

2013 年春季莱州湾海域理化环境 及水质状况分析*

赵玉庭^① 苏 博 李佳蕙 王立明 齐延民 孙 珊

(山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 烟台 264006)

摘要 依据 2013 年 6 月对莱州湾海域的调查资料,分析了该海域盐度(S)、pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、溶解无机氮(DIN)和活性磷酸盐(PO₄-P)等理化因子的分布特征,并采用潜在性富营养化评价模式和有机污染指数分别对该海域的营养水平和有机污染状况进行了评价。结果显示,2013 年春季莱州湾所有站位溶解氧、化学耗氧量均符合 I 类海水水质标准;DIN 污染严重,31% 站位的 DIN 含量超 IV 类海水水质标准;PO₄-P 含量较低,所有站位 PO₄-P 含量均符合 I 类海水水质标准。由评价结果来看,2013 年春季莱州湾海域 N/P 比值总体处于高值,P 相对缺乏,营养水平处于磷限制潜在性富营养(VI_P)水平,有机污染程度属于 II 级,表明该调查海域开始受到有机污染,但有机污染程度轻于 2007 年夏季。

关键词 莱州湾; DIN; PO₄-P; N/P 比值; 潜在富营养化; 有机污染

中图分类号 X145 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)04-0074-07

莱州湾是渤海三大海湾之一,位于山东半岛西北部,总面积为 6966.93 km²,约占渤海的 10%,沿岸有黄河、小清河、胶莱河等 10 余条河流注入(刘义豪等, 2011; 刘慧等, 2003)。莱州湾三面环陆,入海径流带来了丰富的营养物质,是黄、渤海渔业生物的主要产卵场(米铁柱等, 2001)。近 20 年来,伴随着海水养殖排污增大、入湾陆源排污量的迅猛增加及河流入海量的锐减(高会旺等, 2003)等原因,莱州湾海域海洋环境生态系统明显恶化(郝彦菊等, 2005),从而给莱州湾生态环境和生物群落造成严重危害(沈志亮等, 1989; 李永琪等, 1991)。因此,本研究基于 2013 年 6 月在莱州湾进行的生态环境调查,分析了该海域盐度(S)、pH、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、溶解无机氮(DIN)和活性磷酸盐(PO₄-P)等理化因子的平面分布特征,并对该海域的营养水平和有机污染状况进行了评价,旨在了解莱州湾及附近海域的环境质量状况,为该海域资源开发和环境保护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 调查时间与站位设置

2013 年 6 月对莱州湾海域进行调查,调查船为鲁昌渔 64193,调查海域内布设 16 个站位(图 1)。

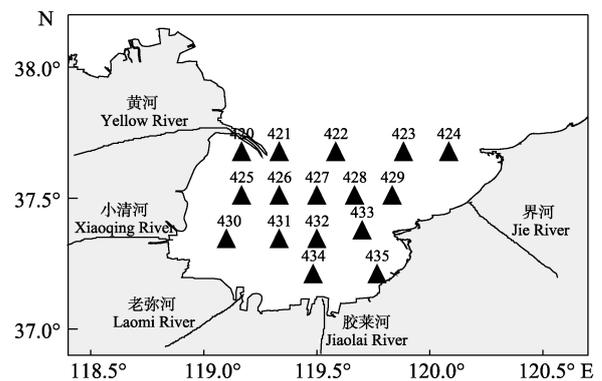


图 1 莱州湾调查站位

Fig.1 Location of sampling stations in the Laizhou Bay

* 山东省科技发展计划课题(2014GSF117030)资助

① 通讯作者: 赵玉庭, E-mail: zhaoyutingnihao@126.com

收稿日期: 2015-08-22, 收修改稿日期: 2015-10-28

1.2 调查项目及分析评价方法

调查项目包括盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量、硝酸盐(NO₃-N)、亚硝酸盐(NO₂-N)、氨氮(NH₄-N)和活性磷酸盐。采样层次为表底层。样品的采集、现场处理及分析方法均按照海洋监测规范(GB17378.4-2007)中所规定的方法进行。

