

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.09.011

茂名地区主要水产品汞含量分析与风险评估

Mercury content analysis and risk assessment of the major aquatic products in Maoming

王 丽¹ 许华杰¹ 李海丽² 迟恩忠¹ 李海刚¹WANG Li¹ XU Hua-jie¹ LI Hai-li² CHI En-zhong¹ LI Hai-gang¹

(1. 广东石油化工学院生物与食品工程学院, 广东 茂名 525000; 2. 茂名市食品药品检验所, 广东 茂名 525000)

(1. College of Biological and Food Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China; 2. Maoming Institute for Food and Drug Inspection, Maoming, Guangdong 525000, China)

摘要:目的:了解茂名地区主要水产品中汞污染的现状和水平,为水产品的质量监管和安全食用提供依据。方法:根据调查问卷选取广东省茂名市 4 个地区居民常食用的 10 种水产品为评估对象,采用原子荧光光谱法对样本进行总汞含量测定,采用单因子污染指数法、周均单位体重暴露量和目标危险系数法分别对其进行污染程度评估、膳食暴露评估和健康风险评估。结果:调查发现 42.95% 的居民对水产品中汞污染的危害认识不足;10 种水产品总汞含量范围为 ND~0.141 8 mg/kg,检出率为 35.9%,金丝鱼样品的总汞检出率和含量明显高于其他的海产品;39 个样品中有 38 个样品的总汞污染指数 $P_i < 0.2$;总汞的周均单位体重暴露量为 0.090 9 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$,占每周耐受摄入量的 2.273%;水产品中总汞的目标危险系数均小于 1,平均目标危险系数为 0.13。结论:总体上茂名地区 10 种水产品总汞含量均未超过国家规定的限量标准,汞污染程度处于安全水平,潜在的健康风险较低,可以安全食用。

关键词:水产品;汞含量;风险评估

Abstract: Objective: To understand the current situation and level of mercury pollution in main aquatic products in Maoming area, so as to provide the basis for quality supervision and safe consumption of aquatic products. **Methods:** Ten kinds of aquatic products commonly consumed by residents in four districts of Maoming were selected as the evaluation objects according to the

基金项目:广东省科技创新战略专项资金(编号:KJ024);茂名市科技计划项目(编号:2020547);广东石油化工学院自然科学基金项目(编号:2018rc40)

作者简介:王丽,女,广东石油化工学院副教授,博士。

通信作者:迟恩忠(1970—),男,广东石油化工学院实验师,硕士。

E-mail: junfengchi@gdpu.edu.cn

收稿日期:2021-01-25

questionnaire. The total mercury content of the samples was determined by atomic fluorescence Spectrophotometer, pollution degree assessment, dietary exposure assessment and health risk assessment were carried out by single factor pollution index method, weekly average exposure per unit weight and target hazard quotient respectively. **Results:** The results showed that 42.95% of the residents were not aware of the harm of mercury pollution in aquatic products, and the total mercury content in 10 kinds of aquatic products ranged from ND~0.141 8 mg/kg, the detection rate was 35.9%. The total mercury pollution index (P_i) of 38 out of 39 samples was less than 0.2, and the weekly average exposure per unit weight of total mercury was 0.090 9 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$, which accounted for 2.273% of Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI). The target hazard quotient of total mercury in aquatic products was less than 1, and the average target risk factor was 0.13. **Conclusion:** Overall, the total mercury content of 10 aquatic products in the Maoming region did not exceed the national limits, and the level of mercury pollution is at a safe level, the potential health risks are low and safe to eat.

Keywords: aquatic product; mercury content; risk assessment

汞俗称水银,挥发性强、熔点低、毒性较大^[1],是对人类和高等生物具有危害的有毒元素之一。汞及其化合物主要通过呼吸道、皮肤、消化道等途径进入人体^[2],低剂量、长期暴露会对人体的肝脏、肾脏、生殖系统、神经系统等器官造成慢性损伤^[3-4]。随着现代工业发展,大量的汞及其化合物从废水中排出,沉积于河流和海洋,由于其化合物具有高度的生物累积性、易迁移性、生物放大性和持久性^[5-6],经由食物链传递在水生生物体内累积,并通过摄食进入人体危害人类健康。沿海地区的工业废水及其他途径进入水体的富含汞的污染物,对整个水生生态系

统带来了严重的危害,同时通过生物富集和放大作用在水产品体内的富集^[7],对水产品的安全造成了很大的影响。

研究^[8]表明人体摄入汞的剂量水平与膳食行为有关,水产品对人体甲基汞摄入的贡献率达 90% 以上,水产品摄入是目前所知的普通居民汞暴露的主要途径。Dickman 等^[9]经过对香港男性居民的头发汞含量进行调查发现,每周食用鱼类 4 次及以上的人头发中的平均汞含量为 4.07 $\mu\text{g/g}$,而食用 4 次以下和不食用鱼类的分别为 2.56, 1.21 $\mu\text{g/g}$ 。牛小丽等^[10]研究发现大连地区居民的头发中的汞浓度与身高、体重无显著相关性,但与年龄、水产品摄入量呈正相关。

广东省茂名市地处粤西地区,属于亚热带气候,拥有辽阔的海域,具有发展渔业得天独厚的条件,域内盛产各类鱼、虾、蟹等水产品,有“中国罗非鱼之都”之称。为了解茂名地区主要水产品中汞污染的现状和水平,对茂名地区居民食用水产品情况进行调研,在茂名市的博贺港、电白区市场、高州市市场、茂南区市场随机采集居民食用较多的 10 种水产品,采用原子荧光光谱法进行总汞含量的分析检测,对其进行污染程度评估、膳食暴露评估和健康风险评估,以期为茂名地区水产品的质量监管和食品安全食用提供试验依据。

1 材料与方 法

1.1 样品与试剂

1.1.1 试验样品

在茂名市所辖的博贺港、电白区市场、高州市市场、茂南区市场,随机采集 10 种共 39 份水产品,其中淡水鱼类 3 份(罗非鱼),海水鱼类 20 份(马鲛鱼、黄花鱼、鲳鱼、秋刀鱼、金丝鱼),甲壳类 8 份(皮皮虾、对虾),双壳类软体动物 4 份(生蚝),头足类软体动物 4 份(鱿鱼),分类根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》附录 A 食品类别(名称)说明进行。

1.1.2 主要试剂

氯化汞标准溶液: 1 000 $\mu\text{g/mL}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心;

硝酸: 优级纯, 广州化学试剂厂;

硼氢化钾: 分析纯, 广东光华科技股份有限公司;

氢氧化钾: 优级纯, 永华化学科技(江苏)有限公司;

试验用水为实验室制备的超纯水。

1.2 主要仪器设备

原子荧光光度计: PF52 型, 北京普析通用仪器有限公司;

微波消解仪: Mars6 型, 美国 CEM(培安)有限公司;

电子分析天平: BSA224S-CW 型, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

赶酸器: EHB-6 型, 北京东航科仪器有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 调查方法 前往茂名市茂南区、电白区及高州市进行走访调研,发放电子版和纸质版问卷共 500 份,问卷包括性别、年龄、职业、居住地、家庭偏好食用的水产品、居民食用水产品的频率和每餐摄入量等主要问题。

1.3.2 检测方法 按照 GB 5009.17—2014《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中的原子荧光光谱法,进行水产品总汞含量的测定,该方法的定量限为 0.01 mg/kg 。

1.3.3 污染程度评估 根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》,当水产品及其制品中总汞含量不超过甲基汞限量值时,不需要测定甲基汞,否则需要再测定甲基汞。该标准中水产动物及其制品的甲基汞限量为 0.5 mg/kg ,肉食性鱼类及其制品的甲基汞限量为 1.0 mg/kg 。根据上述的限量标准,采用单因子污染指数法进行总汞污染程度评估,污染指数 P_i 按照式(1)计算, $P_i < 0.2$ 表示未污染, $0.2 \leq P_i \leq 0.6$ 表示轻度污染; $0.6 < P_i < 1.0$ 表示中度污染; $P_i \geq 1.0$ 表示重度污染^[11]。

$$P_i = C/S, \quad (1)$$

式中:

P_i ——污染指数;

C ——实测值(未检出样品的 C 按 1/2 定量限进行替换处理), mg/kg ;

S ——标准限量(淡水鱼类、海水鱼类按 1.0 mg/kg 计,其他类样品按 0.5 mg/kg 计), mg/kg 。

1.3.4 膳食暴露评估 水产品中汞的周均单位体重暴露量按式(2)计算。

$$W_e = D_i \times 7 \times C_a / B_w, \quad (2)$$

式中:

W_e ——周均单位体重暴露量, $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$;

D_i ——居民日均水产品摄入量, kg/d ;

C_a ——水产品中总汞的平均含量, mg/kg ;

B_w ——体重(按 60 kg 计), kg 。

此外,计算周均单位体重暴露量占暂定每周耐受摄入量(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)的百分数[汞的 PTWI 按食品添加剂联合专家委员会推荐的 4 $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$ 计^[12]],综合评估茂名市水产品的食用安全性。

1.3.5 健康风险评估 根据文献[13]采用目标危险系数(Target hazard quotient, THQ)法进行水产品中总汞的健康风险评估,当 $\text{THQ} > 1$ 时,说明具有潜在的健康风险,反之潜在的健康风险较低,THQ 按式(3)计算。

$$Q_{\text{TH}} = [(E_f \times E_d \times F_{\text{ir}} \times 10^{-3} \times C_a) / (R_{\text{D}} \times B_w \times T_a)], \quad (3)$$

式中:

Q_{TH} ——目标危险系数;

E_f ——总汞的暴露频率, 365 $\text{d}/\text{年}$;

E_d ——总汞的暴露年限,70年;
 F_{ir} ——居民的水产品摄入量(按35 g/d计),g/d;
 C_a ——水产品中总汞的平均含量,mg/kg;
 R_{10} ——汞的参考剂量, 1×10^{-4} mg/(kg·d)^[14];
 B_w ——体重(按60 kg计),kg;
 T_a ——非致癌性暴露的平均时间,d。

2 结果与分析

2.1 调查结果

调查过程中共计发放问卷500份,收回有效问卷454份,回收率90.8%,其中男女比例各约50%。调查结果显示茂名市居民食用所占比例较高的水产品为马鲛鱼、黄花鱼、鲳鱼、秋刀鱼、对虾、生蚝、鱿鱼、皮皮虾、罗非鱼、金丝鱼。同时,调查发现高达42.95%的居民对水产品中汞超标的危害认识不足,建议政府要多方面、多渠道普及汞暴露风险和摄入途径的相关知识。

2.2 样品中的总汞含量

试验对10种39份样品进行了总汞含量检测,结果见表1。由表1可知,39个样品的总汞含量范围为ND~0.1418 mg/kg,均未超过GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》,其中有14份样品检出总汞,检出率为35.9%。金丝鱼样品的总汞检出率和总汞含量明显高于其他样品,4个采集点的金丝鱼样品都检出了总

汞,含量为0.0549~0.0733 mg/kg,可能与金丝鱼存在有别于其他水产品的某种富集汞的生理特征或习性有关。其次,秋刀鱼和皮皮虾的总汞检出率相对也比较高,分别达到了75%和50%。

2.3 不同种类样品的总汞含量分布特征

不同种类的水产品个体大小、生活习性和食性有较大差异,处于食物链的不同环节,富集汞的能力不同。由表2可知,淡水鱼类罗非鱼样品总汞均未检出;海水鱼类的检出率最高,达到了45%;甲壳类的检出率也比较高,达到了37.5%;双壳类软体动物生蚝和头足类软体动物鱿鱼的检出率为25%。

2.4 总汞污染程度

由表3可知,39个样品中有38个的 $P_i < 0.2$,表明总汞污染程度处于安全水平,但电白区的对虾样品 $0.2 \leq P_i \leq 0.6$,表明受到了轻度汞污染。从不同种类的水产品来看,淡水鱼中的罗非鱼污染指数较低;海水鱼中的金丝鱼污染指数最高,且不同采样点的污染水平相当;甲壳类的污染指数比双壳类软体动物、头足类软体动物的高,但不同采样点的污染水平差别较大。总体上,茂名地区水产品总汞的污染程度处于安全水平,可放心食用。

2.5 膳食暴露评估

根据《中国居民膳食指南》推荐,每日摄入水产品推荐量应该达到40 g以上,但事实上中国目前每日人均摄

表1 样品中的总汞含量[†]

样品种类	样品名称	博贺港	电白区市场	高州市市场	茂南区市场
淡水鱼	罗非鱼		ND	ND	ND
	马鲛鱼	ND	ND	0.095 8	ND
	黄花鱼	ND	ND	0.034 1	ND
海水鱼	鲳鱼	ND	ND	ND	ND
	秋刀鱼	ND	0.013 4	0.046 2	0.044 9
	金丝鱼	0.054 9	0.068 0	0.071 7	0.073 3
甲壳类	对虾	ND	0.141 8	ND	ND
	皮皮虾	0.053 4	ND	ND	0.025 8
双壳类软体动物	生蚝	ND	0.012 3	ND	ND
头足类软体动物	生蚝	ND	ND	0.024 5	ND

† ND表示未检出。

表2 不同种类水产品的总汞含量特征[†]

Table 2 Characteristics of total mercury content in the different kinds of aquatic products

样品种类	样品数	检出总汞样品数	检出率/%	含量范围/(mg·kg ⁻¹)
淡水鱼	3	0	0.0	ND
海水鱼	20	9	45.0	ND~0.095 8
甲壳类	8	3	37.5	ND~0.141 8
双壳类软体动物	4	1	25.0	ND~0.012 3
头足类软体动物	4	1	25.0	ND~0.024 5

† ND表示未检出。

入量仅为 30 g 左右,根据问卷调查结果茂名地区水产品日摄入量按 35 g 计。结合表 1 数据计算水产品的周均单位体重暴露量和占每周耐受摄入量(PTWI)的比例,结果如表 4 所示。

表 3 水产品中总汞的污染指数

Table 3 Pollution index of total mercury in the aquatic products

样品种类	样品名称	博贺港	电白区市场	高州市市场	茂南区市场	平均 P_i
淡水鱼	罗非鱼		0.005 0	0.005 0	0.005 0	0.005 0
	马鲛鱼	0.005 0	0.005 0	0.095 8	0.005 0	0.027 7
	黄花鱼	0.005 0	0.005 0	0.034 1	0.005 0	0.012 3
海水鱼	鲳鱼	0.005 0	0.005 0	0.005 0	0.005 0	0.005 0
	秋刀鱼	0.005 0	0.013 4	0.046 2	0.044 9	0.027 4
	金丝鱼	0.054 9	0.068 0	0.071 7	0.073 3	0.067 0
甲壳类	对虾	0.010 0	0.283 6	0.010 0	0.010 0	0.078 4
	皮皮虾	0.106 8	0.010 0	0.010 0	0.051 6	0.044 6
双壳类软体动物	生蚝	0.010 0	0.024 6	0.010 0	0.010 0	0.013 7
头足类软体动物	鱿鱼	0.010 0	0.010 0	0.049 0	0.010 0	0.019 8

表 4 水产品中总汞的周暴露量及占 PTWI 的百分数

Table 4 Weekly exposure to total mercury in the aquatic products and percentage of PTWI

样品名称	总汞的平均含量 C_a / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	周均单位体重暴露量 W_e / ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{BW}^{-1}$)	占 PTWI 的 比例/%
罗非鱼	0.005 0	0.020 4	0.510
马鲛鱼	0.027 7	0.113 1	2.827
黄花鱼	0.012 3	0.050 2	1.255
鲳鱼	0.005 0	0.020 4	0.510
秋刀鱼	0.027 4	0.111 8	2.795
金丝鱼	0.067 0	0.273 5	6.838
对虾	0.039 2	0.160 1	4.003
皮皮虾	0.022 3	0.091 1	2.278
生蚝	0.006 8	0.027 8	0.695
鱿鱼	0.009 9	0.040 4	1.010
总计平均	0.022 3	0.090 9	2.273

由表 4 可知,10 种水产品总汞的周均单位体重暴露量均未超过 PTWI 的推荐值 $4 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$; 金丝鱼的周均单位体重暴露量和占 PTWI 的比例最高,其次为对虾。总体上茂名市居民的周均单位体重暴露量为 $0.090 9 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW})$,占 PTWI 的 2.273%,周暴露量总体上远远低于 PTWI 的推荐值,占比较低,说明茂名市水产品的食用安全性较高。

2.6 健康风险评估

由表 5 可知,水产品中汞的目标危险系数 (THQ) 均小于 1,总体平均目标危险系数为 0.13。10 种水产品中金丝鱼的目标危险系数最高,其次为对虾、马鲛鱼、秋刀鱼,其他 6 种水产品的目标危险系数均低于 0.1。总体上茂名地区 10 种水产品潜在的健康风险较低,可以安全食用,但金丝鱼的健康风险相对较高,建议少食用。

表 5 水产品中总汞的目标危害系数

Table 5 Target hazard quotient of total mercury in the aquatic products

样品名称	总汞的平均含量 C_a / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	目标危险系数
罗非鱼	0.005 0	0.029
马鲛鱼	0.027 7	0.162
黄花鱼	0.012 3	0.072
鲳鱼	0.005 0	0.029
秋刀鱼	0.027 4	0.160
金丝鱼	0.067 0	0.391
对虾	0.039 2	0.229
皮皮虾	0.022 3	0.130
生蚝	0.006 8	0.040
鱿鱼	0.009 9	0.006
总计平均	0.022 3	0.130

3 结论

广东省茂名市是主要的水产品生产地, 水产品质量与当地居民的健康息息相关, 在调研的基础上, 对茂名市居民经常食用的 10 种水产品进行了总汞含量的测定, 研究表明 39 个样品的总汞含量均未超过国家规定的限量标准, 但金丝鱼样品中的总汞检出率和含量明显高于其他的海产品。从总汞污染程度评估、膳食暴露评估、健康风险评估的结果来看, 茂名地区水产品总汞的污染程度处于安全水平, 潜在的健康风险较低, 可放心食用, 为水产品的监管和安全食用提供了参考。但研究过程中, 测定的样本的种类和数量还不够大, 且仅仅对水产品中的总汞含量进行了分析, 后续研究可以加大样本量, 对于检出率较高的水产品, 进行甲基汞含量的分析和评价。

参考文献

- [1] 乔晴, 何兵兵, 王向军, 等. 超声辅助提取-HPLC-ICP-MS 同时测定水产及其制品中 3 种形态汞的含量[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 65-69.
QIAO Qing, HE Bing-bing, WANG Xiang-jun, et al. Simultaneous determination of the content of the different mercury speciation in aquatic products by liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry coupled with ultrasonic-assisted extraction[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 65-69.
- [2] 孟春英, 张小军, 黄丽英, 等. 浙江沿海水产品无机砷和汞含量调查及膳食风险评估[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 247-253.
MENG Chun-ying, ZHANG Xiao-jun, HUANG Li-ying, et al. The investigation of inorganic arsenic and mercury in aquatic products of Zhejiang province and their dietary risk assessment[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(9): 247-253.
- [3] 刘守钦, 杨柳, 张军, 等. 济南市居民膳食中汞暴露评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(5): 676-679.
LIU Shou-qin, YANG Liu, ZHANG Jun, et al. Dietary mercury exposure assessment among population in Jinan[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2016, 28(5): 676-679.
- [4] 王素燕, 朱凡, 梁小翠. 长沙市 4 种蔬菜中 As 和 Hg 的污染分析与评价[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 166-169.
WANG Su-yan, ZHU Fan, LIANG Xiao-cui. Analysis and evaluation of arsenic and mercury contamination in four kinds of vegetables from Changsha[J]. Food & Machinery, 2013, 29(4): 166-169.
- [5] SYVERSEN T, KAUR P. The toxicology of mercury and its compounds[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2012, 26(4): 215-216.
- [6] 彭湘莲, 付红军. 食品纸塑复合包装材料中汞含量测定条件的优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 63-65.
PENG Xiang-lian, FU Hong-jun. Determination of mercury content in the food paper-plastic composite packaging materials[J]. Food & Machinery, 2015, 31(5): 63-65.
- [7] 梁鹏. 广东省市售水产品中汞含量分布及人体摄入量评估[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 2-3.
LIANG Peng. Mercury in consumer aquatic production and human exposure of mercury via aquatic production consumption in Guangdong province[D]. Chongqing: Southwest University, 2008: 2-3.
- [8] 袁晓博. 大米汞含量及居民汞暴露风险研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 28-30.
YUAN Xiao-bo. Mercury contents in rice and mercury exposure risk for residents[D]. Chongqing: Southwest University, 2011: 28-30.
- [9] DIEKMAN M D, LEUNG C K M, LEONG M K H. Hong Kong male subfertility links to mercury in human hair and fish[J]. Science of the Total Environment, 1998, 214(1/2/3): 165-174.
- [10] 牛小丽, 孙青, 郭梅, 等. 大连市区普通居民的汞暴露风险研究[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(5): 940-949.
LIU Shou-qin, YANG Liu, ZHANG Jun, et al. Mercury exposure for general residents in Dalian urban area[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2014, 9(5): 940-949.
- [11] 王茂波, 刘正毅, 李静, 等. 烟台市海域水产品中重金属和砷污染状况调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(1): 67-70.
WANG Mao-bo, LIU Zheng-yi, LI Jing, et al. Investigation on the contamination of some heavy metals and arsenic in marine products originated from Yantai sea areas[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2012, 24(1): 67-70.
- [12] 王彩霞, 刘宇, 郭蓉, 等. 陕西生鲜肉类中重金属污染状况调查及健康风险评估研究[J]. 现代预防医学, 2018, 45(1): 35-39.
WANG Cai-xia, LIU Yu, GUO Rong, et al. Dietary exposure and health risk assessment of heavy metals in meat, Shanxi[J]. Modern Preventive Medicine, 2018, 45(1): 35-39.
- [13] 李海丽, 王丽, 古雪香, 等. 茂名市主要水产品中无机砷含量分析及其健康风险评估[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 337-340.
LI Hai-li, WANG Li, GU Xue-xiang, et al. Analysis of inorganic arsenic content and health risk assessment in main aquatic products in maoming [J]. The Food Industry, 2020, 41(10): 337-340.
- [14] 宋艳伟, 张梁, 朱秀云, 等. 江苏省 3 种市售贝类重金属污染及食用风险评估[J]. 江苏预防医学, 2017, 28(3): 266-272.
SONG Yan-wei, ZHANG Liang, ZHU Xiu-yun, et al. Heavy metal pollution investigation and food risk assessment of three species of shellfishes in Jiangsu province[J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2017, 28(3): 266-272.