

# 福建主要港湾悬浮有机碳和悬浮有机氮的动态变化

蔡玉婷

(福建省水产研究所,福建 厦门 361012)

**摘要:**依据 2001 年福建主要港湾水体中悬浮物质的调查资料,讨论了悬浮有机碳(POC)、悬浮有机氮(PON)的含量和动态变化特征。结果表明,POC 的季度平均含量为  $0.43 \sim 0.54 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , PON 的季度平均值在  $0.22 \sim 0.26 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , 属中等水平。潮流和底质对悬浮物质含量的分布起决定性的作用,沉积物再悬浮对悬浮物分布影响很大,冬季尤为显著。现场调查的结果表明 POC 与 PON 存在显著相关,反映出受人类活动影响较大的海洋生态系统区水体中 POC 与 PON 之间的自然本底关系。各调查海区 C/N 比值平均为  $1.65 \sim 2.32$ , 根据判断悬浮有机物(POM)来源的标准,小于 8 为海源有机物,并且 POM 中主要是浮游植物的碎屑。

**关键词:**悬浮有机碳;悬浮有机氮;叶绿素 a;初级生产力;浮游植物细胞数;福建

中图分类号:X55 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0167-07

## The Dynamical Variation of Suspended Organic Carbon and Suspended Organic Nitrogen in the Main Bays in Fujian

CAI Yu-ting

(Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361012, China)

**Abstract:** The contents and variation characteristics of suspended organic carbon (POC) and suspended organic nitrogen (PON) have been discussed in this paper according to the investigation data of suspended matters in the water of main bays in Fujian in 2001. The quarter average value of POC was  $0.43 \sim 0.54 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , The quarter average value of PON was  $0.22 \sim 0.26 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , at a middle level. The tidal current and bottom sediment play a decisive role in distribution of suspended matter. The resuspension of sediment has great effect on distribution of suspended matter, especially significant in winter. The results of spot investigation showed that POC has significant correlation with PON, reflection the natural background between POC and PON in the water of marine ecosystem significantly effected by human activities. The C/N average ration is  $1.65 \sim 2.32$ . According to the standard of suspended organic matter (POM) sources, the value lower than 8 is considered as marine organic matter, and in POM. There is mainly debris of phytoplankton.

**Keywords:** suspended organic carbon; suspended organic nitrogen; chlorophyll a; primary productivity; phytoplankton cell number; Fujian

海水中的悬浮物是指水样通过孔径为  $0.45 \mu\text{m}$  的滤膜,截留在滤膜上并于  $103 \sim 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干恒重的固体物质。在悬浮物含量高的海域,悬浮物主要由细小的泥土微粒和悬浮颗粒构成,它们能吸附水中的营养物质,然后沉淀到海底,可使水体中的营养物质浓

度下降,悬浮物对调控海水营养盐起着一定的作用。悬浮物的产生、沉降和分解也是减少海水中某些微量元素的重要因素之一。悬浮物内碳循环的形式多样,过程复杂,涉及的物质量巨大,对研究海洋中碳循环的“源”和“汇”有重要意义,已成为国际海洋碳循环研究中的热点之一<sup>[2-6]</sup>。

海洋环境中悬浮有机碳(POC)和悬浮有机氮(PON)是生态系中物质循环和能量流动研究的重要内容,也是评价初级生产力水平的一个重要参数,许

收稿日期:2009-03-02

基金项目:福建省海洋与渔业局重点资助项目(200003)

作者简介:蔡玉婷(1980—),女,福建厦门人,助理研究员,从事海洋与渔业生态环境研究。E-mail: yuting\_cai@163.com

多学者研究了 POC 与浮游植物的关系<sup>[7-12]</sup>,报道了世界上重要上升流区(如秘鲁上升流区<sup>[13]</sup>,西北非上升流区<sup>[14]</sup>)POC 的变化。本文就福建主要港湾水体中 POC、PON 含量的时、空变化,以及在生态系统中的动态变化进行讨论,并计算了 POC、PON 与叶绿素 a、初级生产力和浮游植物细胞数的相关系数。

