

博贺湾海域海水和生物重金属污染特征和评价

曾珍¹, 陈春亮¹, 柯盛¹, 赵子科¹, 谢群^{1,2,3}

(1. 广东海洋大学分析测试中心 湛江 524088; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 中国科学院南海海洋研究所 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室 广州 510301)

摘要:为减少重金属污染和保护海洋生态环境,文章基于 2014 年 10 月博贺湾海域的调查数据,分析海水和生物的重金属污染情况,并采用内梅罗指数和目标危险系数评价海水质量和人类食用海产品而摄入重金属的潜在健康风险。研究结果表明:博贺湾海域海水重金属含量总体较低,大部分符合一类海水水质标准;Pb 的空间分布不均匀,高值区主要分布于莲头岭附近站位,很有可能是受港口区和产业园区排污的影响;水质等级为较清洁和清洁,海水重金属污染的整体程度较低;生物重金属含量大部分符合一类海洋生物质量标准,生物质量总体较高,其中软体类的重金属含量整体较高且 Pb 和 Cd 含量较高,鱼类的重金属含量整体较低但 Hg 含量较高,所有生物 Cu 和 Zn 含量均较高;各生物重金属污染的目标危险系数均小于 1,人类食用生物样品的海产品而摄入重金属没有潜在健康风险。

关键词:海水质量;海洋生物;陆源污染;健康风险;海洋生态环境

中图分类号:P76;X826;X824 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2019)08-0024-05

The Characteristic and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Seawater and Organisms of the Bohe Bay

ZENG Zhen¹, CHEN Chunliang¹, KE Sheng¹, ZHAO Zike¹, XIE Qun^{1,2,3}

(1. Analytical and Testing Center, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. CAS Key Laboratory of Tropical Marine Bio-resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China)

Abstract: To reduce heavy metal pollution and protect the marine ecological environment, the samples of heavy metals in seawater and organisms were collected in Bohe bay in October 2014. The ecological risk was assessed with the Nemerow pollution index and the target hazard quotient, respectively. The results showed that the concentration of heavy metals in seawater and organisms were at low level, most of the samples were less than the National Seawater Quality Standard of China. Because of the influence of sewage discharge from the port area and industrial

收稿日期:2019-01-22;修订日期:2019-08-02
基金项目:国家海洋公益性行业科研专项项目(201305038-6、201505027-1);广东海洋大学创新强校工程科研项目(GDOU2016050212).
作者简介:曾珍,硕士,研究方向为海洋生物地球化学和环境保护
通信作者:谢群,高级实验师,硕士,研究方向为海洋环境监测、海洋环境评价和环境工程

park the distribution of Pb was uneven, and the high value area was mainly distributed in the stations near Liantouling. The Nemerow pollution index of the samples were at the clean or light clean level, therefore the heavy metal pollution in seawater was low. The heavy metal content of marine organisms was almost lower than the first standard of marine biological quality, and the biological quality was generally higher. Among them the contents of heavy metals in marine mollusk was at high level, especially the contents of Pb and Cd, the contents of heavy metals in fish was at low level except the Hg, and the contents of Cu and Zn were at high level in all marine organism we collected. The target hazard quotient of the captured organisms were at low level, therefore the living near the Bohe bay were relatively safe, and the human dietary exposure risk was none.

Key words: Seawater quality, Marine organism, Land-based pollution, Health risk, Marine ecological environment

0 引言

重金属具有较强的生物毒性,且易累积、可通过食物链转移和难以降解^[1-2],是海洋生态环境的重要污染物之一^[3-4]。重金属可通过多种途径进入海洋生态环境,其中影响最大的是陆地输入^[5]。由于重金属不易被海洋微生物降解,可吸附于悬浮颗粒并在沉积物中长期累积^[6-7],还可通过食物链转移到其他生物体内,甚至威胁人类健康^[8]。

博贺湾是由海岛环绕的半开放型海湾,湾内有广东省著名渔港博贺港,新建的博贺新港区内分布石化和乙烯等工业园区,周边还有很多海水养殖基地^[9-10]。近年来,博贺湾近岸海域的填海造地工程和海水养殖产业快速发展,陆源污染物中的重金属严重影响海洋生态环境。本研究采用 2014 年 10 月博贺湾海域的调查数据,分析海水和生物的重金属污染情况,并评价海水质量和人类食用海产品而摄入重金属的潜在健康风险,为博贺湾海洋生态环境保护提供科学依据。

