



清华大学  
Tsinghua University



第四届全国稳定同位素生态学学术研讨会 (南京, 2017-10-15)

# 红树林湿地碳交换的稳定同位素研究

林光辉

清华大学地球系统科学系

lingh@tsinghua.edu.cn



清华大学  
Tsinghua University



**热烈祝贺**

**第四届全国稳定同位素学术研讨会暨  
中国生态学学会稳定同位素生态专业委员会2017年会**

**顺利召开！**

中国生态学学会稳定同位素专业委员会主办

南京信息工程大学承办

# 汇报提纲

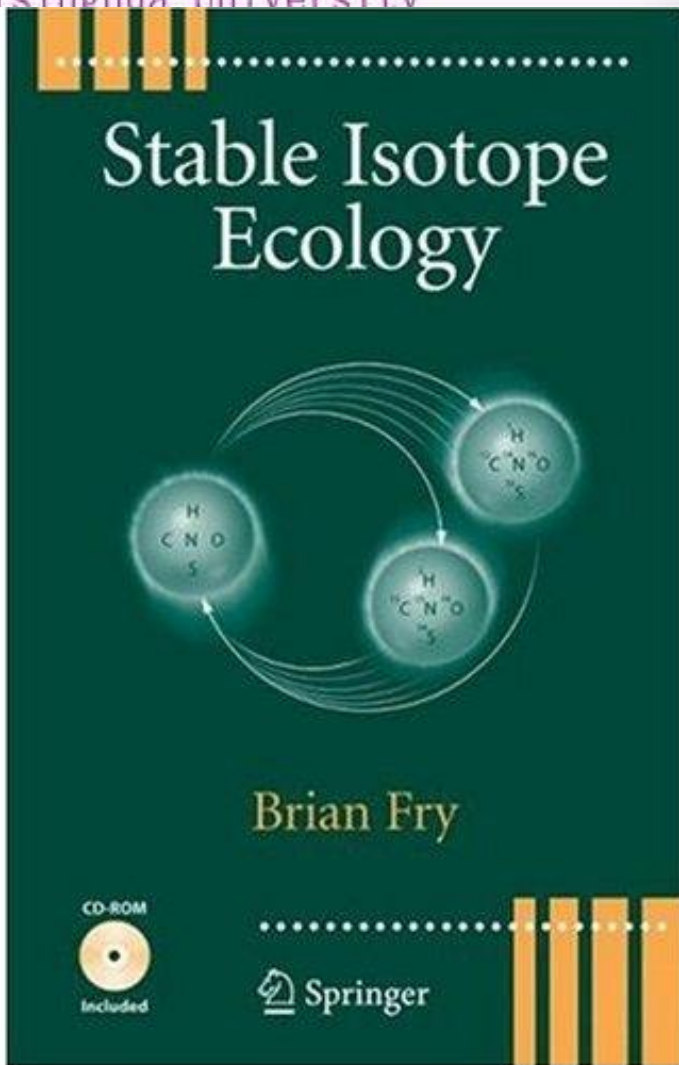
□ 稳定同位素生态专业委员会简介

□ 红树林等湿地的固碳潜力

□ 红树林湿地碳交换的稳定同位素研究

# 稳定同位素生态学：新学科

Tsinghua University



2006

植物生态学报 2010, 34 (2): 119-122  
*Chinese Journal of Plant Ecology*

doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2010.02.001  
<http://www.plant-ecology.com>

## 稳定同位素生态学：先进技术推动的生态学新分支

林光辉<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>滨海湿地生态系统教育部重点实验室(厦门大学), 福建厦门 361005; <sup>2</sup>中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093

Stable isotope ecology: a new branch of ecology resulted from technology advances

Lin Guang-Hui<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems (Xiamen University), Xiamen, Fujian 361005, China; and <sup>2</sup>State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

