

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241008005

# 2022—2023年阜宁县水产品镉污染状况评价

刘玉娥<sup>1</sup>, 周霞<sup>2\*</sup>, 刘秀兰<sup>3</sup>

(1. 盐城市阜宁县疾病预防控制中心检验科, 盐城 224000; 2. 盐城市盐都区疾病预防控制中心检验科, 盐城 224000; 3. 盐城市疾病预防控制中心检验科, 盐城 224000)

**摘要: 目的** 分析2022—2023年阜宁县水产品镉污染状况, 对镉暴露风险进行评估。**方法** 对辖区内市场水产品镉含量进行监测, 采用单因子污染指数法评价水产品镉污染状况。**结果** 2022—2023年共检测水产品640份, 超标率8.8% (56/640), 各类水产品中镉含量测定范围为0.001~2.232 mg/kg; 双壳贝类水产品中镉含量最高, 均值达1.088 mg/kg, 超标率25.0%; 甲壳类次之, 均值达0.365 mg/kg, 超标率9.4%, 淡水鱼类未超标。农贸市场水产品镉超标率明显高于大型超市。不同季节超标率结果显示, 春、夏、秋季逐渐减少, 到冬季略有增加。单因子污染指数提示甲壳类水产品处于中污染状态, 双壳贝类水产品轻污染, 头足类、腹足类、海水鱼类、淡水鱼类未受污染。**结论** 阜宁县居民镉暴露风险总体较低, 需加强本地区甲壳类、双壳贝类高消费人群的健康监测, 加大对本地农贸市场的监管力度, 对水产品来源渠道严格把关。

**关键词:** 镉污染; 水产品; 评价

## Assessment of cadmium pollution in aquatic products in Funing County from 2022 to 2023

LIU Yu-E<sup>1</sup>, ZHOU Xia<sup>2\*</sup>, LIU Xiu-Lan<sup>3</sup>

(1. Funing Center for Disease Control and Prevention, Yancheng 224000, China; 2. Yandu Center for Disease Control and Prevention, Yancheng 224000, China; 3. Yancheng Center for Disease Control and Prevention, Yancheng 224000, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the cadmium pollution status in aquatic products in Funing County from 2022 to 2023, and assess the cadmium exposure risk. **Methods** The cadmium content of aquatic products sold in the market was monitored. The single factor pollution index method was used to evaluate the cadmium pollution status of aquatic products. **Results** The 640 samples of aquatic products were detected from 2022 to 2023. The over standard rate was 8.8% (56/640). The determination range of cadmium content in various aquatic products was 0.001–2.232 mg/kg. The content of cadmium in bivalve aquatic products was the highest with an average value of 1.088 mg/kg, and the over standard rate was 25.0%. Crustaceans took the second place with an average value of 0.365 mg/kg, and the over standard rate was 9.4%. Freshwater fish did not exceed the standard. The over standard rate of cadmium in aquatic products in farmers' markets was significantly higher than that in large supermarkets. It showed that the over standard rate gradually decreased in spring, summer and autumn, and increased slightly in winter. The single factor pollution index suggested that crustacean aquatic products were in a medium pollution state. It also suggested that bivalve aquatic products were lightly polluted and cephalopods, gastropods, marine fish and

\*通信作者: 周霞, 主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 63214836@qq.com

\*Corresponding author: ZHOU Xia, Chief Technician, Yandu Center for Disease Control and Prevention, No.168 Zhenxing Road, Yanlong Street, Yandu District, Yancheng 224000, China. E-mail: 63214836@qq.com

freshwater fish were not polluted. **Conclusion** The risk of cadmium exposure among residents in Funing County is generally at low level. It is necessary to strengthen the health monitoring of high consumption population of crustaceans and bivalves in this area. The supervision of local farmers' markets should be strengthened, and the source of aquatic products should be strictly controlled.

