



国家重点研发计划项目

(项目编号:2016 YFA0601200)

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

Marine Carbon Sequestration: Multiscale Regulation
and Response to the Global Change

项目简报

2017 年第 2 期，总第 3 期

项目办公室主办 2017 年 8 月 1 日

目 录

一、	2017 年南海及邻近海域春、夏航次	1
二、	科普传播	5
三、	研究亮点与突出进展-Highlights	6
四、	学术会议及交流	15
五、	后续工作概览	17

项目办公室通讯信息

地址：厦门大学翔安校区金泉楼 A302

电话：0592-2181151

网址：<http://marco2016.xmu.edu.cn>

微信公众号：MARCO_XMU

邮编：361102

Email: lizhen8214@xmu.edu.cn



一、 2017 年南海及邻近海域春、夏航次

南海夏季航次

针对项目“海洋生态系统固碳和储碳过程的主要调控机制”等主要科学问题，依托厦门大学“嘉庚”号新科考船，本项目与重大研究计划项目 CHIOCE-C II 联合组织了夏季南海中部航次。航次时间从 2017 年 6 月 5 日开始到 6 月 27 日顺利完成，共历时 23 天（图 1）。第一、二、三课题的 9 位科研工作人员和研究生参与了航次的科研任务。项目骨干谢聿原博士任航次联合首席科学家。

航次期间开展的研究主要包括 3 部分：（1）南海海盆生态系统固碳和储碳过程速率研究，测量真光层内初级生产力、群落呼吸速率和群落净生产力，使用 FastOcean APD 仪器开展与初级生产力相关的叶绿素荧光参数剖面的时间序列观测，同时在两个连续观测站位 SEATS 和 SS1 开展全水柱（0-1000m）呼吸速率和

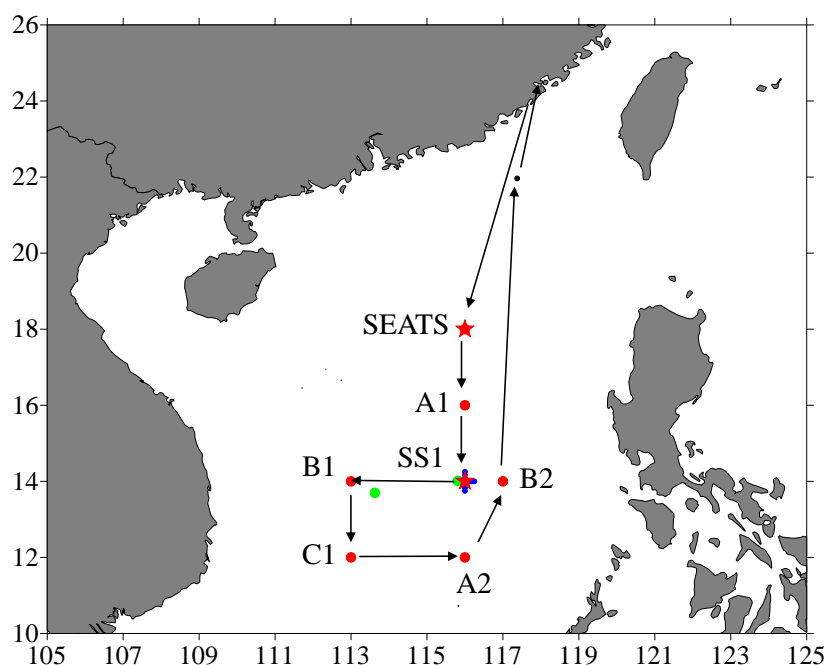


图 1. 2017 年 6 月南海中部航次主要观测站位和航迹图

（绿色点从左到右分别为 BioArgo 和 Glider 校验点）

颗粒物输出通量的研究。(2) 浮游生态系统颗粒有机碳输出和生物泵效率的调控模式研究, 在 SEATS 和 SS1 站, 通过 30 小时连续生物拖网、布放和回收漂浮式沉积物捕获器等, 开展浮游植物群落结构、浮游植物和浮游动物粪块沉降速率、沉降颗粒物输出通量、中型浮游动物垂直迁移及其对颗粒碳输出通量的贡献、酸化对海洋上层沉降颗粒降解速率的影响等。其中, 成功回收在 SEATS 站位布放的漂浮式沉积物捕获器, 回收的沉降颗粒物样品将进行生物类群和生源要素的测定;(3) 分别在 SEATS 和 SS1 站的表层/DCM/200m/OMZ/3000m 进行大体积采水收集宏基因组和蛋白组样品, 用于南海海盆生态系统的有机碳代谢过程研究。



