

# 莱州湾西部海域营养盐分布特征及营养化程度评价<sup>\*</sup>

## Nutrient Distribution and Eutrophication Assessment in West Sea Area of Laizhou Bay

张亮<sup>1,2</sup>, 宋春丽<sup>3</sup>, 张乃星<sup>1,2</sup>, 王尽文<sup>1,2</sup>, 张绍萍<sup>1,2</sup>, 宿凯<sup>1,2</sup>, 袁华茂<sup>4</sup>

ZHANG Liang<sup>1,2</sup>, SONG Chunli<sup>3</sup>, ZHANG Naixing<sup>1,2</sup>, WANG Jinwen<sup>1,2</sup>, ZHANG Shaoping<sup>1,2</sup>, SU Kai<sup>1,2</sup>, Yuan Huamao<sup>4</sup>

(1. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266061; 2. 国家海洋局北海预报中心, 山东青岛 266061; 3. 华仁药业股份有限公司, 山东青岛 266100; 4. 中国科学院海洋研究所生态与环境科学重点实验室, 山东青岛 266071)

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology and Environment & Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong, 266061, China; 2. North China Sea Marine Forecasting Center of SOA, Qingdao Oceanic Environmental Monitoring Central Station of SOA, Qingdao, Shandong, 266061, China; 3. Huaren Pharmaceutical Co., LTD, Qingdao, Shandong, 266100, China; 4. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

**摘要:**【目的】对莱州湾西部海域的无机氮和磷酸盐分布情况进行分析, 了解和掌握莱州湾西部海域的环境质量状况。【方法】以 2011 年 8 月该海域的监测数据为基础, 分析该海域水质营养盐分布特征, 并对营养化情况进行评价。【结果】莱州湾西部调查海域营养盐总体呈自西向东递减的趋势, 河口附近为营养盐的高浓度区; 相关性分析表明, 盐度与无机氮、磷酸盐、COD 呈显著负相关性 ( $P < 0.01$ ), 而 COD 和无机氮、磷酸盐呈显著正相关性 ( $P < 0.01$ ); 莱州湾西部调查海域无机氮污染较严重, 调查海域所有调查站位的无机氮含量超《海水水质标准》(GB 3097—1997) 的第一类海水水质标准, 而磷酸盐含量则有 37% 调查站位超《海水水质标准》(GB 3097—1997) 的第一类海水水质标准。【结论】莱州湾西部调查海域富营养化较严重, 相关环保部门应加强监管, 严格控制陆源污染。

**关键词:** 莱州湾 营养盐 分布特征 富营养化

中图分类号: X834 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2017)02-0082-05

**Abstract:**【Objective】The analysis of the distribution of inorganic nitrogen and phosphate in west sea area of Laizhou Bay was carried out to understand and grasp the environmental quality of west sea area of Laizhou Bay.【Methods】Based on the monitoring data in August 2011, we analyzed the distribution of nutrients and evaluated the water eutrophication.【Results】The nutrients concentration in west sea area of Laizhou Bay showed a decreasing trend from west to east, and near the mouth of rivers were the high concentration areas of nutrients. Inorganic nitrogen, phosphate and COD concentration showed a significant negative relationship with salinity ( $P < 0.01$ ), while COD showed a significant positive relationship with inorganic nitrogen and phosphate. The inorganic nitrogen pollution in west sea area of Laizhou Bay was more serious. All the inorganic nitrogen investigation stations exceeded the first water quality standard of “Sea water quality

收稿日期: 2016-04-10

作者简介: 张亮 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋环境监测和评价研究, E-mail: 36302162@qq.com。

\* 北海分局科技项目(2015B10)资助。

with inorganic nitrogen and phosphate. The inorganic nitrogen investigation stations exceeded the first water quality standard of “Sea water quality

Standard”(GB 3097—1997), and 37% of the phosphate investigation stations exceeded the first water quality standard of “Sea water quality Standard”(GB 3097—1997). **【Conclusion】** The eutrophication in west sea area of Laizhou Bay was serious. The relevant environmental protection department should strengthen supervision, strict control of land based pollution.