稳定同位素技术因其具有示踪(tracers)、整合(integration)和指示(indicators)等多项功能, 以及检测快速、结果准确等特点, 在生态学研究中日益显示出广阔的应用前景。近年来, 由于生态学研究问题更趋复杂化和全球化, 多学科的交叉综合研究已成为本学科发展的新的生长点。以稳定同位素作为示踪剂研究生态系统中生物要素的循环及其与环境的关系、利用稳定同位素技术的时空整合能力研究不同时间和空间尺度生态过程与机制, 以及利用稳定同位素技术的指示功能揭示生态系统功能的变化规律, 已成为了解生态系统功能动态变化的重要研究手段之一。稳定同位素技术逐渐成为进一步了解生物与其生存环境相互关系的强有力的工具, 使现代生态学家能够解决用其他方法难以解决的生态学问题(Rundel *et al.*, 1989; Ehleringer *et al.*, 1993; Yakir & Sternberg, 2000; Dawson *et al.*, 2002; Maguas & Griffiths, 2003; Fry, 2007)。例如, 在植物生理生态学方面, 稳定同位素技术使我们能从新的角度探讨植物光合途径、植物对生源元素吸收、水分来源、水分平衡和利用效率等问题。生态系统生态学家则利用稳定同位素技术研究生态系统的气体交换机制、生态系统功能动态变化及其对全球变化的响应模式等。在动物生态学方面, 稳定同位素也已广泛地应用于区分动物的食物来源、食物链、食物网和群落结构, 以及动物的迁移活动等方面的研究。总之, 稳定同位素技术在生态学中的应用已引起了生态学家广泛的注意, 逐渐成为现代生态和环境科学研究中最有效的研究方法之一。

物学领域的发展所产生的重大影响一样, 稳定性同位素技术已对现代生态学的发展产生积极的影响, 稳定同位素信息使我们能够洞悉不同空间尺度上(从细胞到植物群落、生态系统或某一区域)和时间尺度上(从数秒到几个世纪)的生态学过程及其对全球变化的响应(Ciais *et al.*, 1995; Zanden *et al.*, 1999; Lin *et al.*, 1999; Battie *et al.*, 2000; Bowling *et al.*, 2001; Yezzer *et al.*, 2003; Bukata & Kyser, 2007; Kosiba *et al.*, 2007)。由于众多同位素化学家和地球化学家前期的开拓性研究工作, 我们已经对稳定性同位素在生态系统和生物地球化学循环中的特性有了深入的了解(Farquhar *et al.*, 1989)。随着同位素研究技术与方法的日趋完善, 稳定同位素技术在那些需要深入研究的现代生态学领域中的应用前景将更加广阔。例如, 通过稳定同位素的分析, 不仅可以追踪重要元素如碳、氮和水等的地球化学循环过程, 还可诊断病人的代谢变化及其原因, 估测农作物施肥的最佳配方和时间, 研究动植物对环境胁迫的反应及相互关系, 追踪污染物的来源与去向, 推断古气候和古生态过程, 甚至还可用来了解农林产品的组成成分、原产地及掺假可能性等等(Yakir & Sternberg, 2000; Dawson *et al.*, 2002; Maguas & Griffiths, 2003)。总之, 稳定同位素技术的应用所提供的信息, 大大加深了我们对自然环境下生物及其生态系统对全球变化的响应与反馈作用等方面的认识, 拓展了生态学研究和应用的发展空间。美国Brian Fry专著《Stable Isotope Ecology》在2007年的正式出版, 标志着稳定同位素生态学作为

