

佛山市禅城区食用鱼中重金属含量现状调查与健康风险评价

欧阳静茹*, 邵昭明, 戚慕怡, 邓冬云, 贺昆路, 曾庆坚, 曹嘉慧

(广东省佛山市禅城区疾病预防控制中心, 佛山 528031)

摘要: **目的** 测定佛山市禅城区食用鱼中重金属含量, 分析平均含量特征, 进行健康风险评价。**方法** 采用直接测汞仪测定食用鱼中 Hg 含量; 使用微波消解法对样品进行前处理, 用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定食用鱼中的 As、Cd、Cr 和 Pb 等 14 种重金属和元素含量; 用高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱联用法(high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry, HPLC-ICP-MS)测无机砷含量; 采用营养质量指数法对不同鱼类进行营养价值评价; 根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》采用目标危险系数法对不同鱼类进行单一及复合重金属摄入健康风险评价。**结果** 禅城区常见食用鱼中有害重金属 As 和 Hg 检出率高, 均为 99.4%; As、Cd、Cr、Hg 和 Pb 平均含量分别为 1.312、0.048、0.010、0.030、0.015 mg/kg; 无机砷平均含量 0.003 mg/kg; 鱼肉中 Se、K 和 Mg 的成人营养质量指数(index of nutrition quality, INQ)基本上均大于 1; 成人因食用鱼而摄入重金属的单一健康风险指数和复合健康风险指数均小于 1。**结论** 禅城区食用鱼肌肉中 5 种有害重金属 As、Cd、Cr、Hg 和 Pb 平均含量均低于标准限值, 符合国家食品安全标准; 鱼肉中 Se、K 和 Mg 等元素营养价值丰富; 人群因食用鱼摄入有害重金属的健康风险不明显, 安全性较好。

关键词: 食用鱼; 重金属; 健康风险

Investigation and health risk assessment of heavy metals in edible fish in Chancheng district, Foshan city

OUYANG Jing-Ru*, SHAO Zhao-Ming, QI Mu-Yi, DENG Dong-Yun, HE Kun-Lu,
ZENG Qing-Jian, CAO Jia-Hui

(Chancheng District Center for Disease Control and Prevention, Foshan 528031, China)

ABSTRACT: Objective To determine the content of heavy metals in edible fish in Chancheng district of Foshan city, analyze the average content characteristics, and evaluate the health risk. **Methods** The content of Hg in edible fish was determined by direct mercury meter. The sample was pretreated by microwave digestion, the contents of 14 kinds of heavy metals and elements such as As, Cd, Cr and Pb in edible fish were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The content of inorganic arsenic was measured by high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS). The nutritional values of different

基金项目: 佛山市卫生和计生局医学科研课题项目(20190165)

Fund: Supported by the Medical Research Project Foundation of Foshan Health and Family Planning Bureau (20190165)

***通信作者:** 欧阳静茹, 主管技师, 主要研究方向为食品检验、理化检验。E-mail: jingru211@163.com

***Corresponding author:** OUYANG Jing-Ru, Chief Technician, Center of Chancheng District, Foshan for Disease Control and Prevention, No.70, Guxin Road, Chancheng District, Foshan 528031, China. E-mail: jingru211@163.com

kinds of fish were evaluated by nutrient quality index. According to GB 2762—2017 *National food safety standards-Limits of contaminants in foods*, the health risks of single and compound heavy metals intake of different kinds of fish were evaluated by the target risk coefficient method. **Results** The detection rates of harmful heavy metals of As and Hg in common food fish were high in Chancheng district, which were both 99.4%. The average contents of As, Cd, Cr, Hg and Pb were 1.312, 0.048, 0.010, 0.030, and 0.015 mg/kg respectively. The average inorganic arsenic content was 0.003 mg/kg. The adult nutrition quality index (index of nutrition quality, INQ) of Se, K and Mg in fish meat were basically all greater than 1. The single health risk index and the compound health risk index of heavy metals ingested by adults due to fish consumption were both less than 1. **Conclusion** The average contents of 5 harmful heavy metals of As, Cd, Cr, Hg and Pb in the muscle of edible fish in Chancheng district are all lower than the standard limits, which meet the national food safety standards. The nutritional values of Se, K and Mg in fish meat are rich. The health risks of eating fish ingesting harmful heavy metals are not obvious, and the safety is good.