**KEY WORDS:** cadmium pollution; aquatic products; assessment

## 0 引言

镉是一种半衰期很长、易在动植物体内富集的多器官损害毒物<sup>[1]</sup>, 其在人体内半衰期达 15~20 年<sup>[2]</sup>, 生物蓄积性强, 骨骼毒性和肾毒性为镉的主要健康损害<sup>[1]</sup>, 美国国家环境健康科学研究所研究发现环境镉污染可引起肺癌、乳腺癌、前列腺癌及胃癌<sup>[3-4]</sup>。镉被国际癌症研究中心列为确认致癌物<sup>[5]</sup>, 20 世纪 30 年代日本就曾因镉中毒引发“痛痛病”<sup>[6]</sup>。研究表明, 居民每日镉的暴露量即使在推荐值以下, 依然会对肾功能造成损害, 心血管疾病患病风险也会增加; 微量镉还会对肝、肾、骨、肺、免疫系统和生殖系统产生损伤<sup>[7]</sup>。广东地区报道, 通过食物链逐渐富集到鱼虾蟹贝等各类水产品中, 居民食用这类水产品后健康会受到威胁<sup>[8]</sup>。研究发现, 镉污染现象在水产品中相当普遍, 特别是甲壳类、贝类等水产品中含量较高<sup>[9]</sup>; 从世界范围看, 人类摄入重金属的主要途径也是水产品<sup>[10]</sup>。盐城市阜宁县地处沿海地区, 水产资源丰富, 居民对水产品的消费量高于内陆地区居民, 江苏省阜宁县居民水产品镉每日评估摄入量为 22.2  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[11]</sup>, 当地居民喜爱食用鱼类、虾类、贝壳类、蟹类等水产品, 近年来随着工业园区的兴建和发展, 大量含有重金属的工业废水排入水体, 水生生物体吸收水体中镉。本研究对 2022 年 3 月—2023 年 10 月江苏省阜宁县市场水产品镉含量进行监测, 了解阜宁县镉污染状况, 对镉暴露的风险进行评估, 为阜宁县食品安全管理提供科学数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

2022 年 3 月—2023 年 10 月, 在江苏省阜宁县 20 个乡镇/街道的农贸市场/超市按照《中国食物成分表》<sup>[7]</sup>中产品分类方法, 在春、夏、秋、冬季随机采集鱼类(淡水鱼、海水鱼)、甲壳类(虾、蟹等)、腹足类、头足类(泥螺、乌贼等)、双壳贝类(文蛤、牡蛎等)合计 640 份, 每年每个季节各采 160 份, 每份样品采样量不少于 500 g, 装入样品采集袋后加入冰块带回实验室,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱保存。

### 1.2 仪器与试剂

240ZAA 原子吸收光谱仪(美国安捷伦公司); MDS-6G 型多通量微波消解/萃取系统(上海新仪微波化学科技有限

公司); AdvantageA10 纯水机(美国 Milli-Q 公司)。

镉单元素溶液标准物质(GBW08612, 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 中国计量科学研究院); 硝酸(优级纯)、磷酸二氢胺(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 仪器及器材实验条件

微波消解仪升温程序中 130  $^{\circ}\text{C}$  保持 10 min, 150  $^{\circ}\text{C}$  保持 5 min, 180  $^{\circ}\text{C}$  保持 15 min, 单罐功率 400 W; 原子吸收仪波长 228.8 nm, 狭缝 0.5 nm, 灯电流 4 mA, 干燥 110  $^{\circ}\text{C}/20\text{ s}$ , 灰化 600  $^{\circ}\text{C}/30\text{ s}$ , 原子化 1800  $^{\circ}\text{C}/5\text{ s}$ ; 实验所用玻璃器材均用 30% 硝酸浸泡过夜后依次用自来水、去离子水冲洗干净, 备用。

### 1.3.2 检测及评价方法

镉含量测定参照 GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》第一法 石墨炉原子吸收光谱法进行测定。采用荣彪等<sup>[12]</sup>研究中的单因子污染指数(pollution index,  $P_i$ )评价水产品镉污染状况, 计算公式  $P_i=C_i/S_i$ ,  $C_i$  为镉检测结果,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;  $S_i$  是镉的限量标准,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;  $P_i$  代表镉的污染指数。  $P_i < 0.2$  为未污染;  $0.2 \leq P_i \leq 0.6$  为轻污染;  $0.6 < P_i < 1.0$  为中污染;  $P_i \geq 1.0$  为重污染<sup>[13]</sup>。

水产品中镉根据 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》计算超标率, 限量标准分别为水产鱼类 0.5  $\text{mg}/\text{kg}$ ; 甲壳类 0.5  $\text{mg}/\text{kg}$ ; 双壳贝类、头足类、腹足类为 1.5  $\text{mg}/\text{kg}$ 。