图 2. 南海 SEATS 站成功布放与回收漂浮式沉积物捕获器



图 3. MARCO 项目出海队员和“嘉庚”号船员、探测队员合影

南海东北部夏季航次

项目组参加了“2017年台湾海峡科学考察实验研究（NORC2017-04）”国家自然科学基金委共享航次之春季、夏季两个航次。根据重点研发计划项目“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”（2016YFA0601200）的实施方案，重点专项研究团队利用两次共享航次针对南海东北部进行陆架海区的水文、海洋生物、生态、化学的综合调查研究。

南海东北部夏季航次的航次时间为2017年7月10日至7月21日，调查海域为南海东北部海域（台湾海峡南部）陆架至陆坡区域（图4），主要研究目的是了解夏季南海北部陆架在上升流、沿岸流等重要物理过程背景下浮游生态系统的特征及其对物理过程的响应。项目研究团队在本航次主要开展的研究包括：（1）南海北部陆架区域浮游生物的群落组成特征及其分布，进行光合色素、叶绿素、微微

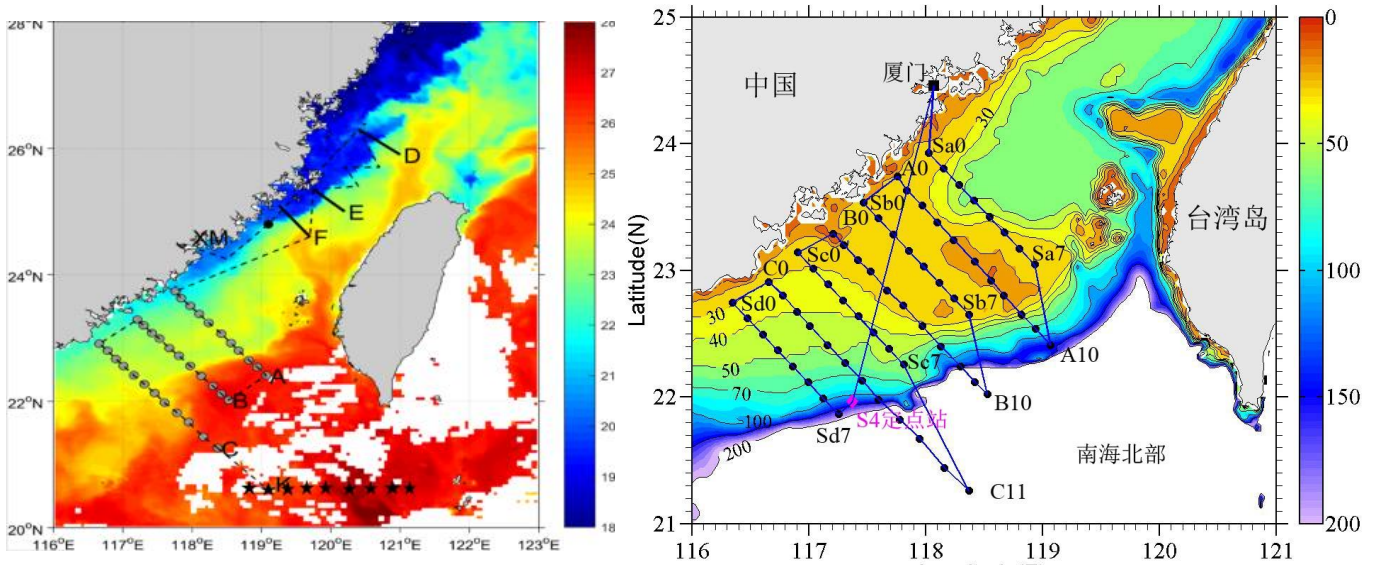


图 4. 2017 年南海东北部航次站位分布(左：春季航次；右：夏季航次)

