

大亚湾的有机碳*

蔡艳雅 韩舞鹰 林洪瑛

(中国科学院南海海洋研究所)

摘 要

本文基于实测资料, 分别讨论了大亚湾的溶解有机碳、颗粒碎屑有机碳、沉积物有机碳及生物碳的含量、分布及其相互关系。

大亚湾位于珠江口东部, 是一个大型山地溺谷海湾, 水域面积达600km², 平均水深约10m, 大亚湾是广东省最大的海湾之一, 该湾受人类活动影响较少, 是广东省目前保持自然生态环境较好的一个海湾, 著名的大亚湾核电站建址其西南岸。1985年—1986年我们开展大亚湾碳循环的专题调查, 本文根据调查资料, 研究大亚湾海水中溶解有机碳、颗粒碎屑有机碳、生物碳和表层沉积有机碳的含量、分布及变化规律。

采样站位及分析方法

我们于1985年10月, 1986年1月, 1986年5月, 1986年8月对大亚湾进行了四航次的碳循环专题调查, 站位见图1。

颗粒有机碳(POC)、颗粒有机氮(PON)及表层沉积物中的总碳采用240C型元素分析仪测定。溶解有机碳(DOC)采用过硫酸盐高温氧化法。碳水化合物用酚硫酸法测定。叶绿素a用751型分光光度计测定。表层沉积物的无机碳用酸碱容量法。温度、盐度、碱度、pH、溶解氧的分析方法见文献^[1]。

有机碳的含量 及分布特征

大亚湾的有机碳按其不同的存在形式, 基本可分为四种: 存在于海水中的溶

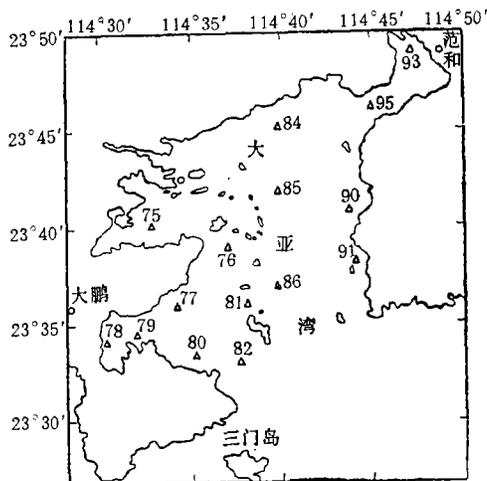


图1 调查站位示意图
Fig. 1 Sketch of investigated station

* 国家自然科学基金资助课题。

解有机碳、悬浮在海水中的颗粒碎屑有机碳、以生物形式存在的有机碳及表层沉积物中的有机碳。

1. 海水中的溶解有机碳 (DOC) 的含量及分布特征

大亚湾的 DOC 含量范围是 1.03—3.95mg/l, 平均值约 2.31mg/l。一年四航次观测中的最大值及最小值分别出现在春季的表层 (海水表面) 及底层 (离水底 2m), 各季节平均含量见表 1。

海水中的DOC, 大部分较为稳定, 一些结构稳定的多糖、腐殖酸等在海水中相当稳定, 生物降解、化学过程只能使之缓慢降解。另一小部分来自生物的DOC较不稳定, 如一些生物的代谢产物, 死亡生物的分解产物中较易分解的氨基酸、碳水化合物等^[2]。DOC 发生的变化主要是小部分不稳定的DOC所引起。因此, 当不考虑外界环境的影响, DOC的含量是比较恒定的 (在大洋中的 DOC 便是如此)。然而象大亚湾这样的近岸水域, 还要考虑环境对它的影响。由表 1 可知, 各季节的 DOC 相差不多, 夏季DOC稍高, 这主要是由于大亚湾夏季多雨, 雨水把陆地的溶解态有机质带入湾内, 使DOC增加; 而且亦与夏季海水的平均温度较高 (29.5℃) 有关, 温度较高有利于生物残骸及颗粒有机物的溶解, 也使DOC含量增加。当然温度高亦有利于DOC的分解, 但当温度不是太高, DOC的氧化分解作用不及残腐生物的溶解快, 因而其总的结果还是使DOC有所增加。

