

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 2 期 总第 20 期

项目办公室主编

2012 年 6 月 15 日

---

## 提 要

- 1、主要研究进展
- 2、后续主要工作概览

主题词：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://973oceancarbon.xmu.edu.cn/>

邮编：361005

传真：0592-2184101

Email：cyli@xmu.edu.cn

## 1、主要研究进展

### 1.1 中国边缘海真光层<sup>234</sup>Th的分布模式及控制机理

我们分析、集成自2009年以来南中国海四个航次的研究成果。发现在南中国海的真光层中，<sup>234</sup>Th的分布与Chl-a及POC含量存在着显著的对应关系（如图1所示）。在春季及夏季，南中国海北部真光层高度层化，Chl-a存在于海洋的次表层（50或75m），此时<sup>234</sup>Th的最大亏损值亦出现于海洋的次表层中。而在秋季和冬季，由于风混合层深化，Chl-a存在于海洋的表层（0或25m），相对应地，<sup>234</sup>Th的最大亏损值出现于海洋的表层。在各个季节中，POC含量均呈现近岸高、随离岸距离的增加而降低的分布模式。对应地，<sup>234</sup>Th的最大亏损值也出现在近岸海域，而随离岸距离的增加，<sup>234</sup>Th的亏损值逐步降低。进一步的线性回归分析表明，<sup>234</sup>Th的亏损与Chl-a及POC含量均存在显著的相关关系（如图2所示）。这一结果表明<sup>234</sup>Th的亏损受控于海洋生物的活动。

