

夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价

夏斌¹ 张晓理² 崔毅^{1*} 陈碧鹃¹ 陈聚法¹ 过锋¹ 张艳¹ 黄翠玲³

(¹农业部海洋渔业资源可持续利用重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 266071)

(²国家海洋局北海环境监测中心, 266033)

(³上海诺安农产品检测服务有限公司青岛分公司, 266012)

摘要 根据2007年8月对莱州湾及附近水域的调查资料,讨论了温度、盐度、pH、溶解氧(DO)、溶解无机氮(DIN)和活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)等理化因子的分布特征,并对该水域的营养水平和有机污染状况进行了评价。结果表明,莱州湾西部和西南部水域表层和底层的DIN含量较高,均呈向东北方向递减的趋势;表层 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量分布较为均匀,在湾口中部水域有一小范围的高值区,并呈向四周逐渐递减分布。底层水平基本与表层一致,但其高值区范围较大,等值线较为密集。营养盐与盐度的相关分析表明,DIN与盐度呈显著负相关,表明DIN主要来自河流径流的输送;而 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 与盐度相关性不十分显著,这表明莱州湾 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的补充并非主要来自河流径流输入,而是以有机物的分解矿化再生为主,同时,浮游植物的大量繁殖也是一个重要的影响因素。由水域环境质量评价结果看,N/P值均大于Redfield比值16,P显得相对缺乏。根据营养化评价模式和有机污染指数计算结果,2007年夏季莱州湾水域营养水平基本属于磷中等限制潜在性富营养,有机污染程度属3级,表明该调查水域受到轻度有机污染。

关键词 莱州湾 溶解无机氮 磷酸盐 营养现状 潜在性富营养化 有机污染

中图分类号 S931.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)03-0103-09

Evaluation of the physicochemical environment and nutrition status in Laizhou Bay and adjacent waters in summer

XIA Bin¹ ZHANG Xiao-li² CUI Yi^{1*} CHEN Bi-juan¹ CHEN Ju-fa¹
GUO Feng¹ ZHANG Yan¹ HUANG Cui-ling³

(¹Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture, Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Shandong Province. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(²North China Sea Environment Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033)

(³Sino Analytica Laboratory of Pesticide Residue Analysis of Agricultural Products, Qingdao 266012)

ABSTRACT In order to study the distribution characteristic of temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, DIN and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and evaluate the nutrient level and organic pollution situation

农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站资助

* 通讯作者。E-mail: cui@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85836341

收稿日期: 2008-05-08; 接受日期: 2008-06-18

作者简介: 夏斌(1981-), 男, 研究实习生, 主要从事海洋生态环境研究。E-mail: xiabin@ysfri.ac.cn Tel: (0532)85836341 13853274817

in Laizhou Bay and its adjacent waters, samples were collected and analyzed in August 2007. The results showed that the concentration of inorganic nitrogen was relatively high in both surface and bottom of west and southwest waters of Laizhou Bay, which showed an decreasing trend from the west and southwest to the northeast. The $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in surface waters was well distributed, a small high value area was found in the middle waters of Laizhou Bay, the concentration decreased from the center toward the periphery gradually. Concentrations of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in bottom waters were different from those in surface waters correspondingly, but the scope of high value area was greater and isoline was more intensive. According to the correlation analysis between nutrient and salinity, there was significant negative correlation between DIN and salinity, indicating that the riverine input was the main source of DIN. Since there was not significant correlation between $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ and salinity, riverine input was not the main source of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$; the concentration of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ was maintained mainly by the decomposition and mineralization of organic materials. In addition, mass reproduction of phytoplankton was another important influencing factor for $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$. According to water environment evaluation result, the value of N/P ratio was higher than the Redfield ratio of 16, and phosphate was the limiting factor for the growth of phytoplankton. Based on the evaluation mode of eutrophication and organic pollution index, The nutrient level of Laizhou Bay was medium phosphorus limiting potential eutrophication, and the organic pollution degree remained at the third level in summer 2007, which indicated that the water area had been polluted by organic materials slightly.

KEY WORDS Laizhou Bay Dissolved inorganic nitrogen Phosphate
Nutrition status Potential eutrophication Organic pollution

莱州湾位于渤海南部,是渤海三大海湾之一,西起黄河口,东至龙口市砣姆岛,宽 96 km,海岸线长 319.06 km,面积 6 966 km²。沿岸有黄河、小清河等 10 余条河流入海,是黄、渤海多种经济鱼虾类的主要产卵场、孵幼场和索饵场。近年来随着莱州湾沿岸工、农业的发展和人口的增长,排海污染物迅速增加,特别是营养盐类和有机物的过量排放引起海水污染和水域富营养化,从而给莱州湾生态环境和生物群落造成严重的危害(沈志亮等 1989;李永琪等 1991)。因此,及时掌握和了解莱州湾及附近水域的环境质量状况,对于今后研究赤潮灾害、控制环境污染和保护海洋生态环境等都具有重要意义。