KEY WORDS: edible fish; heavy metals; health risks

0 前言

禅城区作为佛山市中心城区,水源为西江和北江,其中北江上游韶关冶炼厂、大宝山矿区重金属污染造成北江上游水污染严重,加上禅城区本身的陶瓷工业污染史共同造成鱼类生存水体和底质的污染。2011 年《佛山市某城区饮用水重金属健康危害风险初步评估》中指出佛山市某城区饮用水中铬(六价)、镉、砷存在一定的健康风险^[1];2012 年邵昭明等^[2]对禅城区蔬菜重金属污染现状调查发现铅和铬超标严重,对人体健康造成风险主要来自铬。根据佛山水产行情分析,禅城区市场销售量比较大的鱼类品种有草鱼、罗非鱼、鲫鱼、鲤鱼、黄花鱼等,这些鱼种在我国均发现重金属污染:舟山市海水鱼类铅、镉超标^[3];辽西地区鲤鱼和黄花鱼中镉、铅均超出国家限量标准^[4];北京农贸市场重金属污染最严重的是草鱼,其次是鲤鱼和鲫鱼,铬污染最严重的是鲫鱼,锰和锌污染最严重的是鲤鱼^[5]。

过去对珠江三角洲地区市场的食用鱼及贝类体内重金属含量的测定发现普遍存在污染现象^[6-11],鉴于此本研究通过测定了解禅城区食用鱼中重金属和元素含量状况和营养价值,系统计算营养价值指数和摄入重金属的目标危险系数,科学评价食用风险,从而引导当地居民合理选用鱼类产品,对保障居民身体健康具有重要现实意义。

1 材料和方法

1.1 样品采集与制备

2019 年 9 月选择佛山市禅城区所辖 4 个镇街内具有代表性且人流量大的超市、农贸市场和餐饮饭店随机购买生鲜鱼类产品,尽量覆盖禅城区常见食用鱼种类,海水鱼类(7 种 84 份)、淡水鱼类(7 种 84 份)共计 14 种 168 份。取

肌肉组织匀浆后装入塑料封口袋中, -20 °C 保存。

采用 10% 平行样测定,采用大虾生物成分分析标准物质进行质量控制。

1.2 仪器与试剂

MAS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); DMA80 直接测汞仪(意大利 Milestone 公司); 7800 电感耦合等离子体质谱联用仪、1260-7800 高效液相-电感耦合等离子体质谱联用仪(美国安捷伦公司); BT125D 万分之一电子天平(德国赛多利斯公司)。

65%硝酸(分析纯,美国默克公司);过氧化氢(优级纯,广州化学试剂厂); Hg 标准溶液、As、Ca、Cd、Cr、Cu、Fe、K、Mn、Mg、Na、Pb、Se、Zn 金属混标溶液(10 µg/mL, 美国安捷伦公司); 亚砷酸根、砷酸根(GBW08666, 1.011 µmol/g; GBW08667, 0.233 µmol/g, 中国计量科学研究院); 标准参考物质: 大虾生物成分分析标准物质(GBW10050(GSB-28), 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所)。

1.3 方法

1.3.1 直接测汞仪测 Hg

称取 0.2000 g 试样直接上机测定。仪器条件: 干燥温度 200 °C、时间 60 s; 分解温度 650 °C、时间 120 s, 等待时间 45 s; 齐化加热时间 12 s; 记录时间 30 s; 载气流量: 200 mL/min。

1.3.2 微波消解-电感耦合等离子体质谱联用仪(ICP-MS)测定 As、Ca、Cd、Cr、Cu、Fe、K、Mn、Mg、Na、Pb、Se、Zn

样品前处理: 称取 1 g 试样于聚四氟乙烯消解罐中, 加入 6 mL 硝酸, 冷消化 1~2 h, 加入 1 mL 过氧化氢, 按表 1 微波消解程序进行消解, 消解完全后, 用超纯水将消化液定容至 25 mL, 混匀备用, 同时做空白实验。

表 1 微波消解程序
Table 1 Microwave digestion procedures

步骤	控制温度/℃	升温时间/min	恒温时间/min
1	120	10	10
2	160	8	10
3	190	6	25

电感耦合等离子体-质谱联用仪条件: RF 功率 1550 W, 检测电压 1065 V,冷却气 15 L/min,辅助气 0.8 L/min, 雾化气 1.0 L/min, 雾化室温度 2 ℃, 泵速 0.3 rps。

1.3.3 砷形态分析高效液相色谱条件

色谱柱: PRP-X100(4 mm×250 mm, 10 μm); 流动相: A 5 mmol/L 碳酸铵, B 100 mmol/L 碳酸铵, 梯度洗脱: 0 ~ 3 min 100%A, 3 ~ 8.5 min 100%B, 8.5 ~ 12 min 100%A; 流速: 1.0 mL/min; 进样体积: 10 μL。