型浮游生物流式细胞（FCM）样品、浮游生物镜检测样品的采集与分析；（2）南海北部陆架区域重点站位的周日观测，进行垂直断面上浮游生物群落结构的周日变动特征分析。

台湾海峡及南海东北部春季航次

2017台湾海峡及南海东北部春季航次（图4）分两个航段进行，第一航段的研究目的为“浮游生态系统对闽浙沿岸流锋面不稳定过程响应的观测与研究”，于5月14日-20日完成，第二航段于5月22日-25日完成，研究目的主要是针对南海北部海盆区横跨黑潮、冷涡区进行上层浮游生态过程和生物地球化学过程观测以及对南海北部陆架区结合水文、化学、浮游生态过程的综合观测。项目研究团队在本航次主要开展的研究包括：（1）春季闽浙沿岸流锋面不稳定过程影响下浮游生态系统生物量及群落结构的响应，包括浮游植物叶绿素、细胞丰度、种类组成、光合色素组成、微型浮游动物丰度、种类组成和分子多样性等在内的样品的采集与分析；（2）春季西南季风影响初期南海北部陆架至海盆区域浮游生态系统群

落结构特征及其分布，除了采集与分析了大面站位浮游生物生物量、丰度、群落组成、分子多样性等样品以外，还应用生态综合走航系统（Ferrybox）获得了高空间分辨率大范围表层海水的水文及生态数据。

二、 科普传播

2017年4月19日，项目第二课题负责人刘光兴教授团队参加联合国教科文组织政府间海洋学委员会（IOC）西太平洋分委会（WESTPAC）第十届国际科学大会“海洋科学进校园”的科普活动。活动期间，为青岛市实验高级中学的一千余名师生做了题为“DNA、浮游生物与海洋”的主题讲座，介绍了海洋浮游生物及其生态地位，浮游生物与人类的关系，通过实例分析，着重介绍了分子生物学技术在浮游生物研



图 5. 2017 年 4 月刘光兴团队参加联合国教科文组织政府间海洋学委员会（IOC）第十届国际科学大会“海洋科学进校园”的科普活动

究中的应用。并现场邀请学生参与提取草莓 DNA，介绍了 DNA 提取的基本原理和简要步骤，受到了学生们的热烈欢迎。

相关报道详见 IOC-WESTPAC 主页：<http://iocwestpac.org/news/799.html>

三、 研究亮点与突出进展-Highlight

项目各课题组围绕着“全球变化影响下的海洋储碳机制和碳库变动主题”积极开展研究，在浮游植物群落结构与初级生产过程、海洋酸化对固碳/储碳过程的影响机制、不同沉积记录对近千年来的气候、海水温度及生态过程指示等方面取得重要进展，2017 年上半年在包括 Science 在内的 SCI 期刊发表论文 18 篇。

1. 第一课题

根据课题实施方案，积极开展现场航次调查研究和数据分析。主要航次包括 2016 年夏季重点专项预研航次和 2017 年夏季南海中部航次，开展了包括浮游植物群落结构、初级生产力、浮游植物光合活性、群落净生产力、全水柱碳输出通量、浮游动物垂直迁移和漂浮式沉积物捕获器采样等在内的研究，采集了大量的实验数据和样品，为课题的顺利实施打下了良好的基础。

课题组成员还通过整合分析现有和历史数据，收获并发表了一系列的研究成果。通过研究扩散限制和环境过滤对优势种和稀少种组成和分布的不同影响，阐明了调控边缘海微微型真核浮游植物多样性的关键机制，该成果发表于微生物生态学的顶级杂志 *Environmental Microbiology* (Wu et al. 2017a)。通过对南海中层水体 ^{210}Po 亏损现象的研究，初步揭示了南海中层水体颗粒物输出通量的大小和时空变化，该成果发表于 *Geochemistry Geophysics Geosystems* (Ma et al. 2017)。应

