

江苏如东滩涂文蛤产地环境质量评价

沈新强, 袁 骐, 王云龙, 蒋 玫

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘 要:滩涂贝类最易受污染,养殖环境中积累的污染物往往沿食物链转移富集到滩涂贝类中,从而对贝类质量和人体健康构成潜在生态危险。根据对江苏如东滩涂文蛤养殖产地水体、沉积物和文蛤生物体中主要污染物为时 1 周年的 4 次同步监测数据,应用基于数理统计的超标概率法和内梅罗综合指数法,分析和评价滩涂文蛤产地环境质量状况及超标污染物,为产地环境的管理提供技术支持。单因子评价结果表明,该养殖产地水体中的超标污染物为石油烃,沉积物中的超标污染物依次为铬、汞、镉、砷和铜,文蛤体内的超标污染物依次为铬、铅、石油烃、镉和大肠菌群。综合评价结果表明,该养殖产地 4 季平均的水体、沉积物和贝类质量等级分别处于清洁、清洁和轻污染水平,其中沉积物质量冬、春季均处于轻污染等级,贝类生物体质量春季处于中污染等级。相关分析表明,水体中石油烃,沉积物中镉、铬含量的超标直接影响文蛤的产品质量,产地环境中的铅、大肠菌群、汞、铜、砷是影响该养殖产地文蛤产品质量的潜在污染物。从保证文蛤产品质量出发,应重点关注该产地环境中铬、铅、石油烃、镉和大肠菌群的污染。

关键词:滩涂;文蛤;产地;环境质量;评价

中图分类号:X822.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)12-2480-06

Environmental Quality Evaluation on the Mud-flat *Meretrix meretrix* Aquaculture Area in Rudong of Jiangsu Province, China

SHEN Xin-qiang, YUAN Qi, WANG Yun-long, JIANG Mei

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: The mud-flat shellfish was easily contaminated by pollutants that accumulating in the aquaculture environment. Pollutants do harm to the shellfish quality and human health by accumulating and transferring along the food chain and cause potentially ecological risk. The environment quality of aquaculture area of *Meretrix meretrix* in Rudong mud-flat was assessed with four survey data throughout the year in order to provide technical for the environmental management of aquaculture area. Samples of water, sediment and *Meretrix meretrix* were collected and were used to analyze the concentration of hydrocarbon, heavy metals and colon bacillus. These data were assessed with exceeding probability of mono-variable and Nemerow index, respectively. According to the results of mono-variable method, it showed that hydrocarbon was the sea water quality standard exceeded pollutant. The sediment quality standard exceeded pollutants in decreasing order were Cr, Hg, Cd, As and Cu. The *Meretrix meretrix* standard exceeded pollutant in decreasing order were Cr, Pb, hydrocarbon, Cd and colon bacillus. According to the results of Nemerow method, it showed the four season average rank levels of water, sediment and shellfish quality were clear, clear and light polluted, respectively. However, the rank level of sediment in spring and winter survey was light polluted, and the rank level of *Meretrix meretrix* in spring was middle polluted. Variables including hydrocarbon in water, Cd and Cr in sediment were considered to be the significant pollutants that influenced the shellfish quality directly, and variables including Pb, colon bacillus, Hg, Cu and As were potential pollutants that influenced the *Meretrix meretrix* quality. More attention should be paid to these contaminated pollutants including Cr, Pb, hydrocarbon, Cd and colon bacillus in order to guarantee the quality of *Meretrix meretrix* in Rudong mud-flat area.

