

吴烨飞,陈火荣,吴 镇,等.福建省中北部海域捕捞水产品中4种重金属含量与风险评价[J].渔业研究,2018,40(6):478-489.

福建省中北部海域捕捞水产品中4种重金属含量与风险评价

吴烨飞, 陈火荣, 吴 镇, 潘友浩, 陈佩君

(福建省海洋环境与渔业资源监测中心, 福建 福州 350003)

摘要: 为了解福建省中北部海域捕捞水产品的重金属污染现状及摄入风险, 分别于2014年和2015年采集了该区域的鱼类和甲壳类, 共18种160个主要水产品, 调查研究了铅、镉、总汞和无机砷4种重金属的含量, 并采用单因子污染指数(P_i)、重金属污染指数(MPI)、每周可耐受摄入量(PTWI)和致癌、非致癌年风险(R_{ig}^c 、 R_{ig}^n)指标分别评价捕捞水产品的污染程度、食用安全性和健康风险。研究表明, 目前福建中北部海域捕捞水产品中铅、总汞和无机砷都符合国家标准规定, 但重金属镉存在污染, 超标率为9.4%; P_i 结果显示, 鱼类受重金属污染影响不显著, 基本上处于正常范围内, 甲壳类中口虾蛄和梭子蟹中镉含量达到重污染水平, 其他重金属含量处于正常范围内; MPI结果显示, 甲壳类重金属污染高于鱼类; 食用安全评价表明, 通过食用捕捞水产品摄入的4种重金属平均含量均低于每周可耐受摄入量, 但个别甲壳类(梭子蟹和口虾蛄)的镉摄入量超过了PTWI(成人)值, 存在较高风险; 健康风险模型结果显示, 所有样品均未超过国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受水平($5.0 \times 10^{-5} a^{-1}$)。总体上看, 当前, 福建省捕捞水产品可放心食用, 但是重金属镉的潜在食用安全风险需引起重视。

关键词: 福建省中北部海域; 捕捞水产品; 重金属; 风险评价

中图分类号: P734.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-5601(2018)06-0478-12

福建省是我国重要的水产品生产和消费大省, 2016年全省水产品总产量达 $767.98 \times 10^4 t$, 位居全国第三, 其中捕捞产量 $241.98 \times 10^4 t$, 占水产品总产量31.51%^[1], 捕捞的经济鱼、虾、蟹、头足类等是人们食用的主要海产品。近年来随着临海工业的发展, 陆源污染物排放和海洋污染事故不断增多, 导致进入海洋环境中的污染物数量明显上升。在众多污染物中, 重金属污染物可通过摄食和组织吸收等方式进入海洋食物链,

并在海洋食物链中传递、富集, 加之其无法降解, 因而对人类健康构成了严重威胁。目前我国沿海对于市售水产品^[2-3]和养殖水产品^[4-5]的重金属污染研究较多, 但对海洋捕捞的经济水产品调查研究较少。因此, 本研究通过对福建中北部海域捕捞鱼类和甲壳类经济水产品的铅、镉、总汞和无机砷等4种重金属进行研究分析, 旨在了解海洋捕捞水产品重金属污染现状, 为进一步加强水产品质量监督提供技术依据。

收稿日期: 2018-09-27

资助项目: 福建省海洋与渔业厅贝类生物质量监测专项(闽海渔[2015]289号)。

作者简介: 吴烨飞(1985-), 女, 浙江江山, 工程师, 硕士, 研究方向为海洋环境监测与评价、水产品检测。
E-mail: yefey123@163.com

1 材料与方法

1.1 样品的采集、保存和分析

捕捞水产品样品分别采集于 2014 年和 2015 年，主要在福州、宁德和平潭的渔港码头、上岸地点和捕捞渔船上采集常见的经济性品种与具备典型销售尺寸的水产品。采集的品种共有 2 类 18 种，共计 160 个样品，主要来自闽东渔场和闽中渔场，其中鱼类 14 种，甲壳类 4 种（表 1）。为确保样品的代表性，每个品种采集数量不少于 5 个，每个船次每个品种只采集 1 个样品，同一船次采集多个品种。样品采样工作按

SC/T 3016—2004《水产品抽样方法》规定执行。样品采集后现场处理，取可食部分肌肉，装入塑料封口袋中，冷冻保存。

水产品中的铅、镉采用无火焰原子吸收分光光度法测定，无机砷和总汞采用原子荧光法测定，具体过程及分析依据 GB/T 5009.12—2010《食品安全国家标准 食品中铅的测定》、GB/T 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》、GB/T 5009.17—2014《食品中总汞及有机汞的测定》和 GB/T 5009.11—2014《食品中总砷及无机砷的测定》等标准规定进行。