DOC的平面分布: 春季表层北部较高, 西部及湾口较低。底层湾中部较低, 沿岸水域除西南侧有一较低值外, 其余均较高 (如图 2)。夏季表层湾北部、东部较高, 西部较低。底层中部有较高值, 与其它季节的底层分布有较大差异。秋季表层东北角较高, 西南角有较低值, 其余地方较均匀。底层东北角较高, 在湾北部存在由东北向西南递减的浓度梯度。冬季表层西南部较高, 中部较低, 由中部向北浓度稍有增加。

总的说来, DOC的水平分布一般在北部有较高值, 湾口有较低值, 湾西部比湾东部低。表层分布除夏季外较底层均匀。春季底层DOC分布最不均匀, 其标准偏差为1.05, 极差为2.92。夏季底层最均匀, 标准偏差为0.52, 极差为1.81 (见表 2)。

DOC在垂直方向上表层的浓度比底层稍低, 一般差别不大, 最大的表底层差值不超

表 1 大亚湾DOC的平均含量 (mg/l)
Table 1 Average content of DOC in Daya Bay(mg/l)

	春	夏	秋	冬
表 层	2.36	2.47	2.07	2.17
底 层	2.48	2.64	2.06	2.26
平 均	2.42	2.56	2.06	2.21

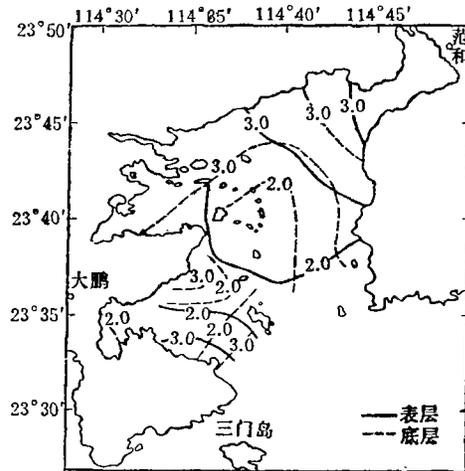


图 2 大亚湾DOC的平面分布 (春季)
Fig.2 Horizontal distribution of DOC in Daya Bay (spring)

过 2.59mg/l 。

若以大亚湾水体积为 $6.43 \times 10^9 \text{m}^3$ 计算, 整个海水碳贮库的溶解有机碳贮量为 $1.49 \times 10^7 \text{kg}$ 。

溶解状态的碳水化合物是生命过程的必需物, 是海水溶解有机碳化合物的重要组成部分, 大亚湾碳水化合物的含量在 $0.16\text{--}2.34\text{mg/l}$ (单位为葡萄糖) 之间, 年平均值是 0.71mg/l , 夏季较大 (见表 3)。

碳水化合物的平面分布: 春季表层北部稍高, 其余地区较均匀 (大于 0.5mg/l , 小于 1mg/l)。底层西南侧靠岸较高, 湾口较低 (见图 3)。夏季表层北部较高, 中部靠湾口较低。底层中部偏北较低, 偏南稍高, 西侧湾口较低。秋季北部及东北角较高, 西南部较低。冬季东北部较高。表层西南角较低, 但底层较高。

碳水化合物的垂直分布较均匀, 表底层含量基本一样。

以碳水化合物形式存在的溶解有机碳平均占 DOC 的 14% 左右。

2. 海水中碎屑 POC 的含量及分布特征

大亚湾海水中的悬浮颗粒有机碳 (POC), 主要包括有生命的浮游植物碳和无生命的有机颗粒碳^[2] (碎屑 POC), 浮游植物碳可由叶绿素 a 乘上一因子 (f) 来估计: $\text{POC} - af = \text{碎屑 POC}$, 这里取 f 为 60 ^[3]。

碎屑 POC 的含量为 $31.9\text{--}933.7 \text{mg/m}^3$ 。最大值及最小值分别出现在夏季的底层及表层, 年均值为 339.2mg/m^3 。表层平均值各季节很接近, 约 260mg/m^3 。底层平均值春、冬两个季节较为接近, 约 345mg/m^3 , 夏季最高达 556.96mg/m^3 (见表 4)。夏季底层碎屑 POC 特别高, 可能是由于生物大量繁殖后, 有较大量的生物碎

