

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250317009

引用格式: 关剑锋, 翁文川, 陈丽君, 等. 面包蟹不同部位中 5 种有害重金属分布特征[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 54–59.

GUAN JF, WENG WC, CHEN LJ, *et al.* Distribution characteristics of 5 kinds of harmful heavy metals in different parts of *Cancer pagurus* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 54–59. (in Chinese with English abstract).

面包蟹不同部位中 5 种有害重金属分布特征

关剑锋, 翁文川, 陈丽君, 唐泽开, 柏建山*

(广州白云机场海关, 国家水产品检测重点实验室, 广州 510640)

摘要: 目的 评估进口面包蟹(普通黄道蟹)不同组织部位及整蟹中 5 种有害重金属的污染水平, 明确其分布特征及食品安全风险。**方法** 依据 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》, 采用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)检测面包蟹肝胰腺、蟹黄、蟹腮、蟹身肉、蟹腿肉等 9 个部位及整蟹中砷、镉、铬、汞、铅的含量, 分析不同部位重金属富集差异及超标情况。**结果** 镉污染最突出, 肝胰腺中含量最高(达 98.60 mg/kg), 超标率 95.0%; 砷普遍检出但无明确限量标准, 汞、铅仅在蟹腮等不可食部位超标; 重金属含量总体表现为镉>砷>汞>铅>铬, 可食部位(蟹身肉、蟹腿肉)含量明显低于非食用部位; 整蟹重金属含量受高污染部位(如肝胰腺)影响显著。**结论** 进口面包蟹存在肝胰腺和性腺等食用存疑部位高度富集镉的风险, 需完善可食部位界定标准并建立针对性风险评估机制, 建议消费者减少高污染部位摄入。本研究为优化进口甲壳类水产品的安全监管策略及膳食指导提供了数据支撑。

关键词: 面包蟹; 重金属; 电感耦合等离子体质谱法; 镉

Distribution characteristics of 5 kinds of harmful heavy metals in different parts of *Cancer pagurus*

GUAN Jian-Feng, WENG Wen-Chuan, CHEN Li-Jun, TANG Ze-Kai, BAI Jian-Shan*

(Key Laboratory of Aquatic Product Testing, Guangzhou Baiyun Airport Customs, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the pollution levels of five harmful heavy metals in different tissue parts and whole crabs of imported *Cancer pagurus* (common yellow crabs), clarify their distribution characteristics and food safety risks. **Methods** According to the national standard GB 5009.268—2016 *National food safety standard-Determination of multielements in food*, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used to detect the content of arsenic, cadmium, chromium, mercury, and lead in 9 parts of *Cancer pagurus* liver, pancreas, crab roe, crab gills, crab body meat, crab leg meat and whole crab. The differences in heavy metal enrichment and exceedance in different parts were analyzed. **Results** Cadmium pollution was the most prominent, with the highest content in the liver and pancreas (up to 98.60 mg/kg) and a exceedance rate of 95.0%; arsenic was commonly detected but there was no clear limit standard, while mercury and lead only exceed the limit in inedible parts such as

收稿日期: 2025-03-17

基金项目: 广州市科学计划项目(2023B04J0172)

第一作者: 关剑锋(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为水产品质量安全研究。E-mail: jf258758@163.com

*通信作者: 柏建山(1976—), 男, 博士, 高级兽医师, 主要研究方向为水产品质量安全研究。E-mail: bjslinyi@qq.com

crab gills; the overall heavy metal content was cadmium>arsenic>mercury>lead>chromium, and the content of edible parts (crab body meat, crab leg meat) was significantly lower than that of non edible parts; the heavy metal content in whole crabs was significantly affected by highly polluted areas such as the liver and pancreas. **Conclusion** Imported *Cancer pagurus* pose a high risk of cadmium enrichment in suspected edible parts such as the liver, pancreas and gonads. It is necessary to improve the definition criteria for edible parts and establish a targeted risk assessment mechanism. It is recommended that consumers reduce their intake of highly contaminated parts. This study provides data support for optimizing the safety supervision strategy and dietary guidance of imported crustacean aquatic products.

