

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

2012 年第 4 期 总第 22 期

项目办公室主编

2012 年 12 月 15 日

提 要

- 1、2012 年度执行情况概览
- 2、2012 年会简介
- 3、研究亮点简介
- 4、后续主要工作概览

主题词：2012 年度 执行情况概览 研究亮点 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、2012 年度执行情况概览

2012 年度，围绕项目的研究目标，根据任务书设计的年度计划及预期目标，本项目已基本完成年度计划并达成年度预期目标。具体来说，本项目设计现场研究工作均已圆满完成。除此之外，跨陆架运输航次、河口连续观测航次、定点及平台观测等现场调查均依计划执行。目前各项分析检测均按照标准实验流程展开，数据汇交与共享有序进行，团队合作进一步加强。随着研究的深入，本年度在以下几方面取得了重要研究进展：(1) 基本完成了中国海碳通量时空格局的集成分析工作；(2) 建立基于神经网络的遥感 pCO_2 算法；(3) 基本理清了南海北部海盆向大气释放 CO_2 的过程；(4) 估算了中国近海初级生产固碳量；(5) 首次报道陆架边缘海硅稳定同位素组成及控制机制；(6) 首次报道南海上层海洋颗粒氮同位素组成及控制机制；(7) 首次报道了阳光紫外 (UV) 辐射与海洋酸化的协同效应；(8) 基于 ROMS 数值模拟发现夏季黑潮水对东海的入侵。截止 2012 年 11 月底，本年度项目已发表论文 53 篇 其中 44 篇论文被 SCI 收录 其中 7 篇论文被 Top Journal 收录，20 篇发表在 JCR I 区和 II 区的国际主流期刊上。7 人次在国际学术会议特邀报告，2 人次在国内会议上做大会或特邀报告。

2、2012 年度项目研究进展总结会议

2012 年 11 月 30 日-12 月 2 日，项目 2012 年度进展研讨会由课题六承办，在中科院广州地球化学研究所举行。此次会议的研讨主题为：? 初步分析 2012 年 7 月下旬至 2012 年 8 月下旬夏季南海航次所获科研资料；? 深入对比分析项目所组织的四个不同季节航次、侧重夏季过程研究南海航次取得数据、研讨分析结果和科学问题发现探索；? 项目任务完成情况初步讨论和小结，研究成果的集成分析和结题准备与研讨；? 数据汇交进展情况分析。同时，此次研讨会全程向中科院广州地化所及广州的科研院所的研究同行开放交流；为检验数据汇交情况和及时汇交数据，此次会议邀请科技部数据汇交管理人员专题讲座，为项目的顺利数据汇交查漏补缺，讲解注意事项，分享成功案例。

此次会议，参会人员包括科技部资源环境领域咨询专家、特邀专家、项目专家组成员、首席科学家、课题负责人、研究骨干和项目培养研究生等共计 112 人与会；3 天的会议日程共进行了 52 个口头报告，展示了 12 张研究成果墙报，分组讨论了碳通量与遥感响应、生物泵输出效率、跨陆架运输和模式研究、海洋

酸化与生态效应研究四个主题的研究进展和集成分析，集体讨论了研究亮点、项目目标完成情况、下一步工作规划及结题准备等事项。

3、研究亮点简介

3.1 海洋酸化与阳光辐射对海洋初级生产力协同效应

我项目课题七负责人高坤山教授领衔的“海洋酸化与阳光辐射对海洋初级生产力协同效应”研究最近取得突破性进展，通过过去3年在我国南海开展的航次实验和实验室研究发现，提高海水CO₂分压（800或1000μatm，适应8代以上）导致表层浮游植物群落固碳量下降，且硅藻比例明显下降。进一步研究发现，不同强度的阳光辐射（5%、10%、18%、30%、55%和100%）下，低光下（约小于30%表层光强，小于约270μmol photons m⁻²s⁻¹）高CO₂浓度明显促进了硅藻的生长，而高光强下（约大于40%表层光强），则明显地抑制了其生长。高CO₂浓度下，硅藻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，耐受光胁迫（NPQ）的能力明显下降。高CO₂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。他们还发现，CO₂浓度升高，促进了硅藻类的光呼吸和线粒体呼吸，暗示在海水酸度增加条件下，有一个额外的碳流失。迄今为止，有关海洋酸化如何影响海洋初级生产力的问题存在较大争议，促进、抑制或没有影响的报道均有，就硅藻而言，也存在同样的争议。高坤山教授领衔的团队的研究结果，明显的展示了海洋初级生产力对海洋酸化的响应，或正、或负或没有影响的现象，取决于细胞接受阳光辐射的高低。