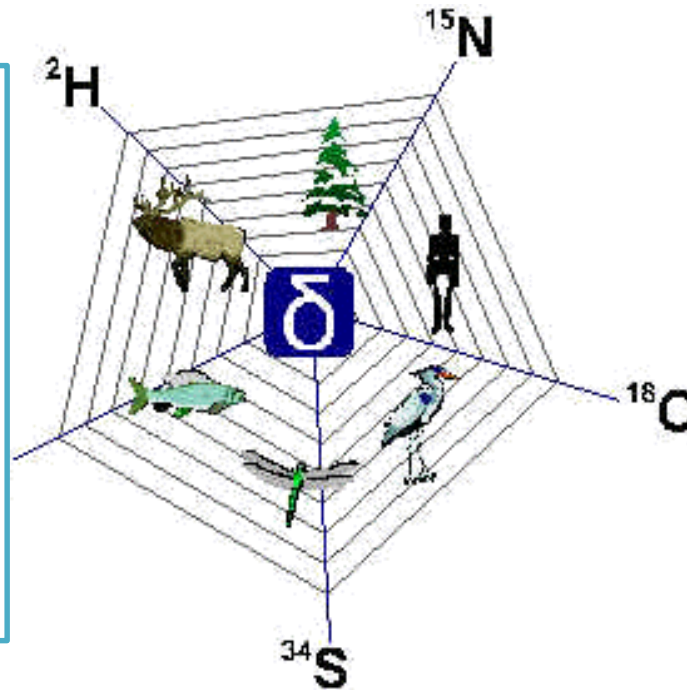
2010

# 稳定同位素的应用

## Applications of stable isotopes

### 三大功能：

- ✓ 示踪 Tracers
- ✓ 指示 Indicators
- ✓ 整合 Integrators

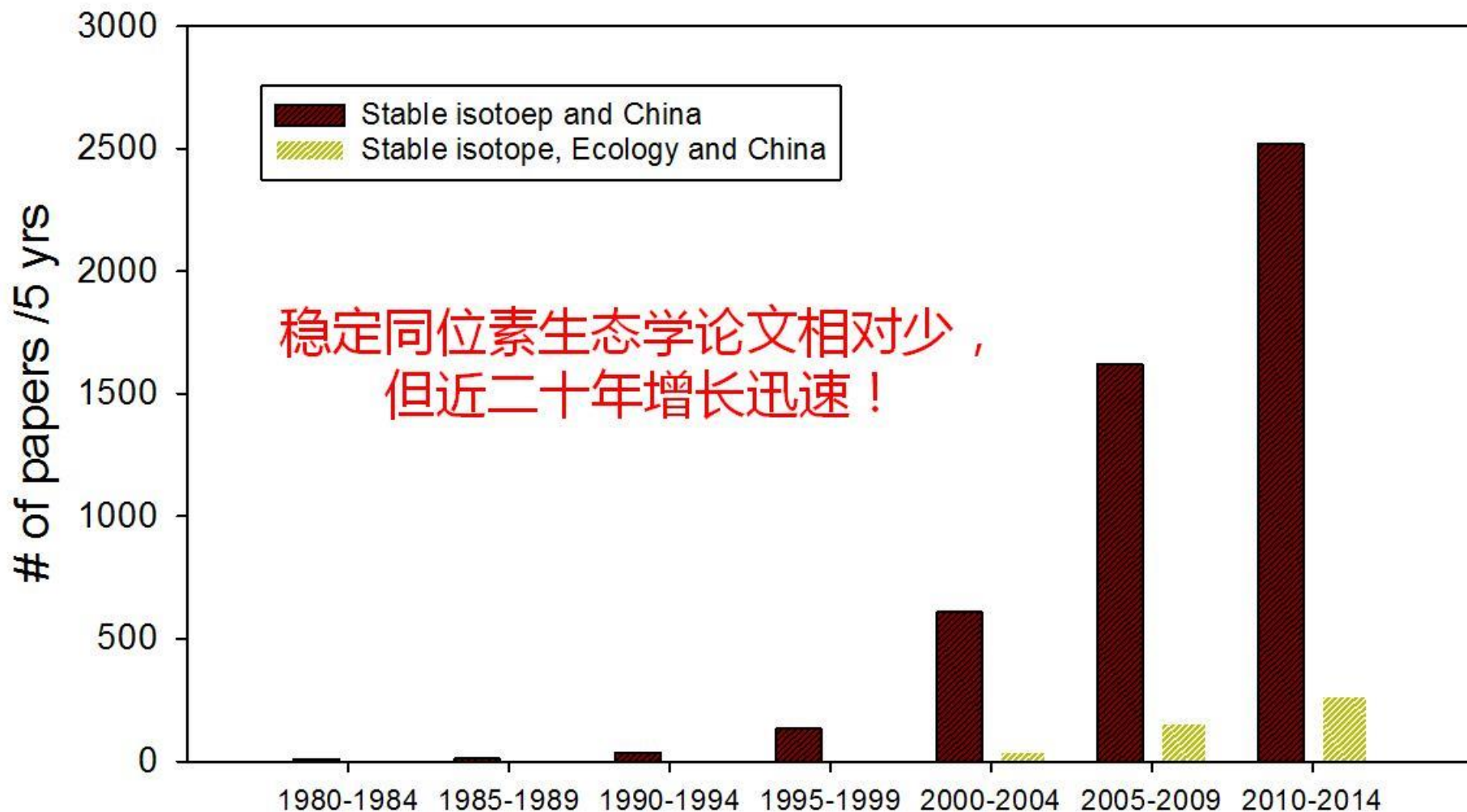


### 应用领域：

- ✓ 植物碳-水关系
- ✓ 碳、氮、水循环
- ✓ 种间相互作用、食物网
- ✓ 动物迁徙路径
- ✓ 温室气体源汇关系
- ✓ 全球变化及其效应
- ✓ 污染物追踪
- ✓ 食品溯源与刑侦
- ✓ 古气候、古生态重建

# 中国作者论文发表数量的变化

Changes in papers by Chinese authors (Web of Science)



# 200多人参加了研讨会+技术研修班!

## 贵宾楼



# 筹建了“中国生态学学会稳定同位素生态专业委员会”



# 中国生态学学会（ESC） 稳定同位素生态学专业委员会

- ★ 2014年：第二届全国学术研讨会和技术培训班上倡议创（北京）；
- ★ 2014年：正式获得ESC理事会批准开始筹建（成都）；
- ★ 2015年：正式获得ESC理事会批准成立（沈阳），组织第一次ESC年会“稳定同位素生态学”分会场报告；
- ★ 2016年：组织第2次ESC年会“稳定同位素生态学”分会场报告（兰州），举办第三届全国学术研讨会和技术培训班（深圳）
- ★ 2017年：组织第3次ESC年会“稳定同位素生态学”分会场报告（北京），举办第四届全国学术研讨会（南京）。



# 第三届全国稳定同位素生态学术研讨会 暨专业委员会2016年年会（深圳）



# 中国生态学学会稳定同位素生态专业委员会（第2届）

主任委员：林光辉

副主任委员：高树基、李胜功、李旭辉、卢琦、吴纪华

秘书长：喻朝庆；副秘书长：温学发、徐庆、肖薇

委员：方运霆、刘忠方、章炎麟、程晓莉、朱林等20人

顾问：蒋有绪、刘丛强、吴孔明、刘世荣、韩兴国等

第二届（2017-2020）

*Isotopists* 也很疯狂!



