

# 2015 年春、夏季莱州湾营养盐分布特征

郭 富<sup>1</sup>, 王保栋<sup>1,2\*</sup>, 辛 明<sup>1</sup>, 张文全<sup>1</sup>, 厉丞烜<sup>1</sup>, 谢琳萍<sup>1</sup>, 孙 霞<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266071)

**摘 要:**根据 2015-05 和 2015-08 莱州湾及黄河口邻近海域 2 个航次的现场调查资料,研究了莱州湾营养盐分布特征及影响因素。结果表明,莱州湾表层营养盐浓度分布总体上呈现由西南部湾顶向东、北方向递减的趋势。浮游植物生长繁殖对海湾中央海域营养盐分布有一定影响。春季营养盐分布一定程度上受海湾内环流的影响,但在夏季环流作用不明显。黄河入海口改道变为东北方向入海后,其对莱州湾营养盐输入的影响已很小,陆源营养盐主要来源转变为以小清河为主的西南部入湾河流,据此建议将莱州湾西南部入海河流作为营养盐类污染物重点控制对象。

**关键词:**莱州湾;营养盐;分布特征;影响因素

**中图分类号:**P734.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-6647(2017)02-0258-09

**doi:**10.3969/j.issn.1671-6647.2017.02.010

莱州湾位于渤海南部,山东半岛北侧,湾口西起黄河口,东至龙口的岬姆角,海域面积 6 966.93 km<sup>2</sup>,是渤海三大海湾之一。周围有黄河、小清河、潍河和胶莱河等河流注入。海底地势较为平坦,大部分区域水深在 10 m 以内。

关于莱州湾营养盐来源及分布已有较多研究报道。刘义豪等<sup>[1]</sup>、单志欣等<sup>[2]</sup>通过对春、夏季莱州湾营养盐调查数据分析,发现莱州湾西部海域营养盐含量整体高于东部海域,且营养盐分布受小清河影响明显;张雪等<sup>[3]</sup>分析多年历史资料发现莱州湾主要污染源有从黄河向南部河流转移的趋势;孙丕喜等<sup>[4]</sup>对莱州湾海域春夏季营养盐平面分布研究显示总体上湾顶浓度较高湾口较低;夏斌等<sup>[5]</sup>的研究表明,莱州湾溶解无机氮(DIN)分布趋势为由西南部向东北湾口递减,并指出活性磷酸盐的主要来源并非河流而是有机质的矿化再生。已有调查研究大多对莱州湾营养盐平面分布趋势进行分析,对影响莱州湾营养盐分布的因素有关内容的探讨较少,更鲜有关于环流对莱州湾营养盐分布影响的分析。而明确营养物质来源变化及其分布规律,有助于有针对性地控制污染源和防止富营养化引发的生态灾害。

我们根据 2015 年春季和夏季莱州湾及黄河口邻近海域进行的 2 个航次的现场调查资料,对莱州湾和其邻近海域的营养盐分布特征及影响因素进行初步探讨。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查站位与时间

分别于 2015-05-18-30(春季)和 2015-08-20-30(夏季)对莱州湾及黄河口邻近海域进行了 2 个航次的

**收稿日期:**2016-05-04

**资助项目:**国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目——海洋生态与环境科学(U1406403);海洋公益性行业科研专项——滨海湿地固碳能力提升技术及应用示范(201205008)

**作者简介:**郭 富(1990-),男,山东日照人,硕士研究生,主要从事海洋生物地球化学方面研究.E-mail:guofu@fio.org.cn

\* **通讯作者:**王保栋(1964-),男,山东高密人,研究员,博士,主要从事海洋生物地球化学方面研究.E-mail:wangbd@fio.org.cn

(高 峻 编辑)

