

青岛近海主要海捕水产品中金属元素与石油烃含量分析

翟明丽^{1,2}, 赵艳芳^{1*}, 翟毓秀¹, 尚德荣¹, 盛晓风¹, 丁海燕¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071; 2. 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214182)

摘要: **目的** 对青岛近海主要海捕水产品开展质量安全与营养评价研究, 掌握捕捞水产品的食用安全现状。**方法** 全面分析青岛近海海域主要捕捞水产品中常量元素、微量元素、稀土元素以及石油烃的含量, 并进行食用安全评价分析。**结果** 研究表明青岛近海海域水产品中含有丰富的人体必需元素, 是补充人体矿物质营养的良好膳食来源。稀土元素总含量为 6.08~232 μg/kg, 且甲壳类高于鱼类。水产品中鱼类的有害微量元素及石油烃含量均符合我国水产品有毒有害物质限量标准, 但甲壳类中梭子蟹和虾蛄的镉(Cd)和少数样品中石油烃含量存在超标情况。**结论** 亟需进一步加强水产品中有害元素的形态分析研究, 科学开展风险评估。**关键词:** 捕捞水产品; 重金属; 稀土元素; 石油烃

Determination and analysis of elements and petroleum hydrocarbon in seafood caught from Qingdao coastal waters

ZHAI Ming-Li^{1,2}, ZHAO Yan-Fang^{1*}, ZHAI Yu-Xiu¹, SHANG De-Rong¹, SHENG Xiao-Feng¹, DING Hai-Yan¹

(1. Yellow Sea Fishery Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214182, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the safety and nutrition of seafood caught from Qingdao coastal waters through a systematic determination and analysis. **Methods** The concentrations of heavy metals, rare earth elements (REEs) and petroleum hydrocarbon in seafood caught from Qingdao coastal waters were determined and systematically analyzed, and the safety assessment was also conducted. **Results** The results showed that seafood were enriched with beneficial macro elements and trace elements, and they could be regarded as good sources of dietary supplementing of the minerals and nutrition. The total content of rare earth elements ranged from 6.02 to 232.27 μg/kg, and was higher in crustaceans than in fish. The results also found that the contents of heavy metals and petroleum hydrocarbon in fish were far below the standard limits, while the concentrations of Cd and petroleum hydrocarbon in some samples of *Portunus trituberculatus* and *Oratosquilla oratoria* exceeded the standard limits. **Conclusion** The speciation analysis of harmful elements in seafood is needed for a more accurate risk assessment. **KEY WORDS:** fishing seafood; heavy metal; rare earth element; petroleum hydrocarbon

基金项目: 国家自然科学基金项目(41206101)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (41206101)

*通讯作者: 赵艳芳, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: zhaoyf@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: ZHAO Yan-Fang, Associate Research Fellow, Yellow Sea Fishery Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China. E-mail: zhaoyf@ysfri.ac.cn

1 引言

随着生活水平的提高,人们对饮食的营养价值越来越关注。水产品作为重要的动物性食物来源,因含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸、矿物质等营养元素而深受人们的喜爱。我国膳食指南也建议每人每天应摄食 50~100 g 鱼虾等水产品。有研究表明与养殖种类相比,野生鱼虾蟹类的营养品质更高^[1-3],所以尽管养殖水产品投入市场的比例已经超过野生捕捞水产品,但捕捞水产品无论在色泽、口感还是价格方面都占据着绝对的优势,深受消费者青睐。然而,这些水产品提供丰富营养的同时,也带来了一定的风险。因为鱼类、虾蟹类等海洋生物在从其生存的海洋环境中吸收营养物质的同时也能累积各种污染物质,并在食物链中积累放大进入人体,对人类健康构成威胁。其中重金属和石油烃是海洋污染物的重要组成部分,且持久性、不易降解性导致其易在海洋生物体内蓄积,直接影响水产品的营养价值和食用安全性。本研究以青岛近海海域 9 种常见的野生捕捞水产品为研究对象,较全面分析水产品中常量元素、微量元素、稀土元素和石油烃含量,对其营养价值及污染水平进行安全性评价,以期科学评估捕捞水产品食用安全性提供重要参考。

2 材料与方法

2.1 样品采集

2015 年 5 月和 9 月,采自青岛沙子口渔港码头、南姜渔港码头和积米崖渔港码头共 9 种常见的主要经济海捕水产品 80 个,产品种类及样本量见表 1。将样品解剖,取可食