**Key words:** Laizhou Bay, nutrient, distribution characteristics, eutrophication

## 0 引言

**【研究意义】**莱州湾与辽东湾、渤海湾并称渤海三大海湾,位于山东半岛西北,渤海南部,西起黄河口,东至龙口市妃姆岛,宽 96 km,海岸线长 319.06 km,面积 6 966 km<sup>2</sup>。莱州湾是典型半封闭性海湾,湾内水深较浅,水交换能力较差。黄河、小清河、广利河、弥河等十多条入海河流注入,为莱州湾带来丰富的营养物质,使其成为黄、渤海多种经济鱼、虾、蟹的主要产卵场、孵幼场和索饵场<sup>[1]</sup>。但近几年入海河流的陆源污染日趋严重,导致赤潮频发且范围不断扩大,加上海洋捕捞业的不断发展,致使莱州湾渔业资源量和生态结构发生较大的变化:生物资源结构发生变化、生物种类的交替出现及数量下降、渔获个体小型和低质化,严重地影响渔业生产<sup>[2-3]</sup>。**【前人研究进展】**相关研究表明莱州湾海水中总无机氮和活性磷酸盐含量逐年升高,浮游植物物种组成发生较大的变化,物种多样性指数降低<sup>[4]</sup>。受黄河和小清河入海径流的影响,2004 年秋季莱州湾海域表层无机氮、磷酸盐和硅酸盐水平分布高浓度区出现在湾西部和西南部,莱州湾水域营养水平基本属于磷限制中度营养,2 级有机污染,说明该水域开始受到有机污染<sup>[5]</sup>。夏斌等<sup>[6]</sup>2007 年对莱州湾进行的调查表明,莱州湾西部和西南部水域表层和底层的溶解无机氮含量较高,营养水平属于磷中等限制潜在性富营养,其无机氮分布趋势和营养化水平与 2004 年调查结果基本一致,有机污染程度属 3 级,较 2004 年有机污染程度有所增加。单志欣等<sup>[7]</sup>通过研究莱州湾无机氮和富营养化指数分布情况,说明莱州湾无机氮逐年升高的趋势,以及富营养化程度与小清河污染扩散相关规律,证实小清河已经成为莱州湾的主要污染源。纪大伟等<sup>[8]</sup>根据 2004 年 5 月份的调查资料对莱州湾海域的营养水平进行评价,认为莱州湾海域磷酸盐、无机氮超标严重,整体已表现出富营养化,其中黄河口和小清河口附近富营养化较为明显。刘义豪等<sup>[9]</sup>通过 2006 年—2009 年莱州湾调查数据分析,2009 年莱州湾海域水质营养盐无机氮受小清河径流影响明显,西部海域显著高于东部海域,氮污染严重;4 年整个海域净营养盐

收支呈磷减少而氮增加的总体变化趋势。**【本研究切入点】**近年来受黄河等河流入海径流量减少的影响,营养盐入海量下降,莱州湾海域的营养盐浓度和结构水平已经发生较大改变。因此,我们根据 2011 年 8 月在莱州湾西部海域获取的监测数据,对莱州湾西部海域的无机氮和磷酸盐的分布情况进行分析,并进行富营养化程度评价。**【拟解决的关键问题】**了解和掌握莱州湾西部海域的环境质量状况,对今后研究、控制环境污染和保护海洋生态环境等都具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样与分析

2011 年 8 月在莱州湾西部海域监测的 30 个站位采集海水样品,采样站位布置如图 1 所示。样品采集和技术要求按照《海洋监测规范》(GB 17378—2007),其中化学需氧量(COD)测定采用碱性高锰酸钾法,氨氮测定采用次溴酸钠氧化法,亚硝酸盐氮测定采用萘乙二胺分光光度法,硝酸盐氮测定采用铈镉还原法,磷酸盐测定采用磷钼蓝法,盐度测定采用盐度计法。其中,无机氮包括氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮。