Keywords: mud-flat; *Meretrix meretrix*; aquaculture area; environmental quality; evaluation

收稿日期: 2012-04-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADB7B02); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-48)

作者简介: 沈新强(1951—), 男, 上海青浦人, 研究员, 主要从事海洋渔业生态与环境研究。E-mail: esrms@sh163.net

滩涂贝类是最易受污染的海产品,养殖环境中积累的有机质、油类、重金属、难降解有机污染物以及细菌病毒等均会导致贝类污染,进而对食品安全构成威胁。近年来,滩涂贝类养殖环境问题越来越引起人们的关注^[1-2]。已有研究结果表明,贝类的质量、发病和死亡与滩涂环境质量密切相关^[3-5]。目前欧洲养殖水域类别的划分主要以微生物指标作为划分依据,重点是埃希氏菌属大肠群类微生物,根据每 100 g 贝肉中的埃希氏菌属大肠菌数量划分为 A 类区、B 类区、C 类区,并且必须经过至少 2 个月的连续监控^[6]。重金属是海洋环境中一类主要污染物,具有来源广、残留时间长、易于沿食物链转移富集,在某些条件下可以转化为毒性更大的金属有机化合物,对水生生物和人体健康构成潜在生态危险^[7]。我国作为贝类养殖大国,目前侧重于贝类产品产后质量的管理,缺少产前和产中的产地环境管理。

文蛤是江苏省如东县最大的养殖和出口贝类。为掌握滩涂文蛤养殖产地生态环境质量,特别是影响养殖文蛤产品质量的环境因素,本研究选择江苏省如东县滩涂文蛤产地开展环境质量评价,筛选影响文蛤产品质量的特征污染物,旨在为加强贝类产地环境的管理,降低贝类产品质量安全风险提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究数据来自于 2010 年冬、春、夏和秋季对江

苏如东县滩涂文蛤养殖区的水体、表层沉积物和文蛤生物体实施的 4 次同步现场监测。整个监测区面积 0.71 km²,在该区域内布设监测站位 10 个(图 1),每次采集 10 个站的水体、表层沉积物和文蛤生物体样品,各因子样品的采集、分析按《海洋监测规范》^[8]进行,其中文蛤生物体在每站周围随机采集 30 粒,作为 1 个样本。选择相同的监测因子用于评价(表 1)。

1.2 评价方法

贝体或环境中污染物的单因子污染指数按公式

表 1 滩涂产地水体、沉积物和贝类质量限量值
Table 1 Limit the quantity of water body, sediment and shellfish quality for mud-flat aquaculture area

指标	水体质量限量值/ mg·L ⁻¹	沉积物质量 限量值/×10 ⁻⁶	贝类质量限量值/ mg·kg ⁻¹ , WW
大肠菌群	10 000 个·L ⁻¹	200 个·g ⁻¹	4600 MPN·100g ⁻¹
铜	0.01	35.0	50
铅	0.005	60.0	1.0
镉	0.005	0.50	1.0
汞	0.000 2	0.20	0.5
铬*	0.10	80.0	2.0
砷	0.03	20.0	0.5
石油烃	0.05	500.0	15
六六六	0.002	0.50	0.1
滴滴涕	0.000 1	0.02	0.5
多氯联苯	0.000 02	0.02	2.0