## 1 材料与方法

### 1.1 区域概况

福建海区水文流系复杂,是多种水系交汇的地方,一般认为有浙闽沿岸水(包括南海暖流和黑潮支流)。调查区主要受两种性质差异很大的水体影响,有内源水(沿海的江河水)和外源水(台湾海峡海水)。江河水具有季节变化大、营养盐含量高和盐度低的特点;台湾海峡海水具有高盐和低营养盐、低污染物的特点。调查结果反映了内源水系和外源水系对环境的影响,使调查区的初级生产力和营养要素呈现湾内高,湾外低,并往湾外有规律地递减的平面分布趋势,营养盐与叶绿素 a、初级生产力、浮游植物存在明显的依存关系。Jiang 等<sup>[15]</sup>将一种较全面考虑各种动力过程的粒子追踪悬浮物输运数值模式(SPM)应用到海洋。Zhu<sup>[16]</sup>从沉积地貌研究角度出发,认为潮流是底质再悬浮的主要动力,也是调控海底沉积物类型和分布的重要因素。福建有闽江、九龙江和晋江三大河流,河流营养物质输入通量增加,使沿岸港湾成为初级生产力较高的海域。

### 1.2 调查范围、时间和监测方法

调查范围北起三都湾(26°37.450'N, 119°37.760'E),南至诏安湾(23°40.817'N, 117°18.712'E),共有 12 个港湾,从北至南依次为:三都澳、官井洋、东吾洋、罗源湾、兴化湾、湄洲湾、泉州湾、深沪湾、围头湾、佛昙湾、旧镇湾和诏安湾(图 1),水深一般小于 50 m,沉积物以细砂和泥为主,在 2001 年 5、8、11 月进行 3 个航次大面调查工作。

水质分析方法如下:悬浮有机碳用硫酸亚铁-重铬酸钾容量法;悬浮有机氮用凯氏氮测定法;叶绿素 a 和初级生产力依照《海洋调查规范<sup>[17]</sup>-海洋生物调查》规定的方法。

(1)叶绿素 a:用 2.5 L GCC-2 型有机玻璃采水器取各层水样,每层水样取 250 mL,加入 2 滴 1% 碳酸镁溶液,用 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤,然后用 90% 丙酮萃取,定容至 10 mL,低温下萃取 20 h 后,萃取液用 Turner(Turner10-AU)荧光仪进行测定;

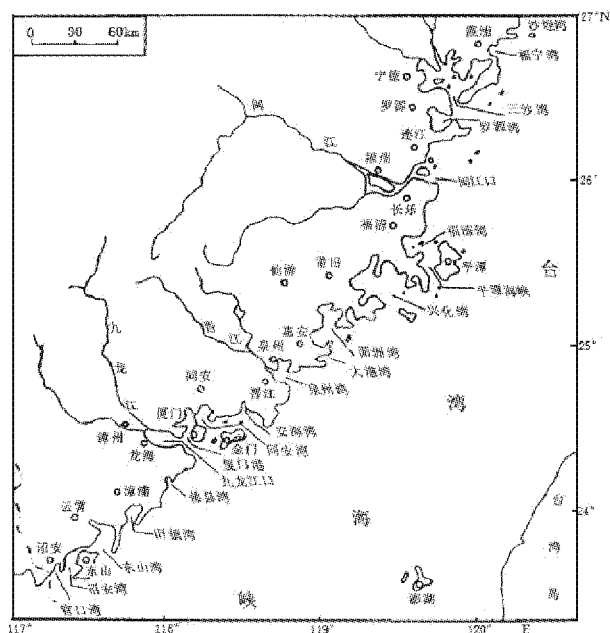


图 1 福建主要港湾调查站位

Figure 1 Map of investigated stations in the main bays in Fujian

(2)初级生产力:根据现场采样的透明度取 100%、10% 和 1% 表面入射光达到深度的水样,各层水样均取 3 个分样倒入培养瓶(二白一黑),加入<sup>14</sup>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,然后用微孔滤膜过滤,滤膜经酸熏后置于闪烁瓶中保存,最后加入闪烁液并在液体闪烁计数仪(LS6500)上进行测定,所用仪器均经过计量认证。

同步调查的还有水体浮游植物种群组成、数量和优势种,浮游植物用浅水 3 型浮游生物垂直拖网采集,浮游植物样品加入甲醛固定,在实验室进行浓缩、鉴定。

## 2 结果与分析

### 2.1 悬浮有机碳含量

海洋中悬浮有机碳(POC)仅是溶解有机碳(DOC)的 1/8 左右,它可用(叶绿素 a × f)来估算,因此有“POC(总量) - 叶绿素 a × f = POC(碎屑)”的公式<sup>[18]</sup>(f 为校正系数)。