海水富营养化评价采用郭卫东等(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)对莱州湾海域营养状况进行评价。水质有机污染风险评价采用蒋岳文等(1991)提出的有机污染指数(式 1)及有机污染等级(表 2)对有机污染状况进行评价。

$$A = \text{COD}_i / \text{COD}_s + \text{IN}_i / \text{IN}_s + \text{IP}_i / \text{IP}_s - \text{DO}_i / \text{DO}_s \quad (1)$$

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 I 类海水水质标准, 分别为 2.0、0.2、0.015、6.0 mg/L。

表 1 潜在性富营养化评价标准
Tab.1 Potential eutrophication assessment standards

等级 Grade	营养级 Nutrient level	DIN (µg/L)	PO ₄ -P (µg/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

表 2 有机污染评价分级
Tab.2 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 Preferable
1-2	2	开始受到污染 Began to be polluted
2-3	3	轻度污染 Slightly polluted
3-4	4	中度污染 Moderately polluted
4-5	5	严重污染 Seriously polluted

2 结果与分析

2.1 理化环境状况

2.1.1 盐度 海水盐度是海洋水文学的最基本要素之一, 盐度决定水质的理化性质(夏斌等, 2008)。海水盐度一般受降水、蒸发、径流和水系影响, 盐度主要通过水的密度和渗透压影响海洋生物的形态、生长、发育和繁殖。

调查海域表层盐度的变化范围为 27.253-30.058, 平均值为 28.672±0.965; 底层盐度的变化范围为 27.329-30.236, 平均值为 29.005±0.964。由平面分布来看, 表

底层高盐度区均位于莱州湾的东北部海域。表底层低盐度区位于黄河口和小清河口附近海域, 表层在胶莱河河口海域也存在一个低盐度区。分布趋势呈现自西南向东北方向递增趋势, 这与黄河、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)(图 2)。

2.1.2 pH pH 是海水中氢离子活度的一种度量, 海水正常的 pH 在 7.5-8.2 之间, 各种生物都有其生长发育的最适 pH 范围, 过高或过低的 pH 对海洋生物活动均有害。

调查海域表层 pH 的变化范围为 7.82-8.09, 平均

值为 7.94 ± 0.07 ; 底层 pH 的变化范围为 7.91–8.04, 平均值为 7.97 ± 0.04 。由水平分布看, 表层 pH 低值区位于黄河口和小清河口附近海域, 变化梯度较大, 逐渐向东北部递增, 高值区出现在东北部海域; 底层 pH 分布相对较均匀, 北部海域略高于其他海域(图 3)。

2.1.3 溶解氧 海水溶解氧的分布变化与大气分压、海水物理、化学、生物因子有着密切联系, 是进行海洋环境评价的重要指标之一。海水中充足的溶解氧是海洋生物生存的必要条件, 其含量的高低是评价水体质量的重要指标(夏斌等, 2009)。

调查海域表层 DO 的浓度变化范围为 8.18–9.85 mg/L, 平均值为 (8.95 ± 0.46) mg/L; 底层 DO 的

浓度变化范围为 8.01–9.60 mg/L, 平均值为 (8.80 ± 0.42) mg/L, 调查站位表层 DO 含量均符合 I 类海水水质标准。由水平分布来看, 表底层 DO 均呈自西南部沿岸海域向东北部递增趋势, 等值线较为密集, 变化梯度较大; 表底层 DO 均在湾口处出现一个低值区, 该海域缺氧区形成的主要原因可能是由于有机物的降解耗氧或者水体的层化作用所致(李绪录等, 1992; Tian *et al.*, 1993)(图 4)。