表 1 捕捞水产品基本信息
Tab.1 Basic information of fishing aquatic products

类群 Group	种类学名 Species	数量 Number	栖息环境 Habitats	食性 Feeding habits	来源 Source
鱼类 Fishes	蓝点马鲛鱼 <i>Scomberomorus niphonius</i>	12	中上层	肉食性	闽东渔场、闽中渔场
	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	10	中上层	肉食性	闽中渔场
	沙丁鱼 <i>Sardina pilchardus</i>	11	中上层	滤食性	闽东渔场、闽中渔场
	鲐鱼 <i>Pneumatophorus japonicas</i>	12	中上层	肉食性	闽东渔场
	银鲳鱼 <i>Pampus sinensis</i>	11	中上层	杂食性	闽东渔场、闽中渔场
	鲮鱼 <i>Mugil cephalus linnaeus</i>	11	中上层	杂食性	闽东渔场、闽中渔场
	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	9	近底层	肉食性	闽东渔场、闽中渔场
	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	10	近底层	杂食性	闽东渔场、闽中渔场
	鳀鲱 <i>Lophius litulon</i>	8	底层	肉食性	闽东渔场、闽中渔场
	单角革鲀 <i>Aluterus monoceros</i>	7	底层	杂食性	闽东渔场
	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	6	底层	肉食性	闽东渔场、闽中渔场
	棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	6	底层	肉食性	闽东渔场
	金线鱼 <i>Nemipterus virgatus</i>	6	底层	肉食性	闽东渔场
	棱鲅 <i>Liza carinata</i>	6	底层	滤食性	闽东渔场

续表 1

类群	种类学名	数量	栖息环境	食性	来源
Group	Species	Number	Habitats	Feeding habits	Source
甲壳类 Crustaceans	鹰爪虾	9	底层	杂食性	闽东渔场、闽中渔场
	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>				
	长毛明对虾	9	底层	杂食性	闽东渔场、闽中渔场
	<i>Tenneropenaeus penicillatus</i>				
	口虾蛄	9	底层	肉食性	闽东渔场
	<i>Oratosquilla oratoria</i>				
	梭子蟹	8	底层	肉食性	闽东渔场
	<i>Portunus trituberculatus</i>				

1.2 评价标准

1.2.1 限量标准

当前许多国家、地区和组织都对水产品中重金属污染物的限量进行了规定，其中公认的对水产品中重金属污染物限量要求最严格的标准来自欧盟（EC）。自 2001 年 3 月至 2013 年 2 月，针对食品中重金属及其他污染物的限量规定，欧盟共发布了 32 项法律及其修订法规，其中关于水产品中重金属的限量法规有 6 项，更新指标达 42 项^[6]。从表 2 可以看出，我国与欧盟各类食品中的重金属限量标准并不统一，与国际上通用的国际食品法典标准（CAC）也有差别。欧盟不仅对水产品中重金属污染物限量要求严格，而且对鱼类重金属限量的规定精确到了物种名称，

相比之下，我国在鱼类的限量规定方面，只区分了肉食性鱼和非肉食性鱼，缺少对鱼类生物物种特性的科学研究和风险评估；此外，国际食品法典标准（CAC）、欧盟（EC）法规对水产品中的总砷进行了限量规定，尚未对无机砷指标进行限量规定，而国内已制定了相关的限量标准。

由于我国捕捞和食用的水产品品种与欧盟（EC）存在较大差异，因此不能盲目跟从欧盟（EC）标准。本文在参考国内外推荐的评价标准后，优先采用 NY 5073—2006《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量标准》评价本研究中水产品中重金属的污染程度，其中本文测定的汞为水产品中的总汞。

表 2 国内外水产品重金属限量标准

Tab. 2 Limit standards of heavy metals in aquatic products of domestic and international / regional regulations

标准名称 Standard		重金属限量值/(mg/kg) Maximum level			
		铅 Pb	镉 Cd	总汞 Total Hg	无机砷 Inorganic As
国内 标准 Domestic standards	GB 2762—2017 《食品中污染物 限量》	0.5 (鱼类、甲壳类)； 1.0 (鲜、冻水产动物，不包括鱼类、甲壳类、双壳类)； 1.5 (双壳类)。	0.1 (鱼类)； 0.5 (甲壳类)； 2.0 (双壳类、腹足类、头足类、棘皮类)。	甲基汞 0.5 (水产动物及其制品，肉食性鱼类及其制品除外)； 甲基汞 1.0 (肉食性鱼类及其制品)。	0.5 (水产动物及其制品，鱼类及其制品除外)； 0.1 (鱼类及其制品)。
	NY 5073—2006 《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量》	0.5 (鱼类、甲壳类)； 1.0 (贝类、头足类)。	0.1 (鱼类)； 0.5 (甲壳类)； 1.0 (贝类、头足类)。	甲基汞 0.5 (所有水产品，不包括食肉鱼类)； 甲基汞 1.0 (肉食性鱼类，如鲨鱼、金枪鱼、旗鱼等)。	0.1 (鱼类)； 0.5 (其他动物性水产品)。

