

国家重点基础研究发展计划项目
中国近海碳循环、调控机理及生态效应研究

项目编号：2009CB42120 0

研究简报

2011 年第 2 期 总第 16 期

项目办公室主编

2011 年 6 月 15 日

提 要

- 1、现场调查
- 2、本项目第二届国际学术研讨会
- 3、主要研究进展
- 4、后续主要工作概览

主题词：现场调查 国际学术研讨会 研究进展 后续工作

呈送：科技部基础司、科技部基础司管理中心、教育部科学技术司、国家海洋局科技司、科技部 973 计划咨询专家、依托单位科技处、承担单位科技处

抄送：项目专家组、首席科学家、各课题负责人及主要科研骨干

项目办公室

地址：厦门市大学路 182 号

近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学）

电话：0592-2182833

项目网站：<http://973oceanarbon.xmu.edu.cn/>

邮编：361005

传真：0592-2184101

Email：cyli@xmu.edu.cn

1、现场调查主要进展

1.1 CHOICE -C 春季航次

本航次的总目标为：(1) 通过大面走航观测，全面测量和估算中国邻近海域海-气界面 CO_2 通量和固碳能力，与历史资料比对，探索季节年际变化；(2) 选择代表性区域，断面，从陆源输入、大洋输送、上层水体生物固碳和底层颗粒沉降输出、埋藏等方面探讨控制中国近海碳源汇格局的关键过程和机理。(3) 通过大面观测获取大量实测数据，为建立和改进各种数值模式以及中国临近海碳循环相关生物地球化学参数的遥感反演模型奠定基础，适当关注东北季风引发的海洋锋面及其相关生物地球化学过程。本航次参加单位包括：厦门大学、香港科技大学、汕头大学、中国海洋大学、国家海洋局第二海洋研究所、国家海洋局第三海洋研究所、中国科学院海洋研究所。共计 72 位科研人员和研究生参与春季科考航次，包括 60 位项目课题组科考人员和 12 位项目外搭载科考人员。南海科学考察的参与科考人员有 50 位，首席科学家是翟惟东副教授；东、黄海海航段科学考察的参与科考人员有 41 位，翟惟东副教授和刘志亮副研究员担任联合首席科学家。

本航次于 2011 年 4 月 29 日开始执行，首先在吕宋海峡及其周边开展研究工作，然后转往南海 18°N 断面实施南海段深水区作业，之后自西向东逐个断面实施跨陆架断面调查，至 5 月 25 日上午抵达厦门东渡码头，完成南海段全部任务；5 月 26 日至 27 日在厦门锚地避风，28 日上午至 6 月 9 日实施东海段和黄海段作业，最后于 6 月 10 日上午停靠到青岛奥帆码头，结束本航次全部现场工作。

由于船期安排的问题，本航次比之前报外交部备案的调查时间段推迟了 20 天左右，应急报备又没能获准，所以，原计划在东海 100m 等深线以深开展的研究工作被迫取消。实际执行的航迹、站位图如下。

