

# 北黄海西部海区营养盐季节变化 及其影响因素探讨\*

赵倩, 臧路, 张传松, 石晓勇\*

(中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 根据 2006-07—2007-10 对北黄海 4 个航次调查资料, 分析并讨论了北黄海西部海区营养盐四季变化及其影响因素。DIN, PO<sub>4</sub>-P 和 SiO<sub>3</sub>-Si 的浓度从春季到冬季逐渐升高。春、夏、秋季营养盐底层浓度均远远大于表层的, 冬季营养盐各层浓度相近。黄海冷水团是影响北黄海西部营养盐季节变化的主要因素, 黄海暖流和鸭绿江水的输入对北黄海西部营养盐季节变化影响不显著; 受北黄海跃层的影响, 北黄海西部海区营养盐浓度除冬季外, 垂直方向均呈现出分层现象, 表层浮游植物吸收营养盐, 使表层营养盐浓度低于底层的。

**关键词:** 北黄海西部海区; 营养盐; 影响因素

**中图分类号:** P734.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-6647(2012)01-0069-08

北黄海是指山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的半封闭海域, 大体呈 NE 向的平行四边形, 面积约为  $7.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。北黄海在辽东半岛有鸭绿江、大洋河、庄河和碧流河等河流入海, 同时还存在来自渤海南岸的鲁北沿岸水<sup>[1]</sup>。其海域内较为复杂的沿岸流和在不同季节存在的多个水团, 造成北黄海各个季节生源要素具有复杂性, 从而形成其独特性。

对于黄海海域生源要素的研究可追溯至 1957 年由中国科学院海洋研究所主持的渤海及黄海西部的海洋综合调查, 1958—1960 年由国家科学技术委员会海洋组主持的全国海洋综合调查项目, 以及 1966—1986 年国家海洋局主持的标准断面调查等。但是到目前为止, 对黄海海区营养盐分布的研究多集中于南黄海<sup>[2-5]</sup>、北黄海西部近岸<sup>[6-10]</sup>和河口区<sup>[11-16]</sup>以及北黄海某个季节或断面的分布特征<sup>[17-19]</sup>, 而对于北黄海整个西部海区营养盐四季变化及其影响因素的讨论较少。

依据 2006-07—2007-10 对北黄海西部海区 4 个航次的现场调查的资料、北黄海西部溶解无机态营养盐浓度四季特征进行了研究, 并针对其影响因素进行了探讨。

## 1 调查与方法

### 1.1 站位布置与调查时间

在北黄海西部海域(37°~40°N, 121°~124°E)共设 81 个大面站(站位见图 1)。调查分别于 2006-07-23—2006-08-06(夏季)、2007-01-03—2007-01-16(冬季)、2007-04-24—2007-05-04(春季)和 2007-10-14—2007-10-25(秋季)进行。

\* 收稿日期: 2010-10-26

资助项目: 我国近海海洋综合调查与评价专项——我国主要河口及邻近海域环境质量评价(908-02-02-02)

作者简介: 赵倩(1986-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事海洋生物地球化学与海水分析方面研究。E-mail: zhaopian8611@163.com

\* 通讯作者, E-mail: shixy@ouc.edu.cn

(高峻 编辑)

## 1.2 调查方法

4 个航次均使用“东方红 2 号”海洋科学考察船。在调查过程中使用电控 12 联装 12 L Niskin 采水器采集各个深度(主要为表层、10 m、30 m 和底层)的水样,分别测定溶解氧(DO)和营养盐等参数。各项参数按照《GB17378.4—2007》<sup>[20]</sup> 进行测定:每个站位的海水温度、盐度及水深等参数均使用 CTD(Sea Bird 911-Plus 型)进行现场测量;DO 用 Winkler 法现场测定;营养盐样品现场经 GF/F 滤膜(450 °C 灼烧 4 h)过滤后使用营养盐自动分析仪(QuAAtro 型,德国 Bran+Luebbe GmbH Co. 生产)测定,其中  $\text{PO}_4\text{-P}$  用磷钼蓝分光光度法(标准偏差为  $0.012 \mu\text{mol/L}$ ,检测限  $0.024 \mu\text{mol/L}$ ),  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  用硅钼蓝分光光度法(标准偏差为  $0.18 \mu\text{mol/L}$ ,检测限  $0.04 \mu\text{mol/L}$ ),  $\text{NO}_2\text{-N}$  用萘乙二胺分光光度法(标准偏差为  $0.03 \mu\text{mol/L}$ ,检测限  $0.03 \mu\text{mol/L}$ ),  $\text{NO}_3\text{-N}$  用 Cd-Cu 还原法(标准偏差为  $0.03 \mu\text{mol/L}$ ,检测限  $0.03 \mu\text{mol/L}$ ),  $\text{NH}_4\text{-N}$  用次溴酸盐氧化法测定分析(标准偏差为  $0.03 \mu\text{mol/L}$ ,检测限  $0.02 \mu\text{mol/L}$ )。溶解无机氮(DIN)为  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$  和  $\text{NH}_4\text{-N}$  之和。

