

陆源物质的输入如何影响近岸海区的 CO₂ 源汇格局?

What is the Net Effect of Terrestrial Fluxes on Coastal Zone CO₂ Production or Consumption?

CO₂ 是一种重要的温室气体,它与地球系统的初级生产过程和呼吸作用密切相关。工业革命前,大气的 CO₂ 浓度为 0.28‰ 左右;工业革命后通过化石燃料的燃烧等人为活动向大气释放的大量 CO₂ 使大气 CO₂ 浓度升高到现在的 0.39‰ 左右,而且近年来大气 CO₂ 浓度升高的速度也在提高。

近几十年,全球气候变化使 CO₂ 的释放(源)和吸收(汇)问题成为海洋科学研究的热点。海洋是大气 CO₂ 的重要汇区,如果没有海洋从大气吸收 CO₂,目前大气 CO₂ 的分压应该是 44.6Pa,而不是 39.0Pa。从整体上讲,开阔海洋每年约从大气吸收 2.0 Gt C 的 CO₂^[1] (1 Gt C = 10¹⁵ g C)。

尽管近岸海区的面积仅占全球海洋总面积的 7%,但其初级生产量却占全球海洋的 14%~30%,总有机碳埋藏量占全球海洋的 80%,沉积物矿化量占全球海洋的 90%。因此,近海可能对全球海洋 CO₂ 的吸收和释放格局起着重要的作用,因而近十几年来近海碳的吸收/释放研究引起了国际海洋学界的关注。

近海碳循环研究的难点在于,与开阔大洋相比,近海是个更加复杂和动态的系统,其生产力高、生态系统多样化,同时受陆地(河流)和大洋影响,沿岸上升流等中尺度过程频发,因而近海的 CO₂ 的吸收/释放(产生/消耗)格局及控制过程也比开阔大洋复杂得多。

Kemp 在一个国际研究计划——近岸海区海-陆相互作用计划(LOICZ)的第一份报告中提出这样一个问题:近海究竟是从大气吸收 CO₂ 还是向大气释放 CO₂^[2]? 这个问题要从陆源有机碳(包括颗粒有机碳和溶解有机碳)和营养盐(浮游植物生长必需的氮、磷、硅等营养元素)的输入通量及其生态效应来考虑。一方面,陆地通过河流和河口向海洋输入大量的有机碳,这些有机碳有相当一部分在近海发生降解,释放出 CO₂。另一方面,近海还接受从河流输入的营养盐,这些营养盐刺激近海浮游植物的生长,从大气吸收 CO₂。简单地说,这两个过程的消长控制着近海对 CO₂ 的吸收或释放。此外,浓度不断升高的大气 CO₂ 通过物理过程进入海洋,而这个过程经常被忽略掉。

早期的研究认为近海是大气 CO₂ 的源(向大气释放 CO₂)。例如 Smith 等人认为近海是异养系统,即近海有机碳降解生成 CO₂ 的量大于浮游植物从大气吸收 CO₂

的量,因此近海系统整体上向大气释放 CO_2 。他们通过陆源有机碳的输入、埋藏、矿化、净初级生产力的质量平衡估算得出,近海系统每年通过陆源有机碳的降解向大气释放 0.22 Gt C 的 CO_2 ^[3]。

然而近几年越来越多的研究发现,很多近海系统从大气吸收 CO_2 。北海、大西洋美国东部海岸等都是年平均从大气吸收 CO_2 的例子^[4,5]。Ducklow 和 McCallister 综述了前人的研究认为,近海是大气 CO_2 很强的汇,每年从大气吸收 2.1 Gt C 的 CO_2 ^[6],与全球开阔海洋从大气吸收 CO_2 的量相当。Ducklow 和 McCallister 与 Smith 等人的结果截然相反,一个重要的原因是 Ducklow 和 McCallister 用的陆架生产力比 Smith 等人高得多,导致他们计算的近海系统浮游植物合成的有机碳比降解的有机碳量大得多。这两个截然相反的结果也反映出近海生产力巨大的时空变化给准确评估近海系统的 CO_2 吸收/释放带来很大的困难。

