

獐子岛养殖海域颗粒有机碳、颗粒氮的时空分布特征

刘毅^{1,2}, 张继红², 杜美荣², 蔺凡², 丁刚³, 吴文广², 房景辉²

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266071; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 3. 山东省海洋生物研究院, 山东 青岛 266071)

摘要: 2011年8月、10月、12月和2012年4月对大连獐子岛养殖海域共14个站位进行了大面调查。对其中颗粒有机碳(POC)和颗粒氮(PN)的时空分布特征进行了研究。结果表明, 獐子岛养殖海域水体中POC质量浓度的季节变化趋势是: 夏季>秋季>春季>冬季。夏季POC质量浓度最高, 表、底层的质量浓度分别为0.159~1.672 mg/L和0.045~0.834 mg/L, 平均值分别为(0.867±0.451) mg/L和(0.319±0.204) mg/L。冬季表、底层POC质量浓度最低, 表、底层POC质量浓度分别为0.020~0.530 mg/L和0.061~0.458 mg/L。平均值分别为(0.240±0.125) mg/L和(0.221±0.129) mg/L。四个季节的POC质量浓度平面分布较为均匀。PN质量浓度的季节变化趋势是: 夏季>秋季>冬季>春季。夏季PN的质量浓度最高, 表、底层PN的质量浓度分别为0.026~0.439 mg/L和0.020~0.393 mg/L, 平均值分别为(0.193±0.067) mg/L和(0.172±0.060) mg/L。春季表、底层PN质量浓度最低, 表、底层PN质量浓度分别为0.059~0.178 mg/L和0.024~0.212 mg/L, 平均值分别为(0.120±0.047) mg/L和(0.100±0.050) mg/L。PN与POC的分布特征相似, 空间分布均匀。叶绿素a(Chl-a)质量浓度的变化趋势为: 夏季>秋季>春季>冬季。POC、PN和Chl-a的垂直分布规律相似, 春季底层质量浓度高于表层, 夏秋两季表层质量浓度高于底层, 冬季表、底层质量浓度基本一致。根据C/N以及POC/Chl-a的比值对POC的来源进行初步分析, 表明该海域的POC主要来源于海洋生物, 并且受陆源的影响较小。

关键词: 獐子岛; 颗粒有机碳; 颗粒氮; 分布特征

中图分类号: S912 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)05-0009-10

doi: 10.11759/hyhx 20160105001

全球碳循环是国际地圈-生物圈计划(IGBP)的核心问题之一。全球化石燃料燃烧每年以二氧化碳(CO₂)的形式向大气排放的碳约为6×10⁹ t, 其中海洋吸收CO₂的碳量为2.2×10⁹ t/a, 约占人类排放总量的1/3左右^[1]。因此, 海洋对于碳源汇的研究至关重要, 发展碳汇渔业对于解决全球CO₂排放过多的问题意义重大。海洋有机碳循环是海洋碳循环的重要组成部分, 海水中的颗粒有机碳(POC)和颗粒氮(PN)质量浓度的变化对于研究养殖海区生产力以及碳氮元素循环十分重要。

滤食性贝类通过摄食活动可以降低海水中的POC, 但大部分又以生物沉积的形式排入海底, 同时部分生物沉积物通过潮流等的再悬浮作用又回到水层中^[2]。溶解有机碳(DOC)和颗粒有机碳(POC)是海水中有有机碳的主要存在形式, 其中POC占海洋有机碳总量的10%左右, 生物的生命过程和初级生产力与其密切相关, 是海洋等水体中碳固化和迁出的

主要形式^[3]。张继红等^[4]研究表明, 作为主要的贝类养殖基地, 獐子岛海域叶绿素a(Chl-a)质量浓度和初级生产力水平较低, 海水流速大, 水交换带来的悬浮颗粒物成为扇贝的主要食物来源。为了保证底播扇贝的正常生长, 如何确定各区域POC的质量浓度, 选择合适的区域作为扇贝底播区是我们需要着重关注的问题之一。所以, 研究POC的分布对獐子岛海区扇贝养殖有着重要意义。有关海水中POC含量的

收稿日期: 2015-11-11; 修回日期: 2016-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31302193); 黄海水产研究所级基本科研业务费(20603022015017-3, 20603022015017-2, 20603022011003); 公益性行业(农业)科研专项(201203017)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.31302193; Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institutes, No.20603022015017-3, No.320603022015017-2, 20603022011003; Public welfare industry (Agriculture) research, No.201203017]

作者简介: 刘毅(1985-), 男, 山东青岛人, 助理工程师, 硕士, 主要从事水域生态学研究, 电话: 0532-85822957, E-mail: liuyi@ysfri.ac.cn; 房景辉, 通信作者, 电话: 0532-85822957, E-mail: fangjh@ysfri.ac.cn

研究已经有一些报道,如杨鹤鸣等^[5]对胶州湾海水中 POC 和 PN 的分布与变化做了论述;石晓勇等^[6]对黄海、东海 POC 的时空分布特征进行了分析;胡利民等^[7]对夏季渤海湾及邻近海域的 POC 的分布、影响因素和物源进行了分析。

獐子岛整个养殖区环境良好,是全国重要的贝类养殖基地,拥有面积广阔的虾夷扇贝养殖基地,是中国虾夷扇贝的国家级原良种场^[8]。虾夷扇贝的主要食物为水体中的单细胞藻类,通过摄食将水中有机碳转化成自身贝壳和软体部等,水体中的 POC 质量浓度对虾夷扇贝的生长和固碳过程至关重要^[9]。POC 与生物的生命过程、初级生产力密切相关,是生物食物链中的一个重要的物质基础^[10]。獐子岛海域具有 1500 km²的增养殖海域,POC 是虾夷扇贝重要的食物来源,而这些海域的 POC 的分布情况尚不清楚,目前对獐子岛养殖海域相关的 POC 的研究还鲜见报道。本研究依据 2011 年 8 月年至 2012 年 4 月对獐子岛底播养殖区的 14 个站位 4 个航次的海区

调查数据,对大连獐子岛养殖海域的 POC 和 PN 的四季分布特征进行了研究,并针对其影响因素进行了探讨。以期对獐子岛海区的虾夷扇贝能量收支模型的构建、养殖容量的评估以及科学底播养殖策略的建立提供数据参考。

1 材料与方 法

在獐子岛养殖海域共设 14 个站位(图 1),分别于 2011 年 8 月(夏季)、10 月(秋季)、12 月(冬季)和 2012 年 4 月(春季)进行了 4 个航次的调查。每个站位取表层水样和底层水样。使用 YSI6600 以及日本亚力克浊度计(ALEC ACLW, 相对精度 $\pm 0.1 \mu\text{g/L}$)同时获得水体的温度、盐度、Chl-a 等水环境参数。每个站位分别取表底层水 200 mL,采集到的海水样品使用 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜(孔径 0.45 μm , 直径 25 mm, 预先在马弗炉以 450 $^{\circ}\text{C}$ 灼烧 4 h)进行抽滤,另取新膜浸取滤液作为空白膜用作空白测定,抽滤好的滤膜和空白膜置于-18 $^{\circ}\text{C}$ 冰柜冷冻保存。

