

泉州湾初级生产力的时空变化特点

陈兴群¹, 林荣澄¹, 唐森铭¹

(1. 国家海洋局 第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

关键词: 泉州湾; 叶绿素 a; 初级生产力; 浮游植物

中图分类号: Q 178. 534

文献标识码: A

文章编号: 0253- 4193(2007) 01- 0161- 09

1 引言

近海港湾浮游植物的春季藻华, 初级生产力的分布和变化及其与环境物理化学之间的相互关系已有许多研究, 如: 潮汐对浮游植物藻华形成的驱动作用^[1], 垂直稳定或混合对浮游植物生物量粒级分布和初级生产力的影响^[2-5], 控制港湾浮游植物藻华的过程^[6-10], 营养盐类对浮游植物生长的限制^[11,12]以及浮游植物季节性藻华^[13]等. 泉州湾位于福建省东南沿海, 东临台湾海峡, 面积为 128. 18 km², 其中滩涂面积为 80. 42 km², 水域面积为 47. 46 km², 由于湾内浅湾、滩涂、岛屿、礁石众多, 同时有晋江、洛阳江等河流注入, 构成了海产动植物栖息生长繁衍的生态环境. 据报道, 该湾经济水生物近 200 种, 可供增殖的有 30 多种, 由于晋江、洛阳江, 尤其是晋江的冲淡水携带了大量的有机物质和营养盐类汇入, 营养盐总氮年平均达 381. 11 mg/m³, 磷酸盐达 16. 09 mg/m³^[14]. 毫无疑问, 丰富的有机物质和营养盐类对于基础饵料, 尤其是浮游植物的发生、分布和变化起着调控作用, 但该湾初级生产力的一般状况及营养调控的动力学迄今未有详细的专题研究, 本文研究了该湾的年初级生产量及其分布和变化, 同时分析了水文状况、营养盐的分布及与初级生产力之间的关联, 以探讨这三者之间的动力学过程.

2 材料和方法

调查共进行了 4 个航次, 分别于 2001 年 11 月,

2002 年 2, 5, 8 月大潮期间进行, 布设 15 个调查站位(图 1), 广布整个海湾, 调查内容有叶绿素 a 和初级生产力观测, 同时期选择其中相邻 3 个站位作为周日同步连续叶绿素 a 的观测, 每 3 h 观测一次; 除 8 月大潮调查开始之前两天海区受台风影响, 水体受扰动外, 其余航次的天气状况均比较好. 叶绿素 a 和初级生产力的观测方法依照《海洋调查规范——海洋生物调查》并参阅《海水化学和生物分析方法》一书及 Cadee 的文章^[15-17]. 实验步骤如下: (1) 叶绿素 a: 使用 2. 5 dm³ GCC- 2 型有机玻璃采水器采取各层水样. 每层水样取 250 mL, 加入两滴 1% 碳酸镁溶液, 用 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤, 滤膜用 90% 丙酮萃取, 定容至 10 mL, 低温下萃取 20 h 后, 萃取液用 Turner (Turner 10- AU) 荧光仪进行测定; (2) 初级生产力: 根据水体透明度采取 100%, 10% 和 1% 表

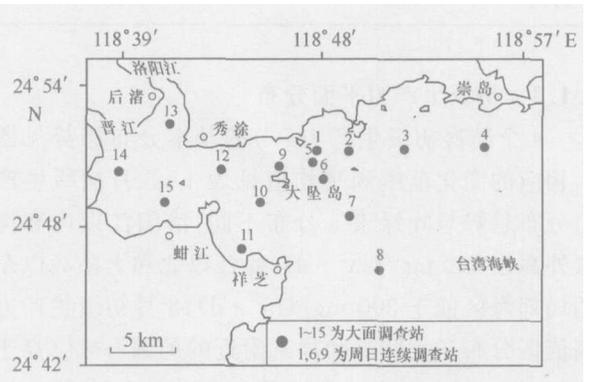


图 1 泉州湾初级生产力调查站位

收稿日期: 2005-04-30; 修订日期: 2005-12-27.

基金项目: 国家海洋局海洋科技计划资助项目(A01305).

作者简介: 陈兴群(1953-), 男, 福建省连江县人, 研究员, 从事海洋生态学研究. E-mail: chenxq@public.xm.fj.cn

面入射光达到的深度的水样,各层水样均取 3 个分样进入培养瓶(二白一黑),加入 ^{14}C 示踪液,放于培养箱中,在自然光和现场流水的条件下培养 4 h 以上,然后用微孔滤膜立即过滤,滤膜经酸熏后置闪烁瓶中保存,最后加入闪烁液并在液体闪烁计数器(LS 6500)上进行测定。

同步调查还有水体浮游植物种群组成、数量和优势种,以及无机氮和活性磷等营养盐的测定,浮游植物种群结构和营养盐分析的详细资料在有关专门的数据报告中涉及¹⁾,本文仅引用有关的部分数据。

