

獐子岛贝类养殖区表层沉积物重金属分布特征及潜在生态危害评价

谭志军^{1,2}, 翟毓秀^{1,2}, 杨帆^{1,2}, 王军^{1,2}, 宁劲松^{1,2}, 赵艳芳^{1,2}, 尚德荣^{1,2}

(1. 农业部水产品质量安全检测与评价重点实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 国家水产品质量监督检验中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 研究了獐子岛虾夷扇贝养殖区表层沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn 等有害重金属的含量及时空分布, 并采用瑞典学者 Hakanson 的潜在生态危害指数法对该区域重金属的分布特征和生态风险进行了分析。结果表明, 獐子岛海域表层沉积物 Pb、Cd、Cu、Zn 含量均是在夏季较低、冬季较高, 最高含量分别为 9.17 ± 2.05 、 0.06 ± 0.014 、 6.71 ± 2.01 、 $24.94 \text{ mg/kg} \pm 5.21 \text{ mg/kg}$, 远低于国家一类海域标准及 Hakanson 提出的全球工业化前沉积物中相应污染物的背景值。综合评价, 该海域表层沉积物中重金属的污染程度不具有生态风险性, 整个养殖区养殖环境良好, 为优良的贝类增养殖海域。

关键词: 贝类养殖; 表层沉积物; 重金属; 潜在生态危害

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)03-0089-06

通过各种途径进入水体中的重金属绝大部分由水相转入固相, 最终结合到悬浮物和沉积物中^[1], 从而导致沉积物成为重金属污染的源和汇^[2-3], 而沉积物中的重金属不仅会破坏底栖生物的生存环境^[4], 而且贝藻等对多数重金属元素具有很强的富集能力^[5-8], 并通过食物链的传递作用对消费者健康安全造成严重威胁^[9-11]。因此, 沉积物中重金属生态风险评价对于生态安全和食品安全具有重要意义^[12]。

獐子岛是我国北方重要的贝类养殖海域, 其底播虾夷扇贝面积和产量占全国的 50% 左右, 为我国最大的虾夷扇贝养殖基地及对欧盟恢复出口的重点区域。前期研究表明, 该海域水体环境^[13]和初级生产力状况^[14]均非常有利于贝类生产, 且所产虾夷扇贝组织中重金属含量也低于相关标准^[7]。但该海域表层沉积物中重金属污染状况仍不清楚, 由于黄渤海其他部分区域表层沉积物均受到一定程度的重金属污染^[15-19], 且重金属污染所具有的辐射作用^[18]导致獐子岛海域潜在具有受重金属污染的生态风险, 对养殖贝类的可持续发展具有不利的影响。因此, 本文采用瑞典科学家 Hakanson 潜在生态危害指数法^[20]对獐子岛海域沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn 等有害重金属污染状况和潜在生态危害进行评价, 以期

了解该海域表层沉积物中的污染状况, 为海域环境的综合评价与管理、贝类养殖业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

根据獐子岛区域规划及虾夷扇贝养殖状况, 在目标海区共设 9 个养殖区(调查站位, 图 1), 并于 2008 年 6 月至 11 月间进行采样, 采样频率为每月 1 次。采样时用抓斗式采样器对海域表层沉积物(0~10 cm)进行采集, 每次取 3 个平行样品, 沉积物的采集、贮存、方法均按照 GB 17378.3—1998《海洋监测规范》(海洋监测规范, 1998)第 3 部分: 样品的采集、贮存与运输进行^[21]。

收稿日期: 2010-09-27; 修回日期: 2011-03-25

基金项目: 中央级基本科研业务费专项资金资助项目(20603022011004); 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放基金(200901)

作者简介: 谭志军(1978-), 男, 副研究员, 主要从事环境化学及生态毒理学研究, 电话: 0532-85836348, E-mail: tanzj@ysfri.ac.cn; 翟毓秀(1962-), 通信作者, 研究员, E-mail: zhaiyx@ysfri.ac.cn

