

福建罗源湾海水悬浮物的研究*

郭劳动 洪华生

(厦门大学, 361005)

提要 于1986年11月—1987年9月对福建罗源湾海水悬浮物的含量的观测结果表明, 水动力条件引起的再悬浮过程和生物活动分别是罗源湾冬季和夏季悬浮物分布及性质变化的主要影响因素。底部沉积物的再悬浮对水体营养盐的再生和补充及有机碎屑的提供起重要的作用, 但也引起了海水透明度的下降, 对海区浮游植物的分布及生产力水平有一定的影响。夏季颗粒有机碳的沉降通量一般占水柱浮游植物初级生产量的67—85%, 大部分初级生产的有机碳沉降海底。

关键词 海水 悬浮物 罗源湾

海水中的悬浮颗粒物在控制海水溶解组分的含量以及某些生物营养要素的生物地球化学循环中起重要的作用^[4,7,8]。其中颗粒有机碳是生态系统营养结构的一个重要成分, 也是评价海区生产力的重要参数之一。因此, 海水悬浮物的研究已得到广泛的重视^[1-3,6,7]。

1986年11月—1987年9月, 作者对福建罗源湾海水悬浮物的含量、颗粒有机碳、颗粒磷等进行了6个航次的观测, 1987年3月航次还测定了悬浮物的主要元素组成, 同时选择一个站测定了沉降颗粒的C:N:P生物Si的比值和颗粒有机碳的沉降通量。本文主要讨论罗源湾悬浮物数量、性质的动态变化特点及其与海湾生产力的关系。

一、实验与方法

1. 区域概况

福建罗源湾位于119°34'—119°50'E, 26°19'—26°31'N, 属亚热带气候。它口窄腹广, 是一个典型的半封闭海湾(图1)。注入湾内的河流年径流量仅 $3.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。罗源湾潮流作用强, 海水的半交换期约为10天; 底质为淤积性壤土¹⁾。位于南端的大官坂垦区(图1的09站)可视为一个大的“围隔水体”。

2. 采样

站位设置见图1。用GCC-2型有机玻璃采水器采集水样; 用HNM型采泥器采集表层沉积物样品, 并在09站(下称垦区)挂置自制的沉降颗粒捕获器, 采集沉降颗粒样品。现场用玻璃纤维滤膜(Whatman, GF/C)抽滤颗粒物供POC测定; 用微孔滤膜($0.45 \mu\text{m}$)抽滤颗粒物供其它化学分析。

* 初级生产力及Chla等数据由李文权同志提供; 陈敬虔、洪丽玉等同志参加部分工作; 林健强帮助测定颗粒有机碳; 此外, 本课题得到福建省科学基金资助, 均此一并志谢。

