

海水中颗粒有机碳研究简述

REVIEW OF THE STUDY ON PARTICULATE ORGANIC CARBON IN SEA WATERS

刘文臣 王 荣

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

近年来与全球碳循环有关的海洋碳通量研究已成为国际性的重大课题,本文就海洋碳通量中起关键作用的颗粒有机碳的研究加以介绍,以此来促进这一国际前沿领域的研究。

1 颗粒有机碳的研究意义

颗粒有机碳(Particulate Organic Carbon, 简称POC)在全球碳循环与海洋碳通量中起着关键作用。海洋是一个巨大的碳库,海洋碳通量研究要回答的一个重要问题就是海洋对大气中CO₂的调节能力到底有多大。就海洋对CO₂的调节而言,碳的垂直转移过程被认为是最重要的。在垂直方向上,碳的转移是通过生物泵、碳酸盐泵和溶解度泵来进行的,其中生物泵最主要^[1]。生物泵是指由有机物生产、消费、沉降和分解等一系列生物学过程完成的碳由表层向深层的转移。碳由溶解态转化为颗粒态,由小颗粒态转化大颗粒,然后发生沉降的过程,主要以颗粒有机碳形式来完成的。

颗粒有机碳可分为生命与非生命两部分。生命颗粒有机碳的研究早已引起普遍重视,但非生命颗粒有机碳的研究却很少。事实上,非生命颗粒有机碳的现存量远远大于生命颗粒有机碳,它蕴藏着巨大的能量,是海洋动物直接或间接的重要食物来源。在国外,非生命颗粒有机碳的研究已经开始引起重视,并认为这种研究是对传统食物链、食物网研究的补充,是正确估计海域生产力、深入了解生态系统结构与功能所必需的。

基于它的这些重要作用,颗粒有机碳在全球海洋通量联合研究(JGOFS)、沿岸带陆海相互作用研究(LOICZ)等90年代的大型国际计划中,无不被列为重要研究内容,目前已成为国际前沿课题^[7~9]。

颗粒有机碳的研究兴起于本世纪60年代,重点是其数量、分布^[10~12],进入80年代,一个引人注目的特点是颗粒有机碳的研究与全球变化紧密结合,颗粒有机碳的垂直通量、水平通量等成为新的研究内容。

海水中颗粒有机碳的研究在我国开始较晚,工作也不多^[2~6]。近几年来颗粒有机碳的研究被引起高度重视,在许多大型课题中被列为重要研究内容,如国家“八五”基金课题“长江口及其邻近海域生物生产过程研究”、国家重点基金课题“东海陆架边缘海洋通量研究”中,颗粒有机碳都被列为重要研究内容。最近“九五”重大基金资助的“中国GLOBEC”计划中,颗粒有机碳也被许多专家建议为重要发展领域。

2 颗粒有机碳的定义

海水中有有机碳以溶解有机碳、颗粒有机碳和挥发性有机碳3种形式存在。挥发性有机碳因含量低、易挥发、未找到统一可靠的取样、分离、保存等方法,因而未得到广泛深入的研究^[13],相比之下,前两者得到了普遍关注。广义上讲,颗粒有机碳是指从最小的胶体微粒颗粒到浮游生物、鱼等所有颗粒物质,故颗粒有机碳可划分为生命和非生命两部分。在实际操作中,颗粒有机碳一般是采用滤膜过滤海水来收集的,把收集在滤膜上的有机物所含的碳称作颗粒有机碳,透过滤膜的有机碳称作溶解有机碳,并且为了便于数据比较,滤膜的孔径一般定为0.45μm。这种操作上的定义,显然忽略了粒径小于滤膜孔径而过滤不到的那部分小颗粒以及滤膜不能收集到的大颗粒(如鱼),但是这种忽略是有一定根据的。McAllister等^[14]指出,东北太平洋表层水中非生命颗粒有机碳、浮游植物、浮游动物和鱼的浓度比为125:20:2:0.02,可见大颗粒所占比重相对很小,可以忽略。Parsons^[15]指出,0.5~1.0μm的粒径,大约也是在光学显微镜下可观察沉降物质的最低界限,它处于能发生沉积而不显示任何明显布朗运动的颗粒范围的下端,这是膜的孔

国家海洋局一所蔡德陵,中国科学院海洋研究所杨鹤鸣、孙松等学者对本文提出宝贵意见,一并致谢。

收稿日期:1995年11月1日

径定为 0.45 μm 的技术理由。

3 颗粒有机碳的定量方法

3.1 收集方法

3.1.1 离心法 此法主要用于大体积水样的化学分析,目前未得到广泛使用,但此法可使回收率提高达 30%^[16]。

3.1.2 过滤法 即通过滤膜过滤海水来收集颗粒物,常用的滤器有纤维素脂滤膜、玻璃纤维滤膜、银滤膜和聚碳酸酯滤膜等几种。过滤法已得到广泛使用,颗粒有机碳研究的操作定义就是通过过滤法定义的。