POC 在海洋中的形成主要有如下几个方面:碎屑(粪粒,碎片);细菌的吸附和聚凝;有机分子的聚集;在无机矿物颗粒上吸附和胶体絮凝,过程十分复杂。

POC 与浮游植物的关系研究领域包括:海洋中 POC 在水体中扩散和循环;POC 沉降过程中被氧化或降解反应。

如表 1~3:春季(5 月)POC 的变化范围在 0.1 ~ 1.75 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.43 mg · L<sup>-1</sup>;夏季(8 月)变化范围在 0.06 ~ 2.30 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.54 mg · L<sup>-1</sup>;秋季(11 月)变化范围在 0.08 ~ 2.46 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.52 mg · L<sup>-1</sup>。比 Hung 等<sup>[1]</sup>在台湾岛西南海域的观测结果(平均为 0.116 ~ 0.154 mg · L<sup>-1</sup>)含量稍高,本海区调查结果低于世界上高生产力的秘鲁上升流区<sup>[13]</sup>和西北非上升流区<sup>[14]</sup>,高于黑潮水域及大洋海域的均值<sup>[15-19]</sup>。季节的变化趋势是夏季 > 秋季 > 春季。POC 含量的这种季节变化规律与海水中叶绿素 a 的变化规律基本一致。叶绿素 a 也是夏季含量最高,变化趋势是夏季 > 春季 > 秋季。POC 含量最高的是兴化湾,其次是湄洲湾、罗源湾和三都澳海域,含量较低的有深沪湾、佛昙湾、围头湾和诏安湾海域。

2.2 悬浮有机氮含量

有机氮包括各种颗粒态和溶解态的有机氮化合物,一般将能够通过 0.45 μm 微孔滤膜的有机氮称为溶解有机氮(DON),把留在滤膜上的颗粒称为悬浮有机氮(PON)。DON 化合物包括许多氨基酸、多肽、蛋白质中非取代氨基的氮。PON 包括活的微生物的肌体组织和碎屑物质。海洋环境中生物碎屑和排泄物的含氮物质中,有些成分经过溶解和细菌的硝化作

用,逐步产生可溶态有机氮、铵盐、亚硝酸盐和硝酸盐。硅藻死亡后,其 PON 分解为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,转化为 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 约需 3 个月时间<sup>[20]</sup>。在有机氮分解过程中,微生物和酶的催化作用是极为重要的。

如表 1 到表 3:春季(5 月)PON 的变化范围在 0.01 ~ 0.88 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.23 mg · L<sup>-1</sup>;夏季(8 月)变化范围在 0.01 ~ 1.61 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.26 mg · L<sup>-1</sup>;秋季(11 月)变化范围在 0.03 ~ 0.75 mg · L<sup>-1</sup>,均值为 0.22 mg · L<sup>-1</sup>。3 个季度 PON 的平均值属中等水平,季节的变化趋势是夏季 > 春季 > 秋季。PON 含量较高的有泉州湾、兴化湾,PON 含量较低的是佛昙湾、湄洲湾、罗源湾、旧镇湾和诏安湾。

2.3 悬浮有机碳、悬浮有机氮与叶绿素 a 的关系

有资料表明 POC 与叶绿素 a 存在显著的正相关,其相关方程为:

$$POC(mg \cdot L^{-1}) = 125.7 + 18.6Chl. a \ (r = 0.2128)$$

本海区 3 个季度的 POC 与叶绿素 a 相关系数为 0.29 ~ 0.496 4。

浮游植物有机碳占海水中 POC(总量)的比例范围较宽,通常的变化趋势是近岸 POC(碎屑)占的比例较低,离岸远处较高<sup>[21]</sup>。Hung 等<sup>[1]</sup>曾观测到 POC(碎屑)占 POC(总量)的 3% ~ 27%,Cadee 则报道 POC(碎屑)占 5% ~ 30%,而且随季节不同而变化<sup>[22]</sup>。