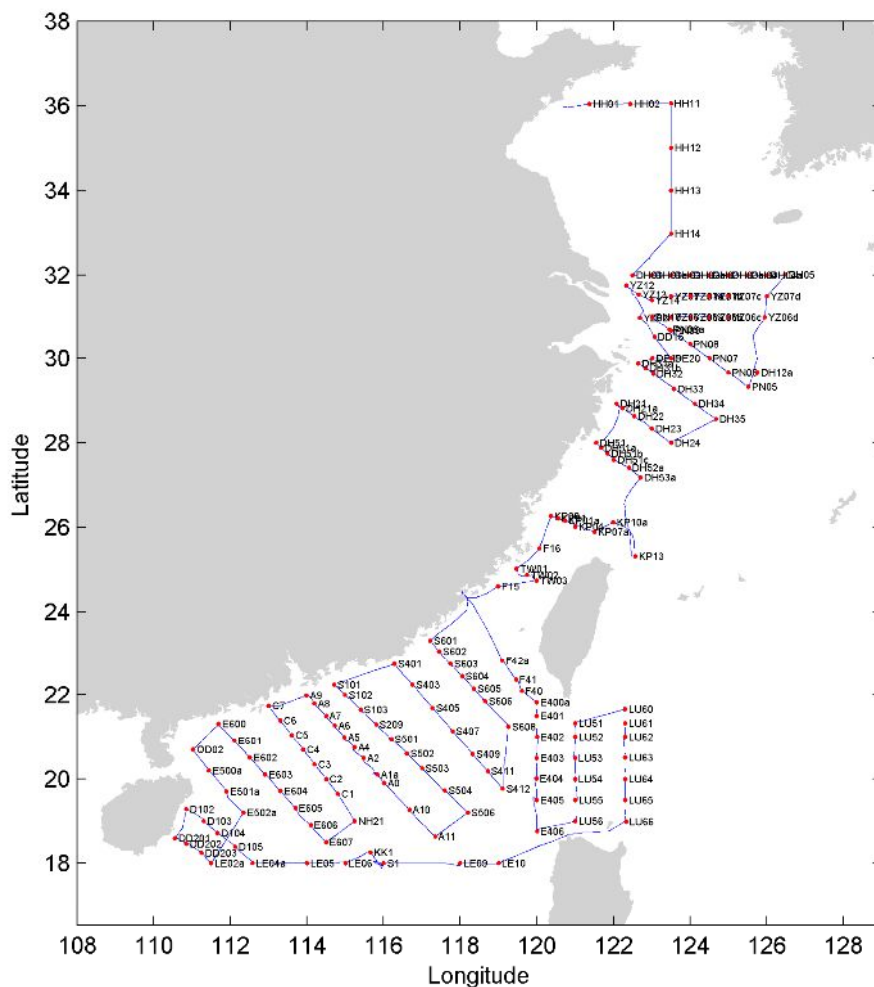


图 1 2011 年春季航次调查站位及航迹图

1.2 跨陆架输运航次

为研究南海北部陆架坡折沿线跨陆架水平输运，进行碳通量估算，课题 5 独立组织了南海北部陆架区典型断面跨陆架输运的观测航次，在南海北部陆架区（ $21^{\circ}22' - 22^{\circ}4'N$ ， $115^{\circ}10' - 117^{\circ}20'E$ ）利用“延平 2 号”科考船先后在 5 条断面实施周日不间断往复走航 ADCP 观测（2011 年 4 月 24 日 - 2011 年 5 月 2 日），同时租用闽龙渔 877 号在每条断面的起点同步进行周日连续定点海流观测，观测位置如图 2 所示。

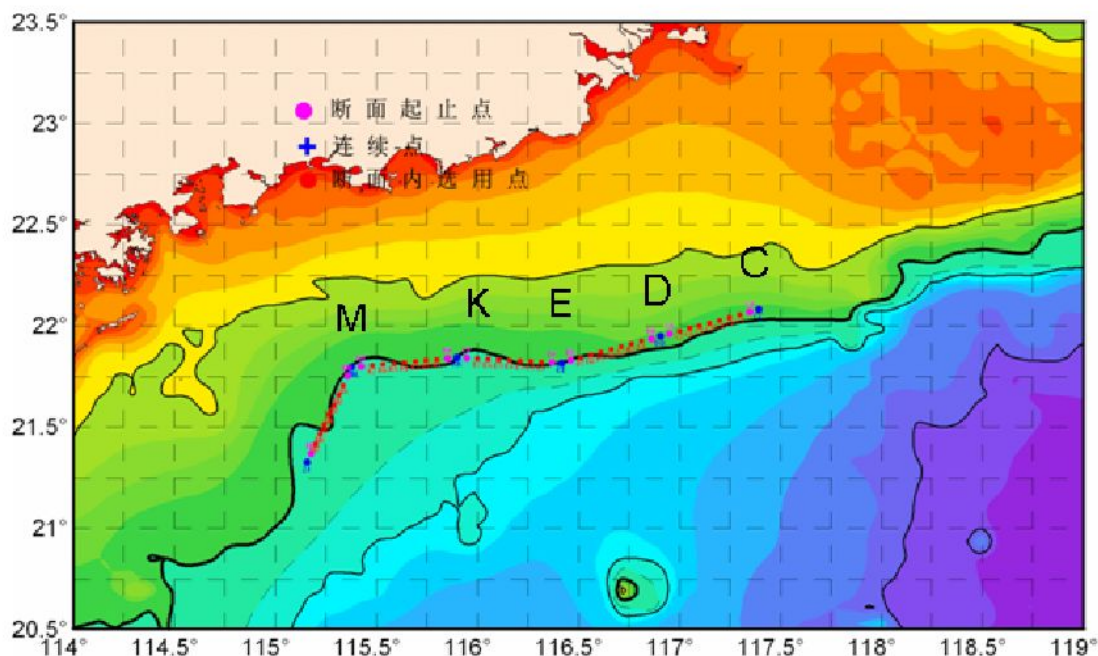


图 2 跨陆架输运航次站位图

2、第二届国际学术研讨会简介

2011年4月5-6日，“近海碳循环国际研讨会暨中国近海碳收支、调控机理及生态效应研究（973计划）项目第二届国际顾问委员会咨询会”在厦门大学近海海洋科学国家重点实验室学术厅（曾呈奎楼 A114）举行。本次会议共有包括13位项目国际咨询顾问专家、3位科技部资源环境领域咨询专家等共计154位海内外同行、项目研究人员参加。会议研讨按照项目的4个相关研究主题：碳通量、生物泵效率、海洋酸化效应、模型与趋势分别进行报告，与会专家分组与相关人员座谈讨论，并且针对项目进行情况给出指导性意见和建议。与会专家对项目的进行情况给予充分的肯定和支持，并希望项目能继续抓住如海气界面碳通量研究、海洋酸化等科学前沿领域的研究主题深入研究和挖掘，期待将来产出引领国际前沿的成果。



图 3 2011 年 4 月举办 CHOICE -C 国际会议合影

3、主要研究进展

3.1 长时间序列的近海 CO_2 源汇格局遥感产品制作进展

在原有研究工作基础上，制作了 2002-2009 年东海夏季的海水 $p\text{CO}_2$ 遥感产品（图 4）。可以明显的看到，由于长江冲淡水扩散范围变化，生物作用以及陆架海表温度等因子的年际变化，引起了东海海区 $p\text{CO}_2$ 显著的年际变化。