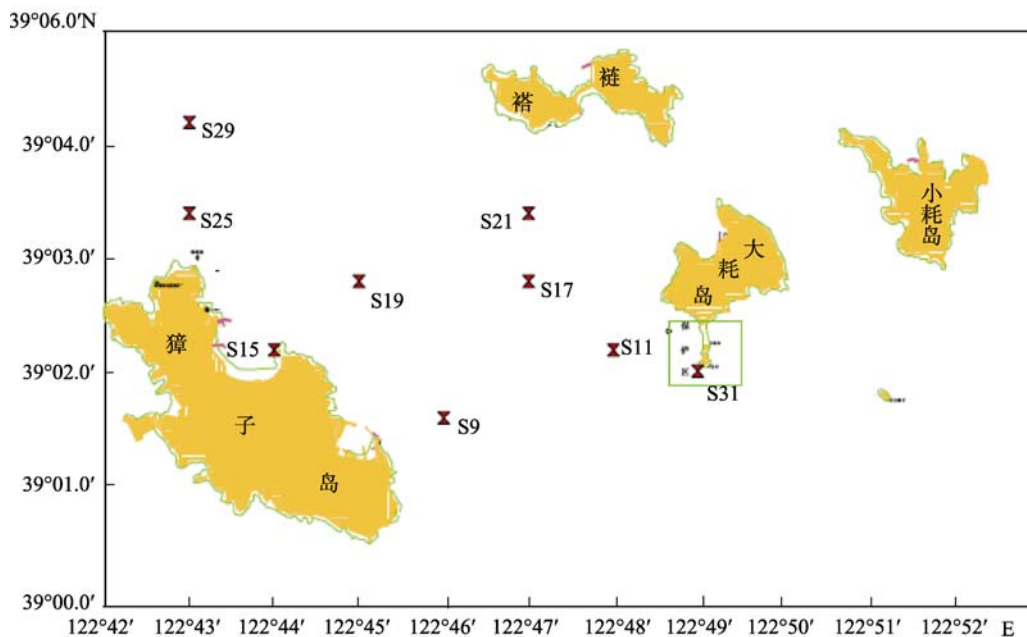


图 1 獐子岛养殖海区调查站位

Fig. 1 Investigation stations in Zhangzi Island maricultural area

1.2 样品分析

1.2.1 样品预处理

样品剔出砾石、贝壳及植物碎屑后 60℃ 烘干，研磨、过 80 目筛、混匀后置于密闭袋中保存，以备分析。

1.2.2 样品消解

称取 0.5g 处理好的表层沉积物样品，置于 100 mL 玻璃三角瓶中，加 10.0 mL HNO₃，静止过夜，置于电热板上低温升至 180℃，瓶口加小漏斗回流，待反应缓和后，加 2.5 mL HClO₄，加热至近干，待与室温平衡后，用石英二次蒸馏水仔细冲洗小漏斗，转移入 100 mL 容量瓶中，定容至 100 mL，静止过夜。

1.2.3 样品测定

样品测定的主要仪器为日本岛津公司的火焰-石墨炉原子吸收光谱仪(AA-6800 型)。Pb、Cd 用石墨炉原子吸收法测定，Cu、Zn 用火焰原子吸收法测定。

2 结果与讨论

2.1 獐子岛贝类养殖区表层沉积物重金属含量及时空分布

2.1.1 獐子岛贝类养殖区表层沉积物重金属含量的分布规律

总的来说，獐子岛贝类养殖海域表层沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn 等重金属总体含量水平均较低，远

低于国家一类海域标准和黄渤海其他海域重金属含量水平，属于优良的贝类养殖海域(表 1，表 2)。需要注意的是，虽然獐子岛贝类养殖区沉积物及贝类产品^[7]中都未受到重金属污染，但由于黄渤海其他海域都受到较高级度的重金属污染(表 2)，为保护这一良好贝类养殖海域，需要加强监督监控工作。