## 2 结果与讨论

北黄海西部海区的 4 次调查数据中各项溶解无机态营养盐浓度范围较大,为使其总体浓度变化特征反映得更清晰,文章中仅用所有站位的平均值数据来进行分析。

### 2.1 北黄海西部营养盐浓度季节变化

图 2 分别给出了北黄海西部海区各项营养盐浓度总体平均值和 DIN,  $\text{PO}_4\text{-P}$  和  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  各层平均值的四季变化情况。

从四季变化来看: DIN 春、夏、秋、冬浓度平均值分别为  $3.46, 3.25, 6.45, 8.00 \mu\text{mol/L}$ ;  $\text{PO}_4\text{-P}$  春、夏、秋、冬浓度平均值分别为  $0.18, 0.20, 0.40, 0.56 \mu\text{mol/L}$ ;  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  春、夏、秋、冬浓度平均值分别为  $3.29, 4.45, 7.64, 12.32 \mu\text{mol/L}$ 。整个海区三项营养盐浓度均呈现出从春季到冬季逐渐增大的趋势,春、夏季浓度较低,从夏季到冬季浓度呈直线上升,冬季达到全年最高值,约为春季浓度的 2~4 倍。对于不同水层中营养盐季节变化又有其独特性:表层、10 m 层 DIN 和  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度从春季到冬季呈现出先降低后升高的趋势,夏季浓度最低,冬季达到最高值,30 m 层 DIN 和  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度从春季到冬季逐渐升高,底层 DIN 和  $\text{PO}_4\text{-P}$  浓度秋季达到最高值,之后迅速下降。而各层  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  浓度从春季到冬季逐渐升高。

垂直方向上,除冬季以外,其它季节 DIN,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  的浓度均呈现底层的远远高于表层的现象,但各个季节营养盐垂直分布又各有特点:春季表层和 10 m 层各项营养盐浓度较低且平均值十分接近,而 30 m 层和底层的浓度相近且浓度较高,10 m 层与 30 m 层之间存在浓度突跃。夏季营养盐垂直方向上浓度表现出与春季相似的特征。秋季营养盐层化现象更为显著,从表层到底层逐渐升高,表层与 10 m 层浓度相近,30 m 层浓度比 10 m 层的有所增加,但是营养盐浓度平均值差别已不像春季和夏季那样大,底层升高较为显著。冬季各层各项营养盐浓度大致相同,营养盐浓度处于较高水平。

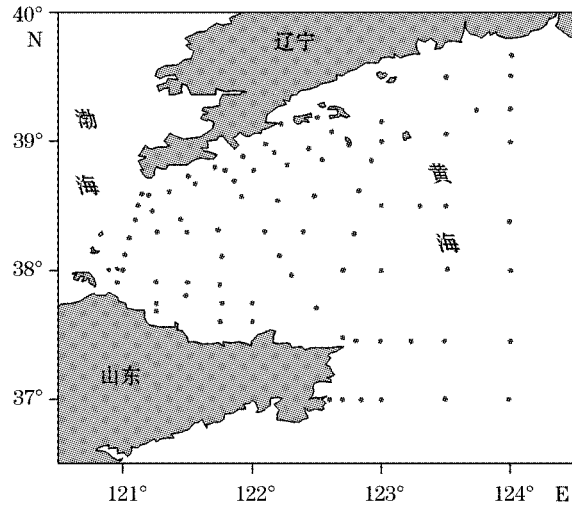


图 1 北黄海西部海区调查站位分布  
Fig. 1 Distribution of sampling stations  
in the west of the North Yellow Sea