2.1.4 化学耗氧量 化学耗氧量是表示海水中还原性物质多少的 1 个指标。化学耗氧量越大, 说明水体受有机物的污染越严重。

调查海域表层 COD 的浓度变化范围为 1.05–

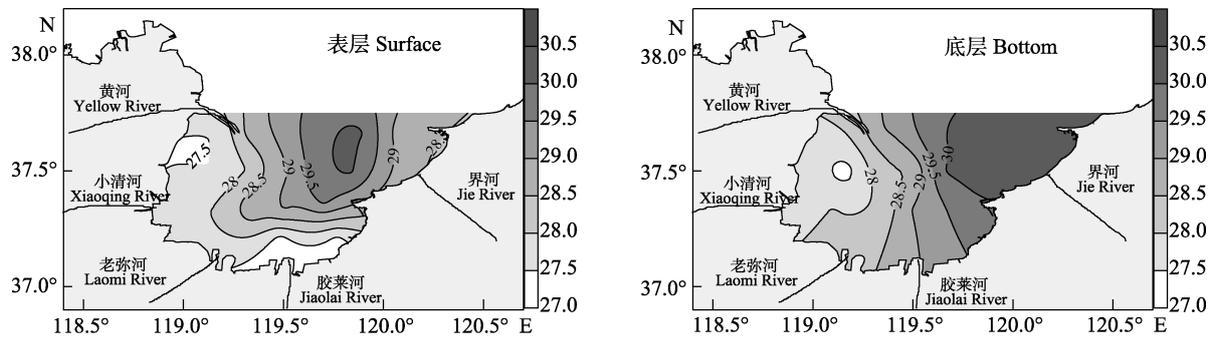


图 2 盐度平面分布
Fig.2 Horizontal distribution of salinity

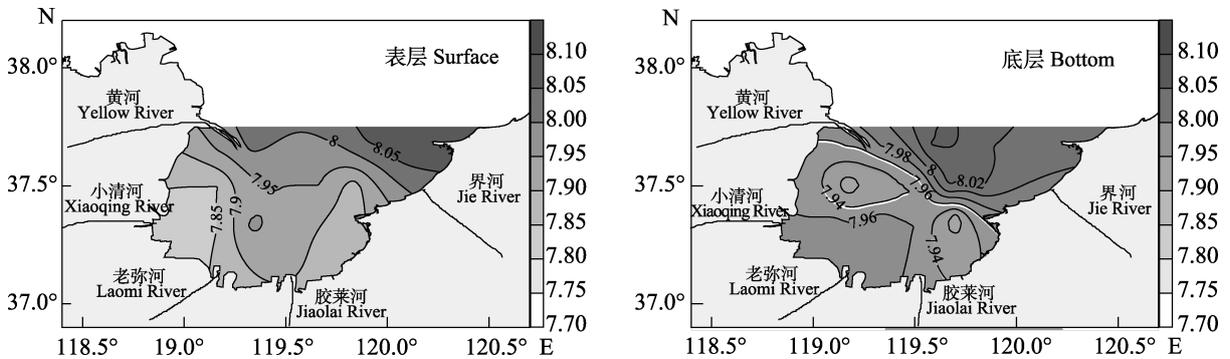


图 3 pH 平面分布
Fig.3 Horizontal distribution of pH

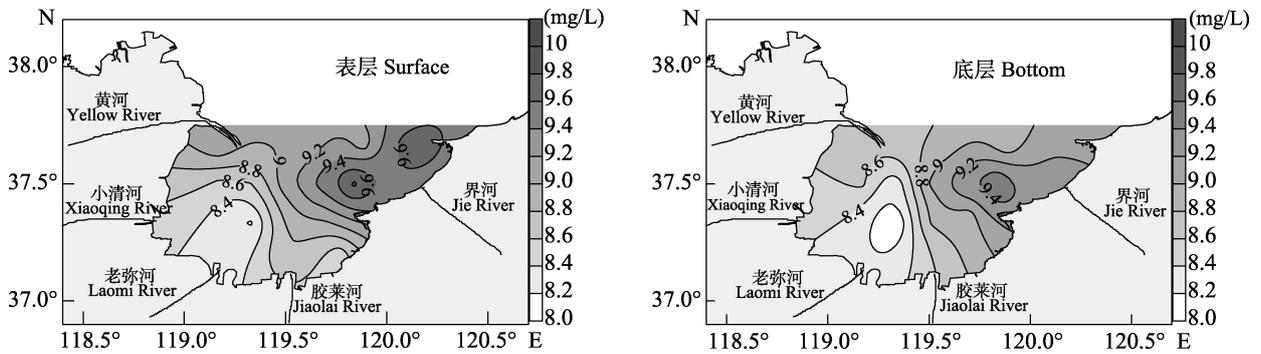


图 4 DO 平面分布
Fig.4 Horizontal distribution of dissolved oxygen

1.76 mg/L, 平均值为(1.45±0.22) mg/L; 底层 COD 的浓度变化范围为(1.05–1.76) mg/L, 平均值为(1.37±0.21) mg/L, 调查站位表层 COD 含量均符合 I 类海水水质标准。由水平分布看, 表层 COD 呈斑块状分布特征, 西南部、东北部和中部部分海域浓度较低, 其他海域浓度较高; 底层西南部和东南部海域浓度较低, 中部海域浓度较高(图 5)。

2.1.5 溶解无机氮 无机氮是海洋生物繁殖、生长所必需的营养物质, 与海洋初级生产力有着密切的关系(Ketchum *et al*, 1958), 在正常情况下, 海水中的 DIN 含量远远达不到引起海洋生物受危害程度。然而, 由于陆源排污的增加, 富营养化水域在适宜的条件下有可能发生赤潮。

