

# 西安市水产品中汞含量分析及其食用风险评价

王昌钊, 张 遵, 李子豪\*

(西安海关技术中心, 西安 710068)

**摘要:** **目的** 了解西安市居民日常消费的水产品中总汞的含量。**方法** 使用原子荧光分光光度计与形态分析装置, 对西安市2019年市售4大类共446个水产品的总汞进行测定。**结果** 西安市市售水产品均含有一定量的汞, 其中鱼类最高值为0.44 mg/kg, 虾类最高值为0.10 mg/kg, 贝类最高值为0.21 mg/kg, 蟹类最高值为0.042 mg/kg, 但含量均未超过0.50 mg/kg的限量值, 均可放心食用。此外海水产品中总汞含量高于淡水产品中总汞的含量, 鱼龄越高, 营养价值越高的水产品, 其总汞含量越高。**结论** 2019年西安市售鱼类产品中汞的含量低于十年前国内其他城市的水平。通过此次调查研究发现, 西安市日常市售水产品中的汞含量未超过国家限量要求, 可以放心食用。

**关键词:** 西安市; 水产品; 汞; 原子荧光光度计; 数据调查

## Analysis of mercury content in aquatic products in Xi'an and its edible risk assessment

WANG Chang-Zhao, ZHANG Lin, LI Zi-Hao\*

(Technology Center of Xi'an Customs District P. R. China, Xi'an 710068, China)

**ABSTRACT: Objective** To understand the content of total mercury in aquatic products consumed by residents in Xi'an. **Methods** The total mercury in 446 aquatic products from 4 categories in Xi'an in 2019 were determined by atomic fluorescence spectrophotometer and morphological analysis device. **Results** The commercial aquatic products in Xi'an city all contained certain trace amount of mercury, among which the maximum value of fish was 0.44 mg/kg, the maximum value of shrimp was 0.10 mg/kg, the maximum value of shellfish was 0.21 mg/kg, and the maximum value of crab was 0.042 mg/kg. However, the content did not exceed the limited value of 0.50 mg/kg, and they were safe to eat. In addition, the total mercury content in offshore aquatic products was higher than that in freshwater products. The aquatic products with higher fish age and nutritional value had higher total mercury content. **Conclusion** Mercury content in fish products sold in Xi'an in 2019 is lower than that in other cities in China ten years ago. This investigation found that the mercury content in daily aquatic products sold in Xi'an does not exceed the national limit requirements, so they could be safely consumed.

**KEY WORDS:** Xi'an; aquatic products; mercury; atomic fluorescence spectrometry; data research

基金项目: 陕西省创新能力支持计划项目(2019PT-22)

Fund: Supported by the Innovation Ability Support Program of Shaanxi Province (2019PT-22)

\*通信作者: 李子豪, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 450570470@qq.com

\*Corresponding author: LI Zi-Hao, Master, Engineer, Technical Center of Xi'an Customs District P.R. China, No.10, Hanguang South Road, Beilin District, Xi'an 710068, China. E-mail: 450570470@qq.com

## 0 引言

随着人民生活水平的提高, 饮食结构持续优化, 人们对蛋白质摄入已经从传统谷物类食品逐渐向肉类食品和水产品转变。作为优质蛋白质的提供食物之一, 水产品近年来需求量大幅增加, 带动了世界水产品交易的发展。

根据美国科学家的多年监测和研究发现, 海洋鱼类肉中含有大量的甲基汞<sup>[1]</sup>。经调查发现我国的黄河、长江、珠江、湘江、松花江等几大水系均有不同程度的汞污染。汞在合适的自然环境条件下, 会发生一系列复杂的化学变化, 在水中汞主要存在于可食用的鱼的肌肉组织中<sup>[2]</sup>, 各种形式的汞可通过微生物作用转化为甲基汞, 从而显著地增加其毒性<sup>[3]</sup>。水产品中汞污染引起国际社会的关注始于 1956 年日本水俣病事件, 该事件导致近万人甲基汞中毒。甲基汞暴露对于人类的风险在于它的生物致畸作用、免疫毒性, 最重要的是它的神经毒性效应。甲基汞具有脂溶性的特点, 易于穿透生物膜, 在生物体中大量积累, 具有很高的稳定性, 并在组织中长期存在难以代谢消除, 其在水生生物中有很高的富集率, 鱼虾等水产品被认为是人类摄入汞的主要来源<sup>[4]</sup>。