KEY WORDS: *Cancer pagurus*; heavy metals; inductively coupled plasma mass spectrometry; cadmium

0 引 言

面包蟹学名普通黄道蟹,俗名棕蟹。它体型较大,膏脂丰腴,肉质丰满。因其独特的风味和营养价值受到广大消费者的青睐^[1-3]。但是,近几年来,以面包蟹为代表的水产品重金属污染信息屡见报道。2019 年许昌市胖东来超市有限公司生活广场销售的 1 批次面包蟹,镉(以 Cd 计)检出值为 8.2 mg/kg,标准规定为不大于 0.5 mg/kg,超过标准 15.2 倍^[4]。2020 年 9 月,《消费者报道》整理了国家及省级市场监督管理局以及原食品药品监督管理局于 2015 年 10 月至 2020 年 8 月公布的关于螃蟹的质量抽检情况。结果显示,近 5 年监管部门共抽检到不合格蟹类 419 批次,涉及梭子蟹、大闸蟹、花蟹、面包蟹等多个品种。不合格原因主要是重金属超标,占 87.6%^[5]。面包蟹重金属污染问题频发,引发社会广泛关注。研究表明,甲壳类生物对重金属的富集能力极强,可达环境浓度的数百倍^[6-8]。重金属超标的食物会给人的健康带来很大的风险,比如汞可以在体内积累,破坏中枢神经系统,对口、黏膜和牙齿有不良影响;镉会对呼吸道产生刺激,食入过量会引起中毒甚至休克;砷中的无机砷会致癌,会损伤呼吸系统和消化系统;铅是一种慢性和积累性毒物,会破坏人体神经系统和造血,影响儿童的脑部发育;铬会影响身体的抗氧化系统,容易得与氧化性相关的慢性疾病,比如糖尿病、高血压这一类的疾病^[9-12];然而,现有检测多针对整蟹或单一重金属(如镉),缺乏多元素、分部位的系统分析^[13-16]。此外,欧盟与我国对可食部位的界定差异(如蟹黄是否可食)导致检测结果偏差。

本研究针对口岸进口的面包蟹不同部位的 5 种有害重金属(砷、镉、铬、汞、铅)含量进行检测,揭示其分布规律及超标风险,不仅有助于了解重金属在面包蟹体内的累积特性,也可以为完善检测标准及消费者膳食指导提供数据支持,更为监管部门实现水产品安全风险评估和精确监管提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材 料

鲜活面包蟹(棕蟹)共 40 批,均来自口岸一线,产地为

欧洲地区,分别来自英国(38 批)、爱尔兰(1 批)和荷兰(1 批)。

1.1.2 仪器与试剂

7800 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦科技有限公司); CEM Mars6 微波消解仪(广州培安有限公司); SN-24 全自动石墨消解仪(广州科仪仪器有限公司); ME 204 分析天平(精度 0.1 mg,梅特勒-托利多上海有限公司)。

镉、铅、铬、砷混合标准溶液(质量浓度 10.0 μg/mL)、铋、钨、铈、锂、镧、铊、铟、铈内标溶液(质量浓度 100 μg/mL)(钢研纳克检测技术股份有限公司);汞标准溶液(质量浓度 1000 mg/L,上海安谱实验科技股份有限公司);硝酸(色谱纯,德国默克科技有限公司);氩气(纯度大于 99.99%,广州气体有限公司);实验室用水为密理博超纯水。

1.2 实验方法

1.2.1 检测方法

参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中第一法电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS),对进口面包蟹的不同部位进行 5 种元素含量的测定,根据 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》进行限值判断。

