

## 风险监测

## 2010—2014年广东省水产品中铅镉含量调查及评价

梁辉<sup>1</sup>,周少君<sup>1</sup>,戴光伟<sup>2</sup>,黄伟雄<sup>1</sup>,闻剑<sup>1</sup>,龙朝阳<sup>1</sup>,邓小玲<sup>1</sup>

(1. 广东省疾病预防控制中心,广东广州 511430;

2. 广东省食品药品监督管理局,广东广州 510080)

**摘要:**目的 全面了解广东省市售水产品中铅镉含量水平,为进一步开展风险评估提供基础数据。方法 按照简单随机抽样方法确定样本量,在广东省21个地级市和顺德区分别采集60份样品,按GB 5009.12—2010《食品安全国家标准 食品中铅的测定》、GB/T 5009.15—2003《食品中镉的测定》分别对铅、镉含量进行测定,并采用单因子污染指数(Pi)法和重金属污染指数(MPI)法进行评价。结果 2010—2014年共采集市售水产品样品1 326份,铅含量均值为0.040 mg/kg,超标率为0.15% (2/1 326),镉含量均值为0.178 mg/kg,超标率为5.35% (71/1 326)。5年间水产品中铅超标率变化不大。然而,镉的超标率差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。从水产品种类看,镉超标率高低依次为蟹类 > 贝类 > 虾类 > 海水鱼,淡水鱼中镉含量未超标。除贝类和蟹类中的镉外,其余水产品铅镉Pi值均属于背景值范围。从MPI看,污染顺序则为蟹类 > 贝类 > 海水鱼 > 虾类 > 淡水鱼。结论 通过连续5年的系统性调查,广东省市售水产品中铅、镉含量总体不高,单项污染指数值大部分处于正常背景值范围。但发现蟹类中镉有一定的超标情况,需加强蟹类高消费人群监测。

**关键词:**水产品; 铅; 镉; 食品污染物; 调查; 评价; 风险监测; 食品安全; 广东

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2017)02-0209-04

DOI:10.13590/j.cjfh.2017.02.020

**Investigation and evaluation of lead and cadmium  
in aquatic products in Guangdong Province from 2010 to 2014**

LIANG Hui<sup>1</sup>, ZHOU Shao-jun<sup>1</sup>, DAI Guang-wei<sup>2</sup>, HUANG Wei-xiong<sup>1</sup>, WEN Jian<sup>1</sup>,  
LONG Chao-yang<sup>1</sup>, DENG Xiao-ling<sup>1</sup>

(1. Center for Disease Control and Prevention of Guangdong Province, Guangdong Guangzhou 511430,  
China; 2. Guangdong Food and Drug Administration, Guangdong Guangzhou 510080, China)

**Abstract: Objective** In order to provide the basic data for further risk assessment, the levels of lead (Pb) and cadmium (Cd) in the commercial aquatic products of Guangdong were investigated. **Methods** Simple random sampling method was employed to determine the sample size, and 60 aquatic products were collected in each of the 21 cities and Shunde District, Guangdong Province. The concentrations of Pb and Cd were measured using GB 5009.12-2010 and GB/T 5009.15-2003, respectively. **Results** A total of 1 326 aquatic products were collected from 2010 to 2014. The mean level of Pb in aquatic products was 0.040 mg/kg, and the over-limit rate was 0.15% (2/1 326). The average level of Cd in aquatic products was 0.178 mg/kg, and the over-limit rate was 5.35% (71/1 326). During this five years, the small variation of the over-limit rate of Pb was found in the aquatic products, while the difference was significant for Cd ( $P < 0.05$ ). For the variety of aquatic products, only freshwater fish was fully qualified, and the descending order of the over-limit rate was crab > shellfish > shrimp > marine fish. The single factor pollution index (Pi) showed that the levels of Pb and Cd in the aquatic products were in the range of the background value except for the levels of Cd in shellfish and crab, while the order of heavy metal pollution index (MPI) was crab > shellfish > marine fish > shrimp > freshwater fish. **Conclusion** The contamination levels of Pb and Cd in aquatic products were not high, but the over-limit rate of Cd in crab could not be ignored.