3 结果

3.1 泉州湾海域 4 个航次大潮期间的初级生产力

3.1.1 叶绿素 a 的平面分布

泉州湾 5, 8, 11 和 2 月大潮期间叶绿素 a 的变化范围和平均值列于表 1, 不同月份叶绿素 a 的分布趋势见图 2. 根据图表所示, 其基本的变化为: 5 月

平面分布由湾顶向湾口递减, 湾顶高于 10 mg/m^3 , 湾口低于 3 mg/m^3 ; 8 月相对高值区位于大坠岛和蚶江之间至湾顶. 11 月平面分布由湾顶向湾口递减, 湾顶高于 5 mg/m^3 , 湾口则低于 1 mg/m^3 , 大坠岛附近海区叶绿素 a 变化较大, 达 5 mg/m^3 . 2 月表层叶绿素 a 平面分布与 11 月的比较相似, 由湾顶向湾口递减, 湾顶高于 5 mg/m^3 , 湾口则低于 1.5 mg/m^3 , 大坠岛附近海区为 $1.5\sim 2\text{ mg/m}^3$ 的叶绿素 a 分布区. 在所有航次的大潮调查中, 可以看出分布上的两个明显特点: 一是表层分布趋势与底层相似; 二是晋江口外的站 14, 每个航次叶绿素 a 测值均为所有测站中最高, 但不同航次的测值差异明显, 2 月(冬季)该站测值为 4 个大潮航次中最高, 达 15.50 mg/m^3 , 其次 5 月为 14.95 mg/m^3 , 8 月(夏季)最低, 仅为 1.45 mg/m^3 , 与 2, 5 月的测值比较, 相差约 10 倍.

泉州湾表、底层叶绿素 a 季节变化明显(见表 1), 5 月是叶绿素 a 的峰期, 2 月和 11 月接近, 8 月出现低值(仅 1 mg/m^3 左右).

表 1 泉州湾不同调查航次平均(±s. d., n=15)叶绿素 a、初级生产力和浮游植物总数量的变化

	表层叶绿素 a/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	底层叶绿素 a/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	初级生产力/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	浮游植物总数量/个· dm^{-3}
5 月	5.09 ± 3.37	4.35 ± 2.37	378.10 ± 144.0	$157\ 067\pm 363\ 541$
8 月	0.93 ± 0.40	1.07 ± 0.44	135.77 ± 84.30	$17\ 169\pm 20\ 312$
11 月	3.59 ± 2.38	2.47 ± 1.39	130.49 ± 59.69	$321\ 754\pm 297\ 644$
2 月	2.82 ± 3.58	2.00 ± 0.67	130.15 ± 86.09	$162\ 996\pm 467\ 678$