用 VIIRS 卫星捕获了有害藻华中甲藻垂向移动的信号，属世界首例，促进了静止轨道卫星研究浮游植物功能群动态演变过程的新思路和新方法的发展，该成果发表于 *Harmful Algae* (Qi et al. 2017a)。此外，我们还通过分子探针技术研究分析了青绿藻、定鞭藻等微型真核藻类沿着南海北部河口-陆架-海盆的空间和季节分布 (Wu et al. 2017b)；为了更好地实现浮游植物遥感辨识，针对海色卫星的信噪比最低要求进行了研究，为未来海色卫星设计提供参考(Qi et al. 2017b)；应用 MODIS 卫星遥感数据对海洋水质进行了长期变化的监控，为下一步研究浮游植物对环境变化的响应打下了基础(Shang et al. 2017)。

除已发表成果外，后续研究也在持续有序地进行之中。通过分析布放于南海中部的生物光学浮标 BioArgo 的数据，获得了高时间分辨率的群落净生产力的分布变化情况，阐明了群落净生产力的季节变化特征，该成果可望近期发表于 *Deep Sea Research Part I*。通过对实际生态位的分析，探讨了南海浮游植物群落结构的环境影响机制，以及用于预测全球变化情景下群落结构的变动，该成果已撰写成论文并投稿。在南海北部开展了浮游植物分粒级初级生产力和光合参数的测量，研究发现相对于微型浮游植物，大粒级浮游植物在高温、高光环境下具有更高的单位叶绿素固碳速率，可能与其叶绿体光合作用单位对高光强具有更好的抵抗性有关。

发表论文：

Wenxue Wu, Ramiro Logares, Bangqin Huang, Chih-hao Hsieh, 2017, Abundant and rare picoeukaryotic sub-communities present contrasting patterns in the epipelagic waters of marginal seas in the northwestern Pacific Ocean, *Environmental Microbiology*, 19 (1):287-300. (第一标注)

- Haoyang Ma, Weifeng Yang, Lihao Zhang, Run Zhang, Min Chen, Yusheng Qiu, Minfang Zheng, 2017. Utilizing ^{210}Po deficit to constrain particle dynamics in mesopelagic water, western South China Sea, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 18(4):1594-1607. (第一标注)
- Lin Qi, Chuanmin Hu, Brian B. Barnes, Zhongping Lee, 2017. VIIRS captures phytoplankton vertical migration in the NE Gulf of Mexico. *Harmful Algae*, 66:40-46. (第一标注)
- Wenxue Wu, Lei Wang, Yu Liao, Songli Xu, Bangqin Huang*, 2017. Spatial and seasonal distributions of photosynthetic picoeukaryotes along an estuary to basin transect in the northern South China Sea, *Journal of Plankton Research*, 39(3):423-435. (第一标注)
- Shaoling Shang, Zhongping Lee, Gong Lin, Chuanmin Hu, Lianghai Shi, Yongnian Zhang, Xueding Li, Jingyu Wu, Jing Yan, 2016. Changes in water clarity of the Bohai sea: observations from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 186:22-31. (第一标注)
- Lin Qi, Zhongping Lee, Chuanmin Hu, Menghua Wang, 2017. Requirement of minimal signal-to-noise ratios of ocean color sensors and uncertainties of ocean color products. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(3):2595-2611. (第二标注)

2. 第二课题

根据课题实施方案，积极开展现场航次调查研究和数据分析。主要航次包括

2016 年夏季重点专项预研航次、2017 年 5 月春季台湾海峡航次、2017 年 7-8 月基金委南海北部共享航次、2016 年 12 月、2017 年 3 月三亚鹿回头和后海野生珊瑚采样以及 2017 年九龙江口-厦门湾共享航次等,开展了包括浮游动物群落结构、遗传多样性、微生物原位培养系统布放、桡足类摄食、珊瑚室内受控培养实验等在内的研究,采集了大量的样品与数据,并正在开展样品处理与数据分析工作,为课题的顺利实施打下了良好的基础。

