

2009 年湛江湾叶绿素 a 分布及其 与主要环境因子的关系*

章洁香, 张瑜斌*, 孙省利

(广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088)

摘 要: 2009-02—2009-11 分 4 个季度调查了湛江湾叶绿素 a 的时空分布, 并分析了其与主要环境因子的关系。结果表明, 湛江湾海域叶绿素 a 变化范围为 $0.35 \sim 21.52 \text{ mg/m}^3$, 年平均值 4.47 mg/m^3 ; 全海域叶绿素 a 呈现夏季 (6.50 mg/m^3) > 冬季 (4.75 mg/m^3) > 春季 (3.58 mg/m^3) > 秋季 (3.01 mg/m^3) 的季节变化模式; 水平分布上, 冬季的叶绿素 a 呈现由南三岛附近海域(即断面 2 和 3)向外海和沿岸递减, 春季、夏季和秋季呈现由外海向沿岸递减, 年均值呈现由外海向沿岸递减的分布特征。主成分分析显示, 湛江湾海域叶绿素 a 与 pH、盐度呈极显著的正相关, 与氨氮、硝氮、硅酸盐、磷酸盐和无机氮呈极显著负相关。以表征的叶绿素 a 为标准的水体营养状况评价结果显示湛江湾海域多为中营养或贫营养状态, 与以营养盐和化学耗氧量为标准的评价结果不一, 故湛江湾的水体营养状况评价需要综合多个因子考虑。

关键词: 叶绿素 a; 湛江湾; 时空分布; 环境因子

中图分类号: Q178.53; X17

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2012)02-0236-08

海洋浮游植物是海洋食物网的初级生产者, 是海洋牧食食物链的基础环节, 叶绿素 a 的高低与特定海域浮游植物的种类、数量密切相关, 也与水环境质量有关, 是反映水体理化性质动态变化的生态学指标之一。叶绿素 a 的分布特征受光辐射、温度、透明度和营养盐等因素的综合影响, 因此, 研究叶绿素 a 在一定程度上不仅能够反映水质状况^[1], 而且有助于更深层次认识和掌握生态系统组分动态变化。有关叶绿素 a 及其与理化因子相关性研究在一些海区已有报道^[2-4], 而在不同的海域, 叶绿素 a 与环境因子的关系却大不相同, 如海南三亚的叶绿素 a 与无机氮呈显著正相关关系, 与其他的环境因子则是在一定的季节有正相关或负相关的关系^[2]; 胶州湾的叶绿素 a 只与其生物标记呈显著负相关关系, 与其他的环境因子则无显著相关性^[3]; 广西北海湾叶绿素 a 夏季与盐度、透明度呈极显著负相关关系, 与化学需氧量呈显著正相关关系^[4]。

湛江湾位于雷州半岛的东北方, 为一半封闭型海湾, 周围有岛屿形成天然屏障, 面积约为 90 km^2 。近年来伴随着人类的开发活动和扰动活动, 湛江湾海域呈现富营养化, 曾多次发生赤潮, 生态系统开始呈衰退态势。在该海域, 已有学者开展了赤潮生物^[5-7]和水体富营养化调查^[5,8], 浮游生物^[8]、重金属^[9]和氮、磷营养盐含量^[10]等方面的研究, 而与叶绿素 a 分布及其与环境因子相关性的研究迄今尚未见报道。从 2009-02 开始, 在湛江湾海域设立 28 个调查站位, 对该海域的物理、化学和生物因子实施了 1 周年 4 个季度的综合调查。根据 4 个航次的调查数据, 分析湛江湾叶绿素 a 的时空分布特征及其与主要环境因子的关系, 旨在深入了解该湾的生态环境状况, 为该海湾的环境治理和生态恢复提供科学依据。

* 收稿日期: 2010-10-27

资助项目: 国家海洋局公益性项目——基于海洋生态系统健康的雷州半岛海岸带主体功能区划分技术与示范(200905005-05)

作者简介: 章洁香(1984-), 女, 广东揭阳人, 硕士, 主要从事海洋生态学方面研究。E-mail: xa702@163.com

* 通讯作者, E-mail: zhangyb@gdou.edu.cn

(高 峻 编辑)

1 材料与方法

1.1 站位设置与样品采集

根据湛江湾的自然环境特点,调查共设 28 个站位(图 1)。湛江湾水域每年接纳市区、遂溪城区等地工业废水及未经任何处理的生活污水 1 亿余 t,污染严重,且呈上升的趋势,尤其是氨氮、磷和有机质的含量上升,海湾富营养化有加剧的趋势。由于从湾外至湾内的水动力逐渐减弱^[11-12],且为便于对比分析,将站位 1,2,3 为断面 I;站位 4,5,6,7 为断面 II;站位 8,9,10,11 为断面 III;站位 12,13,14 为断面 IV;站位 15,16,17 为断面 V;站位 18,19,20 为断面 VI;站位 21,22,23 为断面 VII;站位 24,25,26 为断面 VIII;站位 27 和 28 为断面 IX。

