

黄海鲈鱼产卵场和越冬场营养盐分布特征

孙 珊¹, 刘素美¹, 任景玲¹, 张桂玲¹, 程 岩¹, 谢 亮¹, 高 磊²

(1. 中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100; 2. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要:通过 2002 年 11 月、2003 年 1 月和 2004 年 6~7 月的营养盐资料, 讨论了黄海鲈鱼 (*Engraulis japonicus*) 产卵场和越冬场营养盐在秋、冬、夏三个季节分布变化特征。分析结果表明: 黄海鲈鱼产卵场和越冬场表层营养盐随季节变化明显。秋季, 营养盐在调查海区的南部出现最高值, 向北递减, 在朝鲜半岛沿岸浓度也较高; 冬季, 营养盐分布高值区出现在南黄海中部及朝鲜半岛西南近岸, 表底层分布大致相同; 夏季, 在鲈鱼产卵场近岸形成了营养盐的高值区。在调查海域表层, PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-} 分布冬季最高, 秋季最低; DIN 冬季最低, 秋季最高。在底层, PO_4^{3-} 、 SiO_3^{2-} 和 DIN 均是秋季最高, PO_4^{3-} 和 DIN 冬季高于夏季, 而 SiO_3^{2-} 则是夏季较高。对比了 N/P、Si/N 值, 三个季节 N/P 值都大于 Redfield 值, 尤其是夏季 (>50), Si/N 值也略小于 Redfield 值。黄海鲈鱼产卵/越冬场浮游植物光合作用受 N 限制的可能性极小, 绝大部分水域主要是受 P 限制, Si 的含量普遍较高, 它不可能成为限制因子。

关键词: 营养盐; 鲈鱼 (*Engraulis japonicus*) 产卵场; 鲈鱼越冬场; 黄海

中图分类号: S912

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)10-0045-06

鲈鱼 (*Engraulis japonicus*) 主要分布在黄海、东海近海, 每年可捕量 50 万 t 以上, 在黄、东海的食物网中占有重要位置, 因此鲈鱼被列为黄、东海生态系统和生物资源可持续利用研究的重要鱼种^[1]。黄海是世界上最典型的半封闭陆架浅海之一, 多条大河直接或间接注入, 营养物质十分丰富, 生物资源蕴藏量很高。黄海环流是以上的高盐暖流和南下的低盐冷水为特征的气旋式环流^[2]。氮、磷、硅等营养盐是海洋生产力的基础, 影响和制约着浮游植物以至整个食物链。关于黄海营养盐, 近年来也有较多的报道^[3~8], 由于调查的目的、区域各不相同, 因此, 人们对鲈鱼产卵场和越冬场营养盐的分布和变化规律尚无全面认识; 对于黄海鲈鱼产卵场和越冬场的影响因素, 主要认为是物理条件^[9~12]。本研究根据 2002 年 11 月、2003 年 1 月和 2004 年 6~7 月三个航次营养盐调查资料, 对鲈鱼产卵场和越冬场水域营养盐的分布特征、变化规律、营养结构状况进行了探讨, 以期对东、黄海生态系统动力学与生物资源可持续利用的深入研究提供科学依据。

1 材料和方法

样品采集自 2002 年 11 月、2003 年 1 月和 2004 年 6~7 月在中国黄海的三个调查航次, 采集站位如图 1 所示。样品用 Niskin 采水器采集表、中、底三个层次水样, 经孔径为 0.45 μm 的醋酸纤维滤膜过滤后置于用 1 mol/L 的 HCl 浸泡后用去离子水洗净的 250 mL 高密度聚乙烯塑料瓶中, 加 HgCl_2 于暗处贮存待分析。NO₃-N、NO₂-N、PO₄³⁻ 和 SiO₃²⁻ 由荷兰

Skalar 公司生产的 SAN&PLUS 自动分析仪测定, 其中 NO₃-N, 采用 Cd-Cu 还原重氮-偶氮法测定, NO₂-N 采用重氮偶氮法, PO₄³⁻ 采用磷钼蓝法测定, SiO₃²⁻ 采用硅钼蓝法测定; 精密度 < 3%^[13]。NH₄-N 采用次溴酸钠氧化法 (GB17378.4-1998) 测定, 精密度为 4%。