1 采样与分析方法

1.1 采样站位与时间

调查时间为 2007 年 8 月,调查区域为 38.5°N 以南莱州湾及附近水域,调查站位见图 1。

1.2 调查项目与分析方法

调查项目包括:温度、盐度、pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、硝酸盐($\text{NO}_3\text{-N}$)、亚硝酸盐($\text{NO}_2\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)和活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)。采样层次为表、底层。样品的采集和现场处理及分析方法均按照《海洋监测规范》(GB17378.4—1998)

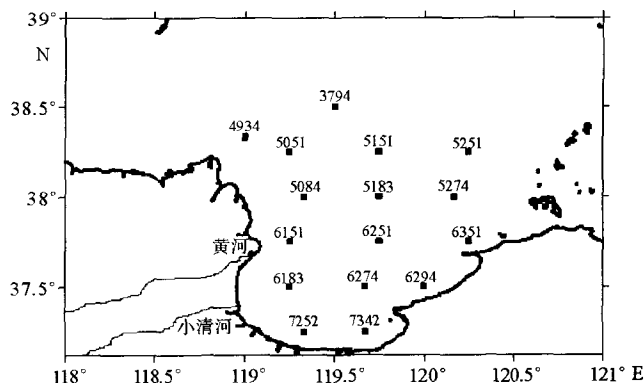


图 1 调查站位

Fig. 1 Sampling locations in Laizhou Bay

中所规定的方法进行。

2 结果与讨论

2.1 理化环境

2.1.1 温度

海水温度是海洋水文学的最基本要素,它不仅表现了海水的热焓状态,而且影响海水其他物理要素和化学要素的变化,影响海水中各种溶解气体的含量,因而对海洋生物的活动、分布、繁殖和生长产生重大影响,是海洋生物得以栖息的基本环境因素。

夏季由于太阳辐射强,气温高,整个渤海的表层海水温度达到全年最高(鲍献文等 2001)。调查结果表明,夏季莱州湾表层温度的变化范围为 25.71~28.26 °C,平均为 26.67 °C;底层的变化范围为 19.95~27.62 °C,平均为 24.45 °C。其水平分布,表层水温高值区位于湾西南水域,低值区位于黄河口附近水域,其水平分布大致呈由西南向东北方向渐减趋势,与 2000 年夏季莱州湾的分布趋势基本一致(高会旺等 2003),这显然与黄河和小清河入海径流有关,而底层水温其水平分布较为明显,呈由南向北方向递减趋势(图 2 和图 3)。

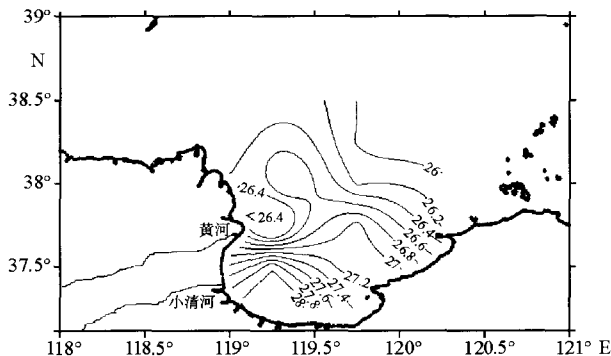


图 2 表层温度平面分布

Fig. 2 Level distribution of the surface temperature

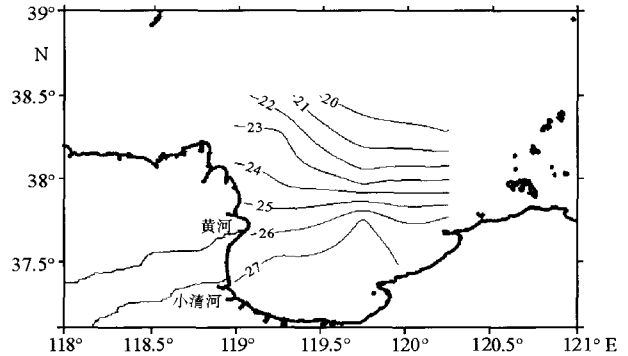


图 3 底层温度平面分布

Fig. 3 Level distribution of the bottom temperature

2.1.2 盐度

海水盐度是海洋水文学的最基本要素之一,它是确定海洋中水系、水团的重要标志,决定水质的理化性质。海水盐度是维持生物原生质与海水间渗透关系的一项重要因素,各种生物对 Na^+ 离子浓度有一定的适应范围。因此盐度对于海洋生物的分布和季节变动有着深刻的影响。

调查海域表层盐度的变化范围为 27.18~31.44,平均值为 29.50;底层盐度的变化范围为 27.17~32.04,平均值为 30.43。由水平分布看,表层和底层低盐值区均位于黄河口和小清河口附近海域,在 37.5°N 处表层和底层的盐度低于 27.8;高值区位于莱州湾的东部和北部海域。分布趋势基本呈自西向东递增趋势(图 4 和图 5),这显然与黄河和小清河等入海河流的淡水注入和黄海的高盐水混合有关(张洪亮等 2006)。以黄河为例,8 月份是黄河的伏汛期,入海径流量比较大,根据山东黄河河务局河道信息公布(<http://www.sdhh.gov.cn/>),2007 年 8 月黄河的入海径流量为 $21.38 \times 10^8 \text{ m}^3$,黄河口及附近沿岸海域淡水堆积较多,黄河冲淡水对河口影响较大。