续表 2

标准名称 Standard		重金属限量值/(mg/kg) Maximum level			
		铅 Pb	镉 Cd	总汞 Total Hg	无机砷 Inorganic As
国外 标准 Foreign standards	欧盟 (EC) No. 629/2008	0.3(鱼类); 0.5(甲壳类动物: 附肢和腹部的肌肉, 蟹和蟹类的附肢肌肉); 1.5(双壳软体动物); 1.0(无内脏头足类动物)。	0.05(鱼类,不包括鳀、 双带重牙鲷、鳗、灰鲯、 鲭或竹荚鱼、鲭科鱼、鲱 鲭、沙丁鱼、拟沙丁鱼、 金枪鱼、鲾、圆花鲹、凤 尾鱼、旗鱼); 0.5(甲壳类动物:附肢 和腹部的肌肉,蟹和蟹 类的附肢肌肉); 1.5(双壳软体动物); 1.0(双壳软体动物和无 内脏的头足类动物);	总汞 0.5(水产品, 甲壳类:附肢和腹部的 肌肉,蟹和蟹类的 附肢肌肉); 总汞 1.0(岬羽鲂、 羽鲂鲷)。	/
	国际食品法典 委员会 (CAC) CODEX STAN 193—1995	0.3(鱼类); 0.5(甲壳类); 1.0(软体贝类)。	2.0(双壳软体动物、头 足类)。	甲基汞 1.2(金枪鱼); 甲基汞 1.7(马林鱼); 甲基汞 1.6(鲨鱼)。	/

1.2.2 单因子污染指数法评价

采用单因子污染指数评价不同种类水产品重金属污染状况，计算公式如下：

$$P_i = C_i / S_i \tag{1}$$

式中： P_i 指第*i*种重金属污染指数值； C_i 指第*i*种重金属实际测定值（mg/kg）； S_i 指第*i*种重金属限量标准（mg/kg）。

由于目前国内尚无明确的污染等级划分标准，因此采用文献中^[7-9]推荐的划分标准进行评价，即 $P_i < 0.2$ 为正常背景值水平； $0.2 \leq P_i < 0.6$ 为轻度污染水平； $0.6 \leq P_i < 1$ 为中污染水平； $P_i \geq 1$ 为重度污染水平，即超标。

1.2.3 重金属污染指数法（MPI）评价

采用重金属污染指数（MPI）比较不同种类水产品之间重金属污染的总体差异^[10-11]。其计算公式如下：

$$X_{MPI} = \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times C_3 \times \cdots \times C_n} \tag{2}$$

式中： C_n 指第*n*种重金属实测值的均值（mg/kg）。

1.2.4 食用安全性评价

采用联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会（JECFA）对于水产品中有害重金属的每周可耐受摄入量（PTWI）为参考标准，对捕捞水产品暴露铅、镉、总汞、无机砷

的风险情况进行评估。评价方法如下：

$$AWI = C_i \times WC \tag{3}$$

式中：AWI—成人每周实际重金属摄入量（mg）； C_i —水产品重金属含量（mg/kg）；WC—人均每周水产品消费量（kg），根据2010—2012年对福建省内5个调查点（城市调查点3个，农村调查点2个，调查点多为沿海城市）共计2402人的调查表明，福建省鱼虾类人均消费量为63.41 g/d（即0.444 kg/周）^[12]。

$$PTWI（成人）= PTWI \times 成人体重 \tag{4}$$

式中：PTWI—JECFA制定的污染物每周可耐受摄入量（mg/kg），铅、镉、汞、无机砷的PTWI值分别为0.025、0.007、0.005、0.015 mg/kg；PTWI（成人）—成人每周可耐受摄入量（mg）；成人体重以70 kg计。

以AWI占PTWI（成人）的百分比即AWI/PTWI（成人）×100%，对捕捞水产品中重金属的膳食暴露情况进行评估。

1.2.5 食用健康风险评价

不同类型污染物通过食入途径进入人体后所引起的健康风险，包括致癌物所导致的健康风险和非致癌物所导致的健康风险^[13]。

致癌物所导致的健康风险模型为：

$$R_{ig}^c = [1 - \exp(-D_{ig} \times q_{ig})] / 70 \tag{5}$$

式中： R_{ig}^c 为重金属 i 经食入途径所产生平均个人致癌年风险 (a^{-1})； D_{ig} 为重金属 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量 [$mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$]； q_{ig} 为重金属 i 经食入途径的致癌强度系数 ($kg \cdot d \cdot mg^{-1}$)，其数值见表 3；70 为人类平均寿命 (a)。

非致癌物所导致的健康风险模型为：

$$R_{ig}^c = (D_{ig} \times 10^{-6}) / (P_{ig} \times 70) \tag{6}$$

式中： R_{ig}^n 为重金属 i 经食入途径所产生平均个人非致癌年风险 (a^{-1})； P_{ig} 为重金属 i 经食入途径的调整剂量 [$mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$]。

重金属 i 经食入途径的单位体重日均暴露剂量 D_{ig} 计算公式为：

$$D_{ig} = m_{ig} \times C_i / 70 \tag{7}$$

式中： m_{ig} 为成人平均每日摄入的水产品肌肉的量 (mg)； C_i 为水产品肌肉重金属含量 ($mg \cdot kg^{-1}$)；70 为成年人平均体重 (kg)。

调整剂量 P_{ig} 计算公式为：

$$P_{ig} = R_f D_{ig} / A \tag{8}$$

式中： $R_f D_{ig}$ 为重金属 i 经食入途径的参考剂量 [$mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$]，其数值见表 3； A 为安全因子，取 10。