表 1 各港湾 5 月悬浮有机碳、悬浮有机氮、叶绿素 a、初级生产力和浮游植物平均值  
Table 1 The mean values of suspended organic carbon, suspended organic nitrogen, Chl. a, primary productivity and phytoplankton in the main bays in Fujian investigation time:2001.5

| 调查<br>港湾 | 悬浮有机碳/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机氮/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机碳与悬浮<br>有机氮比值 C/N | 叶绿素 a/<br>mg · m <sup>-3</sup> | 初级生产力/<br>mgC · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> | 浮游植物细胞数/<br>10 <sup>3</sup> 个 · m <sup>-3</sup> |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 三都澳      | 0.67                           | 0.26                           | 2.58                  | 13.61                          | 45                                                | 63.3                                            |
| 官井洋      | 0.09                           | 0.19                           | 0.47                  | 33.83                          | 34                                                | 26.9                                            |
| 东吾洋      | 0.17                           | 0.21                           | 0.81                  | 12.92                          | 82                                                | 62.0                                            |
| 罗源湾      | 0.51                           | 0.21                           | 2.43                  | 1.54                           | 134                                               | 74.4                                            |
| 兴化湾      | 0.70                           | 0.28                           | 2.50                  | 1.70                           | 104                                               | 1486.9                                          |
| 湄洲湾      | 0.50                           | 0.25                           | 2.00                  | 2.7                            | 174                                               | 7158.4                                          |
| 泉州湾      | 0.32                           | 0.30                           | 1.07                  | 2.98                           | 166                                               | 21506.5                                         |
| 深沪湾      | 0.33                           | 0.34                           | 0.97                  | 2.82                           | 265                                               | 74608.2                                         |
| 围头湾      | 0.34                           | 0.21                           | 1.62                  | 4.64                           | 213                                               | 122267.0                                        |
| 佛昙湾      | 0.27                           | 0.18                           | 1.50                  | 5.40                           | 193                                               | 859.3                                           |
| 旧镇湾      | 0.36                           | 0.18                           | 2.00                  | 5.24                           | 196                                               | 57490.7                                         |
| 诏安湾      | 0.31                           | 0.20                           | 1.55                  | 5.23                           | 241                                               | 12745.6                                         |
| 平均       | 0.38                           | 0.23                           | 1.65                  | 7.72                           | 153.9                                             | 24862.4                                         |

注:97 个样品的平均数。

表 2 各港湾 8 月悬浮有机碳、悬浮有机氮、叶绿素 a、初级生产力和浮游植物平均值

Table 2 The mean values of suspended organic carbon, suspended organic nitrogen, Chl. a, primary productivity and phytoplankton in the main bays in Fujian investigation time: 2001. 8

| 调查<br>港湾 | 悬浮有机碳/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机氮/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机碳与悬浮<br>有机氮比值 C/N | 叶绿素 a/<br>mg · m <sup>-3</sup> | 初级生产力/<br>mgC · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> | 浮游植物细胞数/<br>10 <sup>3</sup> 个 · m <sup>-3</sup> |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 三都澳      | 0.60                           | 0.10                           | 6.00                  | 19.33                          | 90                                                | 1226.1                                          |
| 官井洋      | 0.46                           | 0.16                           | 2.88                  | 25.06                          | 116                                               | 167.7                                           |
| 东吾洋      | 0.56                           | 0.23                           | 2.43                  | 15.96                          | 78                                                | 418.8                                           |
| 罗源湾      | 0.57                           | 0.13                           | 4.38                  | 7.27                           | 1708                                              | 1001.7                                          |
| 兴化湾      | 1.23                           | 0.43                           | 2.86                  | 16.88                          | 1712                                              | 90316.8                                         |
| 湄洲湾      | 0.79                           | 0.15                           | 5.27                  | 3.50                           | 437                                               | 2689.8                                          |
| 泉州湾      | 0.51                           | 0.87                           | 0.59                  | 4.36                           | 147                                               | 3566.6                                          |
| 深沪湾      | 0.27                           | 0.32                           | 0.84                  | 2.51                           | 221                                               | 2256.7                                          |
| 围头湾      | 0.33                           | 0.33                           | 1.00                  | 3.72                           | 163                                               | 2054.2                                          |
| 佛昙湾      | 0.32                           | 0.15                           | 2.13                  | 2.20                           | 81                                                | 113.3                                           |
| 旧镇湾      | 0.46                           | 0.24                           | 1.92                  | 4.45                           | 103                                               | 2899.0                                          |
| 诏安湾      | 0.30                           | 0.23                           | 1.30                  | 2.96                           | 97                                                | 2034.5                                          |
| 平均       | 0.53                           | 0.28                           | 1.89                  | 9.02                           | 412.8                                             | 9062.1                                          |