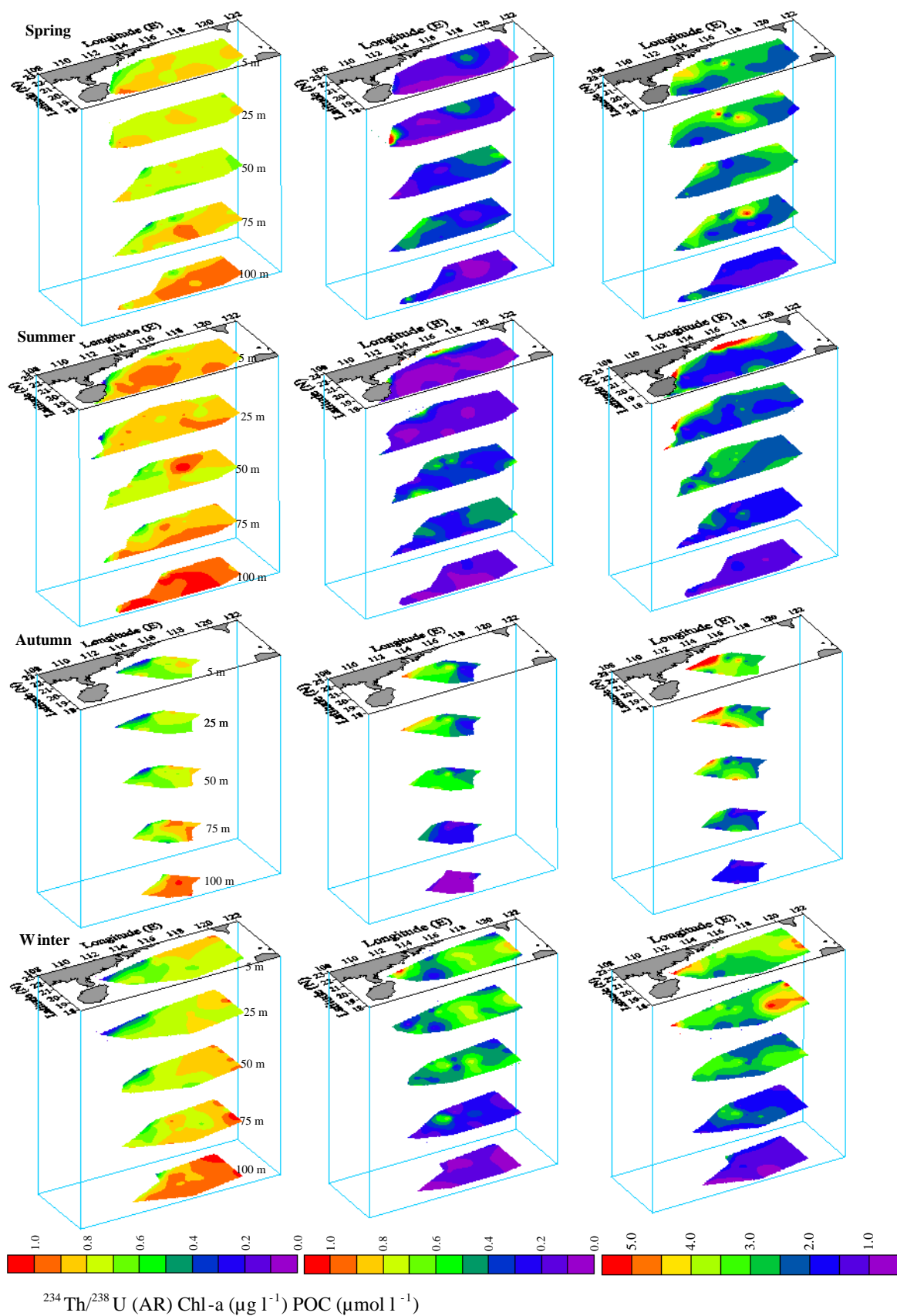


图1.南中国海北部真光层 $^{234}\text{Th}$ 、Chl-a、POC的季节变化

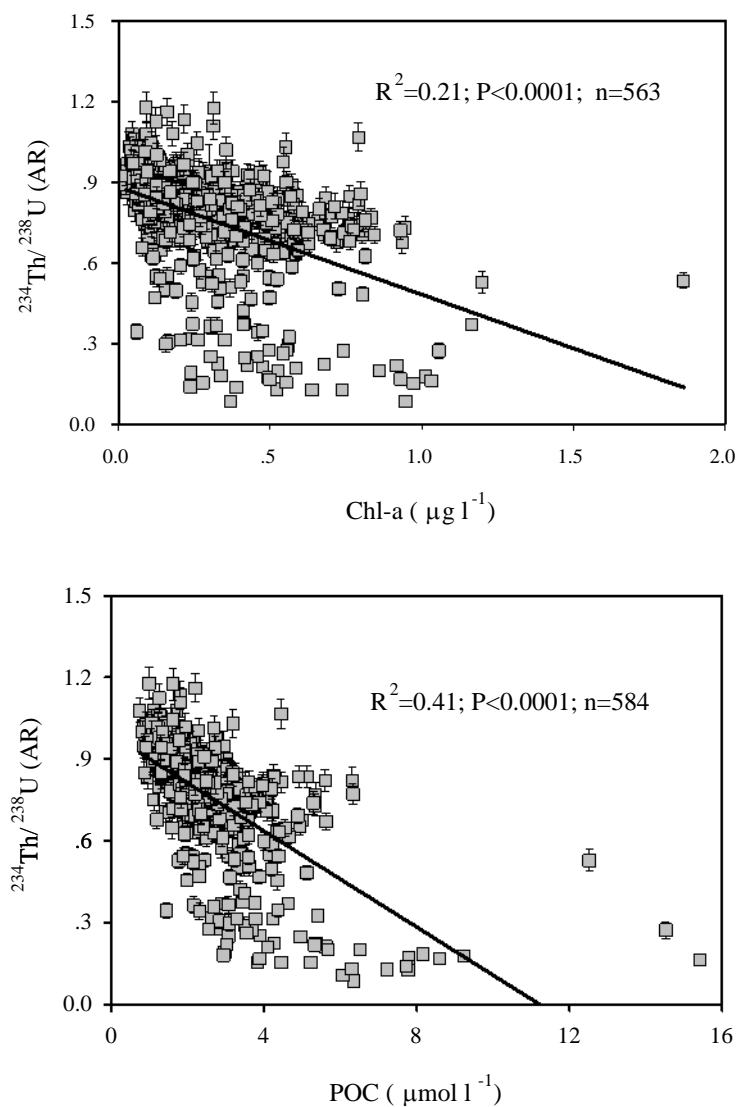
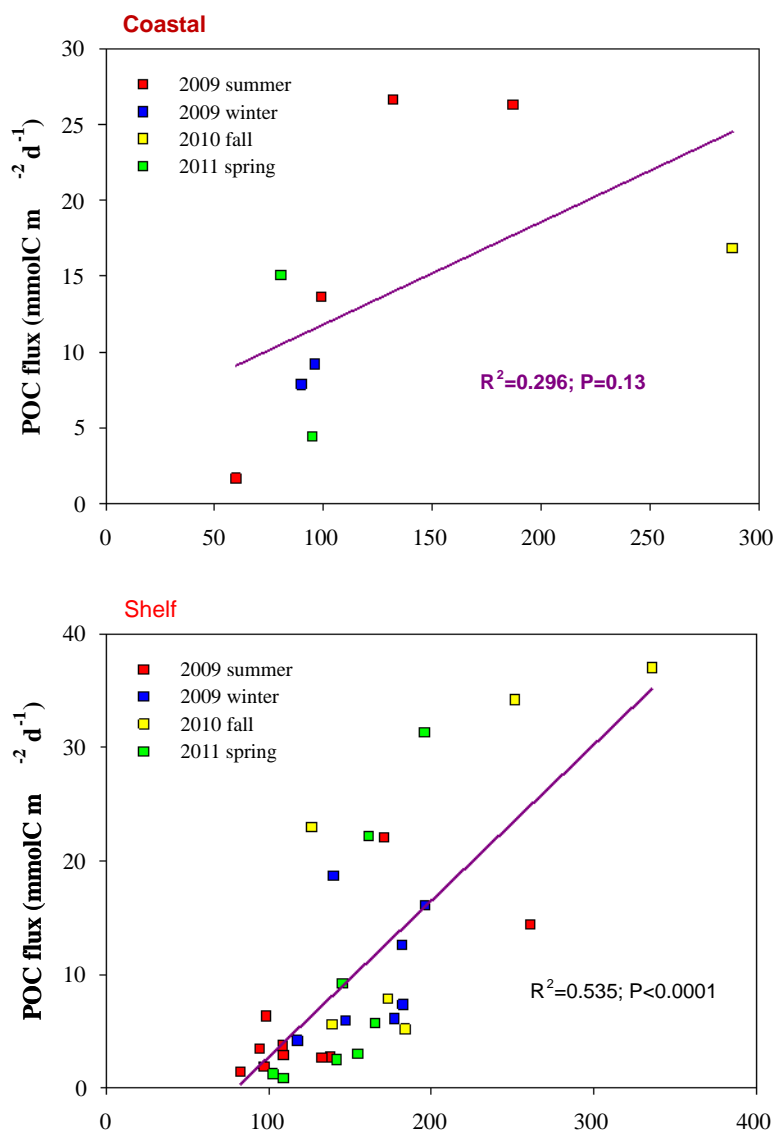