调查海域表层 DIN 的浓度变化范围为 0.281–0.584 mg/L, 平均值为(0.429±0.106) mg/L; 底层 DIN 的浓度变化范围为 0.248–0.585 mg/L, 平均值为(0.398±0.108) mg/L。由水平分布来看, 表层 DIN 平面分布基本呈中西部近岸高、东部近岸低, 沿岸向离岸方向逐渐降低的特征, 西部海域明显高于东部海域。高值区主要位于小清河河口、老弥河口附近海域, 呈舌状向外延伸, 其 DIN 含量逐渐降低, 其主要受小清河等径流输入的影响(刘义豪等, 2011); 底层 DIN 平面分布与表层相似, 基本呈中西部近岸高、东部近岸低,

沿岸向离岸方向逐渐降低的特征(图 6)。

2.1.6 活性磷酸盐 活性磷酸盐是海洋生物必不可少的营养元素。海水中磷的含量太低将抑制浮游植物的正常生长, 从而妨碍海洋生产力的发展。如果水中磷酸盐含量超过一定限度, 会刺激藻类生长, 引发赤潮。水体中浮游植物的生长受磷酸盐的含量限制更为明显, 磷污染对水体富营养化影响更大。

调查海域表层 PO₄-P 的浓度变化范围为(2.32–5.22)×10⁻³ mg/L, 平均值为(3.50±1.09) ×10⁻³ mg/L。底层 PO₄-P 的浓度变化范围为(2.32–5.22)×10⁻³ mg/L, 平均值为(3.46±1.01) ×10⁻³ mg/L。由水平分布来看, 表层 PO₄-P 平面分布特征仍呈近岸高离岸低的分布特征, 调查海域没有明显的 PO₄-P 高值区, 只在莱州湾中部海域出现一个 PO₄-P 的低值区, 整个莱州湾海域 PO₄-P 含量整体较低; 底层 PO₄-P 平面分布与表层相似(图 7)。

2.2 营养状况分析

2.2.1 富营养化状况分析 2013 年春季莱州湾海域水质 DIN、PO₄-P 浓度和 N/P 值及营养类型评价见表 3。从表 3 可以看出, 2013 年春季莱州湾海域 DIN 污染较重, 所有站位 DIN 含量均超 I 类海水水质标准, 表层有 31% 的站位 DIN 含量超 IV 类海水水质标准, 底层有 21% 的站位 DIN 含量超 IV 类海水水质标

