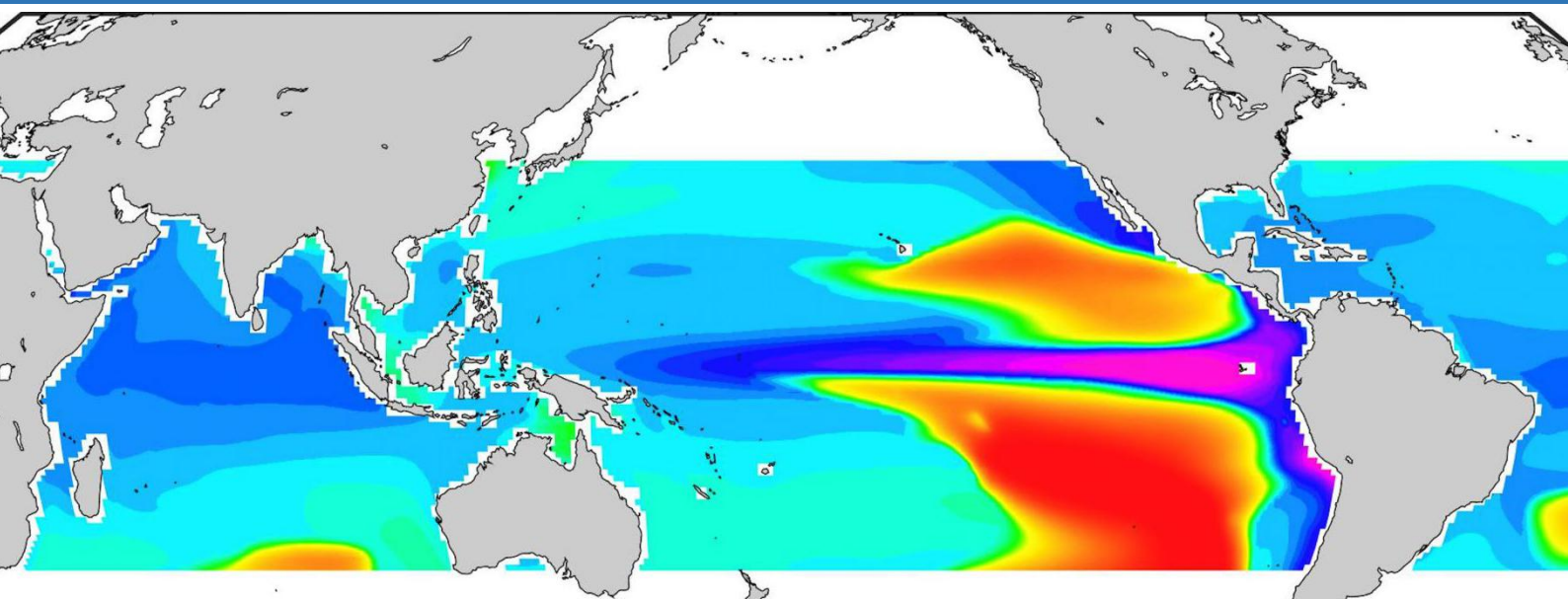


# 项目简报

## NEWSLETTER

2019 年第 1 期（总第 6 期）



酸化如何影响未来海洋？模型结果表明全球海洋束毛藻的固氮潜力将在本世纪内平均下降 27%，其中尤以铁匮乏的东南和东北太平洋的下降比例最大（详见第 7 页）

### 本期内容 (What is inside)

● 航次执行情况	2
● 研究亮点	5
● 中期评估	9
● 学术交流	9
● 科普活动	11
● 后续工作概览	13



项目编号: 2016 YFA0601200  
 微信公众号: MARCO\_XMU  
 地址: 厦门大学翔安校区金泉楼 A302  
 邮编: 361102  
 电话: 0592-2181151  
 Email: [lizhen8214@xmu.edu.cn](mailto:lizhen8214@xmu.edu.cn)  
 网址: <http://marco2016.xmu.edu.cn>

MARCO 项目办公室主办  
 2019 年 5 月 18 日

# 航次执行情况

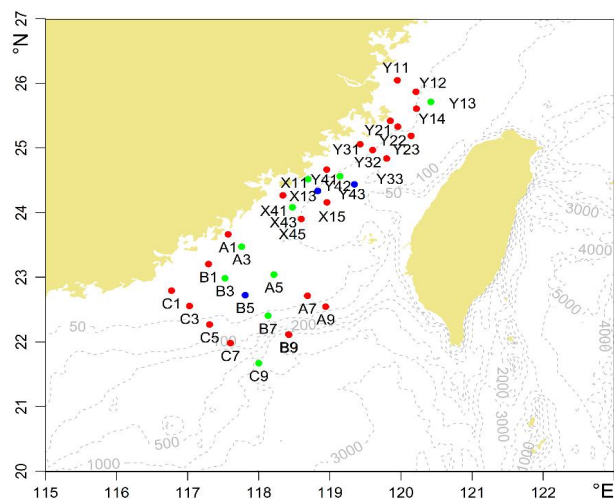
2018年下半年至2019年初，根据重点研发计划项目“海洋生态系统储碳过程的多尺度调控及其对全球变化的响应”的实施方案与共享航次机会，参加了共计7个调查航次。