2.1.3 pH

海水 pH 是海水化学一项重要参数,一般海水的 pH 值在 7.5~8.5 之间,它主要与海水的二氧化碳含量有关,而海水中二氧化碳体系又是海洋中极其复杂的体系。海水 pH 值是各种生物的栖息环境主要因素之一,生物的同化、异化作用亦能影响 pH 值的变化。由于海水为一天然缓冲溶液,因此它的变化较其他参数小。

调查海域表层 pH 的变化范围是 6.88~8.78,平均值为 7.91;底层 pH 的变化范围是 7.67~8.57,平均值为 7.99。其水平分布为,湾内水域表层和底层 pH 分布相对较均匀,而湾口附近水域等值线较为密集,变化梯

度较大。表层 pH 高值区出现在西南部和东北部水域,逐渐向西北部和东南部递减;底层 pH 的分布特征是东部高于西部,中央高于沿岸(图 6 和图 7)。

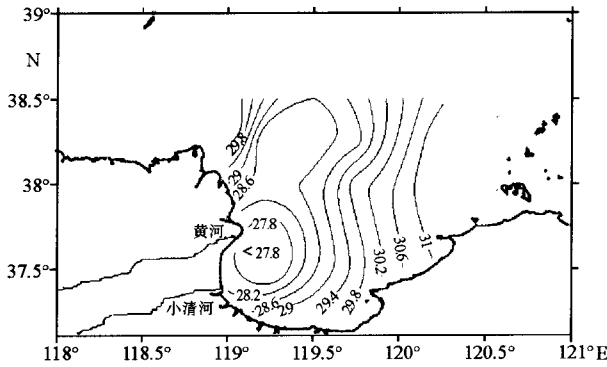


图 4 表层盐度平面分布

Fig. 4 Level distribution of the surface salinity

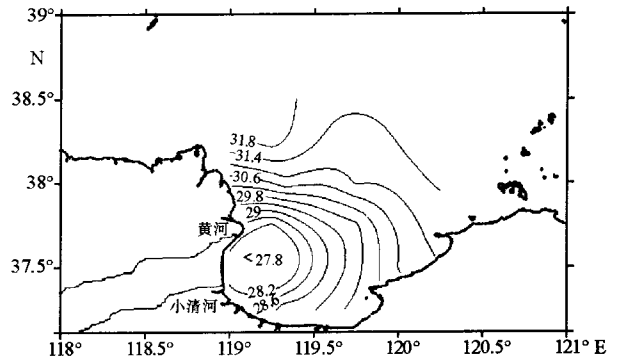


图 5 底层盐度平面分布

Fig. 5 Level distribution of the bottom salinity

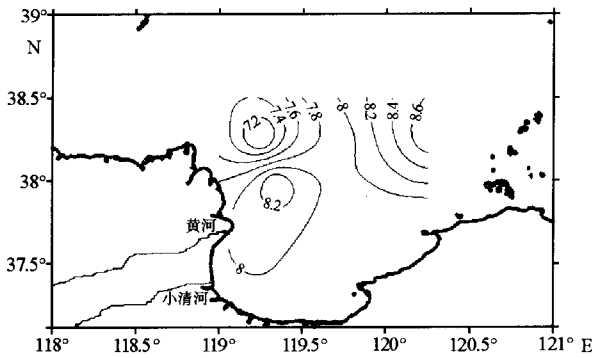


图 6 表层 pH 平面分布

Fig. 6 Level distribution of the surface pH

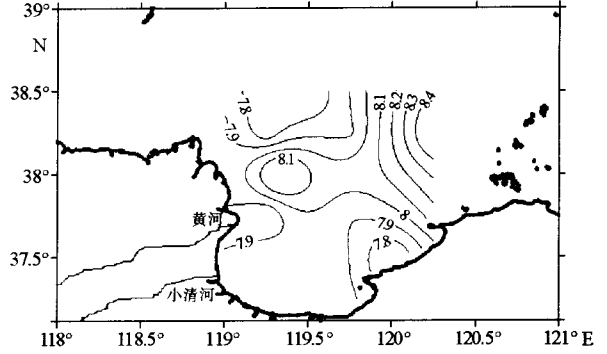


图 7 底层 pH 平面分布

Fig. 7 Level distribution of the bottom pH

2.1.4 溶解氧(DO)

海水中的溶解氧的含量变化是反映生物生长状况和污染状态的重要指标。一般海水中的溶解氧主要来源于大气中氧气的溶解及海洋浮游和底栖藻类的光合作用。近海海域中溶解氧含量除受河流径流、降雨、水温和盐度影响外,还取决于海洋水动力交换。

表层 DO 的变化范围是 4.09~8.39 mg/L,平均值为 5.89 mg/L,氧饱和度平均值为 87.0%。湾口外的 5251 站含量最高,黄河口附近的 6151 站含量最低。与《海水水质标准》(GB 3097-1997)相比较可看出,6151、6294 和 7342 号站 DO 含量较低,属三类水质(4 mg/L),6251、6183、6274、6351 和 7252 站属于二类水质(5 mg/L);底层 DO 的变化范围是 1.45~6.45 mg/L,平均值为 3.98 mg/L,氧饱和度平均值为 58.0%,3794、5084、5151 和 5183 站超出四类水质标准(3 mg/L)。其水平分布为:表层 DO 呈自西部沿岸水域向东部和北部递增趋势,等值线较为密集,变化梯度较大;底层 DO 呈自南部和东部向北部水域递减趋势,在湾口处出现一个低值区(图 8 和图 9)。

