

荣成湾 14 种海洋经济生物体中的重金属水平与食用风险初步评价*

孙玲玲¹ 宋金明^{1,2,3} 于颖¹ 孙萱¹ 刘瑶¹ 李琛¹ 林强¹

(1. 中国科学院海洋研究所分析测试中心 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 3. 青岛海洋国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266237)

摘要 本文以荣成湾近岸海域 14 种经济生物体为研究对象, 运用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和原子荧光光谱法(AFS)对其体内 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As 等 7 种重金属的含量进行了测定, 采用单因子污染指数法(SFI)和金属污染指数法(MPI)对重金属污染程度和食用安全质量进行了评价, 在此基础上, 以日摄食量(DI)和目标危害系数(THQ)为考量指标, 评估了人体摄食可能存在的健康风险。结果表明, 14 种经济生物体重金属平均含量 $Zn > Cu > Cr > As > Pb > Cd > Hg$, 7 种重金属含量在 14 种经济生物体中存在一定的差异。对比海洋生物质量国家标准, 14 种经济生物体中 Pb 与部分贝类生物体中 Zn 和 Cr 稍有超标, 8 种经济生物体中总 As 和 1 种生物体中 Pb 含量超出人体消费卫生标准。人体暴露风险评估表明, 红螺、三疣梭子蟹、星鳎、高眼鲷和棒锥螺中 Pb 和 As 的 THQ 大于 1, 摄食其有潜在的非致癌健康风险。综合研究结果提示, 在人体正常摄食海产品水平下, 不存在大的食品安全风险。

关键词 重金属; 经济生物; 海鲜食品安全; 荣成湾

中图分类号 P734 **doi:** 10.11693/hyhz20170500135

重金属是一类具有潜在危害的可持续污染物, 其污染具有来源广、蓄积性、隐蔽性、长期性、易于沿食物链富集转移、难以降解等特征, 对海洋生物物种和类群产生严重影响, 与其他污染物造成的复合污染可导致海洋生物资源的衰退(许思思等, 2011; 宋金明等, 2017)。海洋生态系统中重金属来源主要包括陆源输入、天然源和大气沉降, 其中陆源输入是海洋重金属污染的主要来源(田金等, 2009)。由不同途径进入海洋水体中的重金属, 部分经过一系列物理化学过程吸附在悬浮颗粒物上, 最终沉降进入海底沉积物中(Hare *et al.*, 2003), 部分被生物体吸收, 并在体内不断累积、转化, 导致生物体内的重金属浓度逐渐增加。重金属污染已经对海洋生态系统的重要组成如生物多样性、生物链完整性以及生物栖息环境等构

成了极大的威胁(Pan *et al.*, 2012)。此外, 海洋生态系统中重金属沿食物链累积并迁移, 人们食用被重金属污染的海产品可能存在潜在的健康风险, 最终威胁人类健康。

荣成湾位于山东半岛最东端, 邻近烟威、石岛、连青石渔场, 是多种鱼虾洄游的必经之路, 生物资源十分丰富。但是, 从 20 世纪 60 年代开始, 随着工业和农牧业的迅速发展, 近岸海域环境质量和生物质量受到了不同程度的污染。本文选取采自荣成湾近岸海域 14 种常见海洋经济生物体(鱼类、贝类、甲壳类), 运用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和原子荧光光谱法(AFS)对其体内 7 种重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As)含量进行研究分析。采用单因子污染指数法(SFI)和金属污染指数法(MPI)评价了 14 种经济

* 国家基金委—山东省联合基金项目, U1606404 号; 青岛海洋国家实验室鳌山科技专项, 2016ASKJ02-04 号。孙玲玲, 博士, E-mail: sunll@qdio.ac.cn

通讯作者: 宋金明, 博士生导师, 研究员, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2017-05-18, 收修改稿日期: 2017-07-10

生物体重金属污染水平和食用质量水平。在此基础上,以日摄食量(DI)和目标危害系数(THQ)为评价指标,分别评估了成人和儿童摄食被污染海产品可能存在的非致癌健康风险。本研究为探明不同经济海洋生物中重金属水平、化学物质-生物相互作用过程奠定基础,同时也为海洋环境污染评估、海产食品安全研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher 公司); AFS-820 双道原子荧光光谱仪(北京吉天仪器有限公司); Speed Wave MWS-4 微波消解仪(德国 Berghof 公司); BT125D 电子天平(德国 Sartorius 公司); 移液枪(100—1000 μ L、0.5—5mL, 德国 Eppendorf 公司); Milli-Q Direct 8 超纯水仪(美国 Millipore 公司)。

HNO₃(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); H₂O₂(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); N9300233 多种元素混合标准溶液(10mg/L, 美国 Perkin Elmer 公司); MSHG-10PPM 汞标准溶液(10mg/L, 美国 Inorganic Ventures 公司); 1323770 Tune B iCAP Q 调谐液(美国 Thermo Fisher 公司); GBW10024 扇贝成分分析标准物质(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所); 超纯水(电阻率 18.2M Ω ·cm)。

1.2 试验材料

本实验所选实验样品于 2016 年 3 月采自荣成湾近岸海域,包括白姑(*Argyrosomus argentatus*)、黄姑(*Nibea albiflora*)、焦氏舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、星鳗(*Astroconger myriaster*)、六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、高眼鲱(*Cleisthenes herzensteini*)六种鱼类,栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、贻贝(*Mytilus edulis*)、红螺(*Rapana thomasi*)、棒锥螺(*Turritella bacillum*)四种贝类,鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostris*)、对虾(*Penaeus orientalis*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)和三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)四种甲壳类。新鲜生物样品去壳,先用自来水冲洗 3 遍,再用超纯水冲洗 3 遍,最后用吸水纸吸干表面水分,取其肌肉组织或软组织,捣碎机捣碎,供微波消解备用。

