

海洋生态系统储碳过程的多尺度调控及其对全球变化的响应

◆ 黄邦钦¹ 刘光兴² 史大林¹ 韦刚健³ 柳欣¹

1. 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361000;
2. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100;
3. 中国科学院 同位素地球化学国家重点实验室, 广州 510640

摘要 海洋是地表系统中最大的碳库,在全球碳循环中起着举足轻重的作用,显著影响地球气候系统。生物泵和微型生物碳泵是海洋储碳的两个重要途径,其储碳效率在很大程度上决定了海洋和大气中的碳库变动,是碳增汇的关键过程。本项目目标是阐明海洋固碳过程和储碳机理,诠释海洋酸化对固碳和储碳的影响,建立古海洋沉积碳库变动与全球变化的关联,深入揭示海洋生态系统储碳过程的多尺度调控机理。项目将从现代生物地球化学过程入手,研究不同层级水平上海洋生态系统的固碳过程、储碳机制及其对海洋酸化的响应;并结合不同沉积系统近2000年来的碳库变动,以及工业革命以来高分辨率的海水温度、pH值和碳库记录,探讨海洋碳库变动对自然变化和人类活动的响应机制,阐明生物泵和微型生物碳泵储碳的调控机理。项目的实施将显著提升我国在海洋碳循环和储碳机制研究领域的国际地位,为我国制定应对气候变化和实施海洋碳增汇政策提供科技支撑。

关键词: 海洋储碳 海洋生物泵 微型生物碳泵 海洋酸化 沉积碳库记录 全球变化

中图分类号: X55 文献标识码: A

文章编号: 1009-2412(2017)01-0027-03

收稿日期: 2016-12-09 修回日期: 2017-02-22

联系作者: 黄邦钦 教授, bqhang@xmu.edu.cn。

DOI: 10.3969/j.issn.1009-2412.2017.01.006

1 项目研究背景与意义

海洋碳循环是全球碳循环的关键环节,也是当今全球变化科学前沿领域之一。自工业革命以来,海洋吸收了约48%的人为排放CO₂,是地表系统中最大的碳库,亦是吸收人为排放CO₂最大的汇区(Libes, 2009)。生物泵和微型生物碳泵是海洋吸收CO₂的主要途径,前者是浮游植物利用通过光合作用将海水中的无机碳转变成颗粒有机碳,通过自身沉降和浮游动物摄食,并最终向深层海洋传输的过程;后者则是通过微型生物的作用将活性的溶解有机碳转化为惰性有机碳,从而增加在海洋中的停留时间。作为海洋储碳的重要途径,生物泵一直是海洋碳循环的核心研究内容之一,而新近提出的微型生物碳泵亦是近年来碳循环的热点研究主题(Jiao et al., 2011)。

研究表明,海洋吸收CO₂导致海洋酸化,研究已经证实酸化进程的持续发展将会对现有许多海洋生物造成重大威胁(Busch et al., 2015)。但遗憾的是,至今尚未有报道指出这种威胁是否会影响(甚至已经影响了)海洋的碳汇潜力?全球变化(如酸化、变暖)对海洋储碳能力的影响如何?这是急待解决的重大基础科学问题。造成这种认识不足的根本原因还是对以生物群落主导的海洋储碳过程及其调控机理仍然有许多不明之处(Busch et al., 2015)。

利用古环境与古气候重建来探讨海洋沉积碳库(储碳记录)与气候环境变化的关联是当今全球变化的热点研究课题(Jiao et al., 2010; Wang et al., 2014)。近10多年来,人们开始关注近现代人类活动,如陆源输入特别是人为营养输入对近岸沉积物