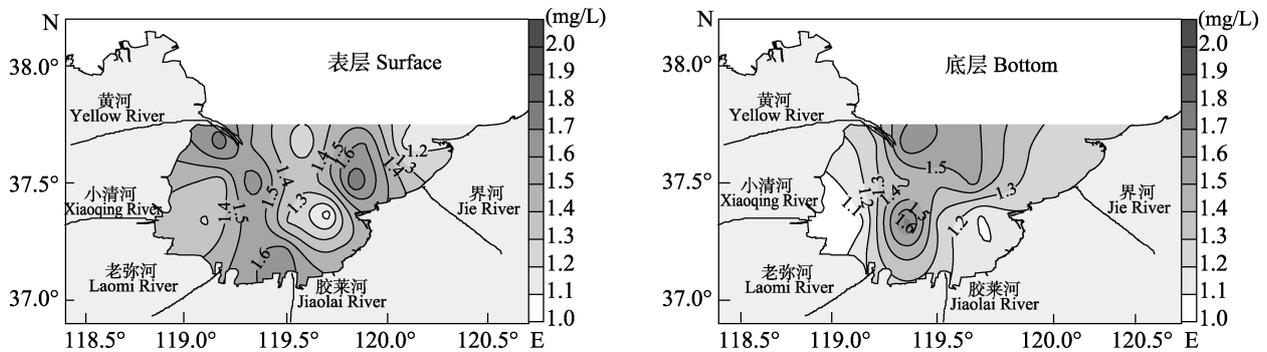


图 5 COD 平面分布
Fig.5 Horizontal distribution of chemical oxygen demand

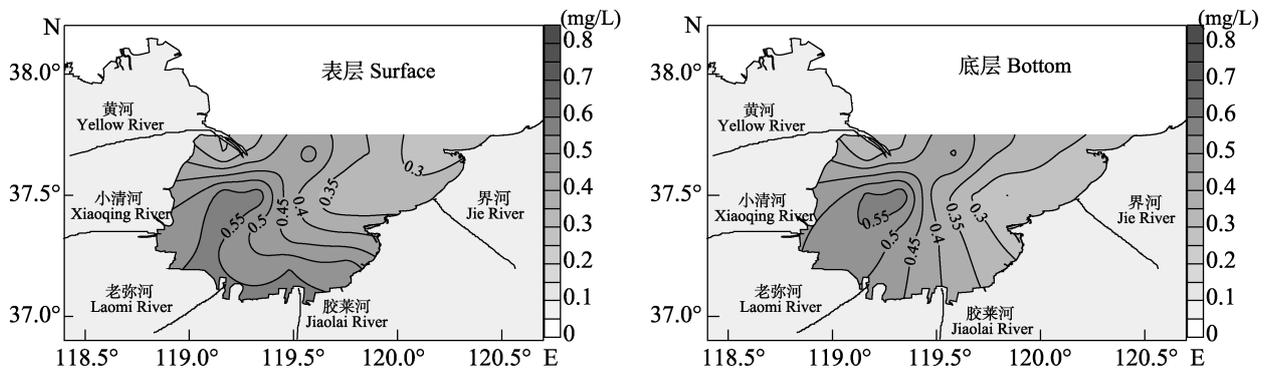


图 6 DIN 平面分布
Fig.6 Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen

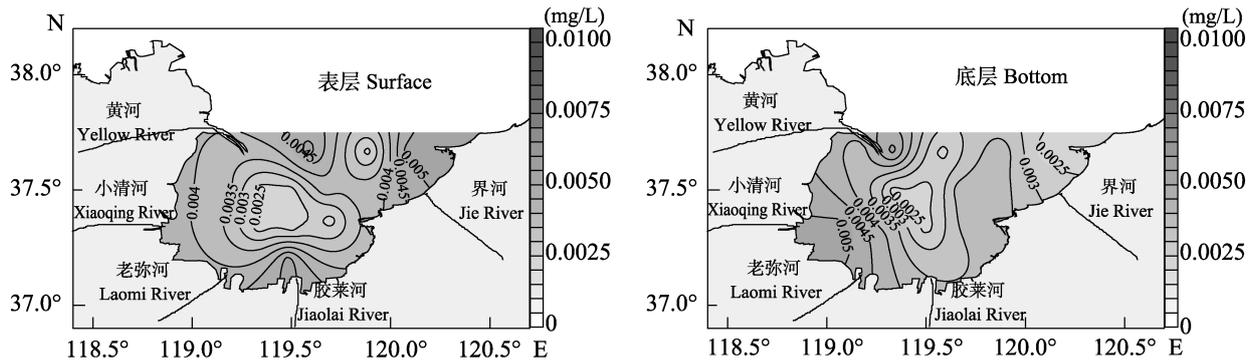
图 7 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平面分布

Fig.7 Horizontal distribution of phosphorus concentration

表 3 2013 年春季莱州湾海域 DIN 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量、 N/P 比值及营养类型评价Tab.3 Concentrations of DIN , $\text{PO}_4\text{-P}$, and N/P and evaluation of nutritional type in the Laizhou Bay in spring 2013

水层 Water layer	DIN (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\times 10^{-3}$ mg/L)	N/P 值 N/P value	级别 Grade
表层 Surface	0.429 ± 0.106	3.50 ± 1.09	299 ± 118	IV_p