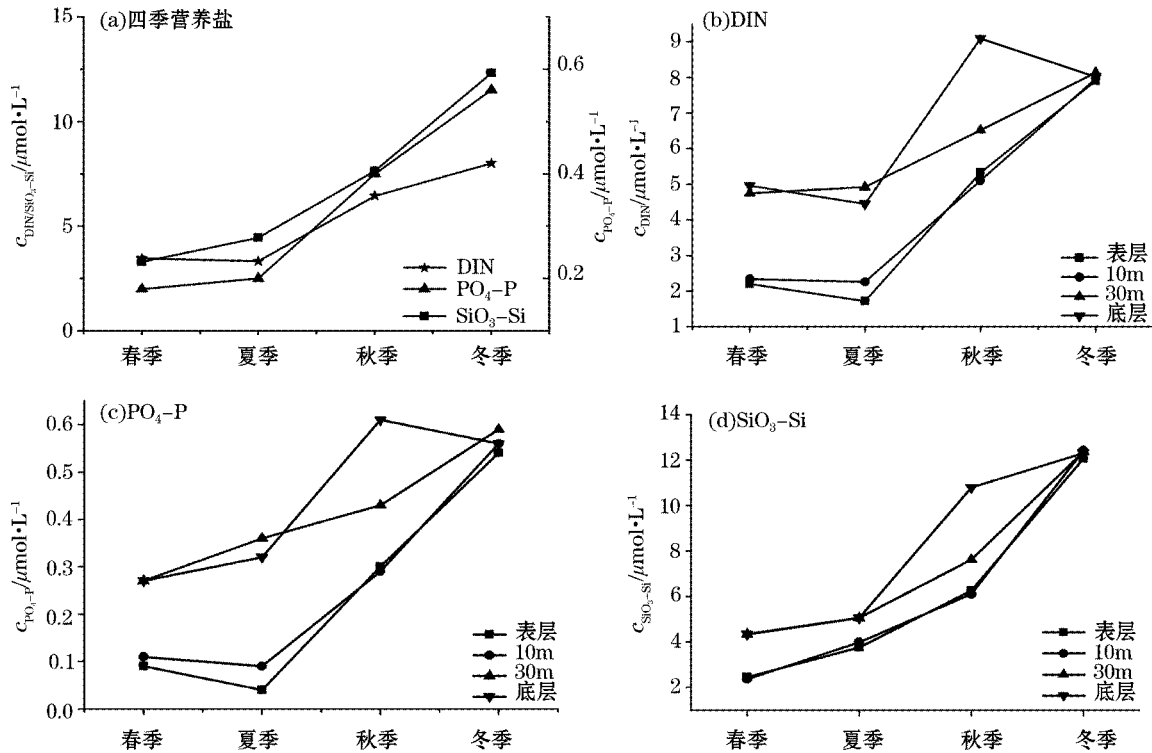


图 2 北黄海西部海区生源要素浓度的季节变化

Fig. 2 The seasonal changes of biogenic factors in the west of the North Yellow Sea

## 2.2 北黄海西部营养盐季节变化的影响因素探讨

### 2.2.1 四季浓度变化影响因素探讨

影响北黄海西部海区中营养盐浓度的因素有黄海冷水团中颗粒物的累积与分解、黄海暖流输入和鸭绿江冲淡水陆源输入等。

黄海冷水团可被看做是一季节性水团<sup>[21]</sup>,它的形成、发展和消亡与温跃层的演变几乎是同步进行的。7—8月为温跃层的强盛期,亦是冷水团的鼎盛时期<sup>[22]</sup>。

春季黄海冷水团逐渐生成,在北黄海西部海区中部冷水团区域 DIN 浓度存在一个高值区( $>6 \mu\text{mol/L}$ ),远大于北黄海营养盐的平均浓度(图 3a)。夏季北黄海底部形成明显冷水团中心。夏季由于是相应地垂向混合作用小,“在黄海的底部就留下了一个稳定的冷水团”<sup>[23]</sup>。夏季浮游植物将大量的无机营养盐转化为颗粒有机物,大比重的颗粒有机物沉降到底部的冷水团区域。春季和夏季冷水团中颗粒态营养盐是一个不断累积的过程,大量的颗粒态营养盐储存在海区底部的冷水团中,随着时间的推移底层颗粒有机物逐渐分解,冷水团成为了营养盐贮库<sup>[4]</sup>。秋季冷水团中心范围逐渐缩小,冷水团开始消亡,但是由于垂直方向上海水仍然达不到上下完全混合的程度,秋季海区底层仍存在冷水团,沉降到底层的颗粒有机物分解成溶解无机态营养盐,在冷水团中不断积累,由图 3 可以看出秋季北黄海中底部冷水团区域出现了一个溶解无机态营养盐的高值中心,冷水团区域营养盐含量达到了高值,远远大于北黄海的总体平均浓度。在冬季,自春季以来沉入海底冷水团区域的生物碎屑不断被微生物分解,产生了大量溶解无机态营养盐,经过一年的分解与累积其浓度达到四季的最高值。