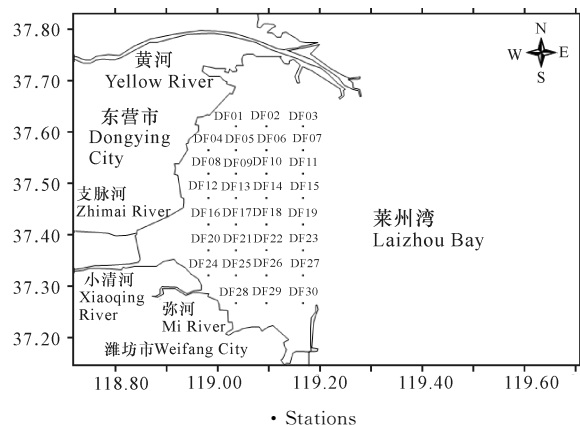


图 1 采样站位图

Fig. 1 The location of sampling stations

### 1.2 数据处理和分析

采用 Surfer 9.0 软件对莱州湾西部海域营养盐数据进行分布特征的等值线绘制。采用 SPSS13.0 软件包中的 Correlate 分析(Pearson)对获得的营养盐、盐度和 COD 数据进行相关性分析,通过分析找

出营养盐与海水盐度、COD 的相关关系。

### 1.3 海水质量评价方法和评价标准

根据《海水水质标准》(GB 3097—1997),按照海域的不同使用功能和保护目标,海水水质分为4类。由于本次调查中有部分调查站位位于山东黄河三角洲国家级自然保护区范围内,因此评价标准采用《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准做参比,采用单因子质量指数法<sup>[10]</sup>对莱州湾西部海域营养盐污染现状进行评价。

### 1.4 海水富营养化评价方法

采用富营养化指数(EI)<sup>[11]</sup>对莱州湾西部海域水质营养化进行评价,评价公式如下:

$$EI = \frac{COD(\text{mg/L}) \times DIN(\text{mg/L}) \times DIP(\text{mg/L})}{4500} \times 10^6, \text{当 } EI \geq 1 \text{ 时为富营养化。}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 海水营养盐含量平面分布特征

从图2、图3可以看出,莱州湾西部海域无机氮、磷酸盐分布趋势相似,调查海域自西向东形成明显的递减趋势,尤其在西部支脉河、小清河及弥河入海口附近浓度最高,总体上营养盐浓度等值线均以支脉河、小清河口为轴心呈舌状向外延伸,含量逐渐降低的趋势,该分布趋势与以往研究调查结果<sup>[7]</sup>基本一致。无机氮的浓度为366~995 μg/L,平均值为670 μg/L,其中DF24号站位含量最高,DF02号站位含量最低;磷酸盐的浓度为3.5~387.8 μg/L,平均值为50.8 μg/L,其中DF20号站位含量最高,DF07号站位含量最低。

海洋营养盐的来源是陆地径流和大气沉降,对于陆架海域,河流是营养盐入海的主要途径<sup>[12-13]</sup>。根据国家海洋局北海分局2012年6月公布的《2011年北海区海洋环境公报》<sup>[14]</sup>,2011年渤海沿岸主要江河径流携带入海的营养盐(氨氮、总磷)18 320 t,其中氨氮13 883 t,总磷4 437 t。调查区域主要受到小清河和黄河陆源影响,其中小清河携带入海的营养盐达6 438 t,黄河为1 941 t。携带大量营养盐(无机氮和磷酸盐等)的河流入海后,通过海水的对流和扩散作用,使河口入海区域形成高浓度区,即莱州湾西部的营养盐高浓度区与小清河入海带入大量的营养盐有关。

