**1.1 仪器与试剂** 7900 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司); Master-D UVF 超纯水机(上海和泰仪器有限公司); ETHOS One 微波消解仪(意大利 MILESTONE); VB24 Plus 赶酸器(北京莱伯泰科仪器股份有限公司); 400Y 多功能粉碎机(铂欧五金厂); ME204 E/02 万分之一电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司)。多元素校准标样 2A(含有Cr、Ni、As、Cd和Pb等27种元素,10 μg/mL,货号:8500-6940,美国 Agilent 公司); 多元素校准标样 2A-HG(10 μg/mL,货号:8500-6940-HG,美国 Agilent 公司); ICP-MS 调谐液[含铈(Ce)、钴(Co)、锂(Li)、镁(Mg)、铊(Tl)和钇(Y),1 μg/L,货号:5185-5959,美国 Agilent 公司]; ICP-MS 内标混合溶液[含钪(Sc)、锗(Ge)、铟(In)和铋(Bi)等8种元素,货号:5188-6525,100 μg/mL,美国 Agilent 公司]; 硝酸(优级纯,批号:20141009,北京化工厂); 30% 过氧化氢(优级

纯,批号:20170613,天津市科密欧化学试剂有限公司); 黄豆成分分析标准物质(GBW10013,地球物理地球化学勘查研究所); 四川大米成分分析标准物质(GBW10044,地球物理地球化学勘查研究所); 高纯液氩(纯度99.999%); 实验用水为超纯水; 实验所用器皿均为聚丙烯材质,采用硝酸溶液(1:1)浸泡过夜,再用超纯水冲洗,晾干; 样品来源:带壳花生,开封县区花生种植基地。

## 1.2 方 法

**1.2.1 样品前处理** 样品去壳,超纯水冲洗干净,晾干,用粉碎机粉碎均匀,置于自封袋密封保存,贮藏温度为4℃,环境湿度为40%。称取均匀的花生样品0.3500 g于洁净的聚四氟乙烯微波消解罐中,加入5 mL硝酸,静止10 min再加入1 mL 30%过氧化氢,轻轻摇动后旋紧罐盖,放置过夜。然后按“步骤1,功率1500 W,控制温度120℃,升温5 min,保持10 min;步骤2,功率1500 W,控制温度160℃,升温5 min,保持10 min;步骤3,功率1500 W,控制温度180℃,升温5 min,保持30 min”程序操作。消解结束后,取出消解罐,置于100℃赶酸器上赶酸0.5 h,冷却后,将消解液转移至塑料离心管中,用超纯水多次洗涤消解罐,定容至25.00 mL,摇匀待测。

**1.2.2 标准系列和内标液配制** 分别采用5%硝酸和5%盐酸将多元素混合标准溶液和Hg标准溶液逐级稀释,配制成Cr、As、Cd和Pb混合标准系列浓度为0、0.106、0.206、0.407、0.805、1.01、1.99、4.03、8.18、10.0 ng/mL; Ni标准系列浓度为0、0.106、0.206、0.407、0.805、1.01、1.99、4.03、8.18、10.0、50.3、101 ng/mL; Hg标准系列浓度为0、0.101、0.206、0.405、0.802、1.00、1.99 ng/mL。采用5%硝酸将内标混合溶液(Sc、Ge、In和Bi)稀释至1000 ng/mL。

**1.2.3 ICP-MS 仪器工作条件** 点火稳定后,用涵盖低、中、高各个质量范围的元素专用调谐液进行参数优化,使仪器的质量轴、灵敏度、稳定性、背景值、氧化物、双电荷和分辨率等各项指标处于最佳状态。仪器参数如下:采样锥和截取锥均为镍锥;射频功率1550 W;采样深度10 mm;等离子体气流速15 L/min;载气流速1.01 L/min;辅助气流速1.0 L/min;蠕动泵流速0.10 r/min;雾化室温度2℃;峰型数据点为3,重复3次,扫描100次;样品提升量0.4 mL/min;采用氦碰撞模式测定,流速4.3 mL/min;提取透镜1电压0 V;提取透镜2电