航次名称	科考船	航次日期	参与人员	参与课题	组织形式
台海夏季航次	延平2号	2018年 7月25日-8月23日	6	1, 3	基金委共享
南海SEATS航次	嘉庚号	2018年 8月2号-8月11号	4	1, 3	搭载
西北太平洋航次	嘉庚号	2018年 8月16号-9月15号	2	1, 2, 3	搭载
南海西隅航次	实验3号	2018年 8月25日-9月26日	2	1	搭载
南海中部海盆航次	嘉庚号	2018年 9月17日-10月19日	2	1, 2, 3	基金委共享
西太平洋航次	科学号	2018年 10月6号-11月5号	3	1, 2, 3	基金委共享
西太SILICON航次	嘉庚号	2019年 3月15日-4月20日	10	1, 2, 3	联合组织

## ● 台湾海峡夏季航次

为了解全球气候变化背景下台湾海峡的动力环境演变、生态响应及生物地球化学过程变异。项目组在2018年夏季参加了台湾海峡海洋调查航次，进行了台湾海峡水文、生态及生地化等重要过程的观测，同时也进步对台湾海峡历史断面数据的积累。

项目组根据历年采样站位和时间、水量需求情况主要对台湾海峡36个站位进行光合色素、叶绿素等样品的采集和部分站位进行了细菌生产力（BP）和微型浮游动物摄食试验，具体调查站位如下图所示。在2018年8月18日至8月23日对台湾海峡南部K断面进行观测，主要包括K断面11个站位的常规观测。





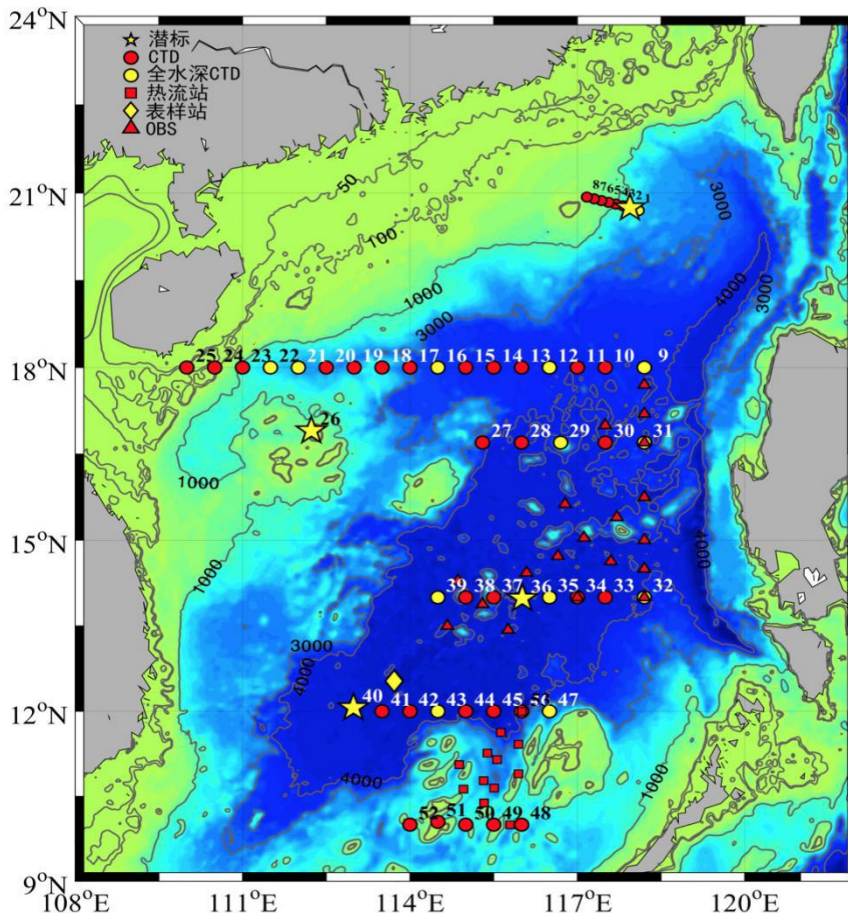
# 航次执行情况

## ● 南海 SEATS 站航次

为了对南海海盆 SEATS 站进行长时间序列观测，同时关注南海北部陆坡区陆源颗粒物侧向传输对海盆区生物地球化学关键过程速率的影响，本项目组 4 人于 2018 年 8 月 2 号-8 月 11 号（共计 10 天）对南海 SEATS 站及南海北部陆坡区进行观测，主要包括 SEATS、K3、K2、K1 站。本课题组 4 人参与了本航次的现场调查任务，进行了沉积物捕获器的布放和回收、单层浮游动物拖网、初级生产力的测定、光合色素、叶绿素 a、FCM、浮游植物镜检等样品的采集以及表层浮游植物走航观测。

## ● 南海中部海盆航次

调查海区为南海北部陆架及陆坡区、吕宋海峡西侧、南海中部深水海盆区和南沙海域，北纬 10.0°N-22.0°N，东经 110.0°E -118.5°E 范围内，主要调查断面 8 条，总观测站位 81 个（如下图），其中水深大于 1000m 的站位 66 个。共历时 34 天。本项目组 4 人参与了本航次的现场调查任务，进行了沉积物捕获器的布放和回收、单层浮游动物拖网、初级生产力的测定、光合色素、叶绿素 a、FCM、浮游植物镜检等样品的采集以及表层浮游植物走航观测。