3.1.2 初级生产力平面分布

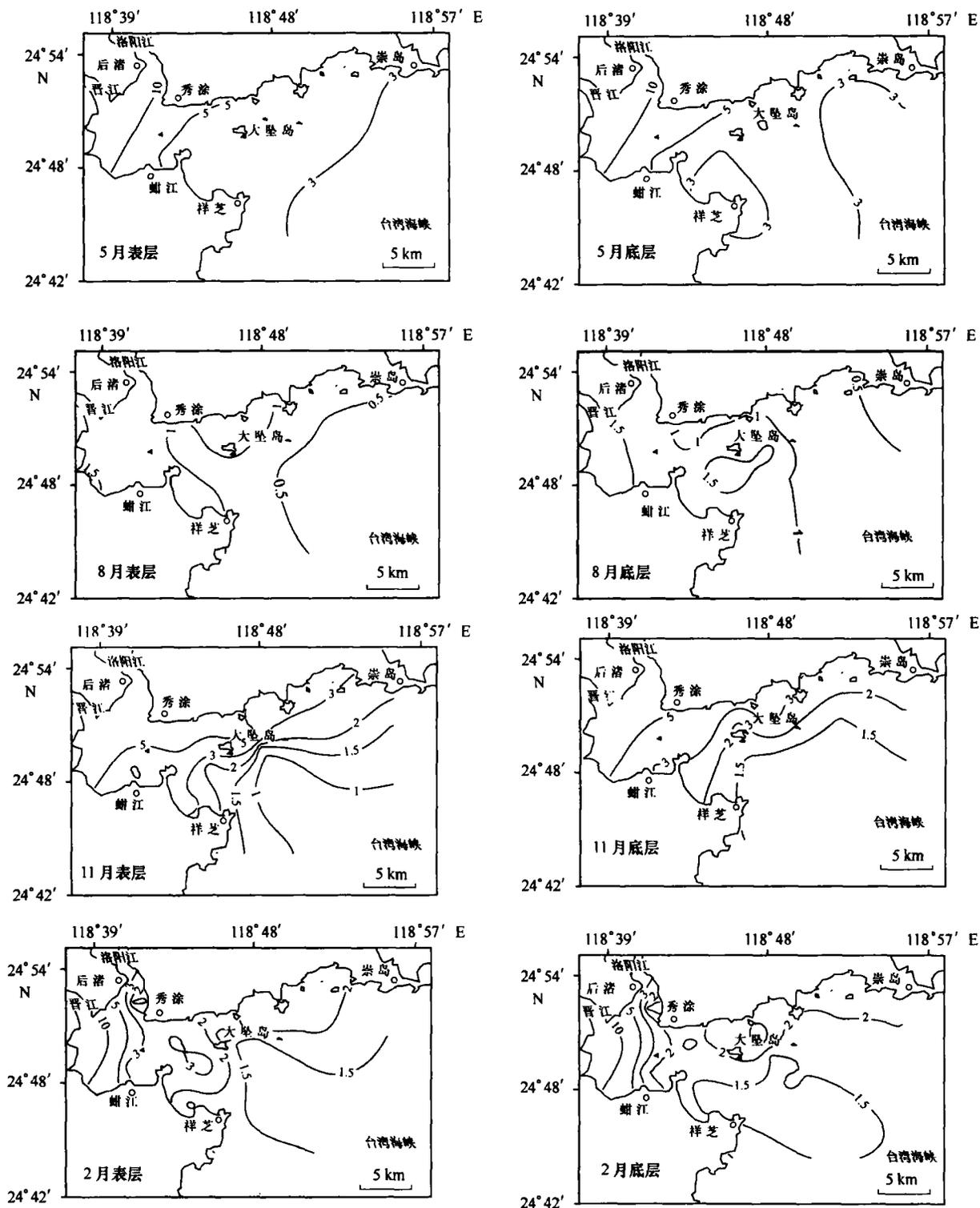
4 个航次初级生产力(C)的基本分布趋势见图 3, 相应的变化范围和平均值见表 1. 5 月初级生产力分布趋势与叶绿素 a 分布不同, 洛阳江以内和湾口外高于 $500\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 蚶江以北和大坠岛以东的局部海区低于 $300\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; 8 月初级生产力高值区分布于大坠岛和祥芝附近的局部海区[(高于 $150\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$), 11 月, 总分布趋势如表层叶绿素 a, 即湾顶高于湾口, 达 $150\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 湾口则低于 $100\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 但在大坠岛和祥芝附近的局部海区高于 $200\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 如同叶绿素 a 分布, 大坠岛附近海区为初级生产力高值区[$\geq 150\text{ mg}/$

$(\text{m}^2\cdot\text{d})$]. 2 月初级生产力分布趋势与表层叶绿素 a 分布不同, 即湾顶部和湾口外高于 $200\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 湾内大部分海区为 $100\text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 左右, 大坠岛附近海区初级生产力变化明显. 泉州湾初级生产力的季节变化见于表 1, 与叶绿素 a 分布趋势相似, 5 月是初级生产力的峰期.

3.2 泉州湾叶绿素 a 的周日变化

各调查航次表层叶绿素 a 及潮汐的周日变化见图 4, 从图中可看出: 相邻站位的周日变化趋势及量值一致(2, 5, 8 月)或基本一致(11 月), 叶绿素 a 的量值变化与潮位变化相反, 随着涨潮叶绿素 a 测值降低, 随着退潮而升高.

1) 福建省惠安核电厂附近海域海洋生物及其生态环境调查和观察——数据报告, 2003.

图2 泉州湾不同季节大潮期间表、底层叶绿素 *a* 的平面分布

3.3 不同航次大潮期间浮游植物的分布

浮游植物的分析表明(表2): 除8月航次外, 其他航次均以中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)为优势种, 分别占表层平均数的60%~90%, 中肋骨

条藻(*Skeletonema costatum*)属于广温广盐广分布种, 尤以沿岸分布最多, 是虾蟹幼体和贝类的优良饵料, 其他优势种还有具槽直链藻(*Melosira sulcata*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschoides*)等,

