

# 苏州市市售虾蛄和梭子蟹中铅镉的膳食暴露及健康风险评估

姚雪漫<sup>1,2</sup>, 夏瑜<sup>1,2</sup>, 马晓艳<sup>1,2</sup>, 蒋建荣<sup>1,2</sup>, 王欣<sup>1,2</sup>, 张秋萍<sup>1,2</sup>

1. 苏州市疾病预防控制中心, 江苏 苏州 215131; 2. 江苏省食品安全风险监测重点实验室(非法添加领域), 江苏 苏州 215131

**摘要:目的** 了解苏州市售虾蛄和梭子蟹中重金属铅、镉含量,以及人体通过食用这两种水产品而被动摄入铅、镉所产生的膳食暴露及健康风险。**方法** 通过体外实验模拟人体消化过程,测定模拟胃、肠道消化提取液中铅、镉含量,计算生物可给性;运用暴露边界比、非致癌目标危害系数和目标致癌风险指数评价两种水产品中铅、镉的膳食暴露及人体健康风险。**结果** 所检水产品中铅没有超标,镉有 4 份超标。样品经体外模拟胃消化液处理后,镉、铅的生物可给性数据分别为 59.1%~87.5%、19.9%~46.0%;经体外模拟肠消化液处理后,镉和铅的生物可给性数据分别为 20.5%~45.1%、18.1%~38.2%;两种水产品中铅、镉的膳食暴露限值均大于 1.8,非致癌目标危害系数低于安全基准值 1.0,目标致癌风险不大于  $5.00 \times 10^{-5}$  年。**结论** 两种水产品中铅、镉的膳食暴露风险对人体健康没有显著影响,非致癌健康风险和目标致癌风险也都在可接受风险范围内。

**关键词:** 虾蛄和梭子蟹;铅;镉;体外模拟消化;健康风险评估

中图分类号:R155.5 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2025)11-1969-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202501313

## Dietary exposure and health risk assessment of lead and cadmium in market-sold mantis shrimp and Chinese mitten crab in Suzhou

YAO Xue-man\*, XIA Yu, MA Xiao-yan, JIANG Jian-rong, WANG Xin, ZHANG Qiu-ping

\*Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Suzhou, Jiangsu 215131, China

**Abstract: Objective** To assess the content of heavy metals lead and cadmium in mantis shrimp and Chinese mitten crab sold in Suzhou, as well as the dietary exposure and health risks associated with passive intake of these metals through consumption of these two seafood products. **Methods** An in vitro experiment was conducted to simulate the human digestive process, measuring the levels of lead and cadmium in simulated gastric and intestinal digestion extracts, and calculating their bio accessibility. The dietary exposure and health risks of lead and cadmium in the two seafood products were evaluated using exposure boundary ratios, non-carcinogenic hazard coefficients, and target carcinogenic risk indices. **Results** Among the tested seafood products, lead levels were within acceptable limits, while cadmium exceeded the limit in four samples. After treatment with simulated gastric digestion fluid, the bio accessibility data for cadmium and lead were 59.1% to 87.5% and 19.9% to 46.0%, respectively. Following treatment with simulated intestinal digestion fluid, the bio accessibility data for cadmium and lead were 20.5% to 45.1% and 18.1% to 38.2%, respectively. The dietary exposure limits for lead and cadmium in both seafood products were greater than 1.8, the non-carcinogenic hazard coefficients were below the safety benchmark of 1.0, and the target carcinogenic risk was no greater than  $5.00 \times 10^{-5}$  per year. **Conclusion** The dietary exposure risk of lead and cadmium in the two seafood products does not have a significant impact on human health, and both non-carcinogenic and target carcinogenic risks are within acceptable limits.

**Keywords:** Mantis shrimp and Chinese mitten crab; Lead; Cadmium; In vitro simulated digestion; Health risk assessment

水产品味道鲜美,富含优质蛋白,脂肪和胆固醇含量较低,是健康饮食的重要来源。然而,随着沿海

基金项目:江苏省苏州市科技计划项目(SKY2022210);江苏省食品安全风险检测重点实验室(非法添加领域)资助;预防医学及血地寄防科研课题面上项目(Ym2023076);苏州市卫健委科教强卫面上项目(MSXM2024035)

作者简介:姚雪漫(1993—),女,硕士,工程师,研究方向:食品中重金属安全风险检测

通信作者:张秋萍, E-mail: 913934436@qq.com

地区城镇化、农业养殖集成化,产生了大量污染物被排入海洋<sup>[1]</sup>,尤其是铅、镉等重金属不可避免地进入海洋生物体内,经食物链富集、传递后进入人体,从而危害人体健康。