表 2 大亚湾 DOC 的标准偏差、极差
Table 2 Standard deviation and extreme difference of DOC in Daya Bay

		春	夏	秋	冬
表层	标准偏差	0.73	0.75	0.65	0.64
	极 差	2.48	3.59	1.99	2.50
底层	标准偏差	1.05	0.52	0.64	0.58
	极 差	2.92	1.81	2.39	1.75

表 3 大亚湾碳水化合物平均含量 (mg/l)
Table 3 Average content of carbohydrate in Daya Bay (mg/l)

	春	夏	秋	冬
表层	0.42	1.02	0.79	0.59
底层	0.56	0.99	0.70	0.58
平均	0.48	1.01	0.75	0.58

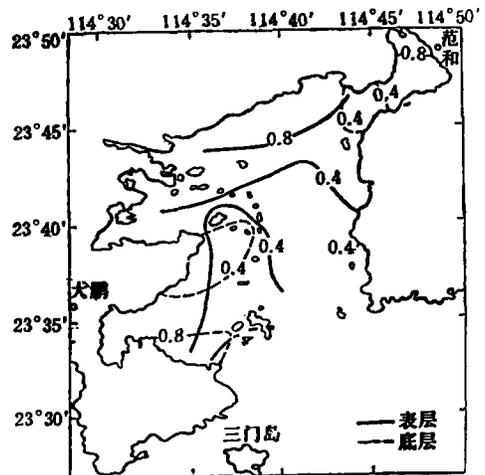


图 3 大亚湾碳水化合物的平面分布
Fig.3 Horizontal distribution of carbohydrates in Daya Bay

表 4 大亚湾碎屑 POC 的平均含量 (mg/m^3)
Table 4 Average content of non living POC in Daya Bay (mg/m^3)

	春	夏	秋	冬
表层	237.65	274.79	277.85	258.25
底层	351.84	556.96	418.60	337.68
平均	294.74	415.88	348.22	297.97

片沉降造成。

碎屑POC的平面分布：春季表层最均匀（见图4），标准偏差为86.5，极差为356（见表5），北部稍高，东部沿岸亦有一较高值，西南有较低值。底层碎屑POC的浓度由北部的600mg/m³递减至南部的200mg/m³。夏季表层中部较高，由中部往东北及西南两边递减。底层碎屑POC分布最不均匀、标准偏差210.7，极差664；中部最高，达900mg/m³，西岸大坑附近浓度较低，南岸及东岸靠湾口处有较高值，中部湾口较低。秋季表层碎屑POC分布较均匀，与其余季节不同的是西部有较高浓度的碎屑POC，东北角亦有较高值。冬季表层水东北角的范和港附近最高，中部亦较高，湾口稍低。底层东北部较高，由湾内向湾外浓度递减。

碎屑POC在垂直方向上底层比表层高，春、秋、冬三个季节表底层差值小于360mg/m³，整个海湾平均约相差70mg/m³。夏季表底层差别最大，差值最大的达598mg/m³，平均约相差310mg/m³。

海水中浮游生物残骸沉降及海底的有机颗粒再悬浮，使底层碎屑POC较上层高。由于海水的季节性分层，阻碍海水在垂直方向上的混合，在夏季成层现象最为突出，海水表底层的浓度差达到最大。

大亚湾海水中颗粒碎屑碳贮库有机碳贮量为 0.21×10^7 kg。

3. 表层沉积物的有机碳含量及分布特征

大亚湾一年的沉积物厚度约1cm，表层沉积物季节变化不明显。有机碳含量是表层干泥重的0.15%—1.07%，平均为0.67%。平面分布如图5，东北角较高，湾中部及湾口较低，极差为0.93，标准偏差为0.22。