有关河口邻近海域低溶解氧现象的形成及原因已有不少研究。李绪录等(1992)认为夏季在南海珠江口外海域底层低氧区存在的主要原因是夏季径流使河口外水域层化;Tian (1993)提出,在长江口外缘水域的 DO 值低于 2.86 mg/L(最小值仅为 1.96 mg/L)是由于发生化学氧化或微生物降解成有机物质后形成的。由此可见,河口外海域缺氧区形成的主要原因可能是由于水体的层化作用或者有机物的降解耗氧所致。

2.2 营养状况分布特征

2.2.1 溶解无机氮(DIN)

海水中的溶解无机氮是指硝酸盐(NO₃⁻-N)、亚硝酸盐(NO₂⁻-N)和氨氮(NH₄⁺-N)3种营养盐类,是海洋生物需要摄入的重要营养元素,同时也是参与海洋生物化学循环的主要元素之一,与海洋初级生产力有着密切的关系(Ketchum *et al.* 1958)。

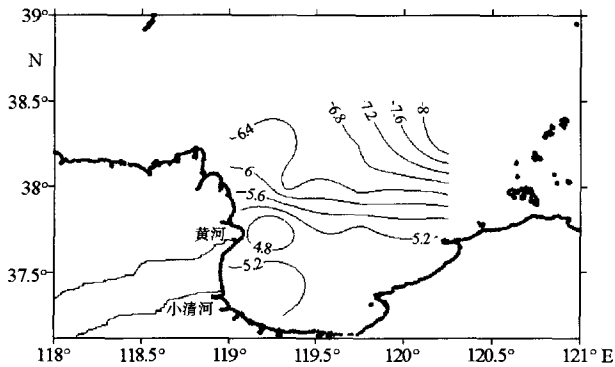


图 8 表层 DO 平面分布

Fig. 8 Level distribution of the surface dissolved oxygen

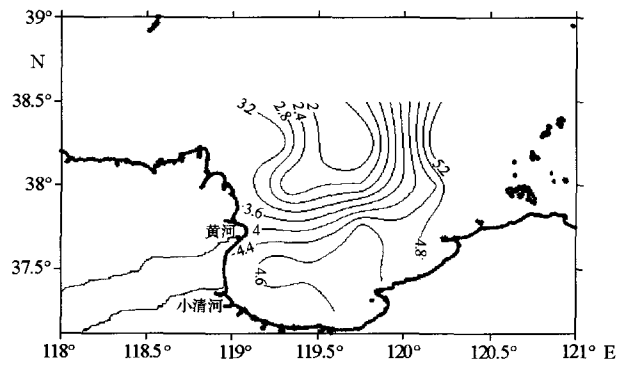


图 9 底层 DO 平面分布

Fig. 9 Level distribution of the bottom dissolved oxygen

调查水域 DIN 表层变化范围为 80.02~706.20 μg/L,平均值为 382.73 μg/L。黄河口附近的 5084 号站含量最高,湾口外围水域的 5251 站含量最低。与《海水水质标准》(GB 3097-1997)标准相比较,只有 5251 站达到了一类海水水质(200 μg/L),7342、6183、6151、5084 号站超过四类海水水质(500 μg/L)。底层 DIN 的变化范围为 108.71~589.44 μg/L,平均值为 314.21 μg/L。湾西南部的 7252、6183 和 6151 号站含量较高,超过四类海水水质(500 μg/L),湾口及湾东南部水域含量较低,符合一类海水水质(200 μg/L)。表层 NO₃⁻-N 占总无机氮的 74.71%,底层 NO₃⁻-N 占总无机氮的 80.90%。

从水平分布看,莱州湾的西部和西南部水域表层和底层 DIN 含量较高,都呈逐渐向东北方向递减的趋势,特别是在小清河口附近有一高值区,并呈扇型向外扩散(图 10 和图 11),与万修全等(2004)、李广楼等(2007)分析结果基本一致。另外,DIN 含量的最高值并没有出现在河口处,而是处于黄河口和小清河口之间的沿岸海域,这可能是由于在黄河口及近岸浅水区潮流形式主要是往复流,湾口中部旋转性较强,潮流主流方向多与岸线平行或向着湾顶所致(房宪英等 1991)。