用组织匀浆, -20 °C 冷冻保存备用。

2.2 检测方法

K、Ca、Na、Mg、P 的测定采用电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, ICP-AES); 微量元素 Fe、Mn、Al、Cu、Zn、As、Pb、Cd、Cr、Sr 的测定采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)^[4]。16 种稀土元素(Y、La、Ce、Pr、Nd、Sc、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu)的测定采用 ICP-MS^[5]。石油烃的测定采用荧光分光光度法^[6]。

2.3 数据分析

结果用平均值±标准差表示,并用 SPSS 20.0 统计分析软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)及 Duncan 和 Games-Howell 多重比较分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

3 结果与讨论

3.1 常量元素

9 种海捕水产品常量元素含量见表 2,可以看出青岛近海海域野生鱼虾蟹类中均含有丰富的必需元素,且各元素在不同水产品中含量分布不同,总体而言 K、P 含量较高, Ca 和 Na 次之,而 Mg 含量相对较低。9 种水产品中,虾蛄和梭子蟹中的 Na 含量显著高于其他种类,而其余 7 种水产品中 Na 含量差异不显著。K 在鲑鱼中的平均含量为 4.01 mg/g,显著高于其他种类。P 在鲑鱼和虾蛄中显著高于鲛鳃、鲳鱼、带鱼和鹰爪虾。鲛鳃中 Ca、Mg 的含量均显著低于其余种类。相比于我国其他海域同类水产品,本文中青岛近海海域小黄鱼的常量元素含量高于舟山海域

表 1 样品种类及样本量
Table 1 Sample species and sample size

种类	鲑鱼	海鳗	鲛鳃	小黄鱼	鲳鱼	带鱼	鹰爪虾	虾蛄	梭子蟹
样本量 <i>n</i>	10	8	12	7	7	8	11	9	8

表 2 9 种海捕水产品中常量元素含量(mg/g, 湿重, $n=3$)
Table 2 Macro elements concentrations in nine kinds of seafood (mg/g, wet weight, $n=3$)

元素种类 水产品种类	K	Ca	Na	Mg	P
鲑鱼	4.01±0.405 ^a	1.89±1.77 ^{ab}	1.24±0.657 ^b	0.426±0.0907 ^{ab}	3.09±0.898 ^a
海鳗	2.96±0.415 ^{bc}	1.98±0.913 ^{ab}	1.44±0.382 ^b	0.365±0.0659 ^b	2.56±0.854 ^{ab}
鲛鳃	3.27±0.405 ^b	0.134±0.859 ^c	1.49±0.344 ^b	0.285±0.0754 ^c	1.81±0.221 ^b
小黄鱼	3.01±0.201 ^{bc}	3.09±0.781 ^a	1.86±0.667 ^b	0.471±0.0873 ^a	2.02±0.878 ^{ab}
鲳鱼	2.81±0.812 ^{bc}	2.45±0.951 ^{ab}	1.23±0.563 ^b	0.390±0.0294 ^{ab}	1.38±0.311 ^b
带鱼	2.94±0.494 ^{bc}	2.70±1.41 ^{ab}	1.42±0.470 ^b	0.414±0.0635 ^{ab}	1.49±0.270 ^b
鹰爪虾	2.79±0.429 ^{bc}	0.896±0.233 ^b	1.78±1.41 ^b	0.429±0.0587 ^{ab}	1.88±0.684 ^b
虾蛄	2.55±0.481 ^c	0.923±0.188 ^b	3.38±0.585 ^a	0.458±0.0674 ^a	2.96±0.610 ^a
梭子蟹	2.92±0.369 ^{bc}	1.34±0.832 ^b	3.67±0.864 ^a	0.442±0.0697 ^{ab}	2.26±0.443 ^{ab}

注: 同一列数值上标有 1 个字母相同则表示无显著差异($P > 0.05$); 所有字母不相同, 则有显著差异($P < 0.05$)。

的小黄鱼^[7],梭子蟹和虾蛄中Ca、Na、Mg、P含量均高于浙江海域海捕梭子蟹^[8],海鳗中Ca、P含量也高于广东海域的海鳗含量^[9]。

3.2 微量元素

Fe、Mn、Cu、Zn、Sr是人体必需的微量元素,参与调节多种代谢过程,对于维持机体的健康具有重要作用。由表3可知,9种水产品中微量元素含量Fe>Sr>Zn>Cu>Mn。