底层 Bottom	0.398 ± 0.108	3.46 ± 1.01	279 ± 122	IV_p
平均 Average	0.415 ± 0.106	3.48 ± 1.04	289 ± 118	IV_p

准；整个莱州湾海域 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量整体较低，表底层所有站点 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量均符合 I 类海水水质标准；表底层所有站点 N/P 比值(原子比，下同)总体处于高值，根据表 1 的划分标准，对莱州湾海域的总体富营养化水平评价结果显示，2013 年春季莱州湾海域营养水平基本属于磷限制潜在性富营养(VI_p)水平。

2.2.2 有机污染状况分析 根据有机污染综合指数公式计算，2013 年春季莱州湾海域各站点表层有机污染指数见图 8。从图 8 可以看出，表层有 31% 的站点有机污染程度为 III 级，主要位于黄河、小清河和胶莱河河口区域，受到轻度污染；有 56% 的站点有机污染程度为 II 级，开始受污染；有 2% 的站点有机污

染程度为 I 级，主要位于东北部海域，水质较好。莱州湾调查海域表层的有机污染指数平均为 1.61，属有机污染程度 II 级，表明该调查海域开始受到有机污染，但有机污染程度轻于 2007 年夏季(夏斌等, 2009)。

3 讨论

按照 Redfield 公式，浮游植物按 N/P 比为 16/1 的比例从海水中吸收生源元素(Redfield, 1958)。莱州湾海水中氮磷比值近 30 年总体呈升高趋势，从 1982 年的 4.2 (5、8、10 月表底层平均值)上升到 2009 年的 199 (5、8 月表层平均值)(刘义豪等, 2011)，到 2013 年的 289 (6 月表底层平均值)，远远超过 Redfield