现场调查,布设调查站位 50 个(图 1,黄河入海段“虚线”代表 1976—1996 年黄河入海口,“实线”代表 1996 年至今黄河入海口)。

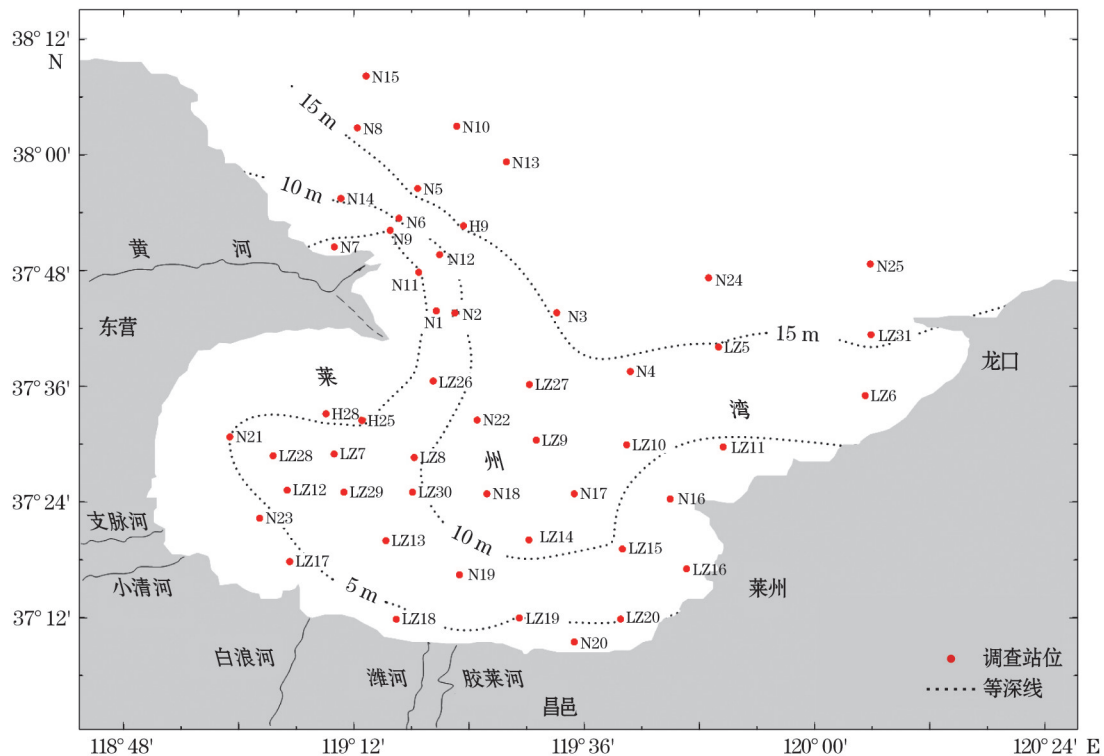


图 1 莱州湾调查站位及等深线

Fig.1 The sampling stations and isobaths in the Laizhou Bay

## 1.2 调查项目与分析方法

调查项目包括水温、盐度、亚硝酸盐( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、硝酸盐( $\text{NO}_3\text{-N}$ )、氨氮( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、活性磷酸盐( $\text{PO}_4\text{-P}$ )、活性硅酸盐( $\text{SiO}_3\text{-Si}$ )和叶绿素  $a$  ( $\text{Chl-a}$ )等。分析方法按照《海洋调查规范》<sup>[6]</sup>、《海洋监测规范》<sup>[7]</sup>规定的方法执行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 莱州湾营养盐及相关因子的浓度与平面分布特征

#### 2.1.1 春季

春季(5月),莱州湾表层水温平均值为  $18.6\text{ }^\circ\text{C}$ ,呈现西高东低、南高北低的分布态势,最低值出现在莱州湾中央偏东的远岸深水区,最高值出现在海湾西南部近岸浅水区(表 1 和图 2a)。这是由于春季属增温季节,浅水区增温快而深水区增温慢。在湾口中央偏东的深水区,有来自湾外的低温水舌由东北向西南向湾内延伸直至湾顶;而海湾西南部浅水区的高温水舌则向东北方向延伸至湾口。总体来看,莱州湾表层等温线与等深线延伸变化趋势非常相似。在黄河口北部,低温水舌有由西北向东南延伸的趋势。

表层盐度的平均值为 30.22,变化范围为  $26.81\sim 32.41$ (表 1),其分布有与温度分布大致相反的趋势(图 2b)。在湾口中央偏东的低温区,有来自湾外的高盐( $>31.5$ )水舌向西南延伸。黄河口和小清河口附近海域

盐度最低(<29.5)。黄河口附近表层盐度分布显示,春季黄河冲淡水主体自入海口向东北方向扩展,其对莱州湾的影响仅限于湾口海域。此外,昌邑近岸潍河及胶莱河口附近海域出现一个高值区(>31.0),因为此处水浅,蒸发量远远大于降水量,水平混合不充分导致盐度增高<sup>[8-9]</sup>。

春季莱州湾溶解无机氮(DIN)浓度平均值为 23.50  $\mu\text{mol/L}$ (表 1),分布态势与盐度分布刚好相反(图 2c),DIN 最高值出现在黄河口和小清河口附近海域,最低值出现在湾口东部低温高盐区;黄河口高氮水主体向东北方向扩展,莱州湾口西部海域也受到一定影响;在湾口东部深水区,来自湾外的低氮水由东北向西南侵入湾内;莱州近岸出现一高值区向西南方向延伸与小清河口高值区相汇于 N18 站位附近。春季莱州湾 DIN 分布趋势与刘义豪等<sup>[1]</sup>观测结果基本一致。

春季  $\text{PO}_4\text{-P}$  平均浓度为 0.15  $\mu\text{mol/L}$ ,最高值出现在黄河口门稍偏南附近,最低值在湾中央海域(表 1 和图 2d);黄河口的高磷水沿湾口向正东偏南方向延伸,其影响范围与黄河冲淡水扩展范围基本一致;此外,胶莱河口和小清河口附近海域各有一个磷酸盐高值区。