1.3 样品预处理和分析方法

1.3.1 样品预处理 样品前处理方法采用微波密闭消解法(孙玲玲等, 2014)。准确称取 0.500g 生物样

品于微波消解罐中,先后加入 5.0mL HNO₃ 和 1.0mL H₂O₂, 加盖后静置过夜。次日,将静置过夜的消解罐对称放入微波消解仪中,按消解程序进行消解。消解完毕,待消解罐内温度低于 40 $^{\circ}$ C 时取出,置于电热板赶酸。赶酸完毕,将样品溶液全部转移至 25.0mL 容量瓶中,用超纯水定容至刻度,摇匀,上机备用。同法进行试剂空白和质控样品的前处理。

1.3.2 样品重金属含量测定 生物样品中重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As 的分析测定按照《海洋监测技术规程》第 3 部分(HY/T 147.3-2013)(国家海洋局, 2013)、《海洋监测规范》第 6 部分(GB17378.6-2007)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2008)中规定的分析方法进行。其中 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Cr 采用电感耦合等离子体质谱法测定, Hg 和 As 采用原子荧光光谱法测定。

电感耦合等离子体质谱法分析。仪器开机预热 20min 后,用 Tune B 调谐液对仪器进行最优化选择,使仪器的灵敏度、稳定性、氧化物和双电荷等各项指标达到检测要求。具体工作参数如下:射频功率 1550W, 等离子体气流量 14L/min, 雾化气流量 1.03L/min, 辅助气流量 0.80L/min, 采样深度 5.0mm, 矩管水平位置-0.27mm, 矩管垂直位置 0.50mm, 雾化室温度(2 \pm 0.1) $^{\circ}$ C, 蠕动泵转速 40r/min, 获取点数 30, 扫描方式为跳峰, 重复测定次数为 3 次, Li > 50000CPS, Co > 100000CPS, In > 220000CPS, U > 300000CPS, 氧化物指标(¹⁴⁰Ce¹⁶O/¹⁴⁰Ce)为 1.93%, 双电荷指标(¹³⁷Ba⁺⁺/¹³⁷Ba)为 2.08%。为消除 ICP-MS 检测过程中产生的质谱干扰, 同位素 ⁶³Cu、²⁰⁸Pb、⁶⁶Zn、¹¹¹Cd 和 ⁵²Cr 采用 QCell 技术, 使用高纯氦气作为碰撞气, 在 KED 模式下进行分析。同时在线加入 ¹⁰³Rh 内标溶液, 有效消除因基体效应导致的仪器信号漂移和信号抑制等问题, 保证了测量结果的精准度。采用此条件测定, 14 种生物体 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Cr 的加标回收率在 95.1%—103.5%之间, 3 次平行测定的相对标准偏差为 0.37%—2.76%, 均符合相关检测标准及要求。

原子荧光光谱法分析。仪器最佳工作条件如下:光电倍增管负高压 270V, 灯电流 30mA, 原子化器高度 8mm, 载气流量 300mL/min, 屏蔽气流量 800mL/min, 注入量 0.5mL, 测量方式为校准曲线, 读数方式为峰面积, 读数时间 10s, 延迟时间 1.0s。采用此条件测定, 14 种生物体 Hg 和 As 的加标回收率为 89.6%—94.8%, 3 次平行测定的相对标准偏差为

1.25%—3.90%，均符合相关检测标准及要求。

1.3.3 质量控制 采用扇贝成分分析标准物质(GBW10024)控制分析质量。扇贝成分分析标准物质7种重金属测定标准曲线相关系数均大于0.999，方法检出限为0.002—0.086 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，加标回收率为93.6%—104.8%，3次平行测定的相对标准偏差为0.60%—2.55%，表明本实验对样品的检测方法符合分析要求。

1.4 评价方法及标准

1.4.1 海洋生物重金属污染水平评价 本文依据《海洋生物质量》(GB18421-2001)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2004)，采用单因子污染指数法(Single Factor Index, SFI)(中华人民共和国环境保护部, 2009)和金属污染指数法(Metal Pollution Index, MPI)(Usero *et al*, 1997; Hao *et al*, 2013)，对本研究区域的14种海洋生物的污染程度和重金属富集水平差异性进行评价。

$$\text{单因子污染指数法: } \text{SFI} = \frac{C_i}{S_i}, \quad (1)$$

式中, SFI为重金属*i*污染指数; C_i 为生物体中重金属*i*的实测含量(mg/kg , 鲜重); S_i 为重金属*i*的评价标准值(mg/kg , 鲜重)。

运用单因子污染指数法评价海洋生物重金属污染程度。目前国内尚无明确的等级标准, 一般认为, 污染指数 $\text{SFI} < 0.2$ 时, 属正常背景值水平; $\text{SFI} = 0.2$ — 0.6 时, 属轻污染水平; $\text{SFI} = 0.6$ — 1.0 时, 属中度污染水平; 当 $\text{SFI} > 1.0$ 时, 属重污染水平。所以, 当 $\text{SFI} < 1.0$ 时, 生物质量符合标准; 当 $\text{SFI} > 1.0$ 时, 生物质量超标(黄长江等, 2007)。

金属污染指数法: MPI $= \sqrt[n]{C_1 \times C_2 \times C_3 \times \dots \times C_n}$, (2)
式中, C_n 为样品中第*n*种重金属的浓度(mg/kg , 鲜重); *n*为评价元素个数。

1.4.2 海洋生物食用安全质量评价 依据《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762-2012)(中华人民共和国卫生部, 2013)和《无公害食品水产品中有毒有害物质限量》(NY5073-2006)(中华人民共和国农业部, 2006)对经济生物体内Cu、Pb、Cd、Cr、Hg、As等6种重金属进行食用安全质量评价。目前, 由于我国国家标准和行业标准对重金属Zn限量指标均无明确规定, 因此, 本文不对其进行食用安全质量评价。

1.4.3 重金属暴露健康风险评估 本文以人体每日从海产品中摄入重金属的量(Daily Intake, DI)(Copat *et al*, 2012)和目标危害系数(Target Hazard Quotient, THQ)(USEPA, 2000)为评价指标, 评估人

体食用受重金属污染海产品的摄入风险。

$$\text{DI} = \frac{\text{FIR} \times C}{\text{BW}}, \quad (3)$$

式中, DI为日摄入量[$\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]; FIR为食品摄入量(g/d), 成人FIR为55 g/d , 儿童FIR为17.4 g/d (Zheng *et al*, 2007); C 为海产品中重金属浓度(mg/kg , 鲜重); BW为平均体重(kg), 成人BW为55.9 kg , 儿童BW为32.7 kg (Zheng *et al*, 2007)。

