

广西八角中铅、镉、铬含量分析及膳食风险评估

黄先亮^{1,2}, 赵博^{1,2*}, 吴彦蕾^{1,2}, 申丽莎³, 谭明天^{1,2}, 杨小珊¹, 辜世伟^{1,2}, 李红丽^{1,2}

[1. 重庆市食品药品检验检测研究院, 重庆 401121; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室(调味品监管技术), 重庆 401121; 3. 重庆市中药研究院, 重庆 400061]

摘要: **目的** 检测广西八角(*Illicium verum*)中铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr) 3种重金属元素含量, 并进行膳食风险评估。**方法** 利用微波消解仪对样品进行消化处理, 以钪(Sc)、铟(In)、铋(Bi)作为内标元素, 应用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)同时测定样品中的3种重金属元素含量, 采用目标危害系数(target hazard quotient/total target hazard quotient, THQ/TTHQ)法进行膳食风险评估。**结果** 在各自的线性范围内, Pb、Cd、Cr相关系数均不小于0.9997, 加标回收率在92.5%~101.8%范围内。22批次八角中3种重金属元素的平均含量由高到低依次为Pb (0.230 mg/kg)> Cr (0.130 mg/kg)> Cd (0.0120 mg/kg), 含量范围的离散程度较大, 变异系数由高到低依次为Pb (139.13%)>Cd (91.67%)>Cr (84.62%), 可能与不同八角样品种植土壤中重金属含量不同有关; 22批次八角样品的THQ及TTHQ均小于1。**结论** 八角样品中Pb含量均低于国家限量标准, 3种重金属元素无明显膳食风险。

关键词: 电感耦合等离子体质谱法; 八角; 铅; 镉; 铬; 膳食风险评估

Analysis of lead, cadmium and chromium and dietary risk assessment of *Illicium verum* in Guangxi

HUANG Xian-Liang^{1,2}, ZHAO Bo^{1,2*}, WU Yan-Lei^{1,2}, SHEN Li-Sha³, TAN Ming-Tian^{1,2}, YANG Xiao-Shan¹, GU Shi-Wei^{1,2}, LI Hong-Li^{1,2}

(1. Chongqing Institute for Food and Drug Control, Chongqing 401121, China; 2. Key Laboratory of Condiment Supervision Technology for State Market Regulation, Chongqing 401121, China; 3. Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400061, China)

ABSTRACT: Objective To detect the content of lead, cadmium and chromium in star anise (*Illicium verum*) of Guangxi, and evaluate the dietary risk. **Methods** The samples were digested by microwave digestion instrument, scandium, indium and bismuth were used as internal standard elements, the content of 3 kinds of heavy metals in the samples were determined simultaneously by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), the dietary risk of 3 kinds of heavy metals were evaluated by target hazard quotient/total target hazard quotient (THQ/TTHQ). **Results** The correlation coefficients of the 3 kinds of heavy metals were not less than 0.9997 in their respective linear ranges, and the recoveries were in the range of 92.5%-101.8%. The average content of lead, cadmium and chromium in the 22 batches of star anise samples from high to low was lead (0.230 mg/kg)>chromium (0.130 mg/kg)>cadmium (0.0120 mg/kg), the

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1602000)、重庆市科技局科研机构绩效激励引导专项(cstc2021jxj10049)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2017YFC1602000), and the Chongqing Science and Technology Bureau (cstc2021jxj10049)

*通信作者: 赵博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 2805325119@qq.com

*Corresponding author: ZHAO Bo, Master, Senior Engineer, Chongqing Institute for Food and Drug Control, No.1, Chunlan 2nd Road, Yubei District, Chongqing 401121, China. E-mail: 2805325119@qq.com

dispersion of the content range was large, and the coefficient of variation from high to low was lead (139.13%)>cadmium (91.67%)>chromium (84.62%), which might be related to the different content of heavy metals in the planting soil of different star anise samples. THQ and TTHQ of 22 batches of star anise samples were less than 1. **Conclusion** The content of lead in star anise samples are lower than the national limit standard, the 3 kinds of heavy metals in star anise samples have no obvious dietary risk.