$\text{SiO}_3\text{-Si}$  平均浓度为 5.32  $\mu\text{mol/L}$ ,最大值出现在黄河口,最小值在黄河口北部沿岸海域(表 1 和图 2e);黄河口附近的高值水舌向东北方向延伸。小清河口附近硅酸盐高值水舌向东北方向延伸。此分布趋势与孙丕喜等<sup>[4]</sup>、刘义豪等<sup>[1]</sup>观测结果基本一致。

春季莱州湾表层 Chl-*a* 平均质量浓度为 4.45  $\mu\text{g/L}$ ,高值区(>5  $\mu\text{g/L}$ )出现在黄河口至小清河口海域,低值区在海湾东北部湾口附近及湾外(表 1 和图 2f)。黄河口高值区向南延伸至莱州湾中部,小清河口和莱州近岸高值区向湾口方向延伸,3 个高值区相汇于莱州湾中部。

表 1 莱州湾春、夏季相关因子平均浓度及变化范围

Table 1 The average content and scope of the relevant factors in the Laizhou Bay in spring and summer

相关因子	2015-05(春季)		2015-08(夏季)	
	平均值	变化范围	平均值	变化范围
$t/^\circ\text{C}$	18.60	15.20~23.20	27.50	25.70~28.90
S	30.22	26.81~32.41	29.05	24.40~30.96
$c_{\text{DIN}}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	23.50	8.21~37.57	18.68	1.69~82.30
$c_{\text{PO}_4\text{-P}}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.15	0.01~0.70	0.47	0.15~1.62
$c_{\text{SiO}_3\text{-Si}}/\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	5.32	2.46~12.65	15.70	4.26~43.16
$\rho_{\text{Chl-a}}/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	4.45	1.28~8.45	4.63	0.56~12.36

### 2.1.2 夏季

夏季(8月),莱州湾表层平均水温是 27.5  $^\circ\text{C}$ ,整体呈现由西南向东北逐渐降低的分布态势,且湾内等温线稀疏,湾口处密集(表 1 和图 3a)。最高值出现在海湾西南部近岸浅水区,最低值出现在莱州湾口中央偏西的湾外海域。海湾西南部高温水舌向东北方向湾口延伸,在湾口中央偏西离岸深水区与来自湾外的低温水相遇,致使等温线变密集。夏季湾内表层海水温度普遍较高、温差较小,但与湾外海水有较大温差,故等温线湾内稀疏,湾口密集。水温的分布态势与高会旺等观测结果<sup>[9]</sup>一致。

莱州湾夏季盐度平均值为 29.05,明显低于春季,但其分布态势与春季相似(表 1 和图 3b),呈现非常明显的西低东高分布态势,低值区位于黄河口和小清河口附近(<27),南部湾顶仍存在一个高值区(>30)。黄河口低盐水舌向外呈扇状延伸,西南部河口低盐水舌向东北湾口方向延伸至海湾中部。夏季莱州湾整体盐度较春季明显下降,原因是丰水期大量淡水入海。

夏季莱州湾表层溶解无机氮(DIN)平均浓度为 18.68  $\mu\text{mol/L}$ ,分布上呈现明显西高东低、南高北低的分布态势(表 1 和图 3c),高值区出现在小清河口和潍河口附近海域(>50  $\mu\text{mol/L}$ ),最低值出现在海湾东部龙口近岸海域(<5  $\mu\text{mol/L}$ );海湾西南部高值水舌由西南向东北延伸至湾口中央。然而,夏季黄河口附近海域并未出现预期的 DIN 高值。

夏季表层海水  $\text{PO}_4\text{-P}$  的平均浓度为  $0.47 \mu\text{mol/L}$ , 分布呈现南高北低、由湾顶向湾口浓度逐渐降低的态势(表 1 和图 3d), 最高值出现在西南部沿岸小清河口附近浅水海域, 最低值在湾口中央深水海域。湾顶高值区舌从南向北延伸至海湾中部, 莱州北部近岸高值区舌向北延伸至湾口东部。表层  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  的分布(图 3e)与  $\text{PO}_4\text{-P}$  非常一致。同 DIN 一样, 夏季黄河口附近海域并未出现预期的磷酸盐和硅酸盐高值区。

夏季莱州湾表层 Chl-*a* 平均质量浓度为  $4.63 \mu\text{g/L}$ , 平面分布呈现南高北低分布态势(表 1 和图 3f), 高值区出现在昌邑近岸海域( $>8.5 \mu\text{g/L}$ ), 低值区在东营市近岸以及黄河口北部海域( $<2.0 \mu\text{g/L}$ ); 南部湾顶高值区向北延伸至湾中央海域。