2.1.2 表层沉积物中重金属含量的时间变化

獐子岛海域表层沉积物 Pb、Cd、Cu、Zn 在 6 月至 11 月之间的含量变化如图 2 所示。由图可以看出，这 4 种重金属基本表现出相同的变化趋势，都是在夏季的 8 月份和秋季的 11 月份含量较高；但 Pb 和 Cd 含量全年基本变化都不大，而 Cu 和 Zn 在 11 月份的含量远高于其他月份($P < 0.05$)。

2.2 贝类养殖区重金属污染的生态危害评价

2.2.1 贝类养殖区重金属污染的生态环境质量

本文采用 Lars Hakanson 提出的现代工业化前正常颗粒沉积物中重金属含量的最高背景值 $w(\text{Pb})$ 、 $w(\text{Cd})$ 、 $w(\text{Cu})$ 、 $w(\text{Zn})$ 分别为 25.00、0.50、30.00、80.00 mg/kg，来反映表层沉积物重金属的污染程度^[20]。

采用单因子指数法对各自污染状况进行生态质量评价，评价公式如下：

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i$$

表 1 不同贝类养殖区表层沉积物中重金属的含量(mg/kg)

Tab. 1 Contents of heavy metal in sediments from different shellfish culture area (mg/kg)

养殖区	Pb		Cd		Cu		Zn	
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
S9	6.66 ~ 10.47	8.66	0.02 ~ 0.14	0.05	2.44 ~ 18.21	5.77	14.85 ~ 34.95	21.02
S11	5.75 ~ 9.93	8.03	0.04 ~ 0.06	0.05	4.13 ~ 8.73	6.10	4.89 ~ 27.25	15.95
S15	3.15 ~ 7.55	5.80	0.05 ~ 0.11	0.07	3.35 ~ 7.93	5.76	15.95 ~ 35.50	23.47
S17	6.26 ~ 11.79	9.10	0.03 ~ 0.09	0.06	3.27 ~ 8.12	5.85	16.05 ~ 32.96	25.67
S19	4.12 ~ 12.81	8.30	0.03 ~ 0.07	0.04	2.96 ~ 11.75	5.50	8.59 ~ 38.89	23.48
S21	6.14 ~ 12.36	10.13	0.01 ~ 0.08	0.05	4.92 ~ 9.97	7.64	19.28 ~ 42.06	33.15
S25	7.04 ~ 11.41	9.91	0.02 ~ 0.05	0.04	3.73 ~ 9.14	5.97	20.95 ~ 35.18	27.83
S29	6.96 ~ 23.93	13.38	0.03 ~ 0.12	0.08	4.10 ~ 18.68	11.06	17.67 ~ 37.63	28.97
S31	5.70 ~ 10.99	8.14	0.02 ~ 0.07	0.04	1.78 ~ 6.77	3.76	13.77 ~ 28.13	19.70
总平均值	9.17±2.05		0.06±0.014		6.71±2.01		24.94±5.21	

表 2 獐子岛海域与黄渤海其他区域重金属含量水平比较(mg/kg)

Tab. 2 Comparison of heavy metal contents between Zhangzi Island area and other areas in Bohai and Yellow sea (mg/kg)

海域	Pb	Cd	Cu	Zn
獐子岛(本文)	9.2	0.06	6.7	24.9
北黄海 ^[22]	23.46	0.29	26.0	88.5
胶州湾 ^[19]	28.52	0.11	37.7	82.9
桑沟湾 ^[18]	11.82	0.41	12.86	46.43
威海湾 ^[23]	46.0	0.30	24.0	54.0
莱州湾 ^[19]	16.7	0.21	13.4	49.1
渤海湾 ^[15]	17.3	0.12	27.2	98.9
黄河口 ^[24]	21.6	—	21.5	71.3
山东半岛北部沿海 ^[16]	23.8	0.12	59.5	65.1
锦州湾 ^[17]	753.2	248.1	416.9	6419.0
国家标准				
一类	30.0	0.5	35.0	150.0
二类	130.0	1 0.5	100.0	350.0
三类	250.0	5 0.0	200.0	600.0
劣三类	>250.0	>5.0	>200.0	>600.0