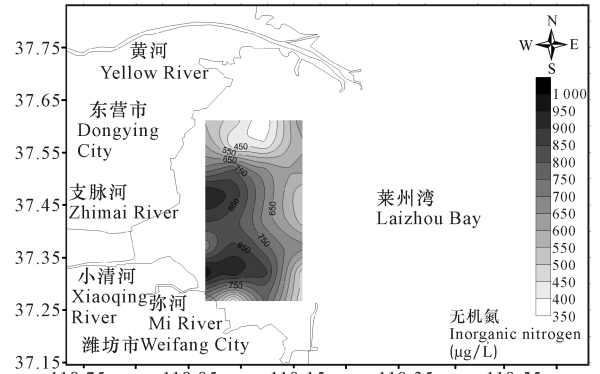


图2 莱州湾西部海域无机氮的平面分布

Fig. 2 The distribution of inorganic nitrogen in west sea area of Laizhou Bay

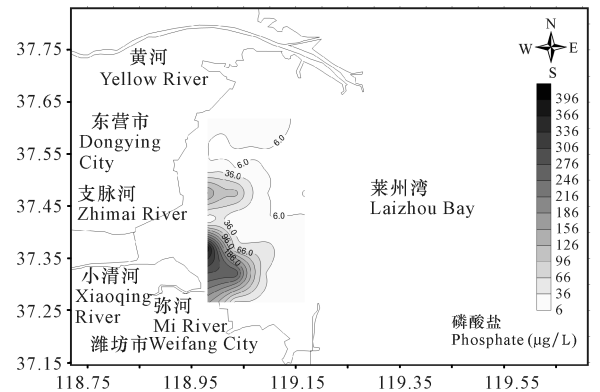


图3 莱州湾西部海域磷酸盐的平面分布

Fig. 3 The distribution of phosphate in west sea area of Laizhou Bay

选取《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准做参比,采用单因子质量指数法<sup>[10]</sup>对莱州湾西部海域营养盐污染现状进行评价,结果显示该海域水质无机氮的污染较严重,调查海域30个调查站位的无机氮含量全部超出《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准;磷酸盐含量则有37%的调查站位超出《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准。

### 2.2 莱州湾西部海域营养盐、盐度和COD的相关性分析

利用SPSS 13.0软件包中的Correlate分析(Pearson)对获得的营养盐数据和盐度、COD数据进行相关性分析,发现盐度和无机氮、磷酸盐、COD均呈显著负相关性,而COD和无机氮、磷酸盐呈显著正相关性(表1)。

表 1 营养盐与海水盐度、COD 的相关性分析

Table 1 Pearson correlation coefficients between nutrient, salinity and COD

	皮尔逊相关性 Pearson correlation coefficients		
	无机氮 Inorganic nitrogen	磷酸盐 Phosphate	盐度 Salinity
磷酸盐 Phosphate	0.483*	—	—
盐度 Salinity	-0.758*	-0.542*	—
COD	0.620*	0.766*	-0.606*

注:样品数  $n=30$ , \* 表示显著相关 ( $P < 0.01$ )

Note: The number of samples  $n=30$ , \* for significant correlation

( $P < 0.01$ )

盐度和无机氮、磷酸盐、COD 均呈显著负相关性表明莱州湾西部海域无机氮、磷酸盐、COD 主要来自河流径流的输送,特别是小清河入海径流。磷酸盐相关性分析与夏斌等<sup>[6]</sup>研究结果有所不同:夏斌等<sup>[6]</sup>2007年8月对莱州湾及附近水域的调查结果表明,表层磷酸盐含量分布较为均匀,磷酸盐与盐度相关性不十分显著,相关系数  $R$  为 0.39 ( $P > 0.05$ ,  $n=16$ ),因此该作者认为磷酸盐的补充并非主要来自河流输入,而是以有机物的分解矿化再生为主。分析造成结果有所差异的原因,一方面是由于调查站位有所不同,另一方面可能与样品数不同也有一定的关系。