黄海暖流是黄海唯一的外海水源。主要是从对马暖流水和东海陆架水在济州岛南侧交汇所形成的锋区中衍生出来的<sup>[24]</sup>,因此黄海暖流水具有高温、高盐、低营养的特性。黄海暖流属于季节性海流,每年 12 月,随着冬季风的加强而逐步发展,并于翌年 2 月达到强盛<sup>[25]</sup>。虽然在北上过程中黄海暖流的温盐特性发生了

变化,但是在冬季(黄海暖流强盛期)黄海暖流北上进入北黄海后,仍保留其高温低营养盐特性,从底层 DIN 分布图中也可以看出,在冬季调查海区东南部有一低营养盐海水侵入,表明在冬季黄海暖流会携大量低营养盐海水进入北黄海。

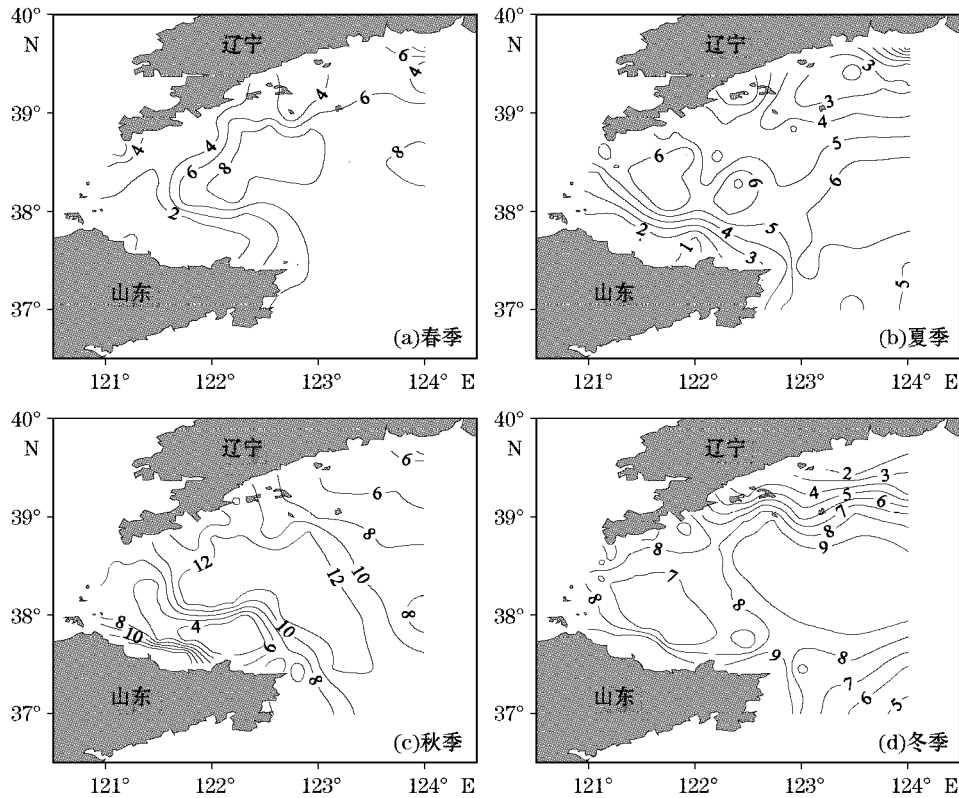
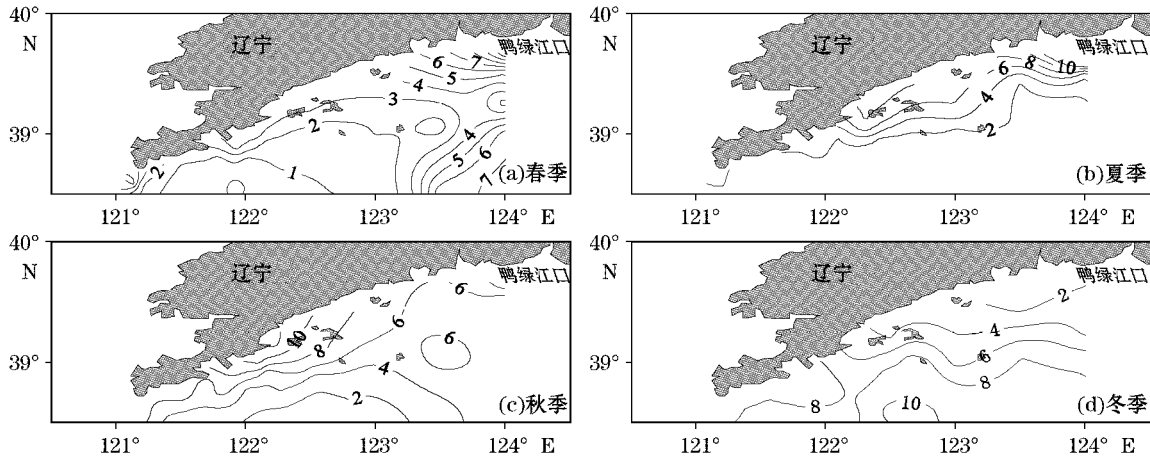