碳埋藏的影响,并取得了较大进展。不过对于近岸海域乃至陆架、海盆区域,沉积有机碳的来源特别是陆源碳的贡献由于缺乏合适的研究手段,一直没有得到很好的认识,影响了对沉积碳库变化的准确估算。珊瑚礁是生产力最高的海洋生态系统,其沉积下来的碳主要是碳酸钙,如何合理估算珊瑚礁净碳输出的历史演变一直是个难题。随着近年对海洋酸化研究的深入,珊瑚礁碳存储如何应对海洋酸化影响已经成为一个热点的科学问题,但目前对于实际珊瑚礁海水酸化进程和碳存储的变化的认识还远远不够。

中国对边缘海碳循环过程及储碳机理研究已有一定基础和重要国际影响力。2000年以来,在973计划、重大科学研究计划和国家自然科学基金等项目的支持下,我国开展了与国际同步的海洋碳循环和储碳机制研究,取得了重要进展,如提出“微生物碳泵”储碳新途径,并引领该领域的研究;但目前的研究对碳循环过程和机理、基于生物泵和微生物碳泵的储碳机制的研究深度依然不够,特别是对弱光层的生物过程和储碳机制的研究还很薄弱(黄邦钦和柳欣,2015)。目前国际上的研究计划包括海洋碳与生物地球化学(ocean carbon biogeochemistry, OCB)、海洋碳与气候变化(ocean carbon and climate change, OCCC)等,都特别关注弱光层和无光层碳循环的研究及其全球变化对海洋碳循环的影响。

2 项目的科学问题和研究内容

综上所述,我们亟需回答重点专项申报指南提出的关键科学问题,即开展全球变化影响下的海洋储碳机制和碳库变动这一重大科学问题研究,这也是当前全球变化研究的薄弱环节和难点。具体来说,这就是要阐明典型海洋生态系统固碳过程和储碳机制,评估全球变化(如酸化)的影响,并进一步探寻古海洋记录和现代过程关联,建立沉积碳库变动与全球变化联系,最终全面揭示海洋生态系统储碳过程的多尺度调控机理。因此,针对上述关键科学问题和目标,项目围绕核心主题“固碳过程-储碳机制-酸化影响-碳库变动”,开展如下4个方面的研究:海洋典型生态系统固碳过程与浮游植物群落结构;海洋典型生态系统储碳过程的调控机制;海洋酸化对固碳、储碳过程的影响及其机制以及海洋典型生态系统碳库变动与气候变化和海洋酸化的关联。

3 项目的研究方案与技术路线

项目将从现代生物地球化学过程入手,以生物群落结构和碳库变动存在显著差异的南海北部陆架、海盆和珊瑚礁3个典型生态系统为研究对象,在不同层级水平研究海洋生态系统的固碳过程、储碳机制及其对海洋酸化的响应;并结合不同沉积系统近两千年来的碳库变动,以及工业革命以来高分辨率的海水温度、pH值和碳库记录,探讨海洋碳库对自然变化和人类活动的响应机制,阐明生物泵和微型生物碳泵储碳的调控机理。

项目将整合、利用多种观测技术与研究手段。如现场观测、生物光学浮标(Bio-Argo)、水下滑翔机(Glider)及多源卫星遥感等技术,研究海洋固碳过程与调控机制;应用同位素示踪等地球化学手段研究颗粒有机碳输出通量和矿化速率;采用现代多组学技术研究海洋储碳的关键过程及调控机制;通过中尺度围隔实验和室内受控培养,研究海洋酸化对海洋固碳和储碳的影响机理;通过研究有机碳埋藏效率与氮、硫及氧化还原敏感元素的同位素体系,构建有机碳、无机碳沉积记录的量化表征方法,解析海洋碳库变动对全球气候环境变化的响应机制。

总之,项目紧扣重点专项申报指南内容,重点关注全球变化背景下海洋生态系统储碳的关键过程和机制,力争在海洋储碳机制及其对全球变化的响应方面取得一批原创性的成果。项目的实施将提升我国在海洋碳循环和储碳机制研究领域的国际地位,为我国维护国家权益,制定应对气候变化和实施海洋碳增汇政策提供科技支撑。