1 采样站位和样品

沿博贺湾东岸线依次设置 5 条断面共 21 个采样站位(图 1)。

于 2014 年 10 月采集 21 个表层海水(沉积物)样品,采用拖网方式捕获并挑选 5 个生物样品,分别为匀斑裸胸鲿(鱼类)、鹰爪虾(甲壳类)以及皱肋文蛤、毛蚶和杂色蛤仔(软体类)。采集的样品全部按

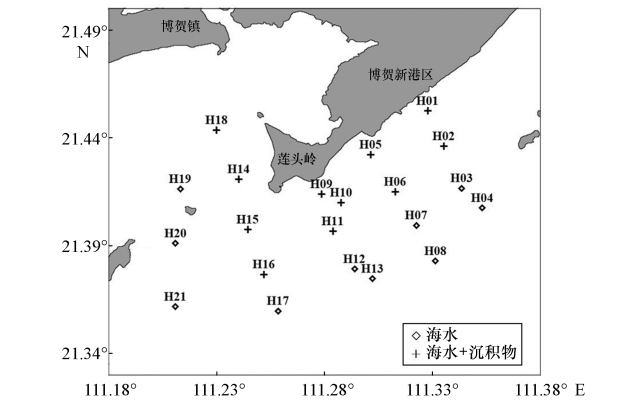


图 1 采样站位

照《海洋监测规范》(GB 17378—2007)的要求进行预处理、储存和运输。

海水样品主要分析铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)和砷(As) 7 个重金属元素,生物样品主要分析 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg 5 个重金属元素。其中:海水样品中的 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Cr 以及生物样品中的 Cu、Pb、Zn 和 Cd,参照《海洋监测技术规程》(HY/T 147—2013),采用电感耦合等离子体质谱仪(7500Cx, Agilent)测定;海水样品中的 Hg 和 As 以及生物样品中的 Hg,参照《海洋监测规范》(GB 17378—2007),采用原子荧光光谱仪(SK-F, 北京索坤)测定。

通过标准物质和平行样测试,确保样品分析的精确性和准确性。标准物质分别采用 GBW(E)080040 (海水样品中的 Cu、Pb、Zn、Cd 和 Cr)、GSBZ50016—

90(海水样品中的 Hg)、GSBZ50004—88(海水样品中的 As)和 GBW10050(生物样品)。平行样测试的相对误差小于 5%,标准物质回收率为 90%~110%。

2 评价方法

2.1 内梅罗指数法

采用内梅罗指数法^[11-12]评价海水重金属污染情况,计算公式为:

$$P = \sqrt{\frac{P_{i\max}^2 + \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i\right)^2}{2}}$$
$$P_i = \frac{C_i}{C_s}$$

式中: P 表示重金属综合污染指数; P_i 表示重金属元素 i 的污染指数; $P_{i\max}$ 表示 P_i 的最大值; C_i 表示重金属元素 i 的实测值; C_s 表示重金属元素 i 的评价参考值,采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)的一类海水水质标准^[13]。

当 $P \leq 0.6$ 时,水质等级为Ⅰ(清洁);当 $0.6 < P \leq 1.0$ 时,水质等级为Ⅱ(较清洁);当 $1.0 < P \leq 2.6$ 时,水质等级为Ⅲ(轻污染);当 $2.6 < P \leq 5.0$ 时,水质等级为Ⅳ(中污染);当 $P > 5.0$ 时,水质等级为Ⅴ(重污染)。

2.2 目标危险系数法

采用目标危险系数法^[14-15]评价人类食用海产

品而摄入重金属的潜在健康风险,计算公式为:

$$H_{\text{THQ}} = \frac{E_{\text{F}} \times E_{\text{D}} \times I \times C_i \times 10^{-3}}{m \times w \times t}$$
$$T_{\text{THQ}} = \sum_{i=1}^n H_{\text{THQ}}$$

式中: H_{THQ} 表示重金属元素 i 的危险系数; E_{F} 表示人类暴露频率(365 d/a); E_{D} 表示人类暴露年限(70 a); I 表示人类的海产品食用量,根据联合国粮农组织(FAO)的统计结果^[14-15],鱼类为 36 g/(人·d),甲壳类为 5.42 g/(人·d),软体类为 9.8 g/(人·d); m 表示人类的重金属参考食用量,其中 Cu 为 4×10^{-2} mg/(kg·d),Zn 为 0.3 mg/(kg·d),Pb 为 4×10^{-3} mg/(kg·d),Cd 为 1×10^{-3} mg/(kg·d),Hg 为 5×10^{-4} mg/(kg·d); w 表示人类的平均体重(60 kg); t 表示人类非致癌性暴露的平均时间(365 d/a×暴露年数); T_{THQ} 表示同种生物体内重金属元素的综合危险系数。

