

2015 年威海近岸海域营养盐的时空分布特征

董晓晓,王立明,齐延民,李佳蕙,赵玉庭

(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,山东 烟台 264006)

摘要:依据 2015 年冬季(3 月)、春季(5 月)、夏季(8 月)、秋季(10 月)威海近岸海域 4 个航次的调查资料,分析了该海域不同季节 DIN、PO₄-P 与 SiO₃-Si 的时空分布特征及营养状况。结果表明:威海近岸海域春季、夏季、秋季大体符合一类海水水质,冬季大体符合二类海水水质。在双岛湾及石家庄河、小海附近海域,DIN、PO₄-P 及夏秋两季的 SiO₃-Si 数值较其他海域为高。DIN、PO₄-P 与 SiO₃-Si 质量浓度均呈现出较明显的季节差异,其中,DIN、PO₄-P 质量浓度冬季、秋季较春季、夏季高,SiO₃-Si 相反;NO₃-N 是 DIN 的主要存在形式,占 DIN 的 50% 以上,夏季、冬季 NO₃-N 比例较高,春季、秋季比例相近。威海近岸海域 DIN 均高于浮游植物的生长阈值,SiO₃-Si 夏季、冬季个别站位低于该阈值,PO₄-P 春季、夏季、秋季均出现低于该阈值的站位,尤以春季最为突出,有 50% 的站位 PO₄-P 质量浓度在该阈值以下,总体为磷限制。

关键词:威海近岸;营养盐;时空分布特征;磷限制

中图分类号:X821

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)04-0053-09

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.04.007

营养盐是海水中一些含量较微的磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐和硅酸盐。严格地说,海水中许多主要成分和微量元素也是营养成分,但传统上在化学海洋学中只指氮(N)、磷(P)、硅(Si)元素的这些盐类为海水营养盐。因为它们是海洋浮游植物生长繁殖所必需的成分,也是海洋初级生产力和食物链的基础。营养盐的形态、分布及组成特征,影响整个海洋的生物资源。威海市区三面为黄海环绕,海岸线绵延曲折,总长达 120 km,海岸类型属于基岩(港湾)海岸。近年来,由于近岸海洋生态系统人为活动的增加,使得氮和磷排放量增加,引发海水富营养化,随之引起缺氧、有害藻类的爆发,并对水生生态系统中的水产养殖业造成损失,如挪威、瑞典和美国科罗拉多州湖泊,养殖业受损严重^[1],有害藻华和沿海海洋生态系统的“死区”^[2],2007 年太湖蓝藻水华事件^[3],富营养在与大型生物水华的发展,导致缺氧,甚至有毒或有害以至于影响渔业资源,生态系统以及人类健康或娱乐^[4-5]。因此,研究近岸典型海域营养盐的在威海近岸海区时空分布特征,对了解海洋,特别是港口及入海河口的污染状况,保证海港、近海养殖业及海洋生态的健康可持续发展尤为重要。

本研究主要对 2015 年威海近岸海域营养时空变化及其海域初级生产力限制因子进行分析,旨在为生物资源利用及生态系统修复提供科学依据。

1 调查站位与分析方法

1.1 站位布设及调查时间

本次调查区域属于威海市区近岸海域,该海域沿岸分布着威海旧港、新港、旅游码头、中心渔港、逍遥港

收稿日期:2018-09-08

资助项目:山东省海洋与渔业创新计划项目——山东近海海洋生态环境多源遥感监测及预警产业化示范应用(2017HY08)和山东省海洋环境监测与评价信息系统建设及应用示范(2017HY09);国家重点研发计划项目——渤海入海污染物准实时连续监测与通量估算技术研究(2018YFC1407601)和渤海生态环境巡查与总量控制成效评估技术研究(2018YFC1407605)

作者简介:董晓晓(1987-),女,助理工程师,本科,主要从事海洋环境污染及监测方面研究。E-mail: ytdxx1987@163.com

(王佳实 编辑)