1.2.2 试样制备

对鲜活面包蟹进行清洁处理后,人工分离并弃除外壳及内脏器官(包括心脏、鳃部、胃囊、肠道),完整收集可食用组织进行均质化处理,获得全蟹混合样本。针对同批次样本实施器官特异性分析,系统分离 9 个生物组织单元:肝胰腺组织、生殖腺组织(蟹黄/膏)、呼吸系统(蟹腮)、循环中枢(蟹心)、消化器官(蟹胃)、排泄通道(蟹肠)、躯干肌肉组织(蟹身肉)、步足肌肉组织(蟹腿肉)及全蟹混合样本,分别建立独立检测样本以供检测用。

具体制备步骤如下:

(1)头胸甲与腹甲的分离。将螃蟹腹面朝上,用解剖刀沿头胸甲与腹甲连接处(铰合部)横向切开。用镊子轻轻撬开并移除腹甲(雄性为窄三角形,雌性为半圆形)。

(2)附肢的分离。按从后向前的顺序依次分离步足、螯足和口器附肢(颚足、大颚等)。用剪刀剪断附肢基部关节膜,保留完整分节结构(基节、座节、长节等)。

(3)呼吸系统(蟹腮)。用镊子夹住鳃的基部(位于头胸甲两侧的鳃腔内),向外轻拉分离。鳃呈羽毛状,排列在鳃腔内。

(4)消化器官(蟹胃)。位于头胸部前端,用镊子分离周围组织,可见钙质齿的“胃磨”(用于破碎食物)。

(5)肝胰腺组织。黄褐色腺体,包围在胃周围,质地柔软,用镊子小心剥离。

(6)排泄通道(蟹肠)。从胃后部延伸至肛门(位于腹甲末端),呈细管状。

(7)循环中枢(蟹心)。头胸部背侧中央,半透明囊状结构。用镊子轻提心脏,剪断连接血管。

(8)生殖腺组织(蟹膏)(白色或乳白色)。位于头胸部后端,连接输精管至第 5 对步足基部的生殖孔。

(9)生殖腺组织(蟹黄)(橙红色或黄色)。占据头胸部大部分空间,输卵管通向腹甲基部的生殖孔。

(10)躯干肌肉组织(蟹身肉)和步足肌肉组织(蟹腿肉)。躯干肌肉组织(蟹身肉)即胸腔内两侧的白色肌肉组织。步足肌肉组织(蟹腿肉)即螯足内大块横纹肌,用于钳合和附肢分节内的束状肌肉,控制运动。

螃蟹的器官组织位置解剖分布见图 1。

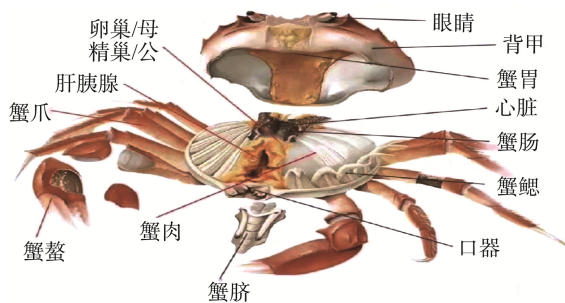


图 1 螃蟹的器官组织位置解剖分布图
Fig.1 Anatomical distribution of organ and tissue locations in crabs

1.2.3 试样消解

准确称取 0.2~0.3 g(精确至 0.001 g)均匀试样于微波消解内罐中,加入 5 mL 硝酸,加盖放置 1 h 或过夜,旋紧罐盖,按照微波消解仪标准操作步骤进行消解。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 100 ℃控温电热板上加热 30 min,用水定容到 50 mL,混匀备用,同时做空白实验。

1.2.4 仪器条件

(1)微波消解条件

微波条件:控制温度:120 ℃升温 10 min,保持 5 min;150 ℃升温 5 min,保持 5 min;200 ℃升温 10 min,保持 20 min。

(2) ICP-MS 参考条件

参考条件:射频(radio frequency, RF)发生器产生的高频交流电功率 1550 W, RF 匹配 1.80 V,采样深度 10.0 mm,载气 1.01 L/min,补偿/稀释气体 0.00 L/min,可选气体 0.0%,蠕动泵 0.10 rps,雾化室温度 2 ℃。