当 $H_{\text{THQ}} > 1$ 时,表明人类食用海产品而摄入重金属具有潜在健康风险。

3 海水重金属污染

博贺湾海域海水重金属含量总体较低,除 Pb 有 3 个站位(H11、H14 和 H16)超过一类海水水质标准,其他均符合一类海水水质标准(表 1)。

表 1 海水重金属含量和变异系数

统计量	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	As	Hg
最小值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.54	11.07	0.061	0.308	1.13	0.35	0.032
最大值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.24	17.65	0.144	1.190	2.52	0.81	0.042
平均值/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.76	13.14	0.088	0.655	1.63	0.57	0.036
标准差/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.20	1.88	0.024	0.243	0.35	0.13	0.002
变异系数	0.07	0.14	0.27	0.37	0.22	0.22	0.07

变异系数可表征重金属空间分布的差异程度,变异系数越大,重金属空间分布的差异越大^[16]。其中,变异系数不大于 0.15 即轻微变异,变异系数为 0.16~0.35 即中等变异,变异系数不小于 0.36 即高度变异。由表 1 可以看出:Pb 的空间分布差异大,即整体分布不均匀,存在高值区;而其他重金属元素的空间分布差异较小,即整体分布较均匀,不

存在高值区。Pb 的空间分布主要受陆源排污、海上交通排污和大气沉降等外来物质输入的影响^[17],博贺新港区和莲头岭附近分布有博贺新港和吉达港等港口区以及石化和乙烯等产业园区^[10],而本研究 Pb 的高值区主要分布于莲头岭附近站位,很有可能是受港口区和产业园区排污的影响。

博贺湾海域海水重金属污染的内梅罗指数和

水质等级如图 2 所示。

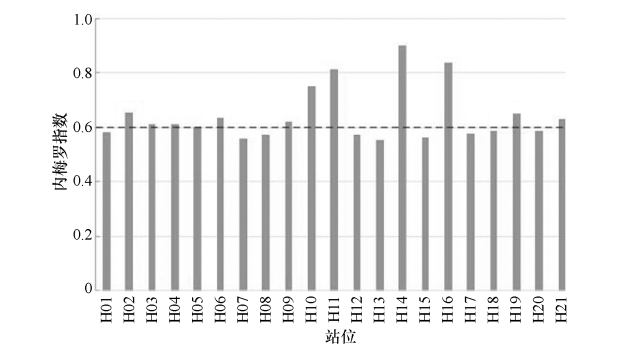


图 2 海水重金属污染的内梅罗指数和水质等级

由图 2 可以看出,12 个站点的水质等级为 II (较清洁),其他站点的水质等级为 I (清洁),海水重金属污染的整体程度较低。

4 生物重金属污染

博贺湾海域生物重金属含量如表 2 所示。

表 2 生物重金属含量

mg/kg

生物	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
皱肋文蛤	0.66	18.99	0.14	0.03	0.014
毛蚶	1.23	9.34	0.51	0.11	0.017
杂色蛤仔	0.76	6.41	0.05	0.03	0.027
软体类(平均值)	0.88	11.58	0.23	0.06	0.019
鹰爪虾	2.16	9.85	0.02	0.03	0.012
匀斑裸胸鲷	0.60	3.34	0.01	0.01	0.028

由表 2 可以看出,同种生物对不同重金属元素的吸收富集以及不同生物对同种重金属元素的吸收富集有很大差异。软体类(尤其是毛蚶)的重金属含量整体较高,鱼类的重金属含量整体较低。Cu 和 Zn 含量远高于其他重金属元素,可能是由于 Cu 和 Zn 是海洋生物的必需微量元素,海洋生物对 Cu 和 Zn 的吸收富集能力较强^[18]。

Zn、Cd 和 Pb 含量从高到低的生物依次为软体类、甲壳类、鱼类,Cu 含量从高到低的生物依次为甲壳类、软体类、鱼类,Hg 含量从高到低的生物依次为鱼类、软体类、甲壳类,与张晓举等^[19]的研究结果一致。①Pb 和 Cd 是积蓄性重金属,易积蓄在生物体内而很难被排出^[20],底栖生物对此类重金属的吸收富集能力通常较强^[21-22];软体类一般长期栖息于

底泥环境,会一直吸收 Pb 和 Cd^[23],因此 Pb 和 Cd 含量较高。②甲基汞是脂溶性重金属,易被脂肪吸收,而鱼类的脂肪含量通常高于甲壳类和软体类,因此鱼类更易吸收甲基汞^[5,19];Hg 的转化非常缓慢且不易被排泄,可在鱼类体内停留较长时间,因此含量较高。

