

流沙湾叶绿素 a 的时空分布及其与 主要环境因子的关系

章洁香¹, 曾久胜^{1,2}, 张瑜斌¹, 张才学¹, 孙省利¹

(1. 广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088; 2. 湖南省永兴县实验中学, 湖南 永兴 423300)

摘要: 于2008年2月、5月、8月和11月分4个航次调查了流沙湾叶绿素 a 的分布特征, 结果表明, 流沙湾的叶绿素 a 变化范围在 0.47~6.35 mg/m³, 平均值为 2.65 mg/m³, 叶绿素 a 含量春(5月)、夏(8月)、秋(11月)和冬季(2月)的平均值分别为 2.49 mg/m³、3.81 mg/m³、2.77 mg/m³ 和 1.46 mg/m³, 表现为夏季>秋季>春季>冬季的季节变化模式; 在平面分布上, 位于网箱养殖区附近 9 站叶绿素含量最高 (3.38 mg/m³), 位于湾口靠近外海的 2 站的含量最低 (1.35 mg/m³), 调查海区叶绿素 a 站位间的平面差异以及湾内外的平面差异均不显著 ($P>0.05$)。叶绿素 a 和亚硝酸盐、硝酸盐、盐度显著负相关 ($P<0.05$)。根据叶绿素 a 量划分营养类型的标准, 流沙湾海域的水质属于贫营养类型, 流沙湾低含量的叶绿素 a 与海区的低营养盐、大型海藻和海草床对营养盐的竞争利用、湾内外水体交换畅通、浮游动物和养殖贝类的摄食情况有关。

关键词: 流沙湾, 叶绿素 a, 时空分布, 环境因子

中图分类号: Q178.531, X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2010)05-0514-07

Relationship between distribution of chlorophyll a and main environmental factors in Liusha Bay

ZHANG Jie-xiang¹, ZENG Jiu-sheng^{1,2}, ZHANG Yu-bin¹, ZHANG Cai-xue¹, SUN Xing-li¹

(1. Monitoring Center for Marine Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Yongxing Experimental Middle School of Hunan, Yongxing 423300, China)

Abstract: From Feb. to Nov. 2008, spatial and temporal distributions of concentration of chlorophyll a were surveyed in four seasons in Liusha Bay, and the results showed that the concentration of chlorophyll-a ranged from 0.47 mg/m³ to 6.35 mg/m³, with an annual average of 2.65 mg/m³. The average concentration of chlorophyll-a was 2.49 mg/m³ in spring, 3.81 mg/m³ in summer, 2.77 mg/m³ in autumn and 1.46 mg/m³ in winter respectively, so the seasonal pattern of chlorophyll-a was summer>autumn>spring>winter. The highest average concentration of chlorophyll-a was found at station 9 (3.38 mg/m³) in fish mariculture areas, while the lowest one presented at station 2 (1.35 mg/m³) in outside bay. The difference in concentration of chlorophyll a among stations was not significant ($P>0.05$), nor did the difference in that between inner stations and outer station. Correlation analysis showed that the concentration of Chlorophyll-a was significantly negative relative to $\text{NO}_2^- - \text{N}$, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, and salinity in this investigation. The water was oligotrophic in Liusha Bay with the chlorophyll a as the assessment criteria. The lower concentration of chlorophyll a might be related to the low content of inorganic nutrients, competitive utilization for inorganic nutrients by algae and sea grass bed, strong water exchange, and grazing phytoplankton by zooplankton and seashells.

Keywords: Liusha Bay; chlorophyll-a; spatial and temporal distribution; environmental factors

流沙湾位于雷州半岛西南部, 是一个口小腹大呈葫芦形的半封闭型港湾, 面积约 69 km², 水深 10~20 m, 潮差高达 6 m, 湾内为不规则半日潮每

日两涨两落, 水体交换能力强, 是广东省在海洋经济中发挥核心作用的综合开发十大示范重点海域之一。流沙湾主要进行珍珠贝、扇贝和鱼类养殖,

收稿日期: 2009-10-29; 修订日期: 2010-02-27

基金项目: 广东省自主创新重大科技专项(2007A032600004)

作者简介: 章洁香(1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋生态学的研究。电子邮箱: xa702@163.com