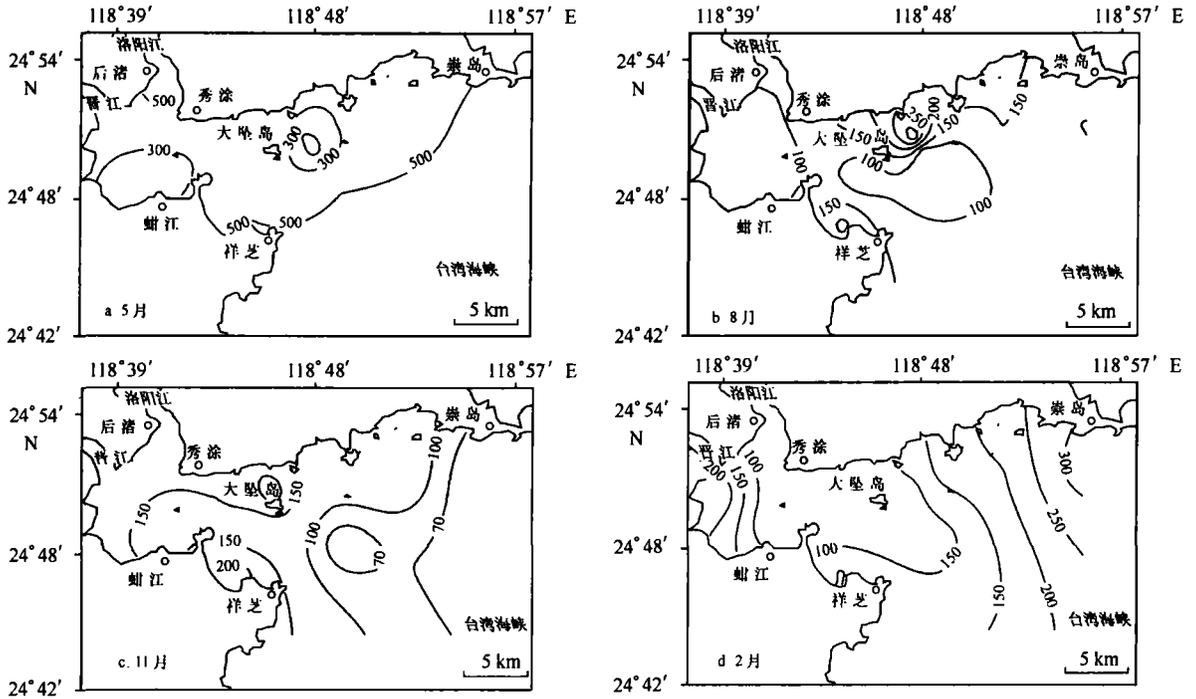


图 3 泉州湾不同季节大潮期间初级生产力的平面分布

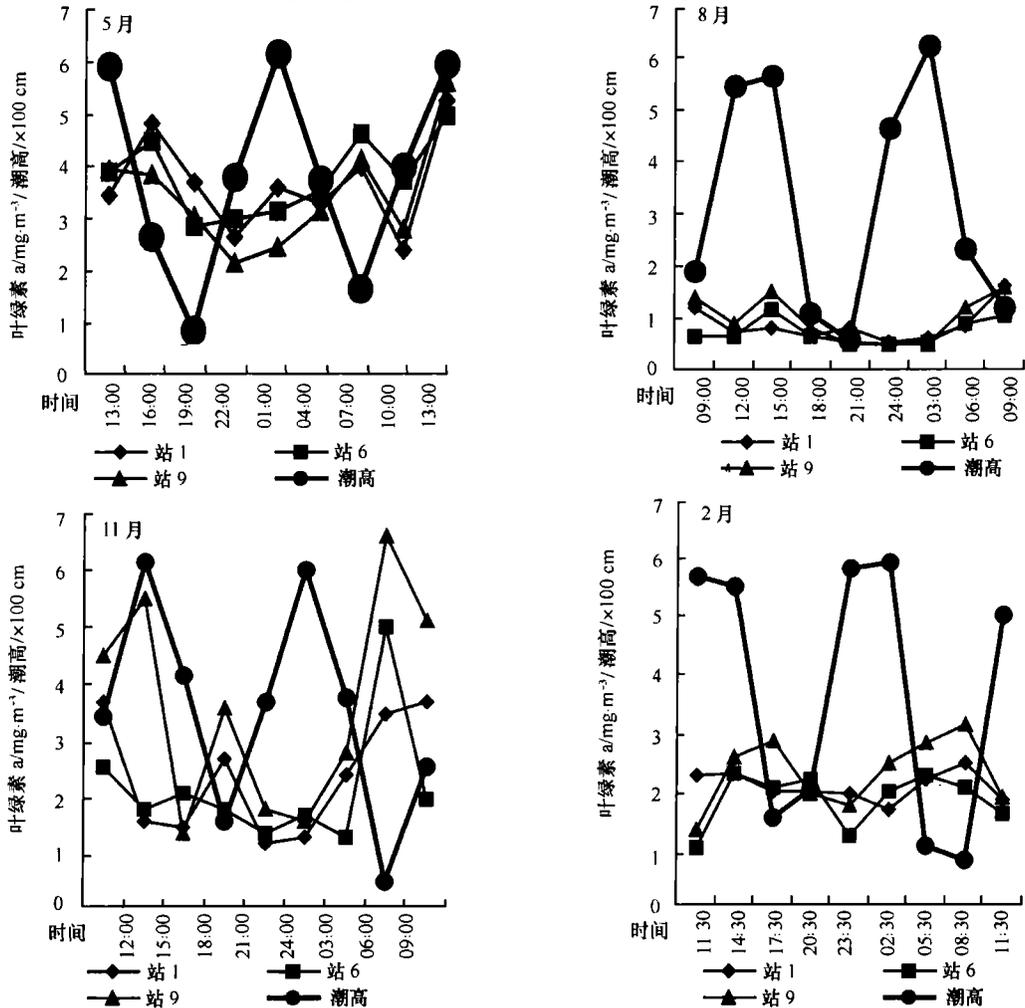


图 4 泉州湾 5, 8, 11, 2 月连续点表层叶绿素 a 周日变化与潮汐的关系

这些藻类均属于近岸比较常见的种类. 其中站 14 位及其周围海区是高值分布区. 站 14 位于晋江口外, 4 个调查航次中除 8 月外, 中肋骨条藻均出现

“藻华”现象, 尤其在春季和冬季, 达到 140×10^4 个 / dm^3 左右, 分别占该测站总细胞数量的 97% 和 75%.