图2.南中国海北部真光层 $^{234}\text{Th}$ 亏损与Chl-a、POC的相关关系

## 1.2 中国边缘海真光层POC输出通量及其的控制机理



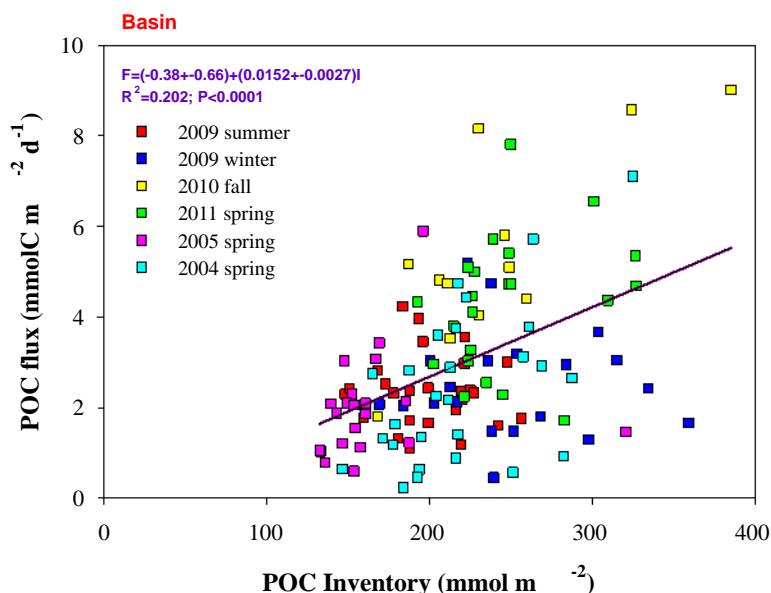


图3.南中国海北部真光层POC输出通量与POC储量的关系

依据实测的 $^{234}\text{Th}$ 输出通量，利用关系式 $\text{POC输出通量} = ^{234}\text{Th输出通量} \times \text{POC}/^{234}\text{Th}$ 计算出南中国海的POC输出通量。分析的结果表明，在近岸、陆架及海盆区，POC输出通量均随POC储量的增加而升高，二者存在显著的正相关关系（如图3所示）。这种广泛存在的正相关关系表明POC储量是海洋真光层POC输出通量的重要控制因子之一。