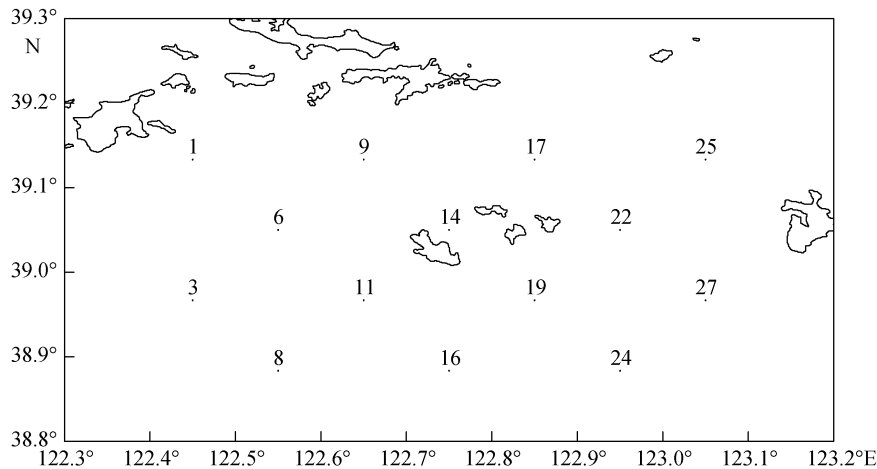


图 1 獐子岛养殖海域取样调查站位分布
Fig. 1 Sampling stations on Zhangzi Island

POC 样品的测定使用德国 ELEMENTAR 元素分析仪(型号: Elemental Analyzer Vario EL cube)进行,分析前需要进行滤膜的预处理。先将滤膜取出置于培养皿中,低温解冻并干燥至恒重,然后将滤膜和空白膜装入密闭的干燥器内,用浓盐酸蒸汽处理 20~30min 以去除膜上的无机碳,之后于 60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干 48 h 以去除剩余盐酸和水分。将处理好的样品用锡舟包好,使用元素分析仪进行 POC 和 PN 的测定。

采用 Surfer8.0 软件绘制等值线;差异显著性和相关性分析采用 SPSS17.0 软件,ANOVA 单因子方差

分析检验组间差异, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 实验结果

2.1 獐子岛海域 POC、PN 的质量浓度与平面分布

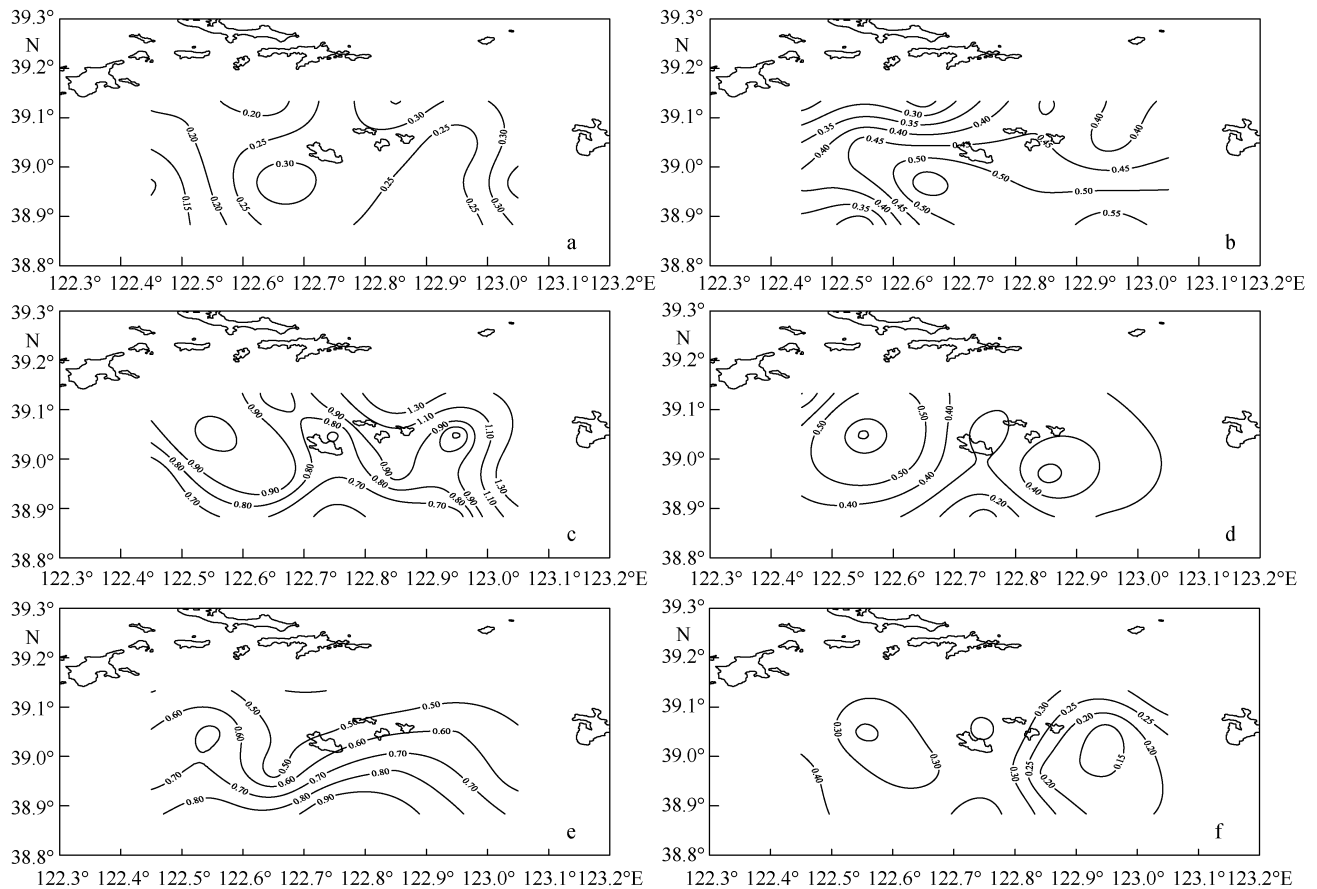
春季整个调查区域温度和盐度表底层的差异不大,在靠近獐子岛沿岸,以及褡裢岛、大耗子岛和小耗子岛等 3 个岛屿沿岸附近出现高值区。温度为 4.3~4.7 $^{\circ}\text{C}$,盐度为 31.1~31.4。而此区域表层 POC 质量浓度也显著高于其他区域($P < 0.05$),其他区域之间