表 2 不同航次大潮期间表层浮游植物优势种、最高测值站位及其数量

航次	浮游植物 优势种名	优势种数量(15个 测站平均值) $/ \times 10^4$ 个 $\cdot \text{dm}^{-3}$	最高 测值 站位	最高测值站浮 游植物总数量 $/ \times 10^4$ 个 \cdot dm^{-3}	最高测值站 第一优势种名	第一优势 种数量/ $\times 10^4$ 个 \cdot dm^{-3}
春季(5月)	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	13.62	站 14	146	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	142
	柔弱菱形藻 <i>Nitzschia delicatissima</i>	1.66				
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	1.50				
	新月筒柱藻 <i>Cylindrotheca closterium</i>	1.07				
夏季(8月)	活动盒形藻 <i>Biddulphia mobiliensis</i>	0.53	站 1	8.5	活动盒形藻 <i>Biddulphia mobiliensis</i>	7.88
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.41				
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.19				
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschoides</i>	0.13				
秋季(11月)	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	29.00	站 14	91	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	70
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	1.50				
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschoides</i>	0.38				
	有翼圆筛藻 <i>Coccinodiscus bipartitus</i>	0.22				
冬季(2月)	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	9.90	站 14	184	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	138
	具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	0.90				
	新月筒柱藻 <i>Cylindrotheca closterium</i>	0.23				
	蜂腰双壁藻 <i>Diploneis bombus</i>	0.22				

4 讨论

4.1 不同航次大潮期间叶绿素 a 浓度及浮游植物种群结构差别

泉州湾大潮期间初级生产力分布变化有如下的基本特征, 即: 5 月生物量高, 叶绿素 a 分布由湾内向湾口递减. 初级生产力高值分布于湾口外; 8 月生物量低, 在大坠岛一带形成相对高值的叶绿素 a 分布区; 11 月生物量比较高, 由湾内向湾口递减; 2 月生物量略比 11 月低, 表层叶绿素 a 由湾内向湾口递减分布, 而初级生产力则呈现湾的两头高, 中间低的分布; 无论哪一航次, 大坠岛周围一带海区生物量均存在明显的变化, 5 月的叶绿素 a 和初级生产力明显高于其他季节.

与其他航次调查比较, 8 月航次较高浮游植物密度站位出现在泉州湾中部水域, 即在大坠岛周围海区, 较低密度站位位于晋江口和湾外水域. 表层浮游

植物的分布趋势与其他航次调查的结果差别较大. 底层浮游植物密度分布格局也有较大的不同. 主要优势种为活动盒形藻, 在其他航次占优势的中肋骨条藻位居第二. 8 月航次浮游植物不仅在种群结构, 尤其优势种与其他航次不同外, 叶绿素 a 含量也很低, 这种明显的差别, 显然是由于夏季航次调查前 2 d 海区受到台风的影响, 海域水体受到剧烈的扰动, 细胞密度和优势种的组成发生明显变化. Pitcher 等^[18]认为: 群落结构发生变化的原因是水体扰动和浮游植物细胞的沉降速度不一综合作用的结果, 表层水体中细胞破裂和自然死亡被认为是植物生物量急剧下降的重要原因. 我们认为台风的作用加速了这一自然的过程, 8 月份海区浮游植物结构发生很大变化, 密度低, 与台风作用有关.