图 3 北黄海西部海区底层 DIN( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )平面分布

Fig. 3 The horizontal distributions of DIN ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) at the bottom layer in the west of the North Yellow Sea

鸭绿江的入海平均流量为  $1.1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ ,年总径流量约为  $3.47 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,每年 12 月初至翌年 4 月中为江面冰封期,丰水期在 8 月,7 月和 8 月的径流量占全年的 48%<sup>[26]</sup>。春末夏初鸭绿江径流将化冻后积攒了整个冬季的排放物集中倾泻入海,导致河口区 DIN 浓度较高,夏季丰水期,也汇集了上游和下游排放的 DIN,而秋季鸭绿江携带入海的 DIN 有所下降<sup>[15]</sup>。以 DIN 为例(图 4),本次调查中辽南沿岸春、夏季存在一个 DIN 高值区,秋、冬季存在一个低值区。春季和夏季鸭绿江携带大量营养盐输入北黄海西部,到了冬季鸭绿江径流量减小进入冰封期,冬季鸭绿江口营养盐浓度分布(图 3 和图 4)表明,在冬季鸭绿江向海区中输入的营养盐含量较低。

四季黄海冷水团区域中溶解无机态营养盐浓度均远远高于调查海区的。春、夏季颗粒态营养盐在冷水团区域大量累积,使冷水团成为贮库,随着时间推移冷水团区域中的颗粒物不断分解为溶解无机态营养盐,造成冷水团区域溶解无机态营养盐从春季到冬季浓度逐渐升高。与整个北黄海营养盐浓度趋势相同,北黄海冷水团中颗粒物的累积与分解是影响北黄海营养盐季节变化的主要因素。黄海暖流在冬季将大量的高温高盐低营养盐的海水注入北黄海,但是并没有使北黄海西部海区的溶解无机态营养盐浓度降低,说明其对北黄海西部海区溶解无机态营养盐浓度影响较小。鸭绿江向北黄海西部海区输入 DIN,其浓度春、夏季较高,秋、冬季较低。但是北黄海西部海区营养盐整体水平春、夏季较低,秋、冬较高,说明鸭绿江水的输入并未对北黄海西部海区溶解无机态营养盐浓度产生明显的影响。综上所述,北黄海冷水团区域中颗粒物的累积与分解是北黄海西部海区四季营养盐浓度变化的主要影响因素。

图 4 辽南沿岸表层溶解 DIN( $\mu\text{mol/L}$ )平面分布Fig. 4 The horizontal distributions of the dissolved DIN ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) at the surface layer in the south Liaoning coast

### 2.2.2 四季营养盐垂直变化影响因素探讨

由北黄海各层温度平均值的季节变化(图 5)可知,在北黄海西部海区四季营养盐垂直分布的特点是受温度跃层和浮游植物共同影响的。

春季整个北黄海的水体逐渐开始层化。调查海区表层、10 m 层温度相近,平均温度约为  $9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;30 m 和底层温度相近,平均温度约为  $7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于下层水体升温的迟滞性,温跃层逐渐形成,导致 30 m 和底层营养盐浓度较高的低温海水无法对跃层以上的海水进行补充,使营养盐浓度出现了分层现象。夏季整个水体温差达到最大,表层、10 m 层水温平均值比 30 m、底层高出  $7\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,北黄海形成了全年中最强的温跃层,富含营养盐的底层海水无法补充到表层,造成底层营养盐浓度远大于表层浓度。秋季北黄海西部海区海水从表层到 30 m 层温度近似,平均温度约为  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。随着水体温跃层逐渐减弱,垂直混合作用逐渐增强,30 m 以浅水体混合较均匀,使 30m 层营养盐浓度与表层相近。由于混合作用的加强,底层海水中高浓度营养盐部分被带至水体上层,呈现出营养盐浓度从表层到底层逐渐地升高。秋季底层高浓度营养盐对上层水体的补充,使表层、10 m 层、30 m 营养盐浓度高于夏季的。到了冬季,受北黄海强烈的垂直涡动影响,冬季水体由表至底温度近似,上下水体混合均匀,使各个层次各项营养盐浓度大致相同。而积聚在北黄海底部的巨大营养盐被带至上层,使表层、10 m 层和 30 m 层营养盐浓度在冬季进一步升高,底层的 DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$  的浓度降低。