通讯作者: 张瑜斌, 电子邮箱: zhangyb@gdou.edu.cn

现有贝类和鱼类养殖面积 13.6 km^2 , 海草生物量极大, 面积约为 900 hm^2 [1]。周围无大河注入, 底质多为砾石和砂。内湾的流沙角沿岸现设渔港, 大井角有海军码头, 湾头有珍珠养殖场和星罗棋布的私人养珠户。外湾水域广, 水深达 $5 \sim 20 \text{ m}$, 底质为淤泥。

水体中叶绿素 a 的含量与浮游植物的数量有密切的关系, 指示着浮游植物生物量的大小, 从而影响浮游动物的生物量和次级生产力, 而其分布和海洋环境的物理、化学以及生物过程也有密切相关 [2], 有关叶绿素 a 与理化因子相关性研究已有相关报道 [3-6], 叶绿素 a 浓度可作为估算初级生产力的参数之一, 以此也能评价海区营养水平和评估水域水产资源潜在生产能力。在流沙湾海域, 已有关于该海域中企鹅珍珠贝多毛类寄身虫病的调查 [7], 以及溶解氧的分布特征 [8] 等方面的研究, 但在该海域水体叶绿素 a 的分布特征及其与主要环境因子之间的关系尚无报道。流沙湾为一大规模的贝类养殖区域, 滤食性的贝类对水体中浮游生物的摄食有着重要的影响, 因此, 对流沙湾叶绿素 a 的调查研究, 为估算该海区浮游植物的现存量, 进而估计其养育其他生物的承载力, 并最终为该海区以贝类为主导的养殖业的持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与站位布设

于 2008 年 2 月 (冬)、5 月 (春)、8 月 (夏)、11 月 (秋) 分别对设置于流沙湾的 14 个站位进行采样调查, 采样站位定点采用 GPS (如图 1)。由定点的位置可知, 其中 1~7 站位位于湾外, 水域开阔, 8-14 站位位于湾内; 站 2 在贝类养殖区旁, 站 3 和站 5 在贝类养殖区内, 站 6 在贝类养殖区旁。湾内有星罗棋布珍珠养殖场, 以及 8 000 多个网箱的养殖区, 站位 8 和站位 10 为航道, 站位 9 在网箱的养殖区内, 站位 11 和站位 14 在吊养扇贝区内, 站位 12 为吊养扇贝区旁, 站位 13 为航道。

1.2 样品采集和测定方法

样品采集按照《海洋监测规范》进行 [9], 叶绿素 a 含量测定采用丙酮萃取分光光度法 [9]。用采水器采集 1 L 表层 (离水面 0.5 m) 水样, 加入 $1 \sim 2 \text{ mL}$ 10 g/L 的碳酸镁溶液固定后, 用孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 的滤膜抽滤, 抽滤后的滤膜用 90% (V/V) 的丙酮在 4°C 的下萃取 $18 \sim 24 \text{ h}$; 以 4000 r/min 转速离心 10 min ; 离心后取上清液于光程为 1 cm 的比色杯中, 分别

在 $750, 664, 647$ 及 630 nm 4 种波长下用岛津 UV-2450 型紫外可见分光光度计测定样品的吸光度值, 按 Jeffrey-Humphreyde 公式计算叶绿素 a 含量 [9]。

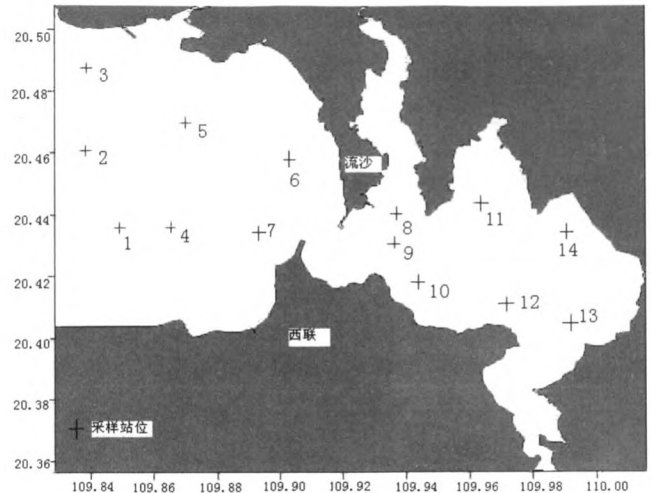


图 1 采样站位分布图

Fig. 1 Distribution of sampling stations

1.3 主要环境因子的分析

为探讨叶绿素 a 和其它主要环境因子之间的关系, 在测定叶绿素 a 的同时, 也测定了主要相关环境因子。盐度、温度用奥立龙 3STAR 进行现场测试, 其它指标测试水样带回实验室分析, 参照《海洋监测规范》中的测定方法 [9], 溶解氧 (DO) 采用碘量法、总有机碳 (TOC) 用非色散红外线吸收法、化学需氧量 (COD) 用碱性高锰酸钾法、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 采用铈钼还原比色法、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 采用盐酸萘乙二胺分光光度法、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 采用次溴酸盐氧化法、 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 采用磷钼蓝分光光度法、 $\text{SiO}_3^{2-} \text{-Si}$ 采用硅钼黄分光光度法测定。