等多座商用、旅游、渔业港口,双岛湾、威海湾、杨家湾、小海等多个海湾,石家河、羊亭河、初村河等多条入海河流,渔业资源丰富,商贸发达。

本研究分别于2015年冬季、春季、夏季、秋季各采样1次,进行了4次调查,调查海域内布设46个站位(图1)。

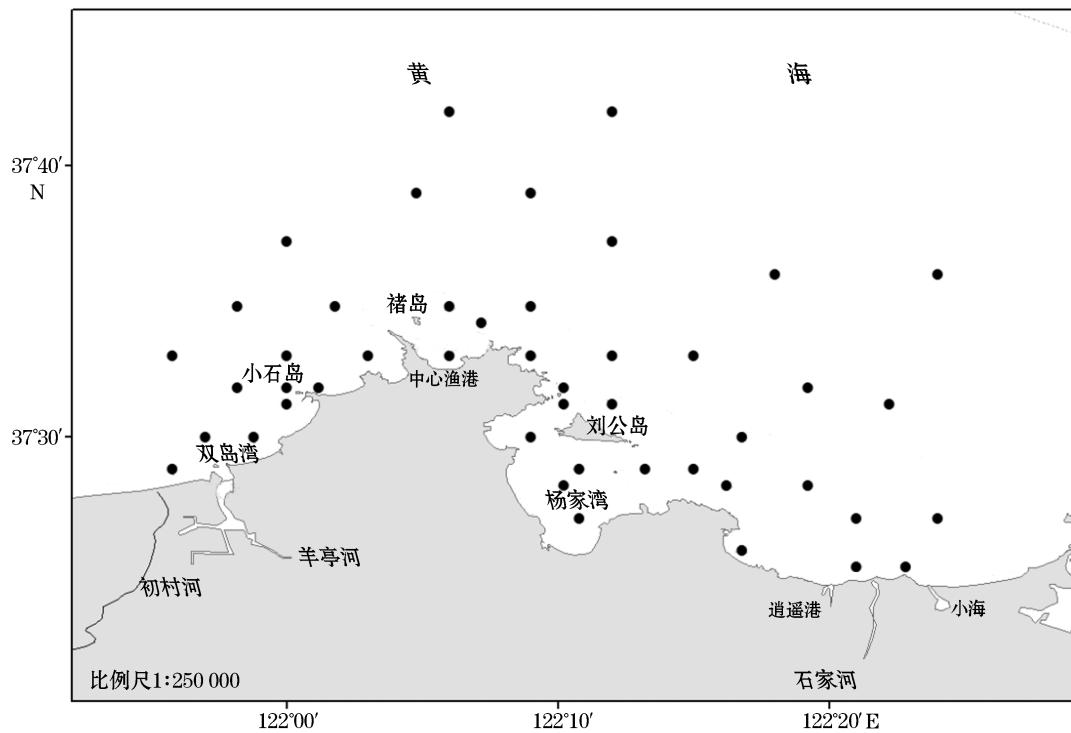


图1 威海近岸海域调查站位

Fig.1 Location of the surveying stations in the offshore area of Weihai

1.2 样品的采集和分析

按照《海洋监测规范》(GB 17378—2007)^[6]规定的方法进行样品的采集及分析,采集的水样立即用0.45 μm滤膜过滤以除去颗粒物质,采用锌-镉还原法测定硝酸盐(NO₃-N)、萘乙二胺分光光度法测定亚硝酸盐(NO₂-N)、次溴酸盐氧化法测定氨盐(NH₄-N)、磷钼蓝分光光度法测定磷酸盐(PO₄-P)和硅钼黄法测定硅酸盐(SiO₃-Si),其中DIN=NO₃-N+NO₂-N+NH₄-N。

2 结果与讨论

2.1 平面分布特征

2.1.1 冬季

冬季DIN平面分布基本呈现近岸高、离岸低的特征,高值区出现在西部双岛湾附近海域(图2)。DIN分布与盐度分布趋势相反,在离岸陆源输入量相对较小,所以盐度较高,DIN质量浓度相对较低;PO₄-P平面分布趋势与DIN相反,呈现近岸低、离岸高的趋势;SiO₃-Si平面分布变化趋势不明显。

2.1.2 春季

春季DIN平面分布呈现近岸向离岸方向逐渐降低的特征,中部、东部近岸海域DIN质量浓度明显高于

其他海域;PO₄-P分布基本呈现近岸低、离岸高的分布特征;SiO₃-Si在东部海域分布呈现近岸向离岸方向逐渐降低的特征,且中部海域及东部近岸海域SiO₃-Si质量浓度明显高于其他海域(图3)。东部地区受石家河、小海淡水输入的影响,近岸海域盐度低于离岸,而营养盐分布趋势与盐度相反,由近岸向离岸逐渐降低。

2.1.3 夏季

夏季DIN平面分布除东部逍遥港与石家河之间的海域呈近岸高、离岸低外,其他海域均呈现近岸低、离岸高的分布特征;PO₄-P分布除东部石家河附近海域呈现近岸高、离岸低外,其他海域均呈现近岸低、离岸高的分布特征;SiO₃-Si高值区出现在双岛湾附近,其平面分布变化趋势与盐度基本相同(图4)。

2.1.4 秋季

秋季DIN平面分布变化趋势不明显,近岸海域2个高值区分别出现在西部海域的双岛湾附近和东部海域的逍遥港与石家河之间,DIN与盐度平面分布变化趋势相同;PO₄-P平面分布变化趋势不明显,近岸海域高值区出现在东部海域的石家河与小海附近;SiO₃-Si平面分布基本呈现近岸高、离岸低的特征,2个高值区分别出现在西部海域的双岛湾附近和中部海域九龙湖附近(图5)。