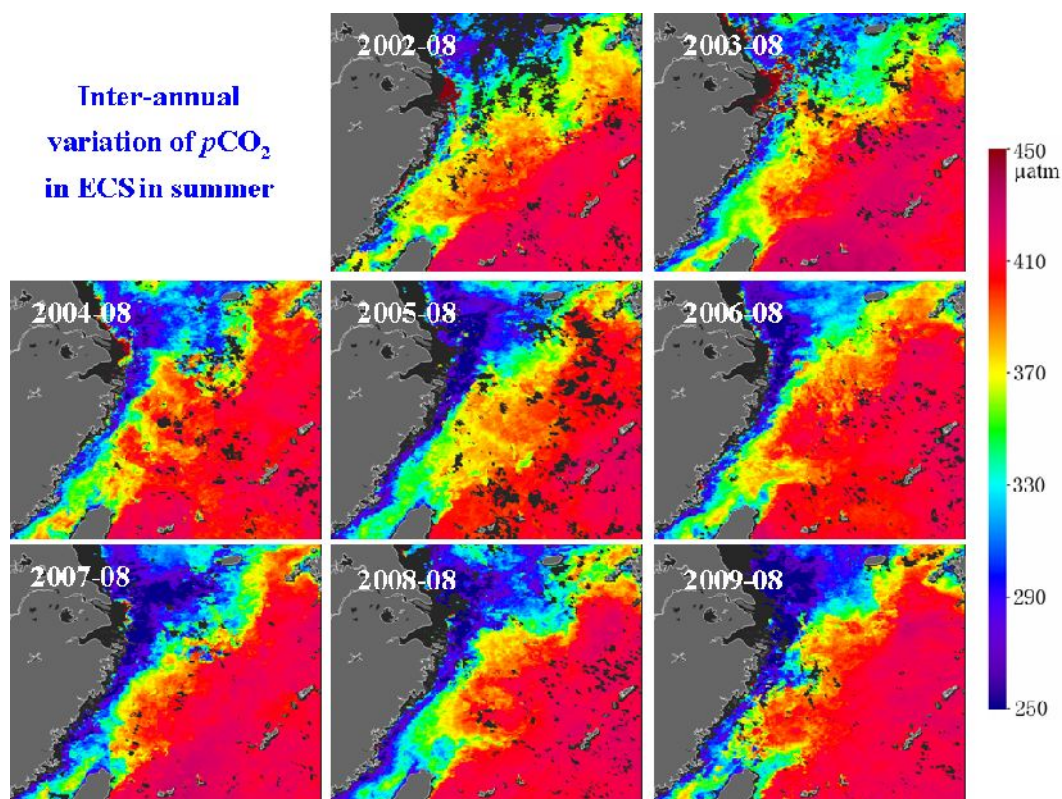


图 4 2002-2009 年东海夏季 $p\text{CO}_2$ 分布图

图 5 给出了 2003-2009 年 7 年平均的海水 CO_2 分压分布图，主要反映了在海陆水平混合作用（包含热力学影响）及生物作用的影响下海水 CO_2 分压的分布状况。近岸区域由于陆源作用的影响， $p\text{CO}_2$ 较高，基本沿着岸线分布，渤海海域及秋冬季苏北浅滩水舌也呈现较高的 $p\text{CO}_2$ 分布。东海陆架和南海海区受温度的控制作用较大，冬季水温较低时 $p\text{CO}_2$ 较低，随着温度的升高， $p\text{CO}_2$ 逐渐升高；夏季陆架和海盆区域 $p\text{CO}_2$ 达到最大值。生物作用主要体现在长江冲淡水区域、黄海中部地区、南海北部陆架以及台湾海峡部分区域；因此，春季和夏季这些区域生物活动较强，光合作用显著降低了海水 $p\text{CO}_2$ 的含量， $p\text{CO}_2$ 较低。