课题组开展了深海微生物对上层有机物,如聚球藻、DHA、EPA 和蓝细菌合成的十五烷及十七烷的原位响应和矿化实验,采集了海盆、陆坡和陆架区的表层海水中真核、原核微生物样品,并利用十五烷及十七烷混合物对颗粒附着和自由生活的微生物种群进行了富集培养,用于研究它们对表层有机物的响应和矿化过程(图 6),完成不同采样区域表层海水中真核浮游生物、颗粒附着和自由生活原核生物种群结构分析;颗粒有机碳(以烷烃,十六烷;芳烃,萘和菲为底物)降解微生物种群的实验室模拟培养和菌群结构解析,分离纯化和鉴定了潜在的降解微生物。目前,正继续在对获得的新型降解菌的系统进化、降解特性和机理进行深入研究。

课题组开展了杯形鹿角珊瑚 *Pocillopora damicornis* 对温度胁迫的室内受控培养实验,进行了高温预实验,对温度胁迫的实验条件控制、细胞生理及环境参数的测定、采样时间等进行了探索。测定了光合效率、钙化率、虫黄藻密度、固碳、固氮速率等珊瑚生理参数,采集了不同时间节点的珊瑚样本,用于 DNA/RNA 提取及后续的组学测序、电镜观察、珊瑚骨骼同位素分析。

发表论文:

Yudong Cui, Huan Zhang, Senjie Lin, 2017. Enhancement of non-photochemical quenching as an adaptive strategy under phosphorus deprivation in the

dinoflagellate *Karlodinium veneficum*. *Frontiers in Microbiology*, 8:404
doi: 10.3389/fmicb.2017.00404. (第二标注)

由于全球变暖引起的水柱分层增加，可能减少营养物的可用性，同时增加了真光层内浮游植物光合作用的光过量，这将增加对非光化学淬灭(NPQ)等途径的需要。通过基因表达和蛋白质组分析来研究甲藻 *Karlodinium veneficum* 在磷缺乏条件下 NPQ 是否会增强。结果表明，NPQ 在磷缺乏条件下显著提升，同时，三种光捕获复合体压力相关的蛋白显著增加，许多与能量生产与转换相关的基因上调表达。*K.veneficum* 通过重新配置代谢途径和上调 NPQ 来响应营养盐磷的缺乏，以增加释放多余光能的能力，并保持能量流的流畅性，这为应对于全球变暖的浮游植物适应性进化提供了一个新的视角。

3. 第三课题

针对“海洋酸化对固碳、储碳过程的影响及其机制”主题，课题组按研究计划与方案参加调查航次，开展培养实验；收获并发表了一系列的研究成果，包括酸化对浮游植物固氮、固碳、群落生态特征的影响与机制，以及酸化对浮游动物行为影响等。

厦门大学史大林教授团队，在全球变化下碳、氮海洋生物地球化学循环领域取得重要研究进展。以束毛藻为对象，通过系统性的实验室机理探究和海上现场实验，发现因大气 CO₂ 上升而引起的海洋酸化抑制束毛藻的固氮作用，且该负效应随着海水中铁浓度的下降而加剧(图 7)。这一研究成果不仅揭示了海洋酸化对束毛藻的影响及其机制，而且为先前国际上就该科学问题的争议提供了科学解释，

对于深入理解全球变化下碳、氮的海洋生物地球化学循环具有重要的意义；该项成果发表在 Science 上 (Hong et al., 2017a)。

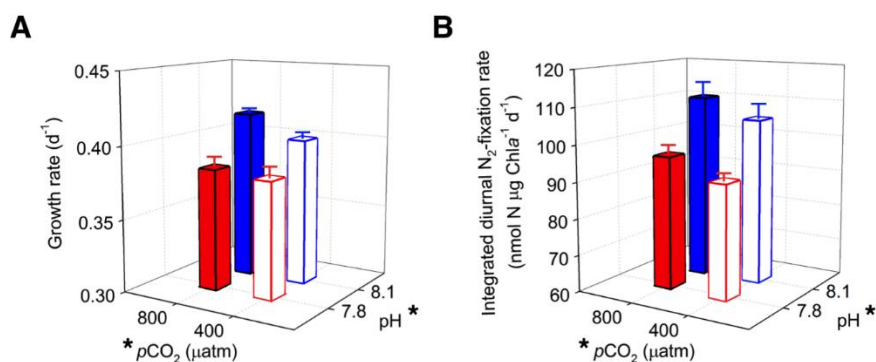


图 7 海水 CO₂ 升高对束毛藻生长和固氮的促进作用弱于海水 pH 下降对其的抑制作用 (Hong et al, 2017a, Science)