**Key words:** Aquatic product; lead; cadmium; food contaminants; investigation; evaluation; risk monitoring; food safety; Guangdong

收稿日期:2017-01-09

基金项目:广东省医学科研基金课题项目(A2014080);2015年省公益研究与能力建设专项资金项目(2015A020218002)

作者简介:梁辉 男 副主任医师 研究方向为食品安全风险监测 E-mail:13925034528@139.com

通信作者:邓小玲 女 主任技师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:2296895035@qq.com

铅、镉等重金属在生物体内半衰期长达数年甚至是数十年,能在体内不断蓄积,对人体健康有明显的毒性作用。以往研究<sup>[1-10]</sup>显示,水产品中均含有一定量的铅、镉等重金属,广东省居民尤爱食用鱼类、甲壳类、贝类等水产品,对水产品的日均摄入量达 51.8 g<sup>[11]</sup>,而广东省沿海城市居民日均水产品摄入量更高达 124 g<sup>[12]</sup>,因此对广东省水产品中铅镉含量作充分调查十分有意义。尽管以往有文献研究了广东省不同地区水产品中铅镉含量,如广州、深圳、珠海<sup>[2,6,10,13]</sup>等地都曾对水产品重金属含量作过横断面调查,调查范围较小、样品量较少、采样时间较集中,未见持续多年对广东省市售水产品铅镉含量调查的报道。为进一步全面了解广东省各地区市售水产品中铅镉含量的状况,并为广东省居民重金属膳食暴露评估提供基础数据,本研究于 2010—2014 年连续 5 年,系统性地开展了覆盖广东省 21 个地级市和顺德区的市售水产品中铅镉含量的抽样调查。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品量和采样点

所需的水产品样本量,首先按照简单随机抽样的方法计算,公式为:

$$n_0 = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2}{(\mu\varepsilon)^2}$$

其中  $n_0$  为的最小样本量,  $\sigma$  为总体标准差,  $\mu$  为总体均值,  $\varepsilon$  为最大相对误差,  $Z_{\alpha/2}$  为在给定可信水平  $(1 - \alpha)\%$  上的  $Z$  值,本研究中采用的 95% 可信水平对应的  $Z_{\alpha/2}$  值为 1.96。参考以往广东省水产品的铅含量  $(0.218 \pm 0.319)$  mg/kg、镉含量  $(0.150 \pm 0.381)$  mg/kg<sup>[14]</sup>,使最大相对误差不超过 15%,则计算出铅含量调查的最小样本量为 1 060 份、镉含量调查的最小样本量为 1 102 份。进一步考虑地级市全覆盖和均匀分配原则,在 21 个地级市以及行使地级市管理权限的顺德区各采集 60 份样品,最终确定样品量为 1 326 份。

每份样品采样量不少于 500 g,按照《中国食物成分表》<sup>[15]</sup> 中水产品的分类,分为淡水鱼、海水鱼、虾类、蟹类和贝类 5 个种类,根据各地水产品消费情况开展采样。采样场所包括了农贸市场、商店(超市)、大型饭店、小型餐饮店等。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 检测依据与方法

根据 GB 5009.12—2010《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[16]</sup> 方法检测水产品中铅含量,检出限为 0.01 mg/kg。根据 GB/T 5009.15—2003《食品中

镉的测定》<sup>[17]</sup>,采用第一法石墨炉原子吸收光谱法检测水产品中镉含量,检出限为 0.001 mg/kg。

#### 1.2.2 质量控制

试验过程通过采用平行双样、标准物质法、加标回收试验,确保检测数据的准确性。

#### 1.2.3 污染程度评价分析方法

采用单因子污染指数 ( $P_i$ ) 法对食用水产品中重金属含量进行污染状况评价<sup>[1,4]</sup>。计算公式为  $P_i = C_i/S_i$ ,  $P_i$  为重金属  $i$  的污染指数,  $C_i$  为水产品中重金属  $i$  的含量,  $S_i$  为重金属  $i$  的评价标准(评价标准采用 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[18]</sup> 中有关限量指标)。当  $P_i < 0.2$  时,表明重金属浓度处于正常背景值范围内,污染较轻;  $0.2 \leq P_i \leq 0.6$  时,表明处于轻污染水平;  $0.6 < P_i < 1.0$  时,为中度污染水平;当  $P_i \geq 1.0$  时为污染超标。采用重金属污染指数 (MPI) 比较不同种类水产品之间铅、镉污染的总体差异,计算公式为  $MPI = (C_{\text{铅}} \times C_{\text{镉}})^{1/2}$ 。