近年来,屡屡报出虾蛄、海蟹等海洋水产品中铅、镉超标<sup>[2-4]</sup>,引起公众对食用安全的关注。在 2023 年施行的《食品安全国家标准食品中污染物限量(GB 2762-2022)》将海蟹、虾蛄的镉限量从 0.5 mg/kg 修订

为 3.0 mg/kg, 国家标准提高 6 倍。很多消费者担心食用海蟹或虾蛄会产生健康风险。实际上, 随饮食摄入的铅、镉需要从食品基质中解离、释放, 溶解于可被胃肠内壁吸收的消化液才能进入人体循环, 产生有害健康的威胁<sup>[5]</sup>。因此, 需要综合考虑食物中铅、镉含量以及食物基质在胃肠道环境中能够自由解离出的铅、镉比例, 即生物可给性数据, 才能更加客观、准确地进行食用安全风险<sup>[6]</sup>。现有文献中, 多以膳食金属总量为分析目标并开展风险评估<sup>[4,7]</sup>, 不能反应人体摄入后的吸收利用程度, 可能高估对人体的危害, 造成资源浪费。

为了解苏州市售虾蛄和梭子蟹中铅、镉可能引起的膳食暴露和健康风险, 本研究以 2022 和 2023 年苏州市售虾蛄和梭子蟹各 10 批次为研究对象。首先, 将样品置于模拟人体胃肠道环境的物理化学条件下, 通过体外实验模拟人体消化的过程; 其次, 使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定样品及胃、肠道模拟消化提取液中铅、镉含量, 计算生物可给性数据; 运用暴露边界比(margin of exposure, MOE)、非致癌目标危害系数(target hazard quotient, THQ)和目标致癌风险指数(target cancer risk index, TR<sup>c</sup>)依次评价食品中铅、镉的膳食暴露风险及人体健康风险, 以期能够更加真实、客观地预测食用安全风险, 为市场的精准监管、限量标准的制修订提供质量安全控制的基础数据和理论支持, 为公众提供有效的水产品食用建议。

## 1 材料与与方法

### 1.1 样品的采集与检测

1.1.1 样品采集 2022—2023 年的每年 11—12 月份, 随机从苏州市农贸市场、商超采购虾蛄和梭子蟹各 10 批次, 共计 40 份, 每份样品不少于 2 kg, 清洗后取可食用部分, 匀浆制样。

1.1.2 主要试剂与仪器 实验所用试剂为分析纯, 碳酸氢钠、胃蛋白酶、浓盐酸、胰酶、胆酸钠、乳酸、冰醋酸采购自国药试剂; 硝酸采购自苏州晶瑞公司; 苹果酸钠、柠檬酸钠采购自阿拉丁试剂; 金属标准溶液 GSB04-1767-2004 采购自国家有色金属及电子材料分析测试中心; 大虾标准物质 GBW10050 采购自中国地质科学院地球物理化学勘察研究所。

实验所用主要仪器及耗材: 美国 Perkin Elmer 公司的电感耦合等离子体质谱仪 NexION™ 350x; 瑞士 Mettler Toledo 公司的电子分析天平 AX204; 上海一恒科学仪器公司的恒温振荡水槽 DKZ-38; 美国 Millipore 公司的 0.45 μm 水系过滤膜。

1.1.3 实验处理与检测 以 Ruby 等人<sup>[8]</sup>提出的经典方法为基础配制模拟消化液, 按照作者已建立的体外模拟消化实验方法<sup>[9]</sup>, 对虾蛄和梭子蟹样品进行实验处理。

铅、镉的测定参考《食品安全国家标准食品中多元素的测定(GB 5009.268—2016)》中第一法。以模拟消化提取液中金属含量与对应样品中金属含量值的百分数表示生物可给性数据。模拟消化提取液中金属含量的计算见公式(1)。

$$C_{iv} = \frac{(\rho - \rho_0) \times V \times 1000}{m} \quad \text{公式(1)}$$

其中: C<sub>iv</sub> 为模拟消化提取液中金属含量, mg/kg; ρ 为模拟消化提取液中金属质量浓度, μg/L; ρ<sub>0</sub> 为空白实验中金属质量浓度, μg/L; V 为模拟消化液的体积, 40 ml; m 为样品质量, g。