KEY WORDS: inductively coupled plasma mass spectrometry; *Illicium verum*; lead; cadmium; chromium; dietary risk assessment

0 引言

俗语称, 柴米油盐酱醋茶, 调味品在人们的饮食中扮演着非常重要的角色。八角(*Illicium verum*)作为一种天然的香辛料, 具有增加芳香气味的作用^[1-6], 不仅在调味料的生产加工和餐饮烹饪中应用非常广泛, 还具有一定的药理作用^[7-8]。广西作为“世界八角之乡”, 产量全国第一, 占全世界的 70%以上^[9-10]。铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)作为常见的重金属污染物, 受土壤、水质等环境因素影响较大, 可通过食物链在人体蓄积, 危害人们的健康^[11-13]。GB 2762—2017《食品安全国家标准食品中污染物限量》中规定香辛料类中Pb的限量为3.0 mg/kg, 但对Cd和Cr未作限量要求。既往研究更多关注八角中微量元素含量情况, 如王爱香等^[2]采用原子吸收光谱法测定了重庆八角中铜、锌、铁、锰、镍的含量, 锰含量最高, 为535.9 mg/kg; 杨小珊^[9]测定了广西八角中钙、镁、铜、铁、锌、钾、锰的含量, 钾的含量最高, 平均值为879 mg/kg; 仅有冯绍平等^[14]采用石墨炉原子吸收光谱法平行测定了6份八角样品中的Cd、Pb含量。近年来, 随着工业化进程的加快, 土壤、水质受到的重金属污染加剧^[15-16], 因此, 分析广西八角中重金属污染物Pb、Cd、Cr含量并进行膳食风险评估, 为抽检监测提供数据支撑, 具有较强的实际意义。

微波消解法具有快速、安全、消化效果好等特点, 广泛应用于元素分析的前处理过程中; 电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)具有检出限低、线性范围广、一次进样能快速分析多种元素的特点, 广泛应用于各类样品中重金属的分析检测^[17-21]。目标危害系数(target hazard quotient/total target hazard quotient, THQ/TTHQ)法由美国环保局于2000年建立^[22-24], 是目前常用的一种食品中重金属污染物的风险评估方法。此方法综合考虑了膳食摄入量、暴露时间、体重等指标的影响, 不仅可用于单一重金属风险的评价, 还可以评价多种重金属复合暴露的风险, 具有较强的适用性^[25-30]。本研究在采用微波消解法, 运用ICP-MS同时测定样品中Pb、Cd、Cr 3种重金属元素含量的基础上, 结合目标危害系数法对3种重金属元素进行膳食风险评估, 旨在为八角的安全性评价提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

八角样品采集于广西壮族自治区。

Pb、Cd、Cr 单元素标准溶液(1000 μg/mL, 中国计量科学研究院); 钪(Sc)、铟(In)、铋(Bi)内标溶液(100 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸、30%过氧化氢[优级纯, 重庆川东化工(集团)有限公司]; 标准溶液和样品制备用水为符合 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》中规定的实验室一级用水要求。

1.2 仪器与设备

AL204 电子天平[精度 0.0001 g, 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司]; iCAPQ 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); MARS5 微波消解仪(美国 CEM 公司); Milli-Q 型全自动超纯水机(美国 Millipore 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

称取经干燥并制备均匀的样品 0.5 g 左右, 置于微波消解罐中, 准确加入 9 mL 硝酸和 1 mL 30%过氧化氢, 按预先优化的程序消解样品(见表 1)。待消解罐冷却后, 在赶酸器中赶酸至消溶液剩余 1 mL 左右, 一级水定容至 25 mL 待测, 同时进行空白实验。

表 1 微波消解程序
Table 1 Microwave digestion procedures

程序	升温时间/min	设定温度/°C	保温时间/min
1	5	125	5
2	5	185	20

1.3.2 标准曲线配制

将 Pb、Cr 标准溶液用 2%硝酸溶液配制为 1、5、10、20 和 50 μg/L 的标准系列溶液, Cd 标准溶液用 2%硝酸溶液配制为 0.1、0.5、1.0、2.0 和 5.0 μg/L 的标准系列溶液, 以 2%硝酸溶液作为空白。