因此许多国家和研究机构加强了对水产品中总汞及甲基汞的风险评估和质量安全监控。经查阅资料<sup>[5]</sup>, 将国外水产品中汞含量的限量要求与我国的限量要求进行了对

比, 详见表 1。

食品安全关系人民群众身体健康和生命安全, 经查阅相关文献资料, 目前官方未发布西安市水产品汞含量的数据研究报告, 为更好地指导市民消费, 吃上放心食品, 本研究按照西安市的行政区域划分、水产品的种类及西安市市民的膳食结构和日常的水产品消费水平及购买力等因素, 确定了西安市水产品居民日常消费常见的 446 个不同类别的水产品。这些具有较强代表性、真实性和普遍性的样品, 按照国家标准要求将其可食的部分制备成可检测样品<sup>[6]</sup>, 采用原子荧光光谱法对其进行总汞的测定, 得出西安市鱼类、虾类、贝类及蟹类等水产品中汞含量的普查数据。本研究对西安市本地水产品中汞对居民健康影响进行评价, 为市民放心消费水产品提供指导, 也为监管部门风险防控与监督管理提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要仪器与试剂

#### 1.1.1 主要仪器

AFS-9330 原子荧光光度计、SPA-20 形态分析预处理装置(北京吉天仪器有限公司); MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); ME204E 电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司); FW100 高速万能粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司)。

表 1 国内外限量值对比  
Table 1 Comparison between domestic limited values and foreign limited values

国家及组织	汞/(mg/kg)	甲基汞/(mg/kg)
国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)	/	食肉鱼类, 如: 鲨鱼、旗鱼金枪鱼、梭子鱼等 $\leq 1.0$ 除了食肉鱼类外水产品 $\leq 0.5$
欧盟	鱼产品和鱼肉 $\leq 1.0$ (甲壳类动物及以下鱼除外: 琵琶鱼、鲶鱼、鳕鱼、鳗鱼、鲑鱼、比目鱼、鲱、梭鱼、葡萄牙角鲨、鳕鱼、鳕鱼、鳕鱼、红鱼、旗鱼、剑鞘鱼、鲷鱼、鲭鱼、鲱鱼、箭鱼、金枪鱼)	/
美国	/	$\leq 1.0$
澳大利亚	鱼、甲壳类、软体动物 $\leq 0.5$ (平均值)	/
日本	鱼类和贝类 $\leq 0.4$ (除了金枪鱼、旗鱼、鲶鱼及江河湖泊深海产的鱼、贝类、石斑鱼、金眼鲷、裸盖鱼、日本雪怪蟹、越中蚬贝、鲨鱼等)	$\leq 0.3$
韩国	水产品: 鱼和软体动物(除了深海鱼和金枪鱼); 淡水产品: 鱼类 $\leq 0.5$	/
GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》	/	水产动物及其制品(肉食性鱼类及其制品除外) $\leq 0.5$ ; 肉食性鱼类及其制品 $\leq 1.0$ (水产动物及其制品可先测定总汞, 当总汞水平不超过甲基汞限量值时, 不必测定甲基汞; 否则, 需再测定甲基汞)

注: “/”表示暂无限量要求。

### 1.1.2 试剂

硝酸(优级纯, 苏州晶锐化学股份有限公司); 双氧水(优级纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 汞标准品(GSB04-1729-2004, 1000 g/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试); 甲基汞[GBW08675, (63.6±2.4) μg/kg]、鸡肉标物[GBW10018 GSB-9, (3.6±1.5) μg/kg]、大虾标物[GBW10050 GSB-20, (49±8) μg/kg](中国计量科学研究院)。