同时，研究了酸化条件下，海洋环境氮营养条件对硅藻能量代谢途径的影响，受氮限制的硅藻在二氧化碳升高的条件下，每单位氮固定更多的碳，这可能会给持续上升的大气二氧化碳提供负反馈。(Hong et al., 2017b)。研究了酸化和金属胁迫双重影响对浮游动物桡足类日本虎斑猛水蚤 *Tigriopus japonicus* 的影响，酸化可通过该桡足类体内糖类代谢、溶酶体水解、自我吞噬等补偿途径的增加来对抗汞的毒性效应，使得该动物的繁殖力恢复到正常水平；该研究成果首次从效应和机理两个层面揭示了海洋酸化减轻重金属对桡足类的毒性效应，拓宽了人们关于酸化和金属对海洋生物联合效应的认识 (Wang et al., 2017 ; Li et al., 2017)。在富营养化近岸水体中开展的酸化围隔实验研究揭示二氧化碳升高对浮游植物群落结构与演替的显著影响 (Liu et al., 2017)。

发表论文：

Haizheng Hong, Rong Shen, Futing Zhang, Zuozhu Wen, Siwei

Chang, Wenfang Lin, Sven A. Kranz, Ya-Wei Luo, Shuh-Ji Kao, François M. M. Morel, Dalin Shi, 2017. The complex effects of ocean acidification on the prominent N₂-fixing cyanobacterium *Trichodesmium*. *Science*, 356:527-531. (第一标注)

Haizheng Hong, Dongmei Li, Wenfang Lin, Weiyang Li, Dalin Shi, 2017.

Nitrogen nutritional condition affects the response of energy metabolism in diatoms to elevated carbon dioxide. *Marine Ecology Progress Series*, 567:41-56. (第一标注)

Haizheng Hong, Weiyang Li, Xiaolin Li, Bangqin Huang, Dalin Shi, 2017.

Determination of glycolic acid in natural seawater by liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry. *Limnology and Oceanography: Methods*, 15(7):631-641. (第一标注)

Minghua Wang, Jae-Seong Lee, Yan Li, 2017. Global proteome profiling of a marine copepod and the mitigating effect of ocean acidification on mercury toxicity after multigenerational exposure. *Environmental Science & Technology*, 51(10):5820-5831. (第二标注)

Yan Li, Wen-Xiong Wang, Minghua Wang, 2017. Alleviation of mercury toxicity to a marine copepod under multigenerational exposure by ocean acidification. *Scientific Reports*, 7(1):324-332. (第一标注)

Xin Liu, Yan Li, Yaping Wu, Bangqin Huang, Minhan Dai, Feixue Fu, David A.

Hutchins, Kunshan Gao, 2017. Effects of elevated CO₂ on phytoplankton during a mesocosm experiment in the southern eutrophicated coastal water of China. *Scientific Reports*, 7(1):6868-6881. (第一标注)

4. 第四课题

课题组开展了珊瑚钙化率的定量化估算，进行珊瑚的生源要素的同位素如 Cu、Zn 等的分析；参加台湾海峡预研与春季航次，通过对台湾海峡表层沉积物粒度、矿物、碳氮元素及稳定碳同位素的分析，探讨了台湾海峡沉积有机质分布及来源：发现台湾海峡沉积有机质的分布受水动力条件控制，主要分布在台湾海峡北部和沿岸；沉积有机质为海陆混合来源，陆源沉积有机质主要分布在闽江口及海峡中部；利用特征生物标志化合物研究了台湾海峡的海洋初级生产力及陆源有机质输入情况，台湾海峡沿岸及北部初级生产力较高、南部较低，与营养盐含量有关。陆源有机质以高等植物输入为主，由浙闽沿岸流搬运到沉积区。南海北部近岸沉积物岩芯记录了近 2000 年来近岸有机碳的埋藏速率明显增加，有可能与人类活动逐渐加强有直接关系。进一步的解读工作正在进行中。