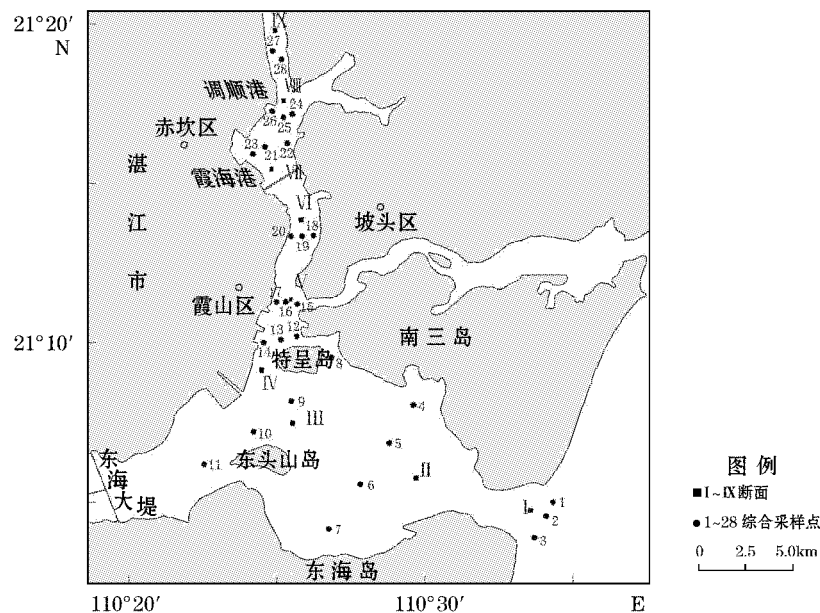


图 1 湛江湾采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in Zhanjiang Bay

4 个航次的采样分别在 2009-02-21(冬季)、2009-05-28(春季)、2009-08-21(夏季)和 2009-11-13(秋季)。根据《海洋监测规范》^[11],叶绿素 a 样品用 HQM-1 型有机玻璃采水器采集表层水样(离水面 0.5 m),装于事先用蒸馏水冲洗干净的聚乙烯瓶内,现场加适量饱和碳酸镁溶液固定防止酸化,立即带回实验室分析。

1.2 叶绿素 a 质量浓度的测定

叶绿素 a 质量浓度测定按照《海洋监测规范》采用丙酮萃取分光光度法^[13],使用的测试仪器为岛津 UV-2450 型紫外可见分光光度计。

1.3 主要环境因子分析

为探讨叶绿素 a 和其它主要环境因子的关系,在测定叶绿素 a 质量浓度的同时,也测定了主要环境因子。水温用 WNG-11 型表层温度表、盐度采用 Orion130A 盐度计、pH 采用 Orion 3star pH 计现场测定。其它指标测试水样带回实验分析,参照《海洋监测规范》中的测定方法^[13],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、硝氮(NO_3^- -N)采用锌镉还原比色法、亚硝氮(NO_2^- -N)采用盐酸萘乙二胺分光光度法、氨氮(NH_4^+ -N)采用靛酚蓝法、磷酸盐(PO_4^{3-} -P)采用磷

钼蓝分光光度法、硅酸盐($\text{SiO}_3^{2-}-\text{Si}$)采用硅钼黄分光光度法在实验室中测定。

1.4 数据处理与统计分析

叶绿素 a 与主要环境因子间的关系采用主成分分析(PCA),统计过程使用 Canoco for windows 4.5 软件按照国际通用标准完成。叶绿素 a 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

调查期间,湛江湾海域叶绿素 a 质量浓度变化范围为 $0.35 \sim 21.52 \text{ mg/m}^3$ (图 2), 年平均值 4.47 mg/m^3 , 最低值 0.35 mg/m^3 出现在秋季 13 站位, 最高值 21.52 mg/m^3 出现在夏季 3 站位。冬季, 叶绿素 a 质量浓度 4, 5, 6, 9 站较高, 其他站位偏低, 季节均值为 4.75 mg/m^3 。春季, 除 1, 2, 3, 6, 7 站叶绿素 a 质量浓度较高外(均高于 5 mg/m^3), 其他站位的叶绿素 a 质量浓度均为 $2.0 \sim 4.0 \text{ mg/m}^3$, 季节均值为 3.58 mg/m^3 。夏季, 叶绿素 a 质量浓度在 3 站位(21.52 mg/m^3)最高, 28, 24, 1 和 4 站位也比较高, 分别为 16.48 mg/m^3 , 13.77 mg/m^3 , 11.15 mg/m^3 和 10.84 mg/m^3 , 季节均值为 6.50 mg/m^3 。秋季, 叶绿素 a 质量浓度在 1 站位最高, 为 12.66 mg/m^3 , 2, 20, 7 站位的质量浓度也明显高于其他站位的, 为 10.66 mg/m^3 , 10.43 mg/m^3 , 9.09 mg/m^3 , 其他站位质量浓度