差异不显著($P>0.05$), 分布较为均匀; 底层的分布趋势与表层相同, POC 质量浓度在几个岛屿周围出现高值, 其他区域质量浓度较低且分布均匀。表、底层分别为 $0.092\sim 0.579$ mg/L 和 $0.121\sim 0.587$ mg/L, 平均值分别为 (0.355 ± 0.252) mg/L 和 (0.415 ± 0.214) mg/L。夏季表层为高温高盐水, 底层为低温低盐水。表层水温为 $17.7\sim 18.5^{\circ}\text{C}$, 盐度为 $32.2\sim 32.7$ 表层; 底层水温为 $14.3\sim 15.1^{\circ}\text{C}$, 盐度为 $30.9\sim 31.4$ 。POC 质量浓度在 17#和 27#站位出现高值, 整个调查海区 POC 质量浓度呈现自东向西逐渐递减的趋势; 底层 POC 质量浓度除 6#站位出现一个明显高值区、16#站位出现一个明显的低值区外, 整体平面分布较为均匀。表、底层的质量浓度分别为 $0.159\sim 1.672$ mg/L 和 $0.045\sim 0.834$ mg/L, 平均值分别为 (0.867 ± 0.451) mg/L 和 (0.319 ± 0.204) mg/L。秋季温度和盐度表层高于底层, 平面分布较为均匀。表层温度为 $16.4\sim 17.1^{\circ}\text{C}$, 盐度为 $31.1\sim 31.4$; 底层温度为 $13.1\sim 13.7^{\circ}\text{C}$, 盐度为 $30.4\sim 31.1$ 。表层 POC 质量浓度变化范围不大, 调查海区南部的 POC 质量浓度略高; 底层 POC 质量浓度变化范围同样不大, 呈现自西向东递减的趋势。表、底层分别为 $0.404\sim 1.068$ mg/L 和 $0.119\sim 0.455$ mg/L, 平均值分别

为 (0.630 ± 0.235) mg/L 和 (0.306 ± 0.157) mg/L。冬季表层水温略低于底层水温, 表底层盐度差异不大。表层水温为 $2.1\sim 3.1^{\circ}\text{C}$, 底层水温为 $3.4\sim 4.5^{\circ}\text{C}$; 盐度为 $31.2\sim 31.9$ 。表层 POC 质量浓度分布呈现自西向东递减的趋势; 底层 POC 质量浓度则分布均匀, 各站位之间差异不显著($P>0.05$)。表、底层 POC 质量浓度分别为 $0.020\sim 0.530$ mg/L 和 $0.061\sim 0.458$ mg/L。平均值分别为 (0.240 ± 0.125) mg/L 和 (0.221 ± 0.129) mg/L。

根据本次调查的结果, 獐子岛海域全年尺度上 POC 质量浓度变化趋势是: 夏季>秋季>春季>冬季。夏季 POC 质量浓度最高, 冬季表、底层 POC 的质量浓度最低。夏季和秋季的 POC 质量浓度都与其他季节差异显著($P<0.05$), 春季和冬季之间差异不显著($P>0.05$)。调查海区各季节表、底层 POC 的平面分布如图 2 所示。

调查海区各季节表、底层 PN 的平面分布如图 3 所示。春季表层各站位 PN 的质量浓度差异不显著($P>0.05$), 平面分布较为均匀; 底层的 PN 质量浓度分布为自西向东先降低再升高, 调查海区的中部低, 两侧高。表、底层 PN 质量浓度分别为 $0.059\sim 0.178$ mg/L 和 $0.024\sim 0.212$ mg/L, 平均值分别为 (0.120 ± 0.047) mg/L



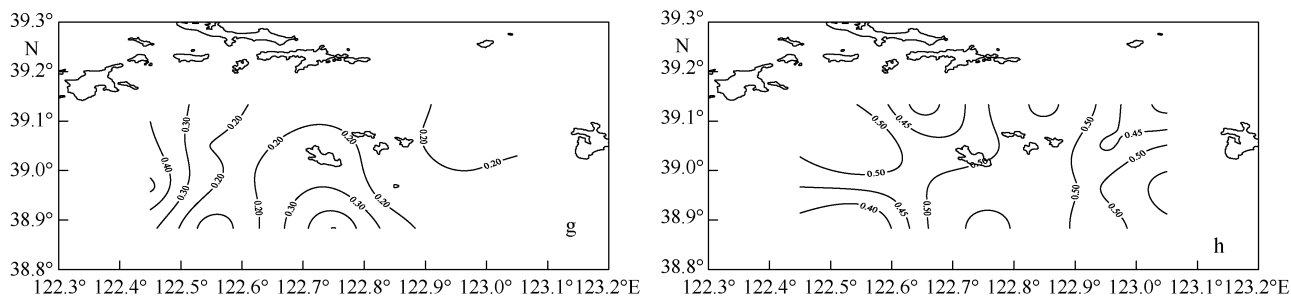


图 2 POC 的平面分布图

Fig. 2 Horizontal distribution of POC

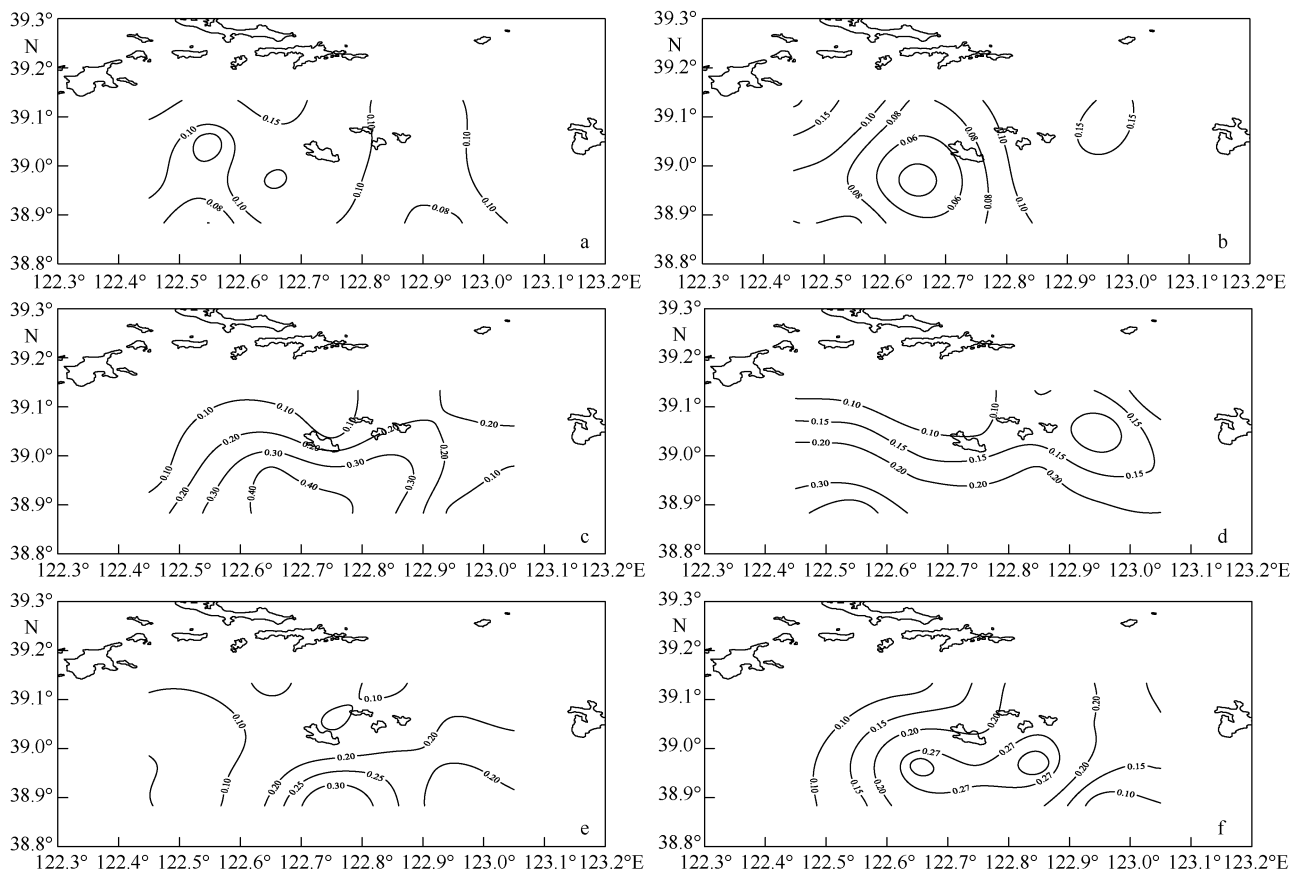
a. 4月 POC 表层平面分布; b. 4月 POC 底层平面分布; c. 8月 POC 表层平面分布; d. 8月 POC 底层平面分布; e. 10月 POC 表层平面分布; f. 10月 POC 底层平面分布; g. 12月 POC 表层平面分布; h. 12月 POC 底层平面分布