注:97 个样品的平均数。

表 3 各港湾 11 月悬浮有机碳、悬浮有机氮、叶绿素 a、初级生产力和浮游植物平均值

Table 3 The mean values of suspended organic carbon, suspended organic nitrogen, Chl. a, primary productivity and phytoplankton in the main bays in Fujian in Nov investigation time: 2001. 11

| 调查<br>港湾 | 悬浮有机碳/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机氮/<br>mg · L <sup>-1</sup> | 悬浮有机碳与悬浮<br>有机氮比值 C/N | 叶绿素 a/<br>mg · m <sup>-3</sup> | 初级生产力/<br>mgC · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> | 浮游植物细胞数/<br>10 <sup>3</sup> 个 · m <sup>-3</sup> |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 三都澳      | 0.61                           | 0.35                           | 1.74                  | 6.62                           | 19                                                | 80.9                                            |
| 官井洋      | 0.73                           | 0.35                           | 2.09                  | 33.75                          | 18                                                | 62.8                                            |
| 东吾洋      | 0.69                           | 0.28                           | 2.46                  | 14.84                          | 23                                                | 29.0                                            |
| 罗源湾      | 0.94                           | 0.20                           | 4.70                  | 0.96                           | 50                                                | 160.7                                           |
| 兴化湾      | 0.92                           | 0.34                           | 2.71                  | 1.89                           | 42                                                | 305.0                                           |
| 湄洲湾      | 0.80                           | 0.15                           | 5.33                  | 2.15                           | 35                                                | 478.7                                           |
| 泉州湾      | 0.36                           | 0.19                           | 1.89                  | 1.87                           | 36                                                | 864.6                                           |
| 深沪湾      | 0.21                           | 0.19                           | 1.10                  | 1.69                           | 47                                                | 126.8                                           |
| 围头湾      | 0.24                           | 0.19                           | 1.26                  | 1.38                           | 90                                                | 94.8                                            |
| 佛昙湾      | 0.20                           | 0.12                           | 1.67                  | 1.79                           | 92                                                | 236.8                                           |
| 旧镇湾      | 0.19                           | 0.15                           | 1.27                  | 1.78                           | 69                                                | 218.2                                           |
| 诏安湾      | 0.26                           | 0.15                           | 1.73                  | 3.45                           | 138                                               | 40102.8                                         |
| 平均       | 0.51                           | 0.22                           | 2.32                  | 6.01                           | 54.9                                              | 3563.4                                          |

注:97 个样品的平均数。

如表 4:春季 POC 与叶绿素 a 存在正相关关系,相关系数达到 0.496 4,其余的相关系数为 0.295 0 ~ 0.418 3;秋季 PON 与叶绿素 a 存在正相关关系,关系显著,相关系数达到 0.601 9,其余的相关系数为

0.208 6 ~ 0.336 4。

2.4 悬浮有机碳、悬浮有机氮与初级生产力的关系

如表 4:夏季 POC 与初级生产力的相关关系显著,相关系数达到 0.681 2,其余的相关系数为 0.117 5 ~

表4 各港湾悬浮有机碳、悬浮有机氮与叶绿素 a、初级生产力和浮游植物的相关系数

Table 4 Correlation Coefficient of suspended organic carbon, suspended organic nitrogen and Chl. a with primary productivity and phytoplankton in the main bays in Fujian

| 调查时间    | 项目    | 叶绿素     | 初级生产力   | 浮游植物细胞数 |
|---------|-------|---------|---------|---------|
| 2001.5  | 悬浮有机碳 | 0.496 4 | 0.117 5 | 0.137 5 |
| 2001.8  | 悬浮有机碳 | 0.418 3 | 0.681 2 | 0.825 5 |
| 2001.11 | 悬浮有机碳 | 0.295 0 | 0.605 5 | 0.268 3 |
| 2001.5  | 悬浮有机氮 | 0.336 4 | 0.152 6 | 0.131 5 |
| 2001.8  | 悬浮有机氮 | 0.208 6 | 0.063 2 | 0.254 2 |
| 2001.11 | 悬浮有机氮 | 0.601 9 | 0.656 1 | 0.272 0 |

0.605 5;秋季 PON 与初级生产力存在正相关关系,相关系数达到 0.656 1,其余的为 0.063 2~0.152 6。

## 2.5 悬浮有机碳、悬浮有机氮与浮游植物细胞数的关系

悬浮物中的那些与生物活动密切相关的元素(如 C、N、P、Fe 和 Mn 等)的含量大于表层沉积物中的含量<sup>[23]</sup>,说明悬浮物与表层沉积物的化学特征有较大的不同,悬浮物在其沉降过程及沉降以后经历了降解、化学反应等各种动态变化。