接受日期: 1989年8月9日。

1) 厦门大学海洋系, 1989。罗源湾资源开发部分基础研究文集。

3. 测定

海水总悬浮物(TSM),用预先称量过的滤膜现场过滤一定体积的水样,经烘干、再称量(准确至 0.01mg),得到悬浮物的含量。

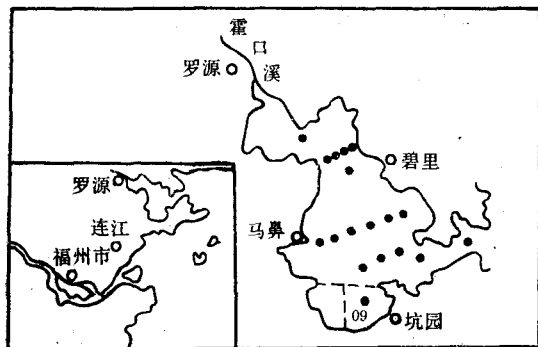


图1 罗源湾采样站位图

Fig. 1 Sampling locations in Luoyuan Bay

发射光谱仪(E984型)测定各元素的含量。

颗粒有机碳(POC),用PERKIN-ELMER 240C型元素分析仪,以乙酰苯胺为标准,精度为0.0001。

颗粒磷,按Grasshoff的方法消化后^[5],以磷钼蓝法测定。

生物SiO₂,按Treguer等人的方法^[6]浸取后,以硅钼黄法测定。

悬浮物主要元素含量,用聚四氟乙烯消解罐以HClO₄+HNO₃+HF(1:2:2)消化处理后,用等离子

二、结果与讨论

1. 悬浮物数量、性质的动态变化特点

(1) TSM的分布变化 表层海水TSM含量的平面分布见图2。

冬季(1月)TSM平均含量为40.0mg/L,其分布特点是中西部有一个高值区,湾顶和湾口为两个低值区(图2)。这是由于中西部水深较浅(平均在7—9m),在冬季较强烈的海水垂直混合及潮流的作用下易引起沉积物的再悬浮,使得该区TSM含量增大,也导致了冬季TSM含量处于全年的最高值。而湾顶受潮流的作用小,冬季河流径流量也少,故其TSM含量处于低值。湾口则水深较大(>50m),底质又是基岩,因而TSM含量也处于低值。总之,水动力因素引起的再悬浮过程是控制冬季TSM分布的主要因素。

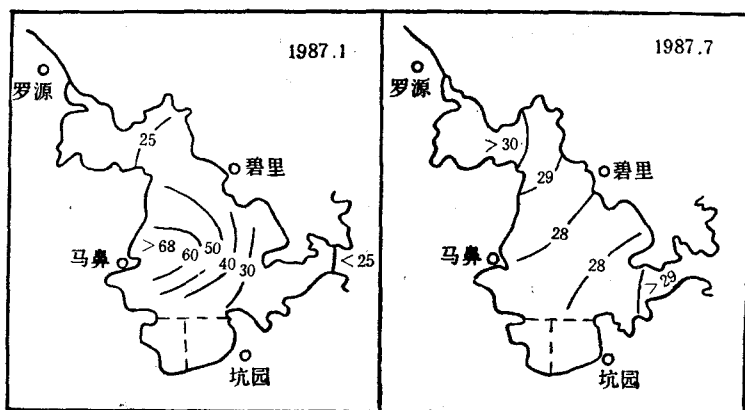


图2 表层海水TSM(mg/L)的平面分布

Fig. 2 Distributions of TSM (mg/L) in surface water

夏季(7月) TSM 的平均含量为 28.0mg/L,比冬季低。其分布特点与冬季不同(图2),除湾顶和湾口较高外,整个海湾比较均匀,与7月初级生产力的平面分布¹⁾相似。看来,夏季 TSM 的分布除受河流输入影响外,生物活动是主要的影响因素。

将 TSM 的季节变化特点与 Chl.a、初级生产力(pp)进行比较(图3),可以看出,1月 TSM 为全年最高值,而 Chl.a, pp 则处于全年的最低或较低值。说明1月 TSM 的含量变化还受到其它非生物过程的影响。从5—9月, TSM 平均含量依次增加,与生物活动的变化趋势基本一致,进一步表明夏季 TSM 的含量变化主要受生物活动的影响。

(2) 悬浮物性质的变化 将3月悬浮物和表层沉积物的主要元素含量进行比较(表1)可以看出:(1)悬浮物和表层沉积物的主要元素的含量大小顺序一致。(2)主要陆源元素(如 Si, Al, Fe 等)在沉积物中的含量均大于在悬浮物中的含量;而那些与生物活动有关的生源元素(如 C, P, Cu 等)在悬浮物中的含量则大于在沉积物中的含量。说明悬浮物的来源虽受到沉积物再悬浮的影响,但悬浮物性质又与沉积物有所不同。悬浮颗粒在其沉降过程中,其性质存在一种动态的变化。

罗源湾海水 POC 含量的季节变化(图3)表明海水 POC 含量1月最高(平均为 0.470 mg/L),11月最低(平均为0.212mg/L),与本海区 Chl.a 等生物因子的变化倾向不甚一致(图3)。表明海水 POC 除生物来源外,尚存在其它非生物的来源。