另外,在通量研究中,目前常使用沉积物捕捉器(Sediment trap)^[17,18],它能收集到过滤法不能得到的大颗粒物质,对沉积速率及季节变化的研究很有利,尽管沉积物捕捉器在技术上还有很多困难,但它是一种很有前途的方法。

3.2 测定方法

有机碳的分析方法多是先用稀酸除去样品中的无机碳,再把有机碳氧化为 CO_2 ,尔后通过容量、重量、电导、滴定或比色法来定量,或用非色散红外光谱法、气相色谱法、质谱法以及等离子发射光谱法来定量。根据氧化方式不同,主要分为以下两种:

3.2.1 湿式氧化法 氧化是在水样中加入化学氧化剂来完成的,例如加入银催化的过硫酸盐、或者通过紫外光照射下的光氧化作用。由于费时、易发生氧化不充分等原因,此法目前很少使用。

3.2.2 干式燃烧法 即将样品干燥后放入燃烧炉中燃烧,用 CHN 分析仪或专用的碳分析仪分析释放出的 CO_2 。这种方法快速、准确,它的广泛应用,大大促进了颗粒有机碳的研究。对有机碳浓度高的淡水($>2 \times 10^{-6}$),可把水样直接注入高温氧化装置进行氧化^[19]。

另外,还有一些直接测定方法,如测定水的紫外吸光度等^[20],但这些方法与化学分析结果往往相差很大。

3.3 生命颗粒有机碳与非生命颗粒有机碳的定量区分方法

3.3.1 染色法 此法难以对大量样品进行迅速的定量测定,目前很少使用。

3.3.2 换算法 通过研究活体生物各种化学成分间的关系,寻找出与碳的比值相对稳定的某种成分进行测定,进而换算为碳的含量,即

生命颗粒有机碳=某种成分 $\times$ 比值

通常采用 ATP、叶绿素 a 及核酸等进行换算,各有利弊。

(1)叶绿素 a 测定方法成熟,常用来换算成活体碳,但有某些缺点^[21]:A. 细胞中叶绿素与碳之比变化范围很大,受种类和营养状况影响。B. 叶绿素降解产物对比值的影响。C. 忽略了细菌、浮游动物等不含叶绿素的动物。

(2)核酸 Holm-Hansen^[22]发现 DNA 与细胞含碳量间有高度的对数相关性,但这种关系尚有争议^[23]。

(3)ATP 此法由 Holm-Hansen 提出。ATP 存在于所有活体生物内,生物体死后就迅速分解,而且已经发展了一套快速、准确的测定方法^[24],故此法受到很大欢迎。许多研究发现,各种微生物体 ATP 含量平均为细胞含碳量的 0.4%(范围为 0.1~0.7%),即生命颗粒有机碳=ATP $\times$ 250^[24,25]。

4 颗粒有机碳的分布特点

一般的说,在生产力高的海区和季节或受陆地影响大的近岸区中的颗粒有机碳的浓度高,垂直浓度随着与海岸输入流的距离和水深的增加而降低。垂直分布可分为 3 层^[26]:

4.1 真光层

颗粒有机碳的浓度极高,为深水层的 10 倍,活体量多,并且绝大部分的有机碳处于迅速的再循环中,估测得到浮游植物对深水有机碳的输入量仅相当于生产量的 10%^[27]。

4.2 深水层

颗粒有机碳浓度随深度增加缓慢降低,有时近乎恒定^[28]。深水层的生命颗粒有机碳主要来自菌类,其对有机物质的矿化作用,使颗粒物的组成发生变化,有些元素将进入溶液中,在这个水层中颗粒物与溶解物之间的交换过程特别重要。

4.3 沉积物-水界面

颗粒物发生沉降再悬浮的过程,因而颗粒有机物的浓度很高,有时高于真光层。

5 颗粒有机碳的来源

生命颗粒有机碳来自生物生产过程,这里主要是讲非生命颗粒有机碳的来源。

5.1 外界输入

5.1.1 河流输入 对于河流中的有机物质通过海洋科学

河口进入近岸后的归宿已经有相当多的研究,Handa^[29]已对大量的研究结果作过论述。近些年来,应用稳定同位素法对世界几大河口颗粒有机碳的混合、沉淀、运移等进行了研究,取得了很好的成果^[30]。一般的结论是,河流带来的大部分颗粒有机碳不能抵达开阔大洋,而在近岸分解、沉淀析出。

5.1.2 大气输入 大气中的有机物质呈气态或颗粒物的形式存在,通过降雨、干式散落及直接气体交换等方式进入海洋,Duce^[31]曾尝试过计算这几种方式输入海洋的总有机碳通量,但结果尚有争议。