### 1.2 样品采集

西安市分为新城区、碑林区、莲湖区、灞桥区、未央区、雁塔区、阎良区、临潼区、长安区、高陵区 10 个区, 还有户县、蓝田县、周至县 3 个县, 共 13 个区县, 见图 1。446 个样品分布在 13 个区县的各大超市和农贸市场共近百家水产店, 样品的种类与数量见表 2。

### 1.3 样品制备

汞易损失且汞各形态间会相互转化, 在样品制备和储存过程中应尽量避免汞的损失。对采集回来的样品按照 GB 2762—2017 的要求, 选其可食用的部分, 即鱼去头、去骨、去鱼鳞及内脏; 大虾去头、去皮; 甲壳类去壳; 蟹类去壳去内脏, 用粉碎机打成浆, 制成不少于 100 g 的检测样品, 密封于保鲜袋或保鲜盒中置于 4 °C 的冰箱冷藏。

### 1.4 标准曲线的绘制

分别配制质量浓度为 0.20、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50 μg/L 的汞标准溶液并依次进样, 以荧光强度进行计算,  $Y$  为荧光强度,  $X$  指汞含量(μg/kg), 得出线性方程为  $Y=1590.00X-59.89$ , 线性相关系数为 0.999, 说明该方法在 0.20~2.50 μg/L 范围内有良好的线性关系, 检出限为 3.00 μg/kg。



图 1 西安市行政区划图

Fig.1 Map of Xi'an administrative region

表 2 样品采集品种数量表

Table 2 List of quantity of sample collection varieties

		品种	数量
鱼类	淡水鱼	鲢鱼、鲤鱼、鲫鱼、草鱼、鲈鱼、桂鱼、黑鱼、黄辣丁、泥鳅、江团、罗非鱼、中华鲟等	294
	海水鱼	老虎斑、石斑鱼、多宝鱼、黄花鱼、鲳鱼、带鱼	46
虾类	淡水虾	活虾、青虾、小龙虾、罗丝虾	17
	海水虾	活虾、皮皮虾、基围虾、大龙虾	27
蟹类	淡水蟹	肉蟹	5
	海水蟹	帝王蟹	1
贝类		花蛤、青蛤、文蛤、蛏子、生蚝、花螺、美食贝	56

### 1.5 方法及判定依据

对采集的样品按照 GBT 5009.17—2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》中的第一法原子荧光光谱法进行检测。当称样量为 0.5 g, 定容体积为 25 mL 时, 方法检出限为 0.003 mg/kg, 方法定量限为 0.010 mg/kg。

### 1.6 样品的检测

称取适量的样品放入聚四氟乙烯消解罐中, 加入双氧水和浓硝酸, 使用微波消解仪进行微波消解。消解完成后, 转移消解液于 25 mL 容量瓶中, 定容摇匀后用原子荧光光谱仪检测。原子荧光光谱仪的主要参数条件见表 3。

表 3 原子荧光光谱仪的主要参数  
Table 3 Main parameters of atomic fluorescence spectrometry

参数名称	参数
汞灯电流	30 mA
原子化器高度	8 mm
负高压	270 V
载气流速	400 mL/min
硼氢化钾质量浓度	10 g/L
载流	5%硝酸溶液
样品溶液酸度	5%硝酸