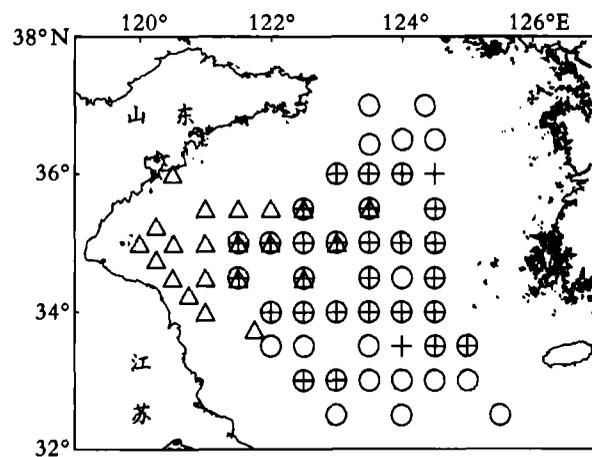


图 1 调查站位图

Fig. 1 Sampling stations

+ : 2002 年 11 月; O : 2003 年 1 月; Δ : 2004 年 6~7 月
+ : Nov 2002; O : Jan 2003; Δ : Jun and Jul 2004

收稿日期: 2008-03-20; 修回日期: 2008-04-26

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2006CB4006601), 新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-05-0593)

作者简介: 孙珊 (1983-), 男, 河南水城人, 硕士, 主要研究方向为海洋生物地球化学, 电话: 0532-66782005, E-mail: sunsan18@163.com

2 结果和讨论

2.1 2002年11月(秋季)营养盐分布

2002年11月(秋季)航次海水中各项营养盐的表层、中层和底层分布结果如图2所示。表层盐度由黄海南部向中部有明显的梯度增加,中层和底层盐度变化与表层类似,显示了长江冲淡水的影响;底层盐度明显高于中层和表层(图略)。在表层DIN(NO_3^- -N, NO_2^- -N, NH_4^+ -N)分布呈现由南向北递减的趋势,在调查海域的南部出现最高值($>15 \mu\text{mol/L}$),这是由于长江冲淡水左转北上所致^[3],中层和底层分布较为相似,由西向东递增,高值区出现在中部和

西部。表层海水 NH_4^+ -N平均含量占DIN的71%,中层和底层平均含量分别占DIN的55%和49%, NH_4^+ -N的平面分布与DIN十分相似。 NO_2^- -N含量在本海区相对较低,表、底层平均浓度分别为 $0.34 \mu\text{mol/L}$ 和 $0.27 \mu\text{mol/L}$,分别占DIN的3%和2%。 PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-} 的分布趋势很相似,它们之间存在很好的相关性($r>0.9, P=0.01$),表层在调查海域的南部出现最高值,向北递减,在朝鲜半岛沿岸浓度也较高,以西北部含量为最低;在中层和底层 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 在调查海域西部梯度变化明显,向东递增,出现极大值区。