夏季莱州湾表层海水营养盐总体上除溶解无机氮平均含量较春季低外,  $\text{PO}_4\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  都较春季有明显升高(表 1), 此结果与孙丕喜等观测结果<sup>[4]</sup>一致; 分布上呈现为由西南部湾顶向湾口方向浓度递减态势。

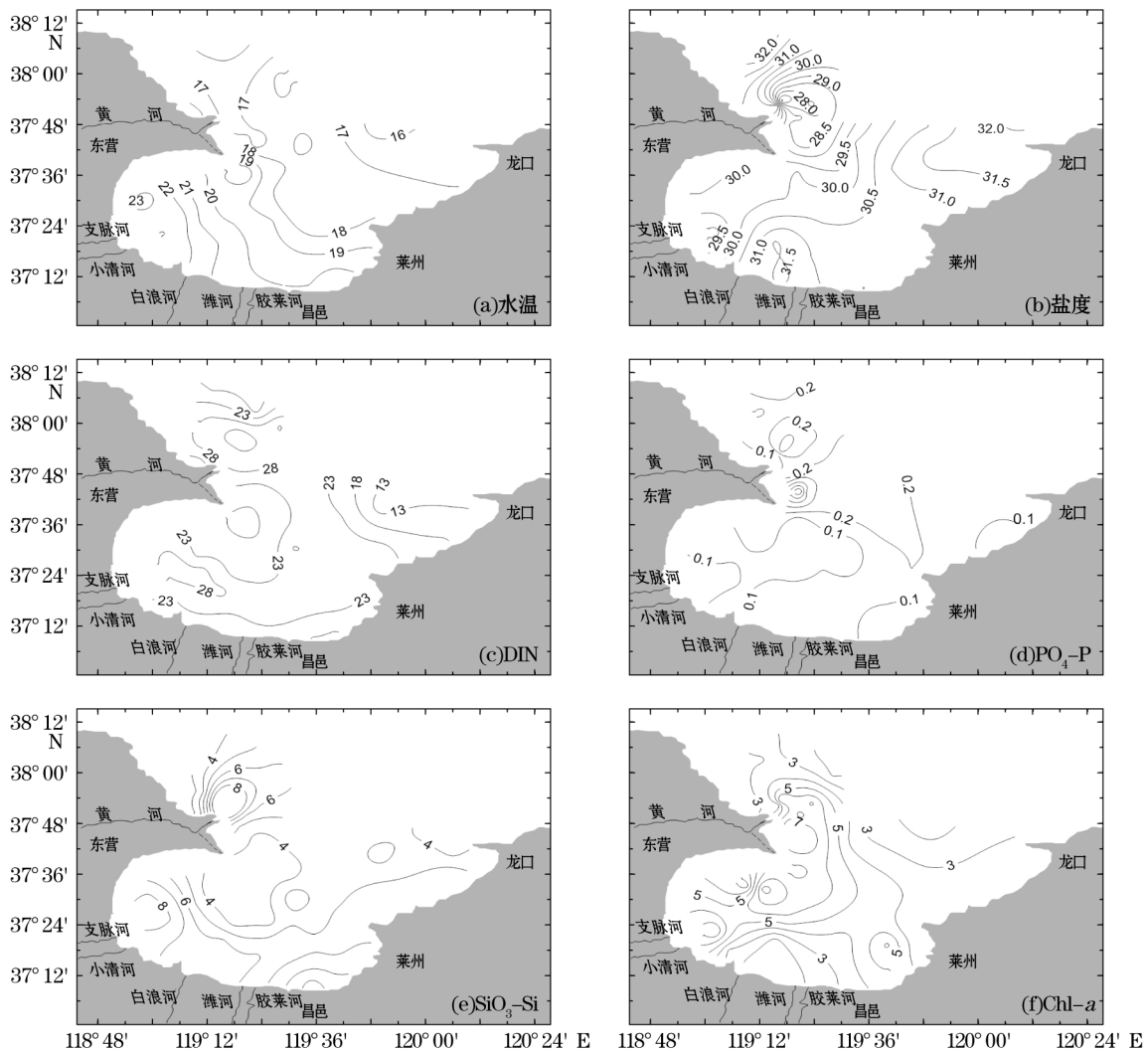


图 2 莱州湾 2015-05 表层水温( $^{\circ}\text{C}$ )、盐度、营养盐( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )及 Chl-*a* ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )平面分布  
Fig.2 Horizontal distributions of surface temperature( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity, nutrients( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) and chlorophyll a( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) in the Laizhou Bay in May, 2015