现场观测表明也有向大气释放 CO_2 的近岸海区,例如南海北部^[7]。由于不同近海系统的 CO_2 吸收/释放格局差异很大,而且控制机制也不相同,因此 Cai 等人把近海分成中纬度富营养海区、中纬度中营养海区、低纬度西边界流陆架海区、北冰洋海区、南极洲海区、中纬度东边界流陆架海区和低纬度东边界流陆架海区七种不同的系统。其中,中纬度海区是大气 CO_2 的汇,每年吸收 0.33 Gt C 的 CO_2 ; 而低纬度海区是大气 CO_2 的源,每年向大气释放 0.11 Gt C 的 CO_2 , 全球近海系统总体上是大气 CO_2 的汇,每年从大气吸收 0.22 Gt C 的 CO_2 。Cai 等人认为陆源有机碳输入和海表温度是控制中高纬度近海系统吸收 CO_2 和低纬度近海系统释放 CO_2 的重要机制^[8]。

但是,至今我们仍缺乏从定量的角度评估陆源物质的输入如何影响近岸海区的 CO_2 源汇格局。在现有的研究基础上假设除了大河河口及冲淡水区域外,陆源物质输入对近海系统的净效应是向大气释放 CO_2 。同时推测,近海系统总体上从大气吸收 CO_2 的原因是大气 CO_2 浓度逐渐升高而导致大气 CO_2 向海水溶解的物理因素造成的。

自然环境的变化和人为活动都可能改变近海的 CO_2 源汇。例如,随着人口的继续增长和营养盐入海通量的增加,近海系统的生产力可能会提高,这可能导致近海系统从大气吸收更多的 CO_2 ; 不断增强的人为活动可能改变陆源物质入海通量及其比例,这也可能改变近海浮游植物生产力和有机物矿化过程的消长,从而改变近海的 CO_2 源汇格局; 全球升温导致陆地化学风化作用增强及陆源物质入海通量发生变化,也可能引起近海 CO_2 的源汇格局发生变化等。总之,陆源物质输入对近海 CO_2 源汇的影响是个非常复杂的问题。解决这个问题不仅需要大量的现场调查,还需要总结与陆源物质输入有关的不同过程和情形,并据此建立数值模式去研究和预测。

参 考 文 献

- [1] Takahashi T, Sutherland S C, Wanninkhof R, et al. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep-Sea Research II*, 2009, 56: 554-577.
- [2] Kempe S. Coastal Seas: a net source or sink of atmospheric carbon dioxide? LOICZ Report and Studies No. 1. Texel: LOICZ, 1995.
- [3] Smith S V, Hollibaugh J T. Coastal metabolism and the oceanic organic carbon balance. *Review of Geophysics*, 1993, 31: 75-89.
- [4] Jiang L Q, Cai W J, Wanninkhof R, et al. Air-sea CO₂ fluxes on the U.S. South Atlantic Bight: spatial and seasonal variability. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113: C07019, doi: 07010.01029/02007JC004366.
- [5] Thomas H, Bozec Y, Elkalay K, et al. Enhanced open ocean storage of CO₂ from shelf sea pumping. *Science*, 2004, 304: 1005-1008.
- [6] Ducklow H W, McCallister S L. The biogeochemistry of carbon dioxide in the coastal oceans. In: Robinson A R, Brink K H. eds. *The Global Coastal Ocean: Multiscale Interdisciplinary Processes. The Sea, Ideas and Observations on Progress in the Study of the Sea (Volume 13)*. Cambridge: Harvard University Press.
- [7] Zhai W D, Dai M H, Cai W J, et al. The partial pressure of carbon dioxide and air-sea fluxes in the northern South China Sea in spring, summer and autumn. *Marine Chemistry*, 2005, 96: 87-97.
- [8] Cai W J, Dai M H, Wang Y C. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins: A province-based synthesis. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: doi:10.1029/2006GL026219.
- [9] Borges A V, Delille B, Frankignoulle M. Budgeting sinks and sources of CO₂ in the coastal ocean: Diversity of ecosystems counts. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L14601, doi:14610.11029/12005GL0203053.
- [10] Chen C T A, Borges A V. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: Continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂. *Deep-Sea Research II*, 2009, 56: 578-590.

撰稿人: 郭香会¹ 蔡卫君²

¹ 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, xhguo@gate.sinica.edu.tw

² 美国佐治亚大学海洋科学系, wcai@uga.edu