## 1.4 数据处理

采用 Excel 2007 整理结果, SPSS 22.0 统计软件进行数据处理, 组间率的比较用  $\chi^2$  检验。对检测结果低于检出限(limit of determination, LOD)的样品, 采用世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐的替代法<sup>[14]</sup>进行数据处理, 检测结果以 1/2 LOD 值计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 全县水产品中镉含量的总体检测情况

2022—2023 年共检测水产品 640 份, 超标率 8.8% (56/640), 各类水产品中镉含量测定范围为 0.001~2.232  $\text{mg}/\text{kg}$ 。检测结果显示在甲壳类、双壳贝类、头足类、腹足类、鱼类水产品中, 双壳贝类镉含量最高, 均值达 1.088  $\text{mg}/\text{kg}$ , 超标率 25.0%; 甲壳类次之, 均值达 0.365  $\text{mg}/\text{kg}$ , 超标率 9.4%, 淡水鱼类未超标。两两比较不同种类水产品间超标

率:  $\chi^2_{\text{甲壳类-双壳}}=12.63$ , 双壳贝类高于甲壳类, 差异有统计学意义( $P<0.05$ );  $\chi^2_{\text{头足类-双壳}}=27.03$ , 双壳贝类高于头足类, 差异有统计学意义( $P<0.05$ );  $\chi^2_{\text{海水鱼-双壳}}=36.26$ , 双壳贝类高于海水鱼类, 差异有统计学意义( $P<0.05$ );  $\chi^2_{\text{淡水鱼-双壳}}=23.91$ , 双壳贝类高于淡水鱼类, 差异有统计学意义( $P<0.05$ );  $\chi^2_{\text{淡水鱼-甲壳}}=8.06$ , 甲壳类高于淡水鱼类, 差异有统计学意义( $P<0.05$ ), 超标率间差异有统计学意义, 结果见表 1。

本研究水产品中镉合格率 91.2%, 总超标率 8.8%, 平均含量为 0.387 mg/kg, 中位数为 0.098 mg/kg, 两两比较甲壳类与双壳贝类、头足类与双壳贝类、海水鱼类与双壳贝类、淡水鱼类与双壳贝类、淡水鱼类与甲壳类之间超标率有统计学差异( $P<0.05$ )。本研究报告头足类、腹足类均值结果比苗超等<sup>[15]</sup>报道的余姚市软体类水产品平均镉含量 0.172 mg/kg 高, 这可能与近年来阜宁工业园区的兴建和发展有关, 大量含有重金属的工业废水<sup>[16]</sup>排入水体, 农药化肥生产<sup>[17]</sup>以及垃圾焚烧处理<sup>[18]</sup>导致水环境污染后, 水产动物经呼吸或体表与水体渗透交换水中镉, 富集于身体各部位。监测结果中甲壳类水产品镉含量 0.365 mg/kg, 低于蔡华等<sup>[19]</sup>报道的上海市水产品平均镉含量 0.433 mg/kg, 与王小倩等<sup>[20]</sup>对深圳市龙岗区水产品镉含量分析基本一致, 这可能是由于阜宁和广东地区均

属沿海城市, 海水中镉污染程度高<sup>[21]</sup>导致甲壳类水产品代谢受影响, 但是上海地处长江入海口, 长江流域镉长期水质风险阈值较高<sup>[21]</sup>。双壳贝类水产品镉监测结果均值 1.088 mg/kg, 接近梁辉等<sup>[8]</sup>调查的广东省贝类水产品镉含量 1.367 mg/kg。同时, 双壳贝类和甲壳类镉超标率均超过 9%, 海水鱼类、淡水鱼类超标率均较低, 这一结果与广东<sup>[22]</sup>、上海<sup>[19]</sup>地区各种类水产品超标率分布情况基本一致, 不同种类水生物生活习性、生存环境、组织结构不同, 对镉的富集能力也不同, 相比于鱼类、头足类水产品, 双壳贝类、甲壳类水产品中的硫蛋白能牢固结合大量重金属, 富集能力强且易蓄积<sup>[23]</sup>, 应引起相关部门注意。

## 2.2 不同采样场所水产品中镉含量检测情况的比较

本次监测分别在农贸市场和大型超市进行采样, 从表 2 中可以看出, 农贸市场水产品镉超标率明显高于大型超市, 两者超标率比较, 差异有统计学意义( $\chi^2=10.00$ ,  $P<0.05$ )。农贸市场采样份数大于大型超市, 超标份数及超标率均大于大型超市, 阜宁是江苏沿海北部城市, 整体经济欠发达, 居民日常采购水产品途径以农贸市场为主, 有一定镉暴露风险。