海水颗粒总有机碳 [POC(T)] 主要包括碎屑悬浮颗粒和生物活体,即 $POC(T) = POC(\text{碎屑}) + POC(\text{生物})$ 。为了初步地估算浮游植物对海水 POC 的贡献[以 POC(B)表示]和了解不同季节悬浮物性质的变化,采用本海区同步测定的¹⁴C 光合作用速率(PR),

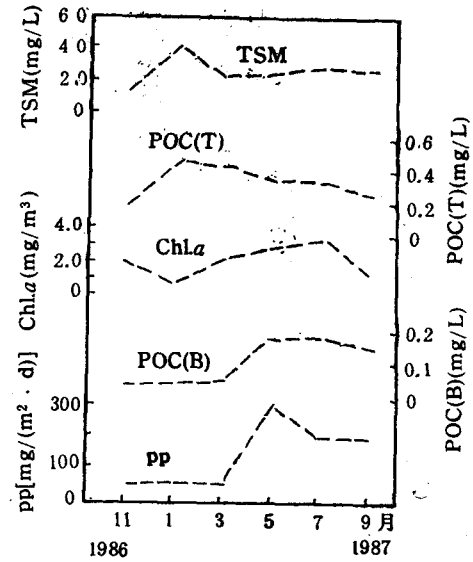


图3 海水 TSM, POC(T), 初级生产力 (pp), Chl.a, POC(B) 的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of TSM, POC(T), primary production (pp), Chl.a and POC (B) in seawater

表1 悬浮物及表层沉积物的主要元素含量($\times 10^{-3}$)

Tab. 1 Chemical compositions of suspended particles and surface sediments ($\times 10^{-3}$)

元素来源	元 素 含 量									
	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	P	Cu	POC
悬 浮 物	283	47.6	44.5	13.9	10.9	5.14	1.21	0.41	0.123	25.80
表层沉积物	337	73.5	54.2	17.0	14.9	7.11	1.12	0.34	0.028	13.29

1) 李文权等,1989。罗源湾初级生产力的研究。

根据 $POC(B) = PR \cdot \frac{N}{2} \cdot t$ 来估算。式中日照时间 $N = 12\text{h/d}$, 浮游植物的平均指数生长期 $t = 5\text{d}$ 。

由图 3、表 2 可见, 冬季 $POC(B)$ 仅约占 $POC(T)$ 的 20%, 而夏季则约占 60%。估算的 $POC(B)$ 与初级生产力浮游植物细胞数的变化趋势也基本一致。说明冬季 $POC(T)$ 含量较大, 但主要以碎屑部分为主, 且与再悬浮等过程引起的 TSM 含量的增大有关。夏季 POC 则以浮游植物的贡献为主, 悬浮物分布也主要受生物活动所控制。

表 2 $POC(B)$ 百分比及浮游植物细胞数的变化

Tab. 2 Variations of $POC(B)/POC(T)$ ratio and phytoplankton cell numbers

月 份	11	1	3	5	7	9
$POC(B)/POC(T)(\%)$	25	14	16	58	61	68
浮游植物细胞数 ($\times 10^{-4}/\text{m}^3$)	1.94	5.70	8.03	6.45	9.93	39.2

2. 悬浮物与海湾生产力的关系

(1) TSM 与海水透明度(TR)的关系 将罗源湾海水 TSM 含量及同步观测的海水 TR 资料进行回归分析(表 3)。结果表明, 不论是有明显再悬浮现象存在的冬季, 还是生物活动频繁、河流径流量较大的夏季, 海水 TR 与 TSM 之间均呈显著的负相关关系。显然, 由于 TSM 含量的增大, 可引起海水 TR 的下降, 并可能影响到海区浮游植物光合作用及初级生产力水平。

表 3 罗源湾海水 TR(m) 与 TSM(mg/L) 的关系

Tab. 3 Relationship between transparency (m) and TSM (mg/L) of bay water

季 节	回 归 方 程	r	n
冬季(11-3月)	$TR = 1.145 - 9.544 \times 10^{-3}TSM$	-0.695	24
夏季(7-9月)	$TR = 1.617 - 0.021TSM$	-0.680	16
全 年	$TR = 1.316 - 0.010TSM$	-0.456	48