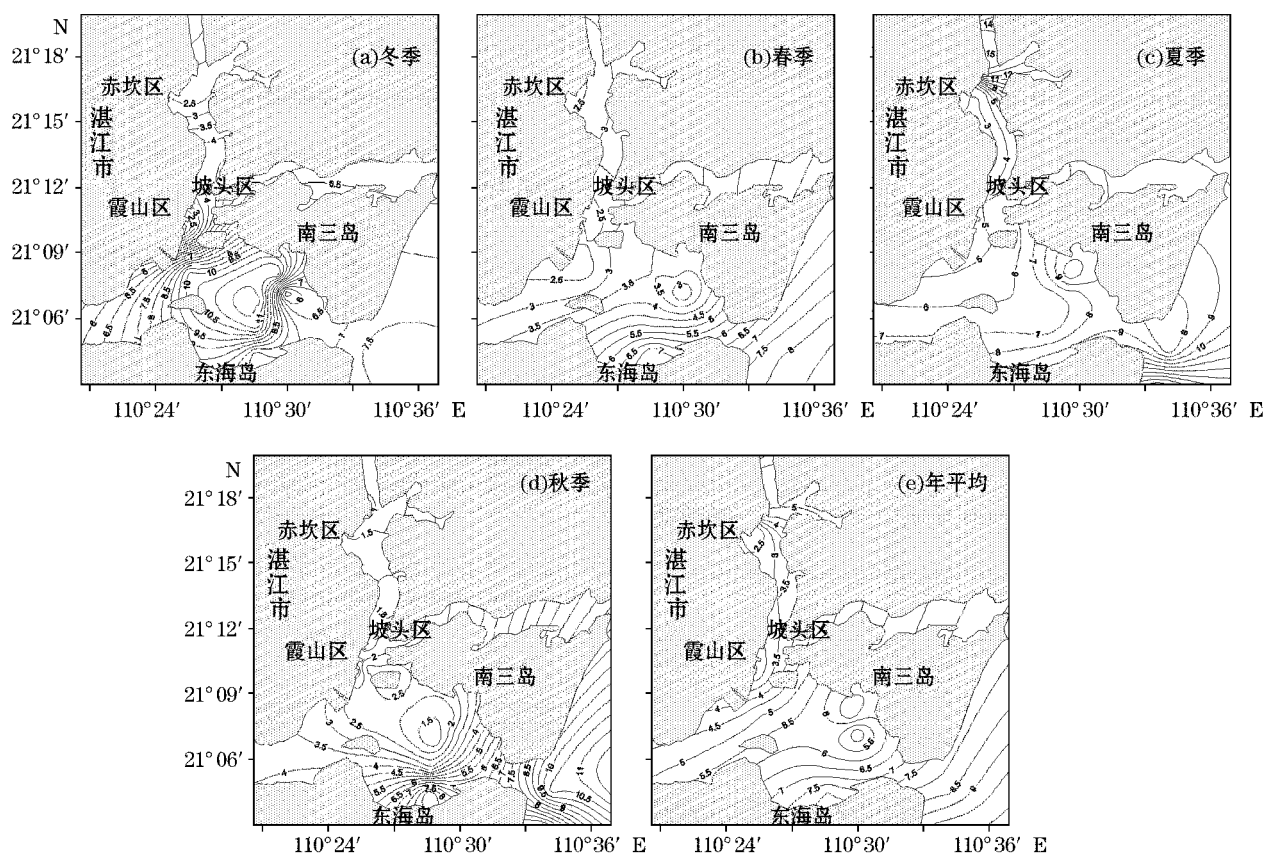


图 2 湛江湾叶绿素 a 分布($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Fig. 2 Distribution of chlorophyll-a concentration in Zhanjiang Bay($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

为 0~4.0 mg/m³, 季节均值为 3.01 mg/m³。总体而言, 湛江湾四季叶绿素 a 平均质量浓度由高到低排列分别为夏季(6.50 mg/m³)>冬季(4.75 mg/m³)>春季(3.58 mg/m³)>秋季(3.01 mg/m³)。