### 1.7 数据处理

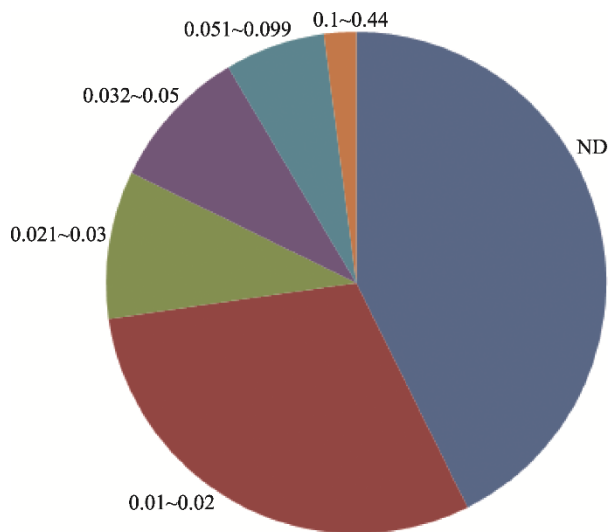
按照 GB 2762—2017 的要求, 水产动物及其制品(肉食性鱼类及其制品除外)甲基汞为 0.5 mg/kg, 肉食性鱼类及其制品甲基汞为 1.0 mg/kg。同时还规定了水产动物及其制品可先测定总汞, 当总汞水平不超过甲基汞限量值时, 不必测定甲基汞; 否则, 需再测定甲基汞。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类可食部分中总汞含量分析及调查

鱼类 340 个样品: 其中 294 批淡水鱼(鲢鱼、鲤鱼、鲫鱼、草鱼、鲈鱼、桂鱼、黑鱼、黄辣丁、泥鳅、江团、罗非鱼、中华鲟等)总汞的检测值均较低, 其中有 123 批未检出, 171 批检出, 检出样品中最高值为 0.44 mg/kg, 小于 0.010 mg/kg 的定量限, 具体情况见图 2。

海水鱼中汞的含量要远远高于淡水鱼, 在 46 批海水鱼中除 1 批老虎斑未检出之外, 其余均有检出, 但均未超过 0.5 mg/kg 限量。其中鲳鱼 15 个样品, 测定平均值为 0.0159 mg/kg; 多宝鱼、石斑共 14 个样品, 测定平均值为 0.0231 mg/kg; 黄花鱼 9 个样品, 测定平均值为 0.0340 mg/kg; 带鱼 7 个样品, 测定平均值为 0.0525 mg/kg; 均未超过 0.5 mg/kg 的限量。



注: ND: 未检出, 单位 mg/kg。

图 2 不同浓度汞含量的淡水鱼分布图

Fig.2 Distribution map of freshwater fish with different concentrations of mercury

### 2.2 虾类可食部分中总汞含量分析及调查

淡水虾 4 类(活虾、青虾、小龙虾、罗丝虾)共 17 个样品, 海水虾 4 类(活虾、皮皮虾、基围虾、大龙虾)共 27 个样品, 检测结果 5 批为未检出, 有 1 批大龙虾为 0.10 mg/kg, 有 1 批皮皮虾为 0.051 mg/kg, 有 1 批活虾为 0.066 mg/kg, 但均未超过 0.5 mg/kg 的限量要求。详见表 4。

表 4 不同种类虾中汞的含量  
Table 4 Mercury content in different shrimp species

品种	数量	含量范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)
活虾(淡水)	5	ND~0.0330	0.0184
青虾	2	ND~0.0230	0.0165
小龙虾	8	0.0540~0.0740	0.0601
罗丝虾	2	ND~0.0200	0.0100
活虾(海水)	21	ND~0.0660	0.0260
皮皮虾	3	0.0120~0.0510	0.0297
基围虾	2	ND	ND
大龙虾	1	0.1000	0.1000

注: ND 表示未检出。

### 2.3 贝类可食部分中总汞含量分析及调查

贝类样品为 7 类(花蛤、青蛤、文蛤、蛏子、生蚝、花螺、美食贝)共 56 个样品, 其汞含量值均未超过 0.5 mg/kg 的限量值。其中有 20 批总汞未检出, 定量限均为 0.01 mg/kg。详见表 5。