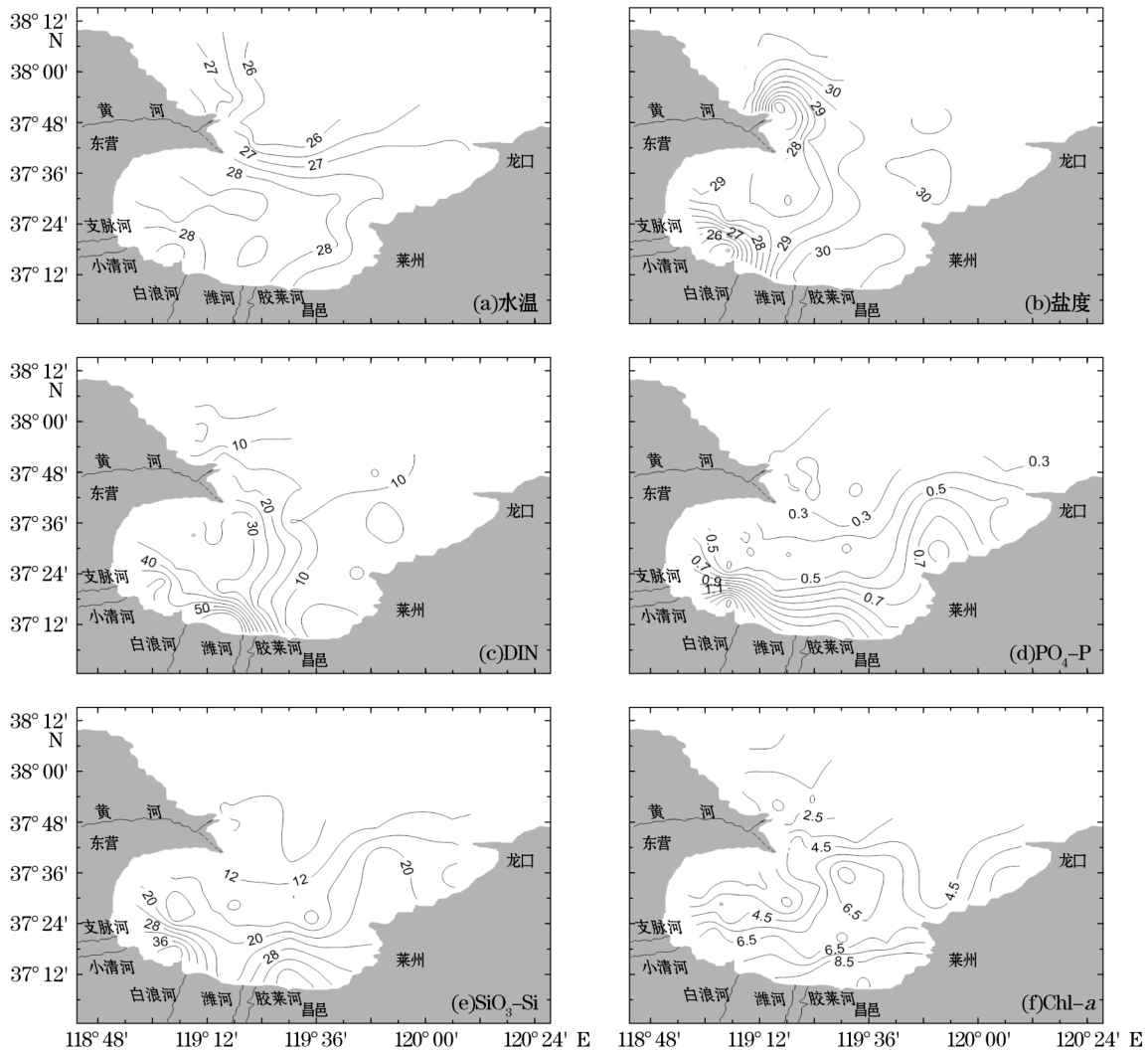


图3 莱州湾 2015-08 表层水温( $^{\circ}\text{C}$ )、盐度、营养盐( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )及 Chl-a( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )平面分布

Fig.3 Horizontal distributions of surface temperature( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity, nutrients( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and chlorophyll a( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) in the Laizhou Bay in August, 2015

## 2.2 莱州湾营养盐分布的主要影响因素

### 2.2.1 陆源输入对莱州湾营养盐分布的影响

莱州湾营养盐分布很大程度上受陆源输入的影响。研究发现莱州湾主要污染物来自点源污染,且主要来自西南部入海河流排污<sup>[10]</sup>,故我们主要分析入海河流对莱州湾营养盐分布的影响。

#### 1) 西南部沿岸河流的影响

春季由于降水较少,沿岸主要河流径流量较小,根据盐度的分布(图 2b)发现西南部河流河口海域盐度梯度变化较小,即其冲淡水影响区域较小;但海湾西南部的小清河对莱州湾表层海水营养盐平面分布影响较明显(图 2c 和图 2d),可能是小清河入海水中营养盐浓度(表 2)和径流量(反映在盐度分布上)综合影响的结果;南部湾顶的胶莱河口附近海域有一磷酸盐和盐度高值区,原因是此处水浅,蒸发量大于淡水补给量(详见 2.1.1),且胶莱河入海水磷酸盐含量较高(表 2)。