表 1 不同种类水产品镉含量检测情况

Table 1 Detection of cadmium content in different kinds of aquatic products

样品种类	样品数/份	超标数/份	超标率/%	均值/(mg/kg)	P50/(mg/kg)	Q 值/(mg/kg)
甲壳类(梭子蟹、对虾、石杂蟹等)	148	14	9.4	0.365	0.378	0.232
双壳贝类(文蛤、泥螺、牡蛎等)	152	38	25.0	1.088	0.792	1.920
头足类、腹足类(乌贼、鱿鱼等)	112	2	1.8	0.216	0.128	0.088
海水鱼类(黄鱼、带鱼、海鳗等)	148	2	1.4	0.013	0.008	0.015
淡水鱼类(鲫鱼、鲢鱼、鳊鱼等)	80	0	0.0	0.018	0.016	0.024

注: P50 指数据样本的中位数, Q 值即四分位数间距, 为上四分位数与下四分位数之差。

表 2 不同采样场所水产品中镉含量检测情况

Table 2 Detection of cadmium content in aquatic products in different sampling sites

来源	样品数/份	超标数/份	超标率/%	均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	Q 值/(mg/kg)
农贸市场	328	40	12.2	0.565	0.234	0.692
大型超市	312	16	5.1	0.198	0.038	0.168

## 2.3 不同年份水产品中镉含量检测情况

2022 年共检测水产品 320 份, 超标 20 份, 超标率 6.3% (20/320), 2023 年共检测水产品 320 份, 超标 36 份, 超标率 11.3% (36/320), 两年超标率比较, 差异有统计学意义( $\chi^2=5.00$ ,  $P<0.05$ )。从监测数据看, 2023 年超标率高于 2022 年, 各年份中甲壳类、双壳贝类水产品均有超标现象; 但两个年份中淡水鱼类水产品镉含量均不超标,

全部合格(表 3)。

表 3 不同年份水产品中镉含量检测情况

Table 3 Detection of cadmium content in aquatic products in different years

年份	样品数/份	超标数/份	超标率/%
2022	320	20	6.3
2023	320	36	11.3

## 2.4 不同季节水产品中镉含量检测情况

不同季节镉检测结果超标率如图 1 所示, 春季水产品镉超标率 12.5% (20/160), 夏季水产品镉超标率 8.8% (14/160), 秋季水产品镉超标率 5.6% (9/160), 冬季水产品镉超标率 8.1% (13/160), 超标率监测结果显示, 春、夏、秋季逐渐减少, 到冬季略有增加。本次监测数据显示秋季水产品镉超标率低于春季超标率的 1/2, 夏季水产品镉超标率和冬季水产品镉超标率结果接近。

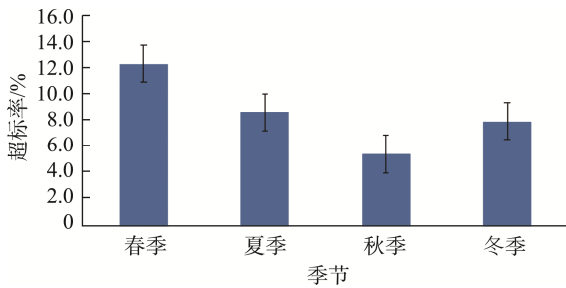


图 1 不同季节水产品镉超标率变化图

Fig.1 Changes of cadmium exceeding rate of aquatic products in different seasons

## 2.5 镉污染状况评价

通过计算各类水产品中  $P_i$  进行水产品镉污染状况评价, 其中甲壳类水产品  $P_i$  值高达 0.73, 双壳贝类水产品  $P_i$  值 0.54, 头腹足类、海水鱼类、淡水鱼类  $P_i$  分别为 0.11、0.13、0.18, 计算结果均小于 0.2, 提示甲壳类水产品处于中污染状态, 双壳贝类水产品轻污染, 头足类、腹足类、海水鱼类、淡水鱼类未受污染, 说明头腹足类、海水鱼类、淡水鱼类水产品生物质量符合国家标准, 居民可放心食用。

