

研究简报

南沙海域上层海水碳垂直
通量的初步研究*

韩舞鹰 王明彪† 王汉奎

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

(†国家海洋局南海分局, 广州 510300)

提要 根据 1990 年 5—6 月在南沙海域 4 个站点投放颗粒物捕集器采集样品的分析结果, 计算了该海域上层海水碳垂直通量。结果表明: (1) 南沙海域上层海水颗粒有机碳总生成量为 $298 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 其中 35% 分解参与再循环, 65% 以颗粒形式离开真光层向下输送; (2) 颗粒有机碳向下通量为 $193 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 总溶解无机碳穿过跃层向上垂直通量为 $3600 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 真光层颗粒无机碳向下通量为 $27 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 大气进入海洋的海气界面二氧化碳通量为 $13 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

关键词 海洋 碳 垂直通量

本文根据在南沙海域投放颗粒物捕集器的试验结果, 尝试对上层海水碳的垂直通量进行定量描述。

1 实验方法与结果

1990 年 5—6 月在南沙海域 4 个不同站位(见表 1)投放颗粒物捕集器。用美国产 240 C 元素分析仪分析捕集到的颗粒中的有机碳和有机氮, 并分别定义为沉降颗粒有机碳 DPOC 和沉降颗粒有机氮 DPON。颗粒物的无机质是颗粒物经碳化后由重量法求得。

真光层中分解再参与循环的颗粒有机碳根据真光层氧消耗率和韩舞鹰(1989a, b)等描述的关系式求得。因此, 真光层中颗粒有机碳的总生成量由下式计算:

$$PP = 0.4112 \cdot \Delta DO \cdot Z + DPOC \quad (1)$$

式中, PP 为颗粒有机碳的总生成量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; DPOC 是 80m 处投放捕集器捕获的沉降颗粒有机碳通量 [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; Z 是真光层深度 (m); 0.4112 是将溶解氧消耗率 [$\text{ml}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 转换为碳分解率 [$\text{mg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$] 的因子; ΔDO 是真光层中氧的消耗率 [$\text{ml}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$]。假定水动力条件稳定, 氧的消耗率 ΔDO 不随时间变化并且夜间不发生光合作用时可有下式:

$$dC/dt = K(C_s - C) - \Delta DO \quad (2)$$

式中, K 为氧浓度变化的速率系数; C_s 是海水氧的饱和量, 由温度和盐度求得; C 是实测

* 国家专项南沙群岛海域综合考察成果。

收稿日期: 1992 年 2 月 14 日, 接受日期: 1992 年 9 月 1 日。

表 1 1990 年 5—6 月南沙海域颗粒物通量

Tab. 1 The particulate matter flux in the Nansha Islands area of South China Sea in May—June 1990

站 位	水深 (m)	投放深度 (m)	无机质 [mg/(m ² ·d)]	DPOC [mg/(m ² ·d)]	DPON [mg/(m ² ·d)]
南熏礁旁 (114°13.00'E, 10°12.00'N)	40	28	608	152	141
信义礁中 (116°00.00'E, 9°15.00'N)	9	5	833	463	50
34 站 (110°04.00'E, 5°33.00'N)	152	25	79	99	13
		80	617	193	26
54 站 (107°10.00'E, 6°52.00'N)	54	40	182	303	34

氧含量。根据溶解氧夜间连续观测结果,由式(2)求得 ΔDO 为 $3.19 \text{ ml}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ¹⁾ 和浓度变化速率系数为 0.067 d^{-1} ,代入式(1)求得真光层中颗粒有机碳的总生成量为 $298 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

根据观测,在 34 站光强等于表面光强 1% 的深度是 80m,因而可认为 34 站真光层深度为 80m。在 80m 投放颗粒物捕集器,测得的结果可认为是由真光层向下颗粒物的垂直通量,该处颗粒有机碳的通量为 $193 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (表 1)。由式(1)(2)求得真光层中颗粒有机碳的总生成量为 $298 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,由此可推算,在真光层中,颗粒有机碳的 65% 以颗粒形式向下输送,35% 在真光层中分解参与再循环。

2 讨论

2.1 颗粒有机碳的垂直通量 有机碳和无机质垂直通量之比,不同的位置是不同的。一般在珊瑚礁附近无机质的比例高,这主要是受珊瑚礁影响之故。随着深度增加,无机质的比例增高,这是由于有机质随深度增加而分解之故。

DPOC 的分布是不均匀的,在泻湖测得最大值。信义礁中水柱深度只有 5 m,但 DPOC 通量却达 $463 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之大(表 1),估计是由于沉积物再悬浮的原因。

Suess (1980) 根据真光层初级生产力和颗粒有机碳通量的测定结果,描述了水深 $\geq 50 \text{ m}$ 颗粒有机碳通量和真光层初级生产力,以及氧消耗速率与初级生产力间的两个关系式。将我们测得的 DPOC 和求得的 PP 值分别代入 Suess 上述两个关系式,求得 34 站 80m 水柱颗粒有机碳总生成量为 $408 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; ΔDO 为 $3.80 \text{ ml}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。Knauer 等 (1978) 根据 Ryther (1969) 报道的数据,通过计算后认为大洋表层水中生成的碳有 50% 可沉降至 75m 层。如果 Knauer 的估算是正确的话,34 站真光层中碳的总生成量应为 $386 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,与 Suess 公式计算结果接近。但是继 Suess, Knauer 之后的一些研究者(如 Shulenberg et al., 1981) 认为,利用 ¹⁴C 方法测定初级生产力的结果要比实际值低得多。Pace 等 (1987) 根据在太平洋 9 个地点投放颗粒物捕集器分析结果和排除影响的重金属 ¹⁴C 方法 (heavy-metal-free ¹⁴C method) 测定的初级生产力,导出了 POC 和 PP 间的关系式。由 Pace 关系式算出 34 站真光层颗粒有机碳的总生成量为 $1361 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