进一步将 3 月 TSM 的数据与用 ^{14}C 测定的初级生产力(pp)资料进行相关分析, 得到 pp 与 TSM 之间的线性回归方程为:

$$pp = 139.0 - 4.07TSM \quad (r = -0.783, n = 8)$$

置信度大于 95%。这进一步说明, 悬浮物含量对海湾初级生产力有一定影响。

(2) 悬浮物与水体营养盐的关系 底部沉积物的再悬浮虽可影响到海水的透明度, 但对水体营养盐的再生和补充以及有机碎屑的提供却起重要的作用^[7]。将冬季海水颗粒磷与活性磷的平面分布做一比较(图 4), 可以看出颗粒磷的平面分布与水体活性磷的分布基本对应。即高值区都在湾的中部, 而低值区都在湾顶和湾口。看来冬季颗粒的再悬浮作用不但引起水体颗粒磷的增加, 同时也导致了水体活性磷的增大。这对水体营养盐的补充是一个重要的过程, 对维持海域的生产力水平有重要意义。因此, 由于水动力因素等环境条件的变化所引起的悬浮物数量和性质的变化都直接或间接地影响着海区的

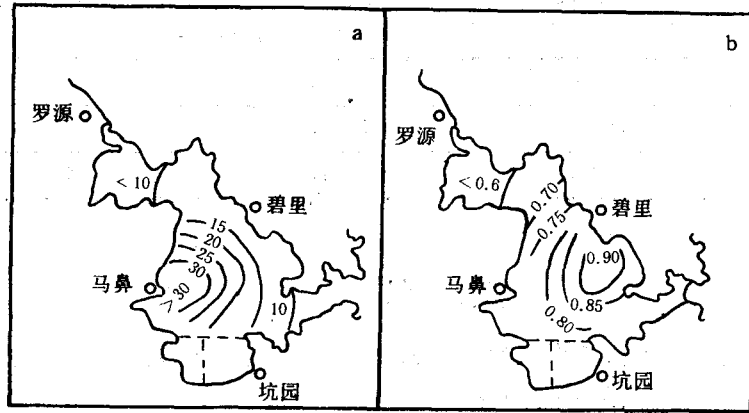


图 4 冬季水体颗粒磷(a, $\mu\text{g/L}$)和活性磷(b, $\mu\text{mol/L}$)的分布
Fig. 4 Phosphate in bay water during winter

生态环境及生产力水平。

3. 沉降颗粒的 C/N/P 比值及颗粒有机碳的沉降通量

罗源湾 09 站沉降颗粒的 POC, PON, 总颗粒磷及生物 SiO_2 的原子比值见表 4。

结果表明沉降颗粒中 C:N:P 生物 Si 的原子比平均为 89.4:11.1:1:33.7, 与 Redfield 比值(106:16:1:30)有差别, 而且不同月份沉降颗粒中其 C/N, C/P, N/P 的原子比值并不完全一致, 这与不同季节浮游生物的种群、数量的变化以及沉降颗粒中碎屑颗粒的含量(比例)不同有关。

表 4 沉降颗粒中 C, N, P 及生物 Si 之间的原子比值

Tab. 4 Atomic ratio of C, N, P and biogenic Si of settling particles

月	层次(m)	C/N	C/P	N/P	Si/P
3	1	9.1	82.8	9.1	28.8
	5	9.6	63.7	6.6	28.1
5	1	9.6	102.0	10.3	39.7
	5	10.6	137.2	12.9	30.7
7	1	13.8	61.0	4.4	23.9
	5	14.1	74.1	5.3	21.8
9	1	3.8	119.1	31.5	41.7
	5	8.3	75.1	9.0	55.1