针对“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”这一主题，课题组成员目前已经发表一系列的成果，包括地质同位素标记物测量技术、千年尺度气候变化的特征、颗粒和溶解有机物的河口动力过程等。分析了无机酸对硼同位素测量的影响，确定了硼同位素测定信号增强与保持高精度的关键因素；通过对南海北部珊瑚地质化学标记物 (Sr / Ca 和 $\delta^{18}\text{O}$)，研究发现在近一千年前 (东汉后期西方金时期，公元 167 - 309)，南海北部属于潮湿与寒冷的气候，海水表层温度约为 25.1°C，显著低于人类活动影响的暖期 (CWP) 的 26.6°C (Xiao

et al., 2017), 重建和比较了小冰期、中世纪气候异常期 (MCA) 和当代人类活动影响下的暖期 (CWP) 的气候差异, 利用南海珊瑚记录, 为过去一千年的气候变化提供新的见解 (Deng et al., 2017a)。在中世纪暖期和小冰期珊瑚 $\delta^{13}\text{C}$ 和太阳辐照总量(TSI)有着显著的皮尔逊相关性和变异耦合, 但是在人类活动影响的暖期 (CWP), 由于海洋 ^{13}C 休斯 (Suess) 效应引起过去百年尺度内珊瑚骨骼 $\delta^{13}\text{C}$ 与太阳辐射关系解耦合, 而与大气中二氧化碳浓度和 $\delta^{13}\text{C}$ 在大气中的二氧化碳水平显著相关, 这是由越来越多的人为增加的大气二氧化碳造成的 (Deng et al., 2017b)。应用同位素示踪分析了南海北部珠江河口的溶解态和颗粒态氮的季节性变化 (Ye et al., 2017)。

发表论文:

Xuefei Chen, Le Zhang, Gangjian Wei, Jinlong Ma, 2016. Matrix effects and mass bias caused by inorganic acids on boron isotope determination by multicollector ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 31(12):2410–2417. (第二标注)

Hangfang Xiao, Wenfeng Deng, Xuefei Chen, Gangjian Wei, Ti Zeng, Jian-xin Zhao, 2017. Wet and cold climate conditions recorded by coral geochemical proxies during the beginning of the first millennium CE in the northern South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 135:25–34. (第一标注)

Wenfeng Deng, Xi Liu, Xuefei Chen, Gangjian Wei, Ti Zeng, Luhua Xie, Jian-xin Zhao, 2017. A comparison of the climates of the Medieval Climate

Anomaly, Little Ice Age, and Current Warm Period reconstructed using coral records from the northern South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(1), 264–275. (第一标注)

Wenfeng Deng, Xuefei Chen, Gangjian Wei, Ti Zeng, Jian-xin Zhao, 2017. Decoupling of coral skeletal $\delta^{13}\text{C}$ and solar irradiance over the past millennium caused by the oceanic Suess effect, *Paleoceanography*, 32(2):161–171. (第一标注)

Feng Ye, Guodong Jia, Luhua Xie, Gangjian Wei, Jie Xu, 2017. Isotope constraints on seasonal dynamics of dissolved and particulate N in the Pearl River Estuary, south China. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121, 8689–8705. (第一标注)

四、 学术会议及交流

1. 组织项目成员黄邦钦、林森杰、史大林、李忠平、李骁麟、柳欣、谢聿原、石拓等参加 2017 年 1 月 9 日-1 月 11 日厦门大学 XMAS-III 海洋科学开放大会。
2. 项目组成员黄邦钦、柳欣、谢聿原于 2017 年 2 月 26 日-3 月 3 日参加夏威夷 ASLO 年会，并分别口头报告了 MARCO 项目进展，包括：
Bangqin Huang, Biological Carbon Pump in Subtropical China Seas
Xin Liu, Grazing of microzooplankton on different phytoplankton groups

in the South China Sea.