压-180 V; Omega 偏转电压-80 V; Omega 透镜电压 10 V; 碰撞池入口电压-40 V; 碰撞池出口电压-60 V; 八极杆偏转电压-18 V; 能量歧视电压 5 V; 氧化物  $^{156}\text{Ce}^+ / ^{140}\text{Ce}^+$  为 1.09%, 双电荷  $^{70}\text{Ce}^{2+} / ^{140}\text{Ce}^+$  为 1.25%。

1.2.4 检测方法 采用最优化的仪器工作条件, 在线加入内标元素  $^{45}\text{Sc}$ 、 $^{72}\text{Ge}$ 、 $^{115}\text{In}$  和  $^{209}\text{Bi}$ , 依次测定标准系列溶液、试剂空白和样品, 用配套的 MassHunter 分析软件绘制标准曲线, 计算样品中待测元素的含量。

1.2.5 2种检测模式比较 按照 1.2.1 方法对标准物质四川大米 (GBW10044) 进行前处理, 按照 1.2.4 方法测定, 采用标准模式和碰撞模式同时进行 6 次平行试验。采用 SPSS 19.0 软件统计分析, 2 种模式的检测结果比较采用配对  $t$  检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

1.2.6 方法的检出限、精密度及加标回收率检验 采用 1.2.4 的检测方法, 对样品空白溶液连续进样 11 次, 以测定信号值的 3 倍标准偏差所对应的浓度作为实验方法的检出限。取 6 份花生样品, 按照 1.2.4 的方法平行测定 6 次, 取平均值作为本底值, 并计算 6 种重金属的相对标准偏差 (RSD); 再平行取花生样品 18 份, 分别对每 6 份样品进行低、中、高 3 个浓度的添加, 按 1.2.1 方法前处理后, ICP-MS 测定, 每个浓度进行 6 次平行试验, 计算加标回收率。在选定的线性范围内, 以待测重金属浓度为横坐标, 待测元素信号值与选择的内标元素信号值的比率为纵坐标, 绘制标准曲线。

1.2.7 标准参考物质检测 按照 1.2.1 方法对标准物质黄豆 (GBW10013) 和四川大米 (GBW10044) 进行前处理, 按照 1.2.4 方法测定, 每个标准物质进行 6 次平行试验, 根据称样量和定容体积计算标准物质中 6 种重金属的含量。根据 GB 2762—2017 《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[2]</sup> 和 NY/T 1042—2017 《绿色食品 坚果》<sup>[3]</sup> 中的限量指标进行评价。

1.2.8 实际花生样品检测 在开封县区花生种植基地采集 60 份花生样品, 按本法检测 6 种重金属, 根据称样量和定容体积计算花生样品中 6 种重金属的含量。

## 2 结果

2.1 多原子离子干扰的校正 大米中 Cr、Ni 和 As 的测定结果在标准模式下高于标准值, 碰撞模式下均在标准值范围内,  $^{52}\text{Cr}$  受到  $^{36}\text{Ar}^{16}\text{O}$ 、 $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ 、 $^{35}\text{Cl}^{16}\text{OH}$  和  $^{37}\text{Cl}^{14}\text{NH}$  等离子干扰,  $^{60}\text{Ni}$  受到  $^{40}\text{Ca}^{16}\text{O}$  和  $^{23}\text{Na}^{37}\text{Cl}$  等离子干扰,  $^{75}\text{As}$  受到  $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ 、 $^{40}\text{Ar}^{34}\text{SH}$  和  $^{40}\text{Ca}^{35}\text{Cl}$  等离子干扰; Cd、Pb 和 Hg 的测定结果在 2 种模式下

均在标准值范围内。见表 1。按照 1.2.3 方法, 采用八极杆氦碰撞模式有效校正氦气系统及高基体背景下引起的质谱干扰, 氧化物和双电荷均小于 1.5%, 待测元素的信号值趋于稳定, 背景等效浓度趋于最低值。

表 1 2 种分析模式下 6 种重金属的测定结果比较

Table 1 Comparison of determination results of six heavy metals under two analytical modes

