

夏季莱州湾水域营养盐现状及影响因素

郭 飞^{1,2}, 刘 森¹, 王飞飞¹, 侯国华¹

(1 国土资源部海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;

2 中国石油大学地球科学与技术学院, 青岛 266555)

摘要:根据 2012 年 7—8 月对莱州湾 199 个站点的调查数据,对水体营养盐的分布状况与影响因素进行分析和研究。结果表明:夏季莱州湾表层水体中的营养盐浓度略高于底层。表层营养盐的分布特征基本一致。受河流陆源输入、东部水产养殖、浪潮流叠加效应和海水扩散稀释能力等的影响,高值区主要分布在黄河等河流入海海口附近以及东部的养殖区,浓度沿着西南向东北方向含量逐渐降低。底层与表层水中大多数营养盐分布特征大致相同,但底层营养盐的浓度在河口和养殖区的水平变化梯度减小。

关键词:莱州湾;营养盐;影响因素;陆源输入

中图分类号:X824

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.02006

莱州湾位于山东半岛北部,是渤海三大海湾之一。东起龙口的砣姆岛高角,西至黄河入海口,面积约 9 530 km²。海底地形平缓,大部分水深在 10 m 以内,海湾西部最深处达 28 m。莱州湾地区是山东主要的经济发展区域,沿岸港口众多,入海径流多,营养盐充足,是传统的鱼、虾、蟹等产卵场和索饵场。但是,随着沿岸工、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反而会引起海水污染和水域富营养化,从而给生态环境和生物群落造成严重的危害^[1,2]。

从 20 世纪 80 年代至今,国内许多学者对我国近海莱州湾海水生态环境要素的分布特征^[3-6]及营养盐与海水富营养化之间的关系^[7-12]及莱州湾稀释扩散能力进行了研究。单志欣等^[13]通过

对 1986—1996 监测资料的总结,提出莱州湾东部、西部富营养化程度相差悬殊,其主要原因是绝大部分陆源污染从西部入海,其次与莱州湾渔业生态构成有关;李广楼等^[14]根据 2004 年 10 月对莱州湾水域调查结果认为,受河流陆源输入的影响,表层无机氮、磷酸盐和硅酸盐水平分布均表现为湾西部和西南部含量较高于其他水域,而底层分布却不尽相同;刘义豪等^[15]通过对 2006—2009 年莱州湾调查数据分析,显示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,磷、硅在 5 月受小清河径流影响明显;孟伟等^[16]收集了黄河流域下游主要干流监测站(40 a)、磷(20 a)的水质数据,研究了黄河氮磷营养盐通量的多年变化趋势,表明黄河氮输送通量的变化主要受流域内人口、氮肥施用量的影响。黄河水体悬浮物中的总磷含量与黄土高原总磷背景值十分接近,判断黄河总磷输送的主要影响因素是黄土高原的水土流失。

本文利用莱州湾 199 个站位的调查数据,分析了表层和底层水体营养盐的分布状况及其影响

收稿日期:2015-10-12

基金项目:国家海洋地质保障工程专项(GZH201200505)

作者简介:郭 飞(1989—),女,在读硕士,主要从事海洋环境方面的研究工作。E-mail:guofei091212@163.com

因素,以期为研究近岸海域水体富营养化提供科学依据。

1 样品采集及分析方法

2012 年 7—8 月,对莱州湾 199 个站位进行调查,采样站位水深为 5~20 m,分布如图 1 所示。主要采集海水表层样(199 个)以及海水底层样(199 个),主要分析指标为 pH、Eh、亚硝酸盐氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸盐氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)、二氧化硅(SiO_2)、总氮(TN)、总磷(TP)等。海水样品中的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (溶解态硅酸盐)等测定参照《近岸海域环境监测规范》(HJ442—2008)进行,由德国 Seal 公司 AA3 型连续流动分析仪测定得出。TN、TP 则在采用碱性过硫酸钾溶液在 120 °C 消煮后,参照 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的方法测定得出。

