

# 流沙湾海水中总有机碳的时空分布及其影响因素研究

李雪英<sup>1,2,3</sup>, 孙恢礼<sup>1,4</sup>, 孙省利<sup>3</sup>, 张瑜斌<sup>3</sup>, 施玉珍<sup>3</sup>, 张际标<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088; 4. 中国科学院 南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

**摘要:** 于 2008 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)对流沙湾进行了 4 次采样调查, 研究分析了流沙湾海水中总有机碳的空间分布和季节变化特征, 并探讨了 TOC 与温度、盐度、pH、叶绿素 a 和底泥 TOC 之间的相关关系。结果发现, 在 2008 年度流沙湾海水 TOC 的浓度为 0.992~5.437 mg/L, 平均值为 2.414 mg/L, 呈现春季>夏季>秋季>冬季的变化趋势, 整个流沙湾海域海水 TOC 的平面分布相对比较均匀, 表层稍大于底层。在内外湾分布上, 冬、夏季节内湾 TOC 大于外湾, 而春、秋季节外湾大于内湾; 在垂直分布上, 冬、夏和秋季表层大于底层, 而春季底层大于表层; 在地域分布上, 冬、夏季节从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐减小, 秋季变化趋势相反, 春季时, 两侧无明显变化。相关关系的分析结果表明, 流沙湾海水 TOC 与温度、pH 呈现出正相关关系, 与温度的相关关系较为显著, 与盐度则呈现不显著的负相关关系; 与叶绿素 a 存在一定的相关关系, 在叶绿素 a 浓度小于 2.6  $\mu\text{g/L}$ , 两者呈现正相关关系, 而在叶绿素 a 浓度大于 2.6  $\mu\text{g/L}$ , 两者呈现负相关关系; 与底泥 TOC 呈现出了一定的正相关关系。

**关键词:** 流沙湾; 总有机碳; 时空分布; 影响因素

中图分类号: P76, X824 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)07-0061-09

海水总有机碳包括溶解有机碳(DOC)和颗粒有机碳(POC)。溶解有机碳(DOC)指海水中真溶解态有机碳<sup>[1]</sup>, 颗粒有机碳包括海水中的活体有机碳(bio-POC)和碎屑有机碳(nonbio-POC)<sup>[2]</sup>。海水有机碳可以被细菌矿化分解为较小的分子而成为藻类的营养物质<sup>[3]</sup>, 还可以再次沉降进入海底沉积物, 所以在生物、地质和化学过程发挥着重要作用<sup>[4]</sup>, 是整个海洋有机碳循环的一个重要环节。另外, 总有机碳是有机物质现存量的重要指标, 其分布反映了水体中有机物质的丰度以及变化, 对海洋有机污染起指示作用, 是衡量水体有机污染程度的一项综合指标<sup>[5]</sup>。20 世纪 80 年代初期, 孙作庆等<sup>[6]</sup>对胶州湾颗粒有机碳的平面分布和季节变化特征进行了研究; 李丽等<sup>[1]</sup>讨论了南黄海胶体有机碳和溶解有机碳的分布特征。金海燕等<sup>[2]</sup>研究分析了黄海、东海颗粒有机碳的分布; 谢琳萍等<sup>[7]</sup>于 2006 年对夏季南黄海总有机碳的分布特征及其影响因素进行了分析探讨; 江志坚等<sup>[5]</sup>于 2006~2007 年对大亚湾海水中总有机碳的时空分布及其影响因素进行了探讨。以上对海洋有机碳的研究主要在黄海、东海海域, 而南海海域涉及甚

少, 所以对南海海域有机碳分布和变化特征的研究尤为迫切。

海湾和潟湖是地球海岸线的一个重要特征, 因为其展示出的高初级生产力和高有机物含量, 而成为具有渔业和水产经济意义的地方<sup>[8]</sup>。流沙湾是一个半封闭式港湾, 属于南海海域, 位于雷州半岛西南部, 水域约近 70  $\text{hm}^2$ , 周围无大河注入, 属热带季风性气候, 日光充足, 气候温暖, 是非常适宜的养殖生产基地, 现已成为我国“南珠”的主要产区之一。近期又发现流沙湾海底分布着共约 800~900  $\text{hm}^2$  的海草场, 因其规模大、生物多样性丰富、易于管理与保护, 被拟定为中国的海草示范保护区<sup>[9]</sup>。但是, 近年来, 随着珍珠养殖技术的逐步推广, 流沙湾珍珠养殖面积急剧扩大, 整个港湾高密度超负荷养殖, 使海湾

收稿日期: 2011-05-06; 2011-06-03

基金项目: 海洋公益性行业科研专项项目(200905005-05); 广东省海洋渔业科技推广专项(A200899J01)

作者简介: 李雪英(1981-), 女, 汉, 河南商丘人, 硕士, 讲师, 主要从事海洋环境研究, 电话: 0759-2383378, E-mail: lxyly9831@163.com; 孙省利, 通信作者, 教授, 主要从事海洋环境研究, E-mail: xingsun@126.com

水质和底质质量大幅度下降。本文以流沙湾为考察对象,分析了其海水中 TOC 的平面分布和季节变化特征,同时探讨了海水 TOC 与叶绿素 a、底泥 TOC 以及其他理化因子的关系,本研究可在一定程度上指示流沙湾的环境污染状况及其碳循环过程,为流沙湾的生态环境保护及其碳的生物地球化学特征研究提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集