对POC输出通量与浮游植物的种群结构之关系的深入分析表明，二者的关系较为复杂。在近岸及陆架区，POC输出通量与浮游植物中的硅藻组分存在显著的正相关关系（如图4所示），表明在这些区域里，硅藻是控制POC输出通量的关键藻种。而在海盆，POC输出通量随硅藻组分的增加而降低，表明在此区域，硅藻不再是控制POC输出通量的关键藻种。我们对POC输出通量与浮游植物的定鞭金藻及绿藻组分进行分析，发现二者存在显著的正相关关系，表明在南中国海海盆区，定鞭金藻及绿藻是控制POC输出通量的关键藻种。

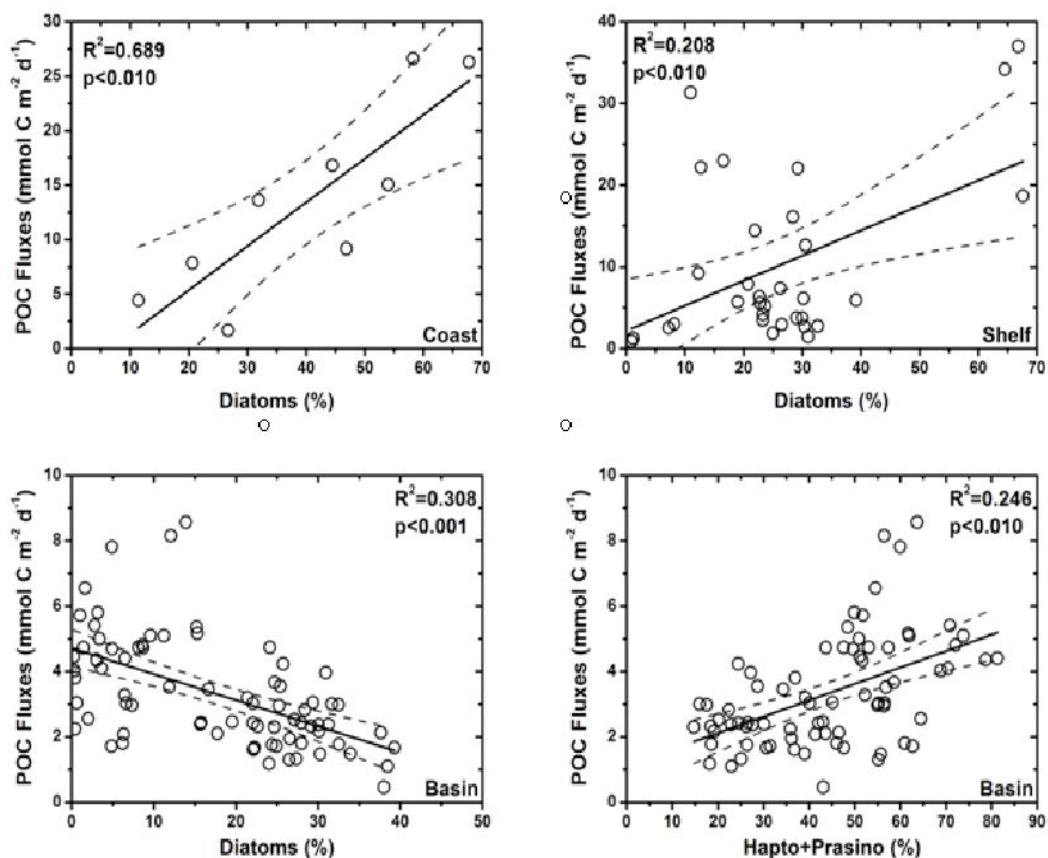


图4.南中国海北部真光层POC输出通量与浮游植物种群结构的关系

### 1.3 中国边缘海真光层POC沉降效率及其的控制机理

为了研究南中国海生物泵的效率及其调控机制，我们定义真光层 POC 沉降效率(SE)=POC输出通量/POC储量（如图5所示）。运用通用可叠加模型(Generalized Additive Model)对真光层 POC 的沉降效率控制机理进行分析，发现 POC 的沉降效率与 POC 储量显著相关(如图 6 所示)，在 POC 储量较低时，POC 的沉降效率随 POC 储量的增加而升高。但当 POC 储量增加至一定的值时，POC 的沉降效率基本保持不变。这种关系表明，POC 储量不仅影响 POC 输出通量的量值，而且也调控了 POC 输出的效率。POC 的沉降效率与浮游植物的硅藻组成也具有显著的关联，但二者的关系较为复杂，不存在简单的单调递增或单调递减的关系，其作用机制需进一步的研究。