1.3.3 电感耦合等离子体质谱仪基本工作参数

射频功率: 1450 W; 蠕动泵转速: 45 r/min; 样品提升速度: 0.5 mL/min; 载气流量: 0.8 L/min; 辅助气流量: 1.0 L/min; 等离子体气流量: 14 L/min; 碰撞池技术 (collision cell technology, CCT) 氦气流量: 1.2 L/min; 内标元素及质量数: ^{45}Sc 、 ^{115}In 、 ^{209}Bi ; 测定元素及质量数: ^{208}Pb 、 ^{111}Cd 、 ^{52}Cr 。

1.3.4 目标危害系数计算

单一重金属膳食风险按照公式(1)计算, 多种重金属复合膳食风险按照公式(2)计算:

$$\text{THQ} = \frac{E_F \times E_D \times F_{\text{IR}} \times C}{R_{\text{FD}} \times W_{\text{AB}} \times T_A} \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\text{TTHQ} = \sum \text{THQ} \quad (2)$$

式中, E_F 为暴露频率, 365 d/年; E_D 为暴露持久性, 30 年^[24]; F_{IR} 为每人每天平均摄入量, 1.25 g/d^[3]; C 为通过检测八角样品中的重金属含量, mg/kg; R_{FD} 为每人每天每公斤体重非致癌口服参考剂量, $\text{Pb}=0.0035 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, $\text{Cd}=0.001 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, $\text{Cr}=1.5 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ^[22]; W_{AB} 为平均体重, 63.45 kg^[24]; T_A 为非致癌平均暴露时间, 10950 d^[24]。

以测定的人体污染物摄入量与参考剂量的比值为评判标准, 如果 $\text{THQ}<1$, 说明没有明显的膳食摄入风险; 如果 $\text{THQ}>1$, 说明相关暴露人群有膳食摄入风险, THQ 值越大说明风险越大。TTHQ 用于评价多种重金属的复合膳食摄入风险, $\text{TTHQ}>1$, 则表明相关暴露人群有膳食摄入风险。

1.4 数据处理

实验数据应用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 25.0 进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 测定同位素以及内标元素的选择

^{208}Pb 、 ^{111}Cd 和 ^{52}Cr 的选择: ^{208}Pb 的丰度比为 52.4%, 且干扰较小; ^{114}Cd 的丰度比最大, 为 28.73%, 但测定过程中引入了 In 作为内标, ^{113}In 会对 ^{114}Cd 的测定产生干扰, ^{111}Cd 的丰度比为 12.8%, 比 ^{114}Cd 低, 但受干扰影响小; ^{52}Cr 丰度比为 83.79%, 且无明显干扰。

内标元素 ^{45}Sc 、 ^{115}In 和 ^{209}Bi 的选择: 为了降低基体效应和仪器漂移的影响, 在测定过程中引入了内标元素,

根据与分析元素质量接近的原则, 在常用内标元素中选择了 ^{45}Sc 、 ^{115}In 和 ^{209}Bi 分别校正 ^{52}Cr 、 ^{111}Cd 和 ^{208}Pb 。

2.2 线性方程和检出限

在使用仪器测定前, 在标准模式下, 用 Tune B 调谐液将仪器调整到最佳状态, 保证灵敏度达到要求; 此外, 采用碰撞反应池技术, 在动能歧视模式下 Co 信号值强度 >30000 , $^{59}\text{Co}/^{17}\text{Cl}^{16}\text{O}$ 比值 >18 。

分别对试剂空白和 Pb 、 Cd 、 Cr 混合标准系列溶液进行测定, 得到标准曲线的线性方程、相关系数以及方法检出限, 结果见表 2。Pb 和 Cr 在 1~50 $\mu\text{g}/\text{L}$ 范围内, Cd 在 0.1~5.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 范围内线性关系较好, 相关系数(r^2)均不小于 0.9997, 检出限为 0.003~0.027 $\mu\text{g}/\text{L}$, 符合检测要求。