THQ是美国国家环境保护局(U.S. Environmental Protection Agency, USEPA)建立的一种评价人群健康风险的方法, 该方法既可评价单一重金属的健康风险, 也可评价多种重金属复合暴露的健康风险 THQs(总目标危险系数, Target Hazard Quotients)。该评价方法将重金属人体摄入量与标准限值的比值作为风险评价标准。THQ<1, 说明暴露人群没有明显的非致癌健康风险; THQ>1, 说明暴露人群存在潜在非致癌的健康风险; THQ值越大表明有害重金属对人体健康的非致癌风险越严重。

$$\text{THQ} = \frac{\text{EF} \times \text{ED} \times \text{FIR} \times C}{\text{RfDo} \times \text{BW} \times \text{AT}}, \quad (4)$$

$$\text{THQs} = \sum_{i=1}^n \text{THQi}, \quad (5)$$

式中, EF为人群暴露频率(365 d/y); ED为暴露时间, 成人70年, 儿童10年; RfDo(Oral Reference Dose)为参考剂量, 评价非致癌性健康效应的毒性阈值; AT为暴露时间, 非致癌污染物暴露时间为365 d/y ×暴露年数(成人70年, 儿童10年); *i*为评价元素个数; FIR、 C 和BW表示的含义与公式(3)相同。

由于美国国家环境保护局对Pb的RfDo没有做出规定, 因此Pb的THQ按公式(6)计算(Liu *et al*, 2009)。

$$\text{THQ} = \frac{C}{\text{MRL}}, \quad (6)$$

式中, C 为海产品中重金属浓度(mg/kg , 鲜重); MRL(Maximum Regulation Limit)为参考剂量(USEPA, 2006)。

2 结果与讨论

2.1 经济生物体中重金属含量

14种经济生物体中7种重金属含量结果见表1。由表1可知, 7种重金属在14种生物体中平均含量由高到低依次为 $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Hg}$ 。Zn含量最高, 变化范围为3.279—29.73 mg/kg , 平均含量为

11.85mg/kg, 其中, 栉孔扇贝中 Zn 含量高达 29.73mg/kg。Cu 含量次之, 其中, 红螺中 Cu 含量高达 13.14mg/kg。Cr、Pb、As 和 Hg 在 14 种生物体内的含量差异相对较小, 变化范围分别为 0.128—0.762、0.118—0.589、0.114—0.658、0.025—0.065mg/kg,

平均含量分别为 0.505、0.275、0.286、0.039mg/kg。Cu 和 Cd 在不同生物体内的含量差异相对较大, 变化范围分别为 0.579—13.14mg/kg 和 0.012—0.195mg/kg, 平均含量分别为 3.886、0.085mg/kg。Hg 总平均含量在 7 种重金属中最低。

表 1 海洋生物体中 7 种重金属含量 (鲜重, mg/kg) ($n = 3$)
Tab.1 Concentrations of 7 elements in marine organism samples (fresh, mg/kg) ($n = 3$)

生物样品	元素							金属污染指数 MPI	
	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As		
鱼类	白姑	0.615	0.187	4.433	0.034	0.496	0.049	0.189	0.260
	黄姑	1.014	0.143	5.488	0.012	0.569	0.058	0.244	0.258
	焦氏舌鳎	0.579	0.186	3.279	0.028	0.234	0.037	0.271	0.218
	星鳎	1.016	0.290	6.010	0.047	0.615	0.044	0.340	0.359
	六线鱼	0.678	0.127	3.985	0.032	0.128	0.065	0.154	0.203
	高眼鲱	0.852	0.197	7.880	0.020	0.549	0.043	0.308	0.295
贝类	栉孔扇贝	1.873	0.118	29.73	0.044	0.677	0.028	0.204	0.379
	贻贝	4.415	0.208	26.22	0.042	0.496	0.033	0.251	0.457
	红螺	13.14	0.589	22.95	0.195	0.762	0.040	0.530	0.920
	棒锥螺	12.15	0.253	19.09	0.189	0.619	0.025	0.658	0.732
甲壳类	口虾蛄	5.916	0.351	11.59	0.118	0.573	0.035	0.114	0.487
	鹰爪虾	4.830	0.275	9.652	0.141	0.473	0.029	0.246	0.483
	三疣梭子蟹	3.900	0.558	7.260	0.150	0.539	0.036	0.221	0.519
	对虾	3.425	0.368	8.351	0.132	0.344	0.025	0.268	0.440
平均值	3.886	0.275	11.85	0.085	0.505	0.039	0.286		

2.1.1 同一类生物体内不同元素含量差异 3 类生物体重金属平均含量具有一定规律性。由表 2 可知, 鱼类: Zn>Cu>Cr>As>Pb>Hg>Cd; 贝类: Zn>Cu>Cr>As>Pb>Cd>Hg; 甲壳类: Zn>Cu>Cr>Pb>As>Cd>Hg。7 种重金属含量在 3 类生物体中的变化趋势基本一致。Zn 和 Cu 作为生物体生长的必需元素, 被生物体富集能力最高, 在 3 类生物体中的含量均较高, 这 2 种元素被生物体吸收后大部分都参与了体内生物酶的合成, 成为机体组织的一部分(陆健健, 1990)。其他 5 种重金属是生物体需量甚微甚至有致害影响的元素, 故在体内的富集量也相对较少。

2.1.2 不同类生物体内同种元素差异 由表 2 可知, 不同生物类群对同一重金属的富集能力具有一定差异。Cu、Zn、Cr 平均含量由高到低均为: 贝类>甲壳类>鱼类; Pb 和 Cd: 甲壳类>贝类>鱼类; As: 贝类>鱼类>甲壳类; Hg: 鱼类>贝类>甲壳类。总体而言, 贝类体内重金属含量最高, 其次是甲壳类, 鱼类最低。贝类对多数重金属的富集能力强于甲壳类和鱼类, 特别是对 Zn 的富集能力尤为显著。