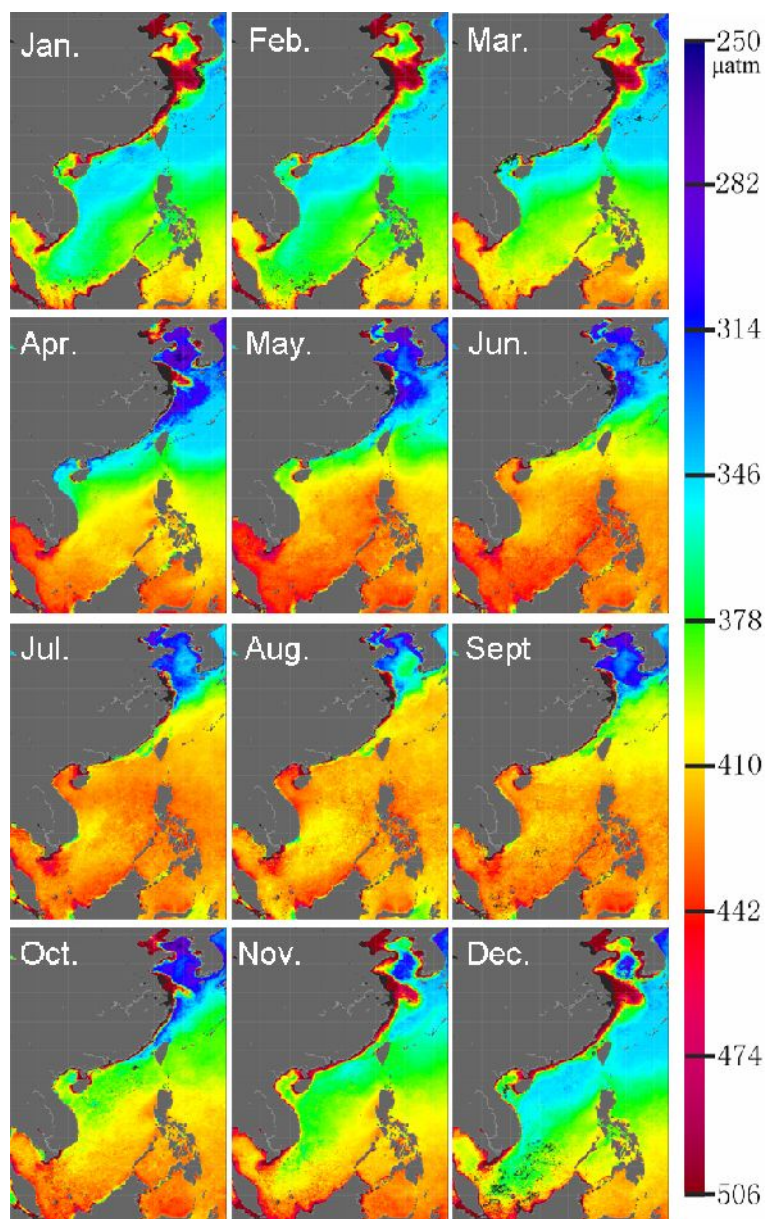


图 5 中国邻近海域气候态海水 CO₂分压月平均遥感专题图 (2003-2009 年)

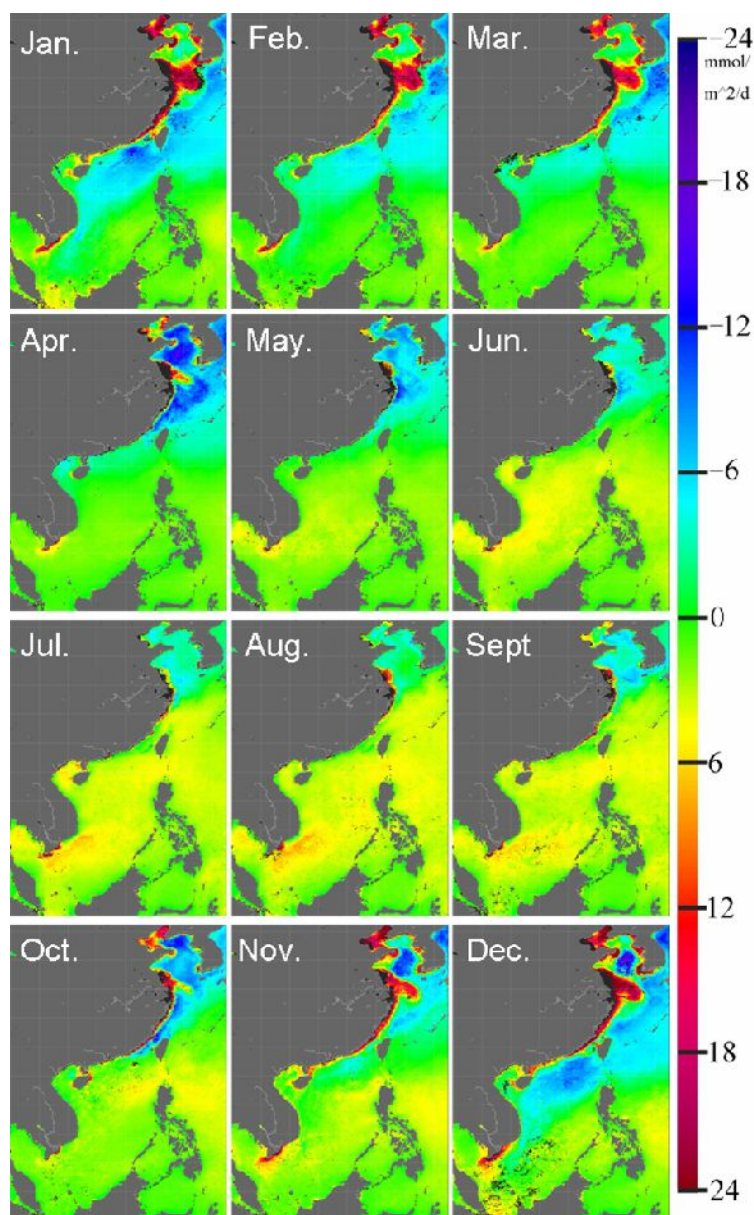


图 6 中国邻近海域气候态海-气 CO_2 通量月平均遥感专题图 (2003-2009 年, 负值表示海水为碳汇, 正值表示碳源)