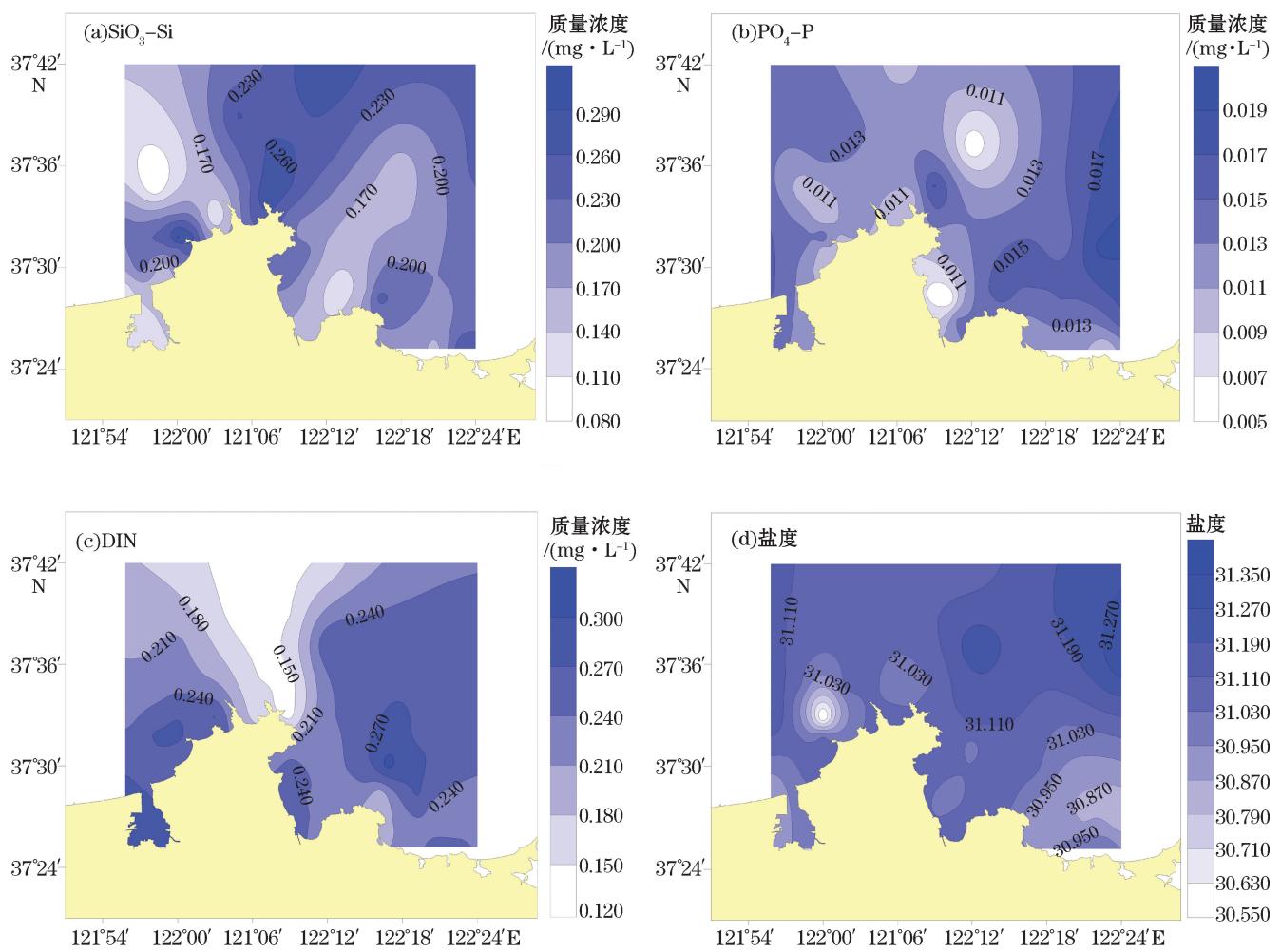


图2 冬季营养盐及盐度平面分布

Fig.2 Planar distributions of nutrient salts and salinity in winter

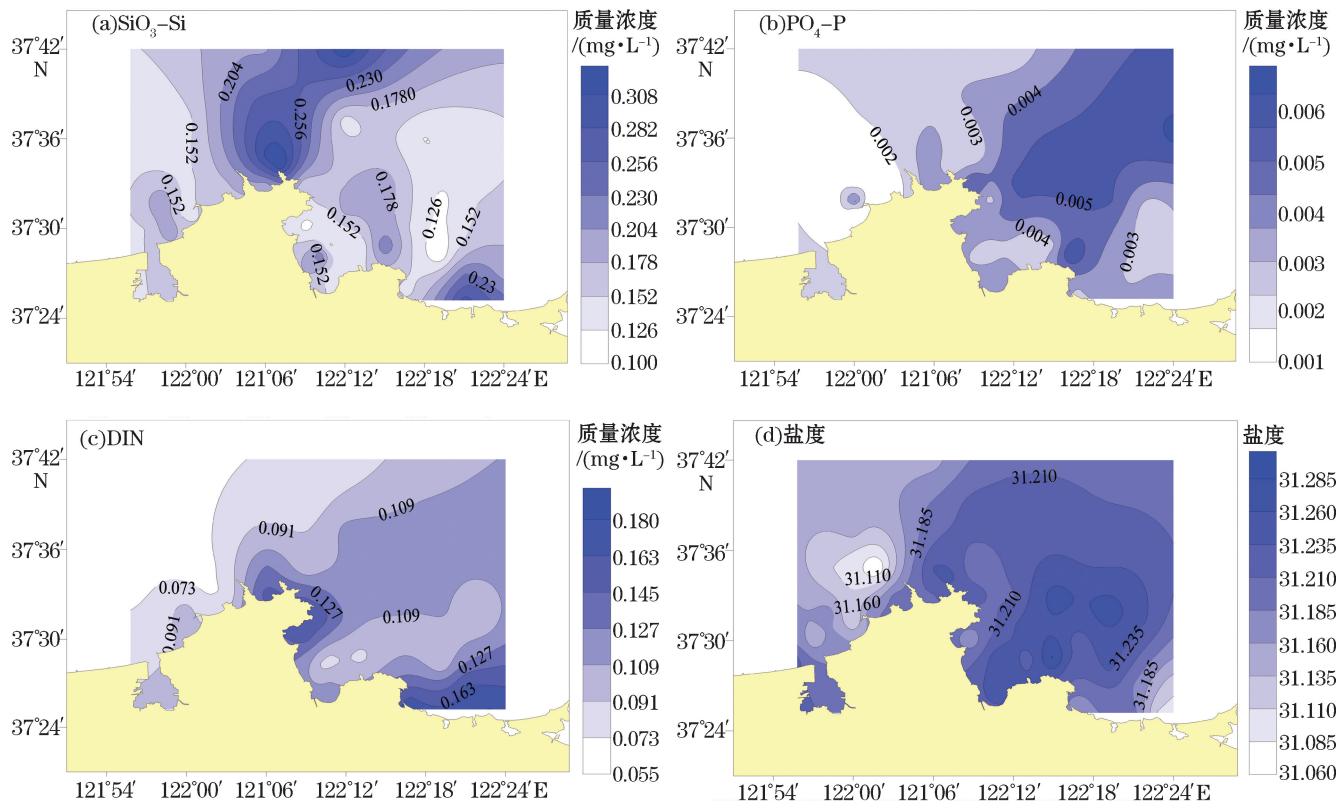


图 3 春季营养盐及盐度平面分布

Fig.3 Planar distributions of nutrient salts and salinity in spring

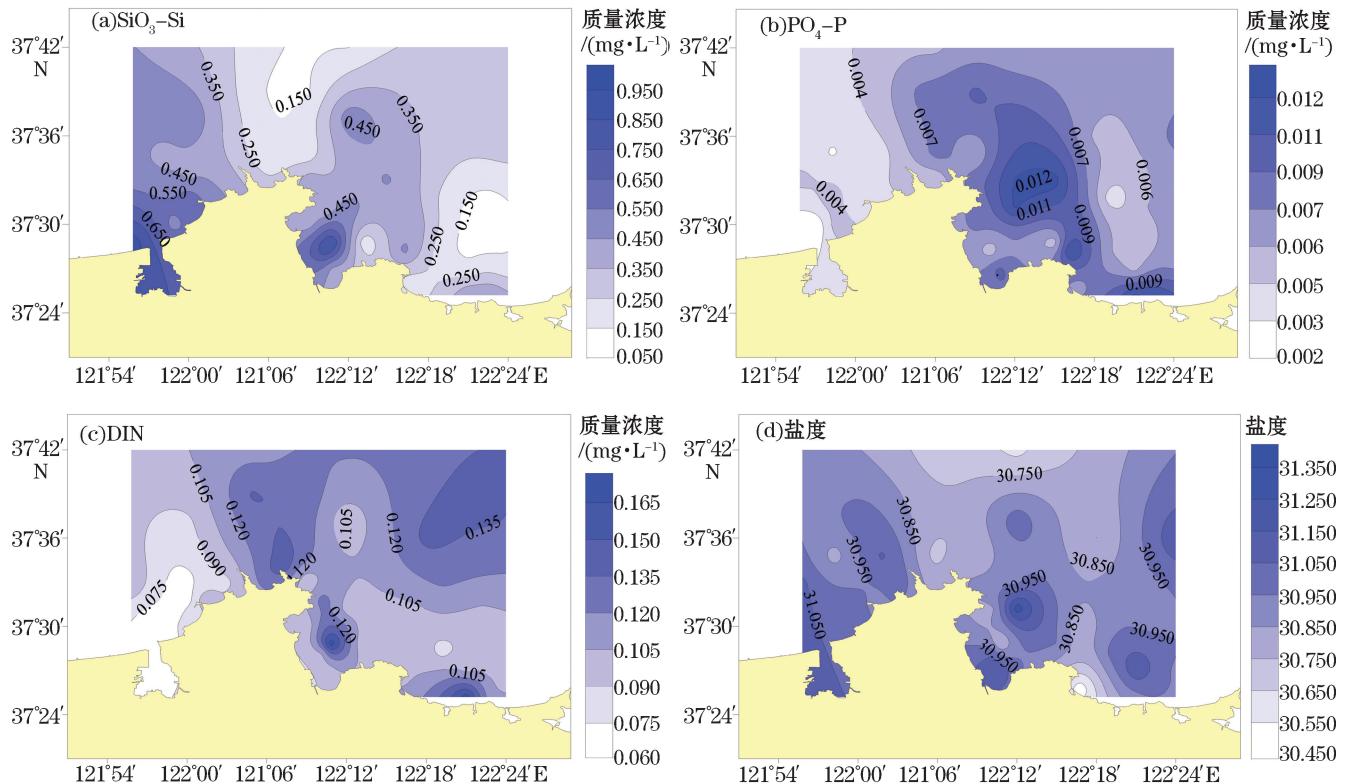


图 4 夏季营养盐与盐度平面分布

Fig.4 Planar distributions of nutrient salts and salinity in summer

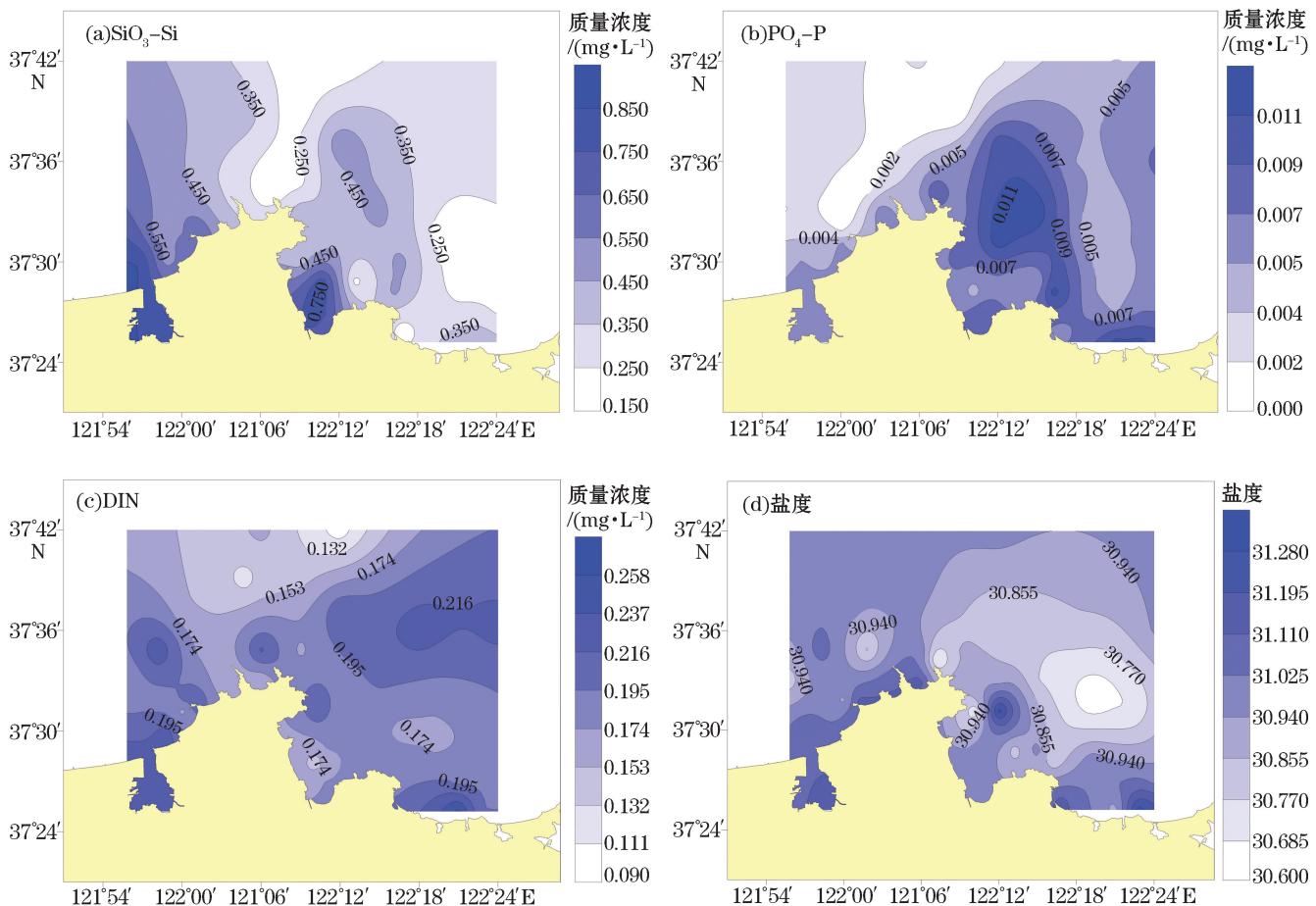


图5 秋季营养盐及盐度平面分布

