

湛江港海区沉积物和海洋生物中重金属的富集特征分析与评价

孙妮¹, 黄蔚霞^{1,2}, 于红兵¹

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301; 2. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东广州 510301)

摘要: 本文利用原子荧光光度计、原子吸收分光光度计测定了湛江港表层沉积物和海洋生物中 Hg、Cu、Zn、Pb、Cd 5 种重金属元素的含量, 分析评价沉积物和海洋生物中重金属的含量分布及富集特征。结果表明, 除 Cd 外, 其它重金属元素在沉积物中的含量均高于其在海洋生物体中的含量; 湛江港海域 Cu、Zn、Cd 在生物体内积累较严重; 软体类和甲壳类从沉积物中富集 Hg 和 Pb 能力相当, 但软体类从沉积物中富集 Zn 和 Cd 能力高于甲壳类、富集 Cu 能力低于甲壳类。与沉积物重金属含量的非参数相关分析表明, 沉积物中重金属既能促进也能抑制生物体内的重金属富集, 但在软体类和甲壳类两类生物体中表现不同。

关键词: 湛江港; 重金属; 沉积物; 海洋生物; 富集特征

中图分类号: P736; X171

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2015)05-0669-04

Analysis and assessment of heavy metals accumulation feature of sediments and marine organisms from Zhanjiang Harbor

SUN Ni¹, HUANG Wei-xia^{1,2}, YU Hong-bing¹

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, CAS, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Series of heavy metals including Hg, Cu, Zn, Pb and Cd in the sediments and marine organisms collected from Zhanjiang Harbor were measured with atomic fluorescence spectrophotometer or atomic absorption spectrometry. The results showed that the concentration of each type of heavy metal in sediments were higher than that in marine organisms except Cd. Accumulation of Cu, Pb and Zn in marine organisms is serious in Zhanjiang Harbor. The enrichment capacity of Hg and Pb from sediments to mollusks is similar to that of crustaceans. However, mollusks have better enrichment capacity of Zn and Cd than crustaceans, while the result is contrary on Cu. The non-parametric correlation analysis indicates that the heavy metals in sediments can either stimulate or prohibit the accumulation of heavy metals in marine organisms with different law between mollusks and crustaceans.

Key words: Zhanjiang Harbor; heavy metals; sediments; marine organisms; accumulation feature

随着湛江经济的发展, 利用深水良港发展钢铁、石化、造船、能源等重化工业, 使得港湾生态环境正承受着因多层次开发利用而带来的多方污染日益增大的压力, 海域污染日趋严重, 环境问题日

益增多, 赤潮等灾害也时有发生, 生态系统的健康安全令人担忧, 致使海产品的安全问题日益突出^[1]。随着湛江港港口物流业和临港工业的发展, 工农业污水排放、石化产业和港口物流业所造

收稿日期: 2014-10-13, 修订日期: 2014-12-12

基金项目: 中国科学院边缘海地质重点实验室 2013 年度开放研究基金课题 (MSGL13-08); 国家自然科学基金项目 (41306107)

作者简介: 孙妮 (1977-), 女, 山东荣成人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为海洋生态环境影响评价, E-mail: sunni@scsio.ac.cn

成的污染,已经成为湛江港的主要环境问题^[2]。在众多海洋污染物中,重金属因为其生物富集、放大性、持久性的特点而受到了越来越多的关注^[3]。各种来源的重金属主要沉积在近海沉积物中,海洋生物特别是底栖生物摄入的来自沉积物的重金属会通过食物链的传递进入人体,如果人体摄入重金属过量将严重危及人类的健康^[4-6]。本文通过对湛江港海区表层沉积物及海洋生物重金属富集情况的调查研究与分析,为海产品的健康养殖、捕捞、消费提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2013年4月,在湛江港海区采集表层沉积物和海洋生物样品,共设置12个站位,站位示意图见图1。采集了包括鱼类、甲壳类、软体类在内的海洋生物样品共计25件(其中鱼类11件,软体类8件,甲壳类6件,各站位采集的生物样品见表1),沉积物样品每站1件,共12件。生物样品采集后立即用海水冲洗,去掉体表附着的污损物,分类冷冻(-20℃)保存后进行检测。沉积物样品自然干燥后用玛瑙研钵将其磨碎并全部通过160目筛后再进行检测。