### 1.3 统计学分析

采用世界卫生组织 (WHO) 推荐的替代法来对未检出值进行处理,在少于 60% 的检测值为未检出时,将未检出值用 1/2 检出限 (LOD) 值进行替换<sup>[19]</sup>。样品登记表信息和实验室数据由专人录入 Excel,并应用 SPSS 17.0 软件进行处理。使用直接化法对水产品的品种构成进行标准化后,对重金属含量的差异性进行多个独立样本比较的秩和 Kruskal-Wallis 检验,对重金属超标率的差异性进行两两比较的  $\chi^2$  检验<sup>[20-21]</sup>,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 总体情况

本研究采集和检测 1 326 份水产品,其镉含量范围为未检出 (ND) ~ 12.100 mg/kg,平均值为 0.178 mg/kg,镉含量的超标率为 5.35% (71/1 326);铅含量范围为 ND ~ 1.100 mg/kg,平均值为 0.040 mg/kg,铅含量的超标率为 0.15% (2/1 326)。

水产品中铅镉含量均呈负偏态分布,镉含量集中分布于 0.000 ~ 0.333 mg/kg 区间,镉含量  $\leq 0.500$  mg/kg 的水产品占 93.36% (1 238/1 326),镉含量  $\leq 0.100$  mg/kg 的水产品占 81.75% (1 084/1 326),29.41% (390/1 326) 的水产品镉含量低于检出限。铅含量集中分布于 0.000 ~ 0.057 mg/kg 区间,铅含量  $\leq 0.500$  mg/kg 的水产品占 99.55% (1 320/1 326),铅含量  $\leq 0.100$  mg/kg 的水产品占 87.10% (1 155/1 326),62.07% (823/1 326) 的水产

品样品铅含量低于检出限。

## 2.2 不同年份水产品中铅镉含量

5年调查采集的1326份水产品中,2011年的铅含量均值最高(0.106 mg/kg),但2010年铅的超标率最高(2.04%);2013年镉含量均值最高(0.288

mg/kg),但2010年镉的超标率最高(5.66%)。从不同年度的铅镉超标率看,5年间的镉超标率差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),2010、2013、2014年的超标率高于2011、2012年。5年间的铅超标率变化不大,差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表1。

表1 不同年份水产品中铅镉含量

Table 1 Lead and cadmium content of aquatic products in different years

年份	样品份数	铅				镉			
		含量范围 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	标化前 超标率/%	标化后 超标率/%	含量范围 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	标化前 超标率/%	标化后 超标率/%
2010	83	ND~1.100	0.068	1.20(1/83)	2.04(27/1326)	ND~3.540	0.145	4.82(4/83)	5.66(75/1326)
2011	50	ND~0.282	0.106	0.00(0/50)	0.00(0/1326)	ND~0.086	0.019	0.00(0/50)	0.00(0/1326)
2012	217	ND~1.080	0.064	0.00(0/217)	0.00(0/1326)	ND~6.530	0.203	2.76(6/217)	0.68(9/1326)
2013	440	ND~0.220	0.017	0.00(0/440)	0.00(0/1326)	ND~12.100	0.288	12.05(53/440)	4.52(60/1326)
2014	536	ND~0.524	0.013	0.19(1/536)	0.08(1/1326)	ND~5.560	0.033	1.49(8/536)	5.05(67/1326)

## 2.3 不同种类水产品中铅镉含量

如表2所示,不同种类的水产品中铅镉含量差异较大。5类水产品中铅镉含量均值差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),贝类中铅含量最高,均值为0.142 mg/kg,是铅含量最小的虾类的8倍;蟹类、贝类的镉含量较高,均值分别为0.564、0.544 mg/kg,为镉含量最小的淡水鱼的63、60倍。各类水产品中铅的超标率差异

无统计学意义( $P > 0.05$ ),镉的超标率差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),镉超标率从高到低依次为蟹类>贝类>虾类>海水鱼,淡水鱼未超标。在镉超标率最高的蟹类中,海蟹的超标率(25.30%,63/249)高于淡水蟹(8.43%,21/249),差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),且海蟹的镉含量均值达2.024 mg/kg,是国家标准限量值(0.5 mg/kg)的4倍。