1.4 数据处理与统计分析

叶绿素 a 与主要环境因子间的相关关系采用 Pearson 相关分析, 差异显著性采用单因素方差分析, 统计过程使用 SPSS 11.0 完成。叶绿素 a 的等值线分布图采用 Golden software Surfer 8.0 软件生成。

2 结果

2.1 叶绿素 a 的时空分布特征

在调查的 14 个站位中, 四个航次叶绿素 a 的变化范围在 $0.47 \sim 6.35 \text{ mg/m}^3$ (图 2)。叶绿素 a 含量的季节变化明显, 站 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 和站 11 叶绿素 a 含量均以冬季 (2 月) 最低, 而

站 12、13、14 三个站位的最低含量则出现在春季 (5 月); 站 4、5、8、9、10、11、12、13 和 14 的叶绿素 a 含量在夏季 (8 月) 最高, 而站 1、3 和 7 最高含量是春季 (5 月), 站 2 和 6 最高含量则是秋季 (11 月)。从整个海湾来看, 叶绿素含量以夏季最高, 平均值为 3.81 mg/m^3 , 秋季次之, 平均值为 2.77 mg/m^3 , 春季平均含量为 2.49 mg/m^3 , 冬季含量最低, 平均值为 1.46 mg/m^3 , 整个海湾叶绿素 a 表现为夏季>秋季>春季>冬季的季节变化模式。

在平面分布上 (图 2), 各个站位年均值变化范围为 $1.35 \sim 3.38 \text{ mg/m}^3$, 位于网箱养殖区附近 9 站叶绿素含量最高 (3.38 mg/m^3), 位于湾口靠近外海的 2 站的含量最低 (1.35 mg/m^3), 其含量高低排序依次为 9 (3.38 mg/m^3), 13 和 8 (3.09 mg/m^3), 10 (3.04 mg/m^3), 12 (3.00 mg/m^3), 11 (2.91 mg/m^3), 6 (2.87 mg/m^3), 4 (2.58 mg/m^3), 1 (2.54 mg/m^3), 5 (2.53 mg/m^3), 7 (2.51 mg/m^3), 14 (2.13 mg/m^3), 3 (2.01 mg/m^3), 2 (1.35 mg/m^3)。各个站位的叶绿素含量或高或低, 但统计显示其站位之间的差异不显著 ($P>0.05$), 湾内七个站位 (8—14 站) 的叶绿素 a 含量稍高于湾外站位 (1—7 站位), 但统计表明其差异亦不显著 ($P>0.05$)。

不同季节调查海区叶绿素 a 含量的平面分布有所不同 (图 2)。冬季 (2 月) 叶绿素 a 含量整体较低, 分布比较均匀, 其分布格局与全年分布相似, 湾外叶绿素 a 含量平均值低于湾内含量, 最高值出现在湾内 13 站 (3.28 mg/m^3), 最低值则位于湾外 2 站 (0.47 mg/m^3)。春季 (5 月), 调查海区的叶绿素 a 含量整体上升, 但增幅不显著, 呈现由湾内向湾外递增的态势, 最高值出现在湾外 7 站 (4.02 mg/m^3), 最低值则位于湾内 14 站 (1.39 mg/m^3)。夏季 (8 月), 调查海区的叶绿素 a 含量整体继续上升, 但湾外的 1, 2, 3, 7 站含量有所下降, 最高值出现在湾外 9 站 (5.67 mg/m^3), 最低值出现在湾内 2 站 (2.07 mg/m^3), 呈现由湾内向湾外递减的态势。秋季 (11 月), 调查海区的叶绿素 a 含量整体明显下降, 分布比较均匀, 最高值出现在湾外 6 站 (4.15 mg/m^3), 最低值出现在湾内 14 站 (1.70 mg/m^3), 6 站位略微的上升, 由湾内向湾外有所递减。总体而言, 研究海区叶绿素 a 的季节平面分布特征表现出冬季、夏季、秋季由内向外递减的分布态势, 而在春季, 则是湾内稍低于比湾外。