海洋酸化与阳光变化耦合效应的生理学机制是，在二氧化碳浓度升高的条件下，大多数浮游植物将下调其二氧化碳浓缩机制，该二氧化碳浓缩机制的下调意味着节省其运转所需要的能量，为此，在低光下用于光合作用与生长的能量相对增多了，在高光下用于光胁迫的光能也相对增加了。为此，高CO₂浓度低光下而促进了其生长；然而，在光能充足或过剩情况下，反而增加了光能过剩，引起光抑制。因此，藻类细胞在光过剩、二氧化碳升高和pH下降条件下，其光合作用与生长容易受到光抑制。总之，二氧化碳升高对光合生物来说，是把双刃剑：一方面可能有利于光合作用，但也容易引起高光胁迫。在未来全球变暖的预期下，海洋上混合层将变浅，浮游植物同时遭遇高二氧化碳和高光条件的机会将大幅增

加，因而阳光辐射与海洋酸化协同作用的研究将日益凸显其重要性。该研究组还预测，在以硅藻为主要初级生产者的南海环境中，本世纪末的海洋酸化水平将使得同等光强条件下的近表层初级生产力下降，光合生物对高光胁迫敏感性可能会增强，但存在相当大的不确定性。因为气候变化如何影响风力及海水混合速率等均会影响浮游植物的受光性，且不同海域营养盐水平不同，浮游植物耐受光胁迫的能力也不同。相关论文发表在《自然-气候变化》(2012年第7期)。