浮游植物对营养盐的吸收,可以造成无机态营养盐浓度的降低。图 6 为北黄海西部海区四季叶绿素浓度平均值变化,从图中可以看出,春季表层、10 m 层浮游植物生长旺盛,浮游植物水华一般先于浮游动物的大量繁殖,在表层有些浮游植物未被摄食而直接沉降到底层水中,使底层叶绿素浓度也较高;夏季表层、10 m 层叶绿素质量浓度明显地大于 30 m 层和底层,表层和 10 m 层水体中浮游植物生长活动旺盛大量吸收营养盐,造成表层营养盐浓度明显地低于底层;秋季 30 m 以浅区域垂直混合作用较强,但是叶绿素质量浓度表层、10 m 层明显大于 30 m 的和底层的,表层、10 m 层浮游植物光合作用吸收营养盐,造成了表层、10 m 层营养盐浓度明显地小于 30 m;冬季叶绿素质量浓度较低,表层、底层差别不大。

温度跃层的形成造成了春、夏季营养盐浓度跃层,温度跃层的消失引起北黄海上下水体分层和混合,使冬季上下水体营养盐浓度一致;而由于表层和 10 m 层浮游植物光合作用吸收营养盐造成了表层和 10 m 层的营养盐浓度较低。

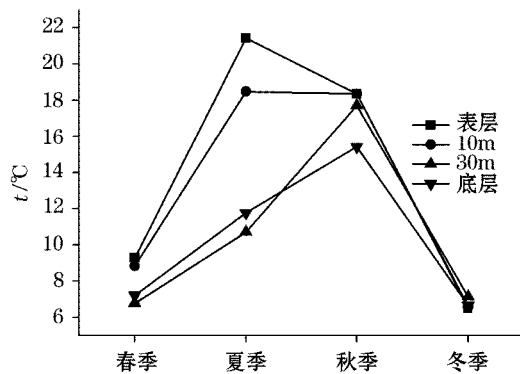


图5 北黄海西部温度季节变化

Fig. 5 The seasonal changes of temperature in the west of the North Yellow Sea

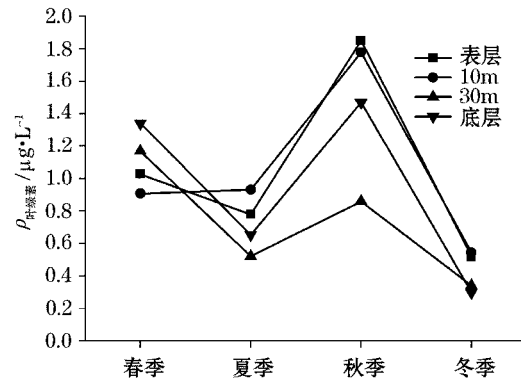


图6 北黄海西部叶绿素季节变化

Fig. 6 The seasonal changes of Chl-a in the west of the North Yellow Sea

### 3 结 论

通过对4个航次的数据和影响因素的分析得出以下结论:

1) DIN, PO<sub>4</sub>-P 和 SiO<sub>3</sub>-Si 的浓度从春季到冬季逐渐升高。春季、夏季营养盐由表到底浓度升高,表层与10 m 的浓度相近,30 m 的与底层的相近;秋季营养盐层化现象更为显著,30 m 浓度明显低于底层的。冬季各层垂直混合均匀,营养盐浓度较高且相近。

2) 北黄海黄海冷水团中颗粒物的积累与分解是影响北黄海溶解无机态营养盐浓度从春季到冬季逐渐升高的主要因素。黄海暖流、鸭绿江水输入对北黄海营养盐四季总浓度变化影响较小。温跃层的存在使底层营养盐无法向上层补充,造成了营养盐分层现象,冬季跃层消失垂直混合强烈,使各层营养盐浓度相近。由于浮游植物在表层对营养盐的大量吸收,使表层营养盐浓度(除冬季外)低于底层的。