从断面分布(表 1)来看, 以断面 I 的年均值最高, 为 9.52 mg/m³, 其次有断面 II (6.78 mg/m³)、断面 III (4.63 mg/m³)、断面 IX (3.69 mg/m³)、断面 VIII (3.18 mg/m³), 较低为断面 V (2.97 mg/m³)、断面 VI (2.69 mg/m³)、断面 IV (2.61 mg/m³), 最低的为断面 VII 仅为 2.0 mg/m³。

表 1 湛江湾采样断面的叶绿素 a 质量浓度 (mg · m⁻³)
Table 1 Distribution of chlorophyll-a concentration in sampling transections of Zhanjiang Bay(mg · m⁻³)

断 面	2009-02	2009-05	2009-08	2009-11	平均值
I	7.58	8.22	13.33	8.95	9.52±2.60
II	10.26	5.01	8.05	3.79	6.78±2.93
III	6.75	2.65	6.17	2.94	4.63±2.13
IV	1.50	2.43	4.44	2.08	2.61±1.28
V	3.35	2.48	3.94	2.10	2.97±0.83
VI	4.4	2.79	1.57	1.98	2.69±1.25
VII	2.26	2.46	3.84	1.54	2.52±0.96
VIII	2.16	2.64	6.69	1.24	3.18±2.41
IX	1.14	2.94	9.35	1.33	3.69±3.86
平均值	4.38	3.51	6.38	2.88	4.29±3.02

从整个调查的海域来看(图 2), 冬季(2 月)的叶绿素 a 分布表现为由南三岛附近海域(即断面 II 和 III)向外海和沿岸递减, 春季(5 月)、夏季(8 月)和秋季(11 月)有着相似的分布格局, 即叶绿素 a 质量浓度呈现由外海向沿岸递减的态势。叶绿素 a 质量浓度年均值的水平分布趋势为外海向沿岸递减。

2.2 叶绿素 a 与主要环境因子的关系

对湛江湾海域中 14 个主要环境因子的 PCA 排序结果见图 3。而排序的 4 个轴中, 其方差累计百分比分别为 28.8%, 50.0%, 63.9%, 71.8%。前 2 个轴(特征值 λ₁=0.288, λ₂=0.212)捕捉了 63.9% 的累计方差。湛江湾海域主要环境因子 PCA 分析中, 按照贡献率大小, 分为 3 组。从大到小为溶解性无机氮、氨氮、硅酸盐、硝酸盐、磷酸盐、悬浮物(第 1 组), 盐度、溶解氧、pH(第 2 组), 水温、亚硝酸盐、化学耗氧量、总有机碳(第 3 组)。各个环境变量之间的相关性可由它们之间夹角的余弦值得出, 叶绿素 a 与 pH、盐度呈现极显著正相关, 与氨氮、硝氮、硅酸盐、悬浮物、磷酸盐和无机氮(DIN)呈极显著负相关(图 3)。

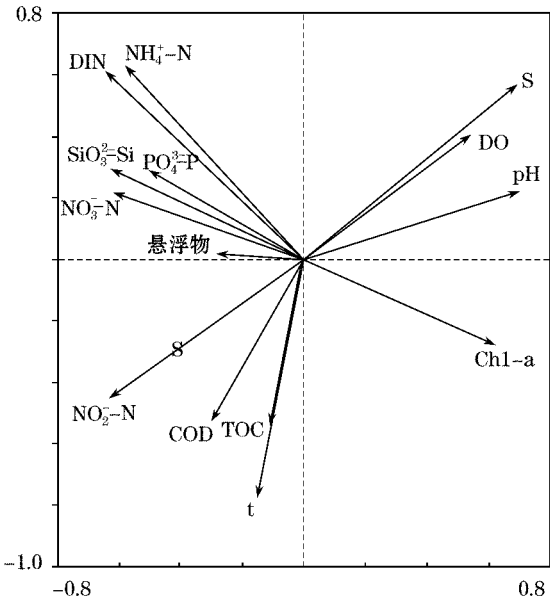


图 3 湛江湾海域中主要环境因子的 PCA 分析
Fig. 3 PCA analysis for main environmental factors in Zhanjiang Bay

2.3 水体营养状况评价

叶绿素 a 质量浓度的高低可作为判断水体富营养化程度的指标。一般认为,叶绿素 a 质量浓度在 $1\sim 10\text{ mg/m}^3$, 作为富营养化的阈值^[14]。现在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 a 质量浓度为单一评价标准对海区进行富营养化评价, 评价标准为 $\rho_{\text{叶绿素a}} > 10\text{ mg/m}^3$, 富营养化; $4\text{ mg/m}^3 \leq \rho_{\text{叶绿素a}} \leq 10\text{ mg/m}^3$, 中营养化; $\rho_{\text{叶绿素a}} < 4\text{ mg/m}^3$, 贫营养化。按上述标准的湛江湾海域各断面富营养化评价结果见表 2, 冬季断面 II 呈现富营养化, 断面 I 和 VI 呈现中营养化, 其它断面呈现贫营养化。春季, 断面 I 和 II 呈现中营养化, 其它断面呈现贫营养化。夏季, 断面 I 呈现富营养化, 断面 II, III, IV, VIII, IX 呈现中营养化, 其它断面呈现贫营养化。