1) 韩舞鹰等,1991,南海海域碳通量研究。

Pace (1987) 在解释其模拟计算结果通常比 Suess (1980) 模拟公式计算值高 3—5 倍时, 认为是 Suess 用以推算模拟公式的初级生产力测定值并未代表海洋的实际生产力之故。由叶绿素调查求得海域表层初级生产力为 $420 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 碳左右, 与估算的 PP 值误差达 30%, 这反映了目前研究所达到的水平。

无机沉积物中碳酸钙百分含量为 37% (陈绍谋, 1989)。如果认为捕集器采集的无机质含碳酸钙比例与沉积物是相近的, 则 34 站 80 m 处碳酸钙沉积通量为 $228 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 折算成无机碳为 $27 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 即真光层颗粒无机碳向下的通量为 $27 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2.2 溶解态碳的垂直通量 34 站 80m 处颗粒有机碳垂直向下通量为 $193 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。根据实际观测, 南沙开阔海域上层海水营养盐含量几乎为零, 因此维持稳定的颗粒碳向下通量的营养盐, 只能是来自下层富营养的海水, 100m 层海水硝酸盐含量约为 $13 \text{ mmol}/\text{m}^3$ (韩舞鹰等, 1989a, b)¹⁾, DPON 的垂直通量为 $26 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (见表 1), 即 $2 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。要维持这一通量, 海水的上升速度应当为 $2/13=0.15 \text{ m}/\text{d}$, 或 $1.7 \times 10^{-4} \text{ cm}/\text{s}$ 。韩舞鹰 (1992) 通过整个南海水平衡求得下层海水穿过跃层的上升速度为 $8.5 \times 10^{-5} \text{ cm}/\text{s}$, 与上述结果相差约 2 倍。Overstreet 等 (1969) 认为, 温跃层本身温度结构之所以能保持, 是由于涡动传导引起热量向下传递的通量与由海水上升引起的上升移流通量之间建立平衡的结果。按照这个温跃层的理论模型要求上升流速约为 $10^{-4}—10^{-5} \text{ cm}/\text{s}$ 范围, 那么韩舞鹰根据水平衡法和营养盐补充法求得的范围基本与之一致。

34 站 100m 层海水总溶解无机碳浓度约为 $2.0 \text{ mol}/\text{m}^3$ (韩舞鹰等, 1989a)¹⁾, 那么总溶解无机碳穿过跃层向上的垂直通量为 $0.3 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 或 $3600 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。此值远大于 DPOC 的向下通量 $193 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

34 站真光层总溶解无机碳浓度为 $1.9 \text{ mol}/\text{m}^3$, 与下层总溶解无机碳的浓度之差为 $0.1 \text{ mol}/\text{m}^3$ 。这个差值应被生物所固定或逸出大气, 否则随时间的增加, 真光层总溶解无机碳的浓度应变为 $2.0 \text{ mol}/\text{m}^3$ 。上述差值相当于通量为 $180 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 比颗粒态有机碳向下通量 $193 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 略小。两者的差值 $13 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 可看作是大气进入海洋的海气界面二氧化碳通量。

参 考 文 献

- 陈绍谋, 1989, 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究(一), 科学出版社(北京), 568—585。
 韩舞鹰等, 1989a, 南沙群岛及其邻近海区综合调查研究(一), 科学出版社(北京), 402—407。
 韩舞鹰等, 1989b, 我国低纬度海水 O_2 最大值初步研究, 海洋学报, 11(2): 162—169。
 Knauer, G. A. et al., 1978, Fluxes of particulate carbon, nitrogen, and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific, *Deep-Sea Research*, 26A(1): 97—108。
 Overstreet, R. et al., 1969, On the roles of vertical velocity and eddy conductivity in maintaining a thermocline, *J. Mar. Res.*, 27: 172—190。
 Pace, M. L. et al., 1987, Primary production, new production and vertical flux in the eastern Pacific Ocean, *Nature*, 325A: 803—804。
 Ryther, J. H., 1969, Photosynthesis and production in the Sea, *Science*, 116: 72—76。
 Shulenberg, E., et al., 1981, the Pacific shallow oxygen maximum, deep chlorophyll maximum, and primary productivity, reconsidered, *Deep-Sea Research*, 28A(9): 901—919。
 Suess, E., 1980, Particulate organic carbon flux in the Oceans-surface productivity and oxygen utilization, *Nature*, 288: 260—263。

1) 同本文 346 页脚注 1)。

THE VERTICAL CARBON FLUX OF EPIPELAGIC WATER IN THE NANSHA AREA OF THE SOUTH CHINA SEA

Han Wuying, Wang Mingbiao[†], Wang Hankui

(*South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica, Guangzhou 510301*)

([†]*South China Sea Administration, SOA, Guangzhou 510300*)

ABSTRACT

The downward flux of particulate organic carbon (DPOC) and particulate organic nitrogen (DPON) in the upper 80 m of the water column was measured using sediment traps at four sites in the Nansha Islands area of the South China Sea in May—June 1990. The total production of DPOC in the euphotic layer was 298 mg/(m²·d), of which 35% was decomposed and recycled and 65% was particulate form transported downward to the deeper layer. The upward flux of total dissolved inorganic carbon passing through the thermocline was 3 600 mg/(m²·d), the downward flux of DPOC was 193mg/(m²·d), the downward flux of particulate inorganic carbon in the euphotic layer was 27mg/(m²·d), and the carbon dioxide flux across the air-sea interface into the Ocean was 13 mg/(m²·d).

Key words Ocean Carbon Vertical flux