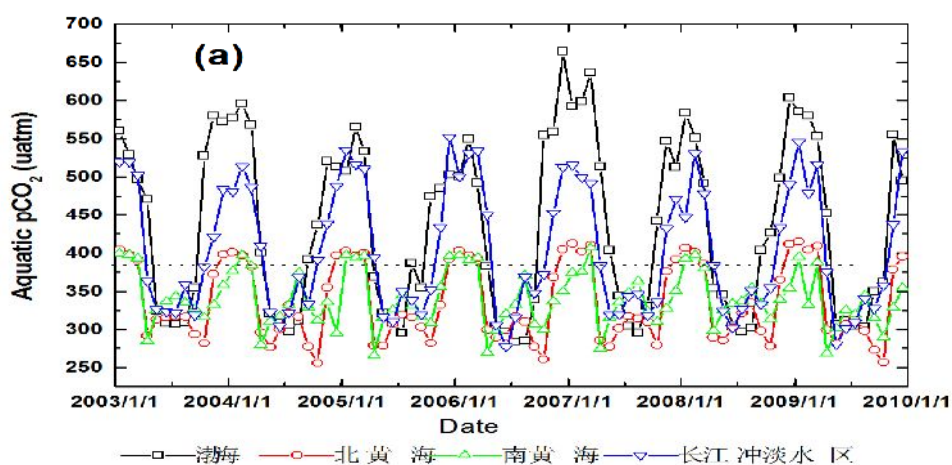
图 6 为 2003-2009 年 7 年平均的海-气 CO_2 通量分布图。可以看到, 近岸区域主要为 CO_2 的强源。苏北浅滩的水舌在 11 月至次年的 3 月也呈现较强的碳源, 由于该区域苏北浅滩泥沙较强的再悬浮作用, 不仅影响了遥感水色反演算法 (包括叶绿素浓度及黄色物质算法等), 而且该水体碱度和无机碳对 CO_2 的变化也有较大的影响, 因此, 该区域呈现的强碳源的特性还有待进一步的验证。

东海陆架和南海海区整体上呈现弱汇和弱源的状态, 其中南海和东海外陆架在夏季为碳源, 主要受高温、低生物作用的影响; 冬季呈现为弱汇。尤其是南海

北部陆架冬季生物作用相对较为活跃，碳吸收作用较强。黄海中部及东海中陆架区域，在4月-6月生物作用为主导因素，也呈现为强碳汇。

图7为不同海区海水 CO_2 分压数据的年际变化曲线，图中的虚线为380 atm，大致为大气 CO_2 分压的水平，因此虚线以上可以说明为碳源，反之为碳汇。各海区均呈现显著的季节变化，其中渤海、黄海及长江口北部冲淡水区域 $p\text{CO}_2$ 呈现冬季高（源），夏季低（汇）的趋势，主要受陆源作用和生物作用影响较大。反之，东海陆架、台湾东部黑潮区域及南海海区呈现夏季高（源）和冬季低（汇）的趋势，这些区域陆源影响较小及生物量相对较低，主要受温度控制。黄海及东海陆架春季为整个海区碳汇最强的区域。

各海区年际变化并非十分显著，但仍可以看出一些异常的年份。如2003年及2006年东海陆架区域的碳汇最为显著，对应该年份春季的浮游植物藻华强度较大。详细的年际变化分析还需要结合温度、藻华发生强弱、长江冲淡水扩散范围等数据进行综合分析。



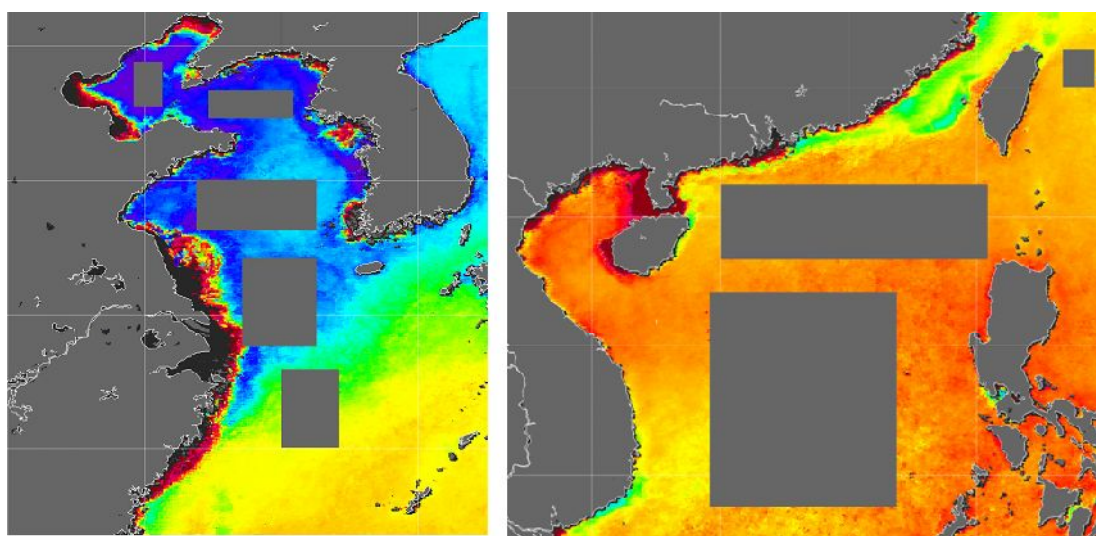
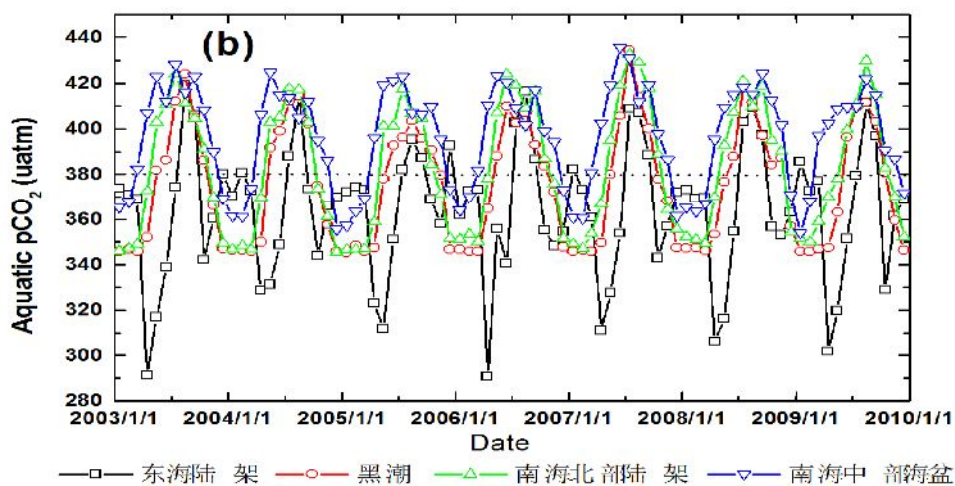