1.2.5 检测步骤

参照 GB 5009.268—2016 中第一法 ICP-MS 对样品进行测定。待仪器稳定后,将混合标准溶液通过进样系统注入仪器,测定待测元素和内标元素的计数值,分别以待测元素的浓度为横坐标,待测元素与所选内标元素响应信号值的比值为纵坐标,绘制标准曲线,同时将空白溶液和试样溶液注入仪器,根据曲线测定消解液中的待测元素浓度。

1.3 数据处理

电感耦合等离子体质谱仪所采集数据通过 MassHunter 4.3 软件处理并生成标准曲线,外标法定量。采用 Office Excel 2010 软件对数据进行统计、制表。采用 Origin 9.0 绘图处理。每个样品在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 20%。

2 结果与分析

2.1 面包蟹不同部位 5 种重金属的检测结果

以镉、铅、汞、铬、砷各元素的浓度为横坐标,其响应值为纵坐标建立标准曲线,曲线范围、线性方程、相关系数、检出限见表 1,蟹不同部位 5 种重金属含量结果见表 2,超标情况见表 3。

2.2 面包蟹不同部位 5 种金属的检测结果分析

通过表 2 和表 3 蟹的不同部位检测结果可知,重金属检出含量高低依次为:镉>砷>汞>铅>铬。检出的频率高低依次为:砷>汞>镉>铅>铬;含量分布方面,镉检出含量最高,其中肝胰腺部位最严重,高达 98.60 mg/kg,超标率 95.0%,

表 1 镉、铅、汞、铬、砷 5 种元素的曲线范围、线性方程、相关系数、定量限

Table 1 Curve ranges, linear equations, correlation coefficients, and limits of quantitation of 5 kinds of elements: Cadmium, lead, mercury, chromium and arsenic					
元素名称	线性范围/(μg/L)	线性方程	相关系数	定量限/(mg/kg)	检出限/(mg/kg)
镉	1~50	$Y=0.0078X+4.7149e-005$	0.9997	0.005	0.002
铅	1~50	$Y=0.0494X+0.0037$	0.9998	0.05	0.02
汞	0.1~2.0	$Y=0.0031X+8.6728e-006$	0.9982	0.003	0.001
铬	1~50	$Y=0.2287X+0.0397$	0.9997	0.20	0.05
砷	1~50	$Y=0.0260X+0.0011$	0.9999	0.005	0.002

表 2 面包蟹不同部位重金属含量检测结果(mg/kg, n=40)
Table 2 Results of heavy metal content detection in different parts of *Cancer pagurus* (mg/kg, n=40)

部位	镉	铅	汞	铬	砷
肝胰腺	0.46~98.60	<0.02~0.07	0.087~0.120	<0.05	11.27~12.46
蟹黄(膏)	0.04~1.10	<0.02~0.11	0.012~0.042	<0.05	9.20~12.23
蟹鳃	0.12~1.34	<0.02~1.78	0.050~0.083	<0.05~0.78	3.62~10.0
蟹心	0.08~1.11	<0.02~0.15	0.058~0.160	<0.05	7.76~12.69
蟹胃	0.02~2.71	<0.02~0.45	0.024~0.050	<0.05	8.86~10.11
蟹肠	0.05~8.74	<0.02~0.45	0.038~0.120	<0.05	11.18~13.05
蟹身肉	0.01~0.88	<0.02~0.25	0.096~0.260	<0.05	15.10~21.50
蟹腿肉	<0.002~0.31	<0.02~0.06	0.071~0.290	<0.05	15.76~26.05
全蟹	<0.002~15.1	<0.02~0.27	0.005~0.210	<0.05	0.13~155.50

表 3 面包蟹不同部位重金属超标情况统计
Table 3 Statistics of heavy metal excess in different parts of *Cancer pagurus*