于 2008 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)对流沙湾进行了一年度的跟踪调查。

考虑到湾内外的珍珠养殖区、网箱鱼排和大规模的扇贝养殖区,采用了从湾内到湾外的站点布设格局,共设置了 14 个站点,站点分布如图 1。站点采用 GPS 定点。在各站点采集表、底层水样,14 个站点的采样深度为 7~25 m,表层为海面以下 0.5 m 的水层,底层为距离海底 2 m 的水层。采用颠倒式采水器采集水样,水样冷藏,运回实验室后分样 100 mL 用于 TOC 测试;单独采集 1 L 水样,加入碳酸镁悬浮液固定,带到实验室后用 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜抽滤,进行叶绿素 a 测定。于 5、8 月份同时采集底泥样品,使用抓斗式采泥器采集底泥样品,采样后运回实验室,冷冻干燥,研细,进行底泥 TOC 测试。

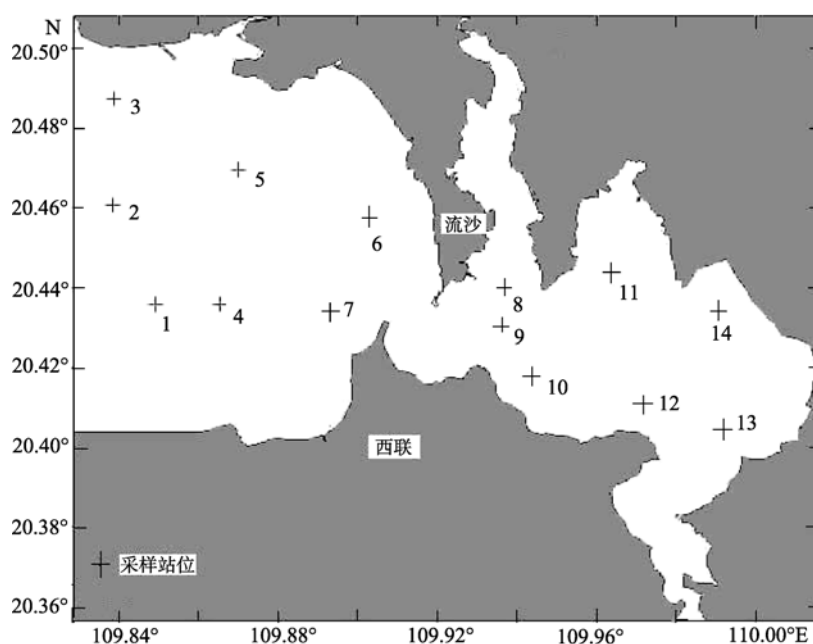


图 1 采样站点分布

Fig. 1 Sampling sites distribution

### 1.2 测试方法

(1)TOC 测定:采用仪器法(GB 17378.4-2007)<sup>[10]</sup>,使用仪器为岛津 TOC-V<sub>CSH</sub>。首先在 TOC 样品中加入 1mL(1+3)硫酸溶液,对其进行酸处理,以便于样品保存。在对样品进行 TOC 测定时,使用直接法,炉温设定为 680℃,把样品管放入摇匀后的 TOC 水样中直接测试。

(2)叶绿素 a 的测试方法为丙酮萃取分光光度法(GB 17378.7-2007)<sup>[11]</sup>;底泥 TOC 测试采用热导法(GB 17378.5-2007)<sup>[12]</sup>,使用仪器为岛津 SSM-5000A;温度、盐度和 pH 分别使用便携式温度计、盐度计和

pH 计进行现场测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同季节流沙湾 TOC 的空间分布特征

整体来看,在 2008 年度流沙湾海水 TOC 的浓度为 0.992~5.437 mg/L,平均值为 2.414 mg/L,季节差异比较明显,垂直变化不显著。如表 1 所示。

#### 2.1.1 冬季

从图 2 可以看出,冬季,整个流沙湾海域 TOC 含量呈内湾大于外湾的分布趋势,靠近流沙镇海域的 TOC 含量大于西联镇海域,从流沙镇一侧海域到西联

镇一侧海域呈逐渐减小的趋势。在外湾(1~7 号站点), TOC 平均值为 1.171 mg/L, 其中在 6 站点出现最大值, 为 1.336 mg/L, 在 1 站点出现最小值, 为 1.023 mg/L; 内湾(8~14 站点), TOC 平均值为 1.295 mg/L, 最大值出

现在 13 站点, 为 1.428 mg/L, 最小值出现在 11 站点, 为 1.106 mg/L。从垂直分布来看, 表层(图 2-a)大于底层(图 2-b), 其 TOC 平均值分别为 1.228 mg/L 和 1.157 mg/L, 在外湾, 表底层差异更为明显。

表 1 不同季节流沙湾 TOC 质量浓度(mg/L)

Tab. 1 TOC contents in Liusha Bay in different seasons (mg/L)

分布	冬季	春季	夏季	秋季	平均值
表层	1.023~1.428	2.645~4.273	2.319~4.469	1.732~2.753	2.491
底层	0.992~1.336	2.667~5.437	2.283~3.678	1.221~2.324	2.338
总量		0.992~5.437			2.414