假设水产品重金属对人体健康危害的毒性作用呈加和关系，而不是协同或拮抗关系，重金属 i 总的食入健康风险 ($R_{i总}$) 为：

$$R_{i总} = R_{ig}^n + R_{ig}^c \tag{9}$$

为比较不同种类水产品对人体健康风险的差异，假设各种重金属对人类健康危害的毒性作用呈加和关系，而不是协同关系或拮抗关系，则不同种类水产品总的食入健康风险 ($R_{总'}$) 为：

$$R_{总'} = \sum_{i=1}^n R_{i总} \tag{10}$$

式中： n 为检测的重金属数。

表 3 模型参数 q_{ig} 和 $R_f D_{ig}$ 值^[14-15]
Tab. 3 Model index q_{ig} and $R_f D_{ig}$ ^[14-15]

重金属 Heavy metal	$q_{ig}/kg \cdot d \cdot mg^{-1}$	$R_f D_{ig}/mg \cdot (kg \cdot d)^{-1}$
铅 Pb	0.008 5	1.4×10^{-3}
镉 Cd	0.38	1×10^{-3}
总汞 Total Hg	/	1×10^{-4}
无机砷 Inorganic As	1.5	3×10^{-4}

注：/表示无致癌风险。

Note：/ meant no risk of cancer.

2 结果与讨论

2.1 捕捞水产品中重金属含量基本情况

检测的 160 个样品中重金属含量范围、平均

值、超标率与超标品种如表 4 所示，铅、镉、总汞和无机砷 4 种重金属只有镉超标，超标率为 9.4%，超标品种为梭子蟹和口虾蛄。

表 4 重金属含量基本情况
Tab. 4 Concentration of heavy metals in fishing aquatic products

重金属 Heavy metal	范围/(mg/kg) Content range	平均值/(mg/kg) Mean	超标率/% Over limit rate	超标品种 Species of over limit rate
铅 Pb	nd ~ 0.361	0.023 6	0	/
镉 Cd	nd ~ 1.78	0.113	9.4	梭子蟹、口虾蛄
总汞 Total Hg	0.002 1 ~ 0.225	0.030 3	0	/
无机砷 Inorganic As	nd ~ 0.060 4	0.011 4	0	/

注：nd 表示未检出。

Note：nd meant the heavy metal was undetected.

2.2 不同种类捕捞水产品中重金属含量

分别检测海水鱼类和甲壳类样品 125 份和 35 份。海水鱼类铅、镉、总汞和无机砷平均含量均较低，分别为 0.018 8mg/kg、0.003 45 mg/kg、0.031 5 mg/kg 和 0.010 4 mg/kg，且不存在超标样品；甲壳类铅、镉、总汞和无机砷平均含量分别为 0.040 7 mg/kg、0.504 mg/kg、0.025 9 mg/kg 和 0.015 1 mg/kg，其中镉存在超标样品，超

标率为 42.9%，超标品种为梭子蟹和口虾蛄。

2.3 不同年份捕捞水产品中重金属含量

2014 年和 2015 年分别检测水产品样品 80 份，通过对不同年份水产品中重金属含量和超标率的统计分析，结果表明水产品中镉含量存在明显差异，其他重金属无明显差异，主要因为 2015 年采样新增了梭子蟹和口虾蛄两种甲壳类，而且只有梭子蟹和口虾蛄中镉含量超标。

表 5 不同年份水产品中重金属含量
Tab.5 Heavy metal content of fishing aquatic products in different years

重金属 Heavy metal	指标 Index	年份 Year	
		2014	2015
铅 Pb	数量	80	80
	含量范围/(mg/kg)	nd~0.342	nd~0.361
	平均值/(mg/kg)	0.021 1	0.024 9
	超标率/%	0	0
镉 Cd	含量范围/(mg/kg)	nd~0.088 5	nd~1.78
	平均值/(mg/kg)	0.006 55	0.220
	超标率/%	0	18.8
	含量范围/(mg/kg)	0.002 1~0.153	0.004 7~0.225
总汞 Total Hg	平均值/(mg/kg)	0.027 5	0.033 1
	超标率/%	0	0
	含量范围/(mg/kg)	nd~0.060 4	nd~0.059 2
无机砷 Inorganic As	平均值/(mg/kg)	0.010 6	0.012 2
	超标率/%	0	0

注:nd 表示未检出。
Note:nd meant the heavy metal was undetected.