部位	检测项目	检出率/%	超标率/%
肝胰腺	镉	100.0	95.0
	砷	100.0	—
蟹黄(膏)	镉	100.0	25.0
蟹鳃	镉	100.0	55.0
	铅	25.0	7.5
蟹心	镉	100.0	32.5
蟹胃	镉	100	50.0
蟹肠	镉	100.0	57.5
全蟹	镉	87.5	70.0

注: —表示砷的超标率未提供(GB 2762—2022 中甲壳类砷限值未规定); 未列出的项目(铅、汞、铬)在所在部位中超标率为 0%; 数据来源: 40 批次样本检测结果, 检测方法参照 GB 2762—2022。

其次是蟹肠、蟹胃等部位; 铅每个部位都有检出, 但只在蟹鳃检出超标(7.5%); 砷和汞每个部位都有检出, 且总砷的含量普遍较高; 铬在蟹中的分布和蓄积较少, 除去蟹鳃, 各部位含量均低于检出限(<0.05 mg/kg), 可能与其在环境中的分布和生物积累特性有关。可食部位(蟹身肉、蟹腿肉)重金属含量大部分明显低于非食用部位; 整蟹重金属含量受高污染部位(如肝胰腺)影响显著。日常在享用面包蟹时应注意进食的量和减少进食高风险部位, 尽量不过量食用或少食用, 以及选用其他蟹代替, 减少食用风险, 以免给自身健康带来危害。

2.3 面包蟹可食部位的界定

面包蟹全蟹一般可以处理为壳、肝胰腺、蟹黄(膏)、蟹鳃、蟹心、蟹胃、蟹肠、蟹身肉、蟹腿肉 10 个部分^[17-18]。按国标标准方法进行检测时, 5 种重金属对应的检测标准均只规定检测面包蟹的可食部分, 但是没有具体明确哪些是可食部分。本研究中, 若剔除肝胰腺和蟹鳃, 整蟹镉超

标率将明显降低, 表明可食部位界定显著影响检测结果。据文献显示欧洲地区对蟹的食用方式与我国不同, 国外消费者只食用蟹的肌肉组织不食用蟹黄(膏)和肝胰腺^[19-24]。欧盟委员会 2023 年发布的法规(EU) 2023/915 附录中规定, 检测甲壳类动物是不包含蟹类的棕色肉, 还有龙虾的头部和胸部以及类似的大型甲壳动物。最高限量值适用于附肢和腹部的肌肉, 这意味着甲壳类动物的头胸部被排除在外。对于螃蟹和蟹状甲壳类动物(*Brachyura* 和 *Anomura*), 最高限量值适用于附肢的肌肉。此外, 欧洲标准 EN 13804: 2013 中食品的样品制备程序示例部分也明确规定甲壳和软体贝类分析前应将甲壳类动物的可见消化道去除。从实验室样品中制出的可食用部分应该不含残留壳和外骨骼部分。如果对头足类动物的可食用部分进行研究时, 所有的肠(肝胰腺)部分均应定量去除。对螃蟹只有附属肢体的肌肉可以使用。因此欧盟方面的监管机构对面包蟹检测也只针对蟹的肌肉组织, 而我国标准 GB 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》、GB 2762—2022 和 GB 5009 系列标准均对甲壳类动物的可食部分进行检测, 做法不统一造成欧洲进口面包蟹常常全面超标。然而对于面包蟹来说, 某些期刊文章认为不可食部分包括肝胰腺和鳃; 鳃是不可食部分这是大家都认同的, 但是肝胰腺也被认为不可食部分, 这有待商榷。肝胰腺其实是常说的蟹的消化系统, 也是面包蟹大量可食用的部分。因此, 在实际检测中, 检测人员对可食部分的界定, 对面包蟹的检测会造成极大的检测结果误差, 应引起检测人员的重视, 以及后续加强检测标准及规范的相关完善。建议及时规范可食部位的定义, 避免造成检测的误差, 引起食品安全和贸易壁垒问题。