Fig.5 Planar distributions of nutrient salts and salinity in autumn

2.1.5 威海近岸平面分布特征

总体来看,双岛湾及石家河、小海附近海域,DIN 及 $\text{PO}_4\text{-P}$ 质量浓度较其他海域高; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 受陆源输入影响较大,冬春两季质量浓度较低,夏秋两季质量浓度较高(图 2,3,4,5)。其中双岛湾为半封闭的潟湖型海湾,湾口设有引潮渠和挡浪坝,交换自净化能力较差,加上羊亭河和初村河携带陆源营养物质入海^[7],使得营养盐含量增加。

2.2 季节变化规律

DIN 质量浓度季节变化从高到低依次为冬季、秋季、春季、夏季,冬季质量浓度最高,平均质量浓度为 0.22 mg/L,夏季质量浓度最低,平均质量浓度为 0.10 mg/L(表 1)。春季、夏季均符合一类海水水质标准;秋季 6 个站位质量浓度为 0.22~0.27 mg/L,符合二类海水水质标准,其余均符合一类海水水质标准;冬季 4 个站位质量浓度为 0.31~0.33 mg/L,符合三类海水水质标准,其余均符合二类海水水质标准。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 是 DIN 的主要存在形式,占 DIN 的 50% 以上。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 冬季、秋季质量浓度较春季、夏季低,均符合一类海水水质标准。 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 夏季质量浓度最高,秋季次之,冬季与春季质量浓度最低。受地表径流输入影响较大^[8]。

影响海水营养盐含量的因素较多,经研究发现,影响近岸海域营养盐含量及变化的主要因素有浮游生物的生长消耗、沿岸径流输入、沉积物再悬浮释放、大气向海洋的氮沉降和水交换等^[9-10]。威海近岸海域 DIN