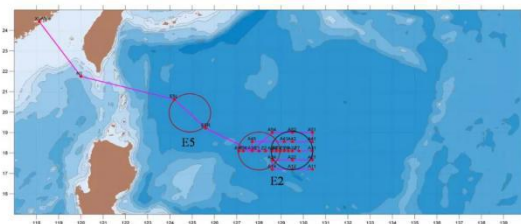


## ● 西太 SILICON 航次

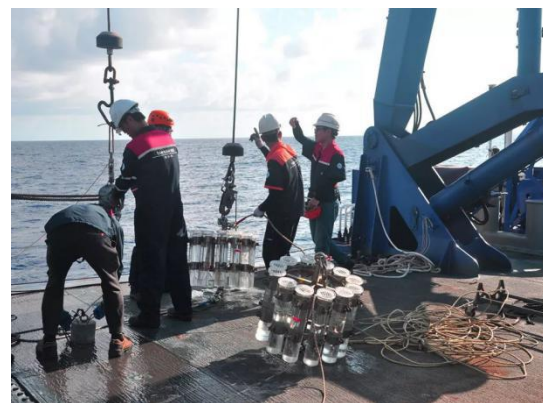
本航次时间为 2019 年 3 月 15 日至 4 月 20 日, 主要调查海域为西太平洋, 该航次协同开展了三个国家级科研项目所涉及的野外观测研究, 分别是由戴民汉院士主持的国家自然科学基金委重点项目“中尺度气旋式涡旋作用下有机碳与生源硅输出通量的动态变化与耦合: 涡旋演化与亚中尺度过程的重要性”、黄邦钦教授主持的国家重点研发计划项目“海洋生态系统储碳过程的多尺度调控及其对全球变化的响应”, 及张瑶教授主持的国家重点研发计划项目“近海生态系统碳汇过程、调控机制及增汇模式”。

本航次运用了大量多学科、多平台的观测手段, 充分展现了现代化海洋观测技术的优势。除船基 CTD 作业和采样外, 航次还运用了走航多参数剖面仪(MVP), 水下滑翔机(Glider), 生地化自主式剖面浮标(Bio-Argo)等移动观测平台, 布放了沉积物捕获器、UVP 颗粒物成像系统垂直剖面仪、初级生产力剖面仪(FastOcean), 并应用浮游生物分层拖网(MultiNet)、大体积泵海水过滤系统等现代工具进行了大量多学科采样观测。航次共完成 65 个站位的综合作业, 累计 MVP 作业 1014 个剖面、现场作业 331 项, 包括 Argo 布放作业 4 次、CTD 作业 139 次、FAST Ocean 作业 4 次、Glider 布放和回收作业 10 余次、UVP 颗粒物成像系统垂直剖面作业 18 次、大体积泵作业 19 次、单层生物拖网作业 55 次、多层生物拖网作业 1 次、湍流观测作业 66 次。

本航次旨在探讨气旋式冷涡的生物地球化学及其与三维冷涡动力结构和演化的耦合关系, 关键的科学问题包括冷涡区营养盐的上升通道、涡旋内部亚中尺度过程、冷涡演化与生态系统的响应等。