如表 4:夏季 POC 与浮游植物细胞数的相关关系显著,相关系数达到 0.825 5,其余的为 0.137 5~0.268 3。郭劳动等<sup>[24]</sup>发现,在生物量达到高峰的 8 月 POC 与浮游植物细胞数的相关关系密切( $r = 0.601$ ,  $n = 72$ ),表明夏季 POC 与浮游植物细胞数的相关性较好;郭劳动等<sup>[24]</sup>研究结果表明,全年 POC 与浮游植物细胞数之间存在明显的正相关关系( $r = 0.211$ ,  $n = 300$ ),与本次研究结果相近,说明生物因子是控制本海区浮游植物细胞数的主要因素之一。

秋季 PON 与浮游植物细胞数存在正相关关系,相关系数达到 0.272 0,其余的为 0.131 5~0.254 2,说明福建主要港湾 POC、PON 与浮游植物细胞数的相关性较好。将 POC 的变化特点与本海区浮游植物细胞数的变化进行对比,不难看出,夏季 POC 含量的高峰显然与浮游植物的贡献有关,到了秋季海水的垂直混合已较剧烈,浙闽沿岸流开始影响本海区,秋季本海区 POC 含量在全年出现次高值。

## 2.6 悬浮有机碳与悬浮有机氮的相关性

POC 的富聚速率反映了海洋初级生产力的变化,关于 POC 的来源一直是人们关注的焦点,近年来对碳的来源研究更趋广泛,多数认为 POC 主要来源于陆源物质输入和海洋自生两大方面<sup>[25-27]</sup>。

在海洋有机物中,C/N 比值的大小常被用作判断

有机物的来源是海源还是陆源的标准,一般陆源有机物的 C/N 比值较高,可达 20 以上<sup>[28]</sup>。C/N 比值还可提供海区初级生产力的状况。Waksman<sup>[29]</sup>提出陆源植物碎屑中 C/N 比值大于 18,浮游植物的 C/N 比值为 3~7。Prahl 等认为 POC 与 PON 的数据是有意义的参数,根据 C/N 比值的变化指示了有机物的来源,即 C/N 比值大于 12 为陆地为主的陆源输入<sup>[30]</sup>,C/N 比值小于 8 为典型的海洋有机质来源<sup>[31]</sup>。Milliman 等<sup>[32]</sup>采用 C/N 比值研究了冬季长江口区有机物的来源,并以 C/N 比值大于 12 的为陆源有机物,C/N 比值小于 8 的为海源有机物,结果发现冬季长江口区悬浮有机物(POM)主要是陆源。蔡德陵等<sup>[33]</sup>采用稳定性同位素法( $^{13}\text{C}$ )和 C/N 比值法对长江口的 POM 分别进行了判断,两种方法所获结论一致,这就进一步确定了 C/N 比值判断 POM 来源的可靠性。在闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系研究中报道:各航次 POC 与 PON 都具有较好的正相关关系<sup>[34]</sup>。

如表 1 到表 3:本次调查海区 C/N 比值平均为 1.65~2.32,根据判断 POM 来源的标准,小于 8 为海源有机物,并且 POM 中主要是浮游植物的碎屑。福建主要港湾都是离大陆不远的内湾,悬浮物质较多,属近内海特征,反映出受人类活动影响较大的海洋生态系统区 POC 与 PON 的之间的自然关系。

## 3 讨论与评价

(1)福建主要港湾的 POC 季度平均值为 0.38~0.53  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,季节变化特点是夏季最高,春季最低,秋季为全年的次高峰。PON 的季度平均值为 0.22~0.28  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,季节变化特点是夏季最高,秋季最低,春季为全年的次高峰。

(2)浙闽沿岸水一般在冬季影响福建海区,而外海水则终年都影响本海区。调查区 POC 与 PON 属近

海特征,其含量相对低于其他上升流区。

(3)叶绿素 a 季度平均为  $6.01 \sim 9.02 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 初级生产力季度平均为  $54.9 \sim 412.8 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。叶绿素 a 和初级生产力的季节变化特点相同,都是夏季最高,秋季最低,春季为全年的次高峰,这个特点与 PON 的变化有很好的一致性。

(4)浮游植物细胞数的季度平均值为  $(3\ 563.4 \sim 24\ 862.4) \times 10^3 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ , 季节变化特点是春季最高,秋季最低,夏季为全年的次高峰。

(5)悬浮物质的平面分布随水动力、生物活动和季节不同而变化。本次调查结果发现 POC、PON 与叶绿素 a、初级生产力和浮游植物细胞数相关关系显著,有较好的相关性。