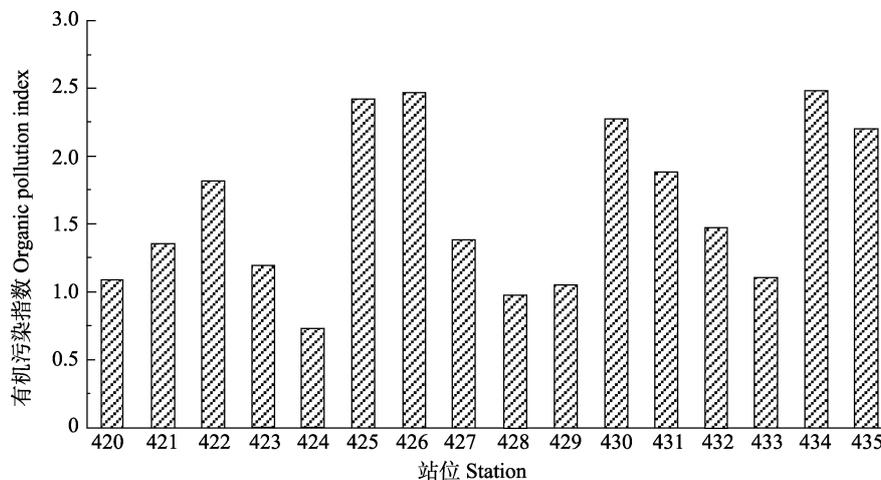


图 8 莱州湾各站点表层有机污染指数

Fig.8 The organic pollution index of surface water in the Laizhou Bay

公式正常 N/P 比的 16/1, 莱州湾海域营养盐结构由氮限制演化为现今的磷限制, 较高的 N/P 比值可能会引起浮游植物种群结构变化, 影响整个生态系统。研究发现, 造成氮磷比值不断升高的原因, 一方面是氮肥在农业中大量使用, 导致陆源氮输入量的增加(王修林等, 2008), 氮成为我国陆源排污的主要污染物(国家海洋局, 2009)。相关性分析表明, 表层 DIN 含量与盐度呈显著负相关, 相关系数 R 为 0.61 ($P < 0.05$, $n=16$), 表明 DIN 主要来自河流径流的输送; 另一方面是浮游植物间的藻间竞争作用和化感效应(彭喜春等, 2007; 康燕玉等, 2006; Chen *et al.*, 2004; Nuccio *et al.*, 2003)等引起种类和优势种的改变, 需磷浮游植物数量和种类受到限制, 噬氮浮游植物大量繁殖; 另外渤海 1 年净营养盐收支为 DIN 含量增加而 $PO_4\text{-P}$ 含量降低(赵亮等, 2002), 也是造成氮磷比值不断升高的原因之一。

中国近岸海域普遍具有营养盐限制的特征, 只是表现为一种潜在性的富营养化(郭卫东等, 1998), 因此, 本研究采用潜在性富营养化评价模式和有机污染综合指数公式对莱州湾海域状况进行评价, 评价结果表明, 2013 年春季莱州湾海域营养水平处于磷限制潜在性富营养(VI_P)水平, 有机污染程度属于 II 级, 表明该调查海域开始受到有机污染, 但有机污染程度轻于 2007 年夏季, 污染状况有所好转。

4 结论

(1) 2013 年春季莱州湾所有站位溶解氧、化学耗氧量均符合 I 类海水水质标准; DIN 污染严重, 31% 的站位 DIN 含量超 IV 类海水水质标准, 主要受陆源输入显著影响; $PO_4\text{-P}$ 含量较低, 所有站位 $PO_4\text{-P}$ 含量均符合 I 类海水水质标准。

(2) N/P 比值总体处于高值, P 相对缺乏; 2013 年春季整个莱州湾海域营养水平处于磷限制潜在性富营养水平, 有机污染程度属于 II 级, 表明该调查海域开始受到有机污染, 但有机污染程度轻于 2007 年夏季, 污染状况有所好转。