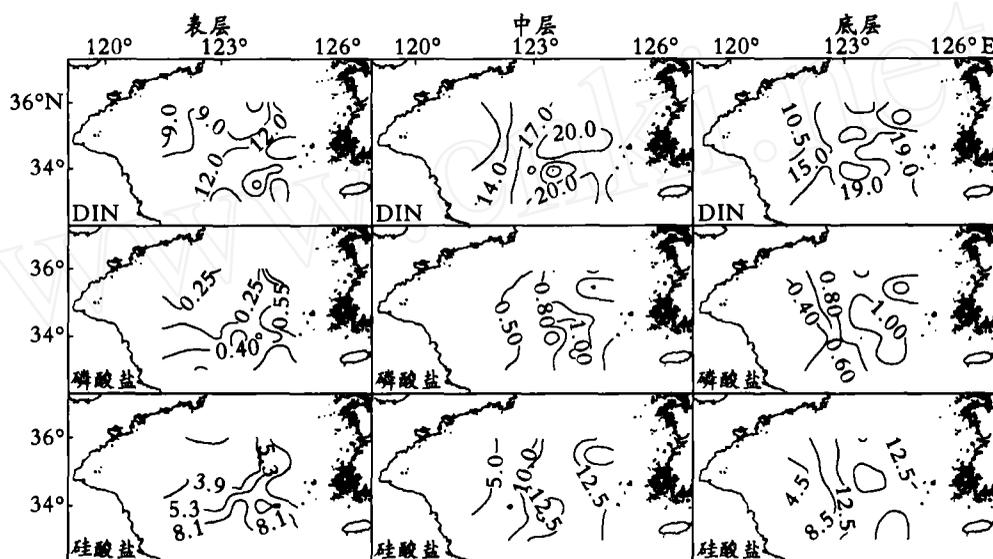


图2 秋季鳀鱼越冬场营养盐分布(2002年11月, $\mu\text{mol/L}$)

Fig. 2 Distribution of nutrients on anchovy overwintering ground in autumn (Nov 2002, $\mu\text{mol/L}$)

2.2 2003年1月(冬季)营养盐分布

图3为2003年1月航次各项营养盐的表层、中层和底层平面分布结果。由于黄海暖流由济州岛西南流入黄海并沿黄海槽向北流动,温盐分布明显呈舌状从东南向西北延伸,而且各层次之间有很好的—致性。表层在调查海域黄海中南部DIN出现最大值($>13 \mu\text{mol/L}$); SiO_3^{2-} 和 PO_4^{3-} 的分布由西向东递增,有明显的梯度变化;由于冬季黄海垂直涡流运动较强,中层和底层DIN、 SiO_3^{2-} 与 PO_4^{3-} 分布与表层基本相同。济州岛以西海域,各项营养盐均浓度较低,等值线呈舌状向西北伸展,该海域是黄海暖流进入南黄海的入口,说明冬季黄海暖流水具有低营养盐

的特征。南黄海中部及朝鲜半岛西南近岸,营养盐含量亦较高,并呈舌状向西北伸展。这一方面是由于冬季强烈的垂直涡动混合作用,将夏、秋以来积聚在黄海冷水团底部的大量营养盐带至上层;另一方面,西朝鲜沿岸流南下至 34°N 附近时与黄海暖流水相遇,部分富含营养盐的沿岸冷水汇入黄海暖流水中而一起向北扩展,将近岸冷水中的营养盐输送至南黄海中央海域^[4]。

表、底层 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N占DIN的比例分别为36%、61%、3%和30%、67%、3%,即表、底层DIN的结构非常接近,进一步显示出了冬季黄海海水强烈垂直交换运动的特性。

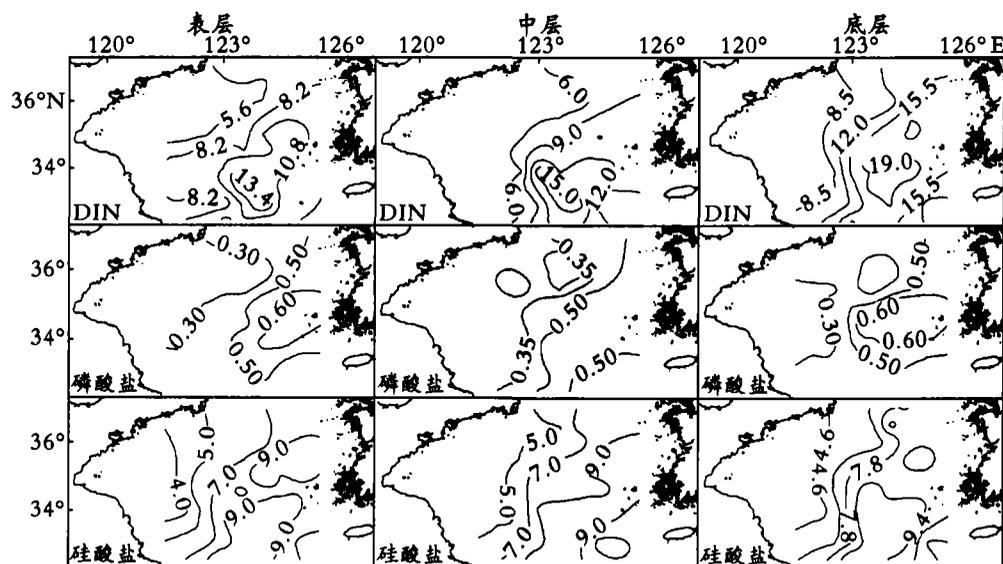


图3 冬季鳀鱼越冬场营养盐分布(2003年1月, $\mu\text{mol/L}$)