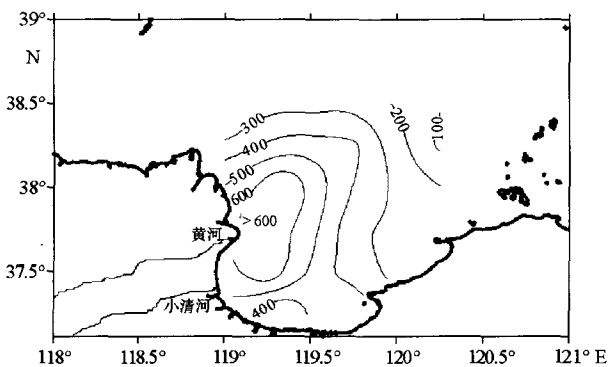


图 10 表层无机氮平面分布

Fig. 10 Level distribution of the surface inorganic nitrogen

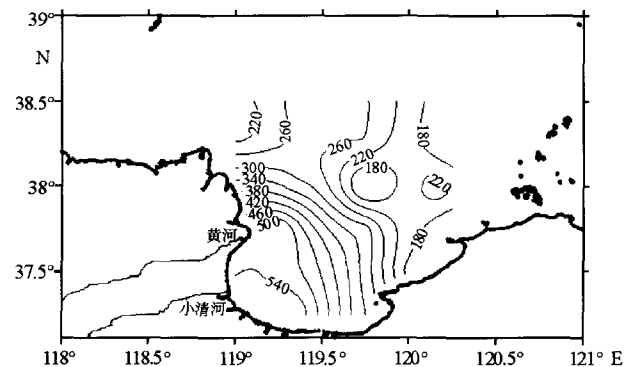


图 11 底层无机氮平面分布

Fig. 11 Level distribution of the bottom inorganic nitrogen

莱州湾东部和西部 DIN 含量相差悬殊,这可能主要与沿岸径流和莱州湾渔业生态结构构成有关。近年来

由于莱州湾西部原有的浅海滩涂贝类文蛤等资源已基本被破坏, DIN 得不到充分利用和消耗, 再加之黄河和小清河入海河流的影响, 使其 DIN 含量较高, 而东部由于浅海贝类养殖业较为发达, 使 DIN 得到了充分利用, 其含量较低(单志欣等 2000)。

2.2.2 活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

磷酸盐是海洋中主要营养盐类, 是浮游植物繁殖和生长必不可少的营养元素之一, 也是海洋生物产量的控制因素之一, 它在全部生物代谢(尤其是能量转换)过程中起着重要作用。

调查水域活性磷酸盐的($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)表层的变化范围为 $1.62\sim 42.27\mu\text{g/L}$, 平均值为 $13.20\mu\text{g/L}$ 。湾口中部的 5183 号站的含量最高, 6251 号站的含量最低。与《海水水质标准》(GB 3097-1997)相比, 5183 号站属于四类海水水质标准($45\mu\text{g/L}$), 5251、5151、6351 和 5274 号站属于二、三类海水水质($30\mu\text{g/L}$), 其他各站均符合一类海水水质($15\mu\text{g/L}$)。底层 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的变化范围为 $1.63\sim 25.71\mu\text{g/L}$, 平均值为 $9.90\mu\text{g/L}$ 。湾口外的 5151 号站的含量最高, 湾东部的 6294 号站的含量最低。湾口附近的 3794、5251、5151、5183 和 5274 号站属于二、三类海水水质标准($30\mu\text{g/L}$), 其他各站都达到了一类海水水质标准($15\mu\text{g/L}$)。

从水平分布看, 湾内表层水域磷酸盐含量分布较为均匀, 水平分布不明显, 在湾口中部水域有一小范围的高值区, 并呈逐渐向四周递减分布。底层水平基本与表层一致, 但其高值区范围较大, 等值线较为密集(图 12 和图 13)。