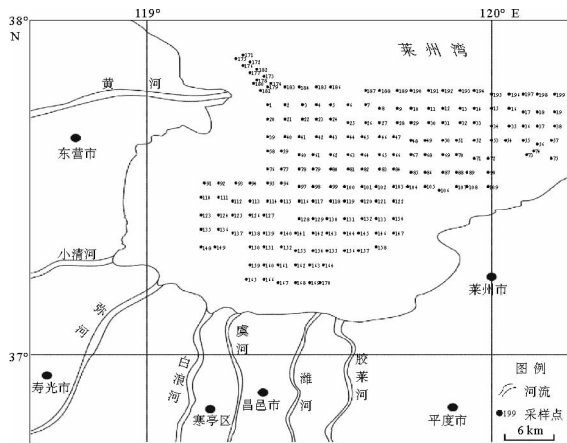


图 1 莱州湾采样点站位

Fig. 1 Location of sampling stations in Laizhou Bay

2 莱州湾表层营养盐的分布及影响因素

2.1 表层营养盐的分布特征

TN 主要由有机氮与无机氮组成,研究区表层水体 TN 的平均含量为 0.54 mg/L,溶解无机氮的浓度平均值从小到大的排序为: $\text{NH}_4\text{-N}$ (27.1 $\mu\text{g/L}$) < $\text{NO}_2\text{-N}$ (33.7 $\mu\text{g/L}$) < $\text{NO}_3\text{-N}$ (357.0 $\mu\text{g/L}$),分别占的 6.2%、5.0%、65.7%。

有机氮的平均浓度为 125.2 $\mu\text{g/L}$,占 TN 的 23.1%。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度为 6.9 $\mu\text{g/L}$,占 TP 的 38.70%。由图 2 可知,TN(图 2a)与 $\text{NO}_3\text{-N}$ (图 2b)的高值区主要分布在黄河等河流的入海口附近,沿 NW—SE 方向含量逐渐降低; $\text{NH}_4\text{-N}$ (图 2c)的高值区主要分布在研究区北部开阔海域及中部区域,其他沿岸区域含量相对较低; $\text{NO}_2\text{-N}$ (图 2d)含量高值区主要分布在白浪河、潍河、胶莱河等河流入海口附近,沿着 SW—NE 方向含量逐渐降低;TP(图 2e)具多个明显的高值区,分别位于沿岸河流的河口、东部养殖区以及研究区的中部; $\text{PO}_4\text{-P}$ (图 2f)与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (图 2g)的高值区主要分布在黄河入海口附近,其次是白浪河、胶莱河等河流的入海口,以及研究区的东部,而在研究区中部沿 NE—SW 方向存在明显的低值区。

2.2 影响因素

注入莱州湾的河流主要有黄河、小清河、弥河、白浪河、虞河、潍河和胶莱河等,河流的主要水文特征如表 1 所示。黄河是我国第 2 大河流,沿途大量的生活污水或者未经处理的工业污水排入其中;其他河流经潍坊流入莱州湾。

表 1 莱州湾南岸主要河流水文特征

Table 1 Hydrological features of major rivers in the south of Laizhou Bay

河流	流经城市	平均流量/(m^3/s)	平均输沙量/(万 t/a)
黄河	东营	1 340	108 000
小清河	东营、潍坊	24.90	36.90
弥河	潍坊	13.60	84.10
白浪河	潍坊	1.23	—
潍河	潍坊	47.10	107.90
胶莱河	潍坊、青岛	11.50	8.70

由表 2 可知 SiO_2 与 TN、TP、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的 Pearson 相关系数分别为 0.609、0.690、0.676、0.870, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的相关性较高,是由于 $\text{PO}_4\text{-P}$ 主要以吸附态含在泥沙里,由河流携带至莱州湾。 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 主要来源于自流域的岩石风化,由黄河以及其他河流每年携带大量的泥沙注入莱州湾。依据 2012 年水文局公布的信息,2012 年 7 月黄河上、中游降水明显偏多,上、中游发生 1989 年以来最大洪水。由于黄河流域的降