2.4 不同种类捕捞水产品中重金属评价

2.4.1 单因子污染指数法

根据重金属单因子污染指数法和评价标准对不同种类水产品中铅、镉、总汞和无机砷的污染情况进行计算和评价。评价结果如表 6 所示，水产品中无机砷的 P_i 值均处于正常背景值水平之内。沙丁鱼中铅含量达到了轻度污染水平，其余水产品中铅均处于正常背景值水平。甲壳类镉含量达到了重污染水平，远高于鱼类，受污染的品种为口虾蛄和梭子蟹，研究发现浙江、福建和广东等沿海省份甲壳类水产品中均有出现镉污染状况^[16]，说明这两种甲壳类对重金属富集能力较

强。水产品中总汞的 P_i 值均处于正常背景值水平之内，NY 5073—2006《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量标准》以甲基汞的含量作为限值，根据相关报道，鱼类等海产品中 80% 的汞以甲基汞的形式存在，甲基汞的浓度与总汞的浓度成正比^[17]。国内有关研究结果表明，海洋软体动物体内甲基汞含量占总汞含量的 42.1%~61.6%，鱼类占 66.2%~91.5%；水产品（含淡、海水鱼以及贝类）约占 20.0%~95.0%^[18-19]。由于捕捞水产品中总汞含量较低，本研究未进一步测定甲基汞含量，但从本次调查的水产品总汞含量数据分析，即使总汞含量全部

视为甲基汞含量，捕捞水产品中甲基汞含量也均远低于 NY 5073—2006 《无公害食品 水产品中有毒有害物质限量标准》中的规定限值。

表 6 不同种水产品中重金属污染指数 (P_i)
Tab. 6 Heavy metal single factor pollution index (P_i) for fishing aquatic products

类群 Group	种类学名 Species	重金属污染指数(P_i) Pollution index (P_i)			
		铅 Pb	镉 Cd	总汞 Total Hg	无机砷 Inorganic As
鱼类 Fishes	蓝点马鲛鱼	0.02	0.06	0.01	0.10
	蓝圆鲀	0.08	0.02	0.02	0.10
	沙丁鱼	0.30	0.02	0.01	0.10
	鲐鱼	0.02	0.08	0.02	0.10
	银鲳鱼	0.03	0.01	0.02	0.10
	鲷鱼	0.01	0.01	0.01	0.10
	带鱼	0.02	0.04	0.03	0.10
	小黄鱼	0.08	0.01	0.02	0.10
	鮫鰵	0.01	0.04	0.09	0.10
	单角革鲀	0.01	0.005	0.01	0.10
	海鳗	0.02	0.05	0.05	0.10
	棘头梅童鱼	0.07	0.02	0.02	0.10
	金线鱼	0.01	0.01	0.15	0.10
	棱鲛	0.01	0.005	0.01	0.10
甲壳类 Crustaceans	平均值	0.04	0.03	0.03	0.10
	鹰爪虾	0.05	0.06	0.01	0.03
	长毛明对虾	0.02	0.03	0.03	0.02
	口虾蛄	0.15	2.29	0.01	0.02
	梭子蟹	0.14	2.30	0.01	0.05
	平均值	0.08	1.01	0.05	0.03

2.4.2 重金属含量综合分析

根据重金属污染指数法（MPI）对不同种水产品中铅、镉、总汞和无机砷的污染情况进行计算和评价，结果见表 7，中上层栖息鱼类、近底层/底层栖息鱼类和甲壳类重金属污染指数平均值分别为 0.008 4、0.008 0 和 0.033 5，甲壳类明显高于鱼类。这可能是由于一方面大部分重金属常被水体中的悬浮颗粒和底泥吸附，另一方面甲壳类一般栖息于靠近底质的环境中，以沉积物中的多毛类等生物为主要饵料，而鱼类的活动范

围大、远离重金属含量高的沉积物，因此其体内重金属含量相对于甲壳类较低^[20]，说明生物的栖息环境对其体内重金属含量有较大影响。甲壳类中重金属污染指数依次为梭子蟹>口虾蛄>对虾>鹰爪虾。有研究^[21]发现鱼类对重金属的富集因食性、栖息水层不同而存在明显差异，从图 1、2 可以看出栖息在底层的肉食性鱼类鮫鰵和海鳗的重金属污染指数略高于杂食性和滤食性鱼类。

表 7 不同水层水产品中重金属含量综合评价
Tab. 7 Heavy metal pollution index (MPI) for fishing aquatic products

类群	栖息环境	数量	重金属污染指数范围(X_{MPI})	平均值
Group	Habitats	Number	Pollution index (MPI)	Mean
鱼类 Fishes	中上层	67	0.003 6 ~ 0.010 5	0.008 4
	近底层/底层	58	0.004 0 ~ 0.013 6	0.008 0
甲壳类 Crustaceans	底层	35	0.003 7 ~ 0.155 0	0.033 5