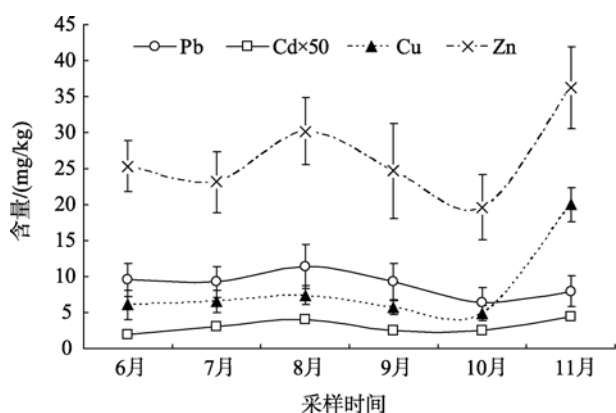


图 2 不同季节重金属含量的变化(mg/kg)

Fig. 2 Seasonal variation of heavy metal contents in sediments from shellfish culture areas (mg/kg)

式中: C_f^i 表示第 i 种重金属污染物的污染指数;

C_s^i 表示沉积物第 i 种重金属的实测浓度 mg/kg; C_n^i 表示全球工业化前沉积物中 i 种重金属的最高背景值。

而多种污染物的综合效应用综合污染指数用 C_d 来表示:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i$$

利用单因子污染指数和综合污染指数对獐子岛沉积物重金属污染进行计算, 可以发现獐子岛海域沉积物中 Pb、Cd、Cu、Zn 含量均低于 Hakanson 提出的全球工业化前沉积物中相应污染物的背景值^[20](表 3, 表 4), 表明獐子岛海域的沉积物重金属不具生态风险。

表 3 沉积物重金属污染的环境质量划分标准

Tab. 3 Classification of heavy metal pollutant degree in sediments

单因子污染指数	综合污染指数	污染程度
$C_f^i < 1$	$C_d < 5$	轻微污染
1 $C_f^i < 3$	5 $C_d < 10$	中度污染
3 $C_f^i < 6$	10 $C_d < 20$	较高污染
$C_f^i \geq 6$	$C_d \geq 20$	很高污染

表 4 獐子岛沉积物单因子污染指数 C_f^i 及综合污染指数 C_d

Tab. 4 Potential pollutant factor (C_f^i) and pollutant indicates (C_d) of heavy metal in surface sediments from shellfish culture areas

养殖区	单因子污染指数 C_f^i				综合污染指数 C_d
	Pb	Cd	Cu	Zn	
S9	0.35	0.10	0.19	0.26	0.90
S11	0.32	0.10	0.20	0.20	0.82
S15	0.23	0.14	0.19	0.29	0.85
S17	0.36	0.12	0.20	0.32	1.00
S19	0.33	0.08	0.18	0.29	0.88
S21	0.41	0.10	0.25	0.41	1.17
S25	0.40	0.08	0.20	0.35	1.03
S29	0.54	0.16	0.37	0.36	1.43
S31	0.33	0.08	0.12	0.25	0.78
平均	0.36±0.084	0.11±0.028	0.21±0.068	0.30±0.064	0.98±0.21

2.2.2 贝类养殖区重金属污染的生态风险评价

本文采用瑞典学者 Hakanson 潜在生态危害指数法进行评价^[20]。该指数法不仅反映了某一特定环境中的每种污染物的影响,而且也反映了多种污染物的综合影响,并且用定量的方法划分出潜在生态危害的程度。