致谢:中国海洋大学化学与化工学院陈洪涛老师在营养盐数据方面提供帮助。

### 参考文献 (References):

- [1] GUO B H. Major features of the physical oceanography in the Yellow Sea[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Seas, 1993, 11(3): 7-18. 郭炳火. 黄海物理海洋学的主要特征[J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 7-18.
- [2] LIU S M, ZHANG J, CHEN S Z, et al. Inventory of nutrient compounds in the Yellow Sea[J]. Continental Shelf Research, 2003, 23: 1161-1174.
- [3] GAO S Q, LIN Y A, JIN M M, et al. Distribution features of nutrients and nutrient structure in the East China Sea and the Yellow Sea in spring and autumn[J]. Donghai Marine Science, 2004, 22(4): 38-50. 高生泉, 林以安, 金明明, 等. 春、秋季东、黄海营养盐的分布变化特征及营养结构[J]. 东海海洋, 2004, 22(4): 38-50.
- [4] WANG B D, WANG G Y, CHUNG C S. Horizontal distributions and transportation of nutrients in the southern Huanghai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1999, 21(6): 124-129. 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海营养盐的平面分布及横向运输[J]. 海洋学报, 1999, 21(6): 124-129.
- [5] WANG B D, WANG X L, ZHAN R. Nutrient conditions in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 58: 127-136.
- [6] LI S Y, MIAO F M, HE B L, et al. The evaluation of environmental status in Changshan archipelago sea area of the North Huanghai Sea (Yellow Sea)[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1995, 13(1): 31-39. 李淑媛, 苗丰民, 何宝林, 等. 北黄海长山群岛海域环境现状评价[J]. 黄渤海海洋, 1995, 13(1): 31-39.