(6)再悬浮过程引起的悬浮物质含量增加,对水体营养盐的补充、再生,进而维持海域的生产力起着重要的作用,但在离岸很远或水深较大的海域,沉积物的再悬浮作用较弱,悬浮物对营养盐的控制作用不明显。

(7)海水悬浮颗粒的主要控制因素是生物活动、沉淀生成和陆源输入(包括再悬浮)等过程。本次调查海区 C/N 比值平均为  $1.65 \sim 2.32$ , 根据判断悬浮有机物来源的标准,主要为海源有机物,并且主要是浮游植物的碎屑。

#### 参考文献:

- [1] Hung Tsu - chang, et al. Relationships among POC, ATP, Chl - a and primary production in seawater along Taiwan [J]. *Acta Oceanographic Taiwanica*, 1982, 13:109 - 123.
- [2] Bauer J E, Druffel E R M. Ocean margins as a significant source organic matter to the deep sea [J]. *Nature*, 1998, 392: 482 - 485.
- [3] Tjeerd C E van Weeringa, De Stigtera Henko C, Balzerb W, et al. Benthic dynamics and carbon fluxes on the NW European continental margin [J]. *Deep - Sea Research (H)*, 2001, 48: 3191 - 3221.
- [4] Rutgers van der loeff M M, Meyer R, Rudel S B. Resuspension and particle transport in the benthic nepheloid layer in and near Fram Strait in relation to faunal abundances and  $^{234}\text{Th}$  depletion [J]. *Deep - Sea Research (I)*, 2002, 49(11):1941 - 1958.
- [5] Kato Y, Kitazato H, Shimanga M, et al,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in sediments from Sagami Bay, Japan; Sedimentation rates and inventories [J]. *Progress in Oceanography*, 2003, 57: 77 - 95.
- [6] Boetius A, Springer B, Petryc. Microbial activity and particulate matter in the benthic nepheloid layer (BNL) of the deep Arabian Sea [J]. *Deep - Sea Research (II)*, 2000, 47(14): 2 687 - 2 706.
- [7] Ransom B, Shea K F, Burkett P J, et al, Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow: Implications for carbon cycling [J]. *Marine Geology*, 1998, 150: 39 - 50.
- [8] 秦蕴珊,李凡. 渤海海水悬浮体的研究 [J]. 海洋学报, 1982, 14(2): 191 - 200.
- [9] QIN Y S. LIF. Suspended matter in the Bohai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1982, 14(2): 191 - 200.
- [9] Sellner K G. Relationships between the chemical composition of POM and phytoplankton distribution in recently upwelling waters off Peru. // Coastal Upwelling (Suess E & Thieles J. eds.) Plenum Press, N. Y and London, 1983, 237 - 287.
- [10] Alcaraz M, Estarda M, Flos J. et al. Particulate carbon and nitrogen and plankton biomass in oligotrophic and upwelling system. Int. Symp. Upw., W. Afr. Inst. INv. Pesq., Barcelona, 1985: 435 - 448.
- [11] ZHU Y R., Preliminary study of the dynamic origin of the distribution pattern of bottom sediments on the continental shelves of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51: 663 - 680.
- [12] Flemer D A, Robert B B. Particulate carbon, nitrogen relation in the northern Chesapeake Bay [J]. *Fish Res Board Canada*, 1971, 28: 911 - 918.
- [13] 秦蕴珊,李凡. 南黄海海水中悬浮体的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(2): 101 - 121.
- [13] QIN Y S. LI F. Suspended matter in the South Yellow Sea [J]. *Oceanologica et Limnologica Sinica*, 1989, 20(2): 101 - 121.
- [14] Parsons T R, Particulate organic carbon in the Sea. // Chemical Oceanography Vol. 2 (Riley, J. P. and Skirrow, G., eds.), Academic Press, London, 1975: 365 - 383.
- [15] Jiang W S, Thomas P J, et al. A modelling study of SPM transport in the Bohai Sea [J]. *J Marine System*, 2000, 24(3 - 4): 175 - 200.
- [16] 国家质量技术监督局. GB12963. 6 - 1991, 海洋调查规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [16] State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB12963. 6 - 1991. The specification for oceanographic survey [S]. Beijing: China Standard Press, 1991.
- [17] 张正斌,陈镇东,刘莲生,等. 海洋化学原理和应用 - 中国近海的海洋化学 [A]. 北京: 海洋出版社, 1999: 123, 176, 190, 195.
- [17] ZHANG Zheng - bin, CHEN Zhen - dong, LIU Lian - sheng, et al. Principle and Application of Marine chemistry - Marine chemistry of China seas [A]. Beijing: Marine Press, 1999: 123, 176, 190, 195.
- [18] Karl D M. 1980, Cellular nucleotide measurements and applications in microbial ecology, *Microbiol Rev.*, 44: 739 - 769.
- [19] Tregner P, et al. Biogenic silica and POM from the Indian Sector of the Southern Ocean [J]. *Mar Chem*, 1988, 23: 167 - 180.
- [20] Epply R W, Harrison W G, Chisholm S W, et al. POM in surface waters off Southern California and its relationship to phytoplankton [J]. *J Mar Res*, 1977, 35(4): 671 - 696.
- [21] Flemer D A, Robert B B. Particulate carbon: Nitrogen relation in the northern Chesapeake Bay [J]. *Fish Res Board Canada*, 1971, 28: 911 - 918.
- [22] Cadée G C. Organic carbon in the upper 100 m and downward flux in the Banda Sea, Monsoonal differences, Neth [J]. *J Sea Res*, 1988, 22(2): 109 - 121.
- [23] 徐立, 吴瑜端. 有机氮化合物对海洋浮游植物生长的影响 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1995, 34(5): 349.