2.4 面包蟹重金属的风险监测

目前面包蟹的检测多针对整蟹或单一重金属(如镉), 缺乏多元素、分部位的系统分析。从本研究检出的砷、铅、汞等基本不检测, 容易造成食品安全风险问题, 引发食品安全事故。尤其检出率和检出数值较高的重金属砷。据报

道, 砷普遍以+3 和+5 价的氧化态形式存在, 并且是最常见于生物组织和环境样本中的存在形式。在需氧性的水溶性环境中, 无机砷的主要存在形式是 As(V), 而 As(III)是缺氧的中性环境中的主要形式。这两种无机砷化合物都是有毒的, 可以在氧化还原条件和 pH 的变化下相互转化。砷的毒性取决于其存在的形态, 根据氧化状态、物理状态和因子而变化, 例如溶解度、摄取和消除率^[25-29]; 日常的检测中常常都没有深入分析, 容易造成水产品的重金属食用风险, 应给予高度重视。建议在检测中增加砷的形态分析(如无机砷占比), 同时引入风险评估机制, 制定进境面包蟹的安全风险评估规划, 提出风险评估计划, 逐步建立和完善安全风险评估体系^[30], 为水产品面包蟹的安全监管提供技术支撑, 从而加强水产品的安全监管。

3 结 论

通过对面包蟹不同部位的 5 种有害重金属分析可知, 蟹的可食部位界定对蟹的重金属检测有很大的影响, 应引起重视, 建议尽快完善有关食品检测标准, 给出可食部分的界定; 同时引入风险评估机制, 完善监管机制。此外, 在享用面包蟹时, 也应注意进食风险, 尽量不过量食用或少食用高风险部位, 减少进食风险。