调查表明: 大潮期间周日调查结果不仅显示相邻站位的周日变化趋势及量值的相似, 也显示叶绿素 a 的含量变化与潮汐的变化有相反的关系, 即随

着涨潮叶绿素 a 含量降低, 随着退潮而升高. 高潮时水体中浮游植物密度低于低潮时水体中的密度. 水体中的浮游植物密度随潮水涨落而发生变化. 大潮期间周日的变化是与水环境的变化有关. 由于调查海区有晋江、洛阳江的汇入, 两江河水携带的大量的有机物质和营养盐类促进湾内浮游植物的生长, Garcia Soto 等认为: 径流量的波动决定了水体中化学性质的明显变化, 剧烈湍动的水体产生的波浪可调节悬浮物和叶绿素 a 的质量和数量^[19]. Trigueros 等指出: “中肋骨条藻、海链藻 (*Thalassiosira guillardii*) 和小环藻 (*Cyclotella atomus*) 在湾顶部最丰富, 峰值见于退潮期间, 由于水体的物理作用 (如涡旋和滞留) 使得 ‘藻华’ 种类在内港能保持较长时间的繁盛^[1]. 港湾硅藻的大量生长补偿了由于退潮期间平流朝海运动所带走的硅藻细胞, 从而使港湾内的稳定种群能得以发展”. 显然, 在营养盐输入该水体系统后, 中肋骨条藻增长促进了初级生产力的水平. 同时该湾随着海水的涨退潮, 外海水在湾内的消长, 使得高浮游植物生物量的湾内水体和低浮游植物生物量的湾外水体在湾内的分布依一定的规律发生变化. 这说明了为什么在泉州湾 4 次大潮调查中, 除 8 月航次受台风影响外, 其余 3 个航次调查中中肋骨条藻均出现并处于优势, 尤其在湾顶部洛阳江和晋江河口区出现 “藻华” 的原因.

泉州湾叶绿素 a 较早的调查记载是 1988 年 9 月和 1989 年 1 月两个航次的综合调查, 当时叶绿素 a 的测值均比较低, 表层只有 1 mg/m^3 左右^[14]; 其后是 2000 年至 2001 年的养殖容量调查^[2], 5, 8 和 11 月 3 个航次表层叶绿素 a 分别为 2.98, 4.36 和 1.87 mg/m^3 , 再就是本文 (2001 年 11 月至 2002 年 8 月) 的初级生产力调查, 2, 5, 8 和 11 月 4 个航次表层叶绿素 a 如表 1. 上述的数据表明: 泉州湾叶绿素 a 有增加的趋势, 不仅春、夏季节会出现 “藻华” 现象, 在秋、冬季节也可能发生, 同时值得注意的是: 秀涂至蚶江以内的两江口海区在大多数航次调查中均出现 “藻华” 现象, 如养殖容量调查中的站 1 (洛阳江口外, 本调查的站 13) 5, 8 月均出现 5.5 mg/m^3 以上比较高的叶绿素 a 测值, 而本文调查的站 14 (晋江口外) 均出现 10 mg/m^3 以上的高叶绿素 a 测值, 这一现象无疑与营养盐的增量有关, 即内湾的两江口外无机氮等营养盐的增加导致局部海区浮游植物的

“藻华”, 如图 5 中的站 13 和站 14 所示.

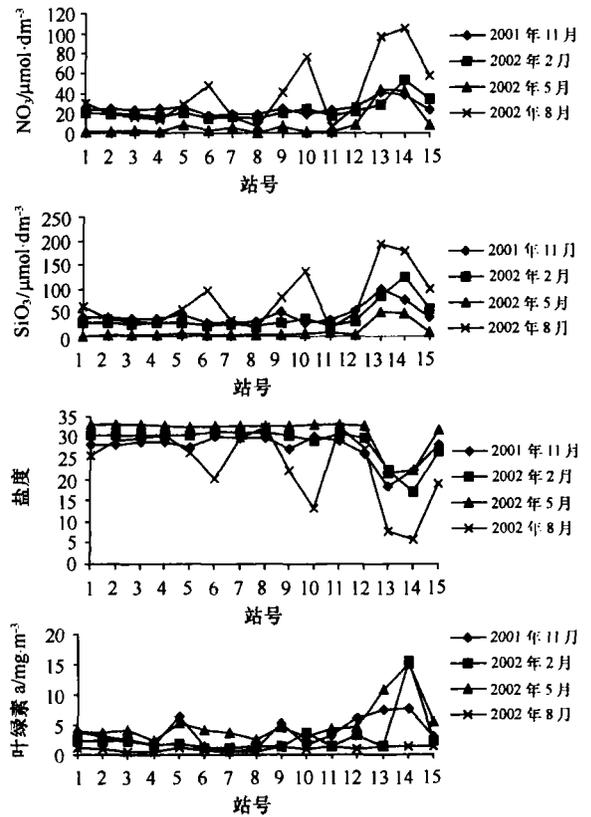


图 5 不同航次各站叶绿素 a、盐度、硝酸盐 (NO_3^-) 和硅酸盐 (SiO_3^-) 的变化

4.2 泉州湾初级生物量的变化与营养要素和水运动的关系

海水中的氮、磷和硅等可溶性盐类是海洋的浮游生物生长的物质基础, 被称为生源要素或营养要素, 它们在海洋中、尤其是河口海域中的时空变化, 除受河海水物理混合过程的影响外, 还受生物化学过程的影响. 调查区营养要素大面观测表层统计结果示于表 3. 春季营养要素为全年的最低值, 调查结果表明, 春季是本调查区生物生长旺盛期, 浮游植物大量消耗水体中的营养物质, 因此生物因子成为春季营养要素时空变化的主控因子. 夏季表层水体的营养盐都较高, 则明显是河水等陆源补充所致, 但生物量低则是调查前两天台风对水体的剧烈扰动所致. 冬季营养盐高, 除生物消耗少外, 营养盐含量较高的闽浙沿岸流控制本调查区也是重要原因之一; 秋季高的营养盐含量, 则与春、夏季节生产的大量有机物的氧化分解而使水体中的营养盐得到补充有关. 各

2) 陈兴群等. 福建主要港湾的叶绿素 a 和初级生产力. 福建省浅海滩涂水产养殖容量及养殖规划研究报告之一, 2002 年.

