

风险评估

天津市市售动物性海产品中四种常见重金属含量分析及风险评估

罗莎,赵静,刘佳琳,马洁

(天津市疾病预防控制中心,天津 300011)

摘要:目的 了解天津市市售动物性海产品中铅、镉、汞、砷 4 种重金属污染水平,并评估人群膳食摄入健康风险。方法 根据《国家食品污染物及有害因素风险监测工作手册》要求,2023 年在天津市 16 区的超市、农贸市场采集市售动物性海产品 384 份,检测铅、镉、汞、砷 4 种重金属含量并采用单因子污染指数(Pi)、金属污染指数(MPI)进行污染程度评价,同时结合 2022 年天津市居民水产品膳食消费量,采用点评估模型对居民经动物性海产品暴露重金属的健康风险进行评估,并计算危害商、暴露边界值。结果 4 种重金属含量中位数(P_{50})依次为镉(0.061 mg/kg)、铅(0.022 mg/kg)、无机砷(0.008 mg/kg)、甲基汞(0.005 mg/kg)差异有统计学意义($P<0.05$)。仅镉元素超标,超标率为 2.08%(8/384),超标样品品种为双壳贝类和海螃蟹。不同种类水产品污染程度不同,Pi 评价结果显示海螃蟹存在铅、镉轻度污染,双壳贝类存在镉轻度污染,其余品种均处于正常背景水平;MPI 评价结果显示 4 种重金属总体污染程度为海螃蟹>双壳贝类>海虾>海鱼。风险评估结果显示,4 种重金属全人群的平均暴露量(Exp)范围为 0.19~12.36 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$,镉最高,无机砷最低;镉、甲基汞危害商(HQ)分别为 0.49、0.04,均<1;铅、无机砷暴露边界值(MOE)分别为 25.83、473.68,均>1。结论 天津市部分市售动物性海产品存在一定程度的铅、镉污染,但总体膳食暴露水平较低,食用安全性处于可接受范围。

关键词:天津市;动物性海产品;重金属;风险评估

中图分类号:R155 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-8456(2025)06-0547-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.06.007

Analysis of four common heavy metals in animal seafood sold in Tianjin City and risk assessment of dietary exposure

LUO Sha, ZHAO Jing, LIU Jialin, MA Jie

(Tianjin Center for Disease Control and Prevention, Tianjin 300011, China)

Abstract: Objective To evaluate the pollution levels of lead, cadmium, mercury, arsenic in animal seafood sold in Tianjin City and dietary exposure risk of people in Tianjin. **Methods** According to the requirements of the national food contaminants and harmful factors risk monitoring manual, 384 representative samples of commercial animal seafood were collected in supermarkets and farmers' markets in 16 administrative regions of Tianjin City in 2023. The contents of lead, cadmium, mercury, and arsenic were detected according to the national standard detection method, and the pollution degree was evaluated by the single factor pollution evaluation index (Pi) and metal pollution index (MPI). Combined with residents dietary intake, the dietary exposure risk of 4 kinds of heavy metals were assessed by point assessment method.

Results The median content of the four heavy metals (P_{50}) was cadmium (0.061 mg/kg), lead (0.022 mg/kg), methylmercury (0.008 mg/kg), and inorganic arsenic (0.005 mg/kg), the difference is statistically significant ($P<0.05$). Only cadmium exceeded the standard, with the exceeding rate of 2.08% (8/384), and the sample varieties exceeding the standard were bivalve shellfish and sea crab. The pollution levels of different aquatic products were different. Pi evaluation results showed that sea crabs had lead and cadmium pollution, and cadmium pollution in bivalve shellfish, while the other varieties were at the normal background level; MPI evaluation results showed that the overall pollution degree of 4 kinds of heavy metals was sea crabs>bivalve shellfish>sea shrimp>sea fish. Point assessment results showed that the average exposure (Exp) of the four heavy metals ranged from 0.19-12.36 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW})$, with the highest cadmium and the lowest inorganic arsenic; The hazard quotients (HQ) for cadmium and methylmercury were 0.49 and 0.04, both less than

收稿日期:2024-12-07

基金项目:天津市医学重点学科(TJYZDXK-3-034C)

作者简介:罗莎 女 主管医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail: 143842109@qq.com

通信作者:马洁 女 主任医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail: majie6@tj.gov.cn

1. The margins of exposure (MOE) for lead and inorganic arsenic were 25.83 and 473.68, both greater than 1, all less than 1. **Conclusion** There is a certain degree of lead and cadmium pollution in the municipal animal seafood sold in Tianjin, but the total dietary exposure level was low, and the edible safety was in the acceptable range.