注:* 水质指标为总铬。

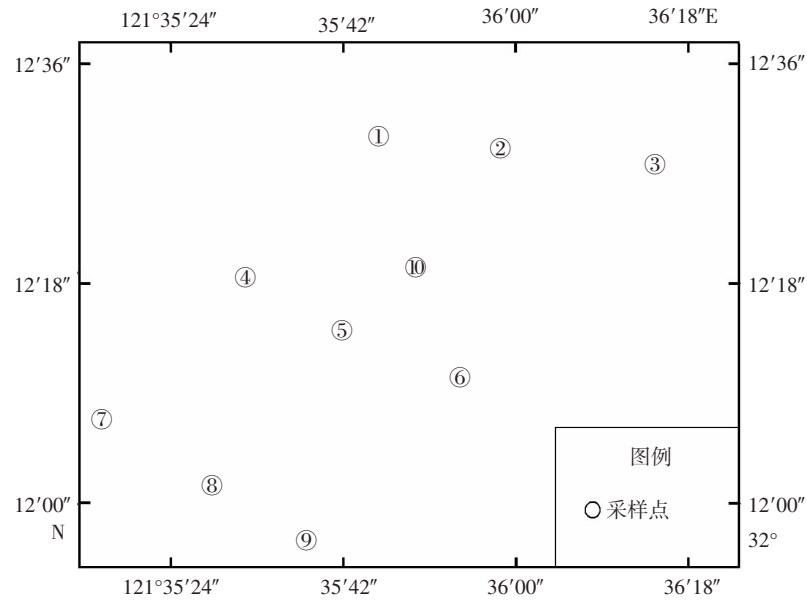


图 1 调查区域和采样点位置
Figure 1 Investigating region and sampling sites

地海水水质 4 季均处于清洁水平(表 4)。

2.2 沉积物质量评价结果

沉积物质量的单因子评价表明该养殖产地沉积物中主要超标因子为铜、镉、汞、总铬、砷(表 3),其余因子符合评价标准。其中铜在春季超标率为 10%,其余季节不超标;镉在春季超标率为 30%,其余季节不超标;汞在春季和秋季超标率分别为 30%和 10%,其余季节不超标;铬在春季和冬季超标率分别为 90%和 100%,其余季节不超标;砷在春季超标率为 20%,其余季节不超标。对照沉积物中污染物筛选标准,该养殖产地沉积物中的超标污染物及排序依次为铬、汞、镉、砷、铜。从季节的分布特点看,除铬在冬、春季出现超标,汞在春、秋季出现超标外,其余均在春季出现超标。综合评价结果表明,该养殖产地沉积物质量年均处于清洁水平,其中冬、春季均处于轻污染等级,夏、秋季均处于清洁等级(表 4)。

2.3 文蛤体质量评价结果

文蛤体质量的单因子评价表明如东滩涂文蛤中主要超标因子为大肠菌群、铅、镉、铬和石油烃(表 3),其余因子符合评价标准。其中大肠菌群在夏季超标率为 10%,其余季节不超标;铅在春、夏和秋季超标率分别为 90%、10%和 10%,冬季不超标;镉在春季超标率为 30%,其余季节不超标;总铬在春、夏、秋和冬季超标率为 70%、80%、30%和 40%;石油烃在春、夏和冬季超标率分别为 60%、20%和 10%,秋季不超标。对照贝体中污染物筛选标准,该养殖产地文蛤中的超标污染物及排序依次为铬、铅、石油烃、镉

和大肠菌群。从季节的分布特点看,铬在 4 季均出现超标,铅在春、夏和秋季均出现超标,石油烃在春季和夏季出现超标,镉和大肠菌群分别仅在春季和夏季出现超标。综合评价结果表明,该养殖区文蛤生物体质量年均处于轻污染水平,其中春季处于中污染等级,夏、秋、冬季处于轻污染等级(表 4)。

2.4 文蛤体与水体、沉积物中石油烃含量相关性

相关性分析表明,文蛤体与水体中石油烃含量在秋季相关性不显著,与沉积物中石油烃含量在夏季不显著,其余季节均存在显著相关,且文蛤体与沉积物中石油烃含量的相关性高于与水体的相关性(表 5),表明文蛤体内石油烃含量受沉积物的影响较大。这一方面因为文蛤是双壳贝类,属滤食性底栖动物^[17],对亲脂性石油烃有较强的富集作用,其体内污染物的释放远慢于鱼类和甲壳类动物^[18]。已有研究表明,滤食性双壳类动物能大量累积有机污染物,而且文蛤生活于水体底部,埋栖于底泥中,因此易于受周围沉积环境的影响^[19-20]。石油烃等有机物质在水中溶解性低,较易吸附到水体中的颗粒物表面,随着颗粒物沉淀在海底和潮间带的沉积物上^[21]。因此,沉积物中的石油类污

表 5 文蛤体与水体、沉积物中油类含量相关系数

Table 5 Relative coefficient of oil content between the water body, sediments and *Meretrix meretrix*

石油烃	冬	春	夏	秋
水体中	0.875*	0.813*	0.745*	0.432
沉积物中	0.915*	0.863*	0.677	0.865*

注:* 表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关。

表 4 文蛤养殖区污染物综合指数和等级分布

Table 4 Nemerow index and classification distribution of pollutants in the aquaculture area of *Meretrix meretrix*