表 2 莱州湾沿岸主要河流年平均径流量及营养盐入海通量

Table 2 The average annual runoff and fluxes of nutrients into the Laizhou Bay from major rivers

河 流	年均径流量/ $\times 10^8 \text{ m}^3$	DIN		$\text{PO}_4\text{-P}$		$\text{SiO}_3\text{-Si}$	
		年均质量浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	年入海通量/ $\times 10^2 \text{ t}$	年均质量浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	年入海通量/ $\times 10^2 \text{ t}$	年均质量浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	年入海通量/ $\times 10^2 \text{ t}$
黄河	189.00	3.50	571.00	0.017 0	368.00	7.98	781.00
支脉河	2.82	2.02	5.70	0.234 1	66.00	—	—
小清河	5.82	4.81	28.00	0.148 2	86.30	—	—
白浪河	0.113	0.760	0.086	0.031 2	0.35	—	—
潍河	13.10	1.25	16.40	0.000 8	1.05	—	—
胶莱河	2.53	2.04	5.16	0.100 7	25.50	—	—

注:数据来源于张锦峰等<sup>[11]</sup>、张瑞杰等<sup>[12]</sup>、肖纯超<sup>[13]</sup>;"—"代表数据缺失

夏季进入丰水期,沿岸河流径流量急剧增加,各河流河口盐度梯度增大,低盐的冲淡水影响范围较春季扩大(图 3b);根据表 2、图 2 和表 3 可以发现夏季小清河和潍河对莱州湾 DIN 的贡献最大,其河口高值水舌指向湾口可延伸至  $37^{\circ}42'N$  附近; $\text{PO}_4\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  则主要受小清河、支脉河和胶莱河影响,浓度从湾顶向湾口逐渐降低。夏季莱州湾营养盐高值区分布在湾顶和西南部主要河口附近,营养盐分布主要受小清河、潍河及胶莱河的影响。

## 2) 黄河的影响

黄河作为中国第二大河,其对莱州湾以及渤海的影响一直以来备受学术界重视<sup>[14-19]</sup>。黄河入海口近代以来由于种种原因发生过多次变化,这里仅探讨 1996 年黄河入海段人工出汉改道<sup>[15]</sup>(即由原来东南走向改为现在的东北走向入海)前后黄河冲淡水对莱州湾影响的变化。

以盐度为 27 的等值线作为黄河冲淡水边界<sup>[13]</sup>,发现 1996 年出汉改道前冲淡水边界主要向东偏南方向延伸最多可延伸到莱州湾中部海域 LZ9 站位附近,而在出汉改道后由于入海口方向发生变化(即由原来东南走向改为东北走向),加之海底地形因素的影响即入海口东北较东南方向等深线密集(图 1),冲淡水边界改为向东北方向渤海中部延伸,在莱州湾方向几乎无延伸。张雪等<sup>[3]</sup>通过研究莱州湾无机氮平面分布发现,1996 年入海改道前黄河口高浓度含氮水舌延伸到莱州湾中部 LZ9 站位附近,改道后黄河口的高浓度含氮水舌在莱州湾方向几乎没有延伸趋势,取而代之的是莱州湾西南部小清河等其他几条河流河口高氮水舌延伸至海湾中央海域。

根据我们 2015 年春、夏 2 个航次盐度及营养盐分布(图 2 和图 3)可以发现,春、夏季黄河口低盐水舌主要向东偏北方向延伸,春季黄河口存在营养盐高值区,但高值水舌主要向东、东北方向延伸,除  $\text{PO}_4\text{-P}$  在向东延伸时受渤海水冲击对莱州湾有一定影响外,DIN 和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  高值区对莱州湾影响不大;夏季黄河口附近海域未发现明显的营养盐浓度高值区,营养盐高值区出现在南部湾顶和西南部小清河口附近海域。

### 2.2.2 浮游植物对营养盐分布的影响

Chl-*a* 的质量浓度一定程度上受水体中营养盐浓度的影响,尤其在出现某种营养盐限制时作用更为明显<sup>[20-21]</sup>。由于浮游植物生长繁殖需要吸收大量营养盐,故营养盐的分布一定程度上也受 Chl-*a* 质量浓度分布的影响。

春、夏季莱州湾 Chl-*a* 以及营养盐分布状况(图 2 和图 3)表明:春季(5 月),海湾中央偏西远岸海区营养盐浓度相对较低,而 Chl-*a* 质量浓度相对较高,由于此区域是远岸海区,故可能是浮游植物大量繁殖吸收此处营养盐所致;南部湾顶胶莱河、潍河河口附近海域的盐度、磷酸盐高值区 Chl-*a* 质量浓度较低,可能的一个原因是盐度较高影响浮游植物生长繁殖,从而减少了对磷酸盐的吸收,导致磷酸盐循环不畅浓度升高。夏季(8 月),海湾中部同时出现了一个  $\text{PO}_4\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  浓度低值区,而 Chl-*a* 质量浓度相对较高,可能是浮游植