2.3 精密度和回收率

对样品溶液重复测定 5 次, 3 种元素的相对标准偏差 (relative standard deviations, RSDs) 在 1.67%~3.15% 之间, 在样品中加入 3 种元素的标准溶液, 测定加标回收率在 92.5%~101.8% 之间, 表明方法具有良好的精密度和准确度, 结果见表 3。

2.4 八角样品检测结果

测定了 22 批次广西八角样品中 Pb 、 Cd 和 Cr 的含量, 结果见表 4。

从检测结果可知, 八角中 Pb 含量范围在 0.012~1.490 mg/kg 之间, 平均含量为 0.230 mg/kg; Cr 含量范围在 0.050~0.540 mg/kg 之间, 平均含量为 0.130 mg/kg; Cd 的含量最低, 最大值仅为 0.0540 mg/kg; 此外, Pb 、 Cd 和 Cr 含量的离散程度较大, 变异系数均在 80% 以上, Pb 达到 139.13%。冯绍平等^[14]利用高压消解-石墨炉原子吸收光谱法测定了八角中 Cd 、 Pb 含量, Cd 为 0.160 mg/kg, 超过本研究 Cd 含量范围, 约为最大值的 3 倍; Pb 为 0.870 mg/kg, 在本研究的范围之内, 接近本研究平均含量的 4 倍。不同八角样品中 3 种重金属元素含量的差异可能与土壤中重金属污染情况及环境条件有关。总体来看, 22 批次广西八角样品中 3 种重金属元素的平均含量较低, 但鉴于有的样品存在 Pb 或者 Cr 含量较高的情况, 有必要进行膳食风险评估。

表 2 3 种重金属元素的线性方程、相关系数和检出限

Table 2 Linear equations, correlation coefficients and the limits of detection of 3 kinds of heavy metal elements

测定元素	线性方程	相关系数(r^2)	检出限($\mu\text{g}/\text{L}$)
^{208}Pb	$Y=145566.9723X+343558.6077$	0.9997	0.027
^{111}Cd	$Y=8639.1378X+254.4837$	0.9998	0.003
^{52}Cr	$Y=10017.5615X+3135.2324$	0.9999	0.019

表 3 3 种重金属元素的 RSDs 和加标回收率($n=5$)
Table 3 RSDs and recoveries of 3 kinds of heavy metal elements ($n=5$)

元素	样品测定值/ $(\mu\text{g/L})$	加标量/ $(\mu\text{g/L})$	测定值/ $(\mu\text{g/L})$	RSDs/%	回收率/%
Pb	5.698	1.00	6.623	2.71	92.5
Cd	0.351	1.00	1.337	1.67	98.6
Cr	3.543	1.00	4.561	3.15	101.8

表 4 22 批八角中 Pb、Cd、Cr 元素含量($n=3$, mg/kg)
Table 4 Content of Pb、Cd、Cr in 22 batches of star anise samples ($n=3$, mg/kg)

样品	Pb	Cd	Cr
1	0.014	0.0057	0.079
2	0.036	0.0075	0.140
3	0.065	0.0071	0.087
4	0.051	0.0070	0.110
5	0.260	0.0160	0.094
6	0.130	0.0100	0.160
7	0.380	0.0270	0.052
8	0.580	0.0064	0.110
9	1.490	0.0540	0.080
10	0.280	0.0061	0.540
11	0.073	0.0059	0.250
12	0.400	0.0140	0.061
13	0.130	0.0090	0.220
14	0.012	0.0070	0.140
15	0.150	0.0092	0.050
16	0.200	0.0130	0.210
17	0.130	0.0095	0.090
18	0.320	0.0150	0.076
19	0.069	0.0072	0.072
20	0.050	0.0051	0.076
21	0.140	0.0074	0.053
22	0.098	0.0080	0.085
平均值	0.230	0.0120	0.130
标准差	0.320	0.0110	0.110
变异系数/%	139.13	91.67	84.62