和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 呈现自春至夏先减小,后升高的趋势。春夏季节,浮游植物和大型藻类生长旺盛吸收大量营养盐,夏季风力较弱,海底沉积物再悬浮释放作用小于风力较强的其他季节,虽然夏季大量降雨携带营养盐的陆源排海量高于其他季节,但其夏季营养盐的消耗量大于补充量,这些综合因素导致该海域夏季营养盐 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 质量浓度较低的主要原因^[11]。秋冬季节,大型藻类已经收获,养殖生物残饵、代谢物、生物尸骸氧化分解和海水剧烈上下对流^[12],同时由于风力大于其他季节海底沉积物再悬浮释放作用增强和大气沉降变大,营养盐质量浓度回升,可能是造成 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 质量浓度较高的主要原因。

本次调查结果与 2006—2007 年的威海湾调查^[13]基本一致。本海域营养盐数值与 2000—2016 年大连长兴岛葫芦山湾^[14]营养盐数值相近;与 2012 年大连湾^[15]相比:DIN 值较低, $\text{PO}_4\text{-P}$ 与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 相近;与 2000 年以后胶州湾^[16]相比:DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 值较低, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 较高;与 2015 年庙岛群岛^[10]、2015 年青岛崂山湾^[11]相比:DIN 值相近, $\text{PO}_4\text{-P}$ 较高。

总体来说,威海近岸海域水质春季、夏季、秋季大体符合一类海水水质,冬季大体符合二类海水水质。威海海域 DIN 与周边海域相比略低; $\text{PO}_4\text{-P}$ 高于 2015 年庙岛群岛、2015 年青岛崂山湾,与 2000—2016 年大连长兴岛葫芦山湾、2012 年大连湾相近,低于 2000 年以后胶州湾; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 较高。

表 1 各季节 DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 平均质量浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 1 Average concentrations of DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$ and $\text{SiO}_3\text{-Si}$ in different seasons($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

季 节	DIN	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_3\text{-S}$
春季	0.110	0.003 4	0.190
夏季	0.100	0.006 7	0.470
秋季	0.190	0.007 0	0.290
冬季	0.220	0.013 0	0.210

2.3 N,P,Si 比值及营养盐限制因子

根据营养盐的绝对限制法则和相对限制法则及相关营养盐动力学研究成果^[16-19],当海水中 $\text{Si}/\text{P} > 22$ (原子数比,下同)且 $\text{N}/\text{P} > 22$ 时, $\text{PO}_4\text{-P}$ 为限制因子;当 $\text{N}/\text{P} < 10$ 且 $\text{Si}/\text{N} > 1$ 时,DIN 为限制因子;当 $\text{Si}/\text{P} < 10$ 且 $\text{Si}/\text{N} < 1$ 时, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 为限制因子。浮游植物生长所需的 DIN 最低阈值为 0.014 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 最低阈值为 0.003 1 mg/L, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 最低阈值为 0.056 mg/L。若海水中所含某种营养盐的质量浓度低于其对应的浮游生长所需最低阈值,则表明该种营养盐是该海区海洋初级生产力限制因子。

由表 2 可知,威海近岸海域基本上为磷限制,其 N/P 春、秋两季较高。研究发现,造成 N/P 不断升高的原因:一是氮肥在农业中大量使用,导致陆源氮输入量的增加^[21];二是从 2000 年左右开始,山东省逐渐限制生产和销售使用含磷用品,陆源排磷量大幅降低^[22],可能是造成 N/P 不断升高的主要原因。N/P 春秋两季高于夏冬两季,冬季陆源输入的减少是其 N/P 升高的主要原因;夏季虽然陆源输入较高,但是由于水温及光照导致大量浮游生物的繁殖,浮游植物间的化感效应和藻间竞争作用等引起种类和优势种的改变^[23-27],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,大幅度减少了水中 DIN 含量,可能是造成夏季 N/P 反而下降的主要原因。

由表 3 可知,威海近岸海域基本上为磷限制。威海近岸海域 DIN 均高于浮游植物生长所需最低阈值; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 夏季、冬季有极少数站位低于最低阈值; $\text{PO}_4\text{-P}$ 春季、夏季、秋季均存在低于阈值的站位,尤以春季最为突出,有 50% 的站位 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量在最低阈值以下,主要集中在东部逍遥港与石家河之间的海域,表明春季该海域半数站位的 $\text{PO}_4\text{-P}$ 不能满足海洋初级生产力的消耗,造成海洋贫营养化。

表2 各季节N/P, Si/P, Si/N比值及N, P, Si限制情况

Table 2 The ratios of N/P, Si/P and Si/N and the restriction of N, P or Si in different seasons

	春季	夏季	秋季	冬季
N/P	38.1±28	23.2±15	37.3±23	19.3±10
Si/P	71.9±45	106±70	84.6±60	18.3±15
Si/N	1.9±0.4	4±2.6	2.27±1.0	1.03±0.8
限制因子	磷限制	磷限制	磷限制	无限制

表3 威海近岸海域DIN, PO₄-P, SiO₃-Si与最低阈值比较Table 3 Comparison between the DIN, PO₄-P, SiO₃-Si and the minimum threshold in the offshore area of Weihai

成分	阈值/mg·L ⁻¹	比较情况	春季	夏季	秋季	冬季
DIN	0.014 0	最低值/(mg·L ⁻¹)	0.060 0	0.060 0	0.090 0	0.110 0
		低于阈值站位占比/%	0	0	0	0
PO ₄ -P	0.003 1	最低值/(mg·L ⁻¹)	0.001 1	0.001 6	0.001 1	0.003 4
		低于阈值站位占比/%	50	15	28	0
SiO ₃ -Si	0.056 0	最低值/(mg·L ⁻¹)	0.070 0	0.030 0	0.110 0	0.050 0
		低于阈值站位占比/%	0	4	0	3