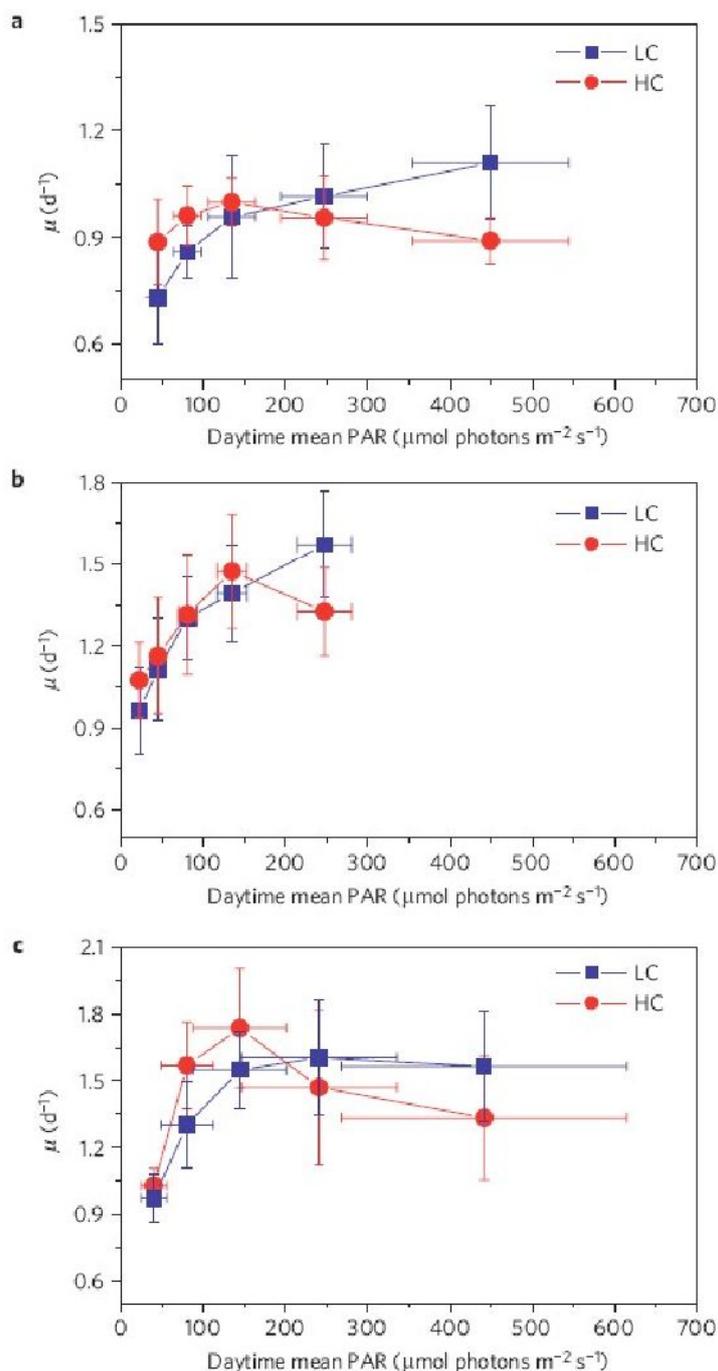


图1 随CO₂分压和光强变化的硅藻的生长速率

3.2 基于遥感神经网络算法对南海北部海表 $p\text{CO}_2$ 季节变化的估算

本项目基于历史资料的集成研究，开发出来一种遥感神经网络计算方法，相关结果发表在 *Journal of Geophysical Research* (Jo et al., 2012)。

基于海表温度和叶绿素浓度，采用神经网络的方法，开发出来一种计算算法来估算南海北部的海表 $p\text{CO}_2$ 。本研究随机选取历史资料中的三个现场航次数据（2001年5月，2月和2004年7月），用于测试该神经网络算法的准确性，比较显示相关系数为0.98，均方差RMSE为 $6.9\mu\text{atm}$ 。随后将其应用到卫星SST和叶绿素a，得到相应经纬度位置的海表 $p\text{CO}_2$ 。基于神经网络算法得出的海表 $p\text{CO}_2$ 和现场测量值在近岸海域呈现非常一致的分布特征（图2）。海表 $p\text{CO}_2$ 在近岸海域呈现非常剧烈的空间变化，尤其在上升流和受河流冲淡水影响的区域。本研究定义了三个低 $p\text{CO}_2$ 区域 ($<330\mu\text{atm}$)，分别是两个受沿岸上升流影响的区域（南海北部的海南岛外海域和广东东部海域）和珠江冲淡水影响的陆架区。基于MODIS的SST和叶绿素a浓度计算出月平均 $p\text{CO}_2$ ，均方差为 $6\mu\text{atm}$ ，可能是由于MODIS测量的误差导致的。作为一阶评估，采用同一时间的遥感和现场观测对比，估算的 $p\text{CO}_2$ 的精度分别为近岸 $12.05\mu\text{atm}$ ，远岸海域的为 $13.0\mu\text{atm}$ ；估算的不确定性来源于神经网络测试算法和MODIS算法的叠加。

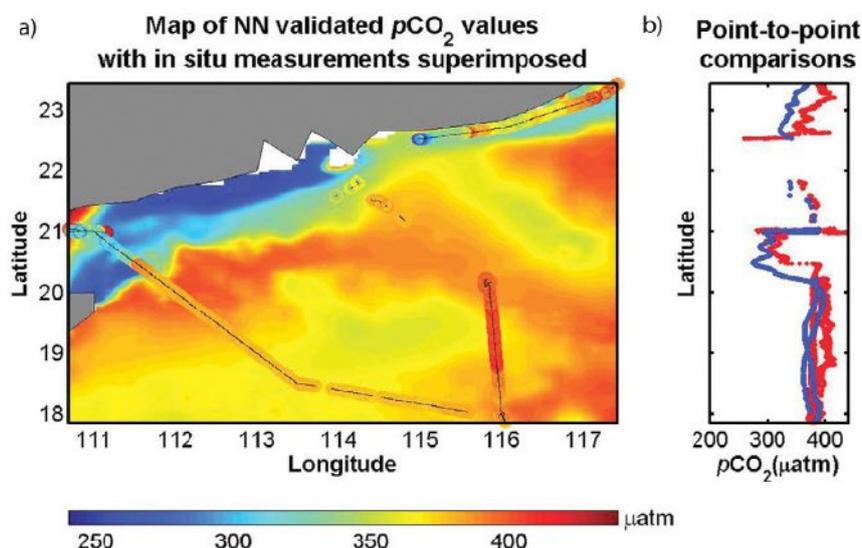


图2 (a)南海北部在2004年7月基于神经网络算法验证的 $p\text{CO}_2$ 和实测值的分布；(b) $p\text{CO}_2$

在相同纬度上的实测值（红点）与神经网络计算值（蓝点）的比较

3.3 南海北部硅稳定同位素组成及其控制机制

本课题于2009年夏季和2009-2010年冬季两个航次采集了稳定硅同位素样品。目前样品已测定完成,并研究了稳定硅同位素在南海北部上层海洋的生物地球化学行为,该研究发表在*Geochimica et Cosmochimica Acta* (Cao et al., 2012)。