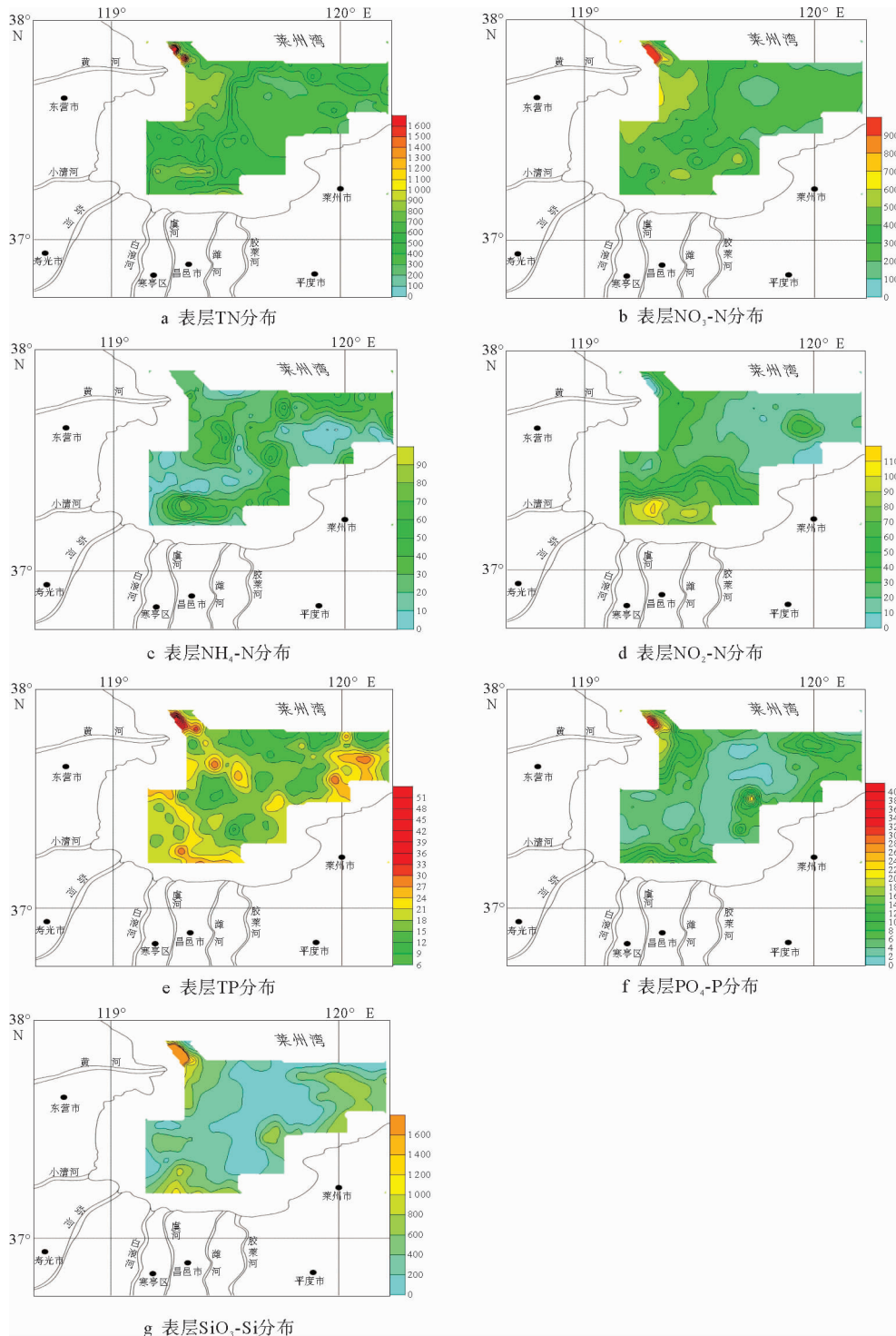


图2 莱州湾表层营养盐分布

Fig. 2 Distribution map of the nutrients in surface water of Laizhou Bay

水多集中在夏季,且多暴雨,加剧了农田化肥的流失,从而导致夏季河水中出现磷酸盐浓度的高值。此外,PO₄-P主要以吸附状态存在于悬浮物中,由黄河携带来自黄土高原的高磷含量(0.54 g/kg)^[16]