Cr 进行膳食风险评估。广西八角中 Pb、Cd 和 Cr 的 THQ/TTHQ 值见表 5。

从结果可以看出, 22 批次广西八角样品中大部分单一重金属的 THQ 都为 0, 所有的 TTHQ 值均 <0.01 , 表明 3 种重金属元素无明显膳食风险。第 9 号样品的 Pb 含量达到 1.49 mg/kg, 是标准限量值(3.0 mg/kg)的 50%, 但 Pb 的 THQ 仅为 0.008, 这与八角作为香辛料调味品, 人们每天的膳食摄入量较低有关。

表 5 八角中 Pb、Cd 和 Cr 的 THQ/TTHQ 值
Table 5 THQ/TTHQ values of Pb、Cd and Cr in star anise

样品	THQ			TTHQ
	Pb	Cd	Cr	
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.001
4	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.001	0.000	0.000	0.002
6	0.001	0.000	0.000	0.001
7	0.002	0.001	0.000	0.003
8	0.003	0.000	0.000	0.003
9	0.008	0.001	0.000	0.009
10	0.002	0.000	0.000	0.002
11	0.000	0.000	0.000	0.001
12	0.002	0.000	0.000	0.003
13	0.001	0.000	0.000	0.001
14	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.001	0.000	0.000	0.001
16	0.001	0.000	0.000	0.001
17	0.001	0.000	0.000	0.001
18	0.002	0.000	0.000	0.002
19	0.000	0.000	0.000	0.001
20	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.001	0.000	0.000	0.001
22	0.001	0.000	0.000	0.001

2.5 Pb、Cd 和 Cr 元素膳食风险评估

本研究采用 THQ/TTHQ 法对八角样品中的 Pb、Cd、

3 结 论

本研究以微波消解仪对广西八角样品进行消化处理,利用电感耦合等离子体质谱仪同时测定了样品中 Pb、Cd、Cr 3 种重金属元素含量,方法准确、快速。从分析结果来看,八角中 3 种重金属含量均不高,且差异大,其中 Pb 的平均含量高于 Cd 和 Cr,但所有样品中 Pb 的含量均符合 GB 2762—2017 的要求。采用 THQ/TTHQ 法对 3 种重金属元素进行了膳食风险评估,结果显示,3 种重金属元素无明显膳食风险。

通过对 22 批次广西八角样品中 3 种重金属元素的含量以及既往研究结果的分析,样品间 Pb、Cd、Cr 含量的离散程度很大,变异系数均高于 80%,最高达到 139.13% (Pb),可能与不同样品种植土壤中重金属污染情况及环境条件有关。针对 9 号样品的 Pb (1.49 mg/kg)和 10 号样品的 Cr (0.54 mg/kg),可进一步溯源至样品来源地点,分析周边土壤环境中 Pb 和 Cr 的含量情况,研究重金属元素在土壤-八角中的迁移规律。

本研究分析了广西八角中 3 种重金属的基本含量情况,为抽检监测工作积累数据。然而,本研究的样品均来自广西壮族自治区玉林市容县的部分地方,在样品量和区域代表性方面还存在不足;此外,本研究仅对八角样品中的 Pb、Cd、Cr 含量进行了测定,下一步可考虑对砷和汞以及土壤中的重金属元素含量进行分析,以获取更多、更全面的基础数据。