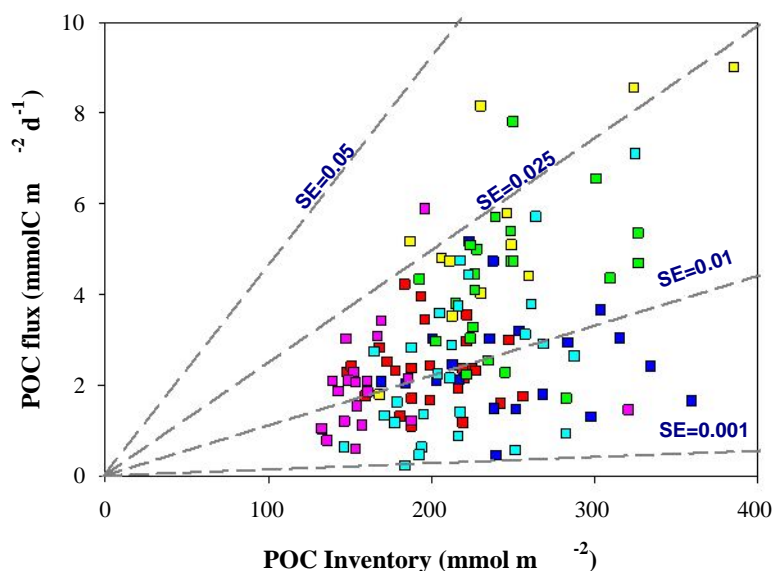


图 5. 南中国海海盆区真光层 POC 的沉降效率

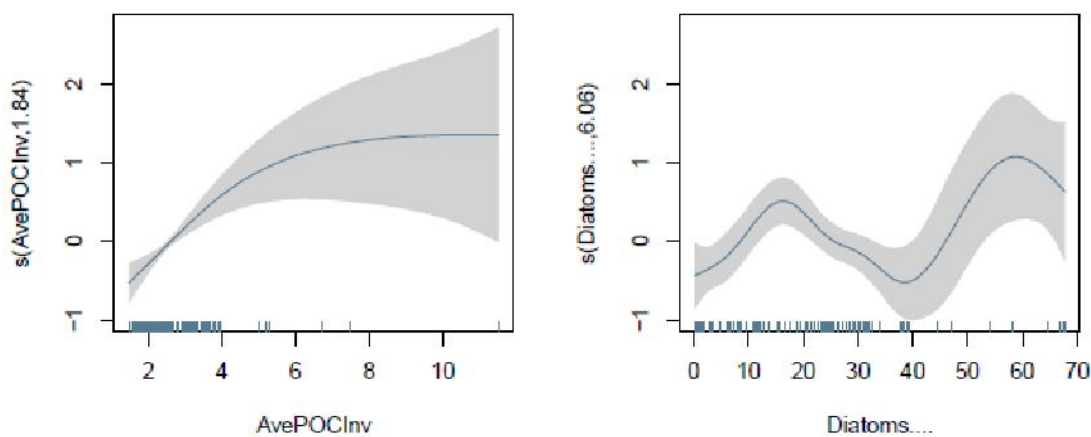


图 6. 南中国海真光层 POC 的沉降效率与 POC 储量及硅藻组分的关系

### 1.4 珠江上游碳(无机碳与有机碳)输出

珠江上游碳输出存在季节性变化，如珠江上游三个水文站的有机碳与无机碳表现出季节差异。有机碳冬季最低，春季随水流量增多而上升，在夏季水流量最大时出现最高值，秋季随径量减少而降低（图 7）。东江夏季最高可能与当地人为活动有关。西江流域以碳酸盐矿石为主，无机碳含量表现为偏高。其次北江，