物大量吸收营养盐所致。

整体来看,近岸海区由于营养盐浓度较高,Chl-*a* 对营养盐分布影响不明显;海湾中央海区离岸较远,Chl-*a* 质量浓度变化对营养盐分布具有一定的影响,但主要表现在对  $\text{PO}_4\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  的影响,因溶解无机氮浓度较高相对过剩,故对溶解无机氮影响不大。

### 2.2.3 环流对莱州湾营养盐分布的影响

莱州湾及其邻近海域环流对营养盐分布起着非常重要的作用。目前,关于莱州湾环流模式较为一致的看法是海湾内存在一个顺时针环流<sup>[22-25]</sup>。受其影响,莱州湾营养盐在平面分布上表现为湾外低营养盐水舌从湾口侵入湾内,同湾顶和西南部高营养盐水舌在湾内形成一个顺时针延伸态势,但不同季节其影响程度有所不同。

春季,表层水温分布上,湾外低温水舌和海湾西南部高温水舌在湾内呈顺时针方向延伸;盐度分布上,湾外高盐水舌和小清河低盐水舌顺时针延伸;营养盐分布有相似的趋势,说明莱州湾营养盐分布受湾内顺时针环流影响明显。

夏季,水温、营养盐的分布显示,湾外低营养盐、低温水改从湾口西部侵入湾内,但在近岸海域未发现明显顺时针延伸趋势,原因可能是夏季莱州湾内部顺时针环流强度较弱,尤其是近岸环流<sup>[25]</sup>,因而其对莱州湾营养盐分布的影响不甚明显。

## 3 结 论

1)春、夏季莱州湾营养盐分布总体上呈现由西南部湾顶向东、北方向递减的趋势。春季莱州湾内营养盐分布受环流影响较为显著,但在夏季营养盐分布受环流作用不明显。

2)海湾内溶解无机氮主要来源于小清河、潍河等河流输入, $\text{PO}_4\text{-P}$  则受支脉河、小清河和胶莱河影响较大,总体上小清河对莱州湾氮、磷营养盐分布影响最大。

3)黄河自 1996 年出汉改道,由原来的东南方向入海改为东北方向入海,加之地形阻隔等原因,其冲淡水及其携带的营养盐对莱州湾的影响已很小。

4)浮游植物生长繁殖对营养盐分布有一定的影响,主要表现在海湾中央海区离岸较远,浮游植物的强烈吸收(高 Chl-*a* 质量浓度)使此区域营养盐出现相对低值区,而近岸海区由于营养盐浓度较高,Chl-*a* 对营养盐分布影响不明显。

### 参考文献(References):

- [1] 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. 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.
- [2] SHAN Z X, ZHENG Z H, XING H Y, et al. Study on eutrophication in Laizhou Bay of the Bohai Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2000, 8(2): 41-46. 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, 8(2): 41-46.
- [3] ZHANG X, ZHANG L J, HOU Z L, et al. Spatio-temporal variability of principal pollutants in Laizhou Bay from 1980 to 2008[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(11): 91-98. 张雪, 张龙军, 侯中里, 等. 1980—2008 年莱州湾主要污染物的时空变化[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(11): 91-98.
- [4] 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): 329-335. 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): 329-335.
- [5] 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. 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.