秋季, 断面 I 呈现中营养化, 其它呈现贫营养化。全年来看, 断面 I, II, III 呈现中营养化, 其它断面呈现贫营养化。

以叶绿素 a 为标准的水体营养状况评价结果显示湛江湾海域的水体营养状况多为中营养或贫营养状态 (表 2), 而以营养盐和化学耗氧量 (本实验室未发表数据) 为评价指标得出的评价结果却为富营养化状态, 2 种方法的评价结果不一。

3 讨 论

湛江湾叶绿素 a 与其他海域的季节分布有所不同。同处于热带、亚热带之间的北海湾, 由于受陆源输入和强劲的西南季风影响, 叶绿素 a 质量浓度表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季的季节变化模式^[4]; 在温带的河北养殖海区, 同样受到贝类摄食影响的条件下, 受气温、陆源输入不同的影响, 叶绿素 a 质量浓度表现为冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季的季节变化模式^[15]; 大规模增养殖区柘林湾^[16], 与湛江湾不同之处在于, 前者为鱼类网箱养殖, 湾内没有贝类摄食影响, 且受到潮汕地区气候的影响, 陆地径流减少, 盐度异常升高, 叶绿素 a 质量浓度表现为夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季的季节变化模式; 而在同样受到陆源输入影响较大的香港海域, 叶绿素 a 质量浓度的季节分布^[17], 由于温度以及悬浮物的影响, 呈现夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季的季节变化模式。由此可见, 在沿岸海湾, 叶绿素 a 的季节变化不一, 模式多样。

在湛江湾海域, 叶绿素 a 质量浓度最高出现在夏季 (8 月航次), 可能是因为湛江湾此时处于丰水季节, 河流径流量大, 营养盐丰富, 加上日照时间长, 浮游植物繁殖快, 故叶绿素 a 质量浓度较高, 长江口邻域^[18] 和香港海域^[17] 的研究结果也显示雨水多、陆源径流增加的夏季叶绿素 a 质量浓度出现峰值。较多的海域叶绿素 a 质量浓度的季节峰值出现在春季^[15, 18-19], 原因也是这一季节陆源径流骤增, 大量营养盐、适宜的水温和光照的作用下, 浮游植物大量繁殖, 导致叶绿素 a 质量浓度出现峰值。我们的研究中, 湛江湾的春季 (5 月航次) 叶绿素 a 质量浓度较冬季低, 出现这种现象的原因可能与此时较低的 Si/P 比 (9.8)、硅离子限制硅藻类浮游植物的生长有关。冬季 (2 月航次) 的叶绿素 a 质量浓度也较高, 这种现象在亚热带的沿岸海区比较少见, 但在热带和亚热带南缘海区较为常见, 缘于冬季出现回暖现象^[4, 20], 湛江湾海域处于北回归线以南较低的纬度地区, 属热带北缘海洋性气候, 冬季航次实测水温均值达到 $22.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冬季叶绿素 a 质量浓度较高可能主要与气候有关, 2009-02 湛江地区已经处于春季的开始, 具有降水较多, 气温较高等地理因素特征。秋季

表 2 2009 年湛江湾海域的富营养化评价

Table 2 Assessment of eutrophication in Zhanjiang Bay

断面	冬季	春季	夏季	秋季	年均值
I	中	中	富	中	中
II	富	中	中	贫	中
III	中	贫	中	贫	中
IV	贫	贫	中	贫	贫
V	贫	贫	贫	贫	贫
VI	中	贫	贫	贫	贫
VII	贫	贫	贫	贫	贫
VIII	贫	贫	中	贫	贫
IX	贫	贫	中	贫	贫

的叶绿素 a 质量浓度最低(11 月航次),湛江湾进入枯水季节,夏季浮游植物繁殖消耗了大量的营养盐,加上陆源径流输入的营养盐减少,营养盐补充不足会直接导致浮游植物减少、叶绿素 a 质量浓度降低^[16],较低的 Si/P 比(15.54 : 1)可能也是原因之一。