# 汇报提纲

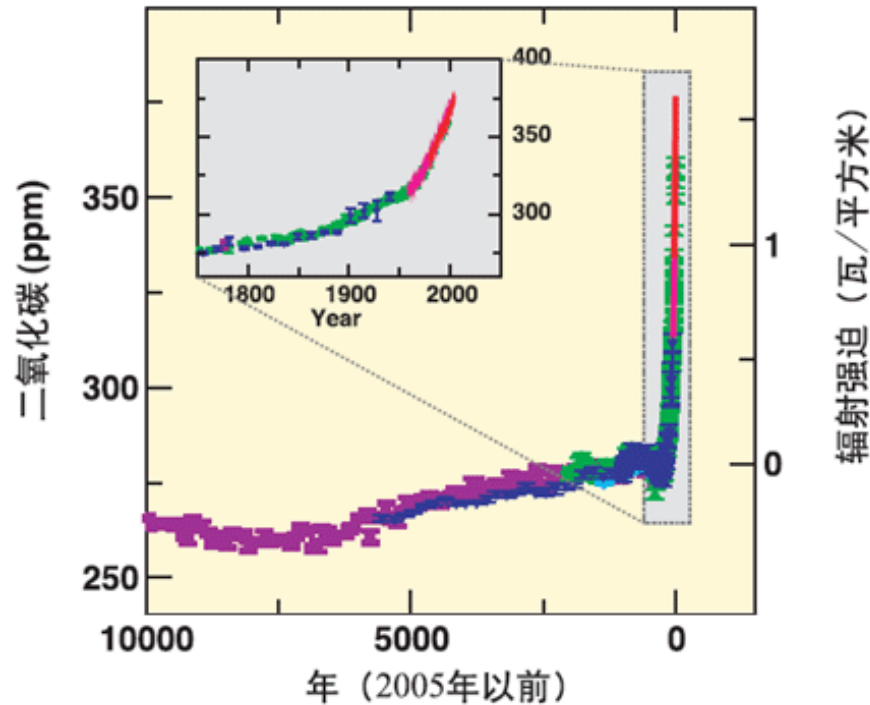
□ 稳定同位素生态专业委员会简介

□ 红树林等湿地的固碳潜力

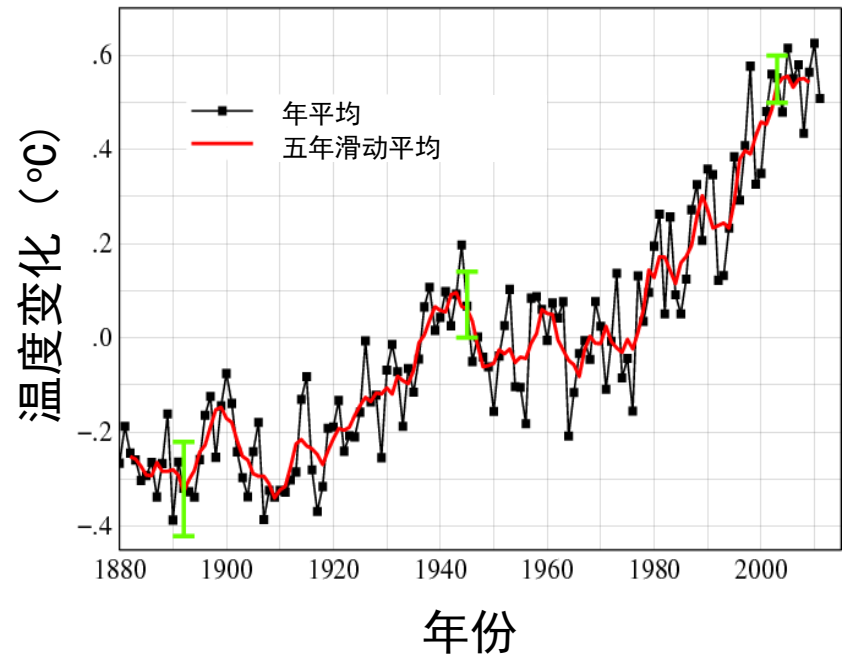
□ 红树林湿地碳交换的稳定同位素研究

# 气候变化是21世纪最大的挑战之一

从冰芯和现代资料反演的温室气体变化

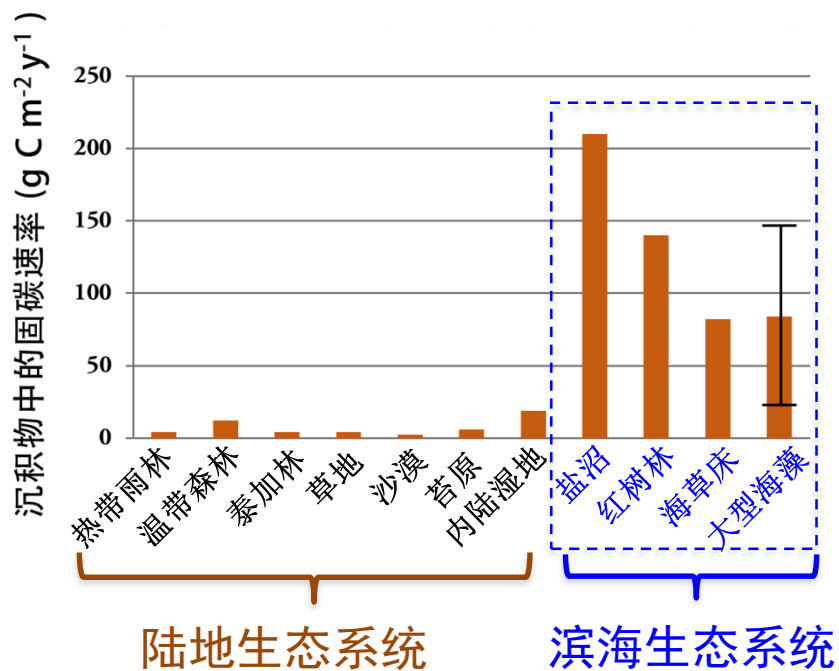


全球地表/海表平均气温变化



**以CO<sub>2</sub>为主的温室气体在大气中迅速增加，是导致全球气候变化的最可能因素**

# 蓝碳增汇：事关全球气候变化进程！



扩增1公顷的滨海蓝碳生态系统，  
相当于扩增40公顷的森林生态系统！

# COASTAL BLUE CARBON

methods for assessing carbon stocks and emissions factors  
in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows

the  
**BLUE  
CARBON**  
initiative

蓝碳行动计划

CONSERVATION  
INTERNATIONAL



# 蓝碳增汇的不确定性

REVIEW

Nature 2013

doi:10.1038/nature12857