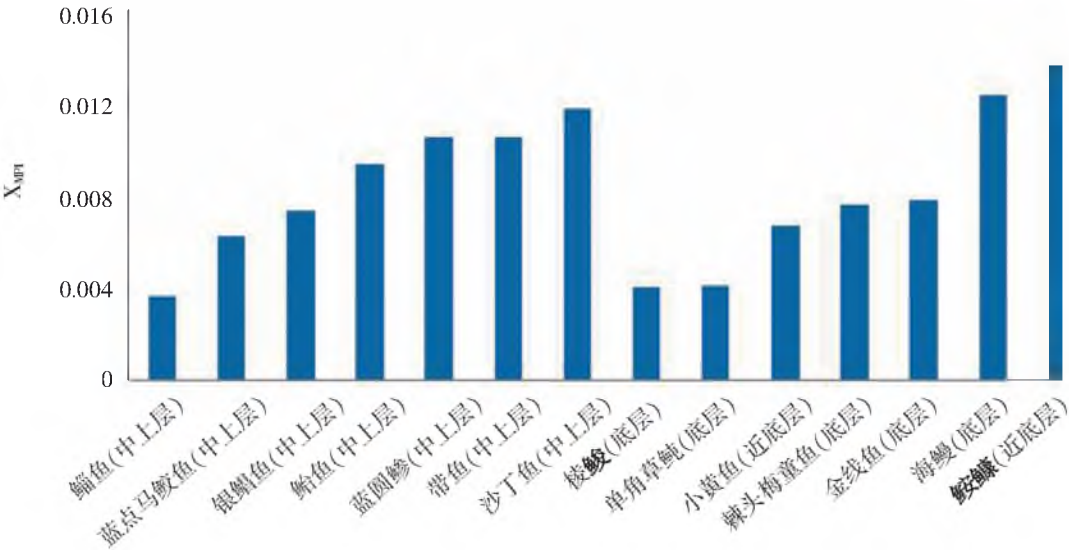


图 1 不同水层鱼类重金属污染指数
Fig.1 Heavy metal pollution index (MPI) for fishes of different water layers

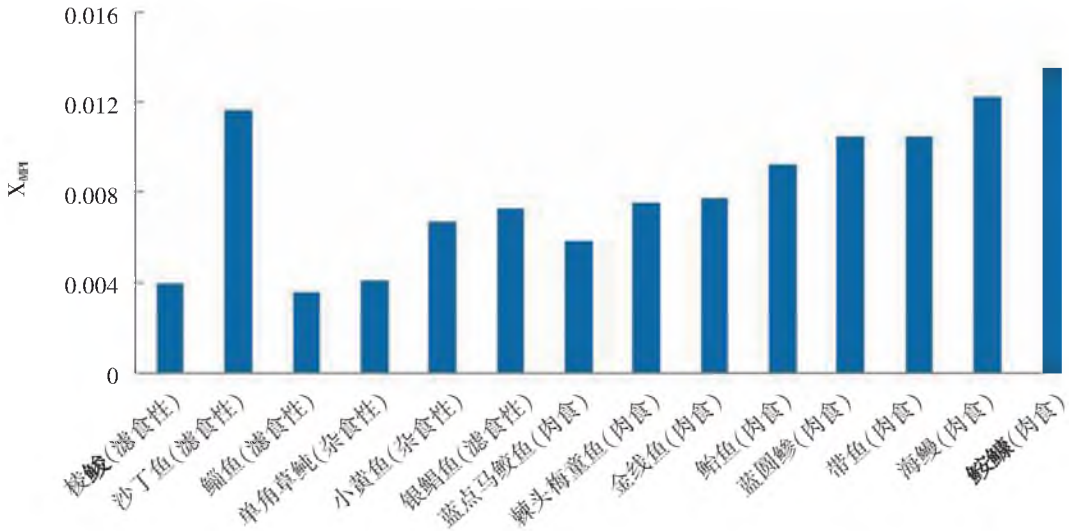


图 2 不同食性鱼类重金属污染指数
Fig.2 Heavy metal pollution index (MPI) for fishes of different feeding habits

2.4.3 食用安全性评价

依据各类水产品中重金属的平均值及最高值，计算出每周摄入某种重金属的平均量及最高量，再根据摄入量计算占 PTWI 的百分比，对捕捞水产品中铅、镉、总汞和无机砷的人体暴露情况进行评估，结果列于表 8。以各类水产品重金属平均含量计，铅、镉、总汞和无机砷的 AWI

占 PTWI（成人）比例在 0.2% ~ 44.9% 之间，说明目前成人每周食用的捕捞水产品的重金属摄入量低于 JECFA 推荐的 PTWI 值，总体是安全的。但以重金属最大值计算，个别甲壳类（梭子蟹和口虾蛄）的镉摄入量超过了 PTWI（成人）值，说明镉摄入的风险性较大，存在食用安全性风险。

表 8 水产品中人均每周实际重金属摄入量及其占 PTWI 比

Tab. 8 Weekly intakes of heavy metals from fishing aquatic products by people and their accounts for the percent of PTWI

重金属 Heavy metal	种类 Group	PTWI /(mg/kg)	PTWI (成人)/mg	平均值计算 Mean		最大值计算 Maximum	
				AWI/mg	AWI/PTWI	AWI/mg	AWI/PTWI
铅 Pb	鱼类	0.025	1.75	0.007	0.4	0.15	8.6
	甲壳类			0.017	1.0	0.16	9.1
镉 Cd	鱼类	0.007	0.49	0.0015	0.3	0.0170	3.5
	甲壳类			0.22	44.9	0.78	159.0
总汞 Total Hg	鱼类	0.005	0.35	0.015	4.3	0.068	19.4
	甲壳类			0.012	3.4	0.044	12.6
无机砷 Inorganic As	鱼类	0.015	1.05	0.005	0.5	0.024	2.3
	甲壳类			0.002	0.2	0.027	2.6