在沿岸海域和海湾,由于受陆源径流营养盐分布的影响,叶绿素 a 质量浓度的水平分布多呈现湾内向湾外递减的态势^[21-22]。湛江湾叶绿素 a 质量浓度的水平分布却呈现沿岸的湾内向湾外递增的格局,与黄长江等人研究的柘林湾有着相似的分布格局^[16],但是柘林湾呈现由湾外向湾内递减的分布格局,是由于高密度、大规模海水增养殖业引起的水流不畅、水下光照减弱,外界水体率低而由此造成柘林湾的营养盐全面过剩,营养盐对浮游植物生长繁殖的调控作用相对减弱。在赤潮多发区深圳湾,叶绿素 a 质量浓度的水平分布由湾内向湾外递减,营养盐和有机物的陆源输入是影响叶绿素 a 质量浓度分布格局的重要因素^[21]。在香港海区^[17],叶绿素 a 的水平分布亦为由内向外递减,缘于珠江河的输入,受悬浮物含量过大和垂直混合的影响,使得近岸海域光照限制浮游植物生长,以致靠近沿岸的站位低于远岸站位。湛江湾,营养盐的水平分布格局与叶绿素 a 的水平分布格局相反,所以营养盐不是影响叶绿素 a 的水平分布的主导因子。湛江湾叶绿素 a 出现外海向沿岸递减的分布格局,与湛江湾湾内海域有一定规模的贝类养殖有关,研究表明在贝类养殖区由于贝类的滤食,叶绿素 a 会偏低^[15-16]。另外,湛江湾是一个较封闭的内湾,与外界水体的交换完全取决于东海岛与南三岛、南三岛与坡头区两处狭窄的湾口的潮流交换过程以及少量在北部的陆地径流。湛江湾的西南方被湛江市麻章区湖光镇与东海岛之间的东海大堤所封闭(图 1),水流交换差,已有研究表明,水动力交换不畅的海域,叶绿素 a 含量下降^[16]。我们认为,湾内的贝类养殖和水流交换不畅可能是导致湛江湾叶绿素 a 质量浓度水平分布格局的重要因素,基于生态因子的多样性和复杂性,这种分布格局及其成因有待于进一步的调查和研究。

在 2009 年度 4 个航次对湛江湾的研究调查中,盐度与营养盐均受陆源径流的影响,在越接近湾内的地方,盐度越低,营养盐相对较高,叶绿素 a 的水平分布格局与盐度的分布相一致,而与营养盐相反,因此浮游植物生物量叶绿素 a 与盐度呈显著的正相关,而与氮、磷、硅营养盐呈显著的负相关。浮游植物多的海域,光合作用量大,能较多的消耗水体中 CO₂,导致水体中 O₂ 含量上升 CO₂ 量下降而使得水体 pH 值有所上升^[23]。叶绿素 a 从湾内向湾外递增,也使得光合作用量从湾内向湾外递增,导致 pH 值与叶绿素 a 具有一致的水平分布格局,而呈现极显著正相关。海洋是一个巨大的缓冲体系,海水对 pH 变化有较好的缓冲性能^[14],叶绿素 a 与 pH 的显著正相关,可能还与多种因素的综合影响结果有关。而在其他的各个海区,叶绿素 a 与主要环境因子的相关性有所不同,同一个指标的相关性也不同,如在上述对香港海域长期的研究中^[24],从 1985—2005 年,香港海域叶绿素 a 持续增加,而叶绿素 a 与悬浮物含量呈显著负相关关系;在渤海湾^[25],通过 MODIS 图像为数据源,整个渤海湾表征叶绿素 a 的叶绿素与海域温度没有十分明显的空间分布相关性;而在地中海东部^[26],浮游植物总生物量与温度呈极显著负相关关系,与其他的营养盐指标则无相关性。影响叶绿素 a 的环境因子在不同的海域而各有不同,由此可见,环境因子与叶绿素 a 之间关系的复杂性。

以叶绿素 a 为标准的评价结果与营养盐和化学耗氧量为标准的评价结果一致^[18,21],因此在一定程度上,以叶绿素 a 为单一评价标准得出的水体营养化评价结果的科学性和可信度尚值得商榷,由单一的评价指标得出水体营养状态,可能不能全面反应水体营养状态,应该根据多个参数指标综合分析评价水体营养化状态,为海湾水体富营养化所产生影响的正确评估提供科学依据。

4 结 论

对湛江湾叶绿素 a 时空分布特征及其与主要环境因子的关系研究表明,2009 年度叶绿素 a 变化范围为 0.35~21.52 mg/m³,年平均值 4.47 mg/m³,叶绿素 a 有明显的季节变化和水平分布差异。在季节上,叶绿素 a 呈现夏季>冬季>春季>秋季的变化模式;在水平分布上,呈从外海向沿岸递减的格局。叶绿素 a 与 pH、盐度呈现极显著正相关,与氨氮、硝氮、硅酸盐、悬浮物、磷酸盐 and 无机氮(DIN)呈极显著负相关。湛江