而东江流域则以风化程度较高的硅酸盐矿石为主，水体中无机碳含量偏低（图 8）。由西江是珠江主干系，其向南海的无机碳输出能量可能影响到南海北部陆架区的生态系统。

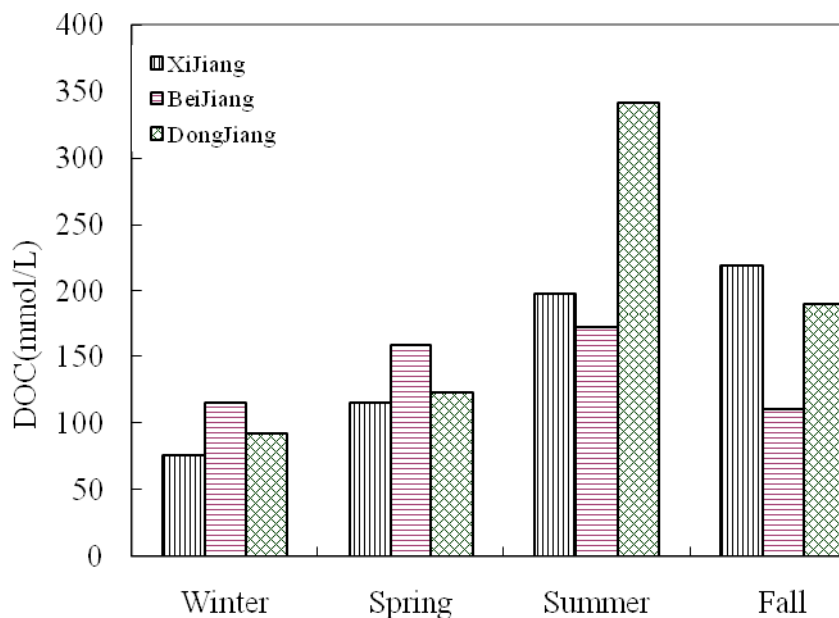


图 7. 珠江三大支流溶解态有机碳(DOC)浓度季节变化。

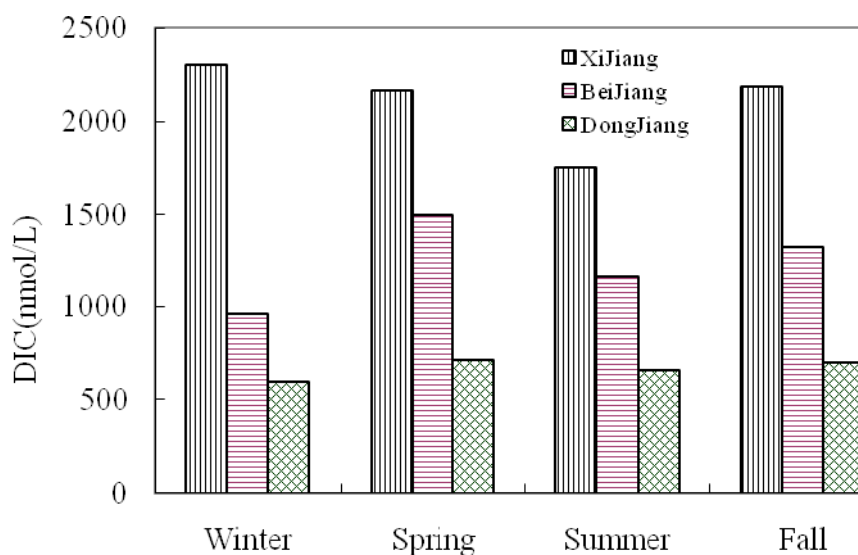


图 8. 珠江三大支流溶解态无机碳(DIC)浓度季节变化。

## 1.5 渤、黄海的碳酸钙饱和度及其对海洋酸化的响应

在高生产力的近岸海区，暖季跃层以下生源颗粒衰败将大量耗氧，同时释放  $\text{CO}_2$ ，造成局部酸化。由于海水碳酸盐体系的缓冲作用，这种酸化的效应并不会因冬季全水柱混合而及时消除，从而使近岸海区成为响应全球大气  $\text{CO}_2$  升高及其次生趋势性海洋酸化现象的高度敏感区域。由于海洋生物的钙质骨骼和钙质外壳大多是文石形态，所以，当海水的文石饱和度 ( $\Omega_{\text{arag}}$ ) 接近或低于 1 时，相关海区的钙化作用将受到抑制，海洋生物的钙质骨骼和钙质外壳不能形成，已经形成的也将趋于溶解，从而对水产养殖和海洋经济构成现实的威胁。

2011 年 8 月，我们在渤海近岸海域观测到底层快速耗氧与酸化的现象，研究结果已于今年 3 月份发表在《科学通报》中、英文版的第 9 期。为探讨这种现象的影响及调控，我们又于 2011 年 11 月和 2012 年 5 月参加国家自然科学基金委的共享航次，对渤海中央海区和黄海西部海域实施了大范围的全水柱碳酸盐体系采样与分析，并通过碳酸盐体系互算软件计算了碳酸钙饱和度。