重金属 Heavy metal	标准值 Standard content/ (mg/kg)	测定值 Measured content/ (mg/kg)		$t$	$P$
		标准模式 Standard mode	碰撞模式 Octopole reaction system		
Cr	0.17±0.05	0.242	0.194	6.330	0.001
Ni	0.21±0.06	0.276	0.198	8.517	<0.001
As	0.12±0.03	0.156	0.128	8.215	<0.001
Cd	0.018±0.002	0.018 2	0.018 8	1.917	0.113
Hg	0.002 2±0.000 5	0.002 29	0.002 36	2.122	0.087
Pb	0.09±0.03	0.084 6	0.086 2	2.316	0.084

注: 标准值“±”前的数值为特性量值, “±”后的数值为不确定度。Note: The standard contents before and after “±” are nominal contents and uncertainty, respectively.

2.2 分析方法优化结果 As 和 Hg 难电离, 测定信号值稳定性低, 将其积分时间延长, As 的积分时间为 0.5 s, Hg 为 1.0 s, 其他 4 种重金属积分时间为 0.3 s, 确保每种重金属具有充分的采集时间。依次对标准溶液、试剂空白和样品进行连续进样, 通过内标趋势校正, 内标稳定回收率均在 80%~120% 范围内, 说明内标选择比较合理, 校正结果比较稳定。

2.3 方法的线性关系和检出限 在选定的线性范围内, 6 种重金属的线性关系良好,  $r$  值为 0.999 8~1.000 0。Cr、Ni、As、Cd、Hg 和 Pb 的检出限分别为 0.023 8、0.016 7、0.014 3、0.001 7、0.001 8 和 0.001 4 ng/mL。见表 2。

2.4 准确度和精密度 称取 6 份 0.35 g 花生样品, 按照 1.2.1 步骤消解, 1.2.4 方法上机测定样品中的本底值; 再平行称取 18 份样品, 按照 1.2.6 步骤进行加标回收试验。Cr、Ni、As、Cd、Hg 和 Pb 的 RSD 分别为 1.1%、2.8%、3.6%、0.73%、1.9% 和 1.2%; 加标回收率为 89.6%~107.1%, 平均加标回收率为 94.7%~98.8%。见表 3。

2.5 标准参考物质检测结果 为进一步验证本测定方法的准确性和可靠性, 按照选定的方法检测标准物质黄豆 (GBW10013) 和四川大米 (GBW10044)。2

种标准物质中6种重金属的检测结果均在标准参考 值范围内。见表4。

表2 方法的线性方程、相关系数和检出限

Table 2 Linear equations, correlation coefficients and detection limits of the method

重金属 Heavy metal	内标元素 Internal standard	线性范围 Linearity range/ (ng/mL)	线性方程 Linear equation	r	检出限 Limit of detection/ (ng/mL)
Cr	<sup>45</sup> Sc	0 ~ 10.0	y=0.094 9x+0.067 9	1.000 0	0.023 8
Ni	<sup>72</sup> Ge	0 ~ 100.0	y=0.052 5x+0.001 7	1.000 0	0.016 7
As	<sup>72</sup> Ge	0 ~ 10.0	y=0.009 1x+1.357 2×10 <sup>-4</sup>	0.999 9	0.014 3
Cd	<sup>115</sup> In	0 ~ 10.0	y=0.002 1x+2.334 4×10 <sup>-6</sup>	0.999 9	0.001 7
Hg	<sup>209</sup> Bi	0 ~ 2.0	y=8.882 1×10 <sup>-4</sup> x+5.798 3×10 <sup>-6</sup>	0.999 8	0.001 8
Pb	<sup>209</sup> Bi	0 ~ 10.0	y=0.016 9x+9.557 2×10 <sup>-4</sup>	1.000 0	0.001 4