1.4 数据处理

原始数据采用 MS Office 和 SPSS 21.0 软件进行整理分析。采用独立样本 *T* 检验和单因素方差分析(One-Way ANOVA), 并用 LSD 最小显著差异法进行两两之间多重比较分析, 显著水平 *P* < 0.05 表示差异性显著。

1.5 营养价值评价

采用营养质量指数法(index of nutrition quality, INQ)^[12]。

INQ=营养素密度/热能密度, 式中, 营养素密度=100 g 食物中某营养素含量/该营养素推荐摄入量; 热能密度

=100 g 食物的热能/所需能量。

评价标准:当 INQ≥1 时, 表明该食物的营养质量较高; INQ<1 时, 食物的营养质量低。

鱼的热能参照 2019 年中国食物成分表见表 2^[13]。

各营养素每日参考摄入量参考 2018 版《中国居民膳食营养素参考摄入量》^[14-15], 其中能量、常量和微量元素以男女推荐量的均值计算, 各营养素参考摄入量见表 3。

1.6 安全性评价方法

本研究采用美国环保署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)提出的目标危险系数法(target hazard quotient, THQ)评价鱼肉的食用安全性^[16], 当(*Q*_{t, h}) ≤1, 表明污染物对暴露人群没有明显健康风险; 但当(*Q*_{t, h}) ≥1 时, 存在健康风险, (*Q*_{t, h})值越大表示该污染物对人体健康风险越大^[6]。

单一重金属风险的 *Q*_{t, h} 计算公式为:

$$Q_{t,h} = \frac{E_F \cdot E_D \cdot F_{IR} \cdot C}{R_{FD} \cdot W_{AB} \cdot T_A} \times 10^{-3}$$

多种重金属复合风险 *Q*_{t, h} 计算公式为:

$$Q_{t,t,h} = \sum Q_{t,h}$$

式中: *E_F* 为暴露频率, 365 d/a; *E_D* 为暴露时间, a(儿童: 6 年; 成人: 70 年); *F_{IR}* 为食物摄入率, g/d: 儿童鱼肉平均日摄入量, 52.5 g/d, 成人鱼肉平均日摄入量, 55.8 g/d; *C* 为鱼体中重金属的质量浓度, mg/kg; *R_{FD}* 为参考剂量, mg/(kg·d); *W_{AB}* 为平均体重, kg(儿童平均体重 30 kg, 成人平均体重 60 kg); *T_A* 为非致癌性平均暴露时间, 365 d/年×*E_D*。

表 2 食用鱼的热能密度值
Table 2 Heat energy density value of food fish

	草鱼	罗非鱼	鲫鱼	黄骨鱼	鲤鱼	鲈鱼	生鱼	六齿金线鱼	鲷鱼	黄花鱼	秋刀鱼	三文鱼	石斑鱼	带鱼
可食部分/g	58	55	54	52	54	58	57	40	70	66	76	72	57	76
能量/kcal	112	98	108	124	109	100	85	100	142	96	127	143	85	127
100 g 食物热能/(kcal/100 g)	193	178	200	238	202	172	149	250	203	145	167	199	149	167

表 3 成人营养素推荐摄入量
Table 3 Recommended nutrient intake for adults

	宏量元素		常量元素			微量元素		
	能量/(kcal/d)		Ca/(mg/d)	Mg/(mg/d)	Fe/(mg/d)	Zn/(mg/d)	Se/(ug/d)	Cu/(mg/d)
成人推荐摄入量	2358		800	330	16	10	60	0.8

2 结果与分析

2.1 质控结果

按照标准配制各重金属元素的标准系列, 根据各仪器的参考条件进行测定, 各元素的标准曲线均具有良好的线性相关性, 相关系数 $r \geq 0.999$, 采样过程的过程空白及试剂空白中目标元素的含量均远低于方法检出限和仪器检出限。对大虾成分分析标准物质(GBW10050(GSB-28))进行方法验证, 结果均在标准值范围内, 见表 4; 对样品进行 5 次平行测定, 标准偏差小于 9%, 表明样品检测数据的准确

度、精密度和回收率均满足要求, 检测结果是真实可靠的。

2.2 禅城区市售食用鱼中有害重金属含量情况

分别对鱼肉中 5 种有害重金属含量平行测定 5 次, 取平均值, 结果见表 5。5 种有害重金属在鱼体中的含量差异较大, 禅城区食用鱼肌肉组织中 As、Cr、Cd、Hg 和 Pb 均有检出, 平均含量分别为 1.312、0.048、0.010、0.030、0.015 mg/kg, As 和 Hg 检出率均为 99.4%, 无机砷检出率仅为 4.2%。根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》, 禅城区食用鱼肌肉中 5 种有害重金属平均含量均低于标准限值, 符合国家食品安全标准。