总体来说,威海近岸海域为磷限制。

3 结 论

本研究依据2015年冬季(3月)、春季(5月)、夏季(8月)、秋季(10月)威海近岸海域4个航次46个站位的调查资料,分析了该海域不同季节DIN、PO₄-P与SiO₃-Si时空分布特征及营养状况。初步总结了2015年威海近岸营养盐的时空分布特征,结论如下:

1) 威海近岸海域春、夏、秋三个季节的营养盐质量浓度基本符合国家一类海水水质标准,冬季DIN质量浓度除个别站位略有超标外均符合国家二类水质标准。双岛湾及石家河、小海附近海域,营养盐浓度略高于该海域的其他海海域。

2) 威海近岸海域DIN与PO₄-P秋、冬两季质量浓度高于春、夏两季,SiO₃-Si正好相反,春、夏两季质量浓度高于秋、冬两季。

3) 海域DIN质量浓度与周边海域相比略低;PO₄-P质量浓度高于2015年庙岛群岛、2015年青岛崂山湾,与2000—2016年大连长兴岛葫芦山湾、2012年大连湾相近,低于2000年以后胶州湾;SiO₃-Si较高。

4) 该海域DIN均高于浮游植物的生长所需最低阈值,SiO₃-Si夏季、冬季个别站位低于最低阈值,PO₄-P春季、夏季、秋季均出现低于最低阈值的站位,尤以春季最为突出,有50%的站位PO₄-P质量浓度在最低阈值以下,总体为磷限制。

致谢:威海市海洋与渔业监测减灾中心提供数据支持。

参考文献(References):

- [1] ELSER J J, ANDESEN T, BARON J S, et al. Shifts in lake N:P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition[J]. Science, 2009, 326(5954): 835-837.

- [2] CONLEY D J, PAER H W, HOWARTH R W, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus[J]. *Science*, 2009, 323(5917): 1014-1015.
- [3] LIU J T, YANG Y S, JIANG J H, et al. Risk evaluation method of cyanobacteria bloom hazard in Taihu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2011, 31(3): 498-503. 刘聚涛, 杨永生, 姜加虎, 等. 太湖蓝藻水华灾害风险分区评估方法研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(3): 498-503.
- [4] VAQUER-SUNYER DUARTE C M. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity[J]. *National Academy of Sciences*, 2008, 105(40): 15452-15457.
- [5] ANDERSON D M, GLIBERT P M, BURKHOLDER J M. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences[J]. *Estuaries*, 2002, 25(4): 704-726.
- [6] National Technical Cominittees of Ocean Standardization. Marine monitoring code: GB 17378—2007[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2007. 全国海洋标准化技术委员会. 海洋监测规范: GB 17378—2007[S]. 北京: 中国标准化出版社, 2007.
- [7] ZHOU Y R, TANG W, ZHAO B, et al. Analysis of nutrients and organic pollution in the Shuangdao Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2008, 27(3): 115-120. 周艳荣, 唐伟, 赵蓓, 等. 山东威海双岛湾海域营养状态及有机污染状况分析[J]. 海洋通报, 2008, 27(3): 115-120.
- [8] SONG X X, YU Z M. Nutrient effect on phytoplankton intypical mariculture waters in summer in the northeast of the Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(5): 446-452. 宋秀贤, 俞志明. 胶州湾东北部养殖海域夏季营养盐分布特征及其对浮游植物生长的影响[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(5): 446-452.
- [9] GUO F, CHEN J F, ZHANG Y, et al. Analysis and evaluation on nutritional status and organic pollution condition in the southern offshore area of huangdao district of Qingdao city[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(4): 44-50. 过锋, 陈聚法, 张艳, 等. 黄岛区南部海域营养水平和有机污染状况分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(4): 44-50.
- [10] XU Y D, WEI X, WU X W, et al. Characteristics of nutrients and eutrophication assessment in the southern waters of Miaodao Archipelago[J]. *Science Technology and Engineering*, 2015, 15(22): 214-218. 徐艳东, 魏潇, 吴兴伟, 等. 庙岛群岛南部海域海水营养盐特征和富营养化评价[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(22): 214-218.
- [11] SUN W, XU Y D, TANG X C, et al. Temporal-spatial characteristics and inter-annual variation of nutrients in Laoshan Bay, Qingdao [J]. *Science Technology and Engineering*, 2016, 16(13): 138-142. 孙伟, 徐艳东, 汤宪春, 等. 青岛崂山湾海域营养盐时空特征及年际变化规律[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(13): 138-142.
- [12] ZHANG Z B. *Marine chemistry*[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004: 118-138. 张正斌. 海洋化学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004: 118-138.
- [13] CHEN W, LÜ Z B. Seasonal variation features of nutrients and influenced environmental factors in Weihai Bay[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(3): 41-45. 陈玮, 吕振波. 威海湾营养盐季节变化特征及环境因子的相关性分析[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(3): 41-45.
- [14] XIAO Q, ZHAO S F, YUAN Z, et al. Influence of regional ocean function adjustment on sea water quality: a case study of the Hulushan Bay, Changxing Island, Dalian[J]. *Coastal Engineering*, 2018, 37(1): 74-79. 肖琦, 赵素芳, 袁仲, 等. 区域海洋功能调整对海域水质状况影响研究——以大连长兴岛葫芦山湾为例[J]. 海岸工程, 2018, 37(1): 74-79.
- [15] ZHANG Y F, TIAN J, YANG S, et al. Distribution and structure of nutrients in seawater and ecological responses in Dalian Bay[J]. *China Environmental Science*, 2015, 35(1): 236-243. 张玉凤, 田金, 杨爽, 等. 大连湾海域营养盐时空分布、结构特征及其生态响应[J]. 中国环境科学, 2015, 35(1): 236-243.
- [16] SUN X X, SUN S, ZHAO Z X, et al. Long-term changes in nutrient concentration and structure in the Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(5): 662-669. 孙晓霞, 孙松, 赵增霞, 等. 胶州湾营养盐浓度与结构的长期变化[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 662-669.
- [17] PERRY M. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean[J]. *Deep Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, 1981, 28(1): 39-49.
- [18] CARPENTER E J, CAPONE D G. Nitrogen in the marine environment[M]. New York: Academic Press, 1983: 233-274.
- [19] NELSON D M, BREZEZINSKI M A. Kinetics of silicic acid uptake by natural diatom assemblages in two Gulf Streamwarm core rings [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 62: 283-292.
- [20] JUSTIC D, RABALAIS N N, TURNER R E. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication[J]. *Marine pollution bulletin*, 1995, 30(1): 41-46.
- [21] WANG X L, CUI Z G, LI K Q, et al. Study on the photochemical degradation of crude oil in aqueous solutions[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 38(4): 619-622, 626. 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[J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(4): 619-622, 626.