由表 2 可以看出, 贝类和甲壳类生物体内重金属

Cu 和 Cd 含量远高于鱼类, 贝类生物体 Cu、Cd 含量分别高于鱼类 9.97 倍和 4.07 倍, 甲壳类生物体 Cu、Cd 含量分别高于鱼类 5.70 倍和 4.66 倍, 与文献的研究结果相同(Mathis *et al*, 1973; 崔毅, 1997)。这可能与陆地径流排入海洋的重金属在河口浅海区大量沉积于淤泥中, 以及不同生物体的生活习性、生理特性以及蓄积重金属的特定生理方式有关(王文雄等, 2004; 张敬怀等, 2006)。贝类长期栖息于海底底泥中, 甲壳类一般栖息于靠近底质的环境中, 而沉积物和底质中重金属含量较高, 会对周围生活的生物体中重金属含量产生一定的影响(Esslemont, 2000; Cheggour *et al*, 2005)。此外, 在受 Cu 和 Cd 的污染胁迫时, 甲壳类生物能产生应激效应, 诱导体内金属硫蛋白的分泌增加, 而金属硫蛋白中的巯基与 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 金属离子具有较高的结合力和亲和力, 从而使甲壳类更容易富集、累积重金属, 且积累量与产生金属硫蛋白的能力成正比关系(Talbot *et al*, 1982)。鱼类重金属含量低于贝类和甲壳类(As、Hg 除外), 这与其栖息水层及摄食习惯有密切关系。鱼类活动范围大, 远离重金属含量高的沉积物, 其对重金属积累部位

表 2 不同类生物体中 7 种重金属含量(鲜重, mg/kg)
Tab.2 Concentrations of 7 elements in different marine organisms (fresh, mg/kg)

生物体	样品数	重金属含量						
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As
鱼类	6	0.579—1.016	0.127—0.290	3.279—7.880	0.012—0.047	0.128—0.615	0.037—0.065	0.140—0.408
		(0.792)	(0.188)	(5.179)	(0.029)	(0.432)	(0.049)	(0.251)
贝类	4	1.873—13.14	0.118—0.589	19.09—29.73	0.042—0.195	0.496—0.762	0.025—0.040	0.451—0.704
		(7.895)	(0.292)	(24.50)	(0.118)	(0.639)	(0.032)	(0.411)
甲壳类	4	3.425—5.916	0.275—0.558	7.26—11.59	0.118—0.150	0.344—0.573	0.025—0.036	0.114—0.368
		(4.518)	(0.388)	(9.213)	(0.135)	(0.482)	(0.031)	(0.212)

注: 括号内数值为平均含量

主要是肝、胰脏和鳃, 肌肉累积的量相对较少。

鱼类体内 Hg 含量高于贝类和甲壳类, 可能由于 Hg(尤其是甲基汞)是一种具有较强脂溶性的重金属, 相对来说, 鱼类中脂肪含量比贝类、甲壳类更丰富, 因此鱼类更容易被吸收并蓄积 Hg, 同时 Hg 在鱼类体内代谢缓慢, 能长期在鱼类体内蓄积, 最终使鱼类体内 Hg 的含量随体重和年龄的增加而增高(孟紫强, 2000)。

2.2 生物体中重金属污染水平评价

按照海洋生物质量国家标准(GB 18421-2001)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2004)的规定, 海洋生物质量按照海域的使用功能和环境保护的目标划分为三类, 第一类生物质量最优, 第二类生物质量次之, 第三类生物质量相对较差。三类海洋生物质量 7 种重金属标准值如表 3 所示。

表 3 海洋生物质量标准值(mg/kg)
Tab.3 Standard concentrations of 7 elements in marine organisms (mg/kg)

元素	第一类	第二类	第三类
Cu	10	25	50(牡蛎 100)
Pb	0.1	2.0	6.0
Zn	20	50	100(牡蛎 500)
Cd	0.2	2.0	5.0
Cr	0.5	2.0	6.0
Hg	0.05	0.10	0.30
As	1.0	5.0	8.0

依据《海洋生物质量》国家标准, 采用单因子污染指数法和金属污染指数对本文 14 种海洋生物体重金属含量进行污染水平评价, 具体分析结果见表 1、表 4 和图 1。

表 4 单因子污染指数法对生物体内重金属水平评价结果
Tab.4 Heavy metals levels in different marine organisms assessed using single factor index method

生物体	类别	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	
鱼类	按第一类	SFI 范围	0.058—0.102	1.270—2.900	0.164—0.394	0.060—0.235	0.256—1.230	0.860—1.300	0.154—0.340
		SFI 均值	0.079	1.883	0.259	0.144	0.864	0.987	0.251
	按第二类	SFI 范围	0.023—0.041	0.064—0.145	0.003—0.008	0.006—0.024	0.064—0.308	0.370—0.650	0.031—0.068
		SFI 均值	0.032	0.094	0.005	0.015	0.216	0.493	0.050
贝类	按第一类	SFI 范围	0.187—1.314	1.180—5.890	0.955—1.487	0.210—0.975	0.992—1.524	0.500—0.800	0.204—0.658
		SFI 均值	0.790	2.920	1.225	0.588	1.277	0.630	0.411
	按第二类	SFI 范围	0.075—0.526	0.059—0.295	0.019—0.030	0.021—0.098	0.248—0.381	0.250—0.400	0.041—0.132
		SFI 均值	0.316	0.146	0.025	0.059	0.320	0.315	0.082
甲壳类	按第一类	SFI 范围	0.343—0.592	2.750—5.580	0.363—0.580	0.590—0.750	0.688—1.146	0.500—0.720	0.114—0.268
		SFI 均值	0.452	3.880	0.461	0.676	0.965	0.625	0.212
	按第二类	SFI 范围	0.137—0.237	0.138—0.279	0.007—0.012	0.059—0.075	0.172—0.287	0.250—0.360	0.023—0.054
		SFI 均值	0.181	0.194	0.009	0.068	0.242	0.313	0.042