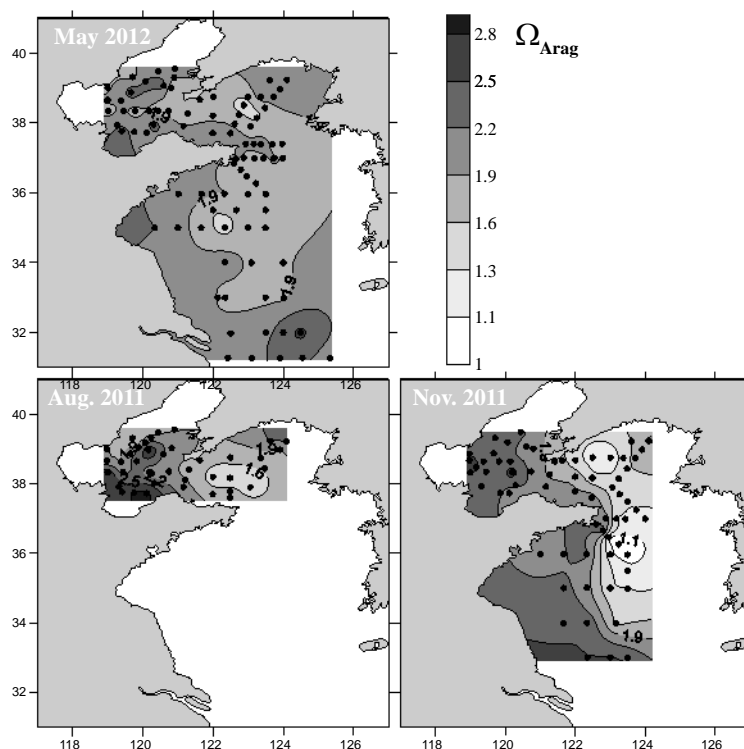


图 9. 历次调查的底层文石饱和度 ( $\Omega_{\text{arag}}$ ) 分布

图 9 显示，渤、黄海主要海域大都受到与富营养化相关的近海酸化作用的影响，经常出现底层文石饱和度低于 2 的连片海区，最低的文石饱和度出现在黄海

中部 11 月份，只有 1.09-1.10，基本达到文石溶解的临界水平。格外重要的是，这种底层文石饱和度低于 2 的海区在黄海北部西侧常年维持（图 9），显示出北黄海的酸化问题已经相当突出。

尽管各个海区碱度水平不同对海水文石饱和度有一定影响，然而渤、黄海的低文石饱和度主要受深层水中高的海水  $\text{CO}_2$  分压（以逸度  $f\text{CO}_2$  表示）驱动（图 10）。图 9 显示，在相当于本世纪末大气  $\text{CO}_2$  水平（ $\mu 750\text{-}800\text{atm}$ ）的条件下，渤、黄海绝大多数海域全水柱的文石饱和度都将接近或低于 1。如果考虑渤、黄海富营养化现象驱动的近海酸化与全球大气  $\text{CO}_2$  升高导致的趋势性海洋酸化现象二者之间的耦合效应，则可预测，北黄海深层文石饱和度低于 1 的临界点将发生于本世纪中叶或更快，届时北黄海的生态环境将发生重大改变，不再适合贝类等钙化生物的生存。

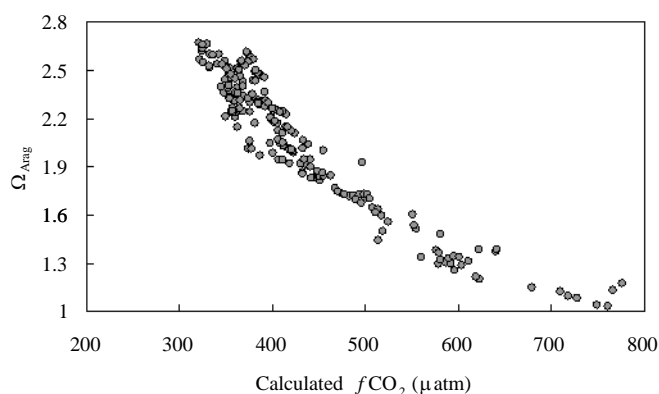


图 10.2011 年 11 月调查期间全部站位全水柱文石饱和度 ( $\Omega_{\text{arag}}$ ) 与  $\text{CO}_2$  逸度 ( $f\text{CO}_2$ ) 之间的关系

根据目前的结果，渤、黄海特别是北黄海的快速酸化问题已经相当紧迫，需要科学界和产业界共同关注这一现实的海洋环境问题，以尽快制订科学的对策。

## 1.6 长江冲淡水在陆架上的移动速率

河口淡水与海水的混合过程中颗粒物上镭解吸到水体中，同时地下水和海水的混合也释放镭到河口水体中，此两个过程造成河口冲淡水相对外海水富含镭。利用  $^{223}\text{Ra}$  和  $^{224}\text{Ra}$  在长江口外陆架上的分布，估计水团的近似年龄随着距离河口距离的增加而增大，年龄分布从东经  $122.5^\circ$  的 10 天到  $124.5^\circ$  的 25 天（图 11）。盐度 20-27 的冲淡水的近似年龄相对恒定，而更高盐度的冲淡水其年龄随盐度的梯度陡增（图 12）这是因为冲淡水随着盐度的增高，其盐度的增加率减小。利