- [22] Shandong Environmental Protection Bureau. Notice on restriction of production and prohibition of sale of phosphorus-containing washing goods[EB/OL]. (2000-09-26)[2018-09-08]. <http://www.lawtime.cn/info/hjf/dffg/2010120219971.html> 山东省环境保护局. 关于限制生产和禁止销售使用含磷洗涤用品的通知 [EB/OL]. (2000-09-26) [2018-09-08]. <http://www.lawtime.cn/info/hjf/dffg/2010120219971.html>
- [23] PENG X C, YANG W D, LIU J S. Allelopathic effects in algal blooms[J]. Marine Sciences, 2007, 31(2): 84-88. 彭喜春, 杨维东, 刘洁生. 赤潮期间藻类的化感效应[J]. 海洋科学, 2007, 31(2): 84-88.
- [24] KANG Y Y, LIANG J R, GAO Y H, et al. Influence of N/P Ratio on the growth and competition of two red tide[J]. Haiyang Xuebao, 2006, 28(5): 117-122. 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[J]. 海洋学报, 2006, 28(5): 117-122.
- [25] YUH L L C. Nitrogen modulates phytoplankton growth in spring in the South China Sea[J]. Continental Shelf Research, 2004, 24(4-5): 527-541.
- [26] NUCCIO C, MELILLO C, MASSI L, et al. Phytoplankton abundance, community structure and diversity in the Eutrophicated Orbetello lagoon (Tuscany) from 1995 to 2001[J]. Oceanologica Acta, 2003, 26(1): 15-25.
- [27] LI L, ZANG J Y, LIU J, et al. Phosphate distribution, variation and its relationship with phytoplankton changes in the Qiantang River estuary[J]. Advances in Marine Science, 2018, 36(2): 279-289. 李丽, 藏家业, 刘军, 等. 钱塘江口磷酸盐分布、变化与浮游植物的响应[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(2): 279-289.

The Characteristics of Spatial and Temporal Distribution of Nutrients in the Offshore Area of Weihai in 2015

DONG Xiao-xiao, WANG Li-ming, QI Yan-min, LI Jia-hui, ZHAO Yu-ting
(Shandong Key Lab of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute,
Yantai 264006, China)

Abstract: Based on the data from 4 surveys carried out in the offshore area of Weihai in winter (March), spring (May), summer (August) and autumn (October) in 2015, the characteristics of spatial and temporal distributions and the nutritional status of DIN, PO₄-P and SiO₃-Si in different seasons are analyzed. The results show that the seawater quality in the offshore area of Weihai coincided roughly with the first category marine water quality standard in spring, summer and autumn and with the second category marine water quality standard in winter in 2015. The values of SiO₃-Si in summer and autumn and the values of DIN and PO₄-P were higher in the areas of Shuangdao Bay, Shijia River and Xiaohai than in other areas. The concentrations of DIN, PO₄-P and SiO₃-Si showed significant seasonal differences in the offshore area of Weihai in 2015, of which the concentrations of DIN and PO₄-P were higher in winter and autumn than in spring and summer, while the concentration of SiO₃-Si was opposite. NO₃-N was the main existence form of DIN and accounted for over 50% of DIN. The proportion of NO₃-N was higher in summer and winter and similar in spring and autumn. Compared with the growth threshold of phytoplankton in the offshore area of Weihai, the DIN concentration was higher, the SiO₃-Si concentration was lower in summer and winter at some individual stations and the PO₄-P concentration was lower in spring, summer and autumn. Especially in spring the PO₄-P concentration was lower than the threshold at 50% of the stations, reflecting that the offshore area of Weihai was generally restricted by phosphorus.

Key words: offshore area of Weihai; nutrients; characteristics of spatial and temporal distribution; phosphorus restriction

Received: September 8, 2018