2.4.4 健康风险评价

在讨论了捕捞水产品食用安全性的基础上，本文进一步讨论其健康风险，此处以水产品中各类重金属含量的最大值进行计算，福建省捕捞水产品通过食入途径所产生的个人健康风险如表 9 所示，各类水产品中 4 种重金属的最大食入健康风险均小于国际辐射防护委员会（ICRP）推荐

的最大可接受水平 $5.0^{[14]}$ ，说明福建省捕捞水产品经食入途径所产生的健康风险处于可接受范围内，可放心食用。4 种重金属中镉的总食入健康风险最大，不同种类水产品中甲壳类的食入健康风险高于鱼类，这与食用安全性评价结果基本一致。

表 9 重金属经食入途径所产生个人健康风险

Tab. 9 Personal health risk caused by metal intake a⁻¹

类群 Group	重金属 Heavy metal	R_{ig}^c	R_{ig}^a	$R_{i总}$	$R_{总}$
鱼类 Fishes	铅	3.76×10^{-8}	3.16×10^{-8}	6.92×10^{-8}	1.65×10^{-6}
	镉	1.47×10^{-7}	3.86×10^{-9}	1.50×10^{-7}	
	总汞	/	2.91×10^{-7}	2.91×10^{-7}	
	无机砷	1.11×10^{-6}	2.48×10^{-8}	1.14×10^{-6}	
甲壳类 Crustaceans	铅	3.97×10^{-8}	3.34×10^{-8}	7.31×10^{-8}	1.04×10^{-5}
	镉	8.75×10^{-6}	2.30×10^{-7}	8.98×10^{-6}	
	总汞	/	1.26×10^{-7}	1.26×10^{-7}	
	无机砷	1.17×10^{-6}	2.61×10^{-8}	1.20×10^{-6}	

2.5 福建沿岸海域与其他海域水产品重金属含量水平比较

有关福建海域游泳性经济水产品重金属含量的历史调查研究数据几乎欠缺，而 2014 年福建省才首次开展捕捞水产品的安全检测，因此没有相关的历史资料可进行比较，现将本次调查结果与国内不同海域水产品中重金属含量进

行比较，具体见表 10。福建中北部海域鱼类中铅、镉、总汞和无机砷含量均低于或相近于其他海域鱼类的重金属水平，基本上处于良好状态。福建北部海域甲壳类重金属污染以镉为主，其他重金属含量均低于或相近于其他海域，但国内其他海域甲壳类中镉出现了不同程度的污染状况，应引起注意。

表 10 不同海域水产品中重金属含量水平比较
Tab. 10 Comparison of contents of heavy metals in fishing aquatic products from different waters

水域 Waters	类群 Group	调查年份 Year	重金属含量/(mg/kg) Content			
			铅 Pb	镉 Cd	总汞 Total Hg	无机砷 Inorganic As
江苏黄海海域 ^[22] Yellow Sea of Jiangsu	鱼类	2007	0.12	0.007	0.02	1.44 (总砷含量)
	甲壳类		0.02	0.49	0.003	5.09 (总砷含量)
浙江沿海海域 ^[23] Zhejiang inshore	鱼类	2016	/	/	0.003~0.13	nd
	甲壳类		/	/	0.002~0.09	nd
福建中北部海域 Central and northern waters of Fujian	鱼类	2014—2015	0.018 8	0.003 45	0.031 5	0.010 4
	甲壳类		0.040 7	0.504	0.025 9	0.015 1
广东沿海海域 ^[24] Guangdong inshore	鱼类	2007	0.01	0.01	/	/
	甲壳类		/	/	/	/
广西沿海海域 ^[25] Guangxi inshore	鱼类	1998	0.18	0.019	0.024	0.096
	甲壳类		0.15	0.246	0.038	0.090

注:nd 表示未检出。
Note:nd meant the heavy metal was undetected.

3 结语

通过连续两年对福建中北部海域 18 个种类共 160 个捕捞水产品进行铅、镉、总汞和无机砷含量的检测，分析结果表明目前铅、总汞和无机砷含量都小于规定限量，全部合格，重金属镉存在污染，超标率为 9.4%，超标品种为口虾蛄和梭子蟹。甲壳类重金属污染指数高于鱼类，底层肉食性鱼类的重金属污染指数略高于杂食性和滤食性鱼类。食用安全性评价和健康风险评价结果表明重金属镉的摄入风险性较大，存在食用安全性风险，建议适量食用并均衡饮食，其他重金属的食用安全及健康风险水平均处于可接受范围内。由于重金属在生物体内可以高度富集，并对消费人群产生严重危害，因此当地政府在发展工

业与经济的同时，应高度重视海洋环境的保护。

参考文献：

[1] 福建省海洋与渔业厅. 福建省渔业统计年鉴(2016 年) [R]. 福州: 福建省海洋与渔业厅, 2016.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 何琳, 江敏, 戴习林, 等. 养殖鱼体中重金属污染状况评价 [J]. 食品工业科技, 2013, 34 (10): 49-58.