## The changing carbon cycle of the coastal ocean

James E. Bauer<sup>1</sup>, Wei-Jun Cai<sup>2</sup>, Peter A. Raymond<sup>3</sup>, Thomas S. Bianchi<sup>4</sup>, Charles S. Hopkins<sup>5</sup> & Pierre A. G. Regnier<sup>6</sup>

LETTER

Nature 2012

doi:10.1038/nature11440

## Response of salt-marsh carbon accumulation to climate change

Matthew L. Kirwan<sup>1</sup> & Simon M. Mudd<sup>2,3</sup>

Published online 21 February 2011 | Nature | doi:10.1038/news.2011.112

News

Nature 2011

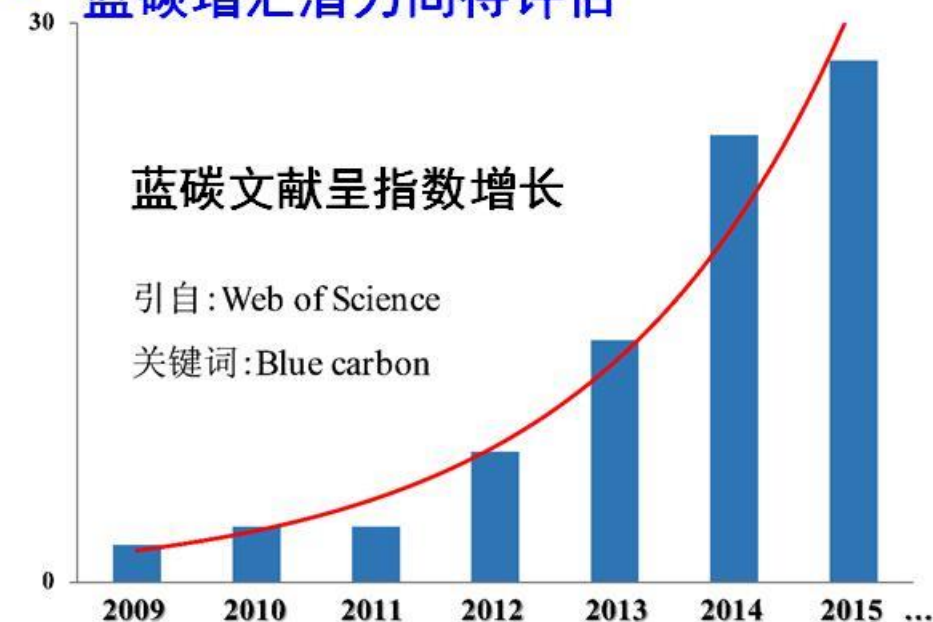
## 'Blue carbon' plan takes shape

Mangroves and seagrasses could be protected by valuing the carbon they store.