的泥沙注入莱州湾,通过固液界面的吸附—解析作用^[17],在低浓度的海水中将悬浮物中磷酸盐释放出来,使得黄河口附近流域的PO₄-P的含量明显高于其他地区。综上所述,PO₄-P在河口地区

的高值区是河水的稀释效应、悬浮颗粒物的吸附效应和化肥流失等面源污染共同作用的结果。而海水中 TP 的含量主要受黄河以及其他河流输入的影响,其次是东部海区养殖区鱼虾等生物对 TP 的贡献^[18]。

TN 与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的相关系数为 0.821,相关性高。

$\text{NO}_2\text{-N}$ 主要是浮游植物新陈代谢的产物和氨氧化的中间产物,因此, $\text{NO}_2\text{-N}$ 与氨和硝酸盐的分布特征存在差异。无机氮受黄河和小清河径流影响明显,西部海域显著高于东部海域。参考表 3,无机氮主要受黄河注入的影响,而黄河流域人口和氮肥施用量是该河流氮通量变化的主要影响因素^[16]。

表 2 莱州湾表层营养盐间的相关性

Table 2 The cross-correlation among nutrients in the surface layer

	Ph	Eh	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	SiO_2	TN	TP
Ph	1.000								
EH	-0.520	1.000							
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.209	-0.219	1.000						
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.001	-0.078	0.079	1.000					
$\text{NO}_3\text{-N}$	-0.231	-0.299	0.310	-0.060	1.000				
$\text{PO}_4\text{-P}$	-0.191	-0.216	-0.018	0.080	0.621	1.000			
SiO_2	-0.150	-0.180	-0.044	-0.002	0.676	0.870	1.000		
TN	-0.289	-0.291	0.257	0.044	0.821	0.624	0.609	1.000	
TP	0.009	-0.131	0.048	-0.097	0.516	0.588	0.690	0.418	1.000

表 3 2012 年黄河及小清河携带入海污染物量

Table 3 The quantity of pollutants from rivers in 2012

河流名称	$\text{NH}_4\text{-N}$ (以氮计)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (以氮计)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (以氮计)	TP(以磷计)
黄河	17 573	20 270	1 280	3 070
小清河	143	463	222	242

莱州湾潮流属于正规半日潮,潮流运动以往复流为主。潮流流速主要沿着 SW 向 NE 方向运动,从湾口向湾顶递减,在黄河口附近达到最大值。流向在涨潮时顺时针偏转,落潮时逆时针偏转。莱州湾西部潮流偏转最显著,中部、东部海域的潮流主流向偏转量依次降低^[19,20]。潮流的这种运动规律与营养盐浓度等值线的变化趋势具有相似性,西部等值线变化快,偏转明显,中部以及东部变化相对变化缓,偏转弱。由于研究区开口大,地势平坦,使得整个湾内潮流不强。所以,西部黄河口附近的营养盐被携带到南部的湾内海域,中部及东部潮流小,很难随其运动至湾外海域。据康兴伦等^[21]研究,在莱州湾海域内,从浅水区到深水区,海水的稀释扩散能力依次升高。河流携带入海的污染物一般不容易得到稀释,难以搬运到其他海区,整个莱州湾自净能力较差。

因此,受潮流和海水自身扩散稀释的影响,营养盐主要沿 SW 向 NE 方向在湾内扩散,很难被潮流带到开阔海域。

通过以上分析可知,表层营养盐的分布特征具有一致性,高值区主要分布在黄河等河流入海海口附近以及东部的养殖区,沿着 SW 向 NE 方向含量逐渐降低。莱州湾沿岸河流的物质输入、东部水产养殖、浪潮流叠加效应和海水扩散稀释能力是造成这种分布趋势的主要影响因素。