本研究测得青岛附近海域水产品中Fe含量为3.25~17.9 mg/kg,类似或低于已有报道的1.35~19.0 mg/kg,0.870~27.9 mg/kg,2.67~26.1 mg/kg,36.2~145 mg/kg等国内外各海域水产品Fe含量^[10-13]。9种水产品中小黄鱼和鹰爪虾的Fe含量显著高于其他种类,鲛鳓则显著低于其他种类。Sr含量在梭子蟹中最高15.5 mg/kg,在鲛鳓中显著低于其他种类,多数种类普遍高于波斯湾海捕鱼类0.740~8.66 mg/kg Sr含量^[14]。本研究中水产品Mn含量为0.265~3.10 mg/kg,高于已有报道的辽宁海产品Mn含量(0~1.72 mg/kg)^[15],而低于珠江三角洲流域水产品含量(0.440~58.4 mg/kg)^[16]。

与Fe、Mn、Sr在各种水产品中含量分布不同,Cu、Zn在甲壳类鹰爪虾、虾蛄、梭子蟹的含量显著高于各种鱼类。Cu含量虾蛄>梭子蟹>鹰爪虾,依次为20.8、5.70、3.72 mg/kg。Zn含量梭子蟹>虾蛄>鹰爪虾,分别为17.7、17.3、9.52 mg/kg。而六种鱼类中Cu、Zn含量为0.120~0.234 mg/kg,2.69~6.20 mg/kg,均低于珠江三角洲、天津海域、地中海以及波斯湾等海域鱼类Cu、Zn含量^[14,17-19]。

Cr也是一种必需的微量营养元素,参与胰岛素调节活动和脂质代谢。但Cr存在毒性,且毒性与其存在的价态有关。我国《农产品安全质量无公害水产品安全要求》^[20]中规定鱼、贝类水产品中Cr含量不得超过2.00 mg/kg。本研究中测得Cr在9种水产品中含量为0.0040~0.12 mg/kg(表4),远远低于该标准限量值。

Al是人体非必需元素,在人体中参与神经毒性和神经变性疾病的发展。已有报道显示,波斯湾海域鱼类Al含量为0.47~7.5 mg/kg^[14],法国沿海海域鱼虾蟹类Al含量为0.10~26 mg/kg^[10],加拿大海域水产品Al含量为1.0~7.0 mg/kg^[21]。本研究中9种水产品Al含量为0.34~12 mg/kg,鹰爪虾含量最高,而鲳鱼含量最低。

As是一种有毒有害元素,本研究测得青岛附近海域水产品中总As含量为1.3~14 mg/kg。研究表明As在水产品中的毒性与其存在形式有关,其中无机砷毒性较大,有致癌性,甲基化砷的毒性较小,而砷甜菜碱(AsB)、砷胆碱(AsC)和砷糖则可以认为无毒^[22]。因此,总As含量并不能反映水产品中As的实际毒性。为了了解水产品中As的毒性水平,本研究采用液相色谱-电感耦合等离子体质谱联用技术(HPLC-ICP-MS)测定9种海捕产品中As的存在形态。结果表明,各种水产品中As主要以AsB形式存在,占

总As含量的51.91%~82.28%;毒性较低的甲基化砷仅在梭子蟹中检出二甲基砷酸盐(DMA),含量为0.03~0.12 mg/kg;毒性较大的三价砷则仅在个别虾蛄样品中检出,含量为0.01 mg/kg。由此可知,水产品中总As含量虽高,但大多以无毒形式存在,有毒形式的砷极少检出,且含量很低,均符合《GB2762-2012 食品中污染物限量》^[23]中无机砷的卫生限量标准0.1 mg/kg。

Pb和Cd是毒性较大的有害元素,能与体内蛋白组分结合干扰机体生理功能,对人体器官产生危害。本研究发现样品中Pb的含量普遍很低(表4),远低于《GB2762-2012 食品中污染物限量》中的限量标准0.5 mg/kg。Cd在鲛鱼、鲛鳓、小黄鱼和带鱼中含量很低,但梭子蟹和虾蛄中的含量分别高达1.78 mg/kg和2.71 mg/kg(表4),超出《GB2762-2012 食品中污染物限量》中甲壳类的限量标准0.5 mg/kg。

3.3 稀土元素

稀土元素属于重金属元素,是人体非必需元素,具有一定的毒性,人类稀土暴露的主要途径为膳食摄入,即动植物从环境中蓄积稀土元素,并通过食物链进入人体。研究表明,一般情况下低剂量的稀土元素对生物体的生理作用有益,但长期低剂量暴露或稀土污染食物的摄入可能会给人体健康带来不良后果^[24-26]。