根据《海洋生物质量》(GB 18421—2001)^[24],除毛蚶的 Cd 和 Pb 含量属于二类,其他都属于一类,表明生物质量总体较高。

博贺湾海域生物重金属污染的目标危险系数如表 3 所示。

表 3 生物重金属污染的目标危险系数

生物	H_{THQ}					T_{THQ}
	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	
皱肋文蛤	0.003	0.010	0.023	0.001	0.005	0.042
毛蚶	0.005	0.005	0.083	0.004	0.006	0.103
杂色蛤仔	0.003	0.003	0.008	0.001	0.009	0.024
鹰爪虾	0.005	0.003	0.002	0.001	0.002	0.013
匀斑裸胸鲷	0.009	0.007	0.006	0.002	0.034	0.058

由表 3 可以看出,人类食用这些海产品而摄入重金属没有潜在健康风险,但毛蚶的综合危险系数较高。

参考文献

[1] PAN K, WANG W X. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China[J]. Science of the Total Environment, 2012, 542(1): 422(3): 3-16.

[2] 郑江鹏, 矫新明, 方南娟, 等. 江苏近岸海域沉积物重金属来源及风险评价[J]. 中国环境科学, 2017, 37(4): 1514-1522.

[3] LI X D, POON C, LIU P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong[J]. Applied Geochemistry, 2001, 16(11/12): 1361-1368.

[4] DAUVALTER V, ROGNERUD S. Heavy metal pollution in sediments of the Pasvik River drainage[J]. Chemosphere, 2001, 42(1): 9-18.

[5] 林强, 李琛, 刘瑶, 等. 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[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49 (1): 52-61.

[6] CHEN C W, KAO C M, CHEN C F, et al. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan[J]. Chemosphere, 2007, 66(8): 1431-1440.

[7] 张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清.艾比湖表层沉积物重金属来源、污染和潜在生态风险研究[J].环境科学,2015,36(2):490—496.

[8] 许尤厚,廖日权,粟佳,等.钦州湾东部海域表层水和浮游生物中六种重金属含量和污染评价研究[J].海洋与湖沼,2017,48(5):960—969.

[9] 樊立东,童朝锋,孟艳秋.博贺湾海域悬沙输移机制分析[J].水利水电科技进展,2016,36(6):58—63.

[10] 罗南海.茂名滨海新区给水厂工程的设计与研究[D].天津:天津大学,2015.

[11] 马洪瑞,陈聚法,崔毅,等.胶州湾湿地海域水体和表层沉积物环境质量评价[J].应用生态学报,2011,22(10):2749—2756.

[12] 宋永刚,吴金浩,邵泽伟,等.辽东湾近岸表层海水重金属污染分析与评价[J].渔业科学进展,2016,3(37):14—19.

[13] 国家海洋局.海水水质标准:GB 3097—1997[S].北京:中国标准出版社,1997.

[14] 李玉,冯志华,李谷祺,等.海产品中重金属 Hg、Cd、Pb 对人体健康的潜在风险评价[J].食品科学,2010,31(21):390—393.

[15] 赵子科,陈春亮,杨国欢,等.较场尾海域重金属污染评价及人体暴露风险评估[J].广东海洋大学学报,2017,4(37):61—68.

[16] 彭修强,项立辉,郭娜,等.南黄海南部海域表层沉积物重金属来与解析及风险评价[J].环境科学学报,2015,35(11):3628—3638.

[17] 王恩康,孙永根,夏鹏,等.钦州湾南部表层沉积物重金属分布及生态危害评价[J].海洋科学进展,2017,35(2):284—294.

[18] SUN P Y,WANG B.Accumulation and distribution of Zn,Cu and Pb in *Sesarm dehaani*[J].Marine Environment Science,2004,22(2):19—24.

[19] 张晓举,赵升,冯春晖,等.渤海湾南部海域生物体内的重金属含量与富集因素[J].大连海洋大学学报,2014,29(3):267—271.

[20] 马伟胜,林钦,陈海刚,等.混合重金属对翡翠贻贝的积累与排放规律研究[J].南方水产,2008,4(6):78—82.

[21] 李华,孙虎山,李磊.铅污染对海洋生物影响的研究进展[J].水产科学,2011,30(3):177—181.

[22] 黄厚见,平仙隐,李磊,等.春、夏季长江口海水、沉积物及生物体中重金属含量及其评价[J].生态环境学报,2011,20(5):898—903.

[23] 刘琴.重金属 Pb、Cd 和 Cr 在泥蚶中的行为研究[D].青岛:中国海洋大学,2008.

[24] 国家质量监督检验检疫总局.海洋生物质量:GB 18421—2001[S].北京:中国标准出版社,2001.