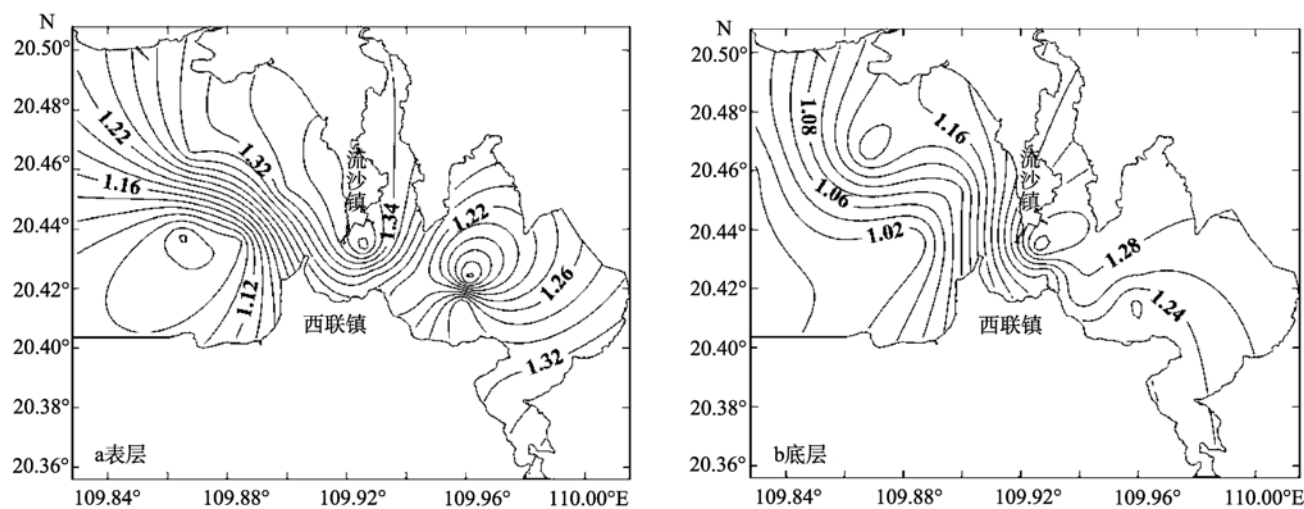


图 2 流沙湾冬季表、底层 TOC 平面分布

Fig. 2 The horizontal distribution of TOC in surface and bottom layer of Liusha Bay in winter

### 2.1.2 春季

图 3 可见, 春季流沙湾海域 TOC 的内、外湾分

布和冬季相反, 外湾稍大于内湾, 其 TOC 平均值分别为 3.317 mg/L 和 3.280 mg/L, 从流沙镇一侧海域

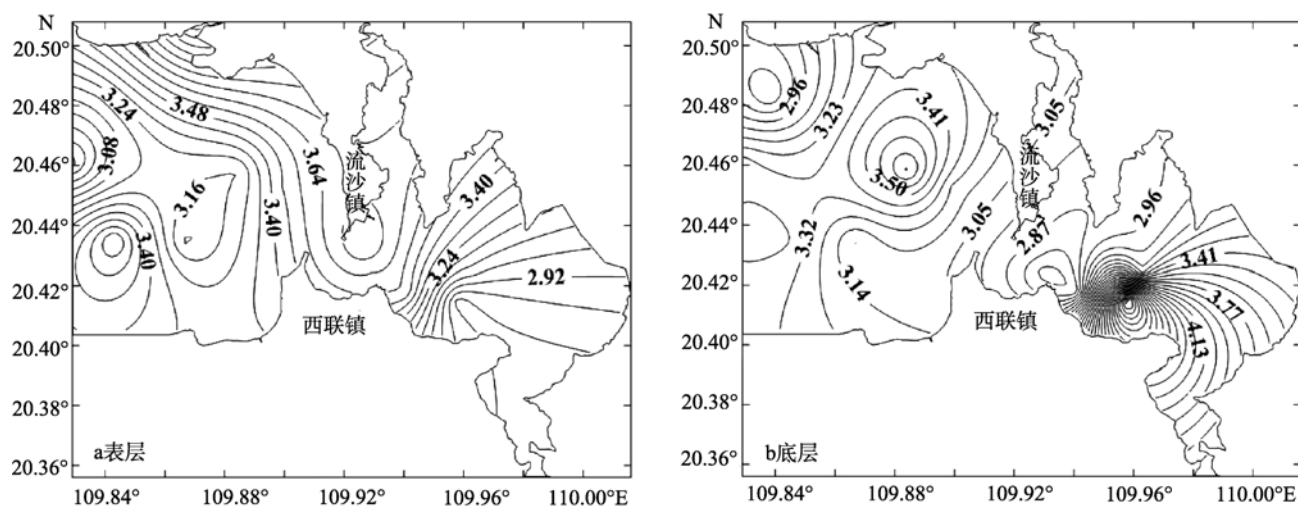


图 3 流沙湾春季表、底层 TOC 平面分布

Fig. 3 The horizontal distribution of TOC in surface and bottom layer of Liusha Bay in spring

到西联镇一侧海域 TOC 含量没有明显的变化趋势。从垂直分布来看, 底层稍大于表层(图 3-a), 其平均值分别为 3.304 mg/L 和 3.290 mg/L, 在内湾表底层差异较为明显。

### 2.1.3 夏季

图 4 显示, 夏季流沙湾海域 TOC 再次呈现内湾大于外湾的分布趋势, 其平均值分别为 3.088 mg/L 和 2.863 mg/L, 靠近流沙镇一侧海域 TOC 的含量明显高于西联镇一侧海域。从垂直分布来看, 表层(图 4-a)大于底层(图 4-b), 其平均值分别为

3.154 mg/L 和 2.810 mg/L, 在内湾表底层差异更为明显。

### 2.1.4 秋季

图 5 显示, 秋季流沙湾海域 TOC 呈现外湾大于内湾的分布趋势, 其平均值分别为 2.102 mg/L 和 1.994 mg/L; 在表层呈现从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐增大的变化趋势, 而在底层外湾没有明显的变化趋势。在垂直分布上, 表层(图 5-a)大于底层(图 5-b), 其平均值分别为 2.215 mg/L 和 1.880 mg/L。