沉积物贮库一年的有机碳含量为 1.5×10^7 kg。

4. 生物碳贮库的碳含量

生物碳包括有浮游植物碳、浮游动物碳、潮间带生物碳及底栖生物碳。蔡艳雅等曾根据实测的生物资料计算了以上各生物碳贮库的贮量。浮游植物碳贮库年均贮量为 0.0589×10^7 kg。潮间带生物碳年均贮量为 0.00108×10^7 kg。鱼类碳年均量为 0.695×10^7 kg。底栖生物碳年均量为 0.467×10^7 kg。整个生物碳贮库的年均贮量为 1.22×10^7 kg。各贮库的季节贮量如表6所示。

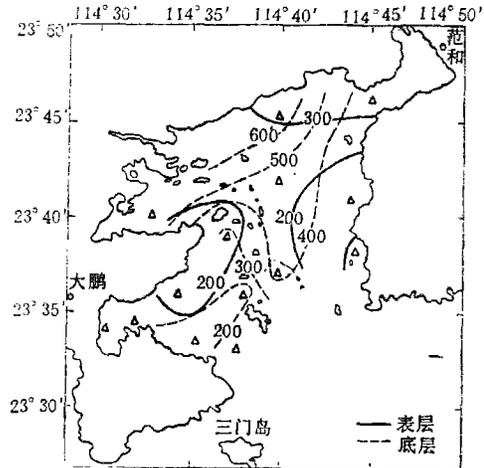


图4 大亚湾碎屑POC的平面分布

Fig.4 Horizontal distribution of non-living POC in Daya Bay

表5 碎屑POC的标准偏差、极差

Table 5 Standard deviation and extreme difference of non-living POC

		春	夏	秋	冬
表层	偏差	86.46	153.58	126.28	144.57
	极差	355.9	558.4	450.3	579.2
底层	偏差	151.98	210.67	—	139.85
	极差	459.8	663.5	—	561.8

结果与讨论

大亚湾总有机碳年平均值为 4.4×10^7 kg。其中DOC和沉积物有机碳所占比例为最大，分别占33.7%和33.5%，生物占27.8%，碎屑POC只占4.9%。大亚湾初级生产力年平均值为 $224.6 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{d}$ ，总有机碳一年的现存量是年生产总量的90%，每年沉积下来的有机碳是年生产量的30%，以生物形式存在的有机碳是年生产量的25%。

总观大亚湾的DOC、碳水化合物、碎屑POC及沉积物有机碳的平面分布，可看到在湾的北部及东北部有较高的浓度分布，西岸附近则常有较低浓度分布。

大亚湾的溶解有机碳与其它海区相比较是较高的（见表7）。在表7的各海区中，大亚湾与陆地的关系较为密切，其周围季节的河流以及海水的潮汐运动，把陆地上溶解状态的有机质带入海湾，使大亚湾的DOC含量较高。

大亚湾的溶解有机碳与碎屑POC、叶绿素a、表观耗氧量AOU和 CO_2 之间均无显著相关性。这说明：DOC向碎屑POC的转化、浮游植物的排泄及藻细胞破裂向海水析出DOC，以及由于DOC的氧化要消耗氧气，产生 CO_2 等有可能影响DOC含量的因素都未能控制DOC在海水中的含量及分布。碎屑POC与沉积物有机碳之间亦无显著相关性，因此，碎屑POC与沉积物有机碳之间的相互影响不明显。

悬浮颗粒有机物主要是由浮游植物和颗粒有机碎屑组成，有机颗粒中的氮主要是以蛋白质和核酸等形式存在于浮游植物及生物残骸中，浮游植物的排泄、碎裂及生物残骸的腐化分解都使悬浮有机颗粒中的氮失去，与此同时碳亦随之失去。本调查发现大亚湾有机颗粒中的碳与氮具有显著的线性相关，说明有机颗粒碎屑中易分解的部分主要为含氮的生物碎片，颗粒有机碎屑的另一部分为较难分解的有机物，这部分约占颗粒碎屑的25%。在悬浮的生物颗粒和生物碎屑中，其碳、氮比处于5.45—6.87之间（见表8）。