表3 方法的准确度和精密度

Table 3 Accuracy and precision of the method

重金属 Heavy metal	本底值 Background content/ (mg/kg)	RSD/%	加标量 Spiking content/ (mg/kg)	加标后测定值 Measured content of spiked sample/ (mg/kg)	回收率 Recovery rate/%	平均回收率 Average recovery rate/%
Cr	0.051 9	1.1	0.025 0	0.074 8 ~ 0.077 4	91.6 ~ 102.0	97.1
			0.050 0	0.098 2 ~ 0.104 0	92.6 ~ 104.2	96.9
			0.100 0	0.014 3 ~ 0.157 0	91.1 ~ 105.1	98.4
Ni	0.298	2.8	0.150	0.435 ~ 0.455	91.3 ~ 104.7	98.8
			0.300	0.572 ~ 0.597	91.3 ~ 99.7	95.1
			0.600	0.872 ~ 0.906	95.7 ~ 101.3	98.3
As	0.022 6	3.6	0.012 0	0.033 8 ~ 0.034 8	93.3 ~ 101.7	96.5
			0.022 0	0.042 9 ~ 0.044 8	92.3 ~ 100.9	96.3
			0.040 0	0.060 9 ~ 0.063 2	95.8 ~ 101.5	98.7
Cd	0.068 6	0.7	0.035	0.101 ~ 0.105	92.6 ~ 102.6	97.4
			0.070	0.133 ~ 0.142	92.0 ~ 104.9	97.5
			0.140	0.200 ~ 0.212	93.9 ~ 102.4	97.4
Hg	0.002 53	1.9	0.001 25	0.003 65 ~ 0.003 80	89.6 ~ 101.6	95.6
			0.002 50	0.004 80 ~ 0.005 01	90.8 ~ 99.2	94.7
			0.005 00	0.007 22 ~ 0.007 53	93.8 ~ 100.0	96.7
Pb	0.006 72	1.2	0.003 4	0.009 8 ~ 0.010 2	90.3 ~ 102.4	94.8
			0.006 8	0.012 9 ~ 0.014 0	90.9 ~ 107.1	98.7
			0.014 0	0.019 5 ~ 0.021 2	91.3 ~ 103.4	97.6

表4 标准物质中6种重金属的测定结果 (mg/kg)

Table 4 Determination results of six heavy metals in standard substances (mg/kg)

重金属 Heavy metals	黄豆 Soybean (GBW10013)		四川大米 Sichuan rice (GBW10044)	
	标准值 Standard content	测定值 Measured content ( $\bar{x}\pm s$ )	标准值 Standard content	测定值 Measured content ( $\bar{x}\pm s$ )
Cr	0.28±0.04	0.295±0.023	0.17±0.05	0.194±0.044
Ni	4.0±0.3	3.92±0.32	0.21±0.06	0.198±0.034
As	0.035±0.012	0.035 6±0.014 2	0.12±0.03	0.128±0.016
Cd	(0.001 1)	0.010 39±0.000 61	0.018±0.002	0.018 8±0.001 1
Hg	(0.001 5)	0.001 56±0.000 42	0.002 2±0.000 5	0.002 36±0.000 21
Pb	0.07±0.02	0.060 8±0.003 6	0.09±0.03	0.086±0.032

注：带括号的数值为参考值；标准值“±”前的数值为特性量值，“±”后的数值为不确定度。Note: The values in brackets are reference; the standard contents before and after “±” are nominal contents and uncertainty, respectively.

2.6 实际花生样品测定 60份花生样品中6种重金属均有检出,均在标准值规定范围内,合格率均为100.0%。其中Cr、Ni、Cd和Pb检出率为100.0%;As检出率为85.0%;Hg检出率为38.3%。见表5。

表5 60份花生样品中6种重金属的测定结果(mg/kg)

**Table 5** Determination results of six heavy metals in 60 peanut samples (mg/kg)

重金属 Heavy metal	含量范围 Content range	测定值 Measured content ( $\bar{x} \pm s$ )	限量值 Limit
Cr	0.029 9~0.132 6	0.074 1±0.022 0	1.0
Ni	0.143~0.643	0.357±0.103	1.0
As	ND~0.041 4	0.020 3±0.007 2	0.5
Cd	0.038 2~0.147 5	0.072 5±0.024 4	0.5
Hg	ND~0.005 89	0.001 92±0.001 32	0.02
Pb	0.002 34~0.011 95	0.008 62±0.004 78	0.2

注: ND表示未检出。Note: ND, not detected.