站点	海水水质				沉积物质量				文蛤体质量			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1	1.23	1.01	0.64	0.28	1.89	0.42	0.34	1.67	3.01	1.37	3.34	1.44
2	0.61	0.73	0.89	0.46	1.47	0.38	0.17	1.30	2.31	1.43	0.57	1.39
3	0.40	0.68	0.82	0.23	1.57	0.38	0.84	1.37	3.17	0.66	0.72	0.98
4	0.42	1.35	0.79	0.48	1.26	0.37	0.21	1.37	2.33	1.21	2.70	0.95
5	0.42	0.83	0.85	0.24	0.79	0.43	0.21	1.53	5.03	1.20	1.31	1.82
6	0.35	0.42	0.84	0.25	1.02	0.36	0.18	1.51	2.03	0.92	1.26	0.69
7	0.30	0.69	0.71	0.42	1.14	0.39	0.16	1.37	2.49	2.25	0.67	0.73
8	0.71	0.41	0.94	1.18	1.64	0.40	0.23	2.57	0.48	1.10	0.44	0.72
9	0.26	0.51	0.61	0.51	0.96	0.37	0.17	1.48	0.99	1.00	0.43	3.57
10	0.60	0.90	0.76	0.99	1.60	0.47	0.22	1.42	2.47	1.73	0.45	0.00
平均	0.53	0.75	0.78	0.50	1.33	0.40	0.27	1.56	2.43	1.29	1.19	1.23
污染等级	I	I	I	I	II	I	I	II	III	II	II	II
年均污染等级	I				I				II			

染物,除部分被需氧微生物降解外^[22],其余将长期滞留底质环境中,贝类通过滤食底层环境中的颗粒物和有机物进行摄食,使得各种石油烃的组分在贝类体内富集。

2.5 文蛤体与水体、沉积物中大肠菌群数量相关性

微生物构成海洋环境中浮游生物的一个重要组成部分,细菌是贝类幼体的食物来源之一^[23],Jacq 等研究发现,在幼贝养殖过程中,水中自然细菌群落发生变化,多样性降低,个体较大的细菌增多^[24]。本研究对水体及沉积物中大肠菌群虽然没有超标,但通过对文蛤体与水体、沉积物中大肠菌群相关性分析得知:文蛤体与海水中大肠菌群数量除春季外,其余季节相关性显著,与沉积物中大肠菌群数量在冬、夏季的相关性显著,尤其是夏季两者均显著相关(表 6),表明环境中的大肠菌群数量决定了文蛤体内大肠菌群数量。文蛤从环境中滤食和累积细菌的过程具有一定的选择性^[25-26],因此海水中的大肠菌群更容易被贝类滤食和累积。

表 6 文蛤体与水体、沉积物中大肠菌群数量相关系数

Table 6 Relative coefficient of *colon bacillus* quantity between the water body, sediments and *Meretrix meretrix*

大肠菌群	冬	春	夏	秋
水体中	0.753*	0.127	0.977**	0.732*
沉积物中	0.948**	0.448	0.853*	-0.318

注:* 表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关;** 表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关。

2.6 文蛤体与水体、沉积物中重金属含量相关性

贝类对重金属的生物富集动力学研究表明,生物体内金属含量随着外部水体中金属暴露浓度的增大而增大^[27]。但本研究中,文蛤生物体与水体、沉积物中同步的重金属含量监测数据没有显示线性相关,分析认为这与贝类对重金属的累积机理相关。贝类对重金属的累积与释放是一个缓慢过程,如泥蚶对重金属铅、镉和铜的生物学半衰期分别长达 95、70、45 d^[27]。Croteau 等的研究表明,重金属进入生物体内的途径主要有 3 种,分别是通过呼吸作用由鳃进入体内、通过食物(包括底泥和食物链传递)和体表渗透的作用进入体内,双壳贝类(*Corbicula fluminea*)从食物中富集的铜是从水中获得的 2 倍^[28]。对于一些捕食浮游生物或者底泥的无脊椎动物来说,浮游生物或者底泥中的重金属是其体内重金属生物富集的重要来源,甚至是主要的吸收方式^[29]。因此,文蛤体与环境中重金属含量之间具有复杂的非线性关系。