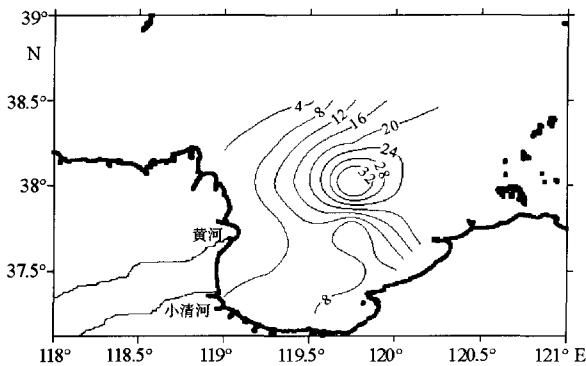


图 12 表层磷酸盐平面分布

Fig. 12 Level distribution of the surface inorganic phosphate

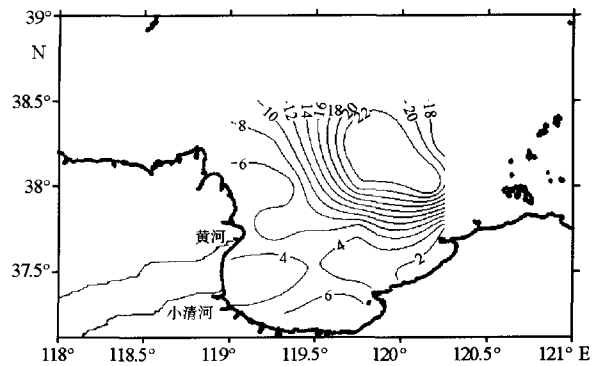


图 13 底层磷酸盐平面分布

Fig. 13 Level distribution of the bottom inorganic phosphate

2.3 相关性分析

对营养盐与盐度的相关性分析表明, 表层 DIN 与盐度呈显著负相关, 相关系数 R 为 0.74 ($P < 0.01, n = 16$), 表明莱州湾 DIN 主要来自河流径流的输送, 特别是小清河入海径流, 由于其 DIN 含量较高, 平均值为 9.24mg/L (孟春霞等 2005)。而 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 与盐度相关性不十分显著, 相关系数 R 为 0.39 ($P > 0.05, n = 16$), 表明莱州湾 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 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。同时, 浮游植物的大量繁殖也是一个重要的影响因素。赵亮等(2002)计算得出莱州湾 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的水体矿化为 $2.5 \times 10^3 \text{ t/a}$, 水底矿化为 $8.9 \times 10^3 \text{ t/a}$, 而河流输入仅为 $0.25 \times 10^3 \text{ t/a}$, 说明海底表层沉积物中的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的向上输送, 是海水中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 补充的一个重要来源。

2.4 水环境质量评价

2.4.1 营养盐结构

N/P 比值(原子比)是衡量营养盐结构的主要指标, Redfield(1958)研究发现一般大洋深层的 N/P 为 16 左右, 与浮游植物元素组分的 N/P 大致相同。浮游植物的生长繁殖对无机氮和磷酸盐的摄取基本以这恒定的比例进行, 因此把恒定的 N/P 比值 16 称为 Redfield 比值作为研究生态环境中缺乏氮或磷的依据(Smith 1984)。

根据本次调查数据统计,莱州湾表层 N/P 为 30.01,底层 N/P 为 31.73,二者相差不大,均较大于 Redfield 比值,表明 $PO_4^{3-}-P$ 可能成为该水域浮游植物生长的限制因子之一。

2.4.2 营养状况分析

目前,国内外对海水富营养化尚未有统一的评价标准或模型。常见的有:(1)单因子指数法;(2)综合营养状态指数法(金相灿等 1990)、Justic(1991)指数、邹景忠指数(邹景忠等 1983)、Ignatiades 指数(Ignatiades *et al.* 1992)和模糊理论(彭云辉等 1991)等。上述评价富营养化的模式虽然有其合理的一面,但都未完全揭示出营养盐限制对富营养化的影响。

海水中浮游植物一般都按 Redfield 比值来摄取营养盐,必然有一部分氮或磷相对过剩。如果根据传统的海水富营养化评价标准,这部分过剩的营养盐将导致海区的营养化水平提高,但实际上它们并没有被浮游植物全部利用,对实质性的富营养化的贡献只是其中的一部分。本文采用郭卫东等(1998)提出的以氮、磷营养盐作为评价参数的潜在性富营养化评价模式(表 1)对莱州湾水域营养状况进行评价。

表 1 潜在性富营养化评价
Table 1 Potential eutrophication assessment standards

| 等级 Grade | 营养级 Nutrient level | DIN($\mu\text{g/L}$) | $PO_4^{3-}-P$ ($\mu\text{g/L}$) | N/P 值 N/P value |
|-----------------|--|------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| I | 贫营养 Poor nutrient | <200 | <30 | 8~30 |
| II | 中度营养 Medium nutrient | 200~300 | 30~45 | 8~30 |
| III | 富营养 Rich nutrient | >300 | >45 | 8~30 |
| IV _p | 磷限制中度营养 Medium nutrient with phosphorous limiting | 200~300 | / | >30 |
| V _p | 磷中等限制潜在性富营养 Potential eutrophication with medium phosphorous limiting | >300 | / | 30~60 |
| VI _p | 磷限制潜在性富营养 Potential eutrophication with phosphorous limiting | >300 | / | >60 |
| IV _N | 氮限制中度营养 Medium nutrient with nitrogen limiting | / | 30~45 | <8 |
| V _N | 氮中等限制潜在性富营养 Potential eutrophication with medium nitrogen limiting | / | >45 | 4~8 |
| VI _N | 氮限制潜在性富营养 Potential eutrophication with nitrogen limiting | / | >45 | <4 |

根据表 1 的划分标准,对莱州湾水域的总体富营养化水平评价结果表明(表 2),2007 年夏季莱州湾水域营养水平基本属于磷中等限制潜在性富营养。

2.4.3 有机污染状况分析

近年来,莱州湾近岸水体有机污染较为严重,这主要是由于小清河等径流带来的大量有机污染物所致(田家怡等 1991;张龙军等 2007;孟春霞等 2005)。采用有机污染综合指数法及有机污染等级对莱州湾进行评价(姜太良 1991;蒋国昌等 1987;蒋岳文等 1991)。即:

$$A = \frac{COD_i}{COD_s} + \frac{IN_i}{IN_s} + \frac{IP_i}{IP_s} - \frac{DO_i}{DO_s}$$

式中,A 为有机污染指数; COD_i 、 IN_i 、 IP_i 和 DO_i 分别为实测值; COD_s 、 IN_s 、 IP_s 和 DO_s 分别为相应要素一类海水水质标准,分别为 2.0、0.2、0.015 和 6.0(单位均为 mg/L)。有机污染水平等级见表 3。