表2 不同种类水产品中铅镉含量

Table 2 Lead and cadmium content in different kinds of aquatic product

年份	样品份数	铅				镉			
		含量范围 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	标化前 超标率/%	标化后 超标率/%	含量范围 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	标化前 超标率/%	标化后 超标率/%
贝类	131	ND~1.100	0.142	0.00(0/131)	0.00(0/1326)	ND~6.530	0.544	7.63(10/131)	6.94(92/1326)
淡水鱼	91	ND~0.160	0.040	0.00(0/91)	0.00(0/1326)	ND~0.037	0.009	0.00(0/91)	0.00(0/1326)
海水鱼	586	ND~0.524	0.019	0.34(2/586)	0.38(5/1326)	ND~0.413	0.012	0.17(1/586)	0.08(1/1326)
虾类	269	ND~0.290	0.018	0.00(0/269)	0.00(0/1326)	ND~2.330	0.031	0.74(2/269)	0.98(13/1326)
蟹类	249	ND~0.220	0.031	0.00(0/249)	0.00(0/1326)	ND~12.10	0.564	23.29(58/249)	16.37(217/1326)

## 2.4 不同地区水产品中铅镉含量

广东省粤东、粤西、粤北和珠三角4个地区采集的水产品中,铅镉含量较高的地区均是粤北和珠三角,而粤东、粤西的水产品中铅镉含量较低。从超标率看,只有珠三角采集的水产品出现铅超标情况,超标率为0.15%(2/1326),其余地区均未出现铅超标;镉超标率最高的是粤北(11.31%,150/1326),高于珠三角、粤东和粤西地区的镉超标率,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 2.5 污染程度评价

采用Pi法对水产品中铅镉污染程度进行评价,2010—2014年广东省水产品中铅的Pi值变化幅度不大,2010、2012、2013、2014年铅Pi值均在0.20以下,处于正常背景值范围内;只有2011年的铅Pi值为0.22,稍高于0.20,处于轻污染状态。镉的Pi值呈先上升后下降的趋势,在2013年达到最高值0.63,属于中度污染;2014年下降至最低值0.12,处

于背景值范围。5年的铅Pi值均比镉低。详见图1。

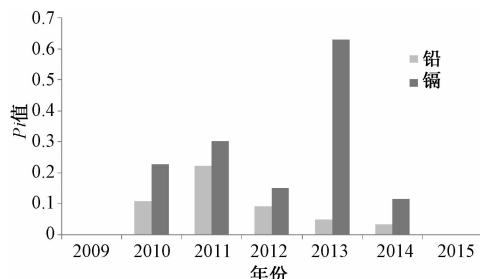


图1 不同年份水产品中铅镉单项污染指数

Figure 1 Single factor pollution index of lead and cadmium of aquatic products in different years

5类水产品的铅Pi值均小于0.11,处于正常背景值范围内。蟹类的镉Pi值为1.17,属于重度污染;贝类的镉Pi值为0.28,属于轻度污染;其他3类水产品中镉的Pi值均小于0.10,属于正常背景值。从MPI值看,蟹类的铅镉污染程度最高,淡水鱼污

染程度最低,其顺序为蟹类 > 贝类 > 海水鱼 > 虾类 > 淡水鱼。

### 3 讨论

本次调查从2010年开始,连续5年调查了广东省水产品中铅镉的含量,其中铅含量均值为0.040 mg/kg,超标率为0.15% (2/1 326),镉含量均值为0.178 mg/kg,超标率为5.35% (71/1 326)。研究显示,我国不同地区水产品中铅镉含量的差异甚大,与珠海、深圳、宁波、烟台相比,本次调查的水产品中大部分铅镉含量均较低,但比天津的水产品含量高。尤其是淡水鱼、海水鱼中的镉含量水平,本调查均比其他文献报道<sup>[1,5-8,10]</sup>低。把广东省划分为4个区域分析发现,市售水产品中铅镉含量较高的地区均是粤北和珠三角。粤北地区是天然地壳高镉本底区,长期而频繁的矿脉开采冶炼活动导致其环境包括水体环境中的镉含量高于广东省其他地区。而珠三角地区工业化和城市化进程快速推进,来源于工业造成的“三废”污染、农业造成的化肥、农药污染等都可能使铅镉污染成为环境问题。