1.2 分析项目及分析方法

海洋生物和沉积物均选取Hg、Cu、Zn、Pb、Cd 5个重金属元素作为调查项目,各调查项目的采集、分析方法和技术要求均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763/T-2007)的规定进行。其中,Hg采用原子荧光法,Cu、Pb、Cd采用无火焰原子吸收分光光度法,Zn采用火焰原子吸收分光光度法测定。

1.3 重金属污染评价方法

本文采用生物浓缩因子(*BCF*)和生物—沉积物富集因子(*BSAF*)这两个指标来反映湛江港海洋生物对海水和沉积物中重金属的富集状况。*BCF*表示的是生物从周围水体中富集重金属的状况,而*BSAF*是评价底栖生物体内和沉积物中重金属含量的平衡关系,即生物从生存环境—沉积物中间接吸收重金属的情况^[1]。计算公式如下:

$$\begin{aligned} & \text{生物浓缩因子}(BCF) \\ &= \frac{\text{生物体中重金属的浓度}(\mu\text{g/g})}{\text{海水中重金属溶解态浓度}(\text{mg/L})} \\ & \text{生物-沉积物富集因子}(BSAF) \\ &= \frac{\text{生物体中重金属的浓度}(\mu\text{g/g})}{\text{沉积物中重金属的平均浓度}(\mu\text{g/g})} \end{aligned}$$

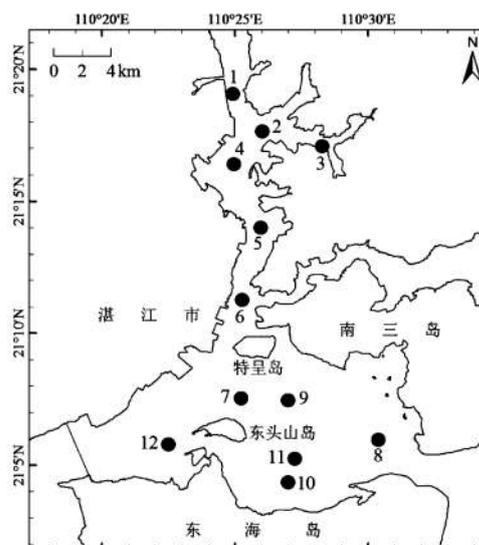


图1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

表1 湛江港各站位生物样品种类

Tab. 1 Types of biological samples of each station from Zhanjiang Harbor

站点	种名
1	红狼鰕虎鱼
2	卵鳎、菲律宾蛤仔、远海梭子蟹
3	尖吻蛇鳎、牡蛎
4	鹿斑鳎
5	火枪乌贼、哈氏仿对虾
6	尖吻蛇鳎、青蛤
7	皮氏叫姑鱼
8	皮氏叫姑鱼、杂色蛤、口虾蛄
9	皮氏叫姑鱼、杂色蛤、远海梭子蟹
10	皮氏叫姑鱼、红螺、远海梭子蟹
11	中华青鳞鱼、钝齿蜆
12	前鳞鳎、菲律宾蛤仔

2 结果与讨论

2.1 海洋生物与沉积物的重金属含量分布

鱼类11件样品中有1件未检测到Hg,两件未检测到Pb;软体类8件样品中有1件未检测到Hg,1件未检测到Pb;甲壳类6件样品中有1件未检测到Hg,1件未检测到Pb。海洋生物与沉积物的重金属含量分析结果如表2所示。由表2可知,沉积物中重金属Hg、Cu、Zn、Pb和Cd的平均含量分别为 0.09×10^{-6} 、 18.98×10^{-6} 、 69.02×10^{-6} 、 30.86×10^{-6} 和 0.15×10^{-6} 。湛江港海洋生物中Hg含量的高低顺序是鱼类>甲壳类>软体类,Cu含量的高低顺序是甲壳类>软体类>鱼类,Zn、Cd含量的高低顺序是软体类>甲壳类>鱼类,Pb含量的高低顺序是甲壳类>鱼类>软体