参考文献

- 陈卓逐,陈静霞,阚健全.不同方法提取八角中有效成分的比较研究[J].中国调味品,2015,40(12):9-12,17.
CHEN ZZ, CHEN JX, KAN JQ. Comparative study on effective components in star anise extracted by different methods [J]. China Cond, 2015, 40(12): 9-12, 17.
- 王香爱,邱小香.原子吸收光谱法测定重庆八角中的微量元素[J].中国调味品,2017,42(5):125-127.
WANG XAI, QIU XX. Determination of trace elements in Chongqing star anise by atomic absorption spectrometry [J]. China Cond, 2017, 42(5): 125-127.
- 钟延旭,程恒怡,廖艳华,等.广西不同地区人群经食用八角摄入二氧化硫的风险分析[J].应用预防医学,2015,21(4):226-228.
ZHONG YX, CHENG HY, LIAO YH, et al. Analysis of sulfur dioxide intake risk from *Illicium verum* in different areas of Guangxi [J]. J Appl Prev Med, 2015, 21(4): 226-228.
- ZHAO J, YU Z, TANG L, et al. Leaf spot caused by *Colletotrichum fruticola* on star anise (*Illicium verum*) in China [J]. Plant Dis, 2021. DOI: 10.1094/pdis-12-16-1720-pdn
- DONNER J, RUEST S. Neonate with seizures after consuming star anise tea [J]. Rhode Island Med J, 2021, 104(8): 8-10.
- PATRA JK, DAS G, BOSE S, et al. Star anise (*Illicium verum*): Chemical compounds, antiviral properties, and clinical relevance [J]. Phytother Res, 2020, 34(6): 1248-1267.
- WANG GW, HU WT, HUANG BK, et al. *Illicium verum*: A review on its botany, traditional use, chemistry and pharmacology [J]. J Ethnopharmacol, 2011, 136(1): 10-20.
- 黄丽贞,谢滢,姜露,等.八角茴香化学与药理研究进展[J].辽宁中医药大学学报,2015,17(2):83-85.
HUANG LZ, XIE Y, JIANG L, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effect of *Illicium verum* [J]. J Liaoning Univ Tradit Chin Med, 2015, 17(2): 83-85.
- 杨小珊.电感耦合等离子体发射光谱法测定广西八角中 7 种金属元素[J].中国调味品,2018,43(8):124-126.
YANG XS. Determination of 7 metal elements in Guangxi star anise samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry [J]. China Cond, 2018, 43(8): 124-126.
- 韦莹,闭洪峰.广西八角产业发展现状问题及对策分析[J].南方农业,2018,12(19):69-70.
WEI Y, BI HF. Analysis on the present situation and countermeasures of Guangxi *Illicium verum* industry development [J]. South China Agric, 2018, 12(19): 69-70.
- TANG L, DENG SH, TAN D, et al. Heavy metal distribution, translocation, and human health risk assessment in the soil-rice system around Dongting Lake area, China [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2019, 26(17): 17655-17665.
- ZHAO KL, FU WJ, YE ZQ, et al. Contamination and spatial variation of heavy metals in the soil-rice system in Nanxun County, Southeastern China [J]. Int J Environ Res Public Health, 2015, 12: 1577-1594.
- CAI LM, WANG QS, LUO J, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment for children near a large Cu-smelter in central China [J]. Sci Total Environ, 2019, 650(Pt 1): 725-733.
- 冯绍平,刘卫,黄兆龙,等.高压消解-石墨炉原子吸收光谱法测定八角和桂皮中镉、铅含量[J].理化检验(化学分册),2015,51(6):855-858.
FENG SP, LIU W, HUANG ZL, et al. Determination of cadmium and lead in star anise and cinnamon by GF-AAS combined with high-pressure digestion [J]. Phys Test Chem Anal B, 2015, 51(6): 855-858.
- CHEN L, ZHOU SL, SHI YX, et al. Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu region and their potential health risks when ingested [J]. Sci Total Environ, 2018, 615: 141-149.
- DENG X, YANG Y, ZENG HY, et al. Variations in iron plaque, root morphology and metal bioavailability response to seedling establishment methods and their impacts on Cd and Pb accumulation and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. J Hazard Mater, 2020, 384: 121343.
- 倪明龙,邱志超,薛雪.超级微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)检测砂仁中的 8 种元素[J].现代食品科技,2021,37(8):326-332.
NI ML, QIU ZC, XUE X. Determination of eight elements in amomumvillosum by super microwave digestion/inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(8): 326-332.
- 张黎,陶文斌,李大钊,等.超级微波 ICP-MS 法测定食用猪油中 5 种微量元素[J].分析仪器,2021,(1):116-119.
ZHANG L, TAO WB, LI DZ, et al. Determination of 5 trace elements in edible lard by ultra wave ICP-MS [J]. Anal Instrum, 2021, (1): 116-119.
- 费毅琴,肖凌,汪波,等.37 种植物类药材中重金属和有害元素残留分