Fig. 3 Distribution of nutrients on anchovy overwintering ground in winter (Jan 2003, $\mu\text{mol/L}$)

2.3 2004年6~7月(夏季)营养盐分布

2004年6~7月航次海水中各项营养盐的表层、中层和底层平面分布结果如图4所示。表层温度变化较小,整个调查海域相差不大,中层和底层温度变化梯度较大,基本上是与纬度平行由南向北递减。表层盐度变化梯度明显,从近岸向外海呈舌状延伸递增;这是明显受到苏北灌溉径流输入冲淡水的影响^[5],中层和底层盐度变化趋势与表层相似。表层在近岸区域 DIN 、 PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-} 的分布趋势非常相似,与盐度变化延伸方向相同,只是从近岸向外海递

减,在南黄海中部,营养盐浓度普遍较低。夏季海水中 DIN ($r = -0.65, P = 0.01$) 和 SiO_3^{2-} ($r = -0.79, P = 0.01$) 浓度与盐度之间呈较好负相关性,由此可知调查期间 N、Si 营养盐浓度主要由陆源输入所控制, PO_4^{3-} 浓度与盐度之间无明显相关性,可知 PO_4^{3-} 浓度可能由苏北灌溉径流冲淡水等陆源输入、生物活动及高盐外海水等多个过程共同控制^[14]。中层和底层营养盐除了近岸值较高外,另一个高值区出现在南黄海中部。

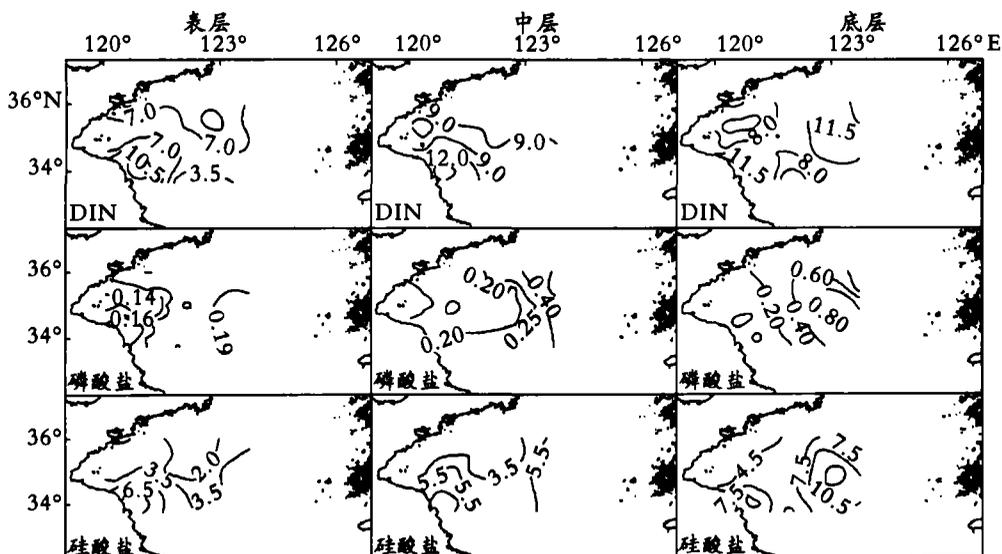


图4 夏季鳀鱼产卵场营养盐分布(2004年6~7月, $\mu\text{mol/L}$)

Fig. 4 Distribution of nutrients on anchovy spawning ground in summer (Jun and Jul 2004, $\mu\text{mol/L}$)

2.4 营养盐的季节变化

夏、秋和冬季三个航次的调查结果表明,营养盐随季节发生明显变化。在表层, PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-} 冬季最高,夏季最低; DIN 冬季最低,秋季最高。在底层,

PO_4^{3-} 、 SiO_3^{2-} 和 DIN 均是秋季最高, PO_4^{3-} 和 DIN 冬季高于夏季,而 SiO_3^{2-} 则是夏季较高。三个航次表层平均营养盐浓度对比见图5。表层 DIN 浓度总体上变化不大,组成上冬季 NO_3^- -N 略高, NH_4^+ -N 以夏