表 4 大虾成分分析标准参考物质(GBW 10050(GSB-28))元素分析的质控数据(n=3)
Table 4 Quality control data for elemental analysis of standard reference material for prawn composition analysis (GBW 10050 (GSB-28))(n=3)

元素	实际测定值/(mg/kg)			平均值/(mg/kg)	标准值/(mg/kg)
	平行 1	平行 2	平行 3		
As	2.49	2.52	2.55	2.52	2.5
Ca	2973	3008	2950	2977	3000±100
Cd	0.041	0.039	0.040	0.040	0.039±0.002
Cr	0.353	0.345	0.336	0.345	0.35±0.11
Cu	10.01	10.82	9.74	10.19	10.3±0.7
Fe	115	110	114	113	112±12
Hg	0.051	0.051	0.051	0.051	0.049±0.008
K	4869	4952	4918	4913	4900±100
Mn	8.91	8.92	8.81	8.88	8.9±0.3
Mg	1710	1673	1660	1681	1690±60
Na	3071	3162	3015	3083	3100±200
Pb	0.204	0.208	0.207	0.206	0.20±0.05
Se	5.18	5.09	5.02	5.10	5.1
Zn	76.1	76.8	76.1	76.3	76±4

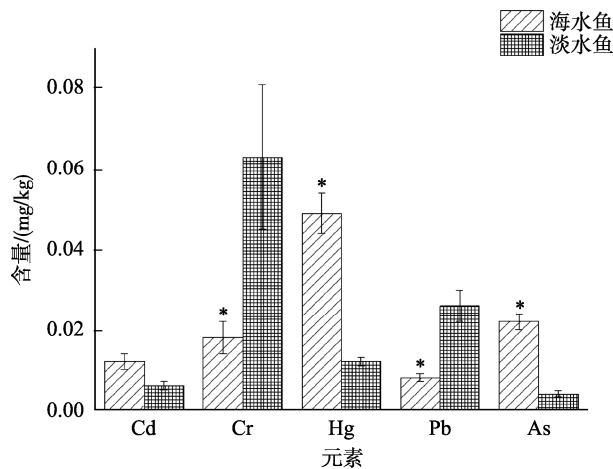
表 5 禅城区市售食用鱼中 5 种有害重金属含量、检出率和超标率(n=5)
Table 5 Contents, detection rates and over-standard rates of 5 harmful heavy metals in edible fish sold in Chancheng district (n=5)

元素	含量范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%	参考限量/(mg/kg)	检出限/(mg/kg)
As	nd~9.643	1.312	99.4	-	-	0.002
无机砷	nd~0.004	0.003	4.2	0	0.1	0.002
Cr	nd~0.579	0.048	35.7	0	2.0	0.002
Cd	nd~0.057	0.010	24.4	0	0.1	0.002
Hg	nd~0.307	0.030	99.4	0	0.5	0.002
Pb	nd~0.133	0.015	72.6	0	0.5	0.002

注: nd 表示未检出, 以下同。

2.3 海、淡水鱼中 5 种有害重金属含量比较

按照生长环境将食用鱼分为海水鱼和淡水鱼, 对鱼肌肉中 Cd、Cr、Hg、Pb 和 As 的平均含量特征进行分析, 见图 1, 经过独立样本 *T* 检验, 除 Cd 外, Cr、Hg、Pb 和 As 在海水鱼和淡水鱼之间均存在显著差异, $P<0.05$ 。海水鱼中 As 和 Hg 平均含量明显高于淡水鱼, 分别是 2.222、0.049 mg/kg; 淡水鱼中 Cr 和 Pb 平均含量高于海水鱼, 分别为 0.063、0.026 mg/kg。原因可能是本地区销售的海水鱼主要来自于近海人工养殖或捕捞, 由于近岸海底沉积物和水体受大量工农业废水和生活污水排入、船舶排污及碰撞漏油、海上石油开采溢油等影响, 在海水鱼体内产生明显的有机污染和重金属富集效应, 且海水鱼大多属于肉食性鱼, 处于食物链中最高营养级, As 和 Hg 的生物富集效应明显高于淡水鱼; 此外有些工业企业排放含 Pb 和 Cr 废水可能造成周边水域环境中重金属的污染, 进而通过食物链的作用在淡水鱼体中富集积累, 还可能与受到一定工厂大气沉降污染物 Pb 和 Cr 的影响有关^[17]。



注: *表示元素含量均值相比差异显著($P<0.05$), As 浓度单位 $\times 10^2$ 。

图 1 海水鱼和淡水鱼中 5 种重金属含量均值比较($n=5$)

Fig.1 Comparison of the average content of 5 heavy metals in marine fish and freshwater fish ($n=5$)