5.2 现场形成

现场形成是颗粒有机碳的主要来源。

(1)海洋生物碎屑(粪便、外壳、残体等)的直接形成。

(2)溶解有机碳转换为颗粒有机碳。海洋中溶解有机碳是颗粒有机碳的10倍左右^[32],是颗粒有机碳的来源之一。

A. 微生物的作用 细菌分泌粘性物质,改变了物质表面的电荷特征,造成溶解有机碳的凝聚作用,而且,这种粘性物质亦能作为粘纤维和网与周围的溶解有机碳连接^[33]。

B. 表面层冒泡造成的凝聚作用 溶解有机碳包括很多大分子,这些分子含有自由的活性基团^[34],在表面层冒泡的条件下能有效地彼此凝聚形成单分子膜,这种膜慢慢外展、折叠,成为不溶解的颗粒有机碳。

C. 絮凝作用或溶解物质在矿物颗粒上的吸附作用亦是产生颗粒有机碳的途径^[35]。

6 颗粒有机碳的研究热点与展望

(1)海水中颗粒有机碳的时空分布与控制过程的研究。(2)海水中碳的垂直通量与水平通量。(3)海水中碳的来源、转化与归宿。

总之,海水中颗粒有机碳的研究可谓方兴未艾,将是生物海洋学的一个重要领域,并对全球碳循环和生态系统动力学研究作出重要贡献。

参考文献

- [1] 王荣,1992. 海洋科学 1:18~21.
- [2] 孙作庆等,1983. 海洋湖沼通报 15(1):39~43.
- [3] 宁修仁,1985. 海洋学报 7(6):751~762.
- [4] 蔡德陵等,1993. 中国科学 23(10):1105~1113.
- [5] 洪华生等,1991. 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系

- 研究. 科学出版社,224~230.
- [6] 韩舞鹰等,1991. 大亚湾和珠江口的碳循环,科学出版社,
- [7] SCOR,1990. JGOFS Report 5:1-51.
- [8] Holligan et al., 1993. LOICZ Science Plan, IGBP Report, 25:24-25.
- [9] Baretta, J. W. et al., 1995. Netherlands Journal of Sea Research 33(3/4):233-246.
- [10] Gordon, D. C., 1970. Deep Sea Res. 17:175-185.
- [11] Parsons, T. R. et al., 1962. Science 136:313-314.
- [12] Riley, G. A. et al., 1964. Limnol. Oceanog. 9:546-550.
- [13] Giger, W., 1977. Mar. Chem. 7:289-306.
- [14] Mcallister, C. D. et al., 1961. Limnol. Oceanog. 6:237.
- [15] Riley, J. P. and Skirrow, G., 1975. Chemical Oceanography. Academic Press INC LTD Second Edition, 2: pp365-383.
- [16] Breck, W. G., 1978. Thalass. Yugosl. 14:157-170.
- [17] Wiebe P. H., 1976. J. Mar. Res. 34:341-354.
- [18] Spencer, D. W., et al., 1978. J. Mar. Res. 36(3):493-523.
- [19] Van Hall, et al., 1967. Anal. Chem. 39:503-507.
- [20] Mattson, J. S. et al., 1974. Limnol. Oceanog. 19:530-535.
- [21] Riley, G. P. & R. Chester, 1973. Introduction to Marine Chemistry. Academic Press INC LTD. 2nd printing.
- [22] Holm-hansen, 1969. Limnol. Oceanog. 14:740-747.
- [23] Skjodal, H. R. et al., 1976. Sarsia 61:1-14.
- [24] Holm-hansen et al., 1966. Limnol. Oceanog. 11:510-519.
- [25] Holm-Hansen, O., 1970. In: Organic Matter in Natural Waters. Occ. Publ., 1, Inst. Mar. Sci. Alaska.
- [26] Duursma, E. K., et al., 1981. Marine Organic Chemistry. Published by Elsevier Scientific Publishing Company.
- [27] Eppley, R. W., 1989. In: Productivity in the Ocean: Present and Past, John Wiley & Sons Limited. 86-97.
- [28] Wangersky, P. J., 1976. Deep Sea. Res. 23:457-465.
- [29] Handa, N., 1977. Mar. Chem. 5:341-359.
- [30] Cai, D. L., et al., 1988. Est. Coast. Shelf. Sci. 26:1-14.
- [31] Duce, R. A., 1978. Pageoph. 116:244-273.
- [32] Cauwet, G., 1978. Oceanol Acta 1(1):99-105.
- [33] Paerl, H. W., 1978. Limnol. Oceanog. 23:927-935.
- [34] Couie, G. L. et al., 1992. Mar. Chem. 37(3-4):223-238.
- [35] Chave, K. E., 1970. In: Oceanic Matter in Natural Waters. Inst. Mar. Sci., Alaska, Occ. Publ., 1:373-386.