## 3 讨论与结论

从不同采样场所监测结果看出, 农贸市场水产品镉超标率明显高于大型超市, 两者超标率比较, 差异有统计学意义, 提示农贸市场食品安全风险比大型超市大, 可能是大型超市有部分水产品进货渠道来自于外省市, 从全国水产城市水产品统计结果看, 各大中小城市水产品中镉含量结果不一, 有部分城市镉含量结果偏低<sup>[24]</sup>, 大型超市进货渠道把关严格, 本地农贸市场进货渠道复杂, 各种水产品质量良莠不齐, 导致大型超市整体水产品质量优于农贸市场, 有关部门应加大对本地农贸市场的监管力度, 对水产品来源渠道严格把关。

从不同采样时间监测结果看出, 2022 年和 2023 年超标率结果比较, 差异有统计学意义, 2023 年超标率高于 2022 年, 提示本区域内水产品受污染情况可能有增高趋势。不同季节超标率结果显示春、夏、秋季本地区水产品

镉超标率逐渐减少, 到冬季略有增加。这可能与各类水产品的生理代谢和生活习性有一定的相关性, 水域周期随着季节的变化也存在丰水期和枯水期交替呈现的变化。

水产品中镉污染单因子指数研究结果显示, 阜宁县甲壳类水产品处于中污染状态, 双壳贝类水产品轻污染, 头足类、腹足类、海水鱼类、淡水鱼类未受污染。这与荣飏等<sup>[12]</sup>调查结果一致, 其原因可能是甲壳类、双壳贝类水产品生活环境被污染, 所食饵料中含有大量镉污染的沉积物及其滤食食性和底栖性所致。普通人镉污染的主要来源是膳食<sup>[25]</sup>, 随着生活水平的提高, 水产品居民膳食中占比逐渐提高。赵桐等<sup>[26]</sup>对盐城市膳食营养与健康调查结果显示本地区居民饮食习惯中平均每天膳食消费量最大的是鱼类, 其次虾类、贝壳类、蟹类, 表明对本地区居民而言, 镉污染通过膳食摄入风险较低。

镉在人体内的蓄积性及微量镉也会对机体各组织损伤的机制<sup>[27]</sup>, 还会引起人体神经系统疾病<sup>[28]</sup>。结合本地区甲壳类双壳贝类的污染状况, 应注意尽量减少贝类、蟹类的摄入。有研究报道<sup>[29]</sup>甲壳类水产品的头部聚集有内脏器官, 如肝、胰等, 建议居民食用时除去内脏后食用。蔡华等<sup>[19]</sup>对蟹类研究结果显示蟹膏蟹黄部位镉富集能力高于肌肉, 建议居民谨慎食用。

阜宁县居民暴露风险值为 0.41<sup>[30]</sup>, 计算结果低于 1, 水产品镉暴露风险总体处在安全水平, 但甲壳类水产品处于中污染状态, 双壳贝类水产品轻污染, 需加强本地区甲壳类双壳贝类高消费人群的健康监测, 加大对本地农贸市场的监管力度, 对水产品来源渠道严格把关。但双壳贝类肌肉种间差异较大, 各类水产品中镉含量与动态的海洋生态环境关联密切, 居民膳食消费量随着生活水平的提高及养生意识的增强呈动态变化, 长期的食品安全风险监测将是本地区的重点工作之一。

## 参考文献

- [1] 秦燕兰, 王加宾. 烟台黄渤海海域水产品中镉污染水平及期健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(6): 312-318.
- [2] 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): 2334-2339.
- [3] MOHAJER R, SALEHI MH, MOHAMMADI J, *et al.* The status of lead and cadmium in soils of high prevalent gastrointestinal cancer region of Isfahan [J]. J Res Med Sci, 2013, 18(3): 210-214.
- [4] AQUINO NB, SEVIGNY MB, SANBANGAN J, *et al.* The role of cadmium and nickel in estrogen receptor signaling and breast