3 底层营养盐的分布及影响因素

底层水体的 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和有机氮的平均浓度为 33.92、28.84、330.4 和 116.84 $\mu\text{g/L}$,分别占 TN 的 6.65%、5.65%、64.79% 和 22.91%; $\text{PO}_4\text{-P}$ 的含量为 6.81 $\mu\text{g/L}$,占 TP 的

38.65%。由于采样点主要分布于莱州湾5~20 m水深之间,故水深变化不大。

由表4可知, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TP的Pearson相关系数为0.611、0.575;TN与 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、

$\text{NO}_3\text{-N}$ 的Pearson相关系数为0.542、0.746; $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 呈中等的正相关性;其相关系数为0.618。随着水深的增加,营养盐之间的相关性也随之减弱。

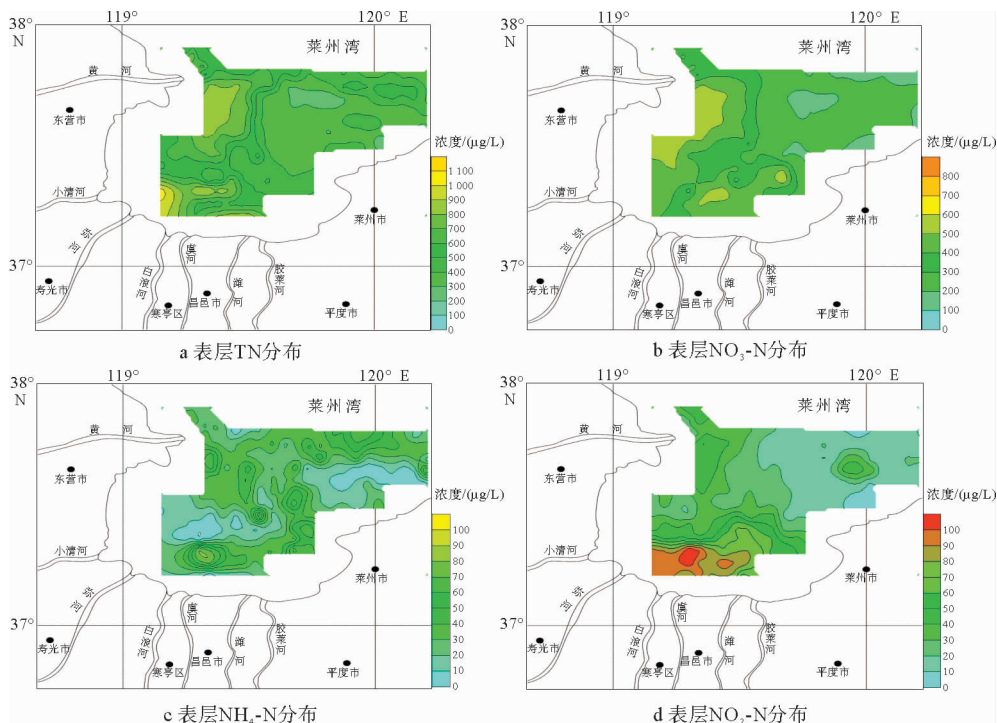
表4 莱州湾底层营养盐间的相关性

Table 4 The cross-correlation among nutrients in the bottom layer

	水深	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	SiO_2	TN	TP
水深	1.000							
$\text{NO}_2\text{-N}$	-0.641	1.000						
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.120	0.098	1.000					
$\text{NO}_3\text{-N}$	-0.688	0.618	-0.012	1.000				
$\text{PO}_4\text{-P}$	-0.168	0.074	0.252	0.248	1.000			
SiO_2	-0.273	0.175	0.107	0.124	0.611	1.000		
TN	-0.518	0.542	0.162	0.746	0.419	0.277	1.000	
TP	-0.385	0.239	-0.115	0.199	0.270	0.575	0.183	1.000

如图3所示, $\text{PO}_4\text{-P}$ (图3f), $\text{NH}_4\text{-N}$ (图3c)和 $\text{NO}_2\text{-N}$ (图3d)的分布特征与表层基本一致。与表层相比,底层海水TP(图3e)仍存在多个高值区,但黄河口附近的高值区范围略有缩小,而东部和南部的范围有所增加。主要是由于东部养殖区的为海水提供了溶解有机磷化合物,导致其分布