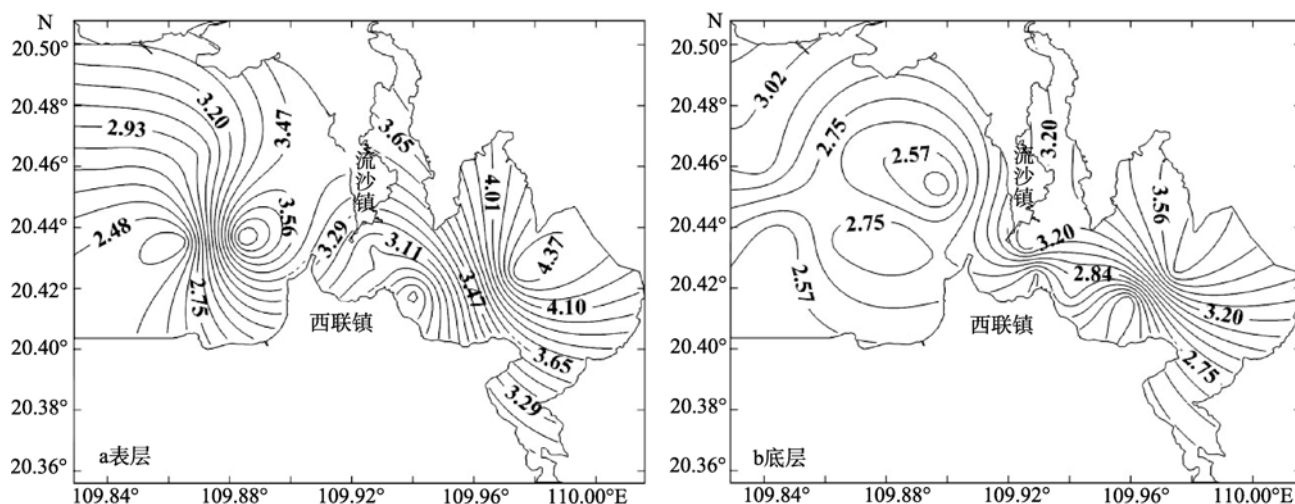


图 4 流沙湾夏季表、底层 TOC 平面分布

Fig. 4 The horizontal distribution of TOC in surface and bottom layer of Liusha Bay in summer

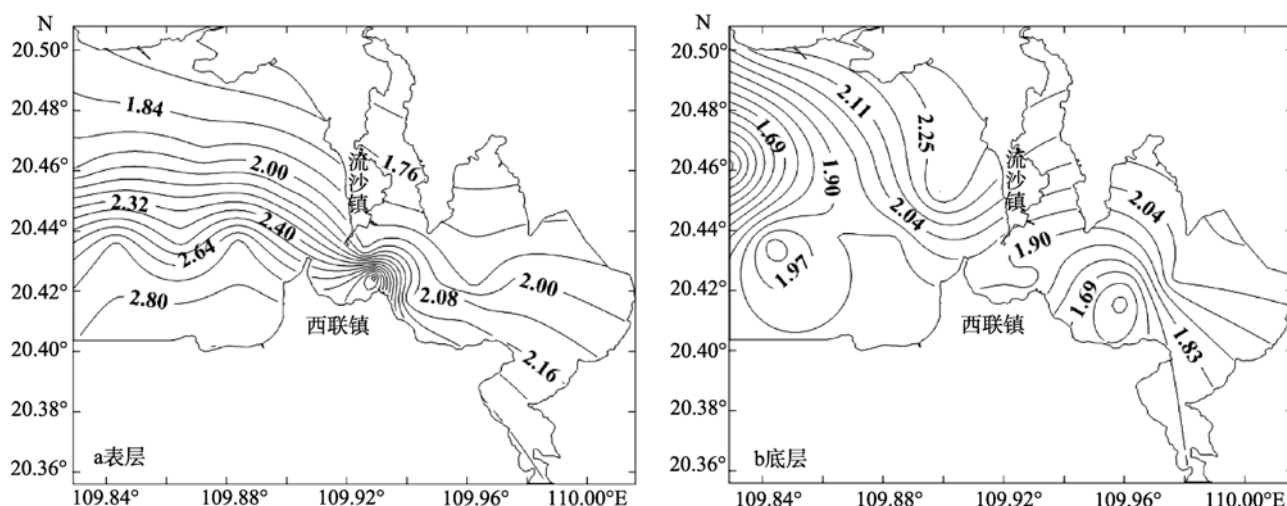


图 5 流沙湾秋季表、底层 TOC 平面分布

Fig. 5 The horizontal distribution of TOC in surface and bottom layer of Liusha Bay in autumn

## 2.2 流沙湾 TOC 年均浓度的空间分布特征

从图 6 可知, 流沙湾单一水层各站点间 TOC 年均浓度相差不大, 表、底层间稍有差异。在表层, 除 14 站位的 TOC 年平均值(3.179 mg/L)偏大外, 其余站点相差不大; 在底层, 海水 TOC 年平均值的最大值为 2.867 mg/L(14 站点), 最小值为 2.092 mg/L(8 站点), 表、底层各站点间 TOC 值的变化均在可变化范围之内, 即从全年来看, 整个流沙湾海域 TOC 的平面分布相对比较均匀。从垂直分布来看, 表、底层存在一定的差异, 在 14 个站点中, 2、4 和 6 站点表、底层的 TOC 值基本重合, 12 站点底层 TOC 值略大于表层, 其余 10 个站点均是表层大于底层, 且从平均值来看, 表、底层年平均值分别为 2.491 mg/L 和 2.338 mg/L, 从而可以判断, 在整个年度流沙湾海域海水有机物含量表层稍大于底层。