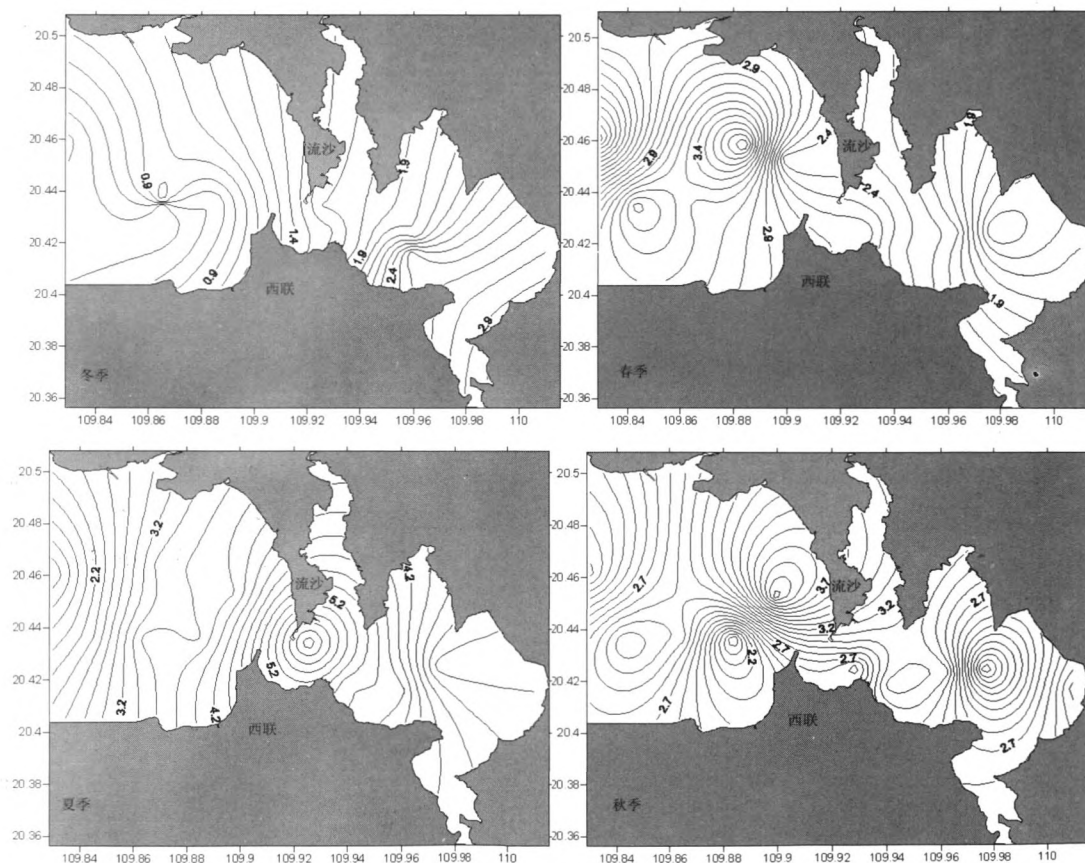


图 2 流沙湾叶绿素 a 含量分布 (mg/m^3)

Fig. 2 Distribution of chlorophyll-a concentration in Liusha Bay (mg/m^3)

2.2 叶绿素 a 与主要环境因子的关系

相关分析表明，流沙湾叶绿素 a 与亚硝氮、硝氮、盐度呈显著负相关 ($P<0.05$)，与其他因子的相

关性不显著 (表 1)。该海区的营养盐年平均分布图如图 3。

表 1 叶绿素 a 与主要环境因子的相关系数
Tab. 1 Correlation coefficients between Chlorophyll-a and main environmental factors

名称	水温	盐度	pH	DO	COD	TOC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₃ ²⁻ -Si
CHL-a	-0.182	-0.638*	-0.103	0.489	0.456	0.026	0.0359	-0.647*	-0.302*	0.054	0.131	0.297