### 1.2 膳食暴露及健康风险评估

1.2.1 膳食暴露风险评估 基于点评估模型, 通过计算 MOE 评估水产品中铅、镉的膳食暴露潜在风险。MOE 值与膳食暴露风险呈负相关, 即有害污染物铅、镉的健康指导值或基准剂量值与人群实际摄入量越接近, 健康危害越大<sup>[9]</sup>。MOE 计算公式分别见公式(2)和公式(3)。

$$Exp = \frac{C \times M \times 1000}{MAB} \quad \text{公式(2)}$$

$$MOE = \frac{\text{健康指导值或基准剂量值}}{Exp} \quad \text{公式(3)}$$

式中, Exp 为年均膳食污染物暴露量, μg/(kg·体重); C 为样品中金属含量, mg/kg; M 为虾蛄或梭子蟹的年均食用消费量, kg; WAB 为人体重量, kg; 式中参数来源见表 1。由表 1 的前三项数据参数可推知 2022 年江苏省甲壳类水产品人均年食用消费量鲜重为 7.57 kg, 由于甲壳类的含肉率在 30%~50%之间<sup>[10]</sup>, 以 40%计, 据此可得江苏省甲壳类水产品人均年食用量为 3.03 kg, 人体重量以男女均值 65 kg 计。

表 1 参数来源

Table 1 Parameter source

发布组织	发布文本	数据参数
中国水产科学研究院渔业发展战略研究中心	《中国居民水产品食用消费量测算与分析报告(2023)》	2022 年江苏省动物性水产品食用消费鲜重总量 482.78 万吨
江苏省统计局	《2022 年江苏省国民经济和社会发展统计公报》	2022 年江苏省常住人口 8 515 万
农业农村部渔业渔政管理局	《2022 年全国渔业经济统计公报》	2022 年全国水产养殖和捕捞产量中甲壳类占比为 13.35%
国家卫健委	《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》	我国成年男性和女性的平均体重分别为 69.6 kg 和 59 kg
世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(JECFA)	《第 73 次会议报告》	镉的每月可耐受摄入量(PTMI)为 25 μg/(kg·体重) <sup>[11-12]</sup> ; 铅的日均基准剂量值为 1.2 μg/(kg·d·体重) <sup>[11,13]</sup>

1.2.2 非致癌健康风险评估 基于美国环境保护总署(USEPA)发布的化学污染物健康风险评估模型,计算 THQ,并以生物可给性数据作为胃、肠吸收系数,代入模型公式,评估人群因食用虾蛄和梭子蟹被动摄入的铅、镉对人体产生的非致癌健康危害<sup>[12,14]</sup>。在 THQ 值大于 1 时,表明对暴露人群没有显著的非致癌健康危害,反之,则具有非致癌健康风险<sup>[15]</sup>。THQ 计算见公式(4)。

$$THQ = \frac{C \times ABS \times M \times ED}{AT \times WAB \times RfD} \quad \text{公式(4)}$$

公式中:C 为样品中金属含量,mg/kg;ABS 为胃、肠吸收系数;M 为虾蛄或梭子蟹的年均食用消费量,以 3.03 kg 计;ED 为虾蛄或梭子蟹的暴露年数,根据江苏省统计局发布的苏州市人口平均预期寿命 80.29 岁<sup>[16]</sup>,以 80 年计;AT 为两种水产品的平均接触天数,80 年 × 365 d;WAB 为人体重量,以 65 kg 计;RfD 为日均口服参考剂量,由镉的 PTMI 值和铅的基准剂量值计算得 RfD 分别为 0.000 83 和 0.001 2 mg/(kg·d·体重)<sup>[17]</sup>。

1.2.3 目标致癌健康风险评估 基于 USEPA 暴露剂量-反应外推模型,计算年均致癌风险 TR<sup>C</sup>,同时,

用生物可给性数据对日均暴露剂量加以校正,评估人群在一年之中基于接触目标致癌物而增加的患癌概率,即年度超额风险度<sup>[18]</sup>。国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的 TR<sup>C</sup> 最大可接受水平为 5.00 × 10<sup>-5</sup>/年<sup>[12]</sup>,USEPA 致癌风险评价指南推荐的 TR<sup>C</sup> 水平为 1.00 × 10<sup>-4</sup>/年<sup>[18]</sup>。TR<sup>C</sup> 计算公式见公式(5)和公式(6)。

$$D = \frac{ABS \times Exp}{365 \times 1000} \quad \text{公式(5)}$$

$$TR^C = \frac{1 - \exp(-Dq)}{N} \quad \text{公式(6)}$$

公式中:D 为铅、镉随膳食摄入的日均暴露量,mg/(kg·d·体重);Exp 为年均膳食污染物暴露量,μg/(kg·体重);TR<sup>C</sup> 为年均致癌风险,1/年;q 为致癌强度系数,镉的 q 值为 6.1 (kg·d)/mg<sup>[18]</sup>,铅的 q 值为 0.008 5 (kg·d)/mg<sup>[19]</sup>;N 为人均预期寿命,以 80 年计。