为了定量表达水域中单个污染物的潜在生态风险,定义单个重金属的潜在生态危害风险系数为 E_r^i

$$E_r^i = T_r^i C_f^i = T_r^i C_s^i / C_n^i$$

式中: T_r^i 表示重金属的毒性响应系数,反映重

金属的毒性水平及水体对重金属的敏感程度,其中 Pb、Cd、Cu、Zn 的毒性相应参数 T_r^i 分别为 5、30、5、1。

沉积物多种重金属的潜在生态危害指数为

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

獐子岛海域贝类养殖区沉积物中重金属元素的潜在生态危害系数和生态危害指数 RI 列于表 5。从结果可以看出, Pb、Cd、Cu、Zn 四种重金属的单因子潜在生态风险系数和综合危害指数都远小于轻微

表 5 表层沉积物重金属生态危害程度划分标准

Tab. 5 Classification of ecological risk of heavy metal in surface sediments

单因子生态危害指标	综合生态危害指标	污染程度
$E_r^i < 30$	$RI < 110$	轻微的生态危害
30 $E_r^i < 60$	110 $RI < 220$	中等的生态危害
60 $E_r^i < 120$	220 $RI < 440$	强生的态危害
120 $E_r^i < 240$	$RI \geq 440$	很强的生态危害
$E_r^i \geq 240$		极强的生态危害

表 6 獐子岛养殖区表层沉积物重金属的单因子潜在生态危害系数 E_r^i 和综合危害指数 RI

Tab. 6 Potential ecological risk factor (E_r^i) and risk indicates (RI) of heavy metal in surface sediments from shellfish culture areas

养殖区	E_r^i				RI
	Pb	Cd	Cu	Zn	
S9	1.75	3.00	0.95	0.26	5.96
S11	1.60	3.00	1.00	0.20	5.80
S15	1.15	4.20	0.95	0.29	6.59
S17	1.80	3.60	1.00	0.32	6.72
S19	1.65	2.40	0.90	0.29	5.24
S21	2.05	3.00	1.25	0.41	6.71
S25	2.00	2.40	1.00	0.35	5.75
S29	2.70	4.80	1.85	0.36	9.71
S31	1.65	2.40	0.60	0.25	4.90
平均	1.82±0.42	3.20±0.85	1.06±0.34	0.30±0.064	6.38±1.40

的生态危害标准，同样也低于黄渤海北部其他邻近海域污染程度^[17-18]。因此，獐子岛海域环境良好，属优良的贝类增养殖海域。

3 结论

(1)獐子岛海域表层沉积物 Pb、Cd、Cu、Zn 含量均是在夏季较低、冬季较高，但远低于黄渤海其他海域及国家一类海域标准。

(2)根据 Hakanson 潜在生态危害指数法对獐子岛海域沉积物中重金属进行评价，该海域不存在重金属生态危害性，属于优良的贝类增养殖海域。

参考文献:

[1] 陈斌林, 贺心然, 王童远, 等. 连云港近岸海域表层沉积物中重金属污染及其潜在生态危害[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 246-249.

[2] Srinivasa R M, Shaik B, Sravan K, et al. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Alang-Sosiya ship scrapping yard, India[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 48: 1055-1059.

[3] Carolina M, Carlos M, Manuel P, et al. Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents[J]. Aquaculture, 2006, 254: 317-325.

[4] 丘耀文, 颜文, 王肇鼎, 等. 大亚湾海水、沉积物和生物体中重金属分布及其生态危害[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5):69-76.

[5] Ociel M, Jose M B, Macarena A, et al. Estimation of

the dietary intake of cadmium, lead, mercury, and arsenic by the population of Santiago (Chile) using a Total Diet Study[J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43: 1647-1655.

[6] 王红, 许强, 杨洪生. 中国北方海域扇贝重金属含量的比较与质量评价[J]. 海洋科学, 2007, 31(9):11-18.

[7] 王军, 翟毓秀, 宁劲松, 等. 养殖虾夷扇贝不同组织中重金属含量的分布[J]. 海洋科学, 2009, 33(8): 44-47.