### 3 讨论

本研究建立ORS-ICP-MS同时测定花生中Cr、Ni、As、Cd、Pb和Hg 6种重金属含量。由于花生高脂肪、高蛋白及基质复杂的特点,本研究对样品前处理方法和仪器技术参数进行了优化。采用硝酸作为消解试剂,因其具有很强的氧化性,可溶解各种类型的样品,几乎不产生任何谱图干扰,所得消化液中待测元素稳定,是ICP-MS样品前处理最适合的酸。过氧化氢是强氧化剂,背景噪声与水类似,不会引起额外干扰,与硝酸一起使用可减少硝酸使用量,缩短赶酸时间,测试样品的酸度和内标校正液酸度基本保持一致,能更快速准确地获取结果。微波消解法在密闭容器中进行,充分发挥酸的作用,操作简单,消解速度快,能防止样品污染和易挥发元素As、Hg的损失,测定空白值低,分析成本低,适用于批量样品的快速处理。因此,本研究选择5 mL硝酸和1 mL过氧化氢消解体系微波消解样品,所得消化液澄清透明,满足仪器测定要求。

ICP-MS测定过程中易受到非质谱干扰和质谱型干扰。基体效应主要源自样品基体成分,会影响测定信号的稳定性和分析的精度。本研究通过基体匹配和在线加入内标元素<sup>45</sup>Sc、<sup>72</sup>Ge、<sup>115</sup>In、<sup>209</sup>Bi,有效校正基体效应引起的抑制效应、雾化效应、电离效应及空间电荷效应,确保测定结果的准确性。多原子离子干扰是由2个或多个原子组成的复合离子,因其和某些待测离子具有相同的质荷比而引起质谱干扰。花生

基体复杂,等离子体中<sup>40</sup>Ar<sup>+</sup>、H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>等离子占优势,可以相互结合,也可与消解液中的离子相结合而引起质谱干扰。在MassHunter批处理中,Pb常用数学方法进行校正,防止丰度原因引起的干扰,其他元素不推荐使用,而八极杆氦碰撞模式有效校正了氦气系统及花生高基体背景下形成的复合离子引起的质谱干扰。实验发现在氦气流速为4.3 mL/min的最优化条件下,去干扰效果更好。同量异位素是样品中多个元素的同位素在同一质量数的重叠,为解决其引起的质谱干扰。本研究选择丰度大、干扰小、灵敏度高的同位素元素<sup>52</sup>Cr、<sup>60</sup>Ni、<sup>75</sup>As、<sup>111</sup>Cd、<sup>201</sup>Hg和<sup>208</sup>Pb为分析对象,其相对丰度值依次为83.79%、26.22%、100.00%、12.80%、52.40%和13.18%。

运用本法依次测定标准系列、试剂空白、样品和标准物质,同时做精密度和加标回收试验,6种重金属在选定的线性范围内线性关系良好。采用标准物质黄豆(GBW10013)和四川大米(GBW10044)验证方法的准确可靠性,6种重金属的测定结果均在标准参考值范围内。采集的花生样品中6种重金属均有检出。本方法简便快速,检出限低,灵敏度高,准确度和精密度良好,适用于花生样品中多元素同时检测,可为评估花生的质量安全提供技术参考。

### 参考文献

- [1] 李文廷,尚城,李洁,等.昆明市售坚果中5种有害元素的监测[J].食品安全质量检测学报,2020,11(15):5190-5194. LI W T, SHANG C, LI J, et al. Monitoring of five kinds of harmful elements in nuts sold in Kunming [J]. J Food Safe Qual, 2020, 11 (15): 5190-5194.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762-2017[S].北京:中国标准出版社,2017. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National standard for food safety-limits of contaminants in food: GB 2762-2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [3] 中华人民共和国农业部.绿色食品 坚果:NY/T 1042-2017[S].北京:中国标准出版社,2017. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Green food-Nut: NY/T 1042-2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [4] 叶国健.微波消解-原子吸收法测定花生中钙、镁、铜和锌的含量[J].中国油脂,2018,43(3):141-143. YE G J. Determination of contents of Ca, Mg, Cu and Zn in peanut by microwave digestion-atomic absorption spectrometry [J]. China Oils Fats, 2018, 43 (3): 141-143.
- [5] 徐映如,陈道湧,沈俊毅,等.虹口区市售蔬菜重金属污染与

健康风险评估 [J]. 预防医学, 2021, 33 (4): 406-410.