注: SFI: 单因子污染指数

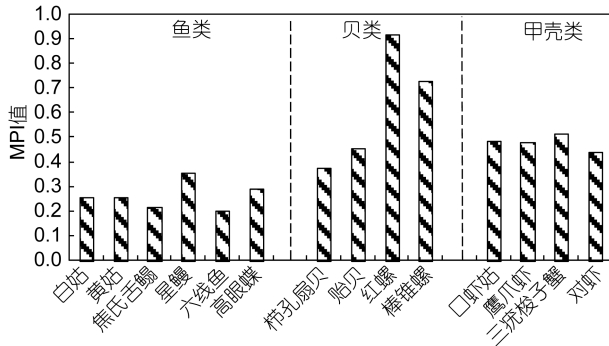


图 1 生物体重金属综合污染指数

Fig.1 Indices of heavy metal pollution in marine organisms
注: MPI: 金属污染指数

从三类生物体的污染指数来看,与第一类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类的 Pb 的污染指数 100%超过 1.0,最高的甲壳类达到三倍以上,SFI 均值为 3.880,SFI 范围为 2.750—5.580,属于重度污染水平,可见 Pb 是荣成湾海域的主要污染因子。与第二类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类的 Pb 的平均污染指数均小于 0.2,属于正常背景值水平。

鱼类、贝类和甲壳类另一污染指数较高的元素为 Cr,与第一类海洋生物质量相比,SFI 均值分别为 0.864、1.277 和 0.965。鱼类和甲壳类 SFI 小于 1.0,属于中度污染水平,贝类 SFI 大于 1.0,属于重度污染水平。与第二类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类的 Cr 的 SFI 平均范围为 0.216—0.320,污染指数介于 0.2 与 0.6 之间,均属于轻度污染水平。

Hg 在三类生物体中的污染指数也较高,与第一类海洋生物质量相比,SFI 均值分别为 0.987、0.630 和 0.625,属于中度污染水平,其中鱼类中的六线鱼 SFI 高达 1.300。与第二类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类的 Cr 的 SFI 平均范围为 0.313—0.493,污染指数介于 0.2 与 0.6 之间,属于轻度污染水平。

与第一类海洋生物质量相比,鱼类中 Cu、Zn、Cd、As 属于正常背景值水平或轻度污染水平,而贝类和甲壳类则属于轻度或中度污染水平。与第二类海洋生物质量相比,除贝类中 Cu 外,其他上述元素的 SFI 均小于 0.2,属于正常背景值水平。

14 种生物体重金属综合污染指数差异性分析结果见表 1 和图 1。分析可知,红螺对重金属富集能力最强,MPI 值高达 0.920,其次为棒锥螺,MPI 值为 0.732。整体而言,贝类对重金属的富集能力最强,MPI 值为 0.379—0.920;其次是甲壳类,MPI 范围为 0.440—0.519;鱼类对重金属的富集能力相对较低,

MPI 在 0.203—0.359 之间,六线鱼的重金属富集能力最低,MPI 值为 0.203。这与 2.1.2 的分析结果相吻合。

综上所述,与第一类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类中的 Pb 以及贝类中部分生物体中 Zn 和 Cr,其 SFI 均值大于 1.0,生物质量超标;3 类生物体中的其他重金属元素 SFI 均值均小于 1.0,重金属污染状况总体较轻,生物质量符合标准。与第二类海洋生物质量相比,鱼类、贝类和甲壳类重金属元素 SFI 均值均小于 1.0,生物质量良好。红螺对重金属富集能力最强,六线鱼的重金属富集能力最低。荣成湾近海海域几乎所有生物体受到 Pb 和 Cr 的中到重度污染,因此相关部门应当引起高度重视,加强对这两种重金属污染的控制和监管。

2.3 生物体中重金属食用质量评价

本文依据 NY5073-2006《无公害食品水产品中有毒有害物质限量》和 GB 2762-2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对荣成湾海域 14 种生物体中重金属含量进行食用安全质量评价,评价标准参照表 5。其中,Cu、Pb、Cd、Hg 和 As 依据 NY5073-2006,Cr 依据 GB 2762-2012。

表 5 海产品中重金属限量标准 (mg/kg)
Tab.5 The national standards of the maximum heavy metal levels in seafood (mg/kg)

种类	NY5073-2006					GB 2762-2012
	Cu	Pb	Cd	Hg	As	Cr
鱼类	50	0.5	0.1	0.5	0.1	2.0
贝类	50	1.0	1.0	0.5	0.5	2.0
甲壳类	50	0.5	0.5	0.5	0.5	2.0

由表 1 和表 5 可知,6 种鱼类中总 As 和 2 种贝类中总 As,以及 1 种甲壳类中的 Pb 含量都超出国家标准规定的人体消费卫生标准,生物体中其他重金属含量均在海产品食品安全标准范围内。

14 种经济生物体中有 8 种生物体中 As 含量超标,其中棒锥螺中 As 单因子污染指数高达 6.58,由此可见,贝类对 As 具有较高富集能力。过量有毒 As 摄入体内后,经血液循环迅速分布至全身,导致皮肤、神经、心、肺等多种器官和组织功能上的异常改变,长期 As 暴露严重时会引发皮肤、肺脏等肿瘤(王秀红等,2005)。据相关报道,无机砷约占总砷含量的 10% (Lee *et al*, 2006)。砷元素毒性大小因其形态的不同而差别极大,无机砷毒性通常比有机砷大很多,有些有机砷的生理毒性甚至不到无机砷的 0.1% (李卫华等,2003)。海洋生物体中砷大多以低毒有机砷形式存在,

毒性较大的无机砷含量很少(Kaise *et al*, 1992)。本文所调查分析的砷含量为生物体中总砷含量, 虽总量较高, 但按无机砷占总砷含量的 10%计算, 14 种经济生物体中无机砷含量均在人体消费卫生标准范围之内。

Pb 是一种具有蓄积性的有害无益的重金属, 既可以产生非致癌的健康损伤, 又可以带来致癌性风险, 严重危害人类健康。Pb 频繁暴露, 会对人体消化系统、造血系统、神经系统和肾脏等造成危害, 引发智力低下、反应迟钝、贫血等症状(Vieira *et al*, 2011; 姚智卿, 2011)。