致谢

科学技术部重点研发计划项目“全球变化及其应对”重点专项资助(2016YFA0601200)。

参考文献

- [1] Buesseler K O, Lamborg C H, Boyd P. W, et al. Revisiting Carbon Flux Through the Ocean's Twilight Zone [J]. *Science*, 2007, 316: 567—570
- [2] Busch D S, O'Donnell M, Hauri C, et al. Understanding, Characterizing, and Communicating Responses to Ocean Acidification: Challenges and Uncertainties [J]. *Oceanography*, 2015, 25: 30—39
- [3] Dai M, Meng F, Tang T, et al. Excess total organic carbon in the intermediate water of the South China Sea and its export to the North Pacific [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2009,

- 10, Q12002
- [4] Falkowski P G, Fenchel T, Delong E F. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles [J]. *Science*, 2008, 320: 1034—1039
- [5] Jiao N, Herndl G J, Hansell D A, et al. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8
- [6] Jiao N Z, Herndl G J, Hansell D A, et al. The microbial carbon pump and the oceanic recalcitrant dissolved organic matter pool [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2011, 9
- [7] Libes S M. *Introduction to Marine Biogeochemistry* [M]. Elsevier, 2009
- [8] Montes E, Muller-Karger F, Thunell R, et al. Vertical fluxes of particulate biogenic material through the euphotic and twilight zones in the Cariaco Basin, Venezuela [J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2012, 67: 73—84
- [9] Wang P, Li Q, Tian J, et al. Long-term cycles in the carbon reservoir of the Quaternary ocean: a perspective from the South China Sea [J]. *National Science Review*, 2014, 1: 119—143
- [10] 黄邦钦 柳欣. 边缘海浮游生态系统对生物泵的调控作用 [J]. *地球科学进展*, 2015, 30: 385—395

MARine CarbOn Sequestration: Multiscale Regulation and Response to Global Changes

Huang Bangqin¹, Liu Guangxing², Shi Dalin¹,
Wei Gangjian³, Liu Xin¹

1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361000;
2. Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, MOE, Ocean University of China, Qingdao 266100;
3. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640

Ocean is the largest carbon stock in the Earth, it plays an important role in the global carbon cycle, and significant impact on the Earth's climate system. Biological pump (BP) and microbial carbon pump (BCP) are two of the most important pathways for the carbon sequestrations, the efficiency of which determined the carbon stock changes in the ocean and atmosphere. The MARCO aims to clarify the ocean carbon sequestration mechanism of carbon process and interpretation of ocean

acidification effect on carbon sequestration and storage, establish the ocean sedimentary carbon stock changes linked to global change, further analysis in the process of marine ecosystem carbon storage multiscale regulation mechanism. According to the key scientific question and target, 4 themes “process of carbon fixation-carbon storage mechanism-acidification effect—sediment carbon stock changes” were set up around the core scientific question. Three typical ecological systems (continental shelf, basin and coral reefs) in the northern South China Sea with significant differences of biological community structure and carbon library changes were taken as the study sites. The MARCO will be initiated from the modern biogeochemical process, to demonstrate marine ecosystem carbon process and mechanism of carbon storage and its response to ocean acidification at different levels (gene-protein-individual-species-community-ecosystem). Combined with different carbon stock changes of sedimentary systems in 2000 years and high-resolution sea water temperature, pH and carbon library records since the industrial revolution, to explore the ocean carbon stock changes to natural changes and human activities in response mechanism, to clarify regulation mechanism of the biological pump and microbial carbon pump. The implementation of the MARCO will be a significant boost in the marine carbon cycle and carbon storage mechanism research in China, and provide data support for our country to make policies for dealing with climate change and implementing the ocean carbon exchange.

Keywords: carbon sequestration; biological pump; microbial carbon pump; ocean acidification; sediment core record; global changes