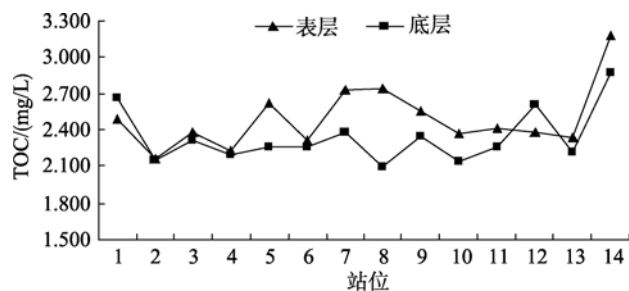


图 6 流沙湾海水 TOC 年均浓度

Fig. 6 The yearly average contents of TOC of seawater in Liusha Bay

## 2.3 流沙湾 TOC 的季节变化特征

根据图 7 和表 1 可知, 流沙湾海域的 TOC 分布存在明显的季节差异, 呈春、夏、秋、冬依次减小的趋势, 表、底层的季节变化趋势基本一致。春季 TOC 值最大, 其 TOC 值分布在 2.6~5.5 mg/L, 表、底层平均值分别为 3.290 mg/L 和 3.304 mg/L, 夏季开始降低, 表、底层平均值分别为 3.154 mg/L 和 2.810 mg/L, 秋、冬季节 TOC 值再次降低, 秋季 TOC 值分布在 1.2~2.8 mg/L, 表、底层平均值分别为 2.215 mg/L 和

1.880 mg/L, 在冬季 TOC 值达到最小, 其 TOC 值分布在 0.9~1.5 mg/L, 表、底层平均值分别为 1.228 mg/L 和 1.157 mg/L。

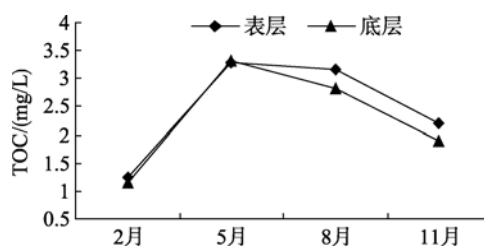


图 7 流沙湾海水 TOC 季节变化

Fig. 7 The seasonal change of TOC of seawater in Liusha Bay

## 2.4 流沙湾海水 TOC 与环境因子的相关性分析

### 2.4.1 与温度、盐度和 pH 的关系

相关性分析的数据分别取自 2 月、5 月、8 月和 11 月四个季度 14 个站位的季度平均值, 分为表层水和底层水。从图 8 可以得知, 流沙湾海水 TOC 与温度呈现显著的正相关关系, 其相关系数为 0.903 6 ( $n = 8, P = 0.002$ ), 这说明流沙湾的海水 TOC 值受温度的影响较大, 会随着温度的升高而呈明显增高的趋势, 这主要是因为温暖的天气使分解速率加快, 从而导致海水 TOC 值增大<sup>[13]</sup>。流沙湾海水 TOC 与盐度呈现不显著的负相关关系, 其相关系数为 0.227 6 ( $n = 8, P = 0.587$ )。这与江志坚等<sup>[5]</sup>对大亚湾海水 TOC 和盐度之间相关性的研究结果相符。而 Emara 等的研究结果显示, 海洋水体由于受到外源低盐度、高有机物的径流影响, 其 TOC 与盐度呈现显著负相关的特征<sup>[5,14]</sup>。而流沙湾周围无大河注入, TOC 受径流的影响程度比较低, 只受季节性的径流特别是夏季降雨对地面的冲刷的影响, 因此呈现不显著负相关<sup>[5]</sup>。流沙湾海水 TOC 与 pH 呈现出了一定的正相关关系, 其相关系数为 0.5400 ( $n = 8, P = 0.169$ ), 这说明碱性环境利于海水有机碳的累积。