SILICON 航次第二阶段站位图

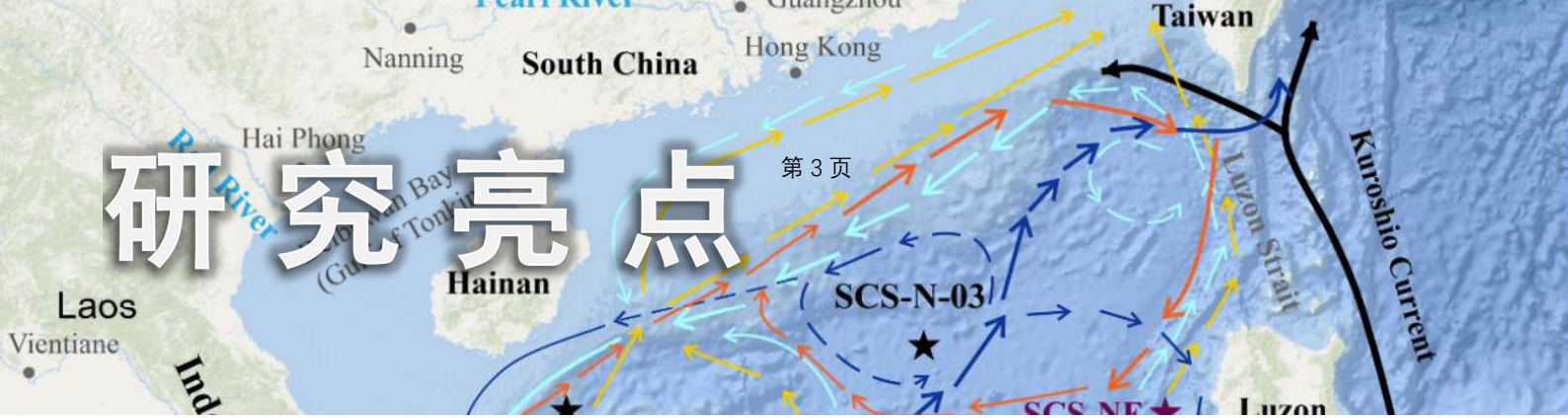


本项目组布放沉积物捕获器



本项目组进行生物垂直拖网

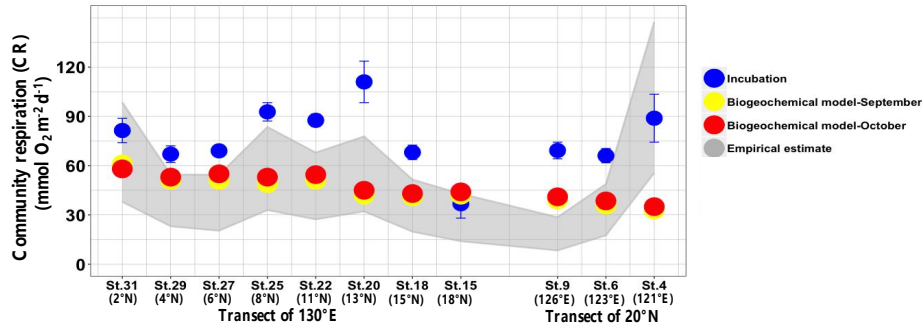




## 寡营养海区生态系统代谢平衡状态

海洋寡营养生态系统的代谢平衡处于自养还是异养的状态，学术界还存在争议，矛盾点主要是基于甲板培养测定结果通常呈现异养状态，而基于原位化学手段观测的结果呈现自养状态，由此引发了包括方法学以及寡营养生态系统有机碳循环和利用等相关争论。

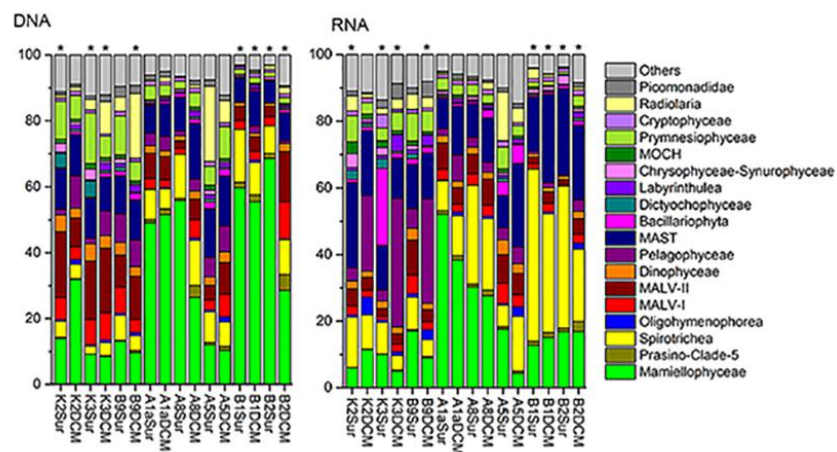
第一课题组黄邦钦团队通过结合现场甲板培养、生物地球化学模型和经验性模型估计等多种手段研究对比发现，基于甲板培养测定的总初级生产力和生物地球化学模型模拟的结果相接近，但群落呼吸却显著高于生物地球化学模型的呼吸结果。同步测定的细菌生产力和初级生产力，结合文献报道的主要浮游生物类群的增长效率，经验性对群落呼吸进行估计。发现通过生长效率估算获得的经验性群落呼吸显著低于培养法测定呼吸速率，但却和生化模型输出呼吸结果非常吻合，说明甲板培养手段呈现出的异养信号更有可能是培养过程中高估了群落呼吸导致。通过多种方法比较和交叉验证，为目前广为争议的“寡营养海区代谢平衡状态”提供新的见解。该成果发表于 *Limnology and Oceanography*。



不同方法估计寡营养海区群落呼吸速率

## 西北太平洋微微型真核生物多样性及活性表征

西北太平洋海域存在复杂的流系，包括黑潮及其延伸体，亲潮以及黑潮亲潮交汇水体，该海域微微型真核生物群落组成、活跃类群研究甚少。第一课题黄邦钦团队通过高通量测序技术研究了该大洋区域的微微型真核生物多样性及代谢活性。研究表明，西太平洋海区微微型真核生物具有较高的多样性，主要类群为甲藻(Dinophyta) 和纤毛虫(Ciliophora)。多样性水平在空间分布上差异较大，黑潮及其延伸区域较高，黑潮亲潮交汇区域较低，温度和盐度是影响其多样性变化最主要的两个环境因子。该研究还发现，分别基于 DNA 和 RNA 所表征的微微型真核生物群落组成具有显著差异，有些类群如青绿藻在调查期间可能处于代谢不活跃或休眠状态；进一步在种水平讨论了微微型真核生物代谢活性变化，揭示同一个物种在不同海域代谢活性的差异特征，发现营养盐是影响微微型真核生物代谢活性的主要环境因子。该成果发表于 *Frontiers in Microbiology*。



DNA 和 RNA 所表征的微微型真核生物群落组成具有显著差异

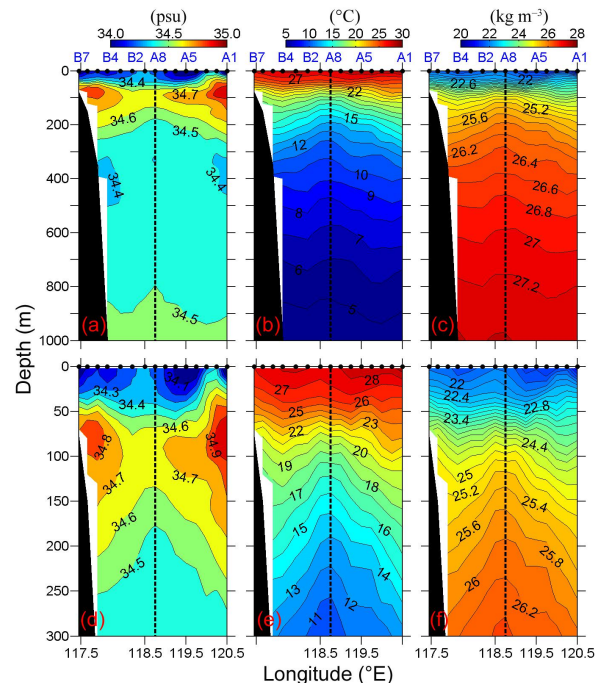
温度和盐度是影响其多样性变化最主要的两个环境因子。该研究还发现，分别基于 DNA 和 RNA 所表征的微微型真核生物群落组成具有显著差异，有些类群如青绿藻在调查期间可能处于代谢不活跃或休眠状态；进一步在种水平讨论了微微型真核生物代谢活性变化，揭示同一个物种在不同海域代谢活性的差异特征，发现营养盐是影响微微型真核生物代谢活性的主要环境因子。该成果发表于 *Frontiers in Microbiology*。