### 2.3 莱州湾西部海域富营养化程度评价

由图 4 可知,除 DF07 号站的富营养化指数 ( $EI$ )  $< 1$  外,其余站位富营养化指数 ( $EI$ ) 均  $\geq 1$ ,其中 DF20 最高,达到 291.4。DF25、DF24、DF12 3 个站位的富营养化指数 ( $EI$ ) 也较高,这几个站位均靠近支脉河、小清河入海口位置,如此高的富营养化程度主要是受这些河流陆源排污影响;另外也与 8 月份是北方河流的丰水期,支脉河、小清河径流入海量增加并携带大量的 COD、无机氮和磷酸盐入海有关。本次调查结果显示,莱州湾西部近岸海域海水富营养化非常严重,与以往研究结果<sup>[7,11]</sup>比较,营养化趋势相同,但海水富营养化程度更加严重。其主要原因除与 8 月份支脉河、小清河径流入海量增加有关外,还与本次调查站位更靠近岸边,水深较浅,水体交换与自净能力差,海水受到陆源排污的影响更大有关系。总之,该海域的富营养化已经非常严重,如此严重的富营养化有可能引起生态系统的级联反应,因此相关环保部门应加强监管,控制陆源输入,保护海洋生态环境。

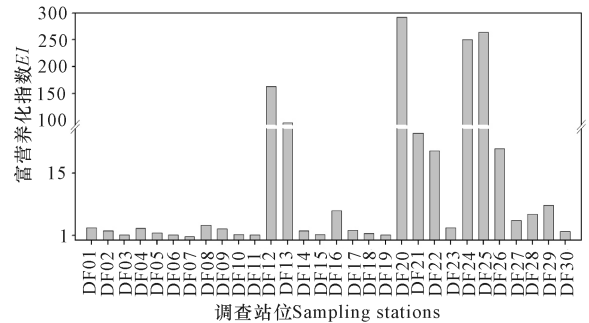
图 4 莱州湾西部海域各站位富营养指数 ( $EI$ )

Fig. 4 Eutrophication index of each station in west area of Laizhou Bay

### 3 结论

受陆源河流污染物排放等的影响,莱州湾西部调查海域营养盐总体呈自西向东递减的趋势,河口附近为营养盐的高浓度区。

莱州湾西部调查海域无机氮污染严重,调查海域全部调查站位的无机氮含量超出《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准,而磷酸盐含量则有 37% 调查站位超出《海水水质标准》(GB 3097—1997)的第一类海水水质标准。

莱州湾西部调查海域富营养化严重,相关环保部门应加强监管,严格控制陆源污染。

#### 参考文献:

- [1] 崔毅,马绍赛,李云平,等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 35-41.  
CUI Y, MA S S, LI Y P, et al. Pollution situation in the Laizhou Bay and its effects on Fishery Resources[J]. Marine Fisheries Research, 2003, 24(1): 35-41.
- [2] 金显仕,唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 18-24.  
JIN X S, TANG Q S. The structure, distribution and variation of the resources in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery of China, 1998, 5(3): 18-24.
- [3] 金显仕,邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.  
JIN X S, DENG J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 65-72.
- [4] 郝彦菊,王宗灵,朱明远,等. 莱州湾营养盐与浮游植物多样性调查与评价研究[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 197-204.  
HAO Y J, WANG Z L, ZHU M Y, et al. Investigation and assessment of nutrients and phytoplankton diversity in the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2005, 23(2): 197-204.
- [5] 李广楼,崔毅,陈碧鹃,等. 秋季莱州湾及附近水域营养