a. Horizontal distribution of POC in bottom water in April. b. Horizontal distribution of POC in surface water in April. c. Horizontal distribution of POC in surface water in August. d. Horizontal distribution of POC in bottom water in August. e. Horizontal distribution of POC in surface water in October. f. Horizontal distribution of POC in bottom water in October. g. Horizontal distribution of POC in surface water in December. h. Horizontal distribution of POC in bottom water in December

和(0.100±0.050) mg/L。夏季表、底层 PN 的平面分布变化都是自北向南递增。表、底层的质量浓度分别为 0.026~0.439 mg/L 和 0.020~0.393 mg/L, 平均值分别为(0.193±0.067) mg/L 和(0.172±0.060) mg/L。秋季表层 PN 的平面分布也是自北向南递增; 底层 PN 在几个岛屿周围显著高于($P<0.05$)其他区域。秋季 PN 质量浓度的表、底层分别为 0.023~0.390 mg/L 和

0.014~0.330 mg/L, 平均值分别为(0.159±0.052) mg/L 和(0.173±0.100) mg/L。冬季表底层 PN 的平面分布整体呈现自西向东递减的趋势。表、底层分别为 0.015~0.263 mg/L 和 0.038~0.258 mg/L, 平均值分别为(0.128±0.035) mg/L 和(0.130±0.057) mg/L。

根据本次调查的结果, 獐子岛海域全年尺度上 PN 质量浓度变化趋势与 POC 略有不同, 具体变化趋



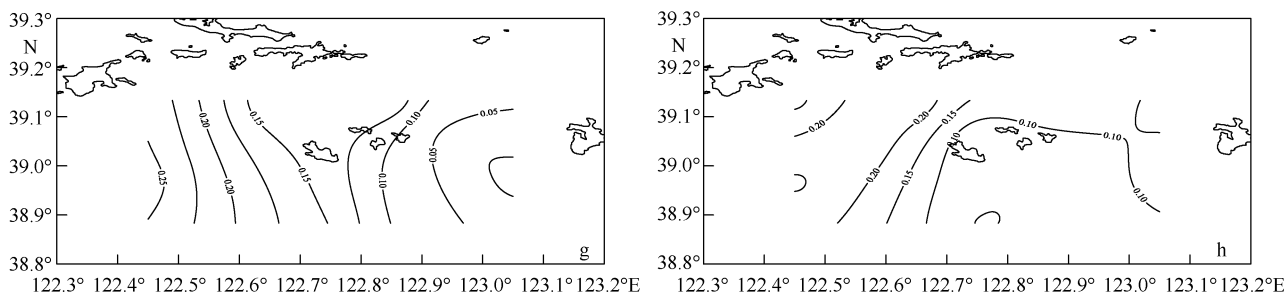


图3 PN的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of PN

a. 4月PN表层平面分布; b. 4月PN底层平面分布; c. 8月PN表层平面分布; d. 8月PN底层平面分布; e. 10月PN表层平面分布; f. 10月PN底层平面分布; g. 12月PN表层平面分布; h. 12月PN底层平面分布

a. Horizontal distribution of PN in surface water in April. b. Horizontal distribution of PN in bottom water in April. c. Horizontal distribution of PN in surface water in August. d. Horizontal distribution of PN in bottom water in August. e. Horizontal distribution of PN in surface water in October. f. Horizontal distribution of PN in bottom water in October. g. Horizontal distribution of PN in surface water in December. h. Horizontal distribution of PN in bottom water in December

势为: 夏季>秋季>冬季>春季。夏季PN的质量浓度最高, 春季表、底层PN的质量浓度最低。各季节之间PN的质量浓度差异不显著($P>0.05$)。

2.2 POC、PN的垂直分布与季节变化

春季底层POC质量浓度显著高于表层($P<0.05$), 而夏季和秋季表层POC质量浓度则显著高于底层($P<0.05$), 冬季POC质量浓度表底层差异不显著($P>0.05$), 表层质量浓度略高于底层质量浓度(图4)。

春、夏、秋三个季节各个站位的POC垂直质量浓度分布趋势与当季总体垂直分布局势相同, 即春季各站位POC质量浓度底层高于表层, 夏季和秋季各站位POC表层高于底层。冬季POC垂直质量浓度在所有的14个调查站中, 表层质量浓度高于底层质量浓度的站位有4个站(1#、3#、6#、14#), 主要位于獐子岛附近海区。底层质量浓度高于表层质量浓度的站位有4个站(8#、17#、19#、27#), 其余各站表、