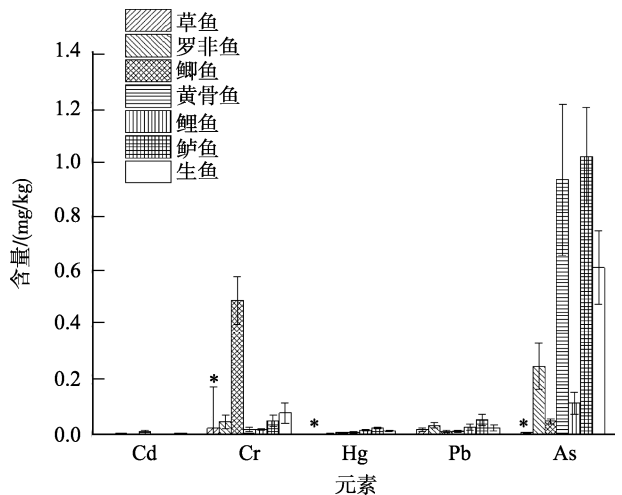
2.4 7 种淡水鱼中重金属含量比较

7 种淡水鱼中重金属含量均值经过单因素方差分析(one-way ANOVA)比较, Cr、Hg 和 As 的差异显著具有统计学意义($P<0.05$)。Cr 含量均值最高的鲫鱼为 0.491 mg/kg, 最低的黄骨鱼和鲤鱼均为 0.020 mg/kg, Hg 和 As 含量均值最高的鲈鱼分别为 0.026、1.020 mg/kg, 最低的草鱼分别为 0.002、0.008 mg/kg, 见图 2。

2.5 7 种海水鱼中重金属含量比较

7 种海水鱼中重金属含量均值经过单因素方差分析(one-way ANOVA)比较, Hg 和 As 的差异显著具有统计学意义($P<0.05$)。Hg 和 As 含量均值最高的六齿金线鱼分别为

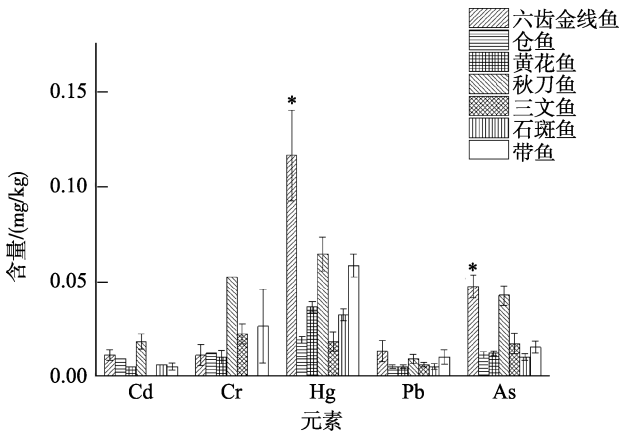
0.116、4.682 mg/kg, Hg 含量均值最低的三文鱼 0.018 mg/kg, As 含量均值最低的为石斑鱼 0.977 mg/kg, 见图 3。



注: *表示元素含量均值相比差异显著($P<0.05$)。

图 2 7 种淡水鱼有害重金属含量均值比较($n=5$)

Fig.2 Comparison of the average content of harmful heavy metals in 7 kinds of freshwater fish ($n=5$)



注: *表示元素含量均值相比差异显著($P<0.05$), As 浓度单位 $\times 10^2$ 。

图 3 7 种海水鱼有害重金属含量均值比较($n=5$)

Fig.3 Comparison of the average content of harmful heavy metals in 7 kinds of marine fish ($n=5$)

2.6 营养价值评价

对 14 种市售鱼中元素含量均值分别计算成人营养质量指数(index of nutrition quality, INQ), 结果见表 6。14 种市售鱼均富含 Se、K、Mg 元素。Se 对人体至关重要, 是身体必需的一种微量元素, 以含 Se 氨基酸掺入谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)等蛋白肽链的一级结构, 参与机体的抗氧化, Se 缺乏是克山病发病的重要危险因素, 缺 Se 会导致人体免疫力下降, 使肿瘤、心血管疾病和肝病等的发病率增高。因为人体自身不能合成 Se, 所以人体内的 Se 几乎全部来源于膳食, 多吃鱼可以补充

Se、Mg 和 K 是人体必需常量元素, Mg 是多种酶的激活剂, 具有调节细胞 K、Na 分布, 维持骨骼生长和神经肌肉兴奋性等功能; K 参与糖、蛋白质的代谢, 维持正常渗透压和酸碱平衡, 神经肌肉的兴奋等, K 缺乏可引起神经肌肉、心血管、中枢神经发生功能性或病理性改变^[18]。