南海北部的硅稳定同位素组成和分布大致由物理混合、生物利用和某种程度的生源硅(BSi)溶解联合控制,其空间变异性显著强于 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSi}}$ 和 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 的季节变化。

南海北部由内陆架(富营养)至深海海盆(寡营养)表层水中硅酸盐 Si(OH)_4 利用效率逐渐提高,从而 $^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 呈现微小却显著的递增趋势。陆架和陆坡区域真光层内的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSi}}$ 系统轻于相应 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$,结合整体较高的BSi生产,初始 Si(OH)_4 应源于富含营养盐的水团输入,导致硅藻生长产生明显的同位素分馏效应。这些富营养盐的来源水团包括输入南海北部内陆架的珠江冲淡水,以及通过上升流或垂直混合过程进入外陆架和陆坡区域真光层的深层水。

另一方面,南海北部海盆SEATS站由风驱动的混合过程难以将深层水中的营养盐输入混合层供生物利用; $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 垂直分布主要受控于高 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 的表层水与低 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 的深层水之间的跨密度面混合,硅藻的生物分馏效应相对不重要。SEATS站真光层内的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSi}}$ 等于甚至重于 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$,这一非典型特征不能用基于富含 Si(OH)_4 的深层水为初始条件的瑞利或稳态分馏模式来解释,而可能的控制机制是高度分馏水团水平输入重同位素组成的 Si(OH)_4 ,其后硅藻完全利用这部分 Si(OH)_4 并生成相对较重的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSi}}$ 。此外,SEATS站真光层之下采集的BSi主用源于表层颗粒物的沉降从而继承了重同位素组成的特征。

应用瑞利模式和稳态模式检验了硅藻生长的初始条件和理论分馏系数的适用性。 $^{30}\epsilon_{\text{upl}}=-1.1\pm 0.4\text{‰}$ 与南海北部各特征区域的实际硅稳定同位素分馏均一致,而不同区域的初始条件却不尽相同,受控于分馏程度各异的水团的混合。因此,在南海北部的复杂动态的陆架边缘海系统中,区分硅稳定同位素的物理混合和生物分馏效应尤为重要。

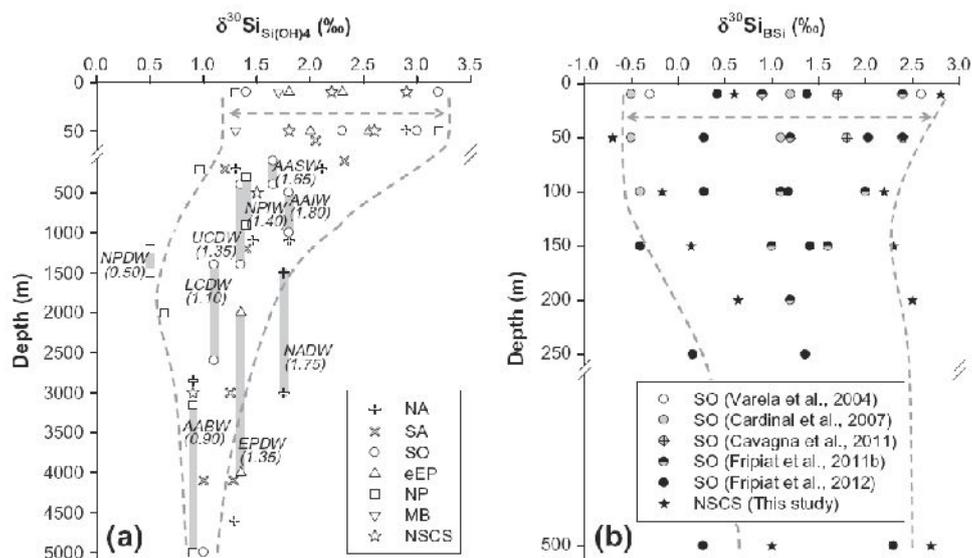


图 3 (a) 世界海洋和南海北部 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{Si(OH)}_4}$ 分布范围及特征水团值 ;(b)南大洋和南海北部 500 m