“*”相关关系显著 $P<0.05$ “***” 相关关系极显著 $P<0.01$

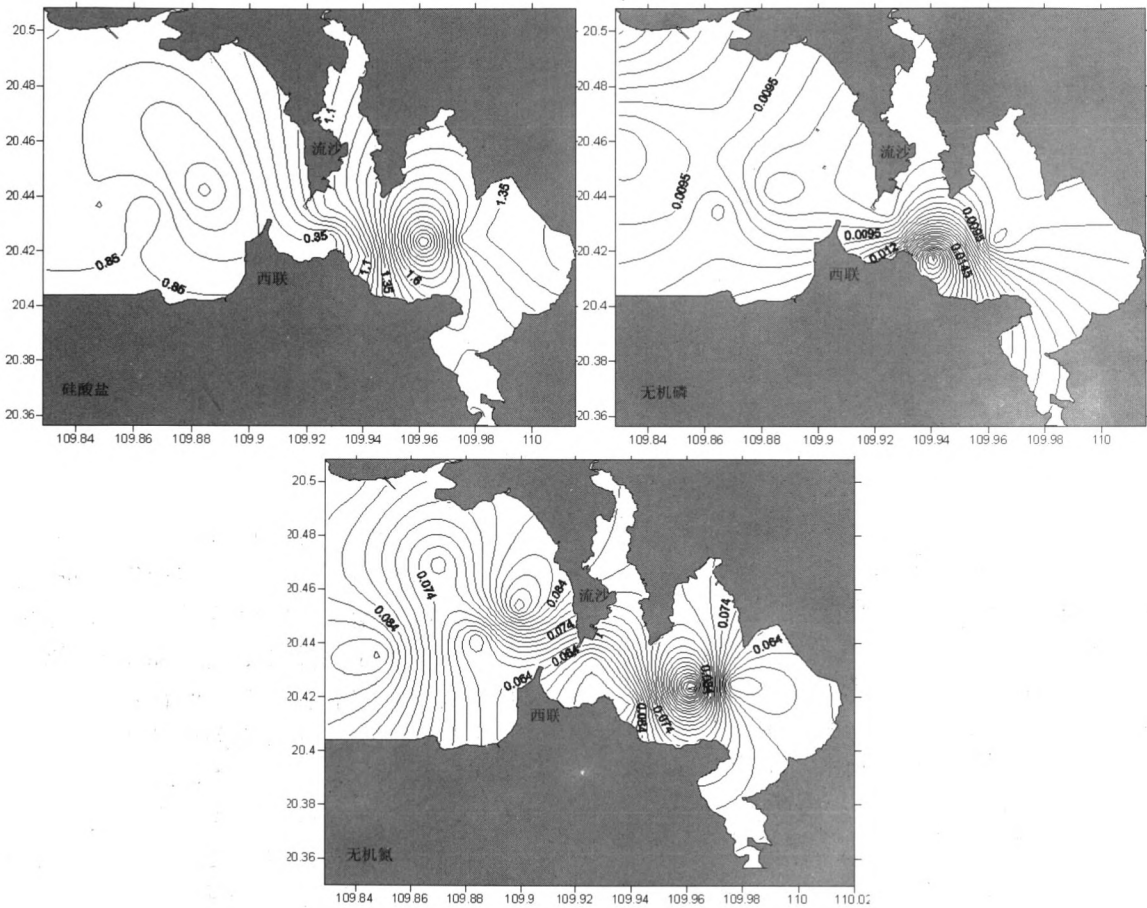


图 3 主要营养盐年平均含量 (mg/L)

Fig. 2 Distribution of the average concentration of main inorganic nutrients in Liusha Bay (mg/L)

2.3 以叶绿素 a 为标准的水体营养状况评价

叶绿素 a 浓度的高低是水体浮游植物生物量大小的标志，同时可作为判断水体富营养化程度的指标。一般认为，未受污染的外海水域，叶绿素 a 浓度低于 2 mg/m³，而平均水平在 10 mg/m³ 以上则标示着较高的富营养化水平^[10]。本文结合调查海域的实际情况参考美国环保总署 (USEPA) 有关标准，以叶绿素含量为单一评价标准对海区进行富营

养化评价，评价标准如下：Chl.a>10 mg/m³，富营养化；4 mg/m³ < Chl.a < 10 mg/m³，中营养化；Chl.a < 4 mg/m³，贫营养化。以上述标准的流沙湾海域营养程度评价结果见表 2，在全年的调查中，春季，只有站 7 处于中营养化，其他的站点均处于贫营养化；夏季，湾外站点处于贫营养化，湾内站点处于中营养化；秋季，只有站 6 处于中营养化，其他的站点均处于贫营养化；冬季，整个港湾处于贫营养化；全年，湾内、湾外均处于贫营养化。