种营养要素的平面分布趋势相似, 并都与盐度的相应分布相反, 呈湾内测值高、向湾外有规律地递减的分

布状态, 这是河口海域营养要素时空变化典型特征之一, 是调控初级生物量平面分布的主要因素。

表 3 大潮期间营养盐的季节变化平均值($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$) 及比值

季度	PO_4	SiO_3	NO_3	NO_2	NH_4	$\text{SiO}_3 : \text{NO}_3$	$\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4 : \text{PO}_4$
春季(5月)	0.18	10.1	8.68	1.63	0.33	1.2: 1	59: 1
夏季(8月)	0.73	74.4	39.0	3.22	9.39	1.9: 1	71: 1
秋季(11月)	0.93	44.1	24.8	1.91	6.93	1.8: 1	36: 1
冬季(2月)	0.56	39.9	22.9	2.88	5.12	1.7: 1	55: 1

营养要素的周日变化大致与盐度的相反, 低潮时, 盐度大致处在波谷而多数营养盐则处在波峰, 这是由于此时水体中盐度低而营养盐含量高的河水占有较大比例所致, 而初级生产量的周日变化同营养盐的变化一致, 因此, 营养要素的周日变化, 是调控初级生产量周日变化的另一主要因素。

Yolanda 等^[20, 21]认为: 春季藻华(spring boom)的硅限制已经成为有淡水输入的、Si: N 分子量比例小于 1 的沿海生态系统的一个普遍特征, 其研究的 Brest 湾的硅限制时间甚至持续到整个夏季。而泉州湾的硅酸盐和硝酸盐不仅含量高, 其硅与氮分子量比例均明显大于 1, 因此硅显然不是泉州湾初级生产量限制因子, 甚至是形成两江口海区在大多数航次调查中出现“藻华”现象的一个加速剂。Yin Kedong^[12]在研究季风对香港沿岸水体的浮游植物生物量和营养盐变化关系的影响时认为: 夏季氮与磷(N= 总无机氮, P= PO_4) 比例均高于 64: 1, 而叶绿素很低, 这些结果暗示在控制浮游植物生物量中磷酸盐起了一个重要的作用^[12]。由于泉州湾磷酸盐的含量均低于 $1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$, 氮与磷的比例均高于

36: 1, 夏季甚至达到 71: 1, 磷酸盐则可能成为泉州湾浮游植物生物量和初级生产量分布及变化的主要限制因子(表 3)。

因此泉州湾初级生产量的分布和变化受营养要素的调控, 而影响营养要素分布状况的因素主要有:

(1) 水系影响: 调查区主要受性质差异大的二种水体影响: 内源水即晋江河水和外源水, 即台湾海峡海水; 其中河水具有季节变化大、浊度大、含工农业排废水量大(营养盐含量高)和盐度低的特征, 台湾海峡海水具高盐和低营养盐、低污染物质的特征, 4 个航次调查结果反映了这内、外源水系对调查区环境的影响, 使本调查区的初级生产量和环境营养要素呈呈湾内高向外有规律地递减的平面分布趋势。各个调查航次调查参数的多因子(温度、盐度、磷酸盐、硅酸盐、硝酸盐、叶绿素 a) 相关分析均清楚的表明(表 4): 除 8 月航次以外, 其他航次叶绿素 a 与营养盐, 尤其是与硝酸盐有明显的依存关系, 而叶绿素 a、硝酸盐与盐度有显著的负相关, 表明调查区内外水消长对这二者的影响。

表 4 4 个航次 15 个测站叶绿素 a 与不同参数的相关系数(r) ($p < 0.05$)

调查时间	温度	盐度	PO_4	SiO_3	NO_3
2002 年 5 月	0.69	- 0.94	0.80	0.93	0.95
2002 年 8 月	0.36	- 0.54	0.58	0.54	0.55
2001 年 11 月	- 0.21	- 0.85	0.32	0.85	0.85
2002 年 2 月	0.44	- 0.80	0.98	0.81	0.87

(2) 潮汐影响: 调查区为潮汐河口区, 其潮汐为正规半日潮, 潮流为往复流, 主流在小坠岛以南, 由于受潮汐运动的影响, 本调查区水体中多数水文、化学要素都有与潮汐同步或大致同步的起伏变化, 在

低潮时, 由于水体中河水所占的比例相对较大, 因此硅酸盐(SiO_3)、硝酸盐(NO_3) 等营养盐的含量皆升至波峰。这反映了潮汐运动对水体营养盐要素周日分布变化的影响(见图 5)。