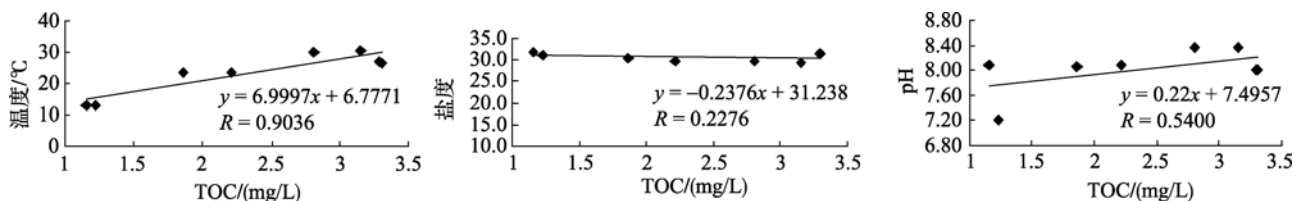


图 8 TOC 与温度、盐度和 pH 的相关关系

Fig. 8 The correlation of TOC with temperature, salinity and pH

### 2.4.2 与叶绿素 a、底泥 TOC 的关系

海水 TOC 与叶绿素 a 相关性分析的数据取自表层水的 14 个站位的年均浓度值。根据图 9 可以得知, 海水 TOC 与叶绿素 a 呈现出一定的相关关系, 其相关系数为 0.5815 ( $n=14, P=0.103$ ), 在叶绿素 a 浓度较低时 ( $<2.6 \mu\text{g/L}$ ), 海水 TOC 含量会随着叶绿素 a 浓度的增大而增高, 即两者呈现正相关关系; 而在叶绿素 a 浓度较高时 ( $>2.6 \mu\text{g/L}$ ), 海水 TOC 含量反而会随着叶绿素 a 浓度的增大而降低, 即两者呈现负相关关系。此结果与谢琳萍等<sup>[7]</sup>在对夏季南黄海总有机碳分布的研究结果相符, 不同之处是夏季南黄海叶绿素 a 的浓度分节点是  $5.0 \mu\text{g/L}$ 。江志坚等<sup>[5]</sup>对大亚湾的研究则发现大亚湾海水 TOC 与叶绿素 a 浓度呈现极显著的正相关关系。叶绿素 a 是浮游植物进行光合作用的主要色素, 同时也是表征海洋初级生产者浮游植物生物量的一个重要指标<sup>[15]</sup>, 海洋浮游植物光合作用、生物代谢等都与 TOC 的生产有关<sup>[16]</sup>。研究表明, 浮游植物具有很强的固碳能力, 据统计, 浮游植物每年的固碳量超过 300 亿  $\text{t}^{[17]}$ 。有机碳通过微生物和真菌的呼吸作用发生矿化<sup>[18]</sup>, 转变成溶解  $\text{CO}_2$ , 浮游植物在海水中进行光合作用而消耗海水中的溶解  $\text{CO}_2$ , 生成有机碳储存在体内, 从而实现固碳<sup>[17]</sup>。即浮游植物进行光合作用和生物代谢

活动的同时会产生大量的溶解有机碳(DOC)和颗粒有机碳(POC)<sup>[16]</sup>。依此推论, 叶绿素 a 浓度大, 浮游植物初级生产力高, 产生的溶解有机碳(DOC)和颗粒有机碳(POC)就会增多, TOC 含量也随之升高。同时浮游动物对叶绿素 a 的摄取以及海流运动, 也可能削弱 TOC 和水体储存叶绿素 a 之间的关系<sup>[7]</sup>。从而出现叶绿素 a 浓度较高时, 海水 TOC 与叶绿素 a 呈现负相关的现象。

海水 TOC 与底泥 TOC 相关性分析的数据取自 5、8 月份底层水样的 TOC 平均值和 5、8 月份底泥样品的 TOC 平均值, 图 9 显示, 海水 TOC 与底泥 TOC 呈现出了一定的正相关关系, 其相关系数为 0.5418 ( $n=13, P=0.056$ )。在海洋生态系统中, 海水和底泥不停地进行着物质交换, 海水中的有机碳可以通过吸附-沉降过程进入底泥, 而底泥中的有机碳又可以通过向上覆海水的释放过程进入水体<sup>[18]</sup>。流沙湾海底分布着高生产力的海草床生态系统, 底泥中含有大量微生物, 生物扰动和底泥中生物残骸的分解能够促进底泥向上覆海水进行有机碳释放; 而同时海水中的部分有机碳被生物残骸或其他颗粒物吸附, 随之沉降于海底, 成为底泥有机碳的一部分。从两者的相关关系可以推测, 流沙湾海水有机碳和底泥有机碳交换相对较为充分, 两个过程基本处于平衡状态。

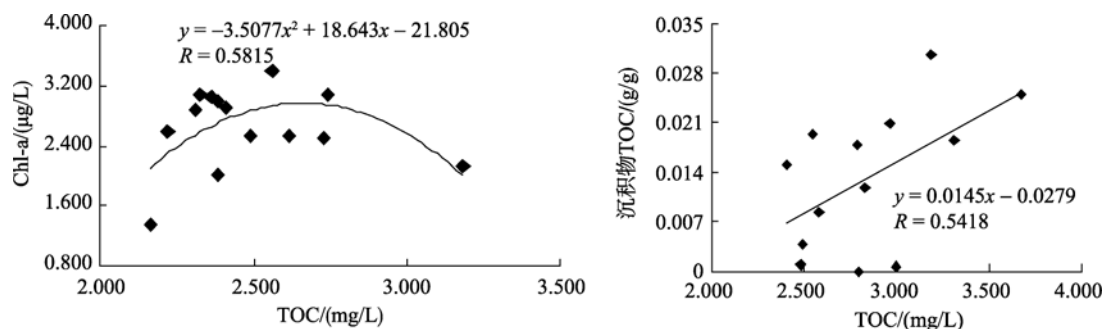


图 9 TOC 与叶绿素 a、底泥 TOC 的相关关系

Fig. 9 The correlation of TOC with chl a and sediment TOC

## 3 讨论

海水中有机碳不停地进行着输入和支出的循环过程。海水中有机碳输入的途径包括内源输入和外源输入, 内源输入包括浮游植物光合作用的释放<sup>[5]</sup>、生物排泄物的溶解、生物残骸的分解和海底沉积物的释放等, 外源输入包括污染物的排放、河流注入、降雨和养殖饵料的投放等。海水中有机碳丢失的主要途径是矿化和沉降<sup>[19]</sup>, 有机碳可以通过微生物和

真菌的呼吸作用发生矿化, 也可以通过海底沉积物中动物群的消耗而从海水中脱除<sup>[18]</sup>。一方面, 温度升高降低了沉积物对污染物的吸附能力, 从而增强了污染物的解吸; 另一方面, 温度较高增强了微生物活性, 其扰动、分解、矿化和代谢作用都促进了沉积物中污染物向上覆水体的释放<sup>[20]</sup>。