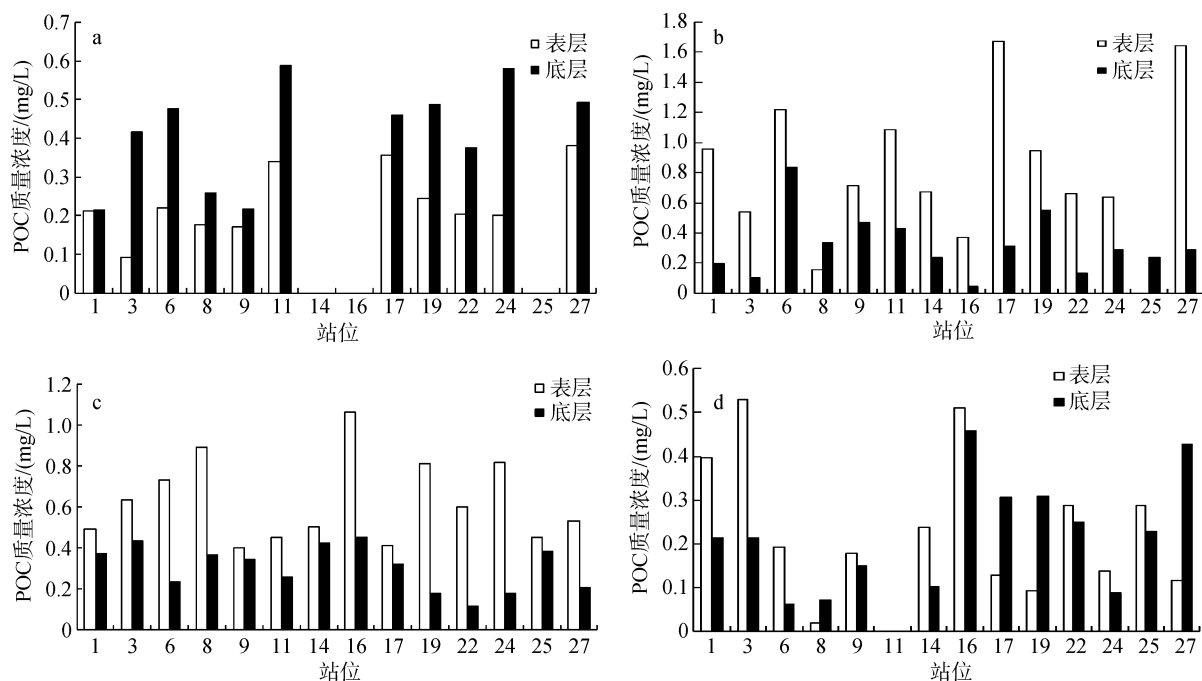


图4 POC的表、底层分布

Fig. 4 Regional distribution of POC in surface and bottom water

a. 春季POC表、底层分布; b. 夏季POC表、底层分布; c. 秋季POC表、底层分布; d. 冬季POC表、底层分布
Regional distribution of POC in surface and bottom water in a) spring, b) summer, c) autumn, and d) winter

底层质量浓度基本一致。海区中 PN 质量浓度的垂直分布与 POC 质量浓度的垂直分布规律相似, 春季 PN 底层质量浓度略高于表层质量浓度, 但表、底层质量

浓度差异不显著($P>0.05$), 夏秋两季 PN 表层质量浓度显著高于底层质量浓度($P<0.05$), 冬季表底层 PN 质量浓度差异不显著($P>0.05$), 详见图 5。

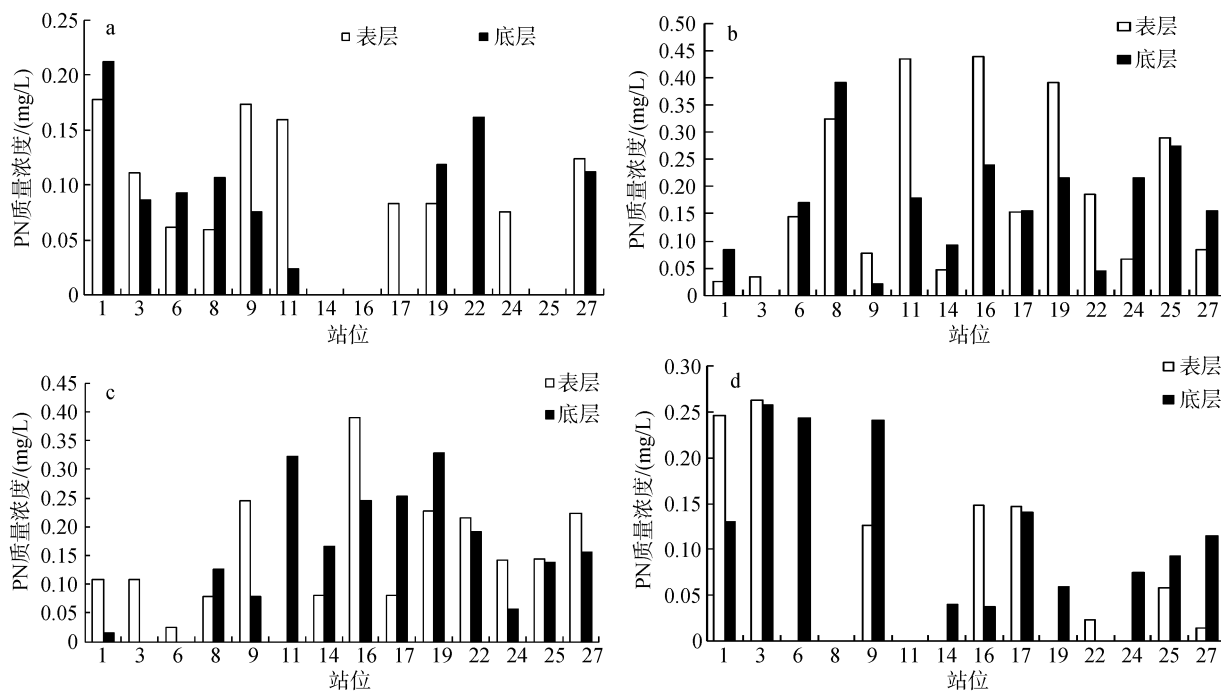


图 5 PN 表底层分布

Fig. 5 Regional distribution of PN in surface and bottom water

a. 春季 PN 表底层分布; b. 夏季 PN 表底层分布; c. 秋季 PN 表底层分布; d. 冬季 PN 表底层分布
 Regional distribution of PN in surface and bottom water in a) spring, b) summer, c) autumn, and d) winter

综上所述, 就全年各个季节的 POC 和 PN 质量浓度来看, POC 质量浓度变化范围较大, 有明显的变化规律, 即夏季值最高, 春冬季值最低。PN 质量浓度整体变化不大, 但是同样在夏季出现最高值, 冬季和春季的质量浓度较低(图 6)。

2.3 獐子岛海域叶绿素 a 的质量浓度与平面分布

根据本次调查的结果显示, 獐子岛海域全年尺

度上层 Chl-a 质量浓度变化趋势为: 夏季>秋季>春季>冬季。春季整个调查海区的表层 Chl-a 质量浓度为 0.22~1.94 $\mu\text{g/L}$, 平均值为 (0.98 ± 0.54) $\mu\text{g/L}$ 。最高值出现在獐子岛周围海域, 整体呈现自北向南递减的变化趋势。夏季调查海区的表层 Chl-a 质量浓度为 2.16~11.8 $\mu\text{g/L}$, 平均值为 (7.30 ± 3.14) $\mu\text{g/L}$ 。变化趋势为自北向南、自西向东递减。獐子岛海域底播贝类区的 Chl-a 值最低。秋季表层 Chl-a 的质量浓度