图 7 不同区域海水 CO_2 分压年际变化趋势

(各区域统计范围为遥感图像上对应的区域)

从以上初步的验证结果来看，本算法具有较好的适用性，但还需要利用更多的实测数据进行验证；并对特殊的海区或者事件进行细化的分析，叠加更完善的控制因子量化计算。

3.2 高 $p\text{CO}_2$ 降低了硅藻在浮游植物群落中所占的比例并导致其初级生产力下降

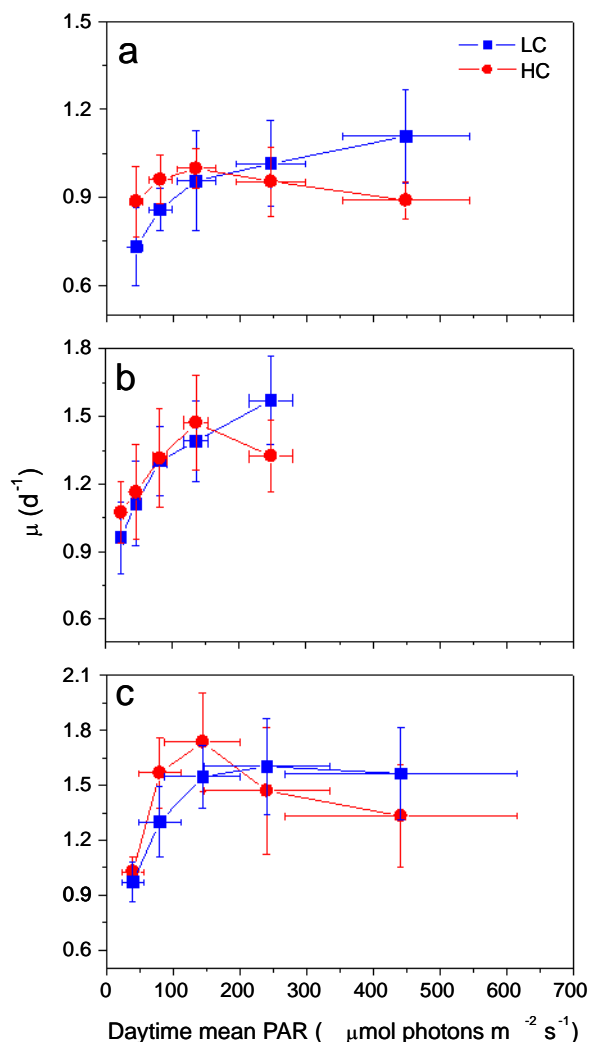


图8 硅藻在标准大气压(390 μatm)下和高 CO_2 (1000 μatm)环境下的生长率：(a) 三角褐指藻，(b) 海链藻，(c) 中肋骨条藻

在海洋中，硅藻占到大约40%的总初级产物的生产力，在我们南海调查的多数站位中，硅藻为主导种群。我们发现，在高 CO_2 的微生态环境中，硅藻在浮游植物群落中所占的比例和初级生产力均下降。为此，我们选择了三种常见的硅藻（三角褐指藻、海链藻和骨条藻），模拟由深到浅的不同深度，在10%、18%、30%、55%和100%的阳光PAR下，以及低 CO_2 和高 CO_2 不同浓度下，在室外进行半连续培养（每24h稀释一次），探讨了其潜在机制。结果发现，在这三个物种中，低光照下，高 CO_2 浓度下养的藻的生长速率高，但在高光照条件下却是相反的（图8）。高 CO_2 浓度下，细胞具有较高的光利用效率，但其生长达到饱和时光强下降了，反映出光强有一个阈值，在这一点PAR开始过量。三角褐指藻、海链藻和骨条藻的这一转折点光照量（及强度），分别是1.59(227)、1.74(224) and