由表5可知,9种海捕水产品中16种稀土元素的总含量不同,其中甲壳类梭子蟹、虾蛄、鹰爪虾含量较高,依次为232、192、182 μg/kg。鱼类中稀土元素含量鲛鱼>鲛鳓>海鳗>小黄鱼>带鱼>鲳鱼,总含量在6.08~133 μg/kg范围。不同稀土元素在水产品中的含量分布不同,其中Sc、Ce、La、Nd、Y在9种水产品中的含量较高,尤其Sc和Ce分别占到总量的56.57%和17.56%。除Sc外其他稀土元素在甲壳类中的含量均高于鱼类。9种水产品中轻稀土的含量要远远高于重稀土,占稀土总量的89.63%~99.54%。表明鱼虾蟹类对轻稀土元素的富集能力远高于重稀土元素。杨路平等^[27]测定猪牛羊肉中的稀土元素表明La和Ce含量最多,而本研究采集的海捕水产品中则是Sc和Ce含量最高,且16种稀土元素中,除La、Tm和Lu外,其他元素平均含量都比猪牛羊肉的含量高。王李伟、Jiang等^[28,29]分别对上海以及全国水产品中16种稀土元素含量进行测定,得到稀土元素总量和平均值分别为120 μg/kg和283 μg/kg,而本研究中稀土元素总量均值为132 μg/kg。

3.4 石油烃

石油烃是一类由碳和氢元素组成的烃类物质,含有多多种难以被降解的致癌化合物,会通过食物链传递到人体,影响人类健康。目前,我国制订的水产品中石油烃限量值为15 mg/kg。本研究测定结果(表6)显示9种水产品的石油烃平均含量均符合限量标准,但其中仍有个别梭子蟹和虾

蛄石油烃含量超过限量标准 15 mg/kg, 分别达到 20.2、22.8、15.3 mg/kg。该结果与孙万胜等^[30]指出的甲壳类比鱼类具有更高的石油烃积累能力, 且其代谢和释放石油烃的能力远小于鱼类结论一致。本研究中 9 种水产品石油烃平均含量梭子蟹>虾蛄>鹰爪虾>海鳗>鲅鱼>鮫鱼>小黄鱼>鲳鱼>带鱼, 可以看出甲壳类石油烃含量均高于鱼类。郭楠等^[31]对辽宁水产品中石油烃含量的统计为鱼类 5.7 mg/kg、虾

类 0.30 mg/kg。与其他海域相比, 青岛附近海域的各种鱼类及鹰爪虾石油烃含量均低于天津大港海域, 但虾蛄要高于其 5.91 mg/kg 的含量^[32]; 带鱼、鹰爪虾和虾蛄的石油烃含量均低于山东半岛南部近海水域^[33], 而虾蛄、梭子蟹和鲳鱼的石油烃含量均高于渤海湾^[30]和浙江沿岸海域^[34]; 整体鱼类和甲壳类石油烃含量也比江苏黄海海域鱼类和甲壳类石油烃含量低^[35]。

表 3 9 种水产品中有益微量元素含量(mg/kg, 湿重, n=3)
Table 3 Beneficial trace elements concentrations in nine kinds of seafood (mg/kg, wet weight, n=3)

	Fe	Mn	Cu	Zn	Sr
鲅鱼	13.0±5.42 ^{ab}	0.953±0.958 ^{ab}	0.150±0.0900 ^{cd}	4.45±1.99 ^{cd}	5.04±4.30 ^b
海鳗	9.78±3.63 ^b	3.10±2.27 ^{ab}	0.214±0.141 ^{cd}	5.23±1.39 ^c	9.72±6.14 ^{ab}
鮫鱼	3.25±2.52 ^c	0.265±0.146 ^a	0.122±0.050 ^{cd}	2.69±0.584 ^d	0.619±0.521 ^c
小黄鱼	17.9±4.15 ^a	1.33±0.270 ^b	0.234±0.0516 ^c	5.02±0.739 ^c	12.5±3.26 ^a
鲳鱼	12.9±4.22 ^{ab}	1.30±0.917 ^{ab}	0.120±0.0374 ^d	6.20±1.86 ^{cd}	10.5±4.37 ^{ab}
带鱼	14.7±5.39 ^{ab}	0.886±0.310 ^{ab}	0.198±0.0402 ^{cd}	4.87±0.768 ^c	10.3±5.03 ^{ab}
鹰爪虾	17.7±6.90 ^a	1.00±0.391 ^b	3.72±0.966 ^b	9.52±1.87 ^b	8.24±3.42 ^{ab}
虾蛄	8.49±2.65 ^b	0.968±0.233 ^b	20.8±3.57 ^a	17.3±1.58 ^a	9.74±4.20 ^{ab}
梭子蟹	17.0±4.94 ^{ab}	2.04±1.12 ^{ab}	5.70±3.57 ^b	17.7±3.43 ^a	15.5±13.7 ^{ab}