Key words: Tianjin City; animal seafood; heavy metals; risk assessment

天津市位于渤海湾沿岸,是我国北方重要的港口城市,动物性海产品是当地饮食文化中不可或缺的一部分,其食用安全性尤为重要。随着工业化进程的加快及海洋运输、养殖、捕捞业的快速发展,水体环境污染问题日益凸显,其中重金属污染不容忽视^[1-2]。重金属是一类具有累积效应,可产生急慢性毒性损伤的化学物质,可通过水体污染进入水生生物体内,并在食物链中逐级累积。动物性海产品作为海洋生态系统重要组成部分,可作为指示生物来评估水体重金属的污染状况^[3-4]。为了解天津市市售动物性海产品重金属污染状况,评价其食用安全性,本研究采集天津市市售4种常见动物性海产品进行铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)含量检测,通过单因子污染指数和重金属污染指数法综合评价重金属污染程度,采用点评估模型并计算危害商对水产品中重金属进行膳食风险评估,为相关部门开展针对性监管及政策制修订提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集

根据《2023年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》(以下简称“工作手册”)^[5]要求,2023年在天津市辖区(包括市内6区、环城4区、远郊6区)居民水产品主要购买场所采集市售动物性海产品384份,其中超市174份、农贸市场210份;种类包括双壳贝类、海螃蟹、海虾、海鱼各96份;本地地产样品259份,外地样品50份,产地不详样品75份。

1.1.2 膳食消费量数据

消费量数据参照国家统计局发布的《中国统计年鉴(2023)》,其中2022年天津市居民家庭水产品人均年消费量为17.20 kg,即47.12 g/d^[6]。

1.2 方法

1.2.1 实验室检测

按照《2023年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》^[5]中的标准操作程序进行样品前处理及检测,其中铅采用石墨炉原子吸收光谱法(GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》);镉采用石墨炉原子吸收光谱法(GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》);总汞采用原子荧光光谱分析法(GB 5009.17—2014 食品

安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定);总砷采用原子荧光光度法(GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》),检出限范围为0.000 4~0.05 mg/kg。

1.2.2 重金属污染程度评价

单因子污染指数:采用单因子污染指数(P_i)对重金属污染程度进行评价,计算公式为 $P_i = C_i/S_i$,式中 P_i 为污染物 i 的指数; C_i 为污染物 i 的含量; S_i 为污染物 i 的标准限量。 $P_i < 0.2$ 提示样品未受污染; $0.2 \leq P_i < 0.6$ 提示样品受到轻度污染; $0.6 \leq P_i \leq 1$ 提示样品受到中度污染; $P_i > 1$ 提示样品污染严重,即超标^[3]。

金属污染指数:采用金属污染指数(Metal pollution index, MPI)对不同种类水产品中重金属的总体污染程度进行评价,计算公式为:

$$MPI = \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_n},$$

式中 C_n 为第 n 种重金属含量的平均值(mg/kg)^[3], MPI 值越大提示样品污染程度越高。

1.2.3 暴露评估

参照《食品中化学物风险评估的原则和方法》(FAO/WHO)^[7]中的点评估法进行居民膳食暴露量计算。计算公式:

$$EXP = \frac{F \times C \times P}{1000 \times bw}$$

式中 Exp 表示暴露量, $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$; F 表示食物消费量, kg; C 表示重金属的平均含量, mg/kg; bw 为体质量, 取 60 kg; P 为加工处理因子, 由于食品中重金属含量受加工处理的影响较小, 故取 1。

1.2.4 风险特征描述

镉、甲基汞采用危害商(Hazard quotient, HQ)进行风险特征描述,其基本原理为人体重金属的膳食暴露量与健康指导值的比值, $HQ \geq 1$ 表示暴露量大于健康指导值, 提示存在健康风险; $HQ < 1$ 表示暴露量小于健康指导值, 风险处于可接受水平^[7]。镉健康指导值参考暂定每月可耐受摄入量(Provisional tolerable monthly intake, PTMI) 25 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$ ^[8]; 甲基汞参考每周可耐受摄入量(Tolerable weekly intake, TWI) 1.3 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$ [相当于每月 5.2 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$]^[9];