[8] 沈鑫绿, 马继臻, 平仙隐, 等. 厚壳贻贝对重金属的生物积累及释放规律研究[J]. 台湾海峡, 2009, 28(1): 52-59.

[9] Sin S N, Chua H, Lo W, et al. Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong[J]. Environment International, 2001, 26: 297-301.

[10] Marchand C, Lallier-Vergès E, Baltzer F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana[J]. Marine Chemistry, 2006, 98:1-17.

[11] Pekey H. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream[J]. Marine Pollution Bulletin, 2006, 52: 1197-1208.

[12] Pacifico R, Adamo P, Cremisini C, et al. A geochemical analytical approach for the evaluation of heavy metal distribution in lagoon sediments[J]. Journal of

- Soils and Sediments, 2007, 7(5): 313-325.
- [13] 张继红, 王巍, 蒋增杰, 等. 獐子岛养殖海域氮、磷的分布特征[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(6): 88-96.
- [14] 张继红, 方建光, 蒋增杰, 等. 獐子岛养殖水域叶绿素含量时空分布及初级生产力季节变化[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(4): 22-28.
- [15] 秦延文, 苏一兵, 郑丙辉, 等. 渤海湾表层沉积物重金属与污染评价[J]. 海洋科学, 2007, 31(12): 28-33.
- [16] 梁源, 刘健, 孔祥淮, 等. 重金属在山东半岛东北部滨浅海区表层沉积物中的分布和污染评价[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(3): 27-32.
- [17] 张玉凤, 王立军, 霍传林, 等. 锦州湾表层沉积物重金属污染状况评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 178-181.
- [18] 蒋增杰, 方建光, 张继红, 等. 桑沟湾沉积物重金属含量分布及潜在生态危害评价[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 301-305.
- [19] 刘义峰, 吴桑云, 孙书贤, 等. 胶州湾、莱州湾潮间带沉积物污染比较[J]. 海岸工程, 2009, 28(2): 61-68.
- [20] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sediment ecological approach[J]. Water Research, 1980, 14: 975-1001.
- [21] 国家海洋局.GB17378.3-1998 海洋监测规范第3部分: 样品采集、贮存与运输方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 1-8.
- [22] 李淑媛, 苗丰民, 刘国贤. 北黄海沉积物中重金属分布及环境背景值[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(3): 20-24.
- [23] 程波. 威海湾表层沉积物地球化学[J]. 海洋科学, 1989, 6(6): 42-46.
- [24] 黄薇文, 张经, 刘敏光, 等. 黄河口底质中重金属的存在形式[J]. 山东海洋学院学报, 1985, 15(1): 137-145.

The distribution and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments from the shellfish culture areas of Zhangzi Island

TAN Zhi-jun^{1,2}, ZHAI Yu-xiu^{1,2}, YANG Fan^{1,2}, WANG Jun^{1,2}, NING Jin-song^{1,2}, ZHAO Yan-fang^{1,2}, SHANG De-rong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Testing and Evaluation for Aquatic Product Safety and Quality, Ministry of Agriculture, P. R. China; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. National Center for Quality Supervision and Test of Aquatic Products, Qingdao 266071, China)

Received: Sep., 27, 2010

Key words: shellfish culture; surface sediment; heavy metals; potential ecological risk

Abstract: The content and distribution of heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn) in the surface sediment samples collected from the shellfish culture area of Zhangzi Island, were analysed. Their potential ecological risks were assessed with the method presented by Lars Hakanson. The results showed that the contents of Pb, Cd, Cu and Zn were higher in winter and lower in summer, and the highest content is 9.17 ± 2.05 , 0.06 ± 0.014 , 6.71 ± 2.01 and 24.94 ± 5.21 mg/kg respectively, which is far lower than that in other areas and also the national criterion. Therefore, there was no potential economical risk of the heavy metals in this area and the environmental quality of culture was very well.

(本文编辑: 康亦兼)