表 5 不同类别贝类产品中汞的含量

Table 5 Mercury content in different types of shellfish products

品种	数量	含量范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)
美食贝	4	0.0120~0.0180	0.0143
青蛤	1	0.0470	0.0470
文蛤	1	0.0180	0.0180
蛏子	21	ND~0.2100	0.0131
生蚝	1	ND	ND
花螺	2	ND~0.0290	0.0290
花蛤	26	ND~0.1600	0.0203

姜杰等<sup>[7]</sup>指出,海产贝类、甲壳类往往生活在浅滩浅海水域(深海软体动物除外),是海水中受污染严重、重金属浓度较高的地方,并主要以含大量污染物的沉积物为饵料,在生活史中被动或主动地积累了大量的重金属物质,另外这两类海产品对重金属具有很强的富集能力,所以体内汞含量要远高于鱼类。

#### 2.4 蟹类可食部分中总汞含量分析及调查

淡水蟹类 5 批样品的总汞都比较低,平均值为 0.0258 mg/kg; 有 1 批海水蟹的总汞为 0.0420 mg/kg,均未超出限量值的要求。

#### 2.5 时空比对

将本次西安市水产品中汞含量分析调查分析数据,与不同时段、不同地域文献查阅的同类数据进行时空比对<sup>[8-11]</sup>,详见表 6。

### 3 结论与讨论

通过对西安市 13 个区县 400 多批水产品中汞进行分析调查,可以发现,几乎所有水产品都含有痕量的汞。其中野生鱼类汞含量 > 养殖鱼类汞含量,不同水产品中汞的含量趋势为肉食性鱼类 > 杂食性鱼类 > 草食性鱼类 > 浮游生物,根据 GB 2762—2017 中总汞的要求,对不符合总汞限量要求的品种进行分析,需要进一步用液相色谱法检测甲基汞,如果甲基汞超过限值要求就判定其为不合格样品。对受污染且汞含量超标的样品,进一步分析来源、产地、品种等原因,初步判断超标原因(环境、水域、饲养方式、用药情况)。

养殖环境是水产品中汞的主要来源。在天然水体中存在着 3 种形式的汞:元素汞(HgO)、无机汞(Hg<sup>2+</sup>及其化合物)和有机汞(甲基汞 MeHg 和乙基汞 EtHg)<sup>[19-20]</sup>。不同形态的汞可以通过天然或人为活动进入到水环境中,其中无机汞在水环境中还可以生物转化为甲基汞。水体中汞和甲

基汞易于在小型生物中富集,并在大型食肉型鱼类中生物放大,因此食用水产品是人类摄入汞的主要途径。

表 6 国内鱼类汞含量的时空比较

Table 6 Temporal and spatial comparison of mercury content in domestic fish

序号	时间	地区	品种	汞含量/(g/kg)
1	2006	北京 <sup>[12]</sup>	鲤鱼	4.92
			草鱼	5.91
2	1993	上海 <sup>[13]</sup>	鲫鱼	0.40
3	2006	武汉 <sup>[14]</sup>	鲫鱼	29, 145, 195
4	1998	香港 <sup>[15]</sup>	鱼类	6~307
			鲫鱼	71, 128
5	2009	青岛 <sup>[16]</sup>	鲢鱼	68, 105
			鲤鱼	84, 96
			草鱼	54, 106
6	2008	贵州 <sup>[17]</sup>	白鲢、花鲢	21, 47
			草鱼	14
			鲫鱼	23
			鲤鱼	23
			鲢鱼	19
7	2007	成都 <sup>[18]</sup>	鲫鱼	16.8~257.8
			鲤鱼	23.1~36.3
			草鱼	0~29.1
			鲢鱼	97.2
			鲫鱼	11.7~72.7
8	2009	成都 <sup>[18]</sup>	鲤鱼	7.19~20.3
			草鱼	4.21~13.5
			鲢鱼	80.6
			白鲢、花鲢	10~82 (34.2/14 批)
			草鱼	10~57 (13.1/50 批)
9	2019	西安	鲫鱼	10~220 (15.5/36 批)
			鲤鱼	10~51 (14.3/24 批)
			桂鱼	10~35 (23.9/8 批)
			鲈鱼	10~99 (38.5/49 批)
			鳊鱼、泥鳅	10~180 (61.1/8 批)
			江团	10~23 (11/19 批)
			中华鲟	10~36 (18.9/10 批)