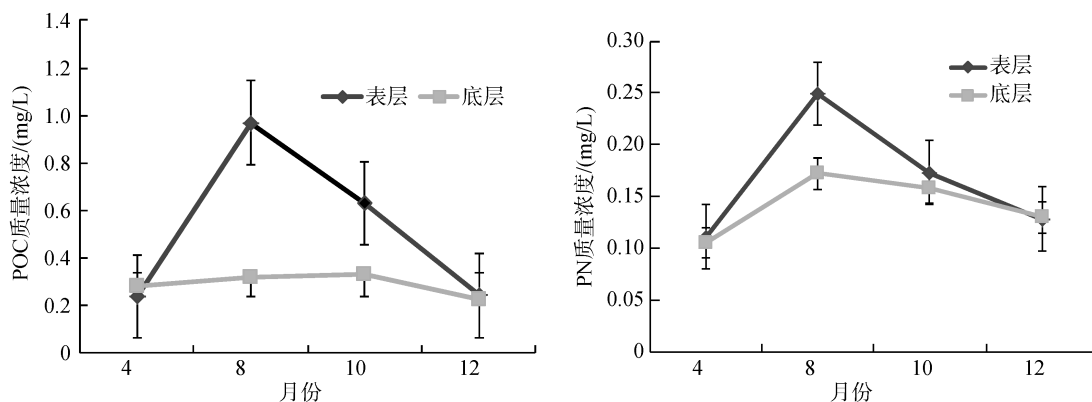


图 6 不同季节 POC、PN 表、底层质量浓度变化

Fig. 6 Vertical distribution of POC and PN in different seasons

为 0.35~6.28 $\mu\text{g/L}$, 平均值为(2.95 \pm 1.62) $\mu\text{g/L}$ 。秋季表层 Chl-a 的变化规律与夏季相同。冬季表层 Chl-a 的质量浓度为 0.07~1.02 $\mu\text{g/L}$, 平均值为(0.64 \pm 0.29) $\mu\text{g/L}$ 。变化规律为靠近岛屿沿岸的 Chl-a 质量浓度显著高于其他区域($P<0.05$, 图 7)。

本次调查中, 獐子岛海域的底层 Chl-a 平面分布与表层的平面分布一致, 同时垂直分布特征的总体

趋势是春季底层 Chl-a 质量浓度显著高于表层($P<0.05$), 夏、秋季两季表层 Chl-a 显著高于底层($P<0.05$), 冬季除少数站位表层高于底层外, 其余站位表、底层质量浓度差异不显著($P>0.05$)。獐子岛海域 Chl-a 质量浓度的垂直分布特征与 POC 的垂直分布特征相似。各季节 POC 质量浓度与 Chl-a 质量浓度呈显著正相关关系($P<0.05$, $R=0.86$)。

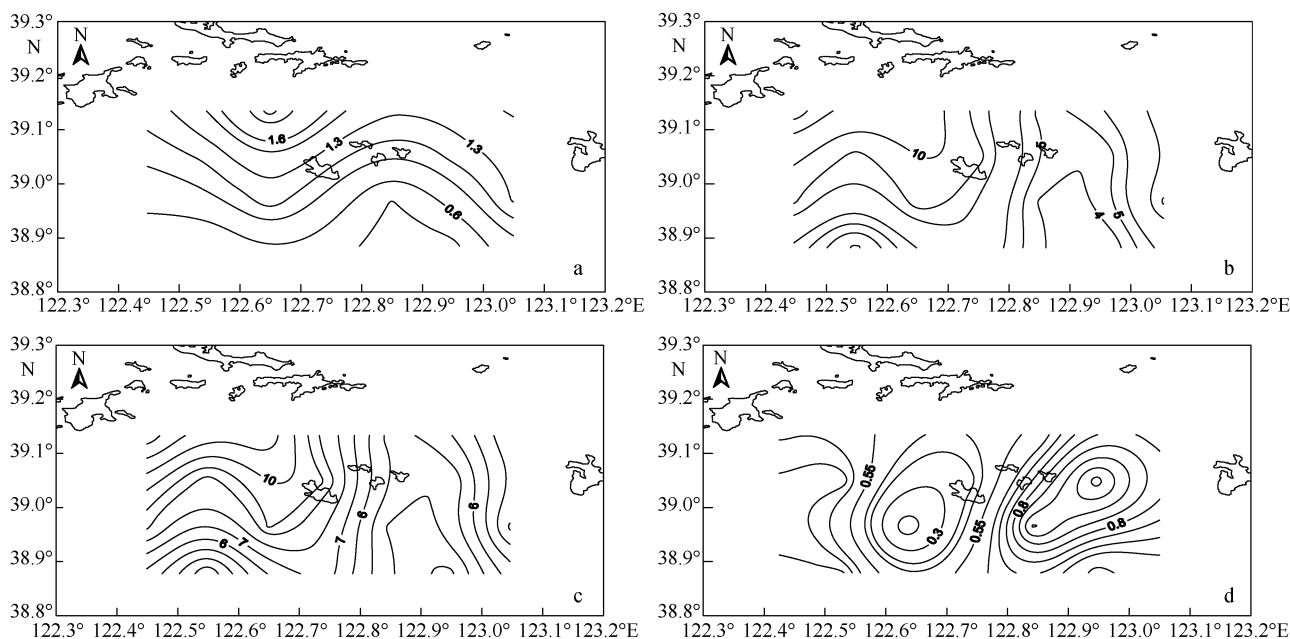


图 7 Chl-a 平面分布

Fig. 7 Horizontal distribution of Chl-a

a. 春季 Chl-a 平面分布; b. 夏季 Chl-a 平面分布; c. 秋季 Chl-a 平面分布; d. 冬季 Chl-a 平面分布
Horizontal distribution of Chl-a in a) spring, b) summer, c) autumn, and d) winter

3 讨论

3.1 POC、PN 及 Chl-a 的分布特征

獐子岛养殖海域的 POC 质量浓度略低于渤海湾质量浓度^[7], 高于太平洋和大西洋海水中 POC 的质量浓度^[11]。由于獐子岛养殖海域离大陆较远, 不同于内湾, 水域较为开放, 从大潮汛和小潮汛的结果来看, 流速的最小值为 23.61 cm/s, 最高为 90.04 cm/s, 平均为 48.83 cm/s^[12]。因此该海区的水体交换良好、海况稳定, 本次调查中温度和盐度的变化范围较小也是对此结论的一个极好佐证。且区域内养殖设施较少, 不会削弱海流的影响, 水体的交换会对海区水质产生显著影响。再加之獐子岛集团有限公司对于底播扇贝海区的规划和保护, 海区内受人为影响的因素较小。该区域各季节 POC 的平面分布整体上较为均匀, 春季出现高值的几个站位都在獐子岛等

岛屿沿岸, 可能是受岛上居民活动所带来的陆源的影响。同时由于靠近岛屿区域水深较浅, 导致此区域水温较其他区域略高。夏季 POC 出现高值的站位是 6#站位和 17#站位, 可能的原因是在 6#站位与 17#站位周围有少量筏式养殖区且靠近航道, 受人为影响及养殖生物生命活动的影响, POC 出现高值; 夏季调查中在 16#站位出现低值区, 可能的原因是 16#站位附近有人工鱼礁区, 鱼类摄食的影响可能会造成 POC 质量浓度降低。所以夏季 8 月份几个站位的表、底层 POC 出现高值或低值的情况都与筏式养殖或人工鱼礁等不同的养殖模式, 以及人类活动有关。此结论尚需进一步研究证实。

从 POC、PN 质量浓度的垂直分布来看, 夏秋两个季节表层 POC 质量浓度明显高于底层。一方面可能与底层大规模底播养殖扇贝有关, 通常在适温范围内, 随着水温的升高, 贝类的代谢活动增强^[13-14],