# 研究亮点

## ● 南海东北部环流与中尺度涡旋过程研究

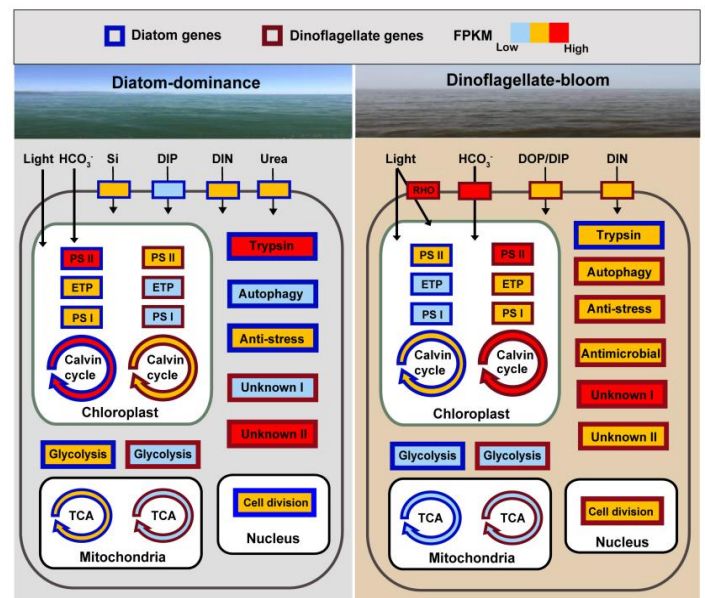
第一课题黄志达博士结合 2017 年春季现场 CTD 观测资料、卫星高度计资料和 Argos 漂流浮标资料，研究了南海东北部海域吕宋冷涡 (LCE)。该 LCE 源于吕宋岛西北部海域，然后向西北运动到台湾西南海域，现场断面调查表明，在 LCE 的中心，0–300m 之间的等盐线、等温线和等密度线都抬升了 100m 左右(右图)。运用双指数方法研究 LCE 演化的动力过程。双指数很好地反映 2017 年春季研究区域涡旋的季节内变化以及黑潮主轴的路径，在 4 月份下旬，LCE 的增强主要与吕宋海峡东部的一个大反气旋涡的速度切变有关。该研究增强了对南海东北部海域的环流和中尺度涡旋等过程的理解。该成果发表于 *Journal of Oceanography*。



现场观测吕宋冷涡中心结构  
(a.d. 盐度; b.e.温度; c.f. 密度)

## ● 宏转录组学揭示浮游植物演替的分子机制

第二课题林森杰团队通过组学手段研究了浮游植物群落演替及赤潮爆发过程中生物群落中关键生物类群主要代谢通路的变化。研究表明，虽然硅藻和甲藻属于两个不同的系统发育类群，但经历了趋同进化，以适应所处的共同海洋环境，硅藻和甲藻在其优势期能量及营养盐的获取及抗氧化等代谢过程均表现得非常活跃。该研究还揭示了二者在很多生化途径的不同：硅藻具有更活跃的碳水化合物代谢及更强的利用环境中有机氮 (尿素) 的能力，且 trypsin 可能有助于硅藻细胞壁的形成；而甲藻在光能获取及磷营养盐的吸收利用上则更具优势，以及在赤潮爆发过程中表达了防御微生物的蛋白(右图)。此外，该研究还发现了大量未知功能的基因的发现，这些基因不仅表达量高，且随浮游植物群落更替，表达差异显著，推测这些基因在此过程中发挥了重要的功能。该成果发表于 *Frontiers in Microbiology*。



硅藻赤潮更替过程中硅藻代谢途径基因表达变化的差异



# 研究亮点

## ● 海洋酸化对固氮束毛藻的抑制效应机制

第三课题组史大林研究团队与近海海洋环境科学国家重点实验室罗亚威博士合作，在之前研究的基础上，进一步系统地测定了固氮和光合系统蛋白的表达量及其含铁量，建立了一个束毛藻的“资源最优化分配”细胞模型（右图）。该模型模拟束毛藻胞内铁和能量如何在无机碳吸收、光合作用、固氮作用、生命维持、对抗酸化胁迫、铁储藏等各主要生理过程之间的最优化分配，以最大化其生长速率；并且模拟了海洋酸化对几个主要生理过程的调控，包括  $\text{CO}_2$  浓缩机制 (CCM) 耗能的减少、固氮酶效率的下降、抗酸化胁迫耗能的上升、以及铁储藏的减少。