注:年代均以文章发表的年代为准。

本次调查结果显示,西安地区部分市售的水产品大部分总汞含量均低于 GB 2762—2017 的要求,居民可以放心食用。在以往的研究报道中,鱼的营养级越高、鱼龄越大,汞在鱼肌肉组织中的百分含量也越高,调查部分海产品如花蛤、螃蟹、皮皮虾等产品汞含量也相对较高,而鲢鱼、鲤鱼、鲫鱼、草鱼、鲈鱼、桂鱼、黑鱼等淡水鱼汞含量较低。

本研究中,2019 年西安市 446 批次的水产品均未超标。

通过跨时空、跨地域的比对发现 2019 年鱼类产品中汞的含量低于十年前国内其他城市的水平。虽然本次研究被检的水产品汞含量均不超标, 但仍建议有关部门继续加强对水产养殖有关企业的监管和检查力度, 从源头上减少环境中汞的污染; 食品卫生部门应增加常见水产品中汞的检测频度和品种, 密切关注海产品中汞的含量, 同时扩大重金属检测种类, 建立食品污染物监测与预警系统, 对食品安全态势进行动态分析, 采取跟踪监测和控制措施十分必要。

## 参考文献

- [1] 毕士川, 于慧娟, 蔡友琼, 等. 重金属 Pb 在不同水产品中的含量及污染状况评价[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(1): 73-75.  
BI SC, YU HJ, CAI YQ, *et al.* Contents and pollution of Pb in various fisheries [J]. Environ Sci Technol, 2007, 30(1): 73-75.
- [2] JIANG JJ, JIA Q, LIANG LL, *et al.* Review of risk assessment of methylmercury intake from fish and shellfish [J]. J Agric Sci Technol, 2018, 19(1): 64-70.
- [3] 陈岩, 王富华, 王旭, 等. 水产品中汞的形态分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 368-372.  
CHEN Y, WANG FH, WANG X, *et al.* Research progress in the determination of mercury speciation in aquatic products [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(3): 368-372.
- [4] XIANG Y, LIU G, YIN Y, *et al.* Periphyton as an important source of methylmercury in everglades water and food web [J]. J Hazard Mater, 2020, 410(1): 124551.
- [5] 叶海澗, 吴永宁. 鱼及加工产品中重金属指标的比较[J]. 中国食品卫生杂志, 2009, 12(3): 273-276.  
YE HM, WU YN. Comparison of lead arsenic cadmium and mercury contamination on fish and fish products [J]. Chin J Food Hyg, 2009, 12(3): 273-276.
- [6] 冯睿, 佟岩, 金婉芳, 等. 液相色谱-电感耦合等离子体质谱法测定水产品中的 4 种形态汞[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 137-143.  
FENG R, TONG Y, JIN WF, *et al.* Determination of 4 forms of mercury in aquatic products by liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(1): 137-143.
- [7] 姜杰, 张慧敏, 林凯, 等. 深圳市水产品中铅镉汞含量及污染状况评价[J]. 卫生研究, 2011, 40(4): 527-528.  
JIANG J, ZHANG HM, LIN K, *et al.* Contents and pollution of Pb, Cd, Hg in fisheries of Shenzhen city [J]. J Hyg Res, 2011, 40(4): 527-528.
- [8] 王茂波, 张建军, 刘海韵, 等. 烟台市部分海域常见水产品中甲基汞含量调查[J]. 预防医学论坛, 2011, 17(12): 1103-1104.  
WANG MB, ZHANG JJ, LIU HY, *et al.* Investigation on methylmercury content of marine products from some sea areas in Yantai city [J]. Prev Med Tribune, 2011, 17(12): 1103-1104.
- [9] 范丽丽, 傅春玲, 丁薇薇. 苏州地产水生蔬菜和太湖水产品总汞含量分析[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 273-275.  
FAN LL, FU CL, DING WW. Analysis of mercury content of vegetables from some sea areas in Suzhou and aquatic products from Taihu [J]. Food Sci, 2012, 33(12): 273-275.
- [10] Global mercury assessment report, UNEP(DTIE)/GMA/WG. 1/8 [Z].
- [11] 樊伟, 王晶, 陈理. 绍兴地区水产品中铅、镉和总汞含量监测结果分析与评价卫生研究[J]. 卫生研究, 2016, 45(1): 121-127.  
FAN W, WANG J, CHEN L. Analysis and evaluation of health research on monitoring results of Pb, Cd and Hg content of aquatic products from