2.4 海产食品健康风险评价

海产品富含人体必需的多种微量元素, 营养价值极高, 是人们膳食营养的主要来源之一。本文以 DI 和 THQ 为评价指标, 评估了受重金属污染的海产品摄入风险, 结果见表 6 和表 7。参考剂量 RfDo 的标准限值见表 8 (USEPA, 2016)。

联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)建议 Cu、Zn 的每日允许摄入量(Acceptable Daily Intake, ADI)分别为 0—500 和 300—1000 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$, Pb、Cd、总 Hg、无机 As 的每周可耐受摄入量 (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)分别为 25、7、5、15 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{w}$ 。美国国家研究委员会(NRC, 1989) 建议 Cr 的每日允许摄入量(Maximum Tolerable Daily Intake, MTDI)为 0.83—33.3 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{w}$ 。

$$\text{MTDI} = \frac{\text{PTWI}}{7} \quad (7)$$

由表 6 可知, 本文所调查的 14 种海产品, 成人和儿童食用后, 对于考察的 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As 等 7 种重金属元素, 其每日摄食量均低于 FAO/WHO 规定的每日最大允许摄入量。结果表明, 人们以低食用频率摄食这些海产品相对来说比较安全。

由表 7 可知, 对于单一重金属 Cu、Zn、Cd、Cr 和 Hg 的目标危害系数, 14 种海产品的 THQ 值均小于 1, 说明上述 5 种单一重金属的摄入量在参考值范围内, 单一重金属对人群非致癌暴露风险不明显。但是, Pb 和 As 对人群复合健康风险的贡献率明显高于其他重金属。对于 Pb, 成人和儿童食用三疣梭子蟹和红螺后的 THQ 值均大于 1。对于 As, 成人食用高眼鲈、星鳎和红螺后 THQ 值均大于 1, 成人和儿童食用棒锥螺后 THQ 值均大于 1。考虑同一海产品中重金属的复合污染, 成人和儿童摄食红螺、三疣梭子蟹、星鳎、高眼鲈和棒锥螺均存在潜在的非致癌健康风险, 其中成人摄入海产品的 THQ 大于儿童, 表明成人受危害的程度高于儿童。14 种海产品的 THQs 均大于 1 (儿童摄食六线鱼和栉孔扇贝除外), 其中红螺的 THQs 最高为 4.150, 说明长期连续食用这些海产品会存在潜在的非致癌健康风险, 应当引起人们的注意。

表 6 成人和儿童对荣成湾海产品的食入量(DI)与每日最大允许摄入量(MTDI) ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$)

Tab.6 Estimated daily intake of common seafood of the Rongcheng Bay by adults and children and recommended maximum tolerable daily intake ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$)

重金属	Cu		Pb		Zn		Cd		Cr		Hg		As	
	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童	成人	儿童
白姑	0.61	0.33	0.18	0.10	4.36	2.36	0.03	0.02	0.49	0.26	0.05	0.03	0.19	0.10
黄姑	1.00	0.54	0.14	0.08	5.40	2.92	0.01	0.01	0.56	0.30	0.06	0.03	0.24	0.13
焦氏舌鳎	0.57	0.31	0.18	0.10	3.23	1.74	0.03	0.01	0.23	0.12	0.04	0.02	0.27	0.14
星鳎	1.00	0.54	0.29	0.15	5.91	3.20	0.05	0.03	0.61	0.33	0.04	0.02	0.33	0.18
六线鱼	0.67	0.36	0.12	0.07	3.92	2.12	0.03	0.02	0.13	0.07	0.06	0.03	0.15	0.08
高眼鲈	0.84	0.45	0.19	0.10	7.75	4.19	0.02	0.01	0.54	0.29	0.04	0.02	0.30	0.16
栉孔扇贝	1.84	1.00	0.12	0.06	29.3	15.8	0.04	0.02	0.67	0.36	0.03	0.01	0.20	0.11
贻贝	4.34	2.35	0.20	0.11	25.8	14.0	0.04	0.02	0.49	0.26	0.03	0.02	0.25	0.13
红螺	12.9	6.99	0.58	0.31	22.6	12.2	0.19	0.10	0.75	0.41	0.04	0.02	0.52	0.28
棒锥螺	12.0	6.47	0.25	0.13	18.8	10.2	0.19	0.10	0.61	0.33	0.02	0.01	0.65	0.35
口虾蛄	5.82	3.15	0.35	0.19	11.4	6.17	0.12	0.06	0.56	0.30	0.03	0.02	0.11	0.06
鹰爪虾	4.75	2.57	0.27	0.15	9.50	5.14	0.14	0.08	0.47	0.25	0.03	0.02	0.24	0.13
三疣梭子蟹	3.84	2.08	0.55	0.30	7.14	3.86	0.15	0.08	0.53	0.29	0.04	0.02	0.22	0.12
对虾	3.37	1.82	0.36	0.20	8.22	4.44	0.13	0.07	0.34	0.18	0.02	0.01	0.26	0.14
MTDI	50—500		3.57		300—1000		1		0.83—33.3		0.71		2.14	
参考文献	JECFA (1982)		JECFA (2000)		JECFA (1982)		JECFA (2011a)		NRC (1989)		JECFA (2011b)		JECFA (1989)	

表 7 成人和儿童食用荣成湾近岸海域海产品的目标危害系数 (THQ 和 THQs)

Tab.7 Target hazard quotient (THQ) for an individual metal and the total (THQs) for all the metals combined for the consumption of seafood of the Rongcheng Bay