- [7] LI S Y, ZHANG F L, MIAO F M, et al. The distribution features of nutrient of sea water in Dalu island area of the North Yellow Sea[J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 1995, 14(3): 24-31. 李淑媛, 张凤林, 苗丰民, 等. 北黄海大鹿岛海域营养盐分布特征[J]. *海洋湖沼学报*, 1995, 14(3): 24-31.
- [8] DU B, ZHANG Y J, SHAN Y C, et al. The characteristics of cold water mass variation at the North Yellow Sea and its hydrological effects on the mortality of shellfish cultured in the waters of outer Chanshan Islands[J]. *Marine Science Bulletin*, 1996, 15(4): 17-28. 杜兵, 张义均, 单毅春, 等. 北黄海底层冷水团的变化特征及其对外长山岛海区养殖扇贝死亡的影响[J]. *海洋通报*, 1996, 15(4): 17-28.
- [9] ZHANG Z Q. Annual variation of dissolved oxygen in Bohai Sea and Yellow Sea(North of 34°N) with relation to water temperature[J]. *Marine Science Bulletin*, 1992, 11(5): 41-45. 张竹琦. 渤海、黄海(34°N以北)以北溶解氧年变化特征及与水温的关系[J]. *海洋通报*, 1992, 11(5): 41-45.
- [10] LIN C Q. Assessment and inquiry on the eutrophication in the near shore of Dalian[J]. *Marine Environmental Science*, 1994, 13(4): 63-68. 林长清. 大连近海富营养化评价与探讨[J]. *海洋环境科学*, 1994, 13(4): 63-68.
- [11] YE X W, LIU S M, ZHANG J. Nutrients in sediment pore Water in tidal flat area in Yalujiang Estuary[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2002, 23(3): 92-96. 叶曦雯, 刘素美, 张经. 鸭绿江口潮滩沉积物孔隙水中的营养盐[J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 92-96.
- [12] XIONG H, YU Z G, LI B, et al. Inorganic nitrogen of Yalujiang Estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 1998, 17(3): 35-39. 熊辉, 于志刚, 李斌, 等. 鸭绿江口的溶解无机氮[J]. *海洋环境科学*, 1998, 17(3): 35-39.
- [13] XIONG H, YU Z G, CHEN H T, et al. Geochemistry of dissolved phosphate and silicon in Yalujiang Estuary[J]. *Marine Environmental Science*, 1995, 18(2): 1-5. 熊辉, 于志刚, 陈洪涛, 等. 鸭绿江口溶解态 P、Si 的地球化学研究[J]. *海洋环境科学*, 1995, 18(2): 1-5.
- [14] HUA D, ZHANG J, LIU S M, et al. Behavior of dissolved phosphorus in Yalu River[J]. *Marine Environmental Science*, 1994, 13(1): 7-14. 华冬, 张经, 刘素美, 等. 鸭绿江口溶解态磷的行为[J]. *海洋环境科学*, 1994, 13(1): 7-14.
- [15] WANG N B, MA Z Q, XUE K, et al. Distribution dynamics of the inorganic nitrogen and assessment of ambient water quality at the estuary seawaters in North Yellow Sea[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2003, 18(4): 282-286. 王年斌, 马志强, 薛克, 等. 黄海北部河口海域无机氮含量的分布动态与环境质量评价[J]. *大连水产学院学报*, 2003, 18(4): 282-286.
- [16] WANG N B, XUE K, MA Z Q, et al. Distribution of active phosphates and assessment of the ambient water quantity in estuary of the northern Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(3): 272-275. 王年斌, 薛克, 马志强, 等. 黄海北部河口区活性磷酸盐含量的分布动态与环境质量评价[J]. *中国水产科学*, 2004, 11(3): 272-275.
- [17] ZHANG H, SHI X Y, ZHANG C S, et al. Distribution features of nutrients structure and nutrient limitation in the North of Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4): 773-780. 张辉, 石晓勇, 张传松, 等. 北黄海营养盐结构及限制作用时空分布特征分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(4): 773-780.
- [18] WEN T T, ZHANG C S, WANG L S, et al. The horizontal distribution of biogenic elements in spring and autumn of North Yellow Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4): 789-798. 温婷婷, 张传松, 王丽莎, 等. 春、秋季北黄海生源要素的平面分布特征[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(4): 789-798.
- [19] ZANG L, SHI X Y, ZHANG C S, et al. Horizontal distribution of biogenic elements in winter and summer in North Yellow Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(3): 346-345. 臧璐, 石晓勇, 张传松, 等. 冬、夏季北黄海生源要素的平面分布特征[J]. *环境科学*, 2010, 29(3): 346-345.
- [20] GB17378. 4—2007 The specification for marine monitoring-Part 4; Seawater analysis[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. GB17378. 4—2007 海洋监测规范—第4部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [21] LI F Q, SU Y S. Ocean water mass analysis [M]. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1999. 李凤岐, 苏育嵩. 海洋水团分析[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社, 1999.
- [22] YU F, ZHANG Z X, DIAO X Y, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea Cold Water Mass and its relationship with adjacent water masses[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(5): 23-34. 于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. *海洋学报*, 2006, 28(5): 23-34.
- [23] HE C B, WANG Y X, LEI Z Y, et al. The formation and properties of Yellow Sea Cold Water[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(1): 11-14. 赫崇本, 汪圆祥, 雷宗友, 等. 黄海冷水团的形成及其性质的初步探讨[J]. *海洋与湖沼*, 1959, 2(1): 11-14.
- [24] TANG Y X, ZOU E M, LLE H J, et al. Some features of circulation in the southern Huanghai Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(1): 1-16. 汤毓祥, 邹娥梅, 李兴宰, 等. 南黄海环流的若干特征[J]. *海洋学报*, 2000, 22(1): 1-16.
- [25] LAN S F. Investigation of the Yellow Sea warm current of water[J]. *Marine Sciences*, 1993, 11(1): 38-40. 蓝淑芳. 黄海暖流水的调查研究[J]. *海洋科学*, 1993, 11(1): 38-40.
- [26] SHEN H T. Comparative studies of estuaries bordering the Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(5): 451-453. 沈焕庭. 黄海沿岸河口过程类比[J]. *海洋与湖沼*, 1990, 21(5): 451-453.

## The Seasonal Changes of Nutrients and Interfering Factors in the West of the North Yellow Sea

ZHAO Qian, ZANG Lu, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Based on the data of four cruises carried out from July 2006 to October 2007, the seasonal changes of nutrients and interfering factors in the west of the North Yellow Sea were analyzed. The results showed that the concentrations of DIN,  $\text{PO}_4\text{-P}$  and  $\text{SiO}_3\text{-Si}$  increased gradually from spring to winter. The concentrations of nutrients at bottom were far higher than those at surface in spring, summer and autumn, however, the concentrations at all layers were similar in winter. The seasonal changes of nutrients in the west of the North Yellow Sea were dominantly affected by the cold water mass, and not significantly influenced by both Yellow Sea warm current and Yalu River. The concentrations of nutrients were vertically stratified due to thermo cline of the North Yellow Sea. Since the nutrients assimilated by the phytoplankton at the surface in all seasons except in winter, the concentrations of nutrients at the surface were far less than those at the bottom.

**Key words:** the west of the North Yellow Sea; Nutrient; interfering factor

**Received:** October 26, 2010