## 2 结果

2.1 样品检测结果 虾蛄和梭子蟹样品中铅、镉含量测定值见表 2,所检 40 份样品中,铅含量均没有超标,镉含量超标 4 份。大虾标准物质中铅、镉含量的测定值在给定范围内,相对标准偏差小于 5%,符合质量控制要求。

表 2 虾蛄和梭子蟹样品中铅镉测定值

Table 2 The determination of Pb and Cd in mantis shrimp and portunus samples

样品	份数(份)	项目	2022 年		2023 年	
			铅	镉	铅	镉
虾蛄	20	含量范围(mg/kg)	0.022 8 ~ 0.094 9	1.32 ~ 3.09	0.022 2 ~ 0.103	1.98 ~ 3.22
		均值(mg/kg)	0.056 6	2.17	0.043 7	2.41
		标准限值(mg/kg)	0.5	3.0	0.5	3.0
		检出率(%)	100	100	100	100
		合格率(%)	100	80	100	90
梭子蟹	20	含量范围(mg/kg)	0.010 0 ~ 0.134	0.764 ~ 3.44	0.020 5 ~ 0.820	0.374 ~ 2.66
		均值(mg/kg)	0.049 6	1.92	0.048 0	1.74
		标准限值(mg/kg)	0.5	3.0	0.5	3.0
		检出率(%)	100	100	100	100
		合格率(%)	100	90	100	100

2.2 体外模拟消化提取液中铅、镉溶出量及生物可给性数据 使用 SPSS 24 软件对两个年份采集的样品、模拟胃肠消化提取液中铅、镉含量均值分别进行

t 检验,按 α=0.05 水准,显示两年间同类水产品中同种金属的含量或溶出量不存在显著性差别,因此将两年间数据合并统计于表 3。

表 3 模拟胃肠消化提取液中铅、镉溶出量及生物可给性数据

Table 3 Contents of Pb and Cd in simulated gastric and intestinal digestive extracting solution and bioaccessibility data

模拟实验阶段	样品种类	样品数(份)	镉含量(mg/kg)	镉的生物可给性范围(%)	铅含量(mg/kg)	铅的生物可给性范围(%)
模拟胃阶段	虾蛄	20	1.06 ~ 2.31(1.70)	59.1 ~ 87.5(75.4)	0.006 97 ~ 0.048 9(0.017 2)	21.6 ~ 46.0(33.8)
	梭子蟹	20	0.303 ~ 2.89(1.30)	60.0 ~ 84.5(71.1)	0.005 21 ~ 0.034 9(0.013 6)	19.9 ~ 42.5(28.7)
模拟肠阶段	虾蛄	20	0.426 ~ 1.17(0.749)	22.2 ~ 45.1(32.9)	0.003 25 ~ 0.021 5(0.016 2)	18.1 ~ 38.2(32.0)
	梭子蟹	20	0.129 ~ 0.974(0.541)	20.5 ~ 40.4(29.9)	0.002 11 ~ 0.030 3(0.014 3)	19.6 ~ 37.8(28.4)

注:括号内数值表示均值。

在模拟胃消化提取液中,两种水产样品的镉含量为 0.303 ~ 2.89 mg/kg,生物可给性数据的均值分别为 75.4%和 71.1%;在模拟肠消化提取液中镉含量为 0.129 ~ 1.17 mg/kg,生物可给性数据均值分别为 32.9%和 29.9%。由于模拟胃消化液的 pH 值 (1.5 ± 0.1)较低,其中大量存在的 H<sup>+</sup> 直接和镉离子竞争络合位点,从而导致大量镉离子释放到消化液中,使其镉含量较高,模拟肠消化液的 pH 值(7.0 ± 0.1)偏弱碱性,使镉离子沉淀,含量降低<sup>[20]</sup>。

两种水产品模拟胃消化提取液中的铅含量不高于 0.05 mg/kg,生物可给性数据均值分别为 33.8%和 28.7%;模拟肠消化提取液中铅含量不高于 0.030 3 mg/kg,生物可给性数据均值分别为 32.0%和 28.4%。铅的生物可给性数据在两段模拟消化过程中没有显