扇贝的摄食会降低 POC 的质量浓度; 另一方面夏季阳光充足, 太阳照射使得表层水温升高, 加上底层外来海水的影响, 表、底层海水的水温和盐度等水文条件差别较大, 海水的垂直稳定性好, 交换较弱^[7], 且海水本身具有一定的阻隔效应, 使得碎屑颗粒很难上下扩散^[15]; 最后受夏季光照、水温、营养盐质量浓度等相关因素影响, 浮游植物在表层海水中大量生长也造成了表层 POC 质量浓度高于底层的情况。冬季水温降低, 贝类的摄食作用不明显, 使得表、底层的 POC 质量浓度变化不大。表层高于底层的几个站位都靠近岛屿附近, 说明人为因素和陆源输入会在冬季对 POC 和 PN 的垂直分布造成一定影响。而春季底层质量浓度高于表层质量浓度可能的原因是: 春季是獐子岛集团大量收货扇贝的季节, 底拖网对海底扰动较大, 底播扇贝数量减少, 摄食活动减弱, 造成了底层 POC 质量浓度较高。

浮游植物进行光合作用的主要色素是 Chl-a, 同时 Chl-a 也是表征浮游植物生物量的一个重要指标。所以浮游植物也是 POC 的重要来源之一^[16]。该区域的 Chl-a 质量浓度的平面分布与 POC 的平面分布类似, 各季节整体分布较为均匀, 这一结论与张继红等^[12]的研究结果基本一致。不同季节, Chl-a 质量浓度受温度影响也有较大差异, 夏季温度升高适宜浮游植物繁殖, Chl-a 的质量浓度最高。春季和冬季 Chl-a 的最高值都出现在岛屿沿岸, 说明当温度降低, 浮游植物减少, Chl-a 质量浓度降低, 陆源及人为因素的影响开始显现。本次调查中温度与 POC、Chl-a 质量浓度无明显的相关性, 由此可见, 海区的温度等水文状况、水体交换能力的大小、生物的摄食作用以及陆源、人为因素共同作用是影响獐子岛海域 POC、PN 以及 Chl-a 质量浓度的空间分布格局的几个重要因素。

3.2 POC 的来源分析

有机质的 C/N 这一指标被广泛用来区分海洋中有机质的不同来源。一般认为海洋生物有机质的 C/N 比值为 5~7^[17], 陆源高等植物有机质的 C/N>15^[18]。獐子岛海域的 POC/PN 为 2~7, 由于海洋中的 PN 分为颗粒有机氮(PON)和颗粒无机氮(PIN)两部分, 样品酸化时并不能去除 PIN^[7]。因此, 在使用 C/N 这一指标时, 需要考虑样品中 PIN 对结果的影响。当 POC 质量浓度较小时, 样品中的 PIN 可能对于应用 POC/PN 比值来判断海水中 POC 的来源有一定的影响^[19]。由于獐子岛海域 POC、PN 变化不大, 对全年

各站位 POC 和 PN 进行相关性分析, 如图 8 所示。由于 POC 与 PN 有显著的正相关性, 可大致认为样品中 PIN 的含量为一定值, 当 POC 质量浓度为 0 时, PN 轴上的截距的大小即等于样品中 PIN 的含量^[19-21]。虽然 POC 和 PN 的回归直线不经过原点, 但是当 POC=0 时, $n=0.004$, 即 $PIN \approx 0.004$ mg/L, 扣除样品中 PIN 的影响后, 对本区 C/N 基本没有影响, 即反映出该海域有机质主要为海洋生物来源。同时也说明了陆源对该区域 POC 质量浓度的影响较小。

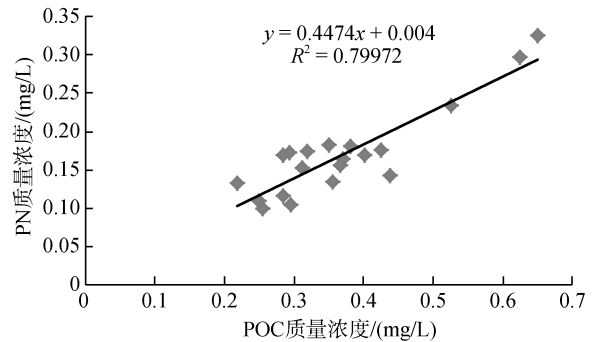


图 8 POC 与 PN 的总相关关系

Fig. 8 Correlation between concentrations of POC and PN

POC/Chl-a 的比值可以表征非生命态颗粒有机碳对总的颗粒有机碳的贡献。POC/Chl-a 为 20~200 时说明有机质主要来源于活的浮游植物, 当 POC/Chl-a>200, 表明降解有机物质的存在^[10, 22]。本次调查中 POC/Chl-a 为 71.64~430.39, 平均值为 332.50, 表明这些区域有机质主要由活的浮游植物和降解有机质共同组成。再次证明了獐子岛海域受人为因素、陆源因素的影响较小。

由于獐子岛底播虾夷扇贝的食物有 82%来源于底边界层^[23], 且该海域的叶绿素质量浓度和初级生产力水平较低, 海水流速大, 人为因素影响较小, 水交换带来的悬浮颗粒物成为虾夷扇贝的主要食物来源。目前獐子岛虾夷扇贝的养殖量并未达到养殖容量^[4], 所以希望通过本次研究, 为在底播虾夷扇贝区域的选择上提供一定参考依据。

参考文献:

- [1] Balino B M, Fasham M J R, Bowles M C. Ocean biogeochemistry and global change: JGOFS research highlights 1988-2000[J]. IGBP Science, 2001, 2: 1-32.
- [2] Widdows J, Brinsley M D, Salkeld P N, et al. Use of annular flumes to determine the influence of current velocity and bivalves on material flux at the sediment-water interface[J]. Estuaries, 1998, 21(4): 552-