图 2 ~ 图 5 显示, 在流沙湾海水 TOC 的内、外湾分布上, 冬、夏季内湾大于外湾, 而春、秋季外湾大于内湾。流沙湾是个半封闭型港湾, 无大河注

入, 整个流沙湾呈北西向葫芦形, 腰部有南北向沙嘴将港湾分成内湾和外湾, 内湾是个潟湖, 海水比较平静, 流动性小, 大部分养殖场分布在此海域, 鱼虾贝类排泄物的引入和饵料的投放都有可能使海水有机物含量增大, 考虑到此方面的原因, 内湾的海水 TOC 值应大于外湾, 但在春、秋季节则是外湾大于内湾, 这与前者有些矛盾, 但生活污水的排放, 沉积物中有机质的释放等对 TOC 值影响也相当大<sup>[21]</sup>, 推测可能是这方面的原因。

在 TOC 的垂直分布上, 冬、夏和秋季皆是表层大于底层, 而春季相反, 是底层大于表层。流沙湾海域的 TOC 主要通过生活污水和养殖鱼虾贝类的排泄物引入, 其中主要是珍珠贝。珍珠养殖的水深一般以 1.5 ~ 3.0 m 为好, 流沙湾水深达 5 ~ 25 m, 所以珍珠养殖区域主要分布在表层, 贝类的排泄物进入水体使表层海水的 TOC 含量高于底层; 另一方面, 流沙湾海底大面积的海草场对海底水环境起到了很好的净化作用, 所以底层 TOC 值较低。但是在春季, 底层 TOC 值高于表层, 推测其原因, 流沙湾属于热带季风性气候, 到了春季, 温暖潮湿的天气促使浮游植物迅速增殖, 浮游植物强烈的固碳作用致使表层海水 TOC 含量降低, 同时海水初级生产力的提高, 致使海洋浮游生物迅速繁殖, 海底沉积物中生物残骸增多, 而微生物的分解使其中的有机物再次溶解到海水中, 从而导致底层海水 TOC 值较高<sup>[22]</sup>。

在 TOC 的地域分布上, 冬、夏季节是从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐减小; 秋季则相反, 从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐增大; 而春季时, 两侧无明显变化。这可能是受季风和海流的影响。

从季节变化来看, 流沙湾海水 TOC 呈春、夏、秋、冬依次减小的趋势(图 7)。Martyn 等<sup>[13]</sup>在对挪威南部 Langtjern 地区河流研究时, 通过模型实验发现表面水 TOC 的季节和年际变化主要受气候控制。江志坚等<sup>[5]</sup>对大亚湾的研究也发现其海水 TOC 呈春、夏、秋、冬依次减小的趋势。流沙湾海水中 TOC 在春季出现最高值的原因有两个方面, 在内源输入方面, 春季时, 海水温度开始升高, 光照增强, 海洋浮游生物的遗骸很容易腐败分解, 致使有氧分解增强, 从而往海水中而引入大量的有机物, 使其 TOC 含量增高<sup>[23]</sup>, 另外, 春季的高温可以导致海底沉积物向海水中释放有机碳的能力增强; 在外源输入方面, 春季充沛的降雨可以把大量外来有机物质引入

到海洋系统中, 从而使海水 TOC 增大<sup>[8]</sup>, 另外, 水产养殖对海水 TOC 变化的影响不容忽视, 春季水温上升, 珍珠贝生长速率加快, 海水中生物饵料不足以满足珍珠贝的生长需求, 所以会投入适量的有机饵料, 从而往海水中引入更多的有机物。以上原因致使流沙湾海水中 TOC 值在春季时出现一个高峰。进入夏季, 随着水温的继续上升, 珍珠贝和海洋浮游生物迅速生长繁殖, 珍珠贝的迅速生长使有机饵料被大量消耗, 海水中的残留量减少, 同时细菌的大量繁殖加速了海水中有有机碳的矿化, 使海水中 TOC 含量降低; 另一方面, 浮游植物的大量繁殖生长会产生大量的 DOC, 而且温度升高, 可以促进生物残骸中有机物的溶解<sup>[5]</sup>, 使海水中 TOC 含量升高, 所以在夏季流沙湾海水中 TOC 含量仍然较高。到了秋冬季, 随着温度的降低, 珍珠贝的生长速率减小, 排泄物减少, 同时海洋浮游生物开始死亡, 遗骸沉降至海底, 成为海底沉积物的一部分, 而这个时期海水有机碳的外源输入也逐渐减少, 所以秋冬季节海水 TOC 值逐渐降低, 到了冬季出现最低值。

## 4 结论

(1) 在 2008 年度流沙湾海水 TOC 的浓度为 0.992 ~ 5.437 mg/L, 平均值为 2.414 mg/L, 春季、夏季、秋季、冬季的 TOC 浓度呈现出从大到小的变化趋势。

(2) 流沙湾海水 TOC 呈现出明显的季节差异。冬、夏季内湾 TOC 大于外湾, 而春、秋季外湾大于内湾; 冬、夏季节是从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐减小, 秋季则相反, 从流沙镇一侧海域到西联镇一侧海域逐渐增大, 而春季时, 两侧无明显变化; 冬、夏和秋季皆是表层大于底层, 而春季相反, 是底层大于表层。

(3) 从总年度来看, 整个流沙湾海域海水 TOC 的平面分布相对比较均匀, 在垂直分布上, 表层稍大于底层。

(4) 流沙湾海水 TOC 与温度、pH 呈现出正相关关系, 其中与温度的相关性较为显著, 相关系数为 0.903 6, 与盐度则呈现出不显著的负相关关系。

(5) 流沙湾海水 TOC 与叶绿素 a 呈现出一定的相关关系, 在叶绿素 a 浓度较低时 (< 2.6  $\mu\text{g/L}$ ), TOC 含量会随着叶绿素 a 浓度的增大而增高; 而在叶绿素 a 浓度较高时 (> 2.6  $\mu\text{g/L}$ ), TOC 含量反而会随着叶绿素 a 浓度的增大而降低。海水 TOC 与底泥 TOC 呈现