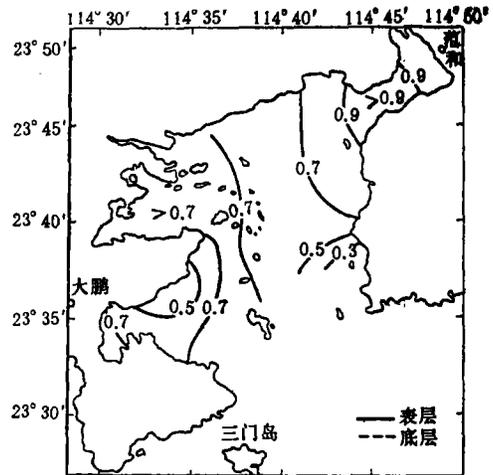


图5 大亚湾沉积有机碳的平面分布
Fig.5 Horizontal distribution of organic carbon in the sediment of Daya Bay

表6 大亚湾生物碳贮库含量 ($\times 10^7 \text{ kg}$)
Table 6 Carbon content of biosphere carbon reservoir in Daya Bay

	春	夏	秋	冬
浮游植物	0.0413	0.0926	0.0413	0.0601
浮游动物	0.00225	0.00569	0.00343	0.00850
鱼	0.39	0.89	1.00	0.50
潮间带生物	0.0011	0.0011	0.00106	0.00106
底栖生物	0.577	0.328	0.447	0.514
生物总碳	1.01	1.32	1.49	1.08

表7 各海区表层DOC的含量 (mg/l)
Table 7 Content of DOC in surface layer at sea area

海区	DOC	海区	DOC
东北太平洋	0.7	珠江口海区	1.7—5.0
北大西洋	1.0—1.3	南海东北部海区	0.6—2.1
墨西哥湾	0.6—1.1	大亚湾	2.31

各季节不同但差别不大,并且都略大于健康浮游植物的碳氮比值(约5.3)^[4],这是由于浮游植物腐屑在分解时,较易水解的化合物(蛋白质、核酸等)首先失去,因而其碳、氮比值变大。

大亚湾悬浮颗粒有机碳与湾内海水中的Fe有显著的线性相关,并且颗粒有机碳POC与Fe的回归方程: $POC = A + B \times Fe$ (A、B为常数)具有显著性(见表9)。因此,我们可以用此方程来预测其中任一未知项的量。若将这方程与上述所用的关系式: $POC = \text{碎屑}POC + af$ 结合起来,则可得: $\text{碎屑}POC = A + B \times Fe - af$, 因此,在同一时期内碎屑POC的量可由Fe及叶绿素a的值来估计。

表 8 大亚湾悬浮有机颗粒的碳氮关系
Table 8 Correlation between carbon and nitrogen in the suspended particles in Daya Bay

春: $R = 0.919$	$n = 30$	$C/N = 6.87$
夏: $R = 0.706$	$n = 30$	$C/N = 5.45$
秋: $R = 0.803$	$n = 30$	$C/N = 5.95$
冬: $R = 0.756$	$n = 30$	$C/N = 6.08$

表 9 大亚湾悬浮有机颗粒碳与Fe的关系
Table 9 Correlation between carbon and iron in the suspended particles in Daya Bay

春: $POC = 271.84 + 1.65 Fe$,	$n = 30$,	$R = 0.74$
夏: $POC = 397.67 + 0.95 Fe$,	$n = 30$,	$R = 0.67$
秋: $POC = 211.88 + 4.02 Fe$,	$n = 30$,	$R = 0.69$
冬: $POC = 288.19 + 2.86 Fe$,	$n = 30$,	$R = 0.69$

参 考 文 献

- [1] 韩舞鹰等, 1986. 海水化学要素调查手册, 36—101, 海洋出版社
 [2] J. P. 赖利, 崔清晨等译, 1982. 化学海洋学, 327—483, 海洋出版社
 [3] R. A. 霍恩, 厦门大学海洋系译, 1976. 海洋化学, 77—198, 科学出版社
 [4] W. S. 布罗克, 1981. 化学海洋学, 22—131, 科学出版社

1988年11月21日收到。

ORGANIC CARBON IN DAYA BAY

Cai Yanya Han Wuying Lin Hongying

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Based on the actual data of determination, the content, distribution and correlation of each form of organic carbon in Daya Bay were discussed.