- XU Li, WU Yu - duan. Effect of organic nitrogen on the growth of marine phytoplankton [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1995, 34(5): 349.
- [24] 郭劳动, 洪华生. 台湾海峡南部颗粒有机碳的分布与变化, 闽南 - 台湾浅滩渔场上生流区生态系研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 224 - 230.
- GUO Lao - dong, HONG Hua - sheng. Distribution and variation of POC in the southern Taiwan strait; Minnan - Taiwan bank fishing ground upwelling ecosystem study [M]. Beijing: Science Press, 1991: 224 - 230.
- [25] 顾宏堪. 黄渤海海洋化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 500.
- GU Hong - kan. Marine chemistry of the Yellow sea, Bohai sea and East china sea [M]. Beijing: Science Press, 1991: 500.
- [26] Stein R, Fahl K. Holocene accumulation of organic carbon at the Laptev Sea continental margin (Arctic Ocean); Sources, pathway, and sinks [J]. *Geo Marine Letters*, 2000, 20: 27 - 36.
- [27] Bhushanr, Duttak, Somayajulubl. Concentration and burial fluxes of eastern margins of Arabian Sea [J]. *Marince Geology*, 2001, 178: 95 - 113.
- [28] 郭劳动, 洪华生, 洪丽玉, 等. 台湾海峡南部悬浮物化学的初步研究. 闽南 - 台湾浅滩渔场上升流区生态系研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 282 - 288.
- GUO Lao - dong, HONG Hua - sheng, Hong Li - yu, et al. Chemical composition of suspended matter from southern Taiwan strait. [M]. Beijing: Science Press, 1991: 282 - 288.
- [29] Waksman S A. On the distrution of organic matter in the bottom and chemical nature and origin of marine human [J]. *Soil Sci*, 1939, 38: 125 - 147.
- [30] Prahl F G, Bennett J T, Carpenter R. The early diagenesis of aliphatic hydrocarbons and organic matter in sedimentary particulates from Dabob Bay, Washington [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1980, 44: 1967 - 1976.
- [31] Bordovskiy O K. Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments [J]. *Mar Geol*, 1965, 3: 93 - 114.
- [32] Milliman J D. XIE Q H, YANG Z S. Transfer of particulate organic carbon and nitrogen from the Yangtze River to the ocean [J]. *American J Sci*, 1984, 284: 824 - 834.
- [33] 蔡德陵, TAN F C, EDMOND J M. 长江口区有机碳同位素地球化学 [J]. 地球化学, 1992(3), 30 - 35.
- CAI D L. TAN FC. Edmond J M. Organic carbon isotope geochemistry in the Changjiang estuary area [J]. *Geochimica*, 1992(3): 30 - 35.
- [34] 郭劳动, 洪华生, 陈敬虔, 等. 台湾海峡南部悬浮物质的分布与变化. 闽南 - 台湾浅滩渔场上升流区生态系研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 273 - 280.
- GUO Lao - dong, HONG Hua - sheng, CHEN Jing - qian, et al. Distribution and variation of suspended matter in the southern Taiwan strait [M]. Beijing: Science Press, 1991: 273 - 280.