铅、无机砷为无阈值毒性物质,采用暴露边界(Margin of exposure, MOE)的方法进行风险特征描述,即铅或无机砷的基准剂量与相应暴露量的比值。MOE 值越大,表示风险越低,当 $MOE > 1$ 时,认为健康

风险相对较低;当 MOE≤1 时,认为存在一定的健康风险。参考以成人收缩压升高为指标的基准剂量(Benchmark dose limit, BM_{DL})的 95% 可信区间下限值 1.3 μg/(kg·BW·d)[相当于每月 39 μg/(kg·BW)]^[10];无机砷参考以导致肺癌为毒性终点的基准剂量的 95% 可信区间下限值 3 μg/(kg·BW·d)[相当于每月 90 μg/(kg·BW)]^[11]。

1.2.5 数据处理及结果判定

参照 WHO 数据处理规则,当样品未检出数据比例≤60% 时,所有未检出数据以 1/2 检出限 LOD 计;未检出比例>60% 时,所有未检出数据以 LOD 计^[7]。甲基汞和无机砷数据分别由总汞、总砷含量乘以相应的转换系数获得,其中总汞转换成甲基汞的转换系数参照 2015 年欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)建议的鱼类的转换系数 100%、甲壳类动物的转换系数 80%^[8];总砷转换为无机砷的转换系数参照 2011 年食品添加剂联合专家委员会第 72 次会议上提出鱼和其他水产品的转换系数范围是 2%~4%^[9],依据风险评估保守原则,本研究中无机砷的转换系数均取 4%。不同种类水产品中重金属限量标准参照《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)。当样品检测

值大于 LOD 时判定为“检出”,大于限量值时判定为“超标”。

1.3 统计学分析

采用 Excel 2017 及 IBM SPSS 24.0 进行数据录入和统计分析;采用 Shapiro-Wilk 进行正态性检验,以均数、P₅₀、P₉₅ 进行重金属含量的统计描述;采用 Kruskal-Wallis H 检验和 χ² 检验比较重金属含量、检出率的组间差异,检验水准 α=0.05。

2 结果与分析

2.1 水产品中 4 种重金属的总体情况

4 种元素含量中位数依次为镉(0.061 mg/kg)、铅(0.022 mg/kg)、无机砷(0.008 mg/kg)、甲基汞(0.005 mg/kg),差异有统计学意义($\chi^2=238.780, P<0.05$)。4 种元素检出率范围为 51.82%~97.14%,砷检出率最高 97.14%(373/384),其次为汞 83.33%(320/384),铅检出率最低 51.82%,(199/384),差异有统计学意义($\chi^2=357.326, P<0.05$);4 种元素中仅镉存在超标现象,超标率为 2.08%(8/384),超标样品包括 2 份海螃蟹、6 份双壳贝类。超标双壳贝类中各品种超标率分别为扇贝(37.5%,3/8)、麻蛤(20%,2/10)、红贝(100%,1/1)。详见表 1~2。

表 1 天津市市售动物性海产品中 4 种重金属含量分布情况

Table 1 Distribution of four kinds of heavy metals in animal seafood sold in Tianjin City

食品类别	样品数/份	镉(mg/kg)				铅(mg/kg)			
		检测范围	$\bar{x}\pm s$	P ₅₀	P ₉₅	检测范围	$\bar{x}\pm s$	P ₅₀	P ₉₅
双壳贝类	96	ND~5.970	0.792±1.169	0.224	4.010	ND~0.795	0.019±0.091	0.001	0.068
海螃蟹	96	0.183~8.100	1.304±1.104	1.070	2.865	ND~0.397	0.183±0.101	0.185	0.363
海虾	96	ND~0.284	0.059±0.080	0.015	0.246	ND~0.477	0.031±0.049	0.020	0.076
海鱼	96	ND~0.011	0.001±0.001	0.001	0.001	ND~0.075	0.029±0.014	0.029	0.051
合计	384	ND~8.100	0.539±0.967	0.061	1.953	ND~0.795	0.066±0.099	0.022	0.293
食品类别	样品数/份	甲基汞(mg/kg)				无机砷(mg/kg)			
		检测范围	$\bar{x}\pm s$	P ₅₀	P ₉₅	检测范围	$\bar{x}\pm s$	P ₅₀	P ₉₅
双壳贝类	96	ND~0.041	0.010±0.006	0.009	0.020	0.010~0.019	0.015±0.003	0.016	0.019
海螃蟹	96	0.002~0.149	0.017±0.017	0.013	0.044	ND~0.022	0.011±0.005	0.010	0.020
海虾	96	ND~0.012	0.001±0.002	0.000	0.005	ND~0.019	0.007±0.005	0.005	0.017
海鱼	96	ND~0.011	0.002±0.002	0.001	0.006	ND~0.004	0.001±0.001	0.001	0.004
合计	384	ND~0.186	0.009±0.014	0.005	0.030	ND~0.022	0.008±0.006	0.008	0.018