季最高, 秋季次之; NO_3^- -N、 NO_2^- -N 和 NH_4^+ -N 在 DIN 中分别为夏季 78%、2% 和 20%, 秋季 71%、3% 和 26% 以及冬季 61%、3% 和 36%, 即夏、秋季 DIN 以 NH_4^+ -N 为主, 而冬季 NO_3^- -N 是 DIN 主要组成部分。由于 NH_4^+ -N 含量及分布除受径流和降雨等输送影响外, 主要受生物活动所控制^[5], 因而夏季相对较高的 NH_4^+ -N 含量可能是受旺盛的生物活动的影响。夏季鳀鱼产卵场营养盐的分布主要受到陆源

输送的影响, 由于该季节浮游植物生长繁殖较为旺盛, 表层营养盐浓度处在一个较低的水平; 在冬季, 由于强烈的垂直涡动混合作用, 将夏、秋以来积聚在黄海底部的大量营养盐带至上层, 水体中营养盐含量较高, 且表、底层浓度相差不大; 秋季, 调查海域表层营养盐处在一个较低的范围且变化较小, 底层由于生物有机碎屑分解而使得营养盐处于较高的水平。

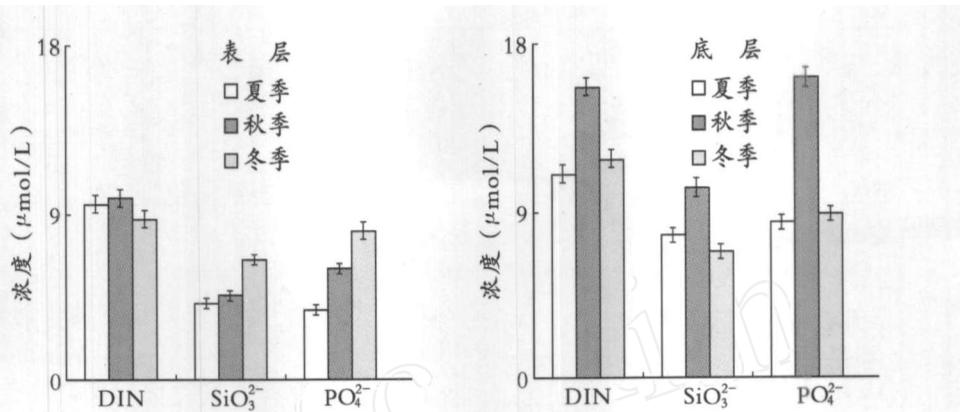


图 5 3 个航次相同区域营养盐浓度平均值的对比

Fig. 5 Average concentrations of nutrient distributions on the same investigated area

2.5 N/P 与 Si/N 值

海水中适宜的 N/P, Si/N 值有利于浮游植物的生长和繁殖, 反之其中某种营养元素的缺乏可对生长和繁殖产生限制。N/P, Si/N 值的变化在一定程度上也反映了海水中营养盐的再生和运移机制。取 3 个航次相同区域的调查结果见图 6。

从图 6 可见, 2002 年 11 月秋季航次表层 N/P 值分布趋势是在调查海域中部偏东有一个高值中心, 然后向四周递减, 底层由西南向东北递减; 表层 N/P 值远大于 Redfield 值 (16:1), 底层东北部 N/P 值与 Redfield 值接近。2003 年 1 月冬季航次 N/P 值分布较为均匀, 整体变化不大, 表层最大值位于调查海域的西南部, 底层表现为由西向东递增。2004 年 6 月夏季航次 N/P 值表层和底层分布类似, 最大值都出现在西部近岸, 向远海递减。夏季的 N/P 值平均值和变化范围远大于秋、冬季。总体上, 三个季节 N/P 都大于 Redfield 值, 大部分海域浮游植物的生长很可能是受 P 限制^[15]。由于硅是硅藻生长的必需元素, 而其他藻类并非需要, Officer 和 Ryther^[16] 曾提出如果硅藻生长所需的最低限度的硅氮比值达不到, 则浮游植物群落产生变化而非硅藻成优势种完全有可能。高 N/Si 比情况下, 甲藻的生长明显优于硅藻, 而可能爆发大规模的甲藻赤潮, 相反则可能