参考文献

- [1] 面包蟹几月份吃最好, 面包蟹的营养价值有哪些[Z]. 鲜哈海鲜, 2019. When is the best month to eat *Cancer pagurus*, and what are the nutritional values of *Cancer pagurus* [Z]. Xianha Seafood, 2019.
- [2] 吴池莹, 樊祥, 蒲莹, 等. 面包蟹中重金属镉的监测及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(8): 1960-1965. WU CY, FAN X, PU Y, *et al.* Monitoring and health risk assessment of heavy metal cadmium in bread crabs [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(8): 1960-1965.
- [3] 蒋科技, 张丹, 皮妍, 等. 青蟹、梭子蟹、中华绒螯蟹三种经济蟹类可食部分的氨基酸、脂肪酸、重金属含量分析[C]. 2010 年中国水产学会学术年会论文摘要集, 2010: 196. JIANG KJ, ZHANG D, PI Y, *et al.* Analysis of amino acid, fatty acid, and heavy metal content in the edible parts of three economic crab species: Chinese mitten crab, Chinese mitten crab, and Chinese mitten crab [C]. Proceedings of the 2010 Annual Conference of the Chinese Fisheries Society, 2010: 196.
- [4] 许昌市胖东来超市有限公司. 食品安全抽检报告[Z]. 2019. Xuchang Pangdonglai Supermarket Co., Ltd. Announcement on food safety sampling inspection [Z]. 2019.
- [5] 螃蟹抽检报告: 镉含量最高超标近 34 倍, 永辉超市、盒马鲜生曾上榜[Z]. 消费者报道, 2020. Crab sampling report: The highest cadmium content exceeded the standard by nearly 34 times, and Yonghui supermarket and Hema fresh were once on the list [Z]. Consumer Reports, 2020.
- [6] 林巾侠, 高峰. 直接进样原子荧光法对棕蟹不同部位的镉含量分析[J]. 分析仪器, 2017, 1: 42-48. LIN JX, GAO F. Direct injection atomic fluorescence analysis of cadmium content in different parts of brown crabs [J]. Analytical Instruments, 2017, 1: 42-48.
- [7] 屠鸿薇, 池岚, 刘志婷, 等. 广东省蟹类镉污染调查及评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2335-2339. TU HW, CHI L, LIU ZT, *et al.* Investigation and evaluation of cadmium pollution in crabs in Guangdong Province [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(7): 2335-2339.
- [8] 邵玉芳, 邵世勤. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定水产品中重金属元素[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(14): 159-162. SHAO YF, SHAO SQ. Determination of heavy metal elements in aquatic products by microwave digestion flame atomic absorption spectroscopy [J]. Food Research and Development, 2018, 39(14): 159-162.
- [9] 岁珂, 杭纬. 小龙虾中重金属含量和分布研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(10): 297-298. SUI K, HANG W. Research on the content and distribution of heavy metals in crayfish [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2018, 38(10): 297-298.
- [10] 夏绪红, 陶小庆, 崔龙. 探究食品中重金属检测技术及其发展[J]. 食品安全导刊, 2022(1): 183-185. XIA XH, TAO XQ, CUI L. Exploring the detection technology and development of heavy metals in food [J]. China Food Safety Magazine, 2022(1): 183-185.
- [11] 王安杏, 张庆. 食品中重金属检测方法研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2022(10): 284-291. WANG ANX, ZHANG Q. Research progress on heavy metal detection methods in food [J]. China Food Additives, 2022(10): 284-291.
- [12] 王子衡, 刘海泉, 潘迎捷, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定中华绒螯蟹中砷元素的含量[J]. 中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集, 2016: 59-60. WANG ZH, LIU HQ, PAN YJ, *et al.* Determination of arsenic content in Chinese mitten crab by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Abstract of the 17th Annual Meeting of the Chinese Society for Food Science and Technology, 2016: 59-60.
- [13] 赵金秀, 胡功仁, 余瑞莲, 等. 河口湿地招潮蟹重金属 ICP-AES 法测定及风险评价[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12): 535-539. ZHAO JX, HU GR, YU RL, *et al.* Determination and risk assessment of heavy metals in estuarine wetland crab by ICP-AES method [J]. Environmental Science and Technology, 2010, 33(12): 535-539.
- [14] 卢坤俊, 吴吉奎, 王志和, 等. 南极磷虾中重金属含量的测定[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 64-66. LU KJ, WU JK, WANG ZH, *et al.* Determination of heavy metal content in Antarctic krill [J]. Food Industry Technology, 2013, 34(2): 64-66.
- [15] 汪倩, 吴旭干, 楼宝, 等. 三疣梭子蟹不同部位肌肉主要营养成分分析[J]. 营养学报, 2013, 35(3): 310-312. WANG Q, WU XG, LOU B, *et al.* Analysis of the main nutritional components of muscles in different parts of the three spotted swimming crab [J]. Chinese Journal of Nutrition, 2013, 35(3): 310-312.
- [16] 宋成成. 水产品中重金属污染现状及检测技术[J]. 中国食品工业, 2022(9): 40-42. SONG CC. Current situation and detection technology of heavy metal pollution in aquatic products [J]. China Food Industry, 2022(9): 40-42.
- [17] 倪妮, 杨喜凤, 郭锦雷, 等. 进口棕蟹不同部位镉含量分析[J]. 分析仪器