研究发现，CCM 耗能占细胞总耗能的比例非常小，因此  $\text{CO}_2$  浓度上升导致的 CCM 下调所节约的能量对束毛藻生长及固氮的促进效应非常有限，验证了之前的实验结果。此外，海洋酸化对束毛藻的影响主要在于固氮酶效率的下降和抗酸化胁迫能耗上升，二者均会对束毛藻的生长和固氮产生负效应，而其中起主导作用的为固氮酶效率的下降。研究进一步将细胞模型拓展到全球海洋，以地球系统模型模拟的 RCP 8.5 场景下本世纪海洋 pH、 $\text{CO}_2$  浓度和溶解铁为输入变量，估算得到的结果显示全球海洋束毛藻的固氮潜力将在本世纪内平均下降 27%，其中尤以铁匮乏的东南和东北太平洋的下降比例最大（右图）。该项成果为海洋酸化影响下海洋生态系统固碳潜力响应机制研究的一个重要突破。该成果发表于 *Nature Communications*。

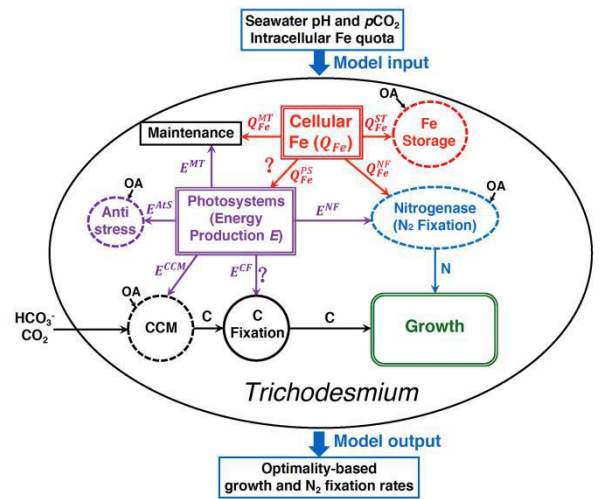


ARTICLE

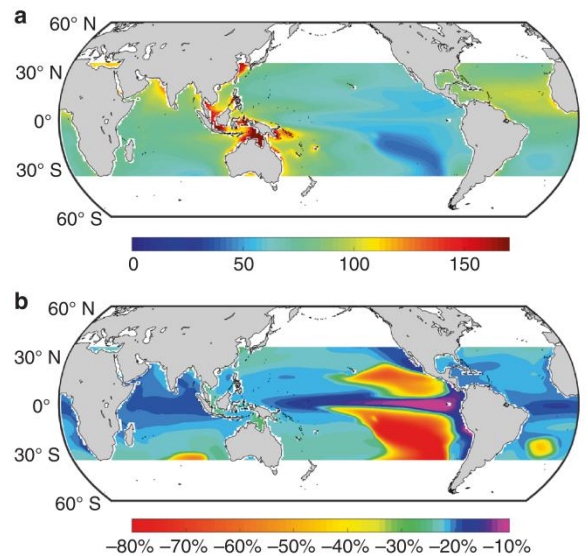
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-0984-7> OPEN

Reduced nitrogenase efficiency dominates response of the globally important nitrogen fixer *Trichodesmium* to ocean acidification

Ya-Wei Luo<sup>1</sup>, Dalin Shi<sup>2</sup>, Sven A. Kranz<sup>3</sup>, Brian M. Hopkinson<sup>4</sup>, Haizheng Hong<sup>2</sup>, Rong Shen<sup>2</sup> & Futing Zhang<sup>2</sup>



固氮束毛藻的资源最优化分配细胞模型结构



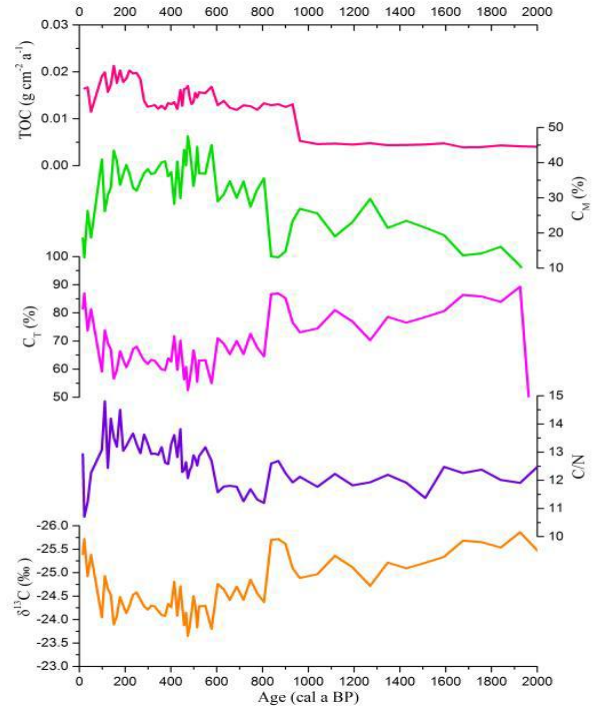
模型估算的本世纪内束毛藻固氮潜力的变化  
(a. 1990s 固氮潜力; b. 2090s 变化率)