出了一定的正相关关系。

参考文献:

- [1] 李丽, 张正斌, 刘莲生, 等. 南黄海胶体有机碳和溶解有机碳的分布[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(2): 321-324.
- [2] 金海燕, 林以安, 陈建芳, 等. 黄海、东海颗粒有机碳的分布特征及其影响因子分析[J]. 海洋学报, 2005, 27(5): 46-53.
- [3] 杨顶田, 陈伟民. 长江下游湖泊中可溶性有机碳的时空分布[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(4): 275-277.
- [4] Hedges J I, Oades J M . Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments[J] . Organic Geochemistry, 1997, 27(7/8): 319-361 .
- [5] 江志坚, 黄小平, 张景平. 大亚湾海水中总有机碳的时空分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2009, 31(1): 91-98.
- [6] 孙作庆, 杨鹤鸣. 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, 3(2): 52-55.
- [7] 谢琳萍, 魏修华, 王宗灵, 等. 夏季南黄海总有机碳的分布特征及其影响因素[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 497-505.
- [8] Ehlizabeth C. Minor, Jean-paul S, Margaret R M. Seasonal variations in dissolved organic carbon concentrations and characteristics in a shallow coastal bay[J]. Marine Chemistry, 2006, 101: 166-179.
- [9] 百度百科 . 流沙湾 [EB/OL]. [2010-07-03]. <http://baike.baidu.com/view/1251240.htm>.
- [10] 国家质量监督局. GB17378.4-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [11] 国家质量监督局. GB17378.7-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 国家质量监督局. GB17378.5-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [13] Futter M N, de Wit H A. Testing seasonal and long-term controls of streamwater DOC using empirical and process-based models[J]. Science of the Total Environment, 2008, 407: 698-707.
- [14] Emarah I . Total organic carbon content in the waters of the Arabian Gulf [J]. Environmental International, 1998, 24(1/2): 97-103.
- [15] 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, 2006, 28(3): 109-118.
- [16] 殷建平, 王友绍, 徐继荣, 等. 海洋碳循环研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 566-575.
- [17] 夏斌, 马绍赛, 陈聚法, 等. 2008 年南黄海西部浒苔暴发区有机碳的分布特征及浮游植物的固碳强度[J]. 环境科学, 2010, 31(6): 1442-1449.
- [18] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review[J]. Soil Science, 2000, 165: 277-304.
- [19] Dillon P J, Molot L. Dissolved organic and inorganic carbon mass-balances in central Ontario lakes[J]. Biogeochemistry, 1997, 36: 29-32.
- [20] 聂新华, 郎印海, 贾永刚. 胶州湾河口沉积物中耗氧有机物的释放研究[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 11-14.
- [21] 王颢, 石晓勇, 张传松, 等. 2004 年春季东海赤潮高发区 COD 分布及其与赤潮关系的初步研究[J]. 海洋科学, 2008, 32(12): 82-86.
- [22] Freeman C, Fenner N, Ostle N J, et al. Export of dissolved organic carbon from peatlands under elevated carbon dioxide levels[J]. Nature, 2004, 430: 195-198.
- [23] Daniel F J, Martin W, Jussi V K K. The influence of summer seasonal extremes on dissolved organic carbon export from a boreal peatland catchment: Evidence from one dry and one wet growing season[J]. Science of the total environment, 2009, 407: 1373-1382.



# Temporal and spatial distribution of total organic carbon in Liusha Bay and the influence factors investigation

LI Xue-ying<sup>1,2,3</sup>, SUN Hui-li<sup>1,4</sup>, SUN Xing-li<sup>3</sup>, ZHANG Yu-bin<sup>3</sup>, SHI Yu-zhen<sup>3</sup>, ZHANG Ji-biao<sup>3</sup>

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Monitoring Center for Marine Resources and Environments, Gangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 4. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

**Received:** May,6,2011

**Key words:** Liusha Bay; Total organic carbon (TOC); temporal and spatial distribution; influence factors

**Abstract:** The total organic carbon (TOC) in the Liusha Bay was investigated in February (winter), May (spring), August (summer) and December (autumn) of 2008. The characteristic of temporal and spatial distribution of TOC in seawater was studied and the correlations of TOC with temperature, salinity, pH value, chlorophyll-a content and sediment TOC were analyzed. The result showed that TOC content values ranged from 0.992 to 5.437 mg/L with average of 2.414 mg/L), and TOC content changed with a trend of spring>summer>autumn>winter. In Liusha Bay, the horizontal distribution of TOC was relatively even and TOC content in surface water was a little higher than bottom water. The TOC content of inner bay was higher than outer bay in winter and summer, while reversed in spring and autumn. For the vertical distribution, TOC content of surface water was higher than that of bottom water in winter, summer and autumn, while reversed in spring. For the regional distribution, The TOC content gradually decreases from Liusha town to Xilian town in winter and summer, and contrary in autumn. However, there was no significant changes in TOC content from Liusha town to Xilian town in spring. The correlation analysis showed that the TOC content had positive correlations with temperature and pH value. The former one is very significant, The TOC content showed insignificant negative correlation with salinity and definite correlation with chlorophyll-a. The TOC content positively correlated to chlorophyll-a when the chlorophyll-a concentration was less than 2.6  $\mu\text{g/L}$ , while it is reversed when the concentration was more than 2.6  $\mu\text{g/L}$ . In addition, TOC of seawater showed positive correlation with sediment TOC.

(本文编辑:康亦兼)