- cancer:metalloestrogens or not [J]. *J Environ Sci Heal C*, 2012, 30(3): 189–224.
- [5] 刘发欣, 伍钧, 高怀友, 等. 菜地土壤和蔬菜中 Cd 暴露的人体健康风险分析[J]. *农业环境科学学报*, 2007(5): 1860–1864.
- LIU FX, WU J, GAO HY, *et al.* Human health risk analysis of Cd exposure in vegetable soil and vegetables [J]. *J Agric Environ Sci*, 2007(5): 1860–1864.
- [6] AOSHIMA K. Itai-itai disease: Lessons from the investigations of environmental epidemiology conducted in the 1970s, with special reference to the studies of the toyama institute of health [J]. *Nihon Eiseigaku Zasshi*, 2017, 72(3): 149–158.
- [7] SATARUG S, VESEY DA, GOBE GC. Health risk assessment of dietary cadmium intake: Do current guidelines indicate how much is safe [J]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125(3): 284–288.
- [8] 梁辉, 刘志婷, 周少君, 等. 广东省居民贝类产品中镉暴露的风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2017, 29(4): 492–495.
- LIANG H, LIU ZT, ZHOU SJ, *et al.* Risk assessment of cadmium exposure in shellfish in Guangdong Province [J]. *Chin J Food Hyg*, 2017, 29(4): 494–495.
- [9] 刘海新, 杨妙峰, 郑盛华, 等. 概率评估福建南部沿海水产品中镉食用健康风险[J]. *渔业研究*, 2023, 45(5): 480–489.
- LIU HX, YANG MF, ZHENG SH, *et al.* Probabilistic health risk assessment intake in aquatic products along the southern coast of Fujian Province in China [J]. *J Fish Res*, 2023, 45(5): 480–489.
- [10] 齐自元, 曹欢, 胡钰梅, 等. 水产品与淡水产品中重金属的差异性及其风险评估[J]. *水产学报*, 2022, 46(7): 1246–1256.
- QI ZY, CAO H, HU YM, *et al.* Differents and risk assessment of heavy metals in sea food and fresh water products [J]. *J Fish China*, 2022, 46(7): 1246–1256.
- [11] 赵明军, 孙慧武, 王宇光, 等. 基于居民营养需求的中长期水产品供给与消费研究[J]. *中国渔业经济*, 2019, 6(37): 1–14.
- ZHAO MJ, SUN HW, WANG YG, *et al.* Study on the supply and consumption of aquatic products in the medium and long term based on residents' nutritional needs [J]. *Chin Fish Econ*, 2019, 6(37): 1–14.
- [12] 荣飏, 洪华荣. 厦门市售水产品中重金属污染分析与评价[J]. *海峡预防医学杂志*, 2015, 21(3): 52–54.
- RONG B, HONG HR. Analysis and evaluation of heavy metal pollution in aquatic products sold in Xiamen [J]. *Strait J Prev Med*, 2015, 21(3): 52–54.
- [13] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 广东沿海牡蛎体 Pb 含量水平及时空变化趋势[J]. *水产学报*, 2000, 24(6): 527–532.
- JIA XP, LIN Q, LI CH, *et al.* Concentrations and spatio-temporal variation trend of Pb in the oysters from Guangdong coastal waters [J]. *J Fish China*, 2000, 24(6): 527–532.
- [14] 刘兆平, 李凤琴, 贾旭东. 环境健康基准 240: 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- LIU ZP, LI FQ, JIA XD, *et al.* Environmental health benchmarks 240: Principles and methods for risk assessment of chemicals in food [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2012.
- [15] 苗超, 胡向前, 王海蓉, 等. 余姚市居民水产品摄入镉的暴露评估[J]. *上海预防医学*, 2019, 31(11): 928–931.
- MIAO C, HU XQ, WANG HR, *et al.* Exposure assessment of cadmium in aquatic products of residents in Yuyao City [J]. *Shanghai Prev Med*, 2019, 31(11): 928–931.
- [16] YEKEEN TA, XU X, ZHANG Y, *et al.* Assessment of health risk of trace metal pollution in surface soil and road dust from e-waste recycling area in China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2016, 23(17): 17511–17524.
- [17] 陈雅丽, 翁利萍, 马杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(10): 2219–2238.
- CHEN YL, WENG LP, MA J, *et al.* Research progress on pollution source apportionment of soil heavy metals in China in recent ten years [J]. *J Agric Environ Sci*, 2019, 38(10): 2219–2238.
- [18] 陈清, 汪岳峰, 李艳, 等. 华南某垃圾焚烧厂焚烧飞灰理化特性及重金属形态研究[J]. *环境卫生工程*, 2019, 27(4): 13–18.
- CHEN Q, WANG QF, LI Y, *et al.* Study on physicochemical properties and heavy metal speciation of incineration fly ash from a waste incineration plant in South China [J]. *Environ Sanit Eng*, 2019, 27(4): 13–18.
- [19] 蔡华, 罗宝章, 熊丽蓓, 等. 上海市水产品中重金属污染情况[J]. *卫生研究*, 2018, 47(5): 740–743.
- CAI H, LUO BZ, XIONG LB, *et al.* Heavy metal pollution in aquatic products in Shanghai [J]. *Health Res*, 2018, 47(5): 740–743.
- [20] 王小倩, 刘金明, 张泽锋. 深圳市某区市售水产品中镉污染特征及健康风险评估[J]. *食品安全导刊*, 2023, 25(32): 106–109.
- WANG XQ, LIU JM, ZHANG ZF. Pollution characteristics and health risk assessment of cadmium in aquatic products in a district of Shenzhen [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2023, 25(32): 106–109.
- [21] 丁仁, 廖梓童, 陆韻, 等. 长江流域地表水中镉生态风险的区域差异分析[J]. *环境科学*, 2024, 45(6): 3186–3195.
- DING R, LIAO ZT, LU Y, *et al.* Analysis of regional differences in ecological risk of cadmium in surface water of the Yangtze River Basin [J]. *Environ Sci*, 2024, 45(6): 3186–3195.
- [22] 戴光伟, 梁辉, 周少君, 等. 广东省品中镉膳食暴露风险评估[J]. *华南预防医学*, 2016, 42(3): 223–226.
- DAI GW, LIANG H, ZHOU SJ, *et al.* Risk assessment of dietary exposure to cadmium in Guangdong Province [J]. *South China J Prev Med*, 2016, 42(3): 223–226.
- [23] 刘海新, 杨妙峰, 郑盛华, 等. 概率评估福建南部沿海水产品中镉食用健康风险[J]. *渔业研究*, 2023, 45(5): 480–489.
- LIU HX, YANG MF, ZHENG SH, *et al.* Probabilistic assessment of the health risk of cadmium in aquatic products in the southern coast of Fujian [J]. *J Fish Res*, 2023, 45(5): 480–489.
- [24] 李渊. 我国典型水产城市水产品重金属含量及居民暴露风险[D]. 贵阳:

- 贵州医科大学, 2021.
- LI Y. Heavy metal content in aquatic products and exposure risk of residents in typical aquatic cities in China [D]. Guiyang: Guizhou Medical University, 2021.
- [25] 刘沛, 吴永宁. 构建中国膳食暴露评估模型提长我国食品安全风险评估水平[J]. 中国预防医学杂志, 2010, 44(3): 181-183.
- LIU P, WU YN. Construction of China's dietary exposure assessment model to improve the level of food safety risk assessment in China [J]. Chin J Prev Med, 2010, 44(3): 181-183.
- [26] 赵桐, 何定留, 凡亚云, 等. 盐城市某老年大学学员膳食营养与健康调查[J]. 江苏预防医学, 2014, 25(6): 92-93.
- ZHAO T, HE DL, FAN YY, *et al.* Investigation on dietary nutrition and health of students in an elderly university in Yancheng City [J]. Jiangsu Prev Med, 2014, 25(6): 92-93.
- [27] KOONS AL, RAJASURYA V. Cadmium toxicity [M]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2019.
- [28] 周江明. 中国耕地重金属污染现状及其人为污染源浅析[J]. 中国土壤与肥料, 2020(2): 83-92.
- ZHOU JM. Status of heavy metal pollution in cultivated land and its man-made pollution sources in China [J]. Soil Fertilizer Sci China, 2020(2): 83-92.
- [29] 牛红鑫, 吕沈亮, 樊辰悦, 等. 梭子蟹、虾蛄不同组织中镉残留量及暴露评估[J]. 上海预防医学, 2023, 35(8): 735-739.
- NIU HX, LV SL, FAN CY, *et al.* Cadmium residue and exposure assessment in different tissues of *Portunus trituberculatus* and *Oratosquilla oratoria* [J]. Shanghai Prev Med, 2023, 35(8): 735-739.
- [30] RASHEED H, KAY P, SLACK RJ, *et al.* Human exposure assessment of different arsenic species in household water sources in a high risk arsenic area [J]. Sci Total Environ, 2017, 584-585: 631-641.

(责任编辑: 安香玉 于梦娇)

## 作者简介

刘玉娥, 主任技师, 主要研究方向为食品检测。  
E-mail: 88586701@qq.com

周霞, 主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。  
E-mail: 63214836@qq.com