除此之外, 鲢鱼和黄花鱼 Na 营养价值丰富; 草鱼、鲫鱼、鲤鱼、六齿金线鱼、黄花鱼富含 Ca; 秋刀鱼 Fe、Ca、Cu、Zn、Cr 营养价值丰富; 鲫鱼、鲤鱼富含 Zn; 草鱼、罗非鱼、鲫鱼、鲈鱼、生鱼、带鱼富含 Cr。

2.7 健康风险评价

计算本地区成人通过食用鱼类摄入的重金属含量均值 THQ 值和 TTHQ 值, 结果见表 7。禅城区市售食用鱼中 5 种重金属元素除六齿金线鱼和秋刀鱼外, 成人单一健康风险指数均小于 1, 单一重金属对人体健康风险不明显, 复合健康风险指数也小于 1。六齿金线鱼和秋刀鱼的健康风险均来自于 As, 对 As 的有害形态无机砷进一步测定, 含量均值为 0.003 mg/kg 临近检出限 0.002 mg/kg, 说明鱼中砷绝大部分是以有机砷的形式存在, 而砷的有机化合物毒性一般比无机砷要小得多, 如砷甜菜碱几乎没有毒性, 基本不会对人

体健康造成危害^[19-21]。排除 As 的摄入风险, 禅城区市售食用鱼中重金属摄入对人群健康风险不明显, 安全性较好。

由于本研究的目的是重金属的摄入风险, 研究对象选择的是鱼类可食入部分肌肉组织作为监测对象, 但有些重金属污染的蓄积部位不在肌肉, 例如铅污染主要蓄积在脑组织、骨骼和血液中, 此外部分消费者有吃鱼内脏(如鱼卵和鱼鳃等)的偏好, 所以增加靶器官或组织的调查研究可以更全面地了解鱼中重金属分布。

2.8 本研究食用鱼中重金属含量与文献值比较

将本研究中所测食用鱼肌肉中重金属含量与其他文献中所报道的市售鱼肌肉中重金属含量进行比较, 见表 8。本研究中食用鱼肌肉中 Pb、Cu 和 Cr 含量低于其他 4 个地区; As 高于其他 4 个地区; Cd 的含量低于安徽蚌湖和北京农贸市场, 高于钱塘江食用鱼的 Cd 含量; Zn 含量低于钱塘江和安徽蚌湖, 和广州市场的 Zn 含量相近, 高于北京农贸市场; Hg 含量和钱塘江相近, 低于安徽蚌湖的 Hg 含量。随着本地市场监管力度的提高, 对鱼体来源进行调查, 严格市场准入制度, 出售符合食品安全标准的鱼类食品, 提供消费者健康的保障。

表 6 禅城区市售鱼营养价值评价
Table 6 Evaluation of nutritional value of commercial fish in Chancheng district

种类	成人 INQ 值								
	Na	Mg	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Se	Cr
草鱼	0.267	1.275	2.637	1.128	0.253	0.166	0.610	5.610	1.016
罗非鱼	0.351	1.344	3.001	0.207	0.220	0.104	0.651	6.447	2.061
鲫鱼	0.314	1.255	2.481	1.029	0.423	0.365	1.325	4.275	19.255
黄骨鱼	0.324	0.954	2.102	0.420	0.190	0.220	0.638	4.059	0.660
鲤鱼	0.240	1.089	2.515	1.029	0.539	0.653	1.223	10.678	0.775
鲈鱼	0.336	1.395	2.677	0.731	0.173	0.401	0.947	6.872	2.329
生鱼	0.371	1.664	3.608	0.877	0.322	0.218	0.980	6.296	4.180
六齿金线鱼	0.706	1.035	2.022	1.199	0.250	0.296	0.383	7.453	0.346
鲢鱼	1.805	1.075	2.256	0.488	0.228	0.414	0.717	6.182	0.465
黄花鱼	1.826	1.505	2.914	1.230	0.163	0.220	0.943	10.968	0.538
秋刀鱼	0.763	1.353	2.553	1.037	1.493	3.181	1.272	12.066	2.441
三文鱼	0.448	1.116	2.648	0.421	0.179	0.479	0.573	5.314	0.863
石斑鱼	0.622	1.544	3.844	0.792	0.161	0.234	0.913	8.968	/
带鱼	1.073	1.481	2.485	0.467	0.182	0.150	0.614	9.296	1.221

表 7 不同鱼类单一及复合重金属摄入的健康风险
Table 7 Health risks of single and compound heavy metal intake of different kinds of fish