3 结论

(1)该养殖产地水体中的超标污染物为石油烃,沉积物中的超标污染物依次为铬、汞、镉、砷和铜,文蛤中的超标污染物依次为铬、铅、石油烃、镉和大肠菌群。

(2)该养殖产地海水水质一年四季均处于清洁水平;沉积物质量年均处于清洁水平,其中冬、春季均处于轻污染等级,夏、秋季均处于清洁等级;文蛤生物体质量年均处于轻污染水平,其中春季处于中污染等级,夏、秋和冬季处于轻污染等级。

(3)水体中石油烃,沉积物中的镉、铬含量超标直接影响文蛤产品质量,产地环境中的铅、大肠菌群、汞、铜、砷是影响该养殖产地文蛤产品质量的潜在污染物。

致谢:感谢中国水产科学研究院东海水产研究所晁敏博士对英文摘要的修改。

参考文献:

- [1] 杨红生,周毅. 滤食性贝类对养殖海区环境影响的研究进展[J]. 海洋科学, 1998, 2:42-44.
YANG Hong-sheng, ZHOU Yi. Progress in studies on effect of filter feeding bivalve on environment of mariculture area[J]. *Marine Science*, 1998, 2:42-44.
- [2] 薛超波,王国良,金珊. 海洋滩涂贝类养殖环境的研究现状[J]. 生态环境, 2004, 13(1):116-118.
XUE Chao-bo, WANG Guo-liang, JIN Shan. Review on the culture environment of marine intertidal shellfish [J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1):116-118.
- [3] 周永灿. 海洋贝类病害及其研究进展[J]. 海南大学学报自然科学版, 2000, 18(2):207-212.
ZHOU Yong-can. Marine shellfish disease and study progress[J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2000, 18(2):207-212.
- [4] 金珊,薛超波,王国良,等. 缢蛏滩涂养殖环境的细菌群落组成及分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7):1380-1382.
JIN Shan, XUE Chao-bo, WANG Guo-liang, et al. Bacterial flora composition and its dynamics in tidal-flat *Sinonovacula constricta* aquaculture area [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (7):1380-1382.
- [5] 夏培艳,袁骐,蒋玫,等. 南通如东滩涂文蛤产地环境中石油烃污染评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10):2283-2289.
XIA Pei-yan, YUAN Qi, JIANG Mei, et al. Petroleum hydrocarbon pollution in *Meretrix meretrix* habitat of Rudong tidal flat, Nantong[J]. *Chinese Journal Ecology*, 2011, 30(10):2283-2289.
- [6] 国际认证认可监督管理委员会. 最新欧盟食品卫生法规汇编[M]. 北京:中国计量出版社, 2004:201-204.
International authenticating and approving supervising manage commission. The newest laws and regulations compilation on food health of