类。总体来说,除 Cd 外,其它重金属元素在沉积物中的含量均高于其在海洋生物体中的含量。

表 2 湛江港海洋生物和沉积物重金属含量

Tab.2 Concentrations of heavy metals in marine organisms and sediments from Zhanjiang Harbor

样品	$w / 10^{-6}$				
	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd
沉积物	0.09 ± 0.06	18.98 ± 7.16	69.02 ± 29.64	30.86 ± 14.96	0.15 ± 0.15
鱼类	0.03 ± 0.03	0.48 ± 0.28	15.76 ± 9.93	0.26 ± 0.36	0.02 ± 0.01
软体类	0.01 ± 0.00	6.3 ± 7.11	40.56 ± 49.33	0.23 ± 0.14	0.54 ± 0.52
甲壳类	0.01 ± 0.01	7.88 ± 2.14	27.88 ± 13.94	0.31 ± 0.25	0.24 ± 0.34

2.2 不同类群海洋生物对重金属的富集特征

与本次海洋生物和沉积物调查同时进行的湛江港海水中重金属分析结果为:Hg、Cu、Zn、Pb 和 Cd 的平均浓度分别为:0.04、2.12、15.55、0.90 和 0.13 $\mu\text{g/L}$,计算得到湛江港海域各类海洋生物的 BCF 和 BSAF 值如表 3 所示。

表 3 湛江港海洋生物中重金属的 BCF 和 BSAF 值

Tab.3 The Bioconcentration factors and biota-sediment accumulation factors of marine organisms from Zhanjiang Harbor

项目	样品	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd
BCF	鱼类	750	226	1014	289	154
	软体类	250	2972	2608	256	4154
	甲壳类	250	3717	1793	344	1846
BSAF	软体类	0.11	0.33	0.59	0.01	3.60
	甲壳类	0.11	0.42	0.40	0.01	1.60

由表 3 可知,鱼类从海水中富集重金属表现为 $Zn > Hg > Pb > Cu > Cd$;软体类从海水中富集重金属表现为 $Cd > Cu > Zn > Pb > Hg$;甲壳类从海水中富集重金属表现为 $Cu > Cd > Zn > Pb > Hg$ 。由此可见,软体类和甲壳类从海水中富集重金属各元素的规律类似,与鱼类截然不同,这与软体类和甲壳类主要栖息在海底的生活习性密切相关。

又由表 3 可知,软体类从沉积物中富集重金属表现为 $Cd > Zn > Cu > Hg > Pb$;甲壳类从沉积物中富集重金属表现为 $Cd > Cu > Zn > Hg > Pb$ 。软体类和甲壳类从沉积物中富集 Hg 和 Pb 能力相当,但软体类从沉积物中富集 Zn 和 Cd 能力高于甲壳类、富集 Cu 能力低于甲壳类。这一结果与王增焕等^[7]和何雪琴等^[8]对大亚湾海洋生物的重金属富集特征研究结果相似。

造成上述结果现象的原因可能是重金属元素在海洋生物中的积累既受到诸如重金属元素在海水和沉积物中的含量、重金属元素的化学特性、沉积物的理化性质、水体的温盐、光照、氧含量等环境外部因素的影响,也受到生物的生命周期、生理状况和摄食等内部因素的影响^[8-9]。相比于鱼类,甲壳类和软体类生物一般栖息于水体底层环境中,由于 Cu、Zn 和 Cd 的含量在沉积物中远高于海水,所以甲壳类和软体类体内重金属 Cu、Zn 和