参 考 文 献

王修林, 崔正国, 李克强, 等. 环渤海三省一市溶解态无机氮容量总量控制. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(4): 619-622
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. 渔业科学进展, 2011, 32(4): 1-5
刘慧, 方建光, 董双林, 等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的周年变动及限制因子. 中国水产科学, 2003, 10(3): 227-234
米铁柱, 于志刚, 姚庆祯, 等. 春季莱州湾南部溶解态营养盐研究. 海洋环境科学, 2001, 20(3): 14-18
李永琪, 丁美丽. 海洋污染生物学. 北京: 海洋出版社, 1991, 404-415
李绪录, 吴英霞. 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, 1992
沈志亮, 陆家平, 刘兴俊, 等. 黄河口及附近海域的无机氮和磷酸盐. 海洋科学集刊, 1989(30): 51-79
张洪亮, 杨建强, 崔文林, 等. 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, 2006, 25(增刊): 11-14
郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64-70
国家海洋局. 2009 年中国海洋环境质量公报. 海洋开发与管理, 2010, 27(4): 3-6
赵亮, 魏皓, 冯士筭. 渤海氮磷营养盐的循环和收支. 环境科学, 2002, 23(1): 78-81
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. 海洋科学进展, 2005, 23(2): 197-204
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. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(2): 185-191
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. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 103-111
康燕玉, 梁君荣, 高亚辉, 等. 氮、磷比对两种赤潮藻生长特性的影响及藻间竞争作用. 海洋学报, 2006, 28(5): 117-122
蒋岳文, 王永强, 尚龙生, 等. 大连湾海水营养盐的含量及有机污染状况分析. 海洋学报, 1991, 10(1): 100-103
彭喜春, 杨维东, 刘洁生. 赤潮期间藻类的化感效应. 海洋科学, 2007, 31(2): 84-88.
Chen YLL, Chen HY, Karl DM, *et al.* Nitrogen modulates phytoplankton growth in spring in the South China Sea. Cont Shelf Res, 2004, 24(4-5): 527-541
Ketchum BH, Vaccaro R F, Corwin N. The annual cycle of P and N in new England coastal waters. J Mar Res, 1958, 17: 282-301
Nuccio C, Melillo C, Massi L, *et al.* Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the eutrophicated Orbetello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001. Oceanol Acta, 2003, 26(1): 15-25
Redfield AC. The biological control of chemical factors in the environment. Sci Prog, 1960(11): 150-170
Tian RC, Hu PX, Martin JM. Summer nutrient fronts in the Changjiang (Yangtze River) Estuarine. Coast Shelf Sci, 1993, 37(1): 27-41

(编辑 陈严)

Evaluation of Physicochemical Environment and Water Quality in the Laizhou Bay in Spring of 2013

ZHAO Yuting^①, SU Bo, LI Jiahui, WANG Liming, QI Yanmin, SUN Shan

(Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Shandong Key Lab of
Marine Ecological Restoration, Yantai 264006)

Abstract In recent years, the marine environment and ecosystem in the Laizhou Bay have obviously deteriorated, which caused serious damage to the ecological environment and biological community. In order to understand the environmental qualities of the Laizhou Bay and the adjacent sea areas, we analyzed the distribution of salinity, pH, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and PO₄-P based on field data obtained from the Laizhou Bay in June 2013. The nutrition level and organic pollution in this area were also evaluated with potential eutrophication assessment standards and grading of organic pollution respectively. The results showed that DO and COD concentrations at all surveyed stations met the first class seawater quality standard. DIN pollution was serious mainly caused by the terrestrial input. At approximate 31% of investigated stations the DIN concentration exceeded the limit of the fourth class seawater quality standard. The level of PO₄-P was lower and satisfied the first class seawater quality standard at all investigated stations. Our results suggested that the N/P ratio was higher than the Redfield value 16, and that phosphate was the limiting factor in the growth of phytoplankton. The nutritional pattern in the Laizhou Bay had evolved from nitrogen limiting to phosphorus limiting. The higher N/P ratio may alter the phytoplankton population, which will consequently affect the whole ecosystem. The nutrition status in the Laizhou Bay was phosphorus limiting potential eutrophication, and the organic pollution remained at the second level in spring 2013. These indicated organic pollution in this sea area; however, the pollution was alleviated compared to the summer 2007.

Key words Laizhou Bay; Dissolved inorganic nitrogen; Phosphorus; N/P ratio; Potential eutrophication; Organic pollution

① Corresponding author: ZHAO Yuting, E-mail: zhaoyutingnihao@126.com