表 2 天津市市售动物性海产品中 4 种重金属检出与超标情况

Table 2 Detection and exceedance of four kinds of heavy metals in animal seafood sold in Tianjin City

食品类别	样品数/份	检出率/%				超标率/%			
		镉	铅	汞	砷	镉	铅	汞	砷
双壳贝类	96	76.04	10.42	96.88	100.00	6.25	0	0	0
海螃蟹	96	100.00	97.92	100.00	98.96	2.08	0	0	0
海虾	96	85.42	22.92	40.62	98.96	0.00	0	0	0
海鱼	96	3.12	76.04	92.71	89.58	0.00	0	0	0
总计	384	72.14	51.82	83.33	97.14	2.08	0	0	0

2.2 水产品中4种重金属的污染程度

4种重金属单因子污染指数(Pi)范围为0.002~0.435,处于轻度污染或以下水平,其中甲基汞与无机砷含量均处于正常背景水平,双壳贝类和海螃蟹中镉及海螃蟹中铅的Pi值大于0.2,达到轻度污染水平。

4种水产品的重金属污染指数依次为海螃蟹(0.085)>双壳贝(0.041)>虾蛄(0.014)>海虾(除虾蛄外)(0.004)>海鱼(0.003),提示海螃蟹、双壳贝类污染程度高于别的品种,可优先关注。详见表3。

表3 天津市市售动物性海产品中4种重金属的单因子污染指数(Pi)与金属污染指数(MPI)

Table 3 The pollution index Pi and metal pollution index X_{MPI} of 4 heavy metals in animal seafood sold in Tianjin

食品类别	镉/(mg/kg)			铅/(mg/kg)			甲基汞/(mg/kg)			无机砷/(mg/kg)			MPI	
	均值	国家 标准	Pi	均值	国家 标准	Pi	均值	国家 标准	Pi	均值	国家 标准	Pi		
双壳贝类	0.791	2	0.396	0.019	1.5	0.013	0.010	0.5	0.020	0.015	0.5	0.030	0.041	
海螃蟹	1.304	3	0.435	0.183	0.5	0.365	0.017	0.5	0.034	0.011	0.5	0.021	0.085	
海虾	海虾(除虾蛄外)	0.014	0.5	0.028	0.032	0.5	0.064	0.0008	0.5	0.002	0.0005	0.5	0.001	0.004
海鱼	虾蛄	0.157	3	0.052	0.029	0.5	0.058	0.001	0.5	0.002	0.009	0.5	0.018	0.014
海鱼		0.001	0.1	0.009	0.029	0.5	0.059	0.002	0.5	0.004	0.001	0.1	0.015	0.003

2.3 水产品中4种重金属的暴露评估

参照国家统计局发布报告中2022年天津市居民水产品人均消费量(47.12 g/d)对天津市市售4种动物性海产品中重金属膳食暴露量进行计算,结果如表4所示,4种重金属每月平均暴露量(Exp)范围为0.19~12.36 μg/(kg·BW),

镉最高,其次为铅[1.51 μg/(kg·BW)],甲基汞[0.21 μg/(kg·BW)],无机砷最低[0.19 μg/(kg·BW)]。镉、甲基汞HQ分别为0.49、0.04,均<1;铅、无机砷MOE分别为25.83、473.68,均>1,提示4种重金属通过动物性海产品膳食暴露风险尚处于可接受水平。

表4 天津市居民动物性海产品中镉、甲基汞暴露风险评估结果

Table 4 Risk assessment results of cadmium and methylmercury exposure in animal seafood sold in Tianjin

污染物	污染物含量均值/(μg/kg)	Exp, μg/(kg·BW)	月参考剂量/(μg/kg·BW)	HQ
镉	538.70	12.36	25.0	0.4944
甲基汞	9.13	0.21	5.2	0.0404
铅	65.62	1.51	39.0	25.83
无机砷	8.45	0.19	90.0	473.68