- [6] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's of China. The specification for marine survey; GB 12763.4—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2008. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范: GB 12763.4—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China Standardization Administration of the People's of China. The specification for marine monitoring; GB 17378—2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2008. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 海洋监测规范: GB 17378—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] DONG L X, SU J L, CHEN Q, et al. Hydrodynamic analysis in Weihe River Estuary[J]. Haiyang Xuebao, 2000, 22(2): 9-15. 董礼先, 苏纪兰, 陈琪, 等. 淮河口水文特征分析[J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 9-15.
- [9] 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(Natural Sciences), 2003, 33(2): 185-191. 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(自然科学版), 2003, 33(2): 185-191.
- [10] TONG J A, CHEN M. A study on the present status of environmental quality and variation trends of pollution in Laizhou Bay[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1995, 13(3): 26-33. 童钧安, 陈懋. 莱州湾环境质量现状与发展趋势研究[J]. 黄渤海海洋, 1995, 13(3): 26-33.
- [11] ZHANG J F, GAO X L, LI P M, et al. Nutrient distribution characteristics and long-term trends in the southwest of the Laizhou Bay and its adjacent rivers[J]. Marine Science Bulletin, 2015, 34(2): 222-232. 张锦峰, 高学鲁, 李培苗, 等. 莱州湾西南部海域及其毗邻河流水体营养盐的分布特征及长期变化趋势[J]. 海洋通报, 2015, 34(2): 222-232.
- [12] ZHANG R J, ZHANG G, ZHENG Q, et al. Concentrations and spatial distributions of selected quinolones antibiotics in Laizhou Bay and main rivers flowing into the bay[J]. Marine Environmental Science, 2012, 31(1): 53-61. 张瑞杰, 张干, 郑芊, 等. 喹诺酮类抗生素在莱州湾及主要入海河流中的含量和分布特征[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(1): 53-61.
- [13] XIAO C C. The inter-annual variation of water quality and the changing trend of plume area in the Yellow River[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. 肖纯超. 黄河入海水水质状况年内变化及河口羽流面积变化趋势研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [14] ZHAO P, JIANG W S, MAO X Y, et al. Salinity change and influencing factor in the Laizhou Bay from 2000 to 2005[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(1): 12-23. 赵鹏, 江文胜, 毛新燕, 等. 2000—2005 年莱州湾盐度的变化及其主要影响因素[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(1): 12-23.
- [15] ZHONG D L, LIU J L. Research on the scour-and-fill structure from the river mouth to the harbour bank of Yellow River after the diversion[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2003, 23(1): 49-52. 仲德林, 刘建立. 黄河改道后河口至黄河海港海岸冲淤变化研究[J]. 海洋测绘, 2003, 23(1): 49-52.
- [16] LIAO W, ZHANG L J, CHEN H T, et al. Nutrients variations and fluxes estimation in the Yellow River Estuary from 2001 to 2011[J]. Periodical of Ocean University of China(Natural Sciences), 2013, 43(1): 81-86. 廖巍, 张龙军, 陈洪涛, 等. 2001—2011 年黄河口营养盐变化及入海通量估算[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(1): 81-86.
- [17] ZHANG J M, LIU S, ZHANG Q, et al. Nutrient distribution and eutrophication assessment for the adjacent waters of the Yellow River Estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2008, 27(5): 65-72. 张继民, 刘霜, 张琦, 等. 黄河口附近海域营养盐特征及富营养化程度评价[J]. 海洋通报, 2008, 27(5): 65-72.
- [18] LIAO X Q. Study on groundwater discharge flux and nutrient salt flux transported by groundwater to ocean from the Yellow River Delta Area[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005. 廖小青. 黄河三角洲地区地下水及其营养盐入海通量研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [19] CHEN S Z, GU Y Q, LIU M G, et al. Nutrient distribution at the Huanghe River Estuary[J]. Journal of Ocean University of Qingdao (Natural Sciences), 1991, 21(1): 34-42. 陈淑珠, 顾郁翘, 刘敏光, 等. 黄河口及其邻近海域营养盐分布特征[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 1991, 21(1): 34-42.
- [20] SMITH S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. Limnology and Oceanography, 1984, 29(6): 1149-1160.
- [21] ZOU L, ZHANG J. Experimental study on the nutrient limitation in the spring of Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(6): 672-678. 邹立, 张经. 渤海春季营养盐限制的现场实验[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(6): 672-678.
- [22] ZHAO B R, ZHUANG G W, CAO D M. Circulation, tidal residual currents and their effects on the sedimentations[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(5): 466-473. 赵保仁, 庄国文, 曹德明. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466-473.
- [23] SUN X P. Regional Oceanography in China Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [24] HUANG D J, SU J L, ZHANG L R. Numerical study of the winter and summer circulation in the Bohai Sea[J]. Acta Aerodynamica

- Sinica, 1998, 16(1): 115-121. 黄大吉, 苏纪兰, 张立仁. 渤海冬夏季环流的数值研究[J]. 空气动力学学报, 1998, 16(1): 115-121.
- [25] XIONG X J. The circulation mechanism of china offshore[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. 熊学军. 中国近海环流及其发生机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

## Nutrient Distributions in the Laizhou Bay in Spring and Summer of 2015

GUO Fu<sup>1</sup>, WANG Bao-dong<sup>1,2</sup>, XIN Ming<sup>1</sup>, ZHANG Wen-quan<sup>1</sup>, LI Cheng-xuan<sup>1</sup>,  
XIE Lin-ping<sup>1</sup>, SUN Xia<sup>1</sup>

(1. *The First Institution of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)*

**Abstract:** Based on in-situ data obtained in May and August, 2015, the characteristic of nutrients distribution and influencing factors in the Laizhou Bay and Yellow River Estuary were investigated. The results indicate that the distributions of nutrients in surface water have demonstrated a decreasing trend from the southwest to the northeast of the Laizhou Bay. Phytoplankton growth and reproduction have a certain influence on the distribution of nutrients in the center of the bay. In spring, the clockwise circulation has a certain impact on the features of nutrients distribution in the bay; however, this role weakens in summer. The Yellow River has little effect on the source of nutrients in the Laizhou Bay after diversion of its channel into the northeast, and especially the Xiaoqinghe River become the main source of terrigenous nutrients from the southwest into the bay. Accordingly, it should pay more attention to the southwestern rivers of the bay for the nutrients pollution control.

**Key words:** Laizhou Bay; nutrients; distribution feature; influencing factor

**Received:** May 4, 2016