# 研究亮点

## ● 南海北部近岸近 2000 年来有机碳埋藏特征

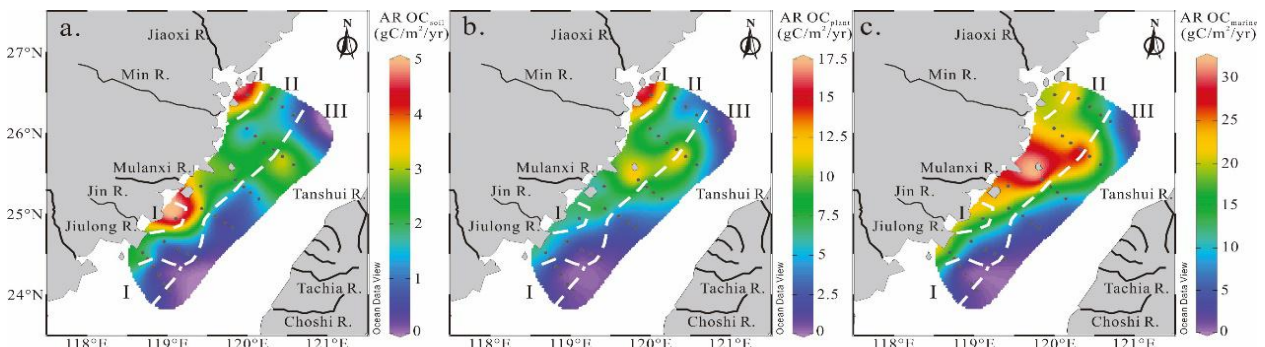
第四课题韦刚健团队通过对南海北部近岸沉积物岩芯 (YJ Core) 的综合分析,发现该区沉积物中海洋有机质的贡献为 10% ~ 47%, 而陆源有机质的贡献为 53% ~ 90%。近 2000 年以来,陆源有机质整体上呈现下降的变化趋势,而海洋有机质则表现出上升的变化趋势。在 2000 cal a BP 至 1000 cal a BP 期间,有机碳埋藏速率处于相对较低的状态且未出现大的波动,而近 1000 年以来,有机碳埋藏速率显著提高(右图)。进一步研究发现,近 1000 年以来有机碳埋藏的增加和陆源有机碳贡献的变化主要是日益增强的人类活动所致。该成果发表于 *Quaternary Science Reviews* 和 *Palaeoclimatology*。



南海北部近岸岩芯近 2000 年来有机碳埋藏

## ● 台湾海峡有机碳埋藏研究

第四课题胡建芳团队通过对台湾海峡表层沉积物的系统采样,研究了沉积有机质总有机碳 (TOC) 及其稳定碳同位素 ( $\delta^{13}C_{org}$ )、总氮 (TN) 和特征分子标志化合物-甘油二烷基甘油四醚 (GDGTs) 的空间分布。结果表明: TOC 和 TN 含量在近岸沉积物中较高, 向台湾海峡中部逐渐减少, 其分布受台湾海峡水动力条件和沿岸上升流控制。表明有机碳堆积速率 (AROC) 为 1.9 - 47.2 g C/m<sup>2</sup>/yr, 与中国边缘海的其他区域相似。基于三端元模型计算的各类来源有机碳的贡献结果显示: 海洋有机碳主要埋藏在上升流区域, 陆地植被和土壤的来源的有机碳主要埋藏在河口区(下图)。总的来说, 由于植被和海洋来源的易降解有机碳是台湾海峡埋藏有机碳的主要组成部分, 台湾海峡在全球碳循环中是 CO<sub>2</sub> 的汇。该成果发表于 *Journal of Geophysical Research-Ocean*。



台湾海峡表层沉积物堆积速率的空间分布 a) 土壤有机碳, b) 植被有机碳, 和 c) 海洋有机碳





# 项目中期评估

2018年7月30日，项目召开了中期总结会议，邀请了项目责任专家焦念志院士、王辉研究员，以及同行专家戴民汉院士、王凡研究员、王宗灵研究员、黄良民研究员、赵美训教授、蒋国平教授、高会旺教授、齐义泉教授共11位组成项目中期总结专家组。科技部高技术研究发展中心张峰处长应邀与会指导，专家组听取了项目负责人和各课题负责人中期总结汇报，并审阅了各课题提交的中期总结材料，充分肯定了各课题及项目的总体进展。专家组认为各课题均较好地完成了各自的中期考核指标，在边缘海浮游植物群落时空格局、演变趋势和环境影响机制、浮游生物群落和关键生物类群对储碳过程的影响、海洋酸化对浮游植物固氮过程与机制以及南海北部珊瑚钙化对全球变化和海洋酸化的响应等取得重要进展，部分成果具备国际影响力。此外，专家组还从成果凝练和课题间合作以及下一步研究等方面提出了建设性意见。

2018年9月，本项目通过了科技部组织中期评估即二次择估评估，项目中期执行情况与各项考核指标完成进度获得了评估专家组肯定，获得后续资助。



# 学术交流

## 项目研讨会

- 2018.07 青岛** 项目组召开了2018年度学术研讨会暨中期总结会，交流项目研究进展，讨论研究亮点，针对中期检查评估工作，展开讨论并制定中期评估方案，研讨后三年的研究重点和实施方案。
- 2018.10 厦门** 课题一组织了“海洋典型生态系统固碳过程与浮游植物群落结构”学术研讨会，研讨会围绕课题一的两个主要科学问题“浮游植物群落结构变化对生态系统固碳过程的影响如何？”、“浮游植物群落组成和固碳在不同时空尺度上的变动规律和调控机制是什么？”从边缘海浮游植物群落演变集成、浮游植物固碳与群落结构、固碳遥感新方法、中尺度物理过程与生态系统群落结构、Bio-Argo的应用以及全水柱POC输出等方面梳理了课题执行前两年的研究进展。重点讨论了未来三年的研究思路、研究重点和实施方案，特别是各研究组之间的交叉协作，同时初步讨论了2019年夏季航次等。