	成人 THQ 值					
	Cd	Cr	Hg	Pb	As	TTHQ
草鱼	nd	0.012	0.001	0.009	0.004	0.026
罗非鱼	0.002	0.022	0.002	0.016	0.118	0.161
鲫鱼	nd	0.234	0.004	0.006	0.023	0.267
黄骨鱼	0.005	0.010	0.004	0.006	0.444	0.469
鲤鱼	nd	0.010	0.008	0.013	0.054	0.085
鲈鱼	0.001	0.024	0.012	0.026	0.486	0.550
生鱼	0.003	0.038	0.007	0.011	0.291	0.349
六齿金线鱼	0.005	0.005	0.055	0.006	2.232	2.304
仓鱼	0.004	0.006	0.009	0.002	0.536	0.557
黄花鱼	0.002	0.005	0.017	0.002	0.592	0.619
秋刀鱼	0.009	0.025	0.031	0.004	2.001	2.069
三文鱼	nd	0.010	0.009	0.003	0.799	0.821
石斑鱼	0.003	nd	0.015	0.002	0.466	0.486
带鱼	0.002	0.012	0.028	0.005	0.722	0.769

表 8 本研究食用鱼中重金属含量与文献值比较(mg/kg)
Table 8 Comparison of heavy metal content in edible fish in this study with literature values (mg/kg)

	Pb	Cd	Cu	Cr	Zn	Hg	As
本研究	0.015	0.010	0.317	0.048	6.518	0.030	1.320
钱塘江 2017 ^[21]	0.028	0.005	1.450	/	7.350	0.027	0.030
安徽蚌湖 2014 ^[22]	0.098	0.045	1.133	0.470	10.365	0.106	0.029
北京农贸市场 2011 ^[5]	0.634	0.543	1.392	0.510	5.490	/	0.640
广州市场 2007 ^[11]	0.161	/	0.821	2.110	6.370	/	/

3 结 论

禅城区食用鱼肌肉中 5 种有害重金属 As、Cd、Cr、Hg 和 Pb 的平均含量均低于标准限值, 符合国家食品安全标准; 鱼肉中 Se、K 和 Mg 等元素营养价值丰富; 人群因食用鱼摄入有害重金属的健康风险不明显, 安全性较好。

参考文献

[1] 尤汉虎, 庞智锋, 梁雅慧, 等. 佛山市某城区饮用水重金属健康危害风险初步评估[J]. 华南预防医学, 2011, 37(3): 32-36.
YOU HH, PANG ZF, LIANG YH, *et al*. Preliminary assessment of the health hazards of heavy metals in drinking water in an urban area of Foshan city [J]. South China Prev Med, 2011, 37(3): 32-36.
[2] 邵昭明, 欧阳静茹, 张珊珊, 等. 佛山市禅城区蔬菜重金属污染现状及对人体健康风险分析[J]. 华南预防医学, 2012, 38(3): 14-17, 21.

SHAO ZM, OUYANG JR, ZHANG SS, *et al*. The current status of heavy metal pollution of vegetables in Chancheng District, Foshan City and the risk analysis on human health [J]. South China Prev Med, 2012, 38(3): 14-17, 21.
[3] 何佳璐, 方力, 余新威. 舟山市海产品铅、镉、甲基汞污染调查[J]. 预防医学, 2017, 29(3): 240-242.
HE JL, FANG L, YU XW. Investigation on pollution of lead, cadmium and methylmercury in seafood in Zhoushan city [J]. Prev Med, 2017, 29(3): 240-242.
[4] 顾佳丽. 辽西地区食用鱼中重金属含量的测定及食用安全性评价[J]. 食品科学, 2012, 33(10): 237-240.
GU JL. Determination of heavy metals in edible fish in western Liaoning and evaluation of edible safety [J]. Food Sci, 2012, 33(10): 237-240.
[5] 刘平, 周益奇, 臧利杰. 北京农贸市场 4 种鱼类体内重金属污染调查[J]. 环境科学, 2011, 32(7): 2062-2068.
LIU P, ZHOU YQ, ZANG LJ. Investigation of heavy metal pollution in four species of fish in Beijing farmers market [J]. Environ Sci, 2011, 32(7): 2062-2068.