著差异,一方面由于从模拟胃阶段到模拟肠阶段体系的 pH 值升高,导致部分溶解态铅出现沉淀,使模拟肠消化提取液中铅含量降低;另一方面通过不断地蠕动消化,食物组织进一步被模拟肠胃蠕动的振荡机械力和消化液等破坏,会导致模拟肠提取液中铅的溶出量增加<sup>[21]</sup>,与 pH 值升高所导致的铅沉淀量存在一定的消抵,甚至可能出现模拟肠阶段铅的生物可给性高于模拟胃阶段的情况。

**2.3 膳食暴露风险评估结果** 评估膳食暴露风险的 MOE 值见表 4,其中膳食污染物暴露量 Exp 分别以样品中铅、镉含量均值和最大值计。两种水产品的铅、镉 MOE 值均大于 1.8,说明食用虾蛄或梭子蟹而被动摄入的铅、镉所引起的膳食暴露风险较低,由此引起的健康风险在安全范围<sup>[9]</sup>。

表 4 虾蛄和梭子蟹中铅、镉膳食暴露限值

Table 4 Margin of exposure of Pb and Cd in mantis shrimp and portunus

项目	健康指导值 [μg/(kg·体重·年)]	取值	重金属含量(mg/kg)		年均膳食暴露量 Exp[μg/(kg·体重)]		暴露限值 MOE	
			虾蛄	梭子蟹	虾蛄	梭子蟹	虾蛄	梭子蟹
镉	300	均值	2.29	1.83	106.75	85.30	2.81	3.52
		最大值	3.22	3.44	150.10	160.36	2.00	1.87
铅	438	均值	0.050 2	0.048 8	2.34	2.27	187.18	192.95
		最大值	0.103	0.134	4.80	6.25	91.25	70.08

**2.4 非致癌健康风险评估结果** 评估非致癌健康风险的 THQ 值见表 5,胃、肠吸收系数 ABS 以对应的生物可给性数据平均值计。虾蛄和梭子蟹样品中镉的 THQ 值较高,均值分别为 0.352 和 0.282,按所检样品中镉含量最大值 3.44 mg/kg 计算出的 THQ 值达

0.495;铅的 THQ 值均不大于 0.014 3。考虑摄食之后人体胃、肠的吸收利用情况,用生物可给性数据校正后,所得 THQ 值远低于安全限值 1.0。总体来看,通过食用虾蛄和梭子蟹而摄入的铅、镉所引起的非致癌健康风险可接受,食用安全性可接受。

表 5 虾蛄和梭子蟹中铅、镉目标危害系数

Table 5 THQ of Pb and Cd in mantis shrimp and portunus

样品种类	检测阶段	可给性系数 ABS(%)		THQ			
		镉	铅	镉		铅	
				均值	最大值	均值	最大值
虾蛄	样品	100	100	0.352	0.495	0.005 34	0.011 0
	胃阶段	75.4	33.8	0.280	0.373	0.001 39	0.003 70
	肠阶段	32.9	32.0	0.122	0.163	0.001 49	0.003 51
梭子蟹	样品	100	100	0.282	0.530	0.005 19	0.014 3
	胃阶段	71.1	28.7	0.200	0.377	0.001 46	0.000 551
	肠阶段	29.9	28.4	0.084 3	0.159	0.001 45	0.000 405

**2.5 目标致癌健康风险评估结果** 虾蛄和梭子蟹样品中镉的年均致癌风险 TR<sup>C</sup> 平均值分别为 2.23 × 10<sup>-7</sup> 年、1.78 × 10<sup>-7</sup> 年,最大值不超过 3.35 × 10<sup>-7</sup> 年;经生物可给性数据校正后,镉的 TR<sup>C</sup> 值不超过 2.38 × 10<sup>-7</sup> 年,低于 ICRP 和 USEPA 的建议风险水平,见表 6;两种水产品中铅的 TR<sup>C</sup> 值最大不超过 1.82 × 10<sup>-7</sup> 年,远低于 USEPA 规定的指导安全水平 TR<sup>C</sup> < 10<sup>-6</sup> 年,即小于 1/100 万的发病率,风险可忽略不计。

在平均膳食暴露和高端膳食暴露量下,虾蛄和梭子蟹中铅、镉的 TR<sup>C</sup> 值都在推荐可接受风险范围内 (< 10<sup>-4</sup>),表明通过食用这两种水产品而摄入的致癌污染物铅、镉所引起食用人群年度超额患癌概率较低,评估所得的目标致癌健康风险位于可接受范围。