- 现状与评价[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(1):45-48.
- LI G L, CUI Y, CHEN B J, et al. Status and evaluation on nutrients in Laizhou Bay in Autumn[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(1):45-48.
- [6] 夏斌, 张晓理, 崔毅, 等. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3):103-111.
- XIA B, ZHANG X L, CUI Y, et al. Evaluation of the physicochemical environment and nutrition status in Laizhou Bay and adjacent waters in Summer[J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(3):103-111.
- [7] 单志欣, 郑振虎, 邢红艳, 等. 渤海莱州湾的富营养化及其研究[J]. 海洋湖沼通报, 2000(2):41-46.
- SHAN Z X, ZHENG Z H, XING H Y, et al. Study on eutrophication in Laizhou Bay of Bohai[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2000(2):41-46.
- [8] 纪大伟, 杨建强, 高振会, 等. 莱州湾西部海域枯水期富营养化程度研究[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(5):427-429, 445.
- JI D W, YANG J Q, GAO Z H, et al. Eutrophication assessment in western sea area of Laizhou Bay in dry-period[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(5):427-429, 445.
- [9] 刘义豪, 杨秀兰, 靳洋, 等. 莱州湾海域营养盐现状及年际变化规律[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(4):1-5.
- LIU Y H, YANG X L, JIN Y, et al. Distribution and inter-annual variation of nutrients in Laizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(4):1-5.
- [10] 国家环境保护总局环境工程评估中心. 环境影响评价技术导则与标准汇编[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- State Environmental Protection Administration of Environmental Engineering Assessment Center. Compilation of technical guidelines and standards for environmental impact assessment[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.
- [11] 孙丕喜, 王波, 张朝辉, 等. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(3):229-335.
- SUN P X, WANG B, ZHANG Z H, et al. Relationship between nutrient distributions and eutrophication in seawater of the Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(3):229-335.
- [12] 石晓勇, 史致丽, 于恒, 等. 黄河口磷酸盐缓冲机制的探讨- I. 黄河口悬浮物对磷酸盐的吸附-解析研究[J]. 海洋与湖沼, 1993, 30(2):192-198.
- SHI X Y, SHI Z L, YU H, et al. Phosphate buffer-mechanisms in the Hanghe River estuary I. The adsorption and desorption of phosphate by suspended mater[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1993, 30(2):192-198.
- [13] 高会旺, 吴德星, 白洁, 等. 2000年夏季莱州湾生态环境要素的分布特征[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(2):185-191.
- GAO H W, WU D X, BAI J, et al. Distributions of environmental parameters in Laizhou Bay in Summer, 2000[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(2):185-191.
- [14] 国家海洋局北海分局. 2011年北海区海洋环境公报[R]. 国家海洋局北海分局, 2012.
- North China Sea Branch of State Oceanic Administration. The marine environment bulletin of North China Sea in 2011[R]. North China Sea Branch of State Oceanic Administration, 2012.

(责任编辑:米慧芝)

(上接第 81 页 Continue from page 81)

- [20] MEYERS P A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: A summary of examples from the Laurentian Great Lakes[J]. Organic Geochemistry, 2003, 34(2):261-289.
- [21] MENG X W, XIA P, LI Z, et al. Mangrove degradation and response to anthropogenic disturbance in the Maowei Sea (SW China) since 1926 AD: Mangrove-derived OM and pollen[J]. Organic Geochemistry, 2016, 98:166-175.
- [22] 于宇, 宋金明, 李学刚, 等. 沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义[J]. 生态学报, 2012, 32(5):1623-1632.
- YU Y, SONG J M, LI X G, et al. Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5):1623-1632.
- [23] 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评价[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1):180-185.
- CUI Y, CHEN B J, CHEN J F. Evaluation on self-pollution of marine culture in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1):180-185.
- [24] 贾晓平, 蔡文贵, 林钦. 我国沿海水域的主要污染问题及其对海水增养殖的影响[J]. 中国水产科学, 1997, 4(4):79-82.
- JIA X P, CAI W G, LIN Q. The effects of major pollutions on mariculture and fishery resource enhancement along the coastal waters of China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(4):79-82.

(责任编辑:陆雁)