以浅水体中的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSi}}$ 分布范围

34 南海上层海洋颗粒氮同位素组成及控制机制

南海上层 200m 悬浮颗粒物平均稳定氮同位素组成 ($\delta^{15}\text{NPN}$) 表现出相同的季节变化, 并且与混合层深度的变化相关, 表明其受控于温跃层底部营养盐输入和固氮作用的相对贡献。结合分析沉降颗粒的稳定氮同位素组成, 我们估算南海固氮作用通量为 $20 \pm 26 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ year}^{-1}$, 其对南海新生产力的贡献并不显著 ($\sim 5\text{-}10\%$)。

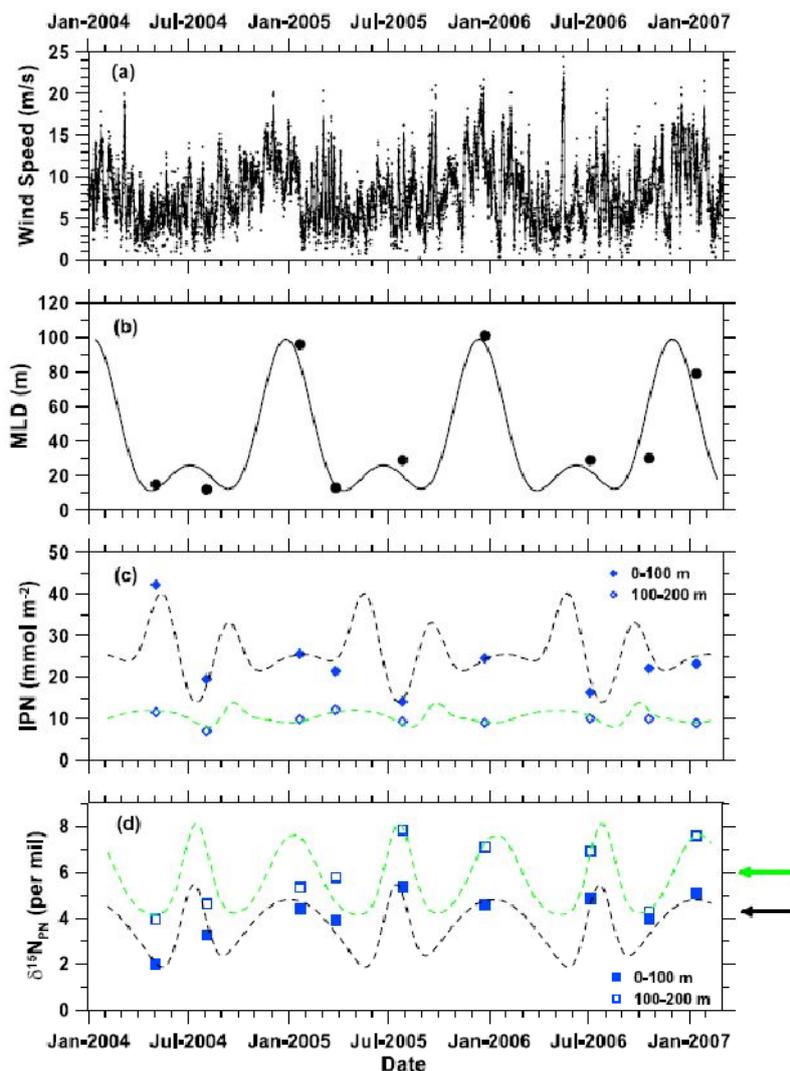


图 4 SEATs 站悬浮颗粒氮储量, $\delta^{15}\text{N}$ 时间序列变化; 虚线为模型拟合结果; 黑色箭头为上 100m 悬浮颗粒物 $\delta^{15}\text{N}$ 均值, 绿色箭头所指的是 100m 沉积物捕获器 3 年收集到的沉降颗粒物

$\delta^{15}\text{N}$ 均值

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 report & planning annual meeting		Cruise 2
2010	Cruise 2		Cruise report & planning meeting					Mid-term summary workshop			Cruise3	
2011		Cruise report & 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	We're here!	

后续主要工作如表 1 所示。