海产品	类别	THQ							THQs
		Cu	Pb	Zn	Cd	Cr ^a	Hg	As	
白姑	成人	0.015	0.374	0.015	0.033	0.163	0.482	0.620	1.702
	儿童	0.008	0.374	0.008	0.018	0.088	0.261	0.335	1.092
黄姑	成人	0.025	0.286	0.018	0.012	0.187	0.571	0.800	1.899
	儿童	0.013	0.286	0.010	0.006	0.101	0.309	0.433	1.158
焦氏舌鳎	成人	0.014	0.372	0.011	0.028	0.077	0.364	0.889	1.755
	儿童	0.008	0.372	0.006	0.015	0.042	0.197	0.481	1.121
星鳎	成人	0.025	0.580	0.020	0.046	0.202	0.433	1.115	2.421
	儿童	0.014	0.580	0.011	0.025	0.109	0.234	0.603	1.576
六线鱼	成人	0.017	0.254	0.013	0.031	0.042	0.640	0.505	1.502
	儿童	0.009	0.254	0.007	0.017	0.023	0.346	0.273	0.929
高眼鲱	成人	0.021	0.394	0.026	0.020	0.180	0.423	1.010	2.074
	儿童	0.011	0.394	0.014	0.011	0.097	0.229	0.546	1.302
栉孔扇贝	成人	0.046	0.236	0.098	0.043	0.222	0.275	0.669	1.589
	儿童	0.025	0.236	0.053	0.023	0.120	0.149	0.362	0.968
贻贝	成人	0.109	0.416	0.086	0.041	0.163	0.325	0.823	1.963
	儿童	0.059	0.416	0.047	0.022	0.088	0.176	0.445	1.253
红螺	成人	0.323	1.178	0.075	0.192	0.250	0.394	1.738	4.150
	儿童	0.175	1.178	0.041	0.104	0.135	0.213	0.940	2.786
棒锥螺	成人	0.299	0.506	0.063	0.186	0.203	0.246	2.158	3.661
	儿童	0.162	0.506	0.034	0.101	0.110	0.133	1.167	2.213
口虾蛄	成人	0.146	0.702	0.038	0.116	0.188	0.344	0.374	1.908
	儿童	0.079	0.702	0.021	0.063	0.102	0.186	0.202	1.355
鹰爪虾	成人	0.119	0.550	0.032	0.139	0.155	0.285	0.807	2.087
	儿童	0.064	0.550	0.017	0.075	0.084	0.154	0.436	1.380
三疣梭子蟹	成人	0.096	1.116	0.024	0.148	0.177	0.354	0.725	2.640
	儿童	0.052	1.116	0.013	0.080	0.096	0.192	0.392	1.941
对虾	成人	0.084	0.736	0.027	0.130	0.113	0.246	0.879	2.215
	儿童	0.046	0.736	0.015	0.070	0.061	0.133	0.475	1.536

注: ^a 按 Cr(VI) 计算

表 8 不同重金属参考剂量值[mg/(kg·d)]

Tab.8 The oral reference doses for different metals [mg/(kg·d)]

重金属	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr(III)	Cr(VI)	甲基 Hg	无机 As
RfDo	0.04	—	0.3	0.001	1.5	0.003	0.0001	0.0003
MRL	—	0.5	—	—	—	—	—	—

3 结论

本文对荣成湾近岸海域常见的 14 种经济生物体(鱼类、贝类、甲壳类)中 7 种重金属(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As)含量进行了分析研究,对重金属污染程度和食用安全质量水平以及潜在的非致癌健康

风险进行了评估。

(1) 14 种生物体内重金属平均含量顺序为 Zn>Cu>Cr>As>Pb>Cd>Hg。同一类生物体中不同重金属的含量,对鱼类 Zn>Cu>Cr>As>Pb>Hg>Cd, 贝类 Zn>Cu>Cr>As>Pb>Cd>Hg, 甲壳类 Zn>Cu>Cr>Pb>As>Cd>Hg。不同生物类群对同一重金属的富集能力具有

一定差异, Cu、Zn、Cr 平均含量由高到低为贝类>甲壳类>鱼类, Pb 和 Cd 则为甲壳类>贝类>鱼类, As: 贝类>鱼类>甲壳类, Hg: 鱼类>贝类>甲壳类。重金属在生物体中含量的差异性可能与生物体的生活习性、生理特性以及蓄积重金属的特定生理方式有关。

(2) 单因子污染指数和金属污染指数评价结果表明, 与 GB 18421-2001 第一类海洋生物质量相比, 鱼类、贝类和甲壳类中的 Pb 以及贝类中部分生物体中 Zn 和 Cr, 其 SFI 均值大于 1.0, 生物质量超标。与第二类海洋生物质量相比, 鱼类、贝类和甲壳类重金属元素 SFI 均值均小于 1.0, 生物质量良好。MPI 分析显示, 红螺对重金属富集能力最强, 六线鱼的重金属富集能力最低。6 种鱼类中总 As 和 2 种贝类中总 As, 以及 1 种甲壳类中的 Pb 含量都超出国家标准规定的人体消费卫生标准, 其他生物体中重金属含量均在海产品食品安全标准范围内。

(3) 重金属人体暴露风险评估表明, 人体单一重金属每日摄入量 DI 均低于 FAO/WHO 规定的每日最大允许摄入量。红螺、三疣梭子蟹、星鳗、高眼鲱和棒锥螺中 Pb 和 As 的 THQ 大于 1, 说明成人和儿童长期食用这些海产品存在潜在的非致癌健康风险, 其中成人受危害的程度高于儿童。基于本文的研究结果, 建议有关部门制定控制海产品食用量和食用频率的相关政策、引导人们避免食用被污染的海产品, 从而减少有害重金属的摄入风险, 保证海产品的食用安全性。