表 2 流沙湾海域的水体营养状态评价
Tab. 2 Assessment of eutrophication in Liusha Bay

站位	春	夏	秋	冬	平均值
1	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
2	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
3	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
4	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
5	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
6	贫营养化	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化
7	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
8	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
9	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
10	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
11	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
12	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
13	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
14	贫营养化	中营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化
平均值	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化	贫营养化

3 讨 论

在 2008 年调查期间,叶绿素 a 含量表现为夏季>秋季>春季>冬季的季节变化模式,冬季含量最低可能与 2008 年年初的南方低温有关,且光照、营养都处于一年中最低水平,浮游植物生长是一年是最慢的,所以最低值出现在冬季;而到了春季(5 月份)采样时,水温回升,光照也增强,浮游植物繁殖迅速,叶绿素 a 含量也有所上升;夏季(8 月份)光照和水温均达到了全年的最高峰,所以出现了夏季叶绿素 a 含量的全年最高峰;而后秋季(11 月)随着光照和水温的降低,叶绿素 a 含量也随着降低。而在北海湾^[11]叶绿素 a 含量也不高,呈春季含量较高,秋季较低,冬夏季适中的季节模式,其季节分布模式与陆源径流、盛行风向有关;在柘林湾^[12],2002 年叶绿素 a 含量则为双峰型,而在 2000—2001 年,则是单峰形,柘林湾季节模式的变化,则与降雨量、厄尔尼诺年、水体交换情况有关。上述情况表明,各个海域叶绿素 a 的季节变化模式与其所处地理位置、气候情况以及理化因子等特定生境条件有关。

2008 年流沙湾的浮游植物叶绿素 a 的变化范围为 0.47~6.35 mg/m³,平均值为 2.65 mg/m³,处于较低水平。且在湾外与湾内的差异不明显。流沙湾湾内与湾外的叶绿素 a 含量的差异性不显著($P>0.05$),这与柘林湾的研究有不同之处,柘林湾

湾外叶绿素 a 含量大大低于湾内的含量^[12],与湾内的大面积的网箱养殖、陆源输入以及湾内外的水体交换不畅有关,而在流沙湾,湾内外叶绿素 a 含量无显著差异,流沙湾的叶绿素含量并没出现像其他海湾的从湾内向大海方向逐渐减少的空间分布规律^[13],这可能与流沙湾没有河流的陆源输入和水动力强、水体交换畅通有关。8、9、10 三个站位位于湾内外的交汇处,含量比较高,这可能与 9 站周围是网箱养殖有关,网箱养殖所投的饵料,部分并未被养殖生物所摄食,经微生物的分解,释放营养盐,刺激浮游植物种群数量增加,叶绿素 a 有所升高,但由于剧烈的水体交换很容易带走部分营养盐,所以形成了只是比湾内外含量稍高,而未出现富营养化。流沙湾湾内有大面积的贝类养殖和少量的网箱养殖,由于贝类对海水中浮游植物的摄食,叶绿素 a 的含量并未直线升高。春季时候多数站位的营养盐含量在湾内外均比较丰富,而湾外叶绿素 a 含量比湾外稍高,这可能与湾外的关照条件相比湾内的比较好有关,湾内的网箱养殖和贝类的挂养设备影响了浮游植物光合作用,从而浮游植物生长比较缓慢,而湾外则比较开阔,更有利于浮游植物的生长。

流沙湾 4 个季度各站位的叶绿素 a 含量与主要环境因子进行相关性分析发现,叶绿素和亚硝氮、硝氮、盐度显著负相关。陈晓玲等的研究表明^[13],氮、磷对叶绿素 a 浓度普遍具有贡献,然而在海湾内中,叶绿素 a 的含量受氮、磷显著影响,海湾外则是主要受氮的显著影响。而在本研究中,叶绿素的含量与其他的营养盐相关性分析中,只与氮具有显著相关性,与磷并未相关,这可能也是与两者研究中的海湾的开阔程度有关,在流沙湾,湾内外水体交换畅通,湾内外的水文条件的差别并不像陈晓玲等研究的内海湾的水文条件和外海湾的水文条件有比较大的差别^[13]。在童万平等的研究中发现^[11],在秋季,陆源供应明显不足,叶绿素 a 与营养盐呈负相关关系,也就是说,叶绿素 a 含量高的测站,营养盐含量较低,这是浮游植物摄取营养盐生长繁殖增加种群数量需要一段时间的结果,充分体现了营养盐在浮游植物繁殖生长过程中的重要影响。在流沙湾并无河流带来的陆源输入,营养盐含量终年偏低(无机氮为 0.074 mg/L、活性磷酸盐为 0.009 mg/L、硅酸盐为 1.223 mg/L),这可能也是导致叶绿素 a 含量和氮素营养盐含量呈现负相关关系的原因。