注: 同一列数值上标有 1 个字母相同则表示无显著差异(P>0.05); 所有字母不相同, 则有显著差异(P<0.05)。

表 4 9 种水产品中有害微量元素含量(mg/kg, 湿重, n=3)
Table 4 Harmful trace elements concentrations in nine kinds of seafood (mg/kg, wet weight, n=3)

	Cr	Al	As	Pb	Cd
标准限量值	2.00	—	总砷(—) 无机砷(0.1)	0.50	0.10 (鱼类) 0.50 (甲壳类)
鲅鱼	0.011±0.057	1.5±0.51	1.3±0.72	0.020±0.016	0.0045±0.0026
海鳗	0.089±0.095	1.4±0.39	2.4±1.4	0.0094±0.0081	0.0083±0.0047
鮫鱼	0.053±0.047	0.78±2.3	4.8±1.9	0.0017±0.0033	0.00090±0.0011
小黄鱼	0.041±0.075	2.9±0.76	1.9±0.21	0.0045±0.036	0.0044±0.0013
鲳鱼	0.023±0.032	0.34±0.060	1.6±0.53	0.042±0.025	0.0054±0.0027
带鱼	0.0040±0.0090	0.35±0.28	1.7±0.39	0.024±0.022	0.0050±0.0027
鹰爪虾	0.10±0.057	12±5.6	3.1±2.9	0.011±0.0056	0.030±0.045
虾蛄	0.078±0.066	2.7±1.9	14±1.5	0.024±0.031	2.7±0.62
梭子蟹	0.12±0.088	8.9±5.1	3.9±3.9	0.0080±0.0028	1.8±0.48

表 5 9 种海捕水产品中稀土元素含量($\mu\text{g}/\text{kg}$, 湿重, $n=3$)
Table 5 Rare earth elements concentrations in nine kinds of seafood ($\mu\text{g}/\text{kg}$, wet weight, $n=3$)

	鲅鱼	鹰爪虾	鲛鳕	梭子蟹	虾蛄	海鳗	小黄鱼	鲳鱼	带鱼
钇 Y	1.37±1.35	9.92±5.39	0.595±0.426	15.3±2.53	12.6±3.82	1.56±0.540	2.44±0.670	0.350±0.260	0.340±0.360
镧 La	2.19±2.18	19.3±11.3	1.64±1.92	32.5±9.56	28.5±10.4	2.60±0.910	5.16±2.54	0.500±0.260	0.430±0.350
铈 Ce	12.4±9.90	40.6±23.9	7.94±6.71	57.0±18.4	38.1±18.9	8.95±3.50	13.4±6.60	1.34±1.14	3.54±1.45
镨 Pr	0.472±0.500	4.44±2.60	0.378±0.387	5.89±1.93	3.85±1.76	0.560±0.180	1.27±0.610	0.130±0.060	0.110±0.0700
钕 Nd	1.92±1.77	17.2±9.90	1.42±1.50	23.7±7.02	14.6±7.23	2.15±0.740	4.62±2.15	0.570±0.280	0.360±0.320
钪 Sc	113±53.2	78.4±59.7	118±26.3	82.4±15.1	84.1±20.5	75.2±24.6	32.6±45.1	2.09±1.48	3.33±1.72
钐 Sm	0.392±0.415	3.42±1.82	0.221±0.248	4.22±0.860	2.58±1.09	0.530±0.180	1.05±0.290	0.430±0.210	0.330±0.150
铕 Eu	0.120±0.130	0.770±0.373	0.0496±0.0609	0.940±0.190	0.540±0.170	0.170±0.0900	0.390±0.150	0.270±0.160	0.200±0.100
钆 Gd	0.422±0.348	3.58±1.72	0.257±0.204	4.43±0.780	3.18±1.26	0.490±0.130	1.11±0.320	0.220±0.0900	0.300±0.0800
铽 Tb	0.0490±0.0550	0.337±0.292	0.0260±0.0246	0.490±0.120	0.340±0.140	0.0500±0.0300	0.0400±0.0700	ND	ND
镝 Dy	0.268±0.260	2.07±1.15	0.126±0.126	2.49±0.540	1.73±0.670	0.280±0.0900	0.480±0.170	0.0600±0.0200	0.0500±0.0500
铈 Ho	0.0470±0.0380	0.358±0.204	0.0262±0.0159	0.450±0.110	0.320±0.140	0.0600±0.0300	0.0800±0.0300	0.0100±0.0100	ND
铒 Er	0.201±0.0760	1.03±0.533	0.0920±0.0690	1.23±0.350	0.910±0.440	0.210±0.0900	0.280±0.0900	0.0400±0.0100	0.0300±0.0300
铥 Tm	0.0180±0.0130	0.130±0.0714	0.0850±0.0690	0.160±0.040	0.100±0.0400	0.0200±0.0100	0.0300±0.0100	0.0100±0.000	ND
镱 Yb	0.114±0.0880	0.760±0.409	0.0561±0.0235	0.970±0.250	0.580±0.240	0.140±0.0500	0.180±0.0500	0.0200±0.0200	0.0100±0.0200
镱 Lu	0.0180±0.0150	0.106±0.0655	0.0103±0.00640	0.140±0.030	0.0900±0.0400	0.0200±0.0100	0.0200±0.0100	ND	ND
总含量	133	182	132	232	192	93.0	63.2	6.08	9.60