Cd 含量要高于鱼类。其次,重金属在生物体内的积累量与其体内金属结合蛋白的数量有关,Zn、Cu 是生物体内必须的生命元素,更容易被生物吸收利用,因此 Zn、Cu 的 BCF 和 BSAF 值要大大高于其他重金属^[10-13]。值得一提的是,本次调查发现鱼类的 Zn、软体类和甲壳类的 Cu、Zn、Cd 的生物浓缩因子大于 1000,说明湛江港海域存在 Cu、Zn、Cd 在生物体内积累严重的问题^[10]。

2.3 沉积物重金属含量对海洋生物重金属含量的影响

由于非参数的 Spearman 相关性分析^[6,14]可以在不需要正态性假设的前提下,发现数据的线性关系和单调的非线性关系,因此本文通过对沉积物重金属含量与软体类和甲壳类生物重金属含量进行非参数的 Spearman 相关性分析研究沉积物重金属含量对海洋生物重金属含量的影响,分析结果如表 4、表 5 所示^[6,14]。

表 4 沉积物和软体类金属含量的相关关系

Tab.4 Correlation analysis of heavy metals concentration of mollusk and sediments

沉积物	软体类				
	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd
Hg	0.00	0.31	-0.19	-0.54 *	0.57 *
Cu	-0.21	0.43	0.12	-0.07	0.21
Zn	-0.21	0.20	-0.21	-0.07	0.26
Pb	0.11	-0.26	-0.57 *	0.32	-0.24
Cd	0.56 *	0.06	0.08	0.56 *	-0.08

注:表中 * 表示相关关系达到显著水平 ($P < 0.05$), ** 表示相关关系达到极显著水平 ($P < 0.01$),下同。

Values with * mean the correlation reach a significant level ($P < 0.05$), values with ** mean the correlation reach a very significant level ($P < 0.01$), the same as below.

由表 4 可知,沉积物中 Hg 含量与软体类生物体内的 Pb 含量、沉积物中 Pb 含量与软体类生物体内的 Zn 含量均呈较强的负相关;而沉积物中 Hg 含量与软体类生物体内 Cd 含量,沉积物中 Cd 含量与软体类生物体内的 Hg、Pb 含量均呈较强的正相关;沉积物和软体类生物体内其它重金属元素之间的相关性不明显。

表5 沉积物和甲壳类金属含量的相关关系

Tab.5 Correlation analysis of heavy metals concentration of crustacean and sediments

沉积物	甲壳类				
	Hg	Cu	Zn	Pb	Cd
Hg	0.70 *	-0.03	-0.14	-0.90 **	-0.98 **
Cu	0.60 *	-0.03	0.09	-0.70 *	-0.77 *
Zn	0.60 *	-0.09	-0.26	-0.70 *	-0.60 *
Pb	-0.80 *	0.26	-0.49	0.90 **	0.54 *
Cd	-0.98 **	-0.03	0.31	0.60 *	0.83 *

由表5可知,沉积物中Hg、Cu、Zn含量与甲壳类生物体内的Pb、Cd含量,沉积物中Pb、Cd含量与甲壳类生物体内的Hg含量,两者均呈现较强的负相关;而沉积物中Hg、Cu、Zn含量与甲壳类生物体内Hg含量,沉积物中Pb、Cd含量与甲壳类生物体内Pb、Cd含量,两者均呈现较强的正相关;沉积物和甲壳类生物体内其它重金属元素之间的相关性不明显。

造成上述现象的原因有两个方面,第一,沉积物重金属是海洋生物特别是底栖生物体内的重要重金属来源,因此沉积物的重金属含量会对附近海洋生物的重金属富集构成影响。例如,Wang等^[15]通过脉冲追踪放射性饲养技术发现沉积物中重金属Ag、Cd、Co、Zn含量与海洋底栖生物相应重金属吸收量成正比。第二,不同的元素之间也存在相互作用,沉积物中的重金属含量既会促进也会抑制生物体中的重金属积累。例如,张春荣等^[6]认为沉积物重金属均能促进或抑制鱼类、贝类和藻类对重金属的富集,对贝类的抑制作用最强;王静凤^[9]对翡翠贻贝的重金属积累研究表明不同形态的Se就对翡翠贻贝Hg的积累有着显著性的影响;梁秋燕等^[16]研究了重金属Zn²⁺和Cd²⁺对斑马鱼早期胚胎发育阶段的单一与联合毒性效应。结果表明,Zn²⁺和Cd²⁺在不同毒性单位配比下,对斑马鱼胚胎的联合毒性不完全相同。即使在同一毒性单位配比下,Zn²⁺和Cd²⁺对斑马鱼胚胎不同毒理学终点的联合毒性也不完全相同。此外,联合作用不仅与化合物的剂量有关,还与染毒时间相关。