Yuyuan Xie, Habitat controls on phytoplankton community structure and primary production in the northern South China Sea

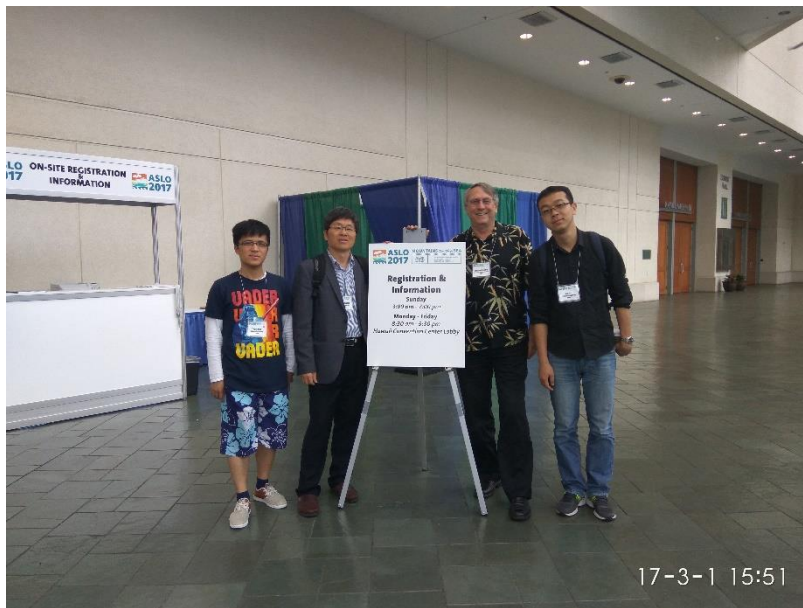


图 8 项目首席和骨干参加 ALSO 会议交流 (2017 年 3 月)

3. 项目组成员邓文峰、叶丰参加了中国矿物岩石地球化学学会第 16 届学术年会 (2017 年 4 月 , 西安) ,并分别做了特邀报告和口头报告 :
邓文峰 , 太阳辐照度控制的珊瑚骨骼稳定 Sr 同位素分馏
叶丰 , 珠江口溶解有机质来源与地球化学行为的稳定同位素示踪研究
4. 项目组成员林森杰、石拓参加美国东北部藻类学会 Northeast Algal Society 56th Annual Symposium (2017 年 4 月 21-23 日) 和第七届海峡两岸珊瑚礁研讨会 (2017 年 6 月 19-24 日) 并做了口头报告。
5. 2017 年 7 月 4-5 日组织了凌峰论坛“珊瑚的环境变化响应”,邀请以色列海

法大学海洋生物系主任 Dr. Dan Tchernov、Dr. Hagit kvitt、香港中文大学伍泽庚教授、国家海洋局第三海洋研究所陈建明研究员等开展学术交流。

五、 后续工作概览

1. 继续组织开展现场航次调查,包括 2017 年 7-8 月南海北部夏季航次,8 月台湾海峡夏季过程航次,和南海中北部冬季航次(2017 年 12 月-2018 年 1 月);
2. 组织开展 2017 年 8 月海南岛东部珊瑚礁观测和采样航次;
3. 利用开放航次(2017 年 8 月)进行南海陆坡高速沉积体沉积物岩芯采集;
4. 组织开展西沙野外珊瑚样品采集(2017 年 8-9 月);
5. 开展 ^{210}Pb - ^{210}Po 样品测定,分析南海全水柱碳输出通量;对沉积物捕获器样品进行深入分析,整合其它数据综合分析调控颗粒有机碳输出和生物泵效率的机制;进一步分析和建立南海浮游植物分粒级初级生产力的模型;
6. 进一步对已开展航次获得的生物多样性、宏转录组数据深入分析,结合群落结构动态变化、代谢途径及环境因子,探讨浮游生物关键功能群在固碳和储碳中的代谢机制;
7. 开展杯形鹿角珊瑚 *Pocillopora damicornis* 温度与酸化胁迫实验研究(2017 年 8-12 月)。