XU Y R, CHEN D Y, SHEN J Y, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment in market-sale vegetables from Hongkou District [J]. Prev Med, 2021, 33 (4): 406-410.

[6] 赵玉英, 宝力道, 姚立伟, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES) 测定花生仁和黄豆中多种元素 [J]. 中国无机分析化学, 2013, 3 (4): 73-75.

ZHAO Y Y, BAO L D, YAO L W, et al. Comparative study of multiple elements in peanut and soybean by ICP-AES [J]. Chin J Inorg Anal Chem, 2013, 3 (4): 73-75.

[7] 杨丽, 张雪杰, 胥艳. 逆王水-氢氟酸混合体系消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定土壤中 Pb、Cr 和 Cd [J]. 预防医学, 2021, 33 (1): 104-106.

YANG L, ZHANG X J, XU Y. Simultaneous determination of Pb, Cr and Cd in soil by reverse aqua regia-hydrofluoric acid digestion and inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Prev Med, 2021, 33 (1): 104-106.

[8] 胡姝, 于丽, 杨沫, 等. 电感耦合等离子体质谱法检测小浆果中 6 种重金属含量 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12 (5): 1950-1953.

HU S, YU L, YANG M, et al. Determination of 6 heavy metals content in small berry by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. J Food Safe Qual, 2021, 12 (5): 1950-1953.

[9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National standard for food safety-determination of multiple elements in food: GB 5009.268-2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[10] 赵岚, 李喆, 陈彦凤, 等. 碰撞反应池-电感耦合等离子体质谱法测定大米中 5 种重金属元素 [J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28 (21): 2564-2566.

ZHAO L, LI Z, CHEN Y F, et al. Determination of five heavy metals in rice by inductively coupled plasma mass spectrometry with octopole reaction system [J]. Chin J Health Labor Tech, 2018, 28 (21): 2564-2566.

收稿日期: 2021-07-23 修回日期: 2021-11-04 本文编辑: 田田

## 《预防医学》杂志第九届编委会名单

顾问: 毛江森 李兰娟 谭蔚泓 李校堃

编委会主任: 叶真

编委会副主任: 王楨 杨磊 吴息凤 吕卫国 舒强 丛黎明

主编: 王楨

副主编: 俞敏 陈坤 楼建林 何凡 陈钢

编委: (按姓氏笔画排列)

王楨 王晓峰 王晓萌 毛广运 毛伟敏 叶真 付晨 丛黎明 吕卫国 吕华坤  
 朱益民 朱善宽 刘志荣 刘忠 许国章 严丽英 严剑波 严静 李中坚 杨磊  
 吴息凤 何凡 应朝华 沈毅 张严峻 张信美 张美辨 张雪海 张鹏 陆绍红  
 陆焯 陈中文 陈志敏 陈坤 陈其昕 陈苒 陈直平 陈钢 陈恩富 陈彬  
 邵洁 武鸣 武晓泓 林君芬 季巧英 周坚红 周标 郑奎城 赵刚 胡申江  
 胡坚 胡崇高 钟节鸣 俞云松 俞敏 施剑飞 柴程良 徐水洋 徐冰俊 徐进  
 徐来潮 徐键 凌锋 章荣华 蒋健敏 韩见龙 傅传喜 舒强 曾士典 曾晓芑  
 谢臻蔚 楼建林 楼晓明 裘云庆 詹建英 蔡统利 潘晓红

青年编委: (按姓氏笔画排列)

丁芳 王亚利 王维丹 王蒙 王慎玉 毛盈颖 方乐 叶潇 宁博 朱欣  
 刘冰 杜灵彬 李迎君 李钧 李亮 李傅冬 杨剑 吴茵茵 何寒青 邹华  
 邹艳 张丽 张园园 张佳峰 陈志健 陈琳 茅海燕 柳正卫 施红英 费丽娟  
 夏玲姿 徐小民 徐方忠 龚巍巍 韩丽媛 程庆林 蔡高峰 潘军航