- 559.
- [3] Huang J, Lin P L, Liu K K. Dissolved and particulate organic carbon in the southern East China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20: 545-569.
- [4] 张继红, 方建光, 王诗欢. 大连獐子岛海域虾夷扇贝养殖容量[J]. *水产学报*, 2008, 32(2): 236-241.
Zhang Jihong, Fang Jianguang, Wang Shihuan. Carrying capacity of *Patinopecten yessoensis* in Zhang Zidao Island, China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(2): 236-241.
- [5] 杨鹤鸣, 孙作庆. 胶州湾海水中颗粒有机碳含量的分布与变化[J]. *海洋科学*, 1992, 2: 52-551.
Yang Heming, Sun Zuqing. Distribution and variation of particulate organic carbon contents in the seawater of Jiazhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 1992, 2: 52-551.
- [6] 石晓勇, 张婷, 张传松, 等. 黄海、东海颗粒有机碳的时空分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(1): 1-6.
Shi Xiaoyong, Zhang Ting, Zhang Cuansong, et al. Spatial and temporal distribution of particulate organic carbon in Yellow Sea and East China Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(1): 1-6.
- [7] 胡利民, 邓声贵, 郭志刚, 等. 夏季渤海湾及邻近海域颗粒有机碳的分布与物源分析[J]. *环境科学*, 2009, 30(1): 39-46.
Hu Limin, Deng Shengui, Guo Zhigang, et al. Distribution and source of particulate organic carbon in the Bohai Bay and its adjacent Bohai Sea, China[J]. *Environmental Science*, 2009, 30(1): 39-46.
- [8] 谭志军, 翟毓秀, 杨帆, 等. 獐子岛贝类养殖区表层沉积物重金属分布特征及潜在生态危害评价[J]. *海洋科学*, 2012, 36(3): 56-58.
Tan Zhijun, Zhai Yuxiu, Yang Fan, et al. The distribution and potential ecological risk of heavy metals in surface sediments from the shellfish culture areas of Zhangzi Island[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(3): 56-58.
- [9] 柴雪良, 张炯明, 方军, 等. 乐清湾三门湾主要滤食性养殖贝类碳收支的研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2006, 15(1): 52-59.
Cai Xueliang, Zhang Jongming, Fang Jun, et al. Study on carbon budget of main bivalves in Yueqing Bay and Sanmen Bay[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(1): 52-59.
- [10] 夏斌, 陈碧鹃, 崔毅, 等. 夏季桑沟湾养殖水域有机碳的平面分布特征及其来源分析[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 44-49.
Xia Bin, Chen Bijuan, Cui Yi, et al. Distribution and source of organic carbon in Sanggou Bay in summer[J]. *Progress In Fishery Sciences*, 2013, 34(1): 44-49.
- [11] Wangersky P J. Particulate organic carbon in the Atlantic and Pacific oceans[J]. *Deep Sea Research & Oceanographic Abstracts*, 1976, 23(5): 457-465.
- [12] 张继红, 方建光, 蒋增杰, 等. 獐子岛养殖水域叶绿素含量时空分布特征及初级生产力季节变化[J]. *渔业科学进展*, 2008, 29(4): 22-28.
Zhang Jihong, Fang Jianguang, Jiang Zengjie, et al. Seasonal variation of primary production and spatial-temporal distribution of chlorophyll a in mariculture area of Zhangzidao Island[J]. *Progress In Fishery Sciences*, 2008, 29(4): 22-28.
- [13] Hutchinson G E. Population studies: Animal ecology and demography[J]. *Bulletin of Mathematical Biology*, 1992, 53(1): 193-213.
- [14] Khalil A M. Influence of starvation, body size and temperature on ammonia excretion in the marine bivalve *Tapes decussatus* (L.)[J]. *Aquaculture Research*, 2008, 25(8): 839-847.
- [15] 郭志刚, 杨作升, 陈致林, 等. 东海陆架泥质区沉积有机质的物源分析[J]. *地球化学*, 2001, 30(5): 416-424.
Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Chen Zhilin, et al. Source of sedimentary organic matter in the mud areas of the East China Sea shelf[J]. *Geochimica*, 2001, 30(5): 416-424.
- [16] 叶翔, 李炎, 黄邦钦, 等. 台湾海峡南部夏季的颗粒有机碳[J]. *海洋学报(中文版)*, 2009, 31(06): 87-99.
Ye Xiang, Li Yan, Hang Bangqin, et al. Particulate organic carbon in the southern Taiwan Strait during summer[J]. *ACTA Oceanologica Sinica*, 2009, 31(6): 87-99.
- [17] Redfield A C. The influence of organisms on the composition of sea-water[J]. *Sea*, 1963: 26-77.
- [18] Meyers P A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes[J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 27(s 5-6): 213-250.
- [19] Goni M A, Ruttenger K C, Eglinton T I. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico[J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(18): 3055-3075.
- [20] Datta D K, Gupta L P, Subramanian V. Distribution of C, N and P in the sediments of the Ganges–Brahmaputra–Meghna river system in the Bengal basin[J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30(1): 75-82.
- [21] Goni M A, Cathey M W, Yong H K, et al. Fluxes and sources of suspended organic matter in an estuarine turbidity maximum region during low discharge conditions[J]. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2005, 63(4): 683-700.
- [22] Cifuentes L A, Sharp J H, Fogel M L. Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware estuary[J]. *Limnology & Oceanography*, 1988, 33(5): 1102-1115.

[23] 姜绪. 底播虾夷扇贝的生长、食物来源及呼吸代谢研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
Jiang Xu. Study on The Growth, Food Source, Oxygen

Consumption and Ammonia Excretion of Scallop *Patinopecten yessoensis* Jay[D]. Nanjing Agricultural University, 2013.

Spatial-temporal distribution of particulate organic carbon and particulate nitrogen in the mariculture areas of Zhangzhi Island

LIU Yi^{1, 2}, ZHANG Ji-hong², DU Mei-rong², LIN Fan², DING Gang³, WU Wen-guang², FANG Jing-hui²

(1. College of Fisheries, Ocean University Of China, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266071, China)

Received: Nov. 11, 2015

Key words: Zhangzi Island; Particulate Organic Carbon; Particulate Nitrogen; Distribution

Abstract: Several cruises have been conducted on the Zhangzi island aquaculture region, with 14 stations, in August, October, and December 2011 and April 2012. Hydrography data on particle organic carbon (POC) and particulate nitrogen (PN) was collected, and the spatial-temporal distribution of the data was studied and analyzed. The results showed that variation in concentration of POC is in the following order: summer > autumn > spring > winter. The POC concentration in summer tends to be the highest, with a variation from 0.159 to 1.672 mg/L and 0.045 to 0.834 mg/L for surface and bottom water, respectively; the average POC concentration for the surface is (0.867 ± 0.451) mg/L and for bottom is (0.319 ± 0.204) mg/L. In winter, the bottom POC concentration reaches a minimum, and the range and average concentration for surface water is 0.020~0.530 mg/L and (0.240 ± 0.125) mg/L, respectively, and for the bottom water is 0.061~0.458 mg/L and (0.221 ± 0.129) mg/L, respectively. The horizontal distribution of POC concentration tends to be homogenized for each season. The variation in PN concentration is as follows: summer > winter > autumn > spring. Similar to POC, the PN concentration in summer tends to be the highest with a range and average value of 0.026~0.439 mg/L and (0.193 ± 0.067) mg/L, respectively, for surface water, and 0.020~0.393 mg/L and (0.172 ± 0.060) mg/L, respectively, for bottom water. The minimum concentration of PN tends to appear in spring and the range and average are 0.059~0.178 mg/L and (0.120 ± 0.047) mg/L, respectively, for surface water, and 0.020~0.393 mg/L and (0.100 ± 0.050) mg/L, respectively, for bottom water. The PN concentration exhibits a spatial homogenized distribution similar to that of POC. The temporal distribution of concentration of Chl-a is as follows: summer > autumn > spring > winter. Vertical distributions for POC, PN, and Chl-a shows some similarities. The concentration of bottom water is slightly higher than that of surface water in the spring, and much higher surface concentrations can be observed relative to bottom water concentrations in summer and autumn. In winter, the concentrations in surface and bottom water tend to be similar. With the analysis of C/N and the ratio of POC to Chl-a (in concentration) the source of POC for the study region is discussed, and the source of the POC near Zhangzi island is concluded to primarily originate from marine organisms, not much terrigenous sediments.

(本文编辑: 梁德海)