爆发硅藻赤潮^[17]。在表层, 2002 年 11 月秋季航次和 2003 年 1 月航次 Si/N 的平面分布均表现为中间小四周大的分布特点, 而 2004 年 6 月夏季航次 Si/N 的平面分布则表现为从近岸向外海递减的趋势 (图略); Si/N3 个航次的表底层结果虽略小于 Redfield 值 (1:1), 但变动范围较小, 且 SiO_3^{2-} 浓度并不低, 因此, 可以认为, Si 不会成为调查海域浮游植物 (主要是硅藻) 的限制性因素。

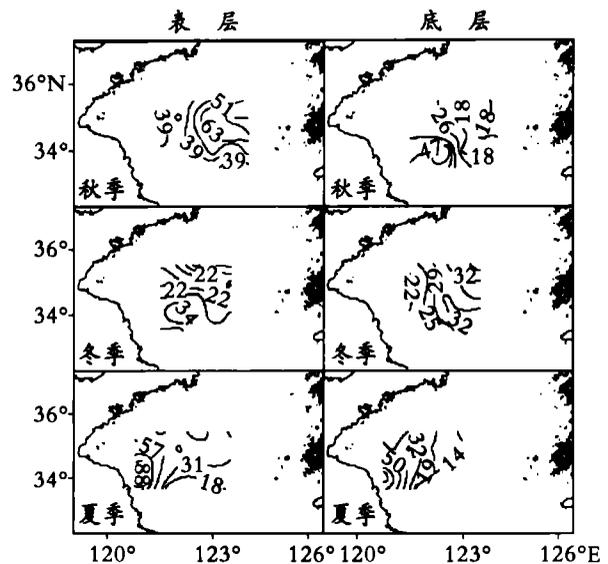


图 6 N/P 值的平面分布

Fig. 6 Distributions of N/P ratios on anchovy spawning ground and overwintering ground

3 结论

(1) 秋季表层 DIN、 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 的分布很相似, 在调查海区的南部出现最高值, 向北递减, 在朝鲜半岛沿岸浓度也较高。在冬季, 营养盐分布高值区出现在南黄海中部及朝鲜半岛西南近岸, 表底分布大致相同。夏季由于强温跃层的存在, 阻碍了水体的上下交换, 氮、磷、硅的补充主要来自于沿岸水, 陆源输送是研究海区氮、磷、硅补充的重要来源, 在近岸形成了营养盐的高值区。营养盐季节变化上, 在表层, PO_4^{3-} 和 SiO_3^{2-} 冬季最高, 秋季最低; DIN 冬季最低, 秋季最高。在底层, PO_4^{3-} 、 SiO_3^{2-} 和 DIN 均是秋季最高, PO_4^{3-} 与 DIN 冬季高于夏季, 而 SiO_3^{2-} 则是夏季较高。

(2) 2002 年 11 月航次的调查结果显示, 表层的 N/P 值分布趋势是在中部偏东有一个高值中心, 然后向四周递减; 底层由西南向东北递减。2003 年 1 月航次的结果是表层 N/P 值整体变化不大, 表层最大值位于调查海域的西南部, 底层表现为由西向东递增。2004 年 6 月航次 N/P 值表层和底层分布类似, 最大值都出现在西部近岸, 然后向远海递减。夏季的 N/P 平均值和变化范围远大于秋、冬季。P 是调查海区可能的限制因子; Si/N 3 个航次的表底层结果均小于 Redfield 值, 底层与 Redfield 值接近。