除了蟹类、贝类的镉以外,其余水产品中铅镉  $P_i$  值均属于背景值范围,总体来说,广东省市售水产品中铅镉污染较轻。但仍有一些问题需引起重视,蟹类中的镉  $P_i$  值较高,超标情况较为严重。综合铅镉的  $MPI$  值,污染顺序为蟹类 > 贝类 > 海水鱼 > 虾类 > 淡水鱼。水产品的重金属含量取决于以下2个原因:一是不同水产品类群对重金属的富集能力不同,其中对铅的富集从大到小顺序是甲壳类 > 鱼类,对镉的富集从大到小顺序是甲壳类 > 贝类 > 鱼类<sup>[4]</sup>,鱼类无论是富集铅还是富集镉的能力都较低,这也与本调查中淡水鱼、海水鱼的铅镉含量水平较低相符,本调查中铅含量最高为贝类、镉含量最高为蟹类,也与富集规律相符。二是有水产品动物既能通过腮等组织器官直接从水体环境中吸收重金属,也能通过摄食途径获取,其体内的重金属含量必然与水体环境中的重金属含量直接相关<sup>[9]</sup>。本调查显示广东省市售水产品中铅镉含量与其他各地相比处于中等水平,亦对广东省水体环境中铅镉含量起到提示作用。

综上所述,通过连续5年的系统性调查,广东省市售水产品中铅镉含量总体不高,  $P_i$  值大部分处于正常背景值范围。但发现蟹类中的镉有一定的超标情况(超标率16.37%),需加强蟹类高消费人群监测。

### 参考文献

- [1] 姜杰,丘红梅,张慧敏,等.广东沿海海域海产品中重金属的含量及评价[J].环境与健康杂志,2009,26(9):814-816.
- [2] 毛新武,李迎月,林晓华,等.广州市水产品污染状况调查[J].中国卫生检验杂志,2007,17(12):2288-2290.
- [3] 刘洋,付强,高军,等.江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价[J].环境科学,2013,34(10):4081-4089.
- [4] 崔毅,陈碧鹃,宋云利,等.胶州湾海水、海洋生物体中重金属含量的研究[J].应用生态学报,1997,8(6):650-654.
- [5] 蒋长征,张立军,戎江瑞,等.宁波市鲜活水产品重金属含量调查及评价[J].中国卫生检验杂志,2007,17(10):1866-1867,1901.
- [6] 刘奋,戴京晶,丘汾.深圳市水产品重金属污染状况调查[J].实用预防医学,2009,16(5):1487-1488.
- [7] 张明月,商博东,段梦茹,等.天津地区水产品重金属污染状况调查[J].环境与健康杂志,2015,32(6):538-539.
- [8] 何佳璐,张乾通,陈艳.舟山市市售不同种类海产品中重金属污染现状[J].中国食品卫生杂志,2015,27(1):81-84.
- [9] 孙维萍,刘小涯,潘建明,等.浙江沿海经济鱼类体内重金属的残留水平[J].浙江大学学报(理学版),2012,39(3):338-344.
- [10] 黄宏瑜,许悦生,王丽玲,等.珠海市水产品中汞镉铅砷污染状况监测[J].中国公共卫生,1998,14(1):24-25.
- [11] 马文军,邓峰,许燕君,等.广东省居民膳食营养状况研究[J].华南预防医学,2005,31(1):1-5.
- [12] 唐洪磊,郭英,孟祥周,等.广东省沿海城市居民膳食结构及食物污染状况的调研——对持久性卤代烃和重金属的人体暴露水平评价[J].农业环境科学学报,2009,28(2):329-336.
- [13] 张维蔚,李迎月,余超,等.2013—2014年广州市市售鲜活水产品化学污染状况分析[J].医学动物防制,2015,31(7):718-721.
- [14] 夏运生,何江华,万洪富.广东省农产品污染状况分析[J].生态环境,2004,13(1):109-111.
- [15] 杨月欣,王光亚,潘兴昌.中国食物成分表第一册[M].2版.北京:北京大学医学出版社,2009.
- [16] 中华人民共和国卫生部.食品安全国家标准 食品中铅的测定:GB 5009.12—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [17] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.食品中镉的测定:GB/T 5009.15—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [18] 中华人民共和国卫生部.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2012[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [19] WHO. GEMS/Food-Euro workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food: report on a workshop in the frame of GEMS/Food-Euro [R]. Kulmbach Germany: WHO Regional Office for Europe, GEMS/Food-Euro, 1995.
- [20] 詹绍康.率的标准化[J].中国实用外科杂志,2000,20(2):122-123.
- [21] 姜宝法,王济川,RAHMAN A.率的标准化与率差分解法在行为医学研究中的应用[J].中国卫生统计,2002,19(2):91-93.