- 器, 2021(3): 190–192.
- NI N, YANG XF, GUO ZL, *et al.* Analysis of cadmium content in different parts of imported brown crabs [J]. *Analytical Instruments*, 2021(3): 190–192.
- [18] 孙欣, 任硕, 郑江, 等. 水产品中重金属镉污染的那些事儿[J]. *质量与安全与检验检测*, 2021, 31(增刊 1): 7–10.
- SUN X, REN S, ZHENG J, *et al.* The pollution of heavy metal cadmium in aquatic products [J]. *Quality, Safety and Inspection Testing*, 2021, 31(Supplement 1): 7–10.
- [19] 侯晓波, 王鑫, 郭莉娟, 等. 食品中重金属的危害及其检测方法[J]. *农产品加工*, 2017(7): 39–40, 43.
- HOU XB, WANG X, GUO LJ, *et al.* The hazards and detection methods of heavy metals in food [J]. *Agricultural Product Processing*, 2017(7): 39–40, 43.
- [20] 张振峰. 食品中重金属污染途径及检测方法[J]. *食品安全学报*, 2016(35): 27.
- ZHANG ZF. Pathways and detection methods of heavy metal contamination in food [J]. *Journal of Food Safety*, 2016(35): 27.
- [21] 周海龙. 食品重金属污染来源危害及其检测方法的探讨[J]. *科技创新学报*, 2019, 16(7): 245–246.
- ZHOU HL. Exploration of the hazards and detection methods of heavy metal pollution sources in food [J]. *Journal of Science and Technology Innovation*, 2019, 16(7): 245–246.
- [22] 李光生, 王桂强, 曾燕波, 等. 2012–2017 年烟台市市售海参中重金属 β -受体激动剂污染状况及危险性评估[J]. *职业与健康*, 2018, 34(6): 764–768.
- LI GS, WANG GQ, ZENG YB, *et al.* Pollution status and risk assessment of heavy metal β -receptor agonists in commercially available sea cucumbers in Yantai City from 2012 to 2017 [J]. *Occupational and Health*, 2018, 34(6): 764–768.
- [23] 杨丽, 何鹏程, 李杉, 等. 河南省市售海鲜与水产品中重金属污染状况调查[J]. *中国卫生产业*, 2019, 16(32): 3–7.
- YANG L, HE PC, LI S, *et al.* Investigation on heavy metal pollution in seafood and aquatic products sold in Henan Province [J]. *China Health Industry*, 2019, 16(32): 3–7.
- [24] 潘武英. 几种重金属在淡水动物体内的富集及其毒理研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2003.
- PAN WY. Enrichment and toxicological study of several heavy metals in freshwater animals [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2003.
- [25] 王子衡. 中华绒螯蟹中重金属的分布特征调查及砷的食用安全风险评估研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- WANG ZH. Investigation on the distribution characteristics of heavy metals in Chinese mitten crabs and study on the food safety risk assessment of arsenic [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [26] 孙瑶, 慕铮, 姜玲玲. 大连地区虾夷贝、赤贝中重金属元素含量变化研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2025, 16(7): 25–32.
- SUN Y, MU Z, JIANG LL. Study on the changes of heavy metal element content in shrimp and scallop in Dalian Area [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(7): 25–32.
- [27] 董欣悦, 宋超, 张聪, 等. 中国养殖中华绒螯蟹中镉的残留现状及膳食风险评估[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(3): 564–570.
- DONG XY, SONG C, ZHANG C, *et al.* The current status and dietary risk assessment of cadmium residues in Chinese mitten crabs raised in China [J]. *Chinese Journal of Ecology and Environment*, 2019, 28(3): 564–570.
- [28] 张聪, 宋超, 裴丽萍, 等. 太湖流域中华绒螯蟹重金属镉和铬的风险评估[J]. *环境科学与技术*, 2017, 40(3): 178–181.
- ZHANG C, SONG C, QIU LP, *et al.* Risk assessment of heavy metals cadmium and chromium in *Eriocheir sinensis* in the Taihu Lake basin [J]. *Environmental Science and Technology*, 2017, 40(3): 178–181.
- [29] 谭秀慧, 吴春琦, 殷悦, 等. 江苏地区中华绒螯蟹铅残留现状与健康风险评估[J]. *食品工业*, 2022, 43(1): 343–346.
- TAN XH, WU CQ, YIN Y, *et al.* The current status and health risk assessment of lead residues in Chinese mitten crabs in Jiangsu Province [J]. *Food Industry*, 2022, 43(1): 343–346.
- [30] 赵尚志, 关剑锋, 赵勇, 等. 广州白云机场口岸进境水产品质量安全调查和分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(21): 7451–7457.
- ZHAO SZ, GUAN JF, ZHAO Y, *et al.* Investigation and analysis of quality and safety of imported aquatic products at Guangzhou Baiyun airport port [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(21): 7451–7457.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)