特征产生变化。随着水体的加深,河流物质输入、浪潮流的影响减弱, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ (图3g)、TN(图3a)和 $\text{NO}_3\text{-N}$ (图3b)在靠近河口区域的水平变化梯度减小。由此可以看出,底层和表层的大多数营养盐分布特征大致相同,高值区主要位于河口和养殖区一带,局部区域存在差异性。



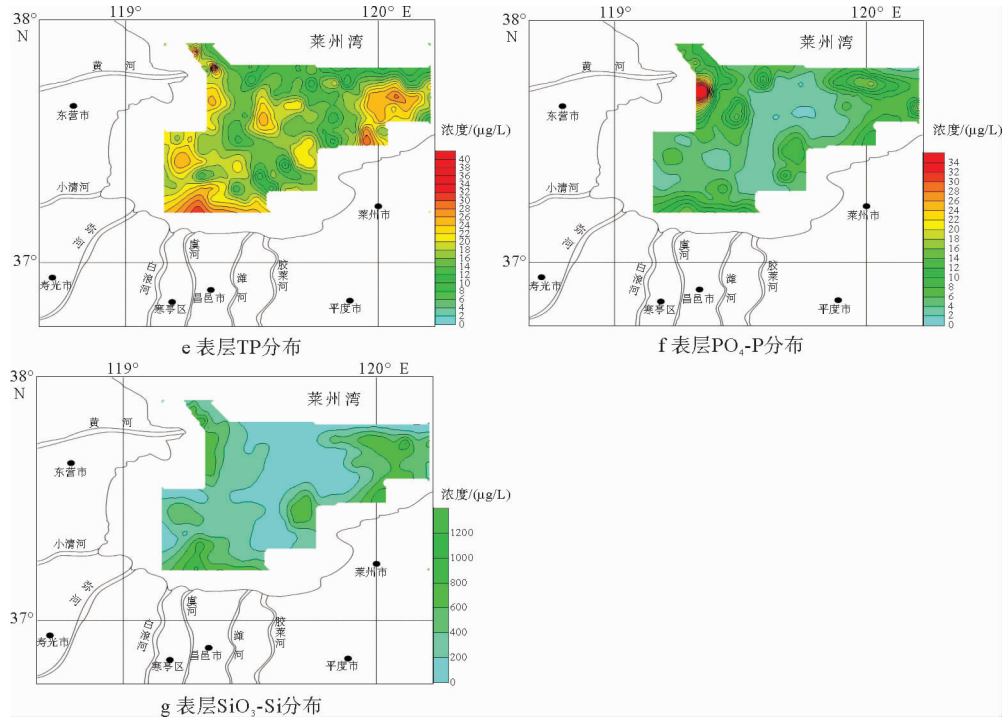


图 3 莱州湾底层营养盐分布

Fig. 3 Distribution of nutrients in bottom water of Laizhou Bay

综上所述,除 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 之外,表层多数营养盐的浓度及其之间的相关性略高于底层。平面上营养盐分布特征具较明显的一致性。受河流陆源输入及海水养殖的影响,二者高值区主要分布在河流入海口附近及东部养殖区。由于湾内潮流的往复运动不强,沿岸浅水区海水稀释扩散能力差,营养盐主要沿 SW—NE 方向扩散,很难被潮流带到开阔海域。

4 结论

(1) 除 $\text{NO}_2\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 之外,多数站位表层水中营养盐的浓度略高于底层水。

(2) 表层营养盐的分布特征具有一致性,高值区主要分布在黄河等河流入海海口附近以及东部的养殖区,沿着 SW—NE 方向含量逐渐降低。莱州湾沿岸河流的物质输入、东部水产养殖、浪潮流叠加效应和海水扩散稀释能力是造成这种分布趋势的主要影响因素。