流沙湾叶绿素 a 含量范围为 0.47~6.35 mg/m³,

平均为 2.65 mg/m^3 , 明显低于已报道多数研究海域^[14-17], 根据叶绿素 a 量划分营养类型的标准, 流沙湾海域的水质属于贫营养类型。该海域的水体交换畅通、大面积的贝类养殖、高生物量的海草和大型海藻、低含量的营养盐可能是这种分布状况的主要原因。

在调查的流沙湾海区, 营养盐含量都偏低(如上所述)。作为叶绿素 a 最直接的影响因子, 营养盐的含量偏低也直接对叶绿素 a 的含量形成较大的影响。一般来说, 只有营养盐的含量高, 浮游植物的才丰富, 叶绿素 a 含量也高^[18,19]。但在富营养海区, 营养盐含量高却并不是叶绿素 a 含量也跟着增高^[17], 而在流沙湾, 所有调查站位无机氮和活性磷酸盐的含量都优于国家二类海水水质标准(无机氮含量 $<0.3 \text{ mg/L}$, 无机磷含量 $<0.03 \text{ mg/L}$), 绝大多数站位符合一类海水水质标准(无机氮含量 $<0.2 \text{ mg/L}$, 无机磷含量 $<0.015 \text{ mg/L}$), 所以, 流沙湾的营养盐含量偏低, 也就直接造就了叶绿素 a 的含量偏低, 孙军等也报道了在莱州湾及潍河口类似的结果^[18]。

流沙湾海区存在着大型的海草床^[1], 另实地调查显示, 该区域具有丰富的大型海藻, 高生物量的海草和大型海藻能吸收大量的营养盐而降低海水中营养盐的含量, 对浮游植物营养盐的吸收起到竞争抑制作用, 从而可能降低了水体叶绿素 a 的含量。这也可能是影响营养盐含量低的原因之一。

在富营养化海区, 水体交换条件良好, 可以带走有机质和无机盐^[19], 从而减缓富营养化的进程。流沙湾海流测定数据显示湾内外水流交换通畅(本实验室数据, 另文发表), 湾内外水团的充分交换可以降低湾内营养盐的含量, 强烈的湍流同时也影响浮游植物的光合作用^[20]。如果湾内外的水体交换情况不畅, 会导致叶绿素 a 空间分布格局从湾内至湾外逐渐减少^[12]。由此可见, 水团的充分交换, 降低营养盐的含量, 影响光合作用, 是叶绿素 a 含量偏低的重要因素。

调查发现位于流沙湾海域贝类养殖面积 2 300 多亩, 大规模的养殖贝类对该区域的浮游植物种群数量和群落的物种数构成了较大的压力^[21]。高密度的贝类滤食压力出现, 远比浮游动物的摄食压力大, 因为贝类的滤食系统非常发达, 有着极高的滤水率^[22], 贝类对浮游植物的摄食压力造成了这期间的叶绿素 a 含量较低^[15]。由此可见, 高密度的扇贝养殖, 对整个海湾内外的浮游植物的摄食, 有着重

要的影响, 从而降低了叶绿素 a 的含量。

叶绿素 a 含量变化, 在一定的程度上反映了水域环境因子对浮游植物生长的影响, 由上述分析可见, 海区的营养盐、海区大型海藻和海草床对营养盐的竞争利用、潮汐动力、浮游动物和养殖贝类的摄食情况, 都是影响调查海区叶绿素 a 含量的可能因素。

4 结 论

在流沙湾 2008 年调查的 4 个航次中, 叶绿素 a 的变化范围在 $0.47\sim 6.35 \text{ mg/m}^3$, 平均值为 2.65 mg/m^3 , 季节分布上, 呈现出夏季 (3.81 mg/m^3) $>$ 秋季 (2.77 mg/m^3) $>$ 春季 (2.49 mg/m^3) $>$ 冬季 (1.46 mg/m^3) 的季节变化模式。在平面分布上, 位于网箱养殖区附近 9 站叶绿素含量最高 (3.38 mg/m^3), 位于湾口靠近外海的 2 站的含量最低 (1.35 mg/m^3)。调查海区叶绿素 a 站位间的平面差异以及湾内外的平面差异均不显著 ($P>0.05$), 叶绿素 a 和亚硝氮、硝氮显著、盐度负相关 ($P<0.05$)。根据叶绿素 a 量划分营养类型的标准, 流沙湾海域的水质属于贫营养类型, 流沙湾低含量的叶绿素 a 与海区的低营养盐、大型海藻和海草床对营养盐的竞争利用、湾内外水体交换畅通、浮游动物和养殖贝类的摄食情况有关。