表 2 莱州湾海域营养类型评价

Table. 2 Grading nutrient type in the Laizhou Bay

| 水层 Water layer | DIN ($\mu\text{g/L}$) | $PO_4^{3-}-P$ ($\mu\text{g/L}$) | N/P 值 N/P value | 级别 Grade |
|-------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| 表层 Surface | 382.73 | 13.20 | 30.01 | V _p |
| 底层 Bottom | 314.21 | 9.90 | 31.73 | V _p |
| 平均 Average | 348.47 | 11.55 | 30.87 | V _p |

表 3 有机污染评价分级

Table. 3 Grading of organic pollution

| A 值 A value | 有机污染程度分级 Organic pollution level | 水质质量评价 Water quality evaluation |
|----------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| < 0 | 0 | 良好 Good |
| 0~1 | 1 | 较好 Well |
| 1~2 | 2 | 开始受污染 Begin polluted |
| 2~3 | 3 | 轻度污染 Slight pollution |
| 3~4 | 4 | 中度污染 Moderate pollution |
| 4~5 | 5 | 严重污染 Serious pollution |

根据有机污染综合指数公式,除湾口外的 3794 号站表层水质质量较好外,其他站位水体都受到了有机污染,其中 5084、5183 和 6183 站的水体属有机污染程度 5 级,有机污染严重。莱州湾调查水域表层的有机污染指数平均为 2.62,属有机污染程度 3 级(图 14),表明该调查水域受到轻度有机污染。

2.5 莱州湾营养状况变化趋势

有关资料显示(表 4),近年来,莱州湾水域 DIN 和 $PO_4^{3-}-P$ 浓度整体上升。N/P 整体上也呈上升趋势,除 2001 年 9 月莱州湾表层 N/P 小于 Redfield 比值 16,并且呈 N 限制外,其他均大于 Redfield 比值,呈 P 限制。2004 年 10 月和本次研究莱州湾水域都呈现出富营养化状况。

本次调查与 2000 年调查都发生在 8 月份,因此重点将这两次调查进行对比:本次调查 DIN 含量成倍增加,这主要是因为随着黄河流域工业和城市的发展,大量的含氮营养物质排入黄河和小清河等河流,河流污染加重,并且黄河径流量有了很大的增加。根据黄河水资源公报(<http://www.yellowriver.gov.cn/other/hh-gb/>),2000 年黄河径流量为 $48.59 \times 10^8 / m^3$,而 2007 年为 $198.31 \times 10^8 / m^3$;而 $PO_4^{3-}-P$ 含量变化不大,这主要是因为 2000 年 8 月莱州湾 $PO_4^{3-}-P$ 主要来自河流的输入(高会旺等 2003),而本次调查莱州湾 $PO_4^{3-}-P$ 的补充主要是以有机物的分解矿化再生为主。

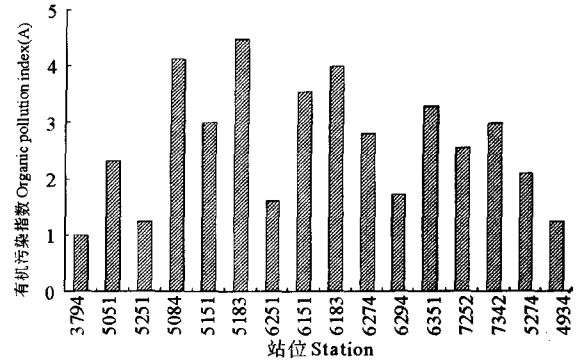


图 14 莱州湾表层的有机污染指数
Fig. 14 The organic pollution index of surface water in Laizhou Bay

表 4 近年来莱州湾营养状况对比

Table 4 Comparison of nutritional status in Laizhou Bay recent years

| 参数 Parameter | 水层 Water layer | 2000-08 | 2001-09 | 2004-10 | 2007-08 | 资料来源 Data source |
|-----------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|---|---|------------------------|
| DIN($\mu g/L$) | 表层 Surface | 66.92 | 97 | 308.99 | 382.73 | 万修全等 2004 高会旺等 2003 |
| | 底层 Bottom | 64.68 | 118 | 245.17 | 314.21 | |
| $PO_4^{3-}-P$ ($\mu g/L$) | 表层 Surface | 9.61 | 25 | 10.40 | 13.20 | 孙丕喜等 2006 |
| | 底层 Bottom | 10.54 | 15 | 11.41 | 9.90 | |
| N/P 值 N/P value | 表层 Surface | 17.32 | 8.5 | 51.5 | 30.01 | 李广楼等 2007 |
| | 底层 Bottom | 17.31 | 17.9 | 47.3 | 31.73 | |
| 营养状况 Nutrition status | 表层 Surface | P 限制 Phosphorous limiting | N 限制 Nitrogen limiting | P 限制中度营养 Medium nutrient with limiting phosphorous | P 中等限制潜在性富营养 Potential eutrophication with medium phosphorous limiting | 本文 This paper |
| | 底层 Bottom | | P 限制 Phosphorous limiting | | | |