(3) 浮游植物分布的影响, 营养要素分布决定浮游植物生物量的分布, 反过来影响营养要素的量值分布, 如 5 月, 浮游植物的大量繁殖消耗水体营养要素, 超过营养要素的补充量, 则形成低营养盐。

(4) 台风的影响, 台风的作用对水体的影响有两方面, 一是水体受到剧烈的扰动, 或台风带来的暴

雨降低了水体的盐度, 由于这些影响通常是短期和剧烈的, 因此造成浮游植物细胞破裂、下沉, 导致种群结构的变化。

杨加东高工参加本项目的现场调查, 陈其焕研究员审阅初稿, 并提出许多宝贵意见, 在此一并致谢。

参考文献:

- [1] RIGUEROUS J M, ORIVE E. Tidally driven distribution of phytoplankton blooms in a shallow, macrotidal estuary [J]. *Journal of Plankton Research*, 2000, 22(5): 969– 986.
- [2] 宁修仁, 史君贤, 蔡昱明, 等. 长江口和杭州湾海域生物生产力锋面及其生态学效应 [J]. *海洋学报*, 2004, 26(6): 97– 107.
- [3] TREMBLAY Jé, LEGENDRE L, THERNAULT J C. Size-differential effects of vertical stability on the biomass and production of phytoplankton in a large estuarine System [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45(4): 415– 431.
- [4] DELGADILLO-HINOJOSA F, GAXIOLA-CASTRO G, SEGOVIA-ZAVALA J A, et al. The effect of vertical mixing on primary production in a bay of the Gulf of California [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45(1): 135– 148.
- [5] CHRISTINE L M, JEFFREY R K, LISA V L, et al. Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 254: 111– 128.
- [6] 孙 军, 刘东艳, 柴心玉, 等. 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): 82– 91.
- [7] 周伟华, 袁翔城, 霍文毅, 等. 长江口邻域叶绿素和初级生产力的分布 [J]. *海洋学报*, 2004, 26(3): 145– 152.
- [8] LISA V L, JEFFREY R K, JAMES E C, et al. Processes governing phytoplankton blooms in estuaries: I. The local production– loss balance [J]. *Marine Ecology progress Series*, 1999, 187: 1– 15.
- [9] LISA V L, JEFFREY R K, STEPHEN G, et al. Processes governing phytoplankton blooms in estuaries: II. The role of horizontal transport [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 187: 17– 30.
- [10] WONG M W, DAVID W T. Phytoplankton and hydrography of the Kennebec estuary, Maine, USA [J]. *Marine Ecology progress Series*, 1999, 178: 133– 144.
- [11] 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究: 春季的营养限制情况 [J]. *海洋学报*, 2001, 23(3): 57– 65.
- [12] YIN Ke-dong. Monsoonal influence on seasonal variations in nutrients and phytoplankton biomass in coastal waters of Hong Kong in the vicinity of the Pearl River estuary [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 245: 111– 122.
- [13] ESRA K, GRAHAM J C U, DAVID B N. Simultaneous measurement of phytoplanktonic primary production, nutrient and light availability along a turbid, eutrophic UK east coast estuary (the Colne Estuary) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 231: 1– 12.
- [14] 中国海湾志编纂委员会. 泉州湾(第二章)[A]. *中国海湾志: 第八分册*[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 49– 92.
- [15] GB/T 12763– 6, 海洋调查规范——海洋生物调查[S].
- [16] PARSONS T R, MAITA Y, LALIC M. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis* [M]. Pergamon Press, 1984. 173.
- [17] CADÉ G C. Primary production off the Guyana coast [J]. *Netherlands Journal of Sea Research*. 1975, 9(1): 128– 143.
- [18] PITCHER G C, WALKER D R, MITCHELL-INNES B A, et al. Short-term variability during an anchor station study in the southern Benguela upwelling system: phytoplankton dynamics [J]. *Progress in Oceanography*, 1991, 28(1– 2): 39– 64.
- [19] GARCLA-SOTO C, de Madariaga I, Villate F. Day-to-day variability in the plankton community of a coastal shallow embayment in response to changes in river runoff and water [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1990, 31(3): 217– 229.
- [20] YOLANDA D A, OLIVIER L P, TRGUER P, et al. Impacts of high-nitrate freshwater inputs on macrotidal ecosystems: I. Seasonal evolution of nutrient limitation for the diatom-dominated phytoplankton of the Bay of Brest (France) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 161: 213– 224.
- [21] YOLANDA D A, QUGUINER B, TRGUER P, et al. Impacts of high-nitrate freshwater inputs on macrotidal ecosystems: II. Specific role of the silicic acid pump in the year-round dominance of diatoms in the Bay of Brest (France) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 161: 225– 237.

Temporal and spatial variations of primary production in Quanzhou Bay

CHEN Xing-qun¹, LIN Rong-cheng¹, TANG Sen-ming¹

(1. *Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China*)

Key words: Quanzhou Bay; chlorophyll a; primary production; phytoplankton