表 6 9 种海捕水产品中石油烃含量(mg/kg , 湿重, $n=3$)
Table 6 Petroleum hydrocarbon concentrations in nine kinds of seafood (mg/kg , wet weight, $n=3$)

	鲅鱼	鹰爪虾	鲛鳕	梭子蟹	虾蛄	海鳗	小黄鱼	鲳鱼	带鱼
石油烃	3.92±1.52	5.80±4.00	3.75±3.41	12.2±8.17	8.97±4.61	4.58±3.39	2.67±2.87	2.17±2.33	1.00±1.37

4 结 论

本研究显示青岛近海海域海捕水产品中富含多种人体所需的营养元素, 含量分布因种类而异, 因此宜选择不同种类水产品, 均衡补充各种矿物质元素。同时, 本研究也有检出对人体存在毒性作用的有害微量元素, 但除 Cd 外均符合我国《GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量》的限量标准。

9 种水产品中只有梭子蟹和虾蛄存在有害物质超标情况。其中, Cd 在梭子蟹和虾蛄中含量严重超标, 且超标率为 100%。而石油烃在梭子蟹和虾蛄中也存在超标情况, 超标率分别为 33.3%和 11.1%。这种超标情况可能与梭子蟹

和虾蛄对 Cd 以及石油烃的强富集、低排出能力有关。因此, 应加强对梭子蟹和虾蛄的监测与管理, 深入研究其累积和排放机制, 同时应进一步加强有害元素形态分析研究, 开展科学风险评估。

目前, 我国《GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量》中只对植物性食品中稀土元素含量制订了限量要求, 并没有水产品方面的限量要求, 而本研究结果将为我国制订水产品中稀土元素的限量标准提供依据。

参考文献

- [1] 易建华, 马秀慧, 于丽娟, 等. 人工养殖鲈鱼肌肉生化成分分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(7): 62-68.