3 讨论

本文对2023年天津市市售动物性海产品中铅、镉、汞、砷4种重金属污染情况及居民膳食摄入健康风险进行分析。结果显示4种重金属均存在不同程度检出,其中砷检出率最高(97.14%),其次为汞(83.33%),铅检出率最低(51.82%);4种重金属含量中位数依次为镉(0.061 mg/kg)、铅(0.022 mg/kg)、甲基汞(0.005 mg/kg)、无机砷(0.008 mg/kg)。对比分析发现4种重金属检出率与含量水平呈相反趋势,无机砷、甲基汞检出率虽高但均处于低污染水平,铅、镉检出率相对较低,但污染程度相对更重,4种重金属总体呈现出铅、镉污染重于砷、汞污染的现象,该结果与刘丽南等^[15]、王慧等^[16]结论较为类似。根据《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022),8份样品镉含量超标,超标率6.25%,超标样品包括6份双壳贝类、2份海螃蟹,超标双壳贝类品种包括扇贝、麻蛤、红贝,此三类样品超标率较高,

但鉴于监测样本量小,代表性较差,须进一步监测。研究报道^[17],无脊椎动物,包括甲壳类和双壳类,能够通过与不同的大分子金属配合体结合而富集镉,因此当食用龙虾或螃蟹等甲壳类水产品时,镉污染的潜在健康风险增加。镉为人体非必需微量元素,世界卫生组织将镉列为重点研究的食品污染物;国际癌症研究机构将镉归类为人类致癌物^[18]。因此,建议继续关注海螃蟹和双壳贝类等甲壳类水产品的重金属镉污染情况,尤其是甲壳类水产品高消费群体的健康风险。

Pi结果显示,不同种类动物性海产品的重金属污染程度不同。海虾、海鱼中4种重金属污染指数均在0.2以下,处于正常背景水平,而海螃蟹和双壳贝类部分重金属存在轻度污染。海螃蟹中镉的平均Pi为0.435,铅的Pi为0.365,处于0.2~0.6,属于轻度污染。双壳贝类中镉的Pi为0.396,属于轻度污染,其余元素Pi均远小于0.2,属于正常背景水

平。文献报道^[19],相对于鱼类而言软体动物、甲壳类更容易富集重金属。MPI 结果显示各水产品污染程度按海螃蟹、双壳贝类、海虾、海鱼的顺序依次下降,提示甲壳类与双壳类是重金属污染需优先关注对象。

风险评估结果显示,居民通过动物性海产品摄入 4 种重金属平均每月暴露量范围为 0.19~12.36 μg/kg·BW, 镉暴露最高;其次为铅(1.51 μg/kg·BW)。镉、甲基汞 HQ 分别为 0.494 4、0.040 4, 均小于 1; 铅、无机砷 MOE 分别为 25.83、473.68, 均大于 1, 提示 4 种金属通过摄入动物性海产品而产生的暴露风险处于可接受范围。但鉴于暴露量及危害商计算受人群膳食摄入量的直接影响,对于喜食海螃蟹和双壳贝类的人群,其健康风险仍需加以关注。

本研究采用单因子污染指数、重金属污染指数和点评估法基本描述了天津市市售动物性海产品中铅、镉、甲基汞、无机砷的污染程度及居民膳食摄入健康风险,但受数据限制,无机砷、甲基汞含量数据为总砷、总汞含量乘以相应转换系数获得,而转换系数源于文献资料报道,转换系数的不确定性会引起评估结果的偏差。本次评估消费量数据参照国家统计局发布的中国统计年鉴(2023)中 2022 年天津市居民家庭水产品人均年消费量,而水产品既包括动物性水产品也包括植物性水产品,包括海水产品也包括淡水产品,如以水产品总体的消费量数据进行动物性海产品暴露量计算会造成风险的高估,同时本次评估仅基于人群水产品平均消费量计算平均暴露量,仅代表一般的暴露水平,无法获得水产品爱好者等高消费群体的暴露量,对其健康风险尚无法评价;在进行铅的暴露风险评估时,由于缺乏儿童膳食消费量数据,无法进行儿童膳食暴露量的计算,故无法进行儿童铅暴露风险大小的评估。由于缺乏 4 种水产品各自的消费量数据,无法对每个水产品子类进行风险和膳食贡献率大小分析,对高污染品种如海螃蟹忠实爱好者暴露风险无从评价。此外,重金属普遍存在于自然界,本次评估仅针对水产品膳食暴露的重金属,未考虑其他食物来源,会造成风险的低估。因此,若想全面评估居民重金属的总膳食暴露风险,还需开展进一步深入的研究。