项目组多位成员参加两岸海洋科学研讨会



史大林作 GON-ON 大会报告



黄邦钦在两岸研讨会上作本项目主题的报告

## 学术会议

2018.07

上海

黄邦钦、史大林、李骁麟、柳欣参加第五届地球系统学大会，作口头报告

香港

李芊受邀参加香港科技大学与国家自然科学基金委员会、京港学术交流中心共同举办的学术研讨会，探讨海洋科技发展的国际热点与展望

2018.10

克罗地亚

李忠平参加克罗地亚杜布罗夫尼克举办的“第十四届国际海洋光学会议”，作大会报告

香港

李骁麟受邀参加香港科技大学组织的 Diagnosis and prognosis of intensifying eutrophication, hypoxia and the ecosystem consequences around Hong Kong waters: coupled physical-biogeochemical pollution studies 项目评估会议。

南京

史大林参加了在南京举办的第五届青年地学论坛，并做大会报告

2018.11

英国

庄昀筠参加第 6 届中国海洋大学-英国东英吉利大学学术论坛（英国诺维奇），作口头报告

美国

史大林应邀请赴美国伍兹霍尔海洋研究所参加 BioGeotraces 的策划启动学术会议

2019.04

杭州

黄邦钦、史大林等参加 The 4th Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON) International Workshop, 史大林做大会报告

2019.05

台北

黄邦钦、王大志、史大林、王明华、柳欣等参加第十二届海峡两岸海洋科学研讨会，参会的项目组成员均作口头报告，史大林做大会报告

## 访问交流

2018.07

厦门

课题二李芊课题组吴正超博士、刘子嘉博士生、刘旺硕士生访问厦门大学林森杰老师课题组，学习微型浮游动物培养技术和超微型浮游生物流式观测技术

2018.08

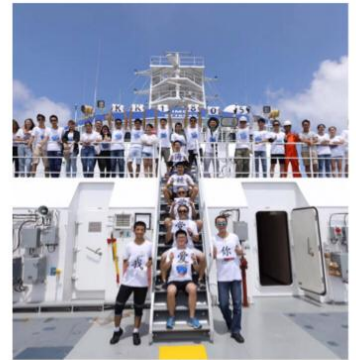
德国

李芊课题组陈寅超作为联合培养博士生赴德国亥姆霍兹基尔海洋研究所进行为期一年的交流访问



# 科普教育

MYSTERIOUS SEAS



## ● 南海：厦门大学“海丝学堂”航次

2018年7月，项目组成员李骁麟和柳欣作为带队教师，参加由厦门大学地球科学与技术学部主办的首届厦门大学“海丝学堂”人才培养计划及航次。“海丝学堂”航次依托厦门大学“嘉庚”号科考船，面向厦门大学海洋与地球学院、环境与生态学院2015级和2016级的本科生，将海上实践性教学从先前所局限的近海拓展至远海、深海，旨在加强学生海上科考实践能力，提升学生的动手能力和科研思维训练，实现海洋学科卓越人才培养的目标。依托该计划，师生共计66人于2018年7月16日至30日分两个航段先后赴南海北部开展海上实践教育，顺利完成了海上安全教育、船上技能培训，以及各项科研实践作业。



# 科普教育

## ● 广州：科普游自由行

2018年10月27日，南海海洋所组织开展了由广州市科协指导，以“畅游科学知识殿堂，提升科学文化素质”为主题的“广州科普游自由行”活动。课题二刘子嘉博士、帅义萍博士作为科普工作者向公众介绍了南海海洋生物标本馆内的生物，并展示各类海洋观测仪器，使市民对南海生物及海洋观测现状有了深入的了解，收获颇丰。



## ● 厦门：第七届厦门大学海洋开放日

2018年11月课题一、二、三的黄邦钦、林森杰、史大林等课题组积极参与由中国海洋科学卓越教育伙伴计划(COSEE China)、近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学)等单位主办的大型海洋知识科普活动——“第七届厦门大学海洋开放日”。本活动吸引了6300余市民朋友前来参观。项目组结合项目自身科学特色和优势，寓教于乐、以互动、轻松、有趣的方式让公众了解海洋生物泵、探索海洋生态系统与碳循环的奥秘，让大家在体验中学习、提高对全球变化的认知，提高公众的海洋环境保护意识。



# 工作计划



2019年5月

广州

拟召开 MARCO 项目 2019 年年度学术研讨会暨航次协调会议，汇报课题研究进展，以及后续研究计划，推进数据分析、交流、学科交叉，促进成果水平提升。针对项目的夏季航次计划，明确调查站位、时间、方案，协调合作、分工、人员、预案等内容。

2019年7月-8月

南海

拟开展 MARCO 项目组自行组织的 2019 年夏季南海科学考察航次。内容包括：调查项目所关注的核心海区物理场的变化（温、盐、流）；观测生物、化学基础参数的变化（溶解氧、叶绿素、营养盐等）；布放表层漂流式沉积物捕获器，观测真光层浮游生物关键类群生物量，以及浮游植物生长率、被浮游动物摄食死亡率、颗粒物输出通量、初级生产力及细菌生产力、新生产力、净群落生产力等关键生物地球化学过程速率。同时，多个课题将协同合作开展船载甲板酸化围隔实验，以期从浮游生物群落响应、碳和主要元素的生物地球化学途径的响应、响应分子生物学与细胞学机制，以及对应酸化条件下浮游生态模型与生物地球化学模型等方面获得突破，更好地了解海洋固碳与储碳过程对海洋酸化的响应机制。