参考文献:

- [1] 黄小平, 黄良民. 华南沿海主要海草床及其生境威胁 [J]. 科学通报, 2006, 51: 114-119.
- [2] 沈新强, 胡方西. 长江口外水域叶绿素分布的基本特征 [J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 70-80.
- [3] 贺心然, 陈斌林, 展卫红. 连云港港口海域水体富营养化情况分析 [J]. 污染防治技术, 2005, 18(1): 46-48.
- [4] 刘冬燕, 宋永昌, 陈德辉. 苏州河叶绿素 a 动态特征及其与环境因子的关联分析 [J]. 上海环境科学, 2003, 22(4): 261-264.
- [5] WERDELL P J, BAILEY S W, FRANZ B A, et al. Regional and seasonal variability of chlorophyll-a in Chesapeake Bay as observed by SeaWiFS and MODIS-Aqua. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6): 1319-1330.
- [6] CALVO-DAZ A, MORÁN X A G, SUÁREZA L Á. Seasonality of picophytoplankton chlorophyll a and biomass in the central Cantabrian Sea, southern Bay of Biscay. Journal of Marine Systems, 2007, 72: 271-281.
- [7] 梁飞龙, 刘永, 邓陈茂, 等. 广东雷州流沙湾养殖企鹅珍珠贝多毛类寄生虫病的调查 [J]. 海洋水产研究, 2007, 28(2): 84-89.
- [8] 谢群, 张瑜斌, 孙省利, 等. 流沙湾溶解氧的分布特征及其相关因素的探讨 [J]. 环境科学与技术, 2009, 32(9): 39-44.

- [9] 中华人民共和国国家标准—海洋监测规范(GB17378-2007) [S].
- [10] 沈国英, 施并章. 海洋生态学(第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [11] 童万平, 韦蔓新, 赖廷和. 北海湾叶绿素 a 的分布特征及其影响因素 [J]. 海洋环境科学, 2003, 22(1): 34-37.
- [12] 黄长江, 董巧香, 吴常文, 等. 大规模增殖养殖区柘林湾叶绿素 a 的时空分布 [J]. 海洋学报, 2005, 2(27): 127-132.
- [13] 陈晓玲, 李毓湘, 李志林. 香港叶绿素 a 浓度的时空分布规律 [J]. 地理学报, 2002, 4(57): 422-428.
- [14] 刘子琳, 张涛, 刘艳岚, 等. 2004 年春季长江口水体与沉积物表层的叶绿素 a 浓度分布 [J]. 海洋学研究, 2008, 4(26): 1-6.
- [15] 孙桂清, 王六顺, 郑向荣, 等. 河北扇贝养殖海域叶绿素 a 含量分布特征及初级生产力估算 [J]. 环境与资源, 2008, 9: 95, 06, 16, 36.
- [16] 潘友联, 郭玉洁, 曾呈奎. 胶州湾口内海水中叶绿素浓度的周年变化和垂直分布 [J]. 海洋与湖沼, 1995, 1(26): 21-27.
- [17] 杜虹, 黄长江, 陈善文. 2001-2002 年柘林湾浮游植物的生态学研究 [J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 604-617.
- [18] 孙军, 刘东艳, 柴心玉. 莱州湾及潍河口夏季浮游植物生物量和初级生产力的分布 [J]. 海洋学报, 2002, 24(5): 81-90.
- [19] 项福亭, 曲维功, 张益额. 庙岛海峡以东浅海养殖结构调整的研究 [J]. 齐鲁渔业, 1999, 13(2): 1-4.
- [20] 沈志良, 陆家平, 刘兴俊. 长江口营养盐的分布特征及三峡工程对其的影响 [J]. 海洋科学集刊, 1992, 33: 107-129.
- [21] 匡世焕, 方建光, 孙慧玲. 桑沟湾海水中悬浮颗粒物的动态变化 [J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 60-67.
- [22] 秦培兵, 卢继武. 滤食性贝类对浅海养殖系统中营养盐循环的影响 [J]. 海洋科学, 2001, 25(5): 27-29.