- Yi JH, Ma XL, Yu LJ, *et al.* On analyses of biochemical compositions in muscle of cultured *Perocypris pingi* [J]. *J Southwest Norm Univ*, 2013, 38(7): 62–68.
- [2] 朱国萍, 曹文红, 章超群, 等. 虾类微量元素含量的主成分分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2010, 30(1): 72–75.
- Zhu GP, Cao WH, Zhang CH, *et al.* Principal component analysis on trace elements of shrimp [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2010, 30(1): 72–75.
- [3] 徐善良, 张薇, 严小军, 等. 野生与养殖三疣梭子蟹营养品质分析及比较[J]. *动物营养学报*, 2009, 21(5): 695–702.
- Xu SL, Zhang W, Yan XJ, *et al.* Analysis and comparison of nutritional quality between wild and cultured *Portunus trituberculatus* [J]. *Acta Zoonutr Sin*, 2009, 21(5): 695–702.
- [4] SN/T 2208-2008 水产品中钠、镁、铝、钙、铬、铁、镍、铜、锌、砷、锶、钼、镉、铅、汞、硒的测定 微波消解-电感耦合等离子体质谱法 [S]. SN/T 2208-2008 Determination of sodium, magnesium, aluminium, calcium, chromium, iron, nickel, copper, zinc, arsenic, strontium, molybdenum, cadmium, lead, mercury, selenium in aquatic products- Microwave digestion-ICP/MS method [S].
- [5] Mayfield DB, Fairbrother A. Examination of rare earth element concentration patterns in freshwater fish tissues [J]. *Chemosphere*, 2015, 120: 68–74.
- [6] GB 17378.6-2007 海洋监测规范 石油烃 荧光分光光度法[S]. GB 17378.6-2007 The specification for marine monitoring Petroleum hydrocarbon Fluorescence [S].
- [7] 刘慧慧, 迟长凤, 李海峰. 舟山海域小黄鱼主要营养成分分析[J]. *营养学报*, 2013, 35(6): 604–606.
- Liu HH, Chi CF, Li HF. Analysis of the nutritional composition of *Pseudosciaena polyacti* in Zhoushan [J]. *Acta Nutr Sin*, 2013, 35(6): 604–606.
- [8] 金蕾, 徐善良, 邱成功, 等. 三疣梭子蟹肌肉组织中甜菜碱、糖原及无机盐变化研究[J]. *生物学杂志*, 2014, 4: 24–28.
- Jin L, Xu SL, Qiu CG, *et al.* Research on change of betaine, glycogen and inorganic ions in muscle tissue of *portunus trituberculatus* [J]. *J Biol*, 2014, 4: 24–28.
- [9] 曾少葵, 章超群, 蒋志红. 海鳗肌肉及鱼头营养成分的比较研究[J]. *海洋科学*, 2002, 26(5): 13–15.
- Zeng SK, Zhang CH, Jiang ZH. Study on the comparison of the food nutrient contents between the muscle and head of *Muraenesox Cinereus* [J]. *Mar Sci*, 2002, 26(5): 13–15.
- [10] Guérin T, Chekri R, Vastel C, *et al.* Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market [J]. *Food Chem*, 2011, 127(3): 934–942.
- [11] Qin D, Jiang H, Bai S, *et al.* Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China [J]. *Food Control*, 2015, 50: 1–8.
- [12] Medeiros RJ, Santos LMG, Freire AS, *et al.* Determination of inorganic trace elements in edible marine fish from Rio de Janeiro State, Brazil [J]. *Food Control*, 2012, 23(2): 535–541.
- [13] Tuzen M. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey [J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47(8): 1785–1790.
- [14] Ranjbar D, Abadi V, Dobaradaran S, *et al.* Comparative investigation of heavy metal, trace, and macro element contents in commercially valuable fish species harvested off from the Persian Gulf [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2015, 22(9): 6670–6678.
- [15] 徐强, 张华, 赵德丰, 等. ICP-AES 测定海产品中的微量元素[J]. *光谱实验室*, 2013, 30(5): 2621–2624.
- Xu Q, Zhang H, Zhao DF, *et al.* Determination of trace elements in seafood by ICP-MS [J]. *Chin J Spectrosc*, 2013, 30(5): 2621–2624.
- [16] Leung HM, Leung AOW, Wang HS, *et al.* Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China [J]. *Mar Pollut Bull*, 2014, 78(1–2): 235–245.
- [17] Cheng Z, Man YB, Nie XP, *et al.* Trophic relationships and health risk assessments of trace metals in the aquaculture pond ecosystem of Pearl River Delta, China [J]. *Chemosphere*, 2013, 90(7): 2142–2148.
- [18] Wang X, Sato T, Xing B, *et al.* Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish [J]. *Sci Total Environ*, 2005, 350(1–3): 28–37.
- [19] Türkmen M, Türkmen A, Tepe Y, *et al.* Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas [J]. *Food Chem*, 2009, 113(1): 233–237.
- [20] GB 18406.4-2001 农产品安全质量无公害水产品安全要求[S]. GB18406.4-2001 Safety qualification for agricultural product-Safety requirements for non-environmental pollution aquatic products [S].
- [21] Fraser M, Surette C, Vaillancourt C. Fish and seafood availability in markets in the Baie des Chaleurs region, New Brunswick, Canada: a heavy metal contamination baseline study [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2013, 20(2): 761–770.
- [22] 赵艳芳, 段元慧, 尚德荣, 等. 我国几种重要经济贝类中砷的含量及其形态特征转化规律[J]. *水产学报*, 2013, 37(5): 735–741.
- Zhao YF, Duan YH, Shang DR, *et al.* Arsenic content and speciation analysis of several economic shellfishes in China [J]. *J Fish China*, 2013, 37(5): 735–741.
- [23] GB2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. GB 2760-2011 National food safety standard Limits of contaminants in food [S].
- [24] 肖信锦, 李阳洋. 稀土元素在水产养殖中的应用研究[J]. *农技服务*, 2015, 32(4): 177–178.
- Xiao XJ, Li YY. Application of rare earth elements in aquaculture [J]. *Agric Technol Serv*, 2015, 32(4): 177–178.
- [25] 侯建荣, 彭荣飞, 许萍. 电感耦合等离子体质谱用于动物性食品中 14 种稀土元素的测定[J]. *中国卫生检验杂志*, 2009, 19(10): 2286–2288.
- Hou JR, Peng RF, Xu P. Determination of 14 rare earth elements for animal food by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2009, 19(10): 2286–2288.
- [26] Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems - A review [J]. *Plant Soil*, 2004, 267(1–2): 191–206.
- [27] 杨路平, 王国玲, 邵立君. 山东省市售生鲜肉中 16 种稀土元素含量的调查分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25(14): 2427–2428+2444.
- Yang LP, Wang GL, Shao LJ. Investigation and analysis of 16 rare earth elements in fresh meat from Shandong market [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2015, 25(14): 2427–2428+2444.
- [28] 王李伟, 李洁, 田明胜, 等. 上海市居民膳食中稀土元素暴露水平评估[J]. *环境与职业医学*, 2013, 30(4): 255–257+262.
- Wang LW, Li J, Tian M S, *et al.* Assessment of Shanghai residents exposure to rare earth elements from diet [J]. *J Environ Occup Med*, 2013,