用冲淡水的近似年龄和距离河口的距离计算得到长江冲淡水在 2011 年 8 月在东海陆架上的移动速率为 6.6-12cm/s，平均速率为 8.8cm/s (图 13)。

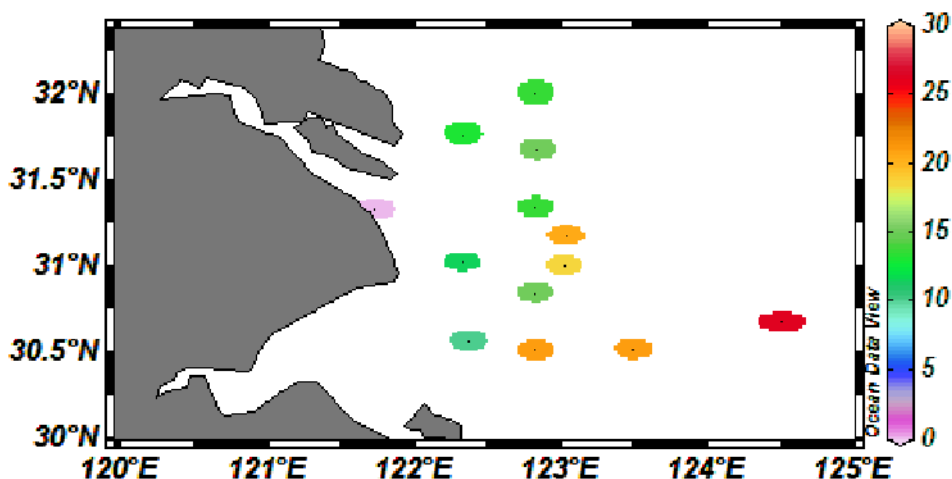


图 11. 长江口外陆架区水团的近似年龄 (单位：天)。

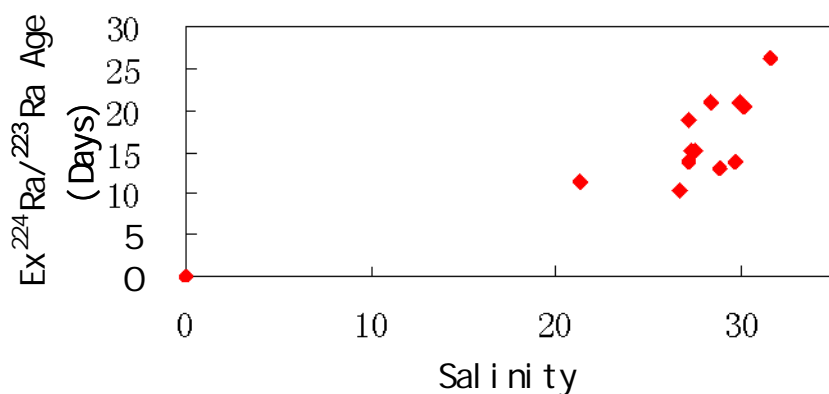


图 12. 东海陆架上长江冲淡水的近似年龄随盐度的分布。

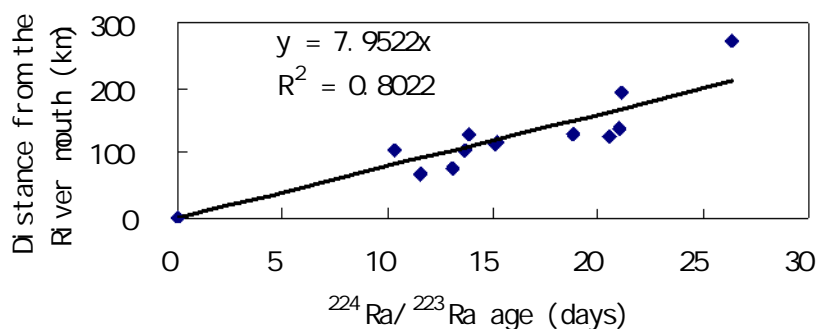


图 13. 东海陆架上水团近似年龄与距离长江口的距离的关系。

## 2、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 筹备会议			课题 结题	★ Final review		



后续主要工作如表 1 所示。