2.34 (267) MJ m^{-2} ($\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$)。随着 PAR 水平的升高，高 CO_2 下生长的细胞，有效量子产率降低，NPQ 较快增长，暗示着在酸化条件下 PS 活性收到抑制、光保护机制受到促进。高 CO_2 条件下，这些硅藻的 NPQ 与航次浮游植物群落 NPQ 的变化类似，这证明，海洋酸化增加了浮游植物细胞的光胁迫。另外，海洋酸化可以刺激光呼吸和线粒体呼吸，这暗示着在海水酸度增加条件下，有一个额外的碳流失。

3.3 海洋酸化和层化的协同作用降低浮游植物的初级生产力

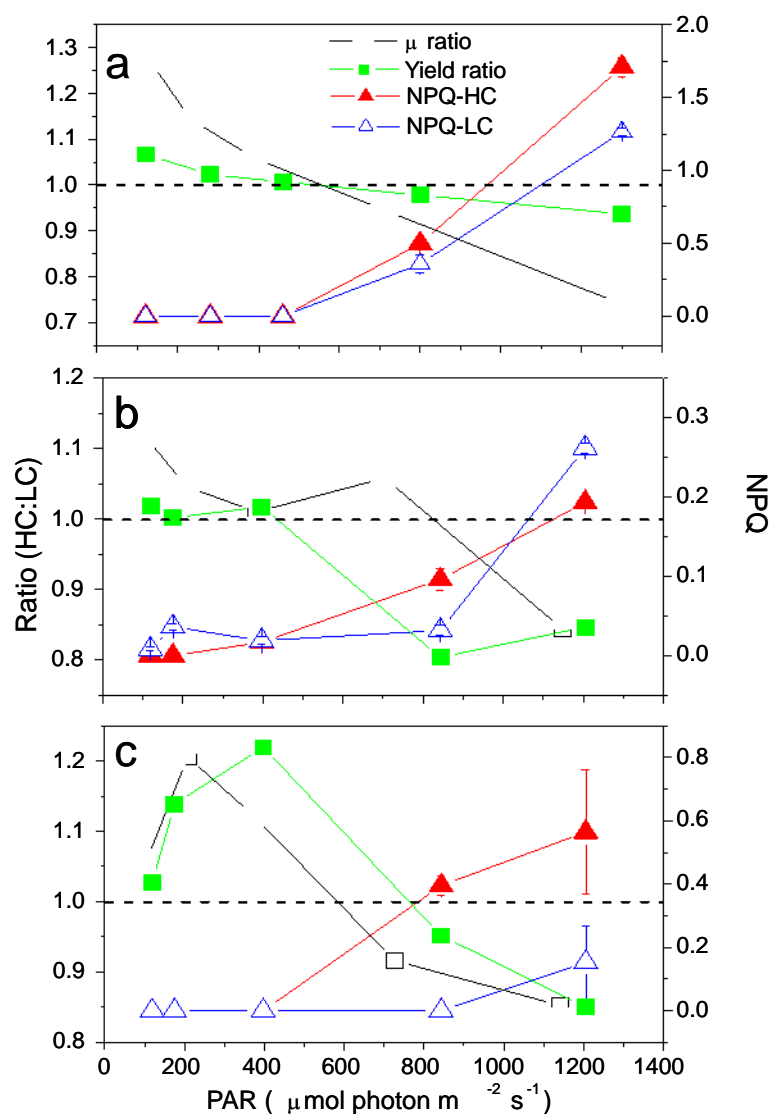


图9 硅藻在标准大气压(390 μatm)下和高 CO_2 (1000 μatm) 环境下的特定生长率和有效产量

海洋酸化和层化(营养物的可利用率减少)会协同作用减少浮游植物的初级生产力。从机制上看,CO₂引起的海洋酸化增加了光胁迫,如增加的NPO,降低的PAR阈值,光呼吸的增加。在低水平的阳光PAR强度下,高浓度CO₂可以刺激光合固碳作用和生长速率,这和之前的发现相一致。但是这些促进可能是由于增加了可用的能量,而不是增加了胞内的CO₂的水平,因为在高CO₂水平的条件下,大多数光合生物会下调它们的CO₂浓缩机制(CCMs),而且当CO₂浓度达到1000 atm时,也不会关闭CCMs。由于CCMs的下调以及高水平的CO₂而节省的能量,在光限制条件下,可以积极地给的光合作用提供能源,但是,在光饱和条件下,却产生负面的光胁迫,进而通过增加散热(NPO)和光呼吸等途径刺激细胞防御策略。

3.4 东海沿岸上升流过程对风和地形作用的响应

现场观测和三维环流数值模型结果表明,受东南季风控制,夏季浙江外海及长江口海区出现冷水涌升现象。三个涌升中心分别位于浙江外海的舟山群岛附近,长江口东南的水下河谷顶端,以及苏北浅滩(图10)。