[5] 赵鹏, 张荣灿, 覃仙玲, 等. 北部湾钦州港近江牡蛎重金属污染分析 [J]. 水产学报, 2017, 41

- (5): 806–815.
- [6] 宋春丽, 王联珠, 江艳华, 等. 中国和 CAC、美国、欧盟、加拿大、日本水产品质量分级标准比较分析 [J]. 中国渔业质量与标准, 2012, 2 (1): 7–17.
- [7] 刘金铃, 徐向荣, 丁振华, 等. 海南珊瑚礁区鱼体中重金属污染特征及生态风险评价 [J]. 海洋环境科学, 2013, 32 (2): 262–266.
- [8] 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.
- [9] 王灶生, 赵佩红, 颜昌宙. 马銮湾养殖区生物体重金属含量特征与安全性评价 [J]. 海洋环境科学, 2014, 33 (6): 830–836.
- [10] Usero J, Gonzalez – Regalado E, Gracia I. Trace metals in the bivalve mollusks *Ruditapes decussates* and *Ruditapes philippinarum* from the atlantic coast of Southern Spain [J]. Environment International, 1997, 23 (3): 291–298.
- [11] Yap C K, Ismail A, Tan S G. Background concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in the green – lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from Peninsular Malaysia [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46 (8): 1043–1048.
- [12] 赖善裕, 黄峥, 阳丽君, 等. 2010—2012 年福建省部分城乡居民膳食结构分析 [J]. 预防医学论坛, 2016, 22 (6): 409–412.
- [13] Qiu Y W, Lin D, Liu J Q, et al. Bioaccumulation of trace metals in farmed fish from South China and potential risk assessment [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74 (3): 284–293.
- [14] 马挺军, 林炳荣, 贾昌喜. 再生水养殖鱼体内重金属残留及食用风险分析 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (5): 332–336.
- [15] 杜冰, 孙鲁闽, 郝文博, 等. 台海浅滩渔场不同水产品中重金属含量与暴露风险评价 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35 (11): 2049–2058.
- [16] 王伟, 刘国庆. 水产品中重金属镉污染安全评估 [J]. 现代农业科技, 2011, (11): 326–327.
- [17] 高志强, 张毅强, 李杰, 等珠江入海口海产品中总汞与甲基汞含量特征及食用风险 [J]. 生态环境学报, 2015, 24 (9): 1499–1504.
- [18] 福建省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 福建省海岸带和海涂资源综合调查报告 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 274.
- [19] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 南海渔业生态环境与生物资源的污染效应研究 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 50.
- [20] 王增焕, 林钦, 王许诺, 等. 大亚湾经济类海洋生物体的重金属含量分析 [J]. 南方水产, 2009, 5 (1): 23–28.
- [21] 陆超华. 南海北部海域经济水产品的重金属污染及其评价 [J]. 海洋环境科学, 1995, 14 (2): 12–19.
- [22] 孙剑, 顾雪元, 张爱茜, 等. 江苏省黄海海域生物质量调查及污染评价 [J]. 海洋科学, 2010, 34 (6): 28–33.
- [23] 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, 2017, 44 (9): 247–253.
- [24] 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.
- [25] 廉雪琼, 王运芳, 陈群英. 广西近岸海域海水和沉积物及生物体中的重金属 [J]. 海洋环境科学, 2001, 20 (2): 59–62.

Concentrations and risk evaluation of four kinds of heavy metals in fishing aquatic products of the central and northern sea areas of Fujian Province

WU Yefei, CHEN Huorong, WU Zhen, PAN Youhao, CHEN Peijun

(Ocean Environment and Fishery Resources Monitoring Center of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

Abstract: In order to understand the metal pollution and human health risk of fishing aquatic products, this article analyzed concentrations of Pb, Cd, Hg and inorganic arsenic in fishing aquatic products which included 160 samples and 18 species from the central and northern waters of Fujian during 2014 and 2015. Single factor pollution index (P_i) and metal pollution index (MPI) were used to evaluate the degree of pollution, and provisional tolerable weekly intake (PTWI) and carcinogenic risks were used to assess the edible safety and health risk, respectively. The results showed that the contents of Pb, Hg and inorganic arsenic in fishing aquatic products were in line with national standards, while the content of Cd reached the criteria of pollution, with the exceeding rate of 9.4%. P_i indicated that the fish was not obviously polluted by heavy metals, which was basically in good state, while Cd in *Oratosquilla* and crab reached the criteria of “heavy pollution” and others were in good state. The MPI result showed that the heavy metal pollution in the shellfish was more serious than that in the fish. The edible safety assessment indicated that intake of four kinds of heavy metals by eating fishing aquatic products were lower than those formulated by FAO and JECFA monthly tolerable intake, but the Cd intake of a minority of shellfish was exceeded the PTWI value. The model estimation for health risk indicated that concentrations of heavy metal did not exceed the recommended maximum acceptable levels set by International Commission on Radiological Protection (ICRP). Overall, although fishing aquatic products in Fujian Province can be safely consumed, potential risk of Cd still calls for further attention.

Key words: The central and northern waters of Fujian; fishing aquatic products; heavy metal; evaluation