致谢:“北斗号”调查船全体人员为调查工作提供了大量帮助和支持, 在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 张志南, 慕芳红, 于子山, 等. 南黄海鲢鱼产卵场小型底栖生物的丰度和生物量 [J]. 中国海洋大学学报, 2002, 32(2): 251-258.
- [2] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004. 198-206.
- [3] 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海营养盐的平面分布及横向输运 [J]. 海洋学报, 1999, 20(6): 124-129.
- [4] 王保栋, 王桂云, 郑昌洙, 等. 南黄海冬季生源要素的分布特征 [J]. 黄渤海海洋, 1999, 17(1): 44-45.
- [5] 高生泉, 林以安, 金明明, 等. 山东半岛以南水域营养盐的时空分布及其与鲢鱼产卵场的关系 [J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 157-166.
- [6] 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.
- [7] Liu S M, Zhang J, Chen S Z, *et al.* Inventory of nutrient compounds in the Yellow Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 2003, 23: 1 161-1 174.
- [8] 刘素美, 张经, 陈洪涛. 黄海和东海生源要素的化学海洋学 [J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 68-74.
- [9] Liu G M, Sun S, Wang H, *et al.* Abundance of *Calanus sinicus* across the tidal front in the Yellow Sea, China [J]. *Fish Oceanogr*, 2003, 12(4): 291-298.
- [10] Wei H, Su J, Wan R J, *et al.* Tidal front and the convergence of anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs in the Yellow Sea [J]. *Fish Oceanogr*, 2003, 12(5): 434-442.
- [11] 陈聚法, 马绍赛, 王文兰. 秋冬季黄东海区影响鲢鱼行动分布的三大水系变化特征 [J]. 海洋水产研究, 1997, 18(1): 54-59.
- [12] 万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究 [J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60-73.
- [13] Liu S M, Zhang J, Chen H T, *et al.* Factors influencing nutrient dynamics in the eutrophic Jiaozhou Bay, North China [J]. *Progress in Oceanography*, 2005, 66(1): 66-85.
- [14] 黄自强, 暨卫东. 长江口水中总磷、有机磷、磷酸盐的变化特征及相互关系 [J]. 海洋学报, 1994, 16(1): 51-60.
- [15] 王保栋. 黄海和东海营养盐分布及其对浮游植物的限制 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1 122-1 126.
- [16] Officer C B, Ryther J H. The possible importance of silicon in marine eutrophication [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1980, 3: 383-391.
- [17] 周名江, 朱明远. 我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治研究进展 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(7): 673-679.
- [18] 唐启升, 苏纪兰, 孙松, 等. 中国近海生态系统动力学研究进展 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1 288-1 299.
- [19] 朱明远, 毛兴华, 吕瑞华. 黄海海区的叶绿素 a 和初级生产力 [J]. 黄渤海海洋, 1993, 11(3): 38-51.
- [20] 郑国侠, 宋金明, 戴纪翠, 等. 南黄海秋季叶绿素 a 的分布特征与浮游植物的固碳强度 [J]. 海洋学报, 2005, 28(3): 109-118.
- [21] 王俊, 黄海秋. 冬季浮游植物的调查研究 [J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 15-23.

Distribution of nutrients on anchovy spawning ground and over-winterring ground in the Yellow Sea

SUN Shan¹, LIU Su-mei¹, REN Jing-ling¹, ZHANG Gui-ling¹, CHENG Yan¹, XIE Liang¹, GAO Lei²

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Received: Mar. , 20, 2008

Key words: nutrient; anchovy spawning ground; anchovy overwintering ground; the Yellow Sea

Abstract: The distribution features of nutrients on anchovy spawning ground and overwintering ground in the Yellow Sea are discussed based on the data collected in November 2002, January 2003, June and July 2004. The results show that the seasonal variation of nutrients is obvious. There are abundant nutrients in the area of the south of the Yellow Sea and the coast of the Korean Peninsula in autumn; while the summit value of nutrients appears in the middle of the Yellow Sea and southwest coast of the Korean Peninsula in winter. And the high value of nutrients is near the anchovy spawning ground in summer. On surface layer of the investigated area, the concentrations of PO_4^{3-} and SiO_3^{2-} appear maximal values in winter, while the minimal values appear in autumn; the distribution of DIN behaves reversely. The concentrations of PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} and DIN come to maximal values in autumn on bottom layer of the investigated area. Based on the Redfield ratio ($\text{Si} : \text{N} : \text{P} = 16 : 16 : 1$), N/P ratios are higher than Redfield in three seasons, especially in summer. And Si/N ratios are relative smaller than Redfield. P, rather than N, might be the limiting factor for the growth of phytoplankton on anchovy spawning ground, while the value of Si is relative high not to be a limiting factor.

(本文编辑:康亦兼)