- 析及风险评估[J]. 药物分析杂志, 2021, 41(6): 1000-1008.
- FEI YQ, XIAO L, WANG B, *et al.* Residue analysis and risk assessment of heavy metals and harmful elements in 37 plant medicinal materials [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2021, 41(6): 1000-1008.
- [20] 朱腾高, 陈静, 吴德波, 等. ICP-MS 顺次分析鸡蛋壳中微量元素[J]. 质谱学报, 2021, 42(4): 487-494.
- ZHU TG, CHEN J, WU DB, *et al.* Sequential analysis of trace elements in egg shells by ICP-MS [J]. *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2021, 42(4): 487-494.
- [21] 安永鹏, 杨彦丽, 丁轲. ICP-MS 和 ICP-OES 法检测粉条中铝含量的比较研究[J]. 中国食品添加剂, 2021, 32(6): 108-113.
- AN YP, YANG YL, DING K. Comparison of ICP-MS and ICP-OES for detection of aluminum in vermicelli [J]. *China Food Addit*, 2021, 32(6): 108-113.
- [22] United States Environmental Protection Agency (2000). Risk-based concentration table [EB/OL]. [2011-08-31]. <http://www.sciepub.com/reference/13120> [2021-08-22].
- [23] 聂荣荣, 古勉辉, 董文静, 等. 梅州金柚中金属元素分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(12): 4742-4749.
- NIE RR, GU MH, DONG WJ, *et al.* Metallic element analysis and dietary risk assessment of Meizhou golden pomelo [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(12): 4742-4749.
- [24] 徐明芳, 岳甜, 傅利军, 等. 微波消解-电感耦合等离子体-质谱法同步检测白玉菇中 Pb、As、Cd 及其健康风险评估[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 333-339.
- XU MF, YUE T, FU LJ, *et al.* Simultaneous determination of Pb, As, and Cd in white *Hypsizygus marmoreus* by microwave digestion inductively coupled plasma-mass spectrometry and health risk assessment [J]. *Food Sci*, 2020, 41(24): 333-339.
- [25] 倪杨, 史玉琴, 石磊, 等. 北京地区六种主产水果矿物质元素含量分析及初步膳食风险评估[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 307-314.
- NI Y, SHI YQ, SHI L, *et al.* Mineral element contents of six dominant fruits in Beijing and their dietary risk assessment [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(13): 307-314.
- [26] 李冰茹, 张全刚, 姚真真, 等. 北京市售干食用菌中重金属特征分析及健康风险评估[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 293-299, 319.
- LI BR, ZHANG QG, YAO ZZ, *et al.* Analysis of heavy metals in dried edible fungi commercially available in Beijing and assessment of health risks via consumption [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2020, 36(12): 293-299, 319.
- [27] 雷用东, 张正红, 朱玉龙, 等. 新疆葡萄干中 4 种重金属含量分析与膳食暴露评估[J]. 农产品质量与安全, 2020, (6): 49-53, 82.
- LEI YD, ZHANG ZH, ZHU YL, *et al.* Analysis of four heavy metals in Xinjiang raisins and evaluation of their dietary exposure [J]. *Qual Saf Agric Prod*, 2020, (6): 49-53, 82.
- [28] GUO B, HONG CL, TONG WB, *et al.* Health risk assessment of heavy metal pollution in a soil-rice system: A case study in the Jinqu Basin of China [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 11490.
- [29] ZHENG S, WANG Q, YUAN YZ, *et al.* Human health risk assessment of heavy metals in soil and food crops in the Pearl River Delta urban agglomeration of China [J]. *Food Chem*, 2020, 316: 126213.
- [30] TAGN ML, LU GH, FAN BL, *et al.* Bioaccumulation and risk assessment of heavy metals in soil-crop systems in Liujiang Karst area, Southwestern China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28(8): 9657-9669.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



黄先亮, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 285920112@qq.com



赵博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 2805325119@qq.com