湾叶绿素 a 无论在季节变化、水平分布还是与环境因子的相互关系上,与其他海域有所不同,体现了其复杂性,深入系统理解湛江湾叶绿素 a 的时空分布规律及其与环境因子的相互关系,需要长期的定位观测和研究。

参考文献(References):

- [1] PAN Y L. Primary production in marine ecosystem[J]. Marine Science, 1987, (11): 62-65. 潘友联. 海洋中的初级生产力[J]. 海洋科学, 1987, (11): 62-65.
- [2] ZHOU W H, LI T, CAI C H, et al. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton and bacterioplankton biomass in Sanya Bay, Northern South China Sea[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21: 595-603.
- [3] PENG Y, YU Z G, DENG C M, et al. Spatial temporal distribution of phytoplankton pigments in relation to nutrient status in Jiaozhou Bay, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2010, 89: 234-244.
- [4] TONG W P, WEI M X, LAI T H. Distribution characteristics and influenced factors of Chl-a in Beihai Bay[J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(1): 34-37. 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.
- [5] ZHANG L Z, YU L, TANG M S. Eutrophication and red tide in coastal waters of Zhanjiang port[J]. Water Resour Protection, 2009, 25(2): 50-54. 张立柱, 余雷, 唐谋生. 湛江港湾水域富营养化与赤潮浅析[J]. 水资源保护, 2009, 25(2): 50-54.
- [6] ZHANG C X. Survey on the species of the Red Tide Organisms in Zhanjiang Harbor Area[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, 24(6): 28-31. 张才学. 湛江港附近海域赤潮生物的种类调查[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(6): 28-31.
- [7] LÜ S H, QI Y Z, QIAN H L, et al. Studies on phytoplankton and red tide causative species in Zhanjiang Harbour, South China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1994, 25(2): 190-196. 吕颂辉, 齐雨藻, 钱宏林, 等. 湛江港浮游植物与赤潮植物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 190-196.
- [8] PENG K L, JIA H L. Level of eutrophication and phytoplankton diversity outside the Zhanjiang Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(2): 113-116. 彭昆仑, 贾后磊. 湛江港外海水富营养化水平与浮游植物多样性[J]. 海洋通报, 2007, 26(2): 113-116.
- [9] ZHANG X Y, HUANG C J. Distribution and source of heavy metal elements in sediments of Zhanjiang Harbor[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(5): 91-96. 张笑宇, 黄长江. 粤西湛江港海底沉积物重金属的分类特征与来源[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(5): 91-96.
- [10] TANG M S, FANG H P, LU J, et al. Nitrogen, phosphorus concentrations and distribution feature of the nutrient in seawater of Zhanjiang Port[J]. Environmental Protection in Transportation, 2000, 21(6): 30-36. 唐谋生, 方和平, 路静, 等. 湛江港海水中氮、磷含量及其营养盐的分布特征[J]. 交通环保, 2000, 21(6): 30-36.
- [11] XIAN X P, CHEN D. The research for the environmental problems in Zhanjiang Bay[J]. Ocean Development and Management, 2004, 1: 26-30. 洗献波, 陈东. 对湛江市海湾环境问题的探讨[J]. 海洋开发与管理, 2004, 1: 26-30.
- [12] WU Z Z. The preliminary discussion on water exchange capacity and environmental capacity in Zhanjiang Bay[J]. Environmental Protection In Transportation, 1991, 3: 4-8. 吴卓智. 湛江港海湾水交换能力及环境容量的初步探讨[J]. 交通环保, 1991, 12(3): 4-8.
- [13] GB17378—2007 Specification for marine monitoring [S]. Beijing: China Standard Press, 2007. GB17378—2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [14] SHEN G Y, SHI B Z. Marine Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002, 33: 398-406. 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2002, 33: 398-406.
- [15] SUN G Q, WANG L S, ZHENG X R, et al. The distribution of chlorophyll a in the area of seashell breed aquatics and the estimation of primary productivity[J]. Hebei Fishery, 2008, 9: 95-96. 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]. 河北渔业, 2008, 9: 95-96.
- [16] HUANG C J, DONG Q X, WU C W, et al. Spatial-temporal distribution of chlorophyll a in the Zhelin Bay-A large-scale maricultural area[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 126-134. 黄长江, 董巧香, 吴常文, 等. 大规模增养殖区柘林湾叶绿素 a 的时空分布[J]. 海洋学报, 2005, 27(2): 126-134.
- [17] HO A Y T, XU J, YIN K D, et al. Phytoplankton biomass and production in subtropical Hong Kong waters: Influence of the Pearl River outflow[J]. Estuaries and Coasts, 2010, 33: 170-181.
- [18] ZHOU W H, YUAN X C, HUO W Y, et al. Distribution of chlorophyll-a and primary productivity in the adjacent sea area of Changjiang River Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(3): 441-441. 周伟华, 袁翔城, 霍文毅, 等. 长江口邻域叶绿素 a 和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 441-441.
- [19] PAN Y L, GUO Y J, ZENG C K. Vertical and seasonal variations of chlorophyll-a concentration in the inlet of Jiaozhou Bay, Qingdao