(3) 底层与表层的大多数营养盐分布特征基本一致,局部区域存在差异性。由于水体深度的

变化,河流的物质输入和浪潮流作用减弱,底层营养盐的浓度在河口区域的水平变化梯度减小。

参考文献:

- [1] 沈志亮,陆家平,刘兴俊. 黄河口及附近海域的无机氮和磷酸盐[J]. 海洋科学集刊,1989,30:51-79.
- [2] 李永祺,丁美丽. 海洋污染生物学[M]. 北京:海洋出版社,1991:404-415.
- [3] 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,2000,33(2):185-91.
- [4] 孙栋,段登选,刘红彩,等. 黄河口水域渔业生态环境调查与研究[J]. 渔业科学进展,2010,28(2):229-236.
- [5] 曲克明,崔毅,辛福言,等. 莱州湾东部养殖水域氮、磷营养盐的分布与变化[J]. 海洋水产研究,2002,23(1):37-46.
- [6] 万修全,吴德星,鲍献文,等. 2000年夏季莱州湾主要观测要素的分布特征[J]. 中国海洋大学学报,2004,34(1):7-13.
- [7] 蒋红,崔毅,陈碧鹃,等. 渤海近20年来营养盐变化趋势研究[J]. 海洋水产研究,2005,26(6):61-67.
- [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的初步研究[J]. 海洋通报,2007,26(1):78-81.
- [9] 张洪亮,杨建强,崔文林. 莱州湾盐度变化现状及其对海洋环境与生态的影响[J]. 海洋环境科学,2006,25(1):11-14.

- [10] 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[J]. 台湾海峡,1998,17(1):64-70.
- [11] 赵亮,魏皓,冯士筌,等. 渤海氮磷营养盐的循环和收支[J]. 环境科学,2002,23(1):78-81.
- [12] 孙丕喜,王波,张朝晖,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):229-235.
- [13] 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.
- [14] 李广楼,崔毅,陈碧鹏,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):45-47.
- [15] 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.
- [16] 孟伟,于涛,郑丙辉,等. 黄河流域氮磷营养盐动态特征及主要影响因素[J]. 环境科学学报,2007,27(12):2046-2051.
- [17] Suzumura M, Ueda S, Suni E. Control of phosphate concentration through adsorption and desorption process in ground water and sea water mixing at sand beaches in Tokyo Bay[J]. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 2000,56(6):667-673.
- [18] 马绍赛,幸福言,曲克明. 对虾养殖对莱州湾氮、磷、COD的贡献[J]. 海洋水产研究,2002,23(2):8-11.
- [19] 汤毓祥. 莱州湾 MZ 分潮的数值模拟[J]. 海洋通报,1992,11(5):9-14.
- [20] 张永强,迟万清,胡泽建,等. 黄河清水沟流路大嘴的形成对莱州湾潮流场影响的数值研究[J]. 海洋科学进展,2010,28(2):149-157.
- [21] 康兴伦,李培全,刘毓珊,等. 莱州湾稀释扩散能力的研究[J]. 海洋科学,1990(1):41-45.

DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE SUMMER OF LAIZHOU BAY AND INFLUENCE FACTORS

GUO Fei^{1,2}, LIU Sen¹, WANG Feifei¹, HOU Guohua¹

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;

2 School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: Based on the 199 samples collected from the Laizhou Bay in July, 2012, the distribution pattern of nutrients and influence factors are studied in this paper. The results show that the concentration of most nutrients is slightly higher in the surface water than that in the bottom water. The high-value area of nutrients is distributed near the estuary of the Yellow River and the eastern aquacultural areas, depending upon the effect of river and aquaculture input, superimposed wave-tide effect, and water diffusion and dilution. In general, the concentrations of nutrient gradually decrease from southwest to northeast. The distribution pattern of nutrients in bottom water is similar to that in surface water. However, the nutrients input from the river are reduced and the wave-tide effect is weakened due to the influence of water depth, and thus the horizontal gradient of the nutrients in bottom water is decreased in the estuary and aquacultural regions.

Key words: Laizhou Bay; nutrients; factor; terrigenous input