Gayathri Vaidyanathan

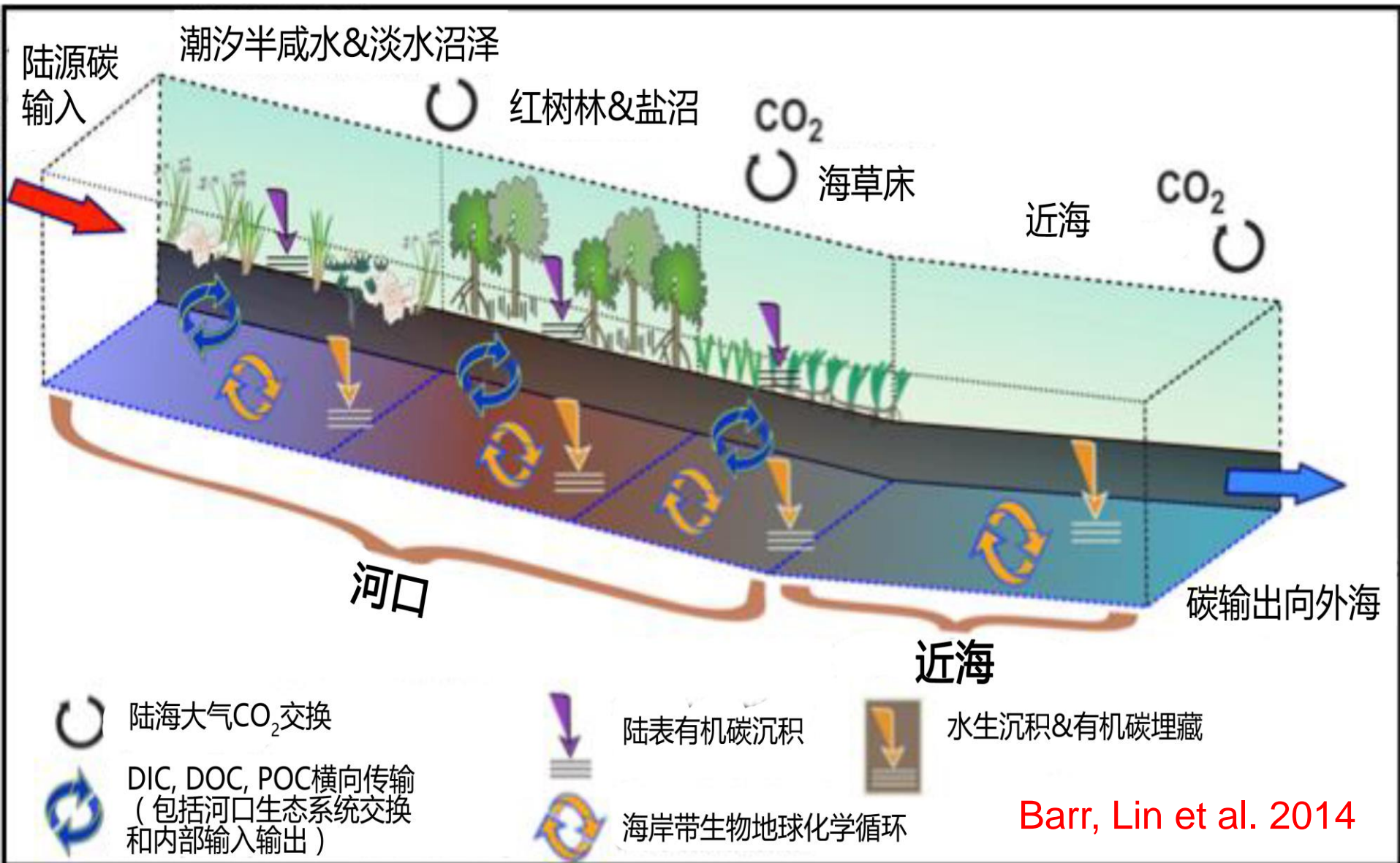
已有研究揭示了蓝碳的重要性，但还存在很多不确定性(Uncertainties):