3 结论

(1)莱州湾的西部和西南部水域表层和底层 DIN 含量较高,均呈逐渐向东北方向递减的趋势,特别是在小清河口附近有一高值区,并呈扇型向外扩散。湾内表层水域 $PO_4^{3-}-P$ 含量分布较为均匀,水平分布不明显,在湾口中部水域有一小范围的高值区,并呈逐渐向四周递减分布。底层水平基本与表层一致,但其高值区范围较大,等值线较为密集。

(2)莱州湾 DIN 主要来自河流径流的输入,与盐度呈显著负相关; $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 与盐度相关性不十分显著,表明莱州湾 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的补充并非主要来自河流径流输入,而是以有机物的分解矿化再生为主。

(3)从营养结构来看,N/P 值大于 Redfield 比值,P 显得相对缺乏。根据郭卫东等(1998)提出的营养化评价模式,2007 年夏季莱州湾水域营养水平基本属于磷中等限制潜在性富营养。

(4)根据有机污染综合指数法计算分析,2007 年夏季莱州湾表层有机污染程度属 3 级,表明该水域受到轻度有机污染。

参 考 文 献

- 万修全,吴德星,鲍献文,姜 华. 2004. 2000 年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征. 中国海洋大学学报,34(1):7~13
- 田家怡,张洪凯,周桂芬,张新华,张洪勋. 1991. 小清河有机化合物污染及对渤海莱州湾近海水质影响的研究. 海洋环境科学,10(4):45~51
- 孙丕喜,王 波,张朝晖,王宗灵,夏 滨. 2006. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系. 海洋科学进展,24(3):329~335
- 李永琪,丁美丽. 1991. 海洋污染生物学. 北京:海洋出版社,404~415
- 李绪录,吴英霞. 1992. 夏季珠江口海区贫氧现象的初步分析. 广东海岛调查研究文集. 广州:广东科学出版社
- 李广楼,崔 毅,陈碧娟,陈聚法,宋云利,过 锋. 2007. 秋季莱州湾及附近水域营养现状与评价. 海洋环境科学,26(1):45~48
- 沈志亮,陆家平,刘兴俊. 1989. 黄河口及附近海域的无机氮和磷酸盐. 海洋科学集刊,30:51~79
- 张洪亮,杨建强,崔文林. 2006. 莱州湾盐度变化现状及其对海洋环境与生态的影响. 海洋环境科学,25(增刊):11~14
- 张龙军,夏 斌,桂祖胜,江春波. 2007. 2005 年夏季环渤海 16 条主要入海河流的污染状况评价. 环境科学,28(11):2 409~2 415
- 邹景忠,董丽萍,秦保平. 1983. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨. 海洋环境科学,2(2):41~55
- 孟春霞,邓春梅,姚 鹏,张欣泉,米铁柱,陈洪涛,于志刚. 2005. 小清河口及邻近海域的溶解. 海洋环境科学,24(3):25~28
- 金相灿,刘鸿亮. 1990. 中国湖泊富营养化. 北京:中国环境科学出版社,163~216
- 单志欣,郑振虎. 2000. 渤海莱州湾的富营养化及其研究. 海洋湖沼通报,2:41~46
- 房宪英,姜太良. 1991. 莱州湾的潮流特征. 海岸工程,10(3):44~49
- 赵 亮,魏 皓,冯士筌. 2002. 渤海氮磷营养盐的循环和收支. 环境科学,23(1):78~81
- 姜太良,徐洪达,潘会周,尹相淳,严乐漪,费尊乐,毛兴华,陈 峰. 1991. 莱州湾西南部水环境的状况与评价. 海洋通报,10(2):19~21
- 高会旺,吴德星,白 洁,石金辉,李正炎,江文胜. 2003. 2000 年夏季莱州湾生态环境要素的分布特征. 青岛海洋大学学报,33(2):185~191
- 郭卫东,章小明,杨逸萍,胡明辉. 1998. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. 台湾海峡,17(1):64~70
- 蒋国昌,王玉衡,董恒霖,唐仁友. 1987. 浙江沿岸富营养化程度的初步探讨. 海洋通报,6(4):38~39
- 蒋岳文,王永强,尚龙生. 1991. 大连湾海水营养盐的含量及有机污染状况分析. 海洋通报,10(1):100~103
- 彭云辉,王肇鼎. 1991. 珠江河口富营养化水平评价. 海洋环境科学,10(3):7~12
- 鲍献文,王赐震,高郭平,黄 磊. 2001. 渤海、黄海热结构分析. 海洋学报,23(6):24~31
- Ignatiades, L., Karydis, M., and Vounatsou, P. 1992. A Possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based an nutrient concentration scales. Mar. Pollut. Bull. 24(5):238~243
- Justic, D. 1991. A simple oxygen index for trophic state description. Mar. Pollut. Bull. 22(4):201~204
- Ketchum, B. H., Vaccaro, R. F., and Corwin, N. 1958. The annual cycle of P and N in new England coastal waters. J. mar. Res. 17: 282~301
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. Am. Sci. 46:561~600
- Smith, S. V. 1984. Phosphorus Versus nitrogen limitation in the marine environment. Limner Oclanogr, 29(1): 1 149~1 160
- Tian, R. C., Hu, F X., and Martin J. M. 1993. Summer nutrient fronts in the Changjiang (Yangtze River). Estuarine Coastal and Shelf Science, 37:27~41