- [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1995, 26(1): 21-27. 潘友联, 郭玉洁, 曾呈奎. 胶州湾口内海水中叶绿素浓度周年变化和垂直分布[J]. *海洋与湖沼*, 1995, 26(1): 21-27.
- [20] SONG X Y, HUANG L M, TAN Y H, et al. Distribution characteristics of primary production and its influence factors in Sanya Bay, Hainan Island during Northeast Monsoon Period[J]. *Marine Science Bulletin*, 2009, 28(6): 34-39. 宋星宇, 黄良民, 谭烨辉, 等. 东北季风期海南岛三亚湾初级生产力分布特征及其影响因素[J]. *海洋通报*, 2009, 28(6): 34-39.
- [21] ZHANG Y B, ZHANG J X, CHEN W H, et al. The spatial and temporal distribution of chlorophyll- a and the influencing factors in Shenzhen Bay with frequent occurrence of red tide[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1638-1643. 张瑜斌, 章洁香, 陈卫华, 等. 赤潮多发区深圳湾叶绿素 a 的时空分布及其与主要环境因子的关系[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1638-1643.
- [22] FU M Z, WANG Z L, SUN P, et al. Spatial distribution characteristics and the environmental regulation mechanisms of phytoplankton chlorophyll a in Southern Yellow Sea during summer 2006[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5367-5374. 傅明珠, 王宗灵, 孙萍, 等. 2006 年夏季南黄海浮游植物叶绿素 a 分布特征及其环境调控机制[J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5367-5374.
- [23] MENG W L. Experimental researches on eutrophication of reservoir water on the outskirts of Chongqing[D]. Chongqing: Chongqing University, 2005. 蒙万轮. 重庆郊区水库水体富营养化试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [24] XU J, YIN K D, LEE J H W, et al. Long-term and sea seasonal changes in nutrients, phytoplankton biomass, and dissolved oxygen in Deep Bay, Hong Kong[J]. *Estuaries and Coasts*, 2010, 33: 399-416.
- [25] ZOU B, ZOU Y R, JIN Z G. Analysis of characteristics of seasonal and spatial variations of SST and Chlorophyll Concentration in the Bohai Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(4): 447-492. 邹斌, 邹亚荣, 金振刚. 渤海海温与叶绿素季节空间变化特征分析[J]. *海洋科学进展*, 2005, 23(4): 447-492.
- [26] KORMAS K A, GARAMETSI V, NICOLAIDOU A. Size-fractionated phytoplankton chlorophyll in an Eastern Mediterranean coastal system (Maliakos Gulf, Greece)[J]. *Helgolander Marine Research*, 2002, 56: 25-133.

The Spatial and Temporal Distributions of Chlorophyll-a and Its Relationship With Main Environmental Factors in Zhanjiang Bay in 2009

ZHANG Jie-xiang, ZHANG Yu-bin, SUN Xing-li

(Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The spatial and temporal distributions of chlorophyll-a in Zhanjiang Bay were surveyed in four seasons from Feb. to Nov. in 2009, and the relationship between chlorophyll-a and main environmental factors was studied. The chlorophyll-a ranged from 0.35 to 21.52 mg/m³, with an annual average of 4.47 mg/m³. The seasonal change of chlorophyll-a was found in summer (6.50 mg/m³), followed by in winter (4.75 mg/m³), spring (3.58 mg/m³) and autumn (3.01 mg/m³) in turn. In horizontal distribution, the chlorophyll-a in winter was descending from middle Nanshan Island sea area to coastal area and outside of the bay, while its degression was from outside bay to inner bay in spring, summer and autumn. The annual average distribution of the chlorophyll-a had a trend of descending from sea to coastal area. PCA analysis showed that the chlorophyll-a was significantly positive related to pH, salinity, but significantly negative correlated with NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, SiO₃²⁻-Si, PO₄³⁻-P and DIN. Results indicated that the trophic status of the Zhanjiang Bay was middle-trophic or oligotrophic according to superficial chlorophyll-a as an assessment criterion. This was different from the criterion of nutrient and COD, suggesting the multiple ecological factors should be integratively considered for trophic assessment in this bay.

Key words: chlorophyll-a; Zhanjiang Bay; spatial and temporal distribution; environmental factors

Received: October 27, 2010