- European Union[M]. Beijing: Chinese Measure Publishing House, 2004: 201–204.
- [7] Forstner U, Wittman G T W. Metal contamination in aquatic environment[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1979: 197–270.
- [8] GB 3097—1997, 海洋监测规范[S].
GB 3097—1997, Specification for marine monitoring[S].
- [9] 杨士建, 何宏平, 朱建喜, 等. 基于数理统计理论的超标概率在环境质量评价中的应用[J]. 中国环境监测, 2007, 23(6): 72–77.
YANG Shi-jian, HE Hong-ping, ZHU Jian-xi, et al. Probability exceed to standard based on statistics and probability theory apply in environmental quality evaluation[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2007, 23(6): 72–77.
- [10] 刘 峰, 李秀启, 董贯仓, 等. 黄河口滨海湿地水质污染物现状研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(10): 1705–1710.
LIU Feng, LI Xiu-qi, DONG Guan-cang, et al. Water pollution of Yellow River estuary coastal wetland[J]. *China Environmental Science*, 2011, 31(10): 1705–1710.
- [11] NY 5052—2001, 无公害食品 海水养殖用水水质[S].
NY 5052—2001, Non-environmental pollution food water quality using for mariculture[S].
- [12] GB 3097—1997, 海水水质标准[S].
GB 3097—1997, Sea water quality standard[S].
- [13] GB 18668—2002, 海洋沉积物质量[S].
GB 18668—2002, Marine sediment quality[S].
- [14] GB 2762—2005, 食品中污染物限量[S].
GB 2762—2005, Limit the quantity of pollutants in food[S].
- [15] GB 2763—2005, 食品中农药最大残留限量[S].
GB 2763—2005, Maximum limit the quantity of remaining pesticide in food[S].
- [16] NY 5073—2006, 水产品中有毒有害物质限量[S].
NY 5073—2006, Limit the quantity of noxious and harmful substances in aquatic products[S].
- [17] 姜朝军, 乔庆林, 蔡友琼, 等. 菲律宾蛤仔对石油烃的污染动力学和阈值研究[J]. 海洋渔业, 2006, 28(4): 314–320.
JIANG Chao-jun, QIAO Qing-lin, CAI You-qiong, et al. Kinetic features and threshold value of petroleum hydrocarbons for *Ruditapes philippinarum*[J]. *Marine Fisheries*, 2006, 28(4): 314–320.
- [18] Boehm P D, Quinn J G. The persistence of chronically accumulated hydrocarbons in the hard shell clam *Mercenaria mercenaria*[J]. *Marine Biology*, 1977, 44: 227–233.
- [19] Neff J W, Cox B A, Dixit D, et al. Accumulation and release of petroleum-derived aromatic hydrocarbons by four species of marine animals[J]. *Marine Biology*, 1976, 38: 279–289.
- [20] Langston W J. Accumulation of polychlorinated biphenyls in the cockle *Cerastoderma edule* and the tellin *Macoma balthica*[J]. *Marine Biology*, 1978, 45: 265–272.
- [21] 张建乐, 张彦龙, 张淑萍, 等. 秦皇岛沿岸海域石油污染状况初探[J]. 海洋通报, 1996, 15(5): 74–79.
ZHANG Jian-le, ZHANG Yan-long, ZHANG Shu-ping, et al. Preliminary study on the oil pollution in the coastal area of Qinhuangdao[J]. *Marine Science Bulletin*, 1996, 15(5): 74–79.
- [22] Thouand G. Laboratory evaluation of crude oil biodegradation with commercial natural microbial inoculate[J]. *Can J Microbial*, 1999, 45(2): 106–115.
- [23] Crisp D J, Yule A B, White K N. Feeding of oyster larvae: The functional response, energy budget and a comparison with mussel larvae[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1985, 65: 759–783.
- [24] Jacq E, Moal J, Samain J F, et al. Ecologie bactérienne dans les bacs d'élevage larvaire de coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*), Ifremer[J]. *Actes de Colloques*, 1992, 14: 5–20.
- [25] Kueh C S W, Chan K Y. Bacteria in bivalve shellfish with special reference to the oyster[J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1985, 59: 41–47.
- [26] Hariharan H, Giles J S, Heaney S B, et al. Bacteriological studies on mussels and oysters from six river systems in Prince Edward island, Canada[J]. *Journal of Shellfish Research*, 1995, 14: 527–532.
- [27] 李学鹏, 励建荣, 段青源, 等. 文蛤对重金属铜、铅、镉的生物富集力学[J]. 水产学报, 2008, 32(4): 592–600.
LI Xue-peng, LI Jian-rong, DUAN Qing-yuan, et al. Kinetic study on the bioconcentration of three heavy metals (Cu, Pb, Cd) in *Tegillarca granosa* Linnaeus[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(4): 592–600.
- [28] Croteau M N, Luoma S N. Delineating copper accumulation pathways for the freshwater bivalve *Corbicula* using stable copper isotopes[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2005, 24(11): 2871–2878.
- [29] Wang W X, Fisher N S. Delineating metal accumulation pathways for marine invertebrates[J]. *Science of the Total Environment*, 1999, 238: 459–472.