参考文献

- [1] 焦海林. 关于水体重金属污染现状分析及其健康风险评价[J]. 化工管理, 2019(21): 47-48.
- JIAO H L. Analysis and health risk assessment of heavy metal pollution in water body[J]. Chemical Engineering Management, 2019(21): 47-48.
- [2] 朱建龙, 徐伟杰, 郭硕铖, 等. 水体重金属污染危害及治理技术[J]. 现代农业科技, 2022(6): 129-132.
- ZHU J L, XU W J, GUO S C, et al. Water heavy metal pollution hazard and treatment technology[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022(6): 129-132.
- [3] 霍苗苗. 沿海地区居民摄入水产品中重金属安全风险评估[D]. 天津:天津科技大学, 2017.
- HUO M M. Safety risk assessment of ingestion of heavy metals in aquatic products by residents in coastal areas [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017.
- [4] 林怡辰. 重金属在近岸海域海产品中的富集及其影响机制研究[D]. 山东: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2022.
- LIN Y C. Concentration of heavy metals in coastal Marine products and its influencing mechanism [D]. Shandong: University of Chinese Academy of Sciences (Yantai Sea, Chinese Academy of Sciences Shore Zone Research Institute), 2022.
- [5] 国家卫生健康委员会. 2023 年国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册[M]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2023.
- National Health Commission. National work manual for risk monitoring of contaminants and harmful factors in food 2023 [M]. Beijing: China National Center for Food Risk Assessment, 2023.
- [6] 付凌晖, 叶礼奇. 中国统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 6-22
- FU L H, YE L Q. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2023: 6-22.
- [7] WHO. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 刘兆平, 李凤琴, 贾旭东, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 178-180.
- WHO. Principles and methods for risk assessment of chemicals in food [M]. LIU Z P, LI F Q, JIA X D. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 178-180.
- [8] JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. WHO Technical Report Series, 2011(960): 149-162.
- [9] EFSA Scientific Committee. Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. EFSA Journal, 2012, 10(12): 2985.
- [10] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives Safty evaluation of certain food additives and contaminate[R]. 2011.
- [11] FAO/WHO. Safety evaluation of certain contaminants in food [R]. 2011.
- [12] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(4): 63-64.
- WANG C Q, WU Y N, CHEN J S. Low level data processing of food contamination monitoring[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 36(4): 63-64.
- [13] EFSA. Statement on the benefits offish/seafood consumption compared to the risks of methylmercury in fish/seafood [J]. The EFSA Journal, 2015, 13(1): 3982.
- [14] WHO. Safety evaluation of certain contamination in food [R]. Geneva: World Health Organization, 2011.
- [15] 刘丽南, 吴春敏, 王岩, 等. 水产品中典型重金属的含量分析及评价[J]. 食品安全导刊, 2024(21): 100-104.
- LIU L N, WU C M, WANG Y, et al. Analysis and evaluation of

- typical heavy metals in aquatic products [J]. Food Safety guide, 2024(21): 100-104.
- [16] 王慧, 毛伟峰, 蒋定国, 等. 中国居民水产品中四种常见重金属暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(5): 470-475.
WANG H, MAO W F, JIANG D G, et al. Exposure assessment of four common heavy metals in aquatic products of Chinese residents [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2019, 31(5): 470-475.
- [17] 戚原野. 江苏沿岸四种经济贝类铅和镉的含量特征及其风险分析[D]. 江苏: 南京农业大学, 2016.
QI Y Y. Lead and cadmium content characteristics and risk analysis of four economic shellfish along Jiangsu coast [D]. Jiangsu: Nanjing Agricultural University, 2016.
- [18] GENCHI G, SINICROPI M S, LAURIA G, et al. The effects of cadmium toxicity [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(11): 3782.
- [19] 肖明松, 王松, 鲍方印, 等. 淮河蚌埠段采样点鱼虾贝类重金属的富集[J]. 环境科学研究, 2011, 24(8): 942-948.
XIAO M S, WANG S, BAO F Y, et al. Enrichment of heavy metals in fish, shrimp and shellfish at sampling points in Bengbu section of Huaihe River [J]. Environmental scientific research, 2011, 24(8): 942-948.