3 结论

(1)湛江港海洋生物中Hg含量的高低顺序是鱼类>甲壳类>软体类;Cu含量的高低顺序是甲壳类>软体类>鱼类;Zn、Cd含量的高低顺序是软体类>甲壳类>鱼类。Pb含量的高低顺序是甲壳类>鱼类>软体类。总体来说,沉积物重金属含量均高于海洋生物重金属含量。

(2)软体类和甲壳类从沉积物中富集Hg和

Pb能力相当,但软体类从沉积物中富集Zn和Cd能力高于甲壳类、富集Cu能力低于甲壳类。湛江港鱼类、软体类、甲壳类3种生物存在Cu、Zn、Cd积累过量问题。因此在重金属污染严重的海区应尽量避免养殖、捕捞、消费软体动物和甲壳动物。

(3)沉积物中的重金属含量既会促进也会抑制生物体中的重金属积累,但在软体类和甲壳类两类生物体中表现不同。在今后的研究工作中需要进一步对不同海洋生物金属积累机理进行研究,以更好地预防海洋重金属污染。

参考文献:

- [1] 胡利芳. 湛江湾海域养殖牡蛎的重金属富集及食用安全性分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- [2] 黄蔚霞, 颜文, 刘云旭, 等. 湛江港表层沉积物重金属的分布及其潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2012, 32(5): 639-643.
- [3] 王增焕, 贾晓平, 林钦, 等. 广东沿海近江牡蛎重金属含量特征及其风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(3): 607-612.
- [4] FANG Z. Heavy metals in mussels and associated sediments from the coastal sites along the Pearl River Delta, South China[J]. Toxicological & Environmental Chemistry, 2006, 88(1): 45-55.
- [5] 刘文新, 李向东. 珠江口沉积物中痕量金属富集研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(3): 338-344.
- [6] 张春荣, 吴正龙, 高宗军, 等. 胶州湾沉积物对海洋生物重金属富集的影响分析[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 1094-1098.
- [7] 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]. 南方水产科学, 2009, 5(1): 23-28.
- [8] 何雪琴, 张观希, 郑庆华, 等. 大亚湾底栖生物体中4种重金属残留量分析与评价[J]. 地理科学, 2001, 21(3): 282-285.
- [9] 王静凤. 重金属在海产贝类体内的累积及其影响因素的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004: 12-18.
- [10] KENAGAE. Predicted bioconcentration factors and soil sorption coefficients of pesticides and other chemicals[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1980, 4(1): 26-38.
- [11] 杨美兰, 林燕棠. 大亚湾海洋生物重金属分析与评价[J]. 海洋环境科学, 1990, 9(3): 41-47.
- [12] 吴坚. 微量金属对海洋生物的生物化学效应[J]. 海洋环境科学, 1991, 10(2): 58-64.
- [13] 陈荣忠, 杨丰, 徐洵. 镉对褐菖鲉金属结合蛋白的诱导[J]. 台湾海峡, 1997, 16(3): 280-284.
- [14] 王开军, 黄添强. 基于趋势秩的Spearman相关方法[J]. 福建师范大学大学学报: 自然科学版, 2010, 26(1): 38-41.
- [15] WANG W X, STUPAKOFF I, FISHER N S. Bioavailability of dissolved and sediment-bound metals to a marine deposit-feeding polychaete[J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 178: 281-293.
- [16] 梁秋燕, 谢勇平, 方展强. Zn²⁺和Cd²⁺对斑马鱼早期胚胎发育阶段的单一与联合毒性[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 283-292.