- 2062–2068.
- [6] 谢文平, 陈昆慈, 朱新平, 等. 珠江三角洲河网区水体及鱼体内重金属含量分析与评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 1917–1923.
- XIE WP, CHEN KC, ZHU XP, *et al.* Analysis and evaluation of heavy metal content in water and fish in the river network area of the Pearl river delta [J]. J Agric Environ Sci, 2010, 29(10): 1917–1923.
- [7] 林少英, 黄学敏, 谭领章, 等. 佛山市常见水产品甲基汞浓度比较分析[J]. 华南预防医学, 2016, 42(5): 484–486.
- LIN SY, HUANG XM, TAN LZ, *et al.* Comparative analysis of methylmercury concentrations in common aquatic products in Foshan city [J]. South China Prev Med, 2016, 42(5): 484–486.
- [8] 陈树娣, 谢景千, 汤璐, 等. 2013—2014年深圳市生鲜水产品重金属含量调查及评价[J]. 食品工业, 2016, 37(7): 223–227.
- CHEN SD XIE JQ, TANG L, *et al.* Investigation and evaluation of heavy metal content in fresh aquatic products in Shenzhen from 2013 to 2014 [J]. Food Ind, 2016, 37(7): 223–227.
- [9] 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.* Evaluation of lead, cadmium and mercury content and pollution in aquatic products in Shenzhen [J]. J Hyg Res, 2011, 40(4): 527–528.
- [10] 陈红红, 毋福海, 黄丽玫, 等. 广州市市场食用鱼中5种重金属含量分析及评价[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(12): 2736–2738.
- CHEN HH, WU FH, HUANG LM, *et al.* Analysis and evaluation of 5 heavy metals in edible fish in Guangzhou market [J]. Chin J Health Inspect, 2008, 18(12): 2736–2738.
- [11] 杨丽华, 方展强, 郑文彪, 等. 广州市市场食用鱼和贝类重金属含量及评价[J]. 环境科学与技术, 2002, (6): 15–16, 34–48.
- YANG LH, FANG ZQ, ZHENG WB, *et al.* The content and evaluation of heavy metals in edible fish and shellfish in Guangzhou market [J]. Environ Sci Technol, 2002, (6): 15–16, 34–48.
- [12] 邓梦雅, 朱丽, 吴东慧, 等. 蔬菜中矿物质含量测定、营养评价及风险评估[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(9): 97–102.
- DENG MY, ZHU L, WU DH, *et al.* Determination of mineral content, nutritional evaluation and risk assessment in vegetables [J]. Food Res Dev, 2018, 39(9): 97–102.
- [13] 《中国食物成分表》标准版第6版第一二册出版[J]. 营养学报, 2019, 41(5): 426.
- The first two volumes of the 6th edition of the Standard Edition of "Chinese Food Composition Table" were published [J]. J Nutr, 2019, 41(5): 426.
- [14] WS/T 578. 2—2018 中国居民膳食营养素参考摄入量 第2部分: 常量元素[S].
- WS/T 578. 2—2018 Chinese residents' dietary nutrient reference intakes part 2: Macro elements [S].
- [15] WS/T 578. 3—2017 中国居民膳食营养素参考摄入量 第3部分: 微量元素[S].
- WS/T 578. 3—2017 Chinese residents' dietary nutrient reference intake part 3: Trace elements [S].
- [16] 刘庄, 林嘉立, 潘巧敏, 等. 食用鱼类食用安全性评价方法综述[J]. 广东化工, 2019, 46(11): 122–123.
- LIU Z, LIN JL, PAN QM, *et al.* A review of food safety evaluation methods for edible fish [J]. Guangdong Chem Ind, 2019, 46(11): 122–123.
- [17] KHALAF EA, AUTHMAN MM, ALNE NEAA. Contamination and ecological hazard assessment of heavy metals in freshwater sediments and *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fish muscles in a Nile river canal in Egypt [J]. Environ Sci Pollut Res, 2018, 25(14): 13796–13812.
- [18] 罗峰. 微量元素 健康之本[J]. 广东微量元素科学, 2006, (7): 67.
- LUO F. The essence of trace element health[J]. Guangdong Trace Element Sci, 2006, (7): 67.
- [19] 颜惠芬, 符郁馥, 林志藩, 等. 水产品中砷的形态分布研究[J]. 现代食品, 2019, (4): 180–185.
- YAN HF, FU YF, LIN ZF, *et al.* Study on the speciation distribution of arsenic in aquatic products [J]. Mod Food, 2019, (4): 180–185.
- [20] 施沁璇, 孙博泽, 王俊, 等. 钱塘江流域鱼肉中重金属含量特征及食用安全性评价[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(4): 536–545.
- SHI QX, SUN BY, WANG J, *et al.* Heavy metal content characteristics and edible safety evaluation of fish in Qiantang river basin [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2017, 26(4): 536–545.
- [21] 盛蒂, 朱兰保. 蚌埠市场食用鱼重金属含量及安全性评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 49–52, 56.
- SHENG D, ZHU LB. Heavy metal content and safety evaluation of edible fish in Bengbu market [J]. Food Ind Sci Technol, 2014, 35(22): 49–52, 56.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



欧阳静茹, 主管技师, 主要研究方向为食品检验、理化检验。
E-mail: jingru211@163.com