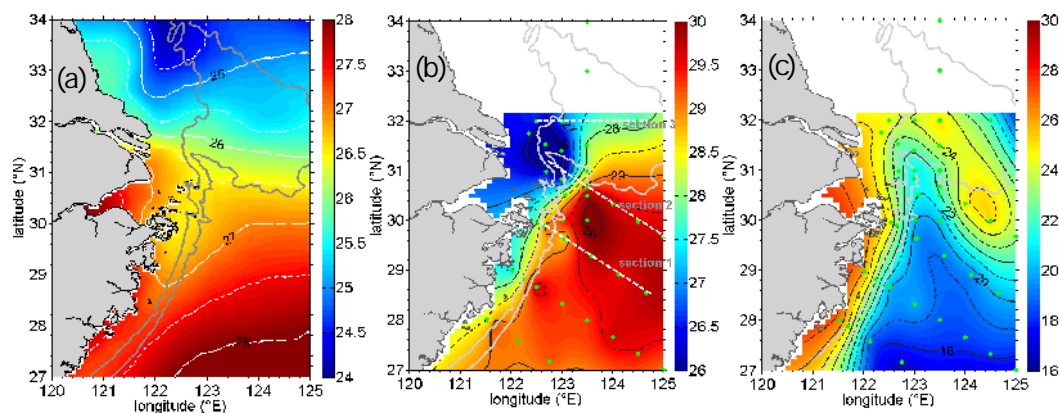


图10 遥感观测多年(2002-2010)气候态平均的夏季海表温度分布(a),以及2009年8月现场调查(b和c)的次表层(3m)和底层温度分布。表层浙江外海尤其是舟山群岛附近存在明显的冷水带(a)。在次表层,长江口东南水下河谷的顶端存在冷水中心(b),而在底层,等温线向岸、向上扩展,并向苏北浅滩延伸(c)

研究发现,风生沿岸流对海底地形的响应是重要的控制因子,岸线走向以及地形特征很大程度决定了东海沿岸上升流的强度及涌升位置。在北纬30.5°N以南的浙江外海,受东南季风驱动,沿岸水体顺30m等深线向东南方向流动且基

本与岸线走向平行。在舟山群岛下游向海侧的陆架上，沿岸流有穿过群岛海域向杭州湾内入侵的趋势，且该区域底层冷水的向上涌升加强。沿岸流流经水下河谷时，在河谷顶端有明显的加强趋势，底层冷水穿透50m等深线向苏北浅滩入侵。该部分冷水被局地上升流及垂向混合过程输运至表层，从而形成了苏北浅滩的涌升中心（图11）。我们从现场调查出发，运用三维数值模型再现了东海沿岸的上升流过程，并揭示了其形成、演变过程及相关的动力机制。

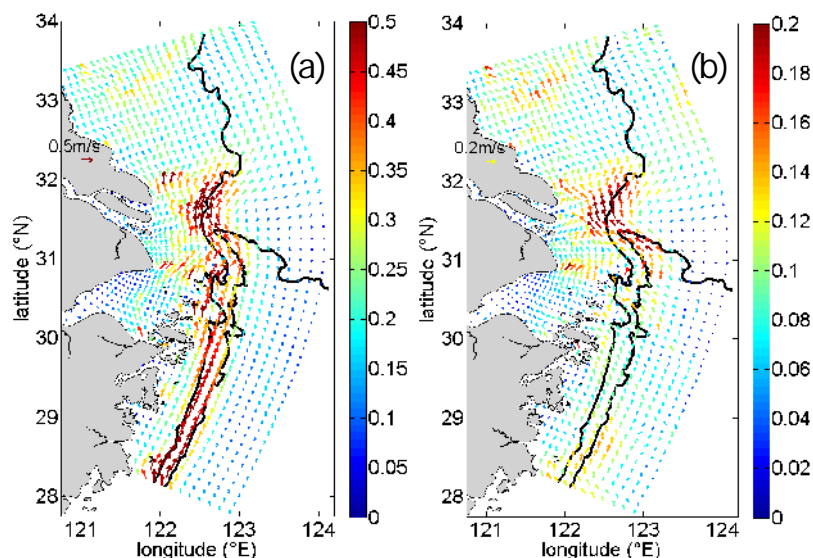


图 11 三维数值模拟获得的表层 (a) 底层 (b) 流场分布，受有利于上升流的风应力作用，浙江外海在 30 m 和 50 m 等深线之间形成东北向沿岸流。沿岸流在舟山群岛外侧海域向杭州湾入侵，而表层和底层的流速在水下河谷的顶部明显加强。河谷中冷水穿透 50 m 等深线进入苏北浅滩。该部分冷水经过苏北浅滩弱上升流和垂向混合的作用，形成了表层的涌升中心（图 10a）

4、后续主要工作概览

表 1 项目层面重大事项概览表

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2009			★ International workshop		Cruise planning meeting		Cruise1			Cruise reports planning annual meeting		Cruise 2
2010	Cruise 2		Cruise report & planning meeting					Mid-term summary workshop			Cruise3	
2011		Cruise reports planning meeting		★ International workshop	Cruise4						Cruise report & planning meeting	
2012								Process Cruise			Annual meeting	
2013						结题验收预备会议			课题结题		★ Final review	



后续主要工作如表 1 所示。