参 考 文 献

- 中华人民共和国卫生部, 2013. GB 2762-2012 食品中污染物限量. 北京: 中国标准出版社, 1—7
- 中华人民共和国农业部, 2006. NY5073 - 2006 无公害食品水产品中有毒有害物质限量. 北京: 中国标准出版社, 1—2
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2004. GB18421-2001 海洋生物质量. 北京: 中国标准出版社, 1—3
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008. GB 17378. 6-2007 海洋监测规范 第 6 部分: 生物体分析. 北京: 中国标准出版社, 1—37
- 中华人民共和国环境保护部, 2009. HJ 442-2008 近岸海域环境监测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1—64
- 王文雄, 潘进芬, 2004. 重金属在海洋食物链中的传递. 生态学报, 24(3): 599—604
- 王秀红, 边建朝, 2005. 微量元素砷与人体健康. 国外医学医学地理分册, 26(3): 101—105
- 田金, 李超, 宛立等, 2009. 海洋重金属污染的研究进展. 水产科学, 28(7): 413—418
- 孙玲玲, 宋金明, 林强等, 2014. ICP-AES 测定海洋生物体中 13 种元素的微波消解条件优化. 海洋科学, 38(8): 26—33
- 许思思, 宋金明, 袁华茂等, 2011. 镉、汞、铅和石油烃复合污染对渤海湾常见渔业资源生物的影响初探. 生态毒理学报, 5(6): 793—802
- 宋金明, 段丽琴, 2017. 渤黄东海微/痕量元素的环境生物地球化学. 北京: 科学出版社, 1—465
- 张敬怀, 李小敏, 兰胜迎, 2006. 广西近岸海域底栖生物体内重金属含量与污染评价. 广西科学, 13(2): 143—146
- 李卫华, 韦超, 张新荣, 2003. 中国海产品含砷形态的调查. 广西师范大学学报: 自然科学版, 21(3): 74—75
- 陆健健, 1990. 中国湿地. 上海: 华东师范大学出版社, 259—272 国家海洋局, 2013. HY/T 147.3-2013 海洋监测技术规程 第 3 部分: 生物体. 北京: 中国标准出版社, 5—7
- 孟紫强, 2000. 环境毒理学. 北京: 中国环境科学出版社, 121—122
- 姚智卿, 2011. 铅对人体健康的危害. 微量元素与健康研究, 28(5): 67—68
- 崔毅, 陈碧鹃, 宋云利等, 1997. 胶州湾海水、海洋生物体中重金属含量的研究. 应用生态学报, 8(6): 650—654
- 黄长江, 赵珍, 2007. 湛江港海域海产品中重金属残留及评价. 汕头大学学报, 22(1): 30—36
- Cheggour M, Chafik A, Fisher N S *et al*, 2005. Metal concentrations in sediments and clams in four Moroccan estuaries. *Marine Environment Research*, 59(2): 119—137
- Copat C, Bella F, Castaing M *et al*, 2012. Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(1): 78—83
- EC (Commission Regulation), 2006. Commission Regulation No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L364: 5—24 Esslemont G, 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville sections, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland. *Marine Chemistry*, 71(3—4): 215—231
- Hao Y, Chen L, Zhang X L *et al*, 2013. Trace elements in fish from Taihu Lake, China: Levels, associated risks, and trophic transfer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 90: 89—97
- Hare L, Tessier A, Borgmann U, 2003. Metal sources for freshwater invertebrates: Pertinence for risk assessment. *Human & Ecological Risk Assessment*, 9(4): 779—793
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 1982. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Technical Report Series, No. 683. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 31—33
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 1989. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Technical Report Series, No. 776. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 26—35
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2000. Evaluation of Certain Food Additives and

- Contaminants. WHO Technical Report Series, No. 896. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 81—87
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2011a. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Technical Report Series, No. 960. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 149—162
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2011b. Evaluation of Certain Contaminants in Food. WHO Technical Report Series, No. 959. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 55—73
- Kaise T, Fukui S, 1992. The chemical form and acute toxicity of arsenic compounds in marine organisms. *Applied Organometallic Chemistry*, 6(2): 155—160
- Lee H S, Cho Y H, Park S O *et al*, 2006. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(S1): S31—S37
- Liu F, Ge J, Hu X, *et al*, 2009. Risk to humans of consuming metals in anchovy (*Coilia* sp.) from the Yangtze River Delta. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(6): 727—740
- Mathis B J, Cummings T F, 1973. Selected metals in sediments, water, and biota in the Illinois River. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 45(7): 1573—1583
- NRC (National Research Council), 1989. Recommended Dietary Allowances. Washington, DC, USA: National Academy of Sciences, 241—243
- Pan K, Wang W X, 2012. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. *Science of the Total Environment*, 421—422: 3—16
- Talbot V, Chegwidden A, 1982. Cadmium and other heavy metal concentrations in selected biota from Cockburn Sound, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 33(5): 779—788
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2000. Guidance for assessing chemical contamination data for use in fish advisories, volume 2: Risk assessment and fish consumption limits EPA/823-B94-004. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2016. Risk-Based Concentration Table. Available from https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/master_sl_table_run_may2016.pdf
- Usero J, González-Regalado E, Gracia I, 1997. Trace metals in the bivalve molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic coast of southern Spain. *Environment International*, 23(3): 291—298
- Vieira C, Morais S, Ramos S *et al*, 2011. Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic Ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. *Food and Chemical Toxicology*, 49(4): 923—932
- Zheng N, Wang Q C, Zhang X W *et al*, 2007. Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. *Science of the Total Environment*, 387(1—3): 96—104

PRELIMINARY ASSESSMENT ON HEAVY METAL LEVELS AND FOOD RISK IN 14 ECONOMIC ORGANISMS OF THE RONGCHENG BAY

SUN Ling-Ling¹, SONG Jin-Ming^{1,2,3}, YU Ying¹, SUN Xuan¹, LIU Yao¹, LI Chen¹, LIN Qiang¹

(1. Center of Analytical and Measurement Research, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. CAS Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Functional Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract To assess potential local seafood safety, concentrations of 7 heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg and As) in 14 economic organisms of the Rongcheng Bay were determined in inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and atomic fluorescence spectrometry against applicable national standards using single factor index and metal pollution index. In addition, to evaluate the non-carcinogenic health risk of heavy metals, daily intake and target hazard quotient (THQ) were calculated and analyzed. An overall descending order of heavy metal levels in 14 economic organisms was determined as Zn>Cu>Cr>As>Pb>Cd>Hg, but varied to some degrees among the organisms. Results show that Pb was slightly above applicable hygienic standard for human consumption in all the 14 economic organisms, Zn and Cr in some shellfish, and As in 8 organisms. The THQ analysis identified a non-carcinogenic health risk for Pb and As from *Rapana thomasi*, *Portunus trituberculatus*, *Astroconger myriaster*, *Cleisthenes herzensteini*, and *Turritella bacillum*. In overall, no serious food safety risk in normal intake of seafood was revealed.

Key words heavy metal; economic organism; seafood safety; Rongcheng Bay