3 讨论

本文对 2022—2023 年苏州市售的 40 份虾蛄和梭子蟹样品中铅、镉含量进行分析,并通过体外实验

表 6 虾蛄和梭子蟹中铅、镉的目标致癌健康风险指数

Table 6 Target cancer risk index of Pb and Cd in mantis shrimp and portunus

样品种类	检测阶段	可给性系数 ABS(%)		TRC(/年)			
		镉	铅	镉		铅	
				均值	最大值	均值	最大值
虾蛄	样品	100	100	$2.23 \times 10^{-5}$	$3.13 \times 10^{-5}$	$6.81 \times 10^{-10}$	$1.40 \times 10^{-9}$
	胃阶段	75.4	33.8	$1.76 \times 10^{-5}$	$2.36 \times 10^{-5}$	$2.01 \times 10^{-10}$	$4.72 \times 10^{-10}$
	肠阶段	32.9	32.0	$7.72 \times 10^{-6}$	$1.03 \times 10^{-5}$	$1.90 \times 10^{-10}$	$4.47 \times 10^{-10}$
梭子蟹	样品	100	100	$1.78 \times 10^{-5}$	$3.35 \times 10^{-5}$	$6.61 \times 10^{-10}$	$1.82 \times 10^{-9}$
	胃阶段	71.1	28.7	$1.27 \times 10^{-5}$	$2.38 \times 10^{-5}$	$1.87 \times 10^{-10}$	$5.22 \times 10^{-10}$
	肠阶段	29.9	28.4	$5.33 \times 10^{-6}$	$1.00 \times 10^{-5}$	$1.85 \times 10^{-10}$	$5.17 \times 10^{-10}$

模拟人体消化的过程,测定两种水产品的生物可给性数据。所检水产品中铅含量没有超标,镉含量有 4 份超标。虾蛄和梭子蟹样品经体外模拟胃消化液处理后,镉、铅的生物可给性数据分别为 59.1%~87.5%、19.9%~46.0%;经体外模拟肠消化液处理后,镉、铅的生物可给性数据分别为 20.5%~45.1%、18.1%~38.2%。

膳食暴露和健康风险评估显示,两种水产品中铅、镉的膳食暴露风险对人体健康没有显著影响,非致癌健康风险和目标致癌风险也都在可接受风险范围内。受样品数量限制,风险分析所依据样本量较小,使研究有一定局限性,在今后的工作中,将持续关注这两种水产品中铅、镉的膳食暴露风险,不断充实数据内容,以提高健康风险评估的可靠性。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

#### 参考文献

- [1] 刘潇博,黄海宁,吴扬雨,等. 中国沿海水生生物污染数据集及食用水产品的健康危害评估[J]. 生态毒理学报,2021,16(3): 252-263.  
Liu XB, Huang HN, Wu YY, et al. Dataset on contamination of aquatic organisms and their health risk assessment in Chinese coastal areas [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16 (3): 252-263.(In Chinese)
- [2] 姚雪漫,张秋萍,蒋建荣,等. 动物性海产品中镉的健康风险评估的研究进展[J]. 预防医学论坛,2022,28(11):872-875,880.  
Yao XM, Zhang QP, Jiang JR, et al. Research progress on health risk assessment of cadmium in animal seafood [J]. Preventive Medicine Tribune, 2022, 28(11): 872-875, 880.(In Chinese)
- [3] 侯彦琳,郝青,孙秀梅,等. 苍南近岸海域水产品重金属分布特征及风险评估 [J]. 中国无机分析化学,2024,14(9): 1255-1263.  
Hou YL, Hao Q, Sun XM, et al. Distribution characteristics and risk assessment of heavy metals in aquatic products from the coastal area of Cangnan [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2024, 14(9): 1255-1263.(In Chinese)
- [4] 陈晓敏,陈韵,梁智安,等. 基于电感耦合等离子体质谱法对广州市售水产品中 6 种重金属的含量测定与污染评价[J]. 食品安全质量检测学报,2024,15(14):59-66.  
Chen XM, Chen Y, Liang ZA, et al. Content determination and contamination assessment of 6 kinds of heavy metals in aquatic products sold in Guangzhou by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15 (14): 59-66.(In Chinese)
- [5] 李娜,耿照梦,郭莹莹,等. 水产品中重金属生物可给性与生物有效性研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(5): 1367-1373.  
Li N, Geng ZM, Guo YY, et al. Research progress of bio-accessibility and bioavailability of heavy metals in aquatic products [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(5): 1367-1373.(In Chinese)
- [6] 姚雪漫,张秋萍,蒋建荣,等. 体外模拟消化实验研究虾蛄和梭子蟹体内铅镉元素的生物可给性[J]. 江苏预防医学,2023,34(5):558-560.  
Yao XM, Zhang QP, Jiang JR, et al. Bioavailability of Lead and Cadmium in mantis shrimps and swimming crabs with in vitro simulated digestion experiments [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2023, 34(5): 558-560.(In Chinese)
- [7] 王春玲,丰东升,张维谊,等. 上海市常见养殖水产重金属残留与膳食风险评估[J]. 工业微生物,2023,53(2):136-142.  
Wang CL, Feng DS, Zhang WY, et al. Study on heavy metal residues and dietary risk assessment of common aquatic products in Shanghai [J]. Industrial Microbiology, 2023, 53(2): 136-142.(In Chinese)
- [8] 罗杨. 黔西北土法炼锌区蔬菜重金属生物可给性及人群健康风险评价[D]. 贵阳:贵州大学,2021.  
Luo Y. Bioaccessibility of heavy metals in vegetables and population health risk assessment in local zinc smelting area of northwest Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021.(In Chinese)
- [9] 刘志婷,黄盼盼,黄琼,等. 广东省灵芝,铁皮石斛,西洋参三种食药物质重金属暴露风险评估 [J]. 中国食品卫生杂志,2024,36(4):414-419.  
Liu ZT, Huang PP, Huang Q, et al. Risk assessment of the heavy metals by ganoderma lucidum, dendrobium officinale, and American ginseng in Guangdong Province [J]. China Journal of Food Hygiene, 2024, 36(4): 414-419.(In Chinese)
- [10] 彭波. 克氏原螯虾含肉率及相关表型与 SSR 标记的关联分析 [D]. 武汉:华中农业大学,2022.  
Peng B. Association analysis of abdominal muscle content and the related phenotypes with SSR markers in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.(In Chinese)
- [11] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO expert committee on Food Additives [EB/OL]. [2025-04-20]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241209601>.
- [12] 张亚非. 江苏省人群膳食镉慢性暴露评估模型构建及验证研究 [D]. 南京:东南大学,2017.

Qingdao[J]. Practical preventive medicine, 2024, 31(2): 147-151.(In Chinese)

[ 14 ] 王艳,孙冰洁,赵海,等. 北京市中小学生营养状况及相关因素分析[J]. 中国学校卫生,2024,45(2):188-192.  
Wang Y, Sun BJ, Zhao H, et al. Nutritional status and its related factors among primary and secondary school students in Beijing City [J]. Chinese Journal of School Health, 2024, 45(2): 188-192.(In Chinese)

[ 15 ] 周诗豪,敖梦凡,梁娴,等. 424 名广东省中小學生中超重肥胖现状调查及影响因素分析 [J]. 广东医科大学学报,2023,41(2):196-199.  
Zhou SH, Ao MF, Liang X, et al. Prevalence survey and risk factors of overweight/obesity in 424 primary and secondary school students in Guangdong Province [J]. Journal of Guangdong Medical College, 2023, 41(2): 196-199.(In Chinese)

[ 16 ] 赵攀,胡成华,杨久钰,等. 武汉市初中生在外出就餐相关因素及与超重肥胖的关系 [J]. 中国学校卫生,2023,44(10):1578-1581,1586.  
Zhao Z, Hu CH, Yang JY, et al. Relevant factors of eating out-of-home and its association with overweight and obesity among middle school students in Wuhan City [J]. Chinese Journal of School Health, 2023, 44(10): 1578-1581, 1586.(In Chinese)

[ 17 ] 朱紫文,尤琳,王雨晴,等. 儿童肥胖症遗传学研究进展[J]. 国际儿科学杂志,2024,51(7):452-456.  
Zhu ZW, You L, Wang YQ, et al. Advances in genetic studies of childhood obesity[J]. International Journal of Pediatrics, 2024, 51(7): 452-456.(In Chinese)

[ 18 ] Feng X, Zhu JH, Hua ZL, et al. The prevalence and determinant of overweight and obesity among residents aged 40-69 years in high-risk regions for upper gastrointestinal cancer in southeast China[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 8172.

[ 19 ] 王凤鸣,刘琴,安曦洲,等. 膳食水果摄入量与儿童超重肥胖的关系[J]. 中国学校卫生,2023,44(10):1459-1463.  
Wang FM, Liu Q, An XZ, et al. Relationship between dietary fruit intake and overweight and obesity in children [J]. Chinese Journal of School Health, 2023, 44(10): 1459-1463.(In Chinese)

[ 20 ] Li SY, Leung J, Lu ZH, et al. Quantity and variety of fruit and vegetable intake with changes in measures of adiposity among Community-Dwelling Chinese older adults [J]. Nutrients, 2023, 15(19): 4096.

[ 21 ] Daly AN, O'Sullivan EJ, Walton J, et al. Eating behaviour styles in Irish teens: a cross-sectional study[J]. Public Health Nutrition, 2021, 24(8): 2144-2152.

[ 22 ] 王昺睿,陈红. 为何越减越肥?—限制性饮食者过度进食的心理机制及影响因素[J]. 心理科学进展,2019,27(2):322-328.  
Wang SR, Chen H. Why do you lose more weight? - Psychological mechanism and influencing factors of overeating in restrictive dieters [J]. Progress in Psychological Science, 2019, 27(2): 322-328.(In Chinese)

[ 23 ] Braden A, Musher-Eizenman D, Watford T, et al. Eating when depressed, anxious, bored, or happy: Are emotional eating types associated with unique psychological and physical health correlates? [J]. Appetite, 2018, 125: 410-417.

收稿日期:2025-01-10

(上接第 1973 页)

Zhang YF. Validation of long-term dietary cadmium exposure assessment model in Jiangsu province [D]. Nanjing: Southeast University, 2017.(In Chinese)

[ 13 ] 刘志婷,黄盼盼,黄琼,等. 广东省灵芝、铁皮石斛、西洋参三种食药物质重金属暴露风险评估 [J]. 中国食品卫生杂志,2024,36(4):414-419.  
Liu ZT, Huang PP, Huang Q, et al. Risk assessment of the heavy metals by ganoderma lucidum, dendrobium officinale, and American ginseng in Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(4): 414-419.(In Chinese)

[ 14 ] 张文,吴光红,卢元玲,等. 江苏地区克氏原螯虾中镉的膳食暴露及风险评估[J]. 食品科学,2017,38(23):201-206.  
Zhang W, Wu GH, Lu YL, et al. Dietary exposure and risk assessment of cadmium from crayfish (Procambarus clarkia) in Jiangsu province[J]. Food Science, 2017, 38(23): 201-206.(In Chinese)

[ 15 ] 王玺,罗亚翠,张海君. 2019-2023 年台州市市售蔬菜中 9 种金属与类金属污染状况及健康风险评估 [J]. 现代预防医学,2024,51(14):2662-2668.  
Wang X, Luo YC, Zhang HJ. Pollution status and health risk assessment of 9 metals and metalloids on sale vegetables in Taizhou City,2019-2023 [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(14): 2662-2668.(In Chinese)

[ 16 ] 江苏省统计局. 2020 年江苏人口平均预期寿命为 79.32 岁 [EB/OL]. [2025-04-20]. [http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2022/2/9/art\\_85276\\_10479373.html](http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2022/2/9/art_85276_10479373.html).  
Statistics Bureau of Jiangsu Province. The average life expectancy of Jiangsu's population in 2020 was 79.32 years [EB/OL]. [2025-04-20]. [http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2022/2/9/art\\_85276\\_10479373.html](http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2022/2/9/art_85276_10479373.html).(In Chinese)

[ 17 ] 李娟,王艳敏,胡玲玲,等. 江西省食品中铅和镉污染调查及健康风险评估[J]. 现代预防医学,2023,50(3):446-450.  
Li J, Wang YM, Hu LL, et al. Investigation and health risk assessment of Lead and Cadmium pollution in food in Jiangxi Province[J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(3): 446-450.(In Chinese)

[ 18 ] 张灼晖,朱凤,谢雨晨,等. 深圳市南山区市售食品中镉污染情况及暴露风险评估[J]. 现代预防医学,2024,51(3):439-444.  
Zhang ZH, Zhu F, Xie YC, et al. Cadmium pollution and exposure risk assessment of food sold in Nanshan district of Shenzhen city[J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(3): 439-444.(In Chinese)

[ 19 ] EPA. Pb executive summary[EB/OL].[2025-04-15]. <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/executive-summary/DTXSID2024161>.

[ 20 ] 汪鹏程. 不同食品基质中镉的生物可及性和体内外生物利用率研究[D]. 湖北:武汉轻工大学,2019.  
Wang PC. Study on the bioaccessibility in vitro and bioavailability in vitro and in vitro of cadmium from various food [D]. Hubei: Wuhan Polytechnic University, 2019.(In Chinese)

[ 21 ] 陈晓晨,崔岩山. 小白菜的干鲜状态对其铅的生物可给性的影响[J]. 生态毒理学报,2009,4(6):793-799.  
Chen XC, Cui YS. Effects of dry and fresh states of brassica chinensis on the oral bioaccessibility of Lead [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2009, 4(6): 793-799.(In Chinese)

收稿日期:2025-01-18