将 7 月和 9 月颗粒有机碳的沉降通量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 与由 ^{14}C 测定的初级生产量相比(表 5)可以看出, 5m 层颗粒有机碳的沉降通量一般占水柱浮游植物初级生产量的 67—85%。Knauer 等报道, 一般大洋颗粒有机碳的沉降通量占水柱初级生产量的 2—50%^[6]; Cadee 则在北海的 40—70m 深处观测得 POC 的沉降通量占初级生产量的 10% 以下^[3]。本文的结果与上述文献的数据相比, 本文颗粒有机碳沉降的比例较大, 这与该站平均水深只有 7m 有关。说明在颗粒的沉降过程中, 只有 15—34% 的有机碳重新回到水体, 而相当部分初级生产的有机碳沉降到底部, 可为底栖生物提供大量的有机物质。

表 5 POC 沉降通量 (Flux) 与初级生产量 (pp) 的比值 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]

Tab. 5 Ratio of POC flux to primary production (pp)

月 份	pp	Flux	Flux/pp (%)	注
7	7 539.0	5 054.4	67	水深 7 米
9	3 621.8	3 066.7	85	

三、结 语

1. 罗源湾海水悬浮物冬季主要来自底部沉积物的再悬浮,夏季则主要来自浮游生物。且悬浮物的性质随着悬浮物来源的变化而变化。

2. 悬浮物的数量和性质的变化与海区的生产力有直接或间接的关系。再悬浮颗粒对水体营养盐的再生和补充起重要作用,但由于悬浮物含量的增大,可影响海区浮游植物的分布。

3. 罗源湾垦区夏季颗粒有机碳的沉降通量一般占水柱浮游植物初级生产量的 67—85%。有 15—34% 的有机颗粒在水柱中分解或被食用,相当部分的有机碳沉降到海底。

参 考 文 献

- [1] 王正方,1985。长江口海域悬浮颗粒的行为。海洋学报 7(6): 722—727。
- [2] 秦蕴珊、李凡、徐善民,1989。南黄海海水悬浮体的研究。海洋与湖沼 20(2): 101—112。
- [3] Cadee, G. C., 1986. Organic carbon in the water column and its sedimentation, Fladen Ground (North Sea), May 1983. *Neth. J. Sea Res.* 20(4): 347—358.
- [4] Gibbs, R. J., 1973. Mechanisms of trace metal transport in rivers. *Science* 180(4081): 71—73.
- [5] Grasshoff, K., 1976. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie, Weinheim, N. Y., pp. 125—139.
- [6] Knauer, G. A., J. H. Martin and K. W. Bruland, 1979. Fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the upper water column of the Northeast Pacific. *Deep Sea Res.* 26A: 97—108.
- [7] Shiller, A. M., 1983. Particulate geochemistry in an area of coastal upwelling—The Santa Basin. In: Coastal Upwelling Plenum Press, New York, pp. 289—301.
- [8] Sholkovitz, E. R. and N. B. Price, 1980. The major-element chemistry of suspended matter in the Amazon Estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44: 163—171.
- [9] Treguer, P., S. Gueneley and A. Kamatani, 1988. Biogenic silica and particulate organic matter from the Indian Sector of the Southern Ocean. *Mar. Chem.* 23: 167—180.

SUSPENDED MATTER IN LUOYUAN BAY SEAWATER, FUJIAN

Guo Laodong and Hong Huasheng

(*Xiamen University, Xiamen 361005*)

ABSTRACT

Distributions and features of total suspended matter (TSM) in Luoyuan Bay seawater were studied during six cruises from November 1986 to September 1987. It was found that re-suspension of sediments takes an important role in controlling the distribution of TSM in winter. However, the distribution of TSM in summer depends on biological processes and river inputs. The chemical compositions of the particles also showed a seasonal variations. The correlation between TSM and particulate organic carbon (POC) showed that the content of POC was related to biological activities when the primary production was enhanced from May to September, whereas the content of POC was controlled by the terrestrial input as the primary production was low from November to March. Increment of TSM caused by resuspension can result in the decline of transparency and further affects the level of primary production of the bay. But, it can also increase the availability of nutrients by releasing them from the resuspended particles. The ratio of POC flux to the primary production is about 67—85% in summer estimated from the sediment traps. POC from the primary producers settling to the sediments can play an important role in the detritus foodchain in Luoyuan Bay seawater.

Key words Seawater, Suspended matter, Luoyuan Bay