- 30(4): 255-257+262.
- [29] Jiang DG, Yang J, Zhang S, *et al.* A survey of 16 rare earth elements in the major foods in China [J]. *Biomed Environ Sci*, 2012, 25(3): 267-271.
- [30] 孙万胜, 王秀芹, 王德兴, 等. 渤海湾(天津近岸)主要海洋生物中石油烃含量调查分析[J]. *天津水产*, 2012, 2: 22-25.
Sun WS, Wang XQ, Wang DX, *et al.* Investigation of petroleum hydrocarbon in marine biology in Bohai Bay (Tianjin Coastal waters)[J]. *Tianjin Aquac*, 2012, 2: 22-25.
- [31] 郭楠, 罗靳, 薄尔琳. 石油烃在辽宁省水产品中的生物富集与分析[J]. *河北渔业*, 2015, 5: 12-13+25.
Guo N, Luo J, Bo EL. Accumulation and analysis of petroleum hydrocarbon in aquatic product in Liaoning province [J]. *Hebei Fish*, 2015, 5: 12-13+25.
- [32] 李厦, 刘宪斌, 田胜艳, 等. 天津大港近岸海域生物体内重金属、石油烃含量及其安全风险评价[J]. *安全与环境学报*, 2013, 3: 157-160.
Li X, Liu XB, Tian SY, *et al.* Health-threatening hazard evaluation of heavy metal and oil residue concentration in the organisms in the offshore area in Dagang, Tianjin [J]. *J Saf Environ*, 2013, 3: 157-160.
- [33] 张文浩, 王江涛, 谭丽菊. 山东半岛南部近海海水及动物石油烃污染状况[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(3): 378-381.
Zhang WH, Wang JT, Tan LJ. Petroleum pollution condition in seawater and animals offshore southern Shandong peninsula [J]. *Mar Environ Sci*, 2010, 29(3): 378-381.
- [34] 林珏, 章红波. 浙江沿岸海域海洋动物体内的石油烃水平[J]. *海洋环境科学*, 2001, 20(1): 47-50+63.
- Lin J, Zhang HB. Petroleum hydrocarbon concentrations in marine animal in the coastal area of Zhejiang [J]. *Marine Environ Sci*, 2001, 20(1): 47-50+63.
- [35] 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.
Sun J, Gu XY, Zhang AQ, *et al.* Organism qualities and pollution assessment at the Yellow Sea of Jiangsu Province [J]. *Mar Sci*, 2010, 34(6): 28-33.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



翟明丽, 硕士, 主要研究方向为水产品质量与安全。

E-mail: muziningyuan@163.com



赵艳芳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量与安全。

E-mail: zhaoyf@ysfri.ac.cn