Shaoxing [J]. J Hyg Res, 2016, 45(1): 121-127.

- [12] 孙瑾, 陈春英, 李柏, 等. 北京市场 4 种食用淡水鱼的总汞和甲基汞的含量分析[J]. 卫生研究, 2006, 35(6): 722-725.  
SUN J, CHEN CY, LI B, *et al.* Analysis of total mercury and methylmercury concentrations in four commercially important freshwater fish species obtained from Beijing markets [J]. J Hyg Res, 2006, 35(6): 722-725.
- [13] 夏玉宇. 食品卫生质量检验与监督[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1993.  
XIA YY. Inspection and inspection of food hygiene quality [M]. Beijing: Beijing University of Technology Press, 1993.
- [14] 苏秋克, 祁士华, 蒋敬业, 等. 武汉城市湖泊汞的环境地球化学评价[J]. 地球化学, 2006, 35(3): 265-270.  
SU QK, QI SH, JIANG JY, *et al.* Environmental geochemistry assessment of mercury from lakes in Wuhan city, Hubei province, China [J]. Geochim, 2006, 35(3): 265-270.
- [15] DICKMAN MD, LEUNG KMC. Mercury and organochlorine exposure from fish consumption in Hong Kong [J]. Chemosphere, 1998, 37(5): 991-1015.
- [16] 张磊. 青岛市水产品汞污染初步研究[J]. 中国农业通报, 2009, 25(3): 293-296.  
ZHANG L. A study on mercury contamination in fish from Qingdao city [J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(3): 293-296.
- [17] 闰海鱼, 冯新斌, 刘霆, 等. 贵州百花湖水体汞污染现状[J]. 生态学杂志, 2008, 27(8): 1357-1360.  
RUN HY, FENG XB, LIU T, *et al.* Present situation of fish mercury pollution in heavily mercury-contaminated Baihua reservoir in Guizhou [J]. Chin J Ecol, 2008, 27(8): 1357-1360.
- [18] 施泽明, 邵丽娟, 倪师军, 等. 成都市城郊水产品中汞的安全性研究[J]. 地球与环境, 2009, 37(4): 419-425.  
SHI ZM, SHAO LJ, NI SJ, *et al.* Study on mercury security in aquatic products on the outskirts of Chengdu [J]. Earth Environ, 2009, 37(4): 419-425.
- [19] LI C, XU Z, LUO K, *et al.* Biomagnification and trophic transfer of total mercury and methylmercury in a sub-tropical montane forest food web, southwest China [J]. Chemosphere, 2021, (6): 130371.
- [20] ZHANG Z, CHEN L, CHENG M, *et al.* Biotransport of mercury and human methylmercury exposure through crabs in China-A life cycle-based analysis [J]. J Hazard Mater, 2021, 415(1): 125684.

(责任编辑: 张晓寒 郑丽)

## 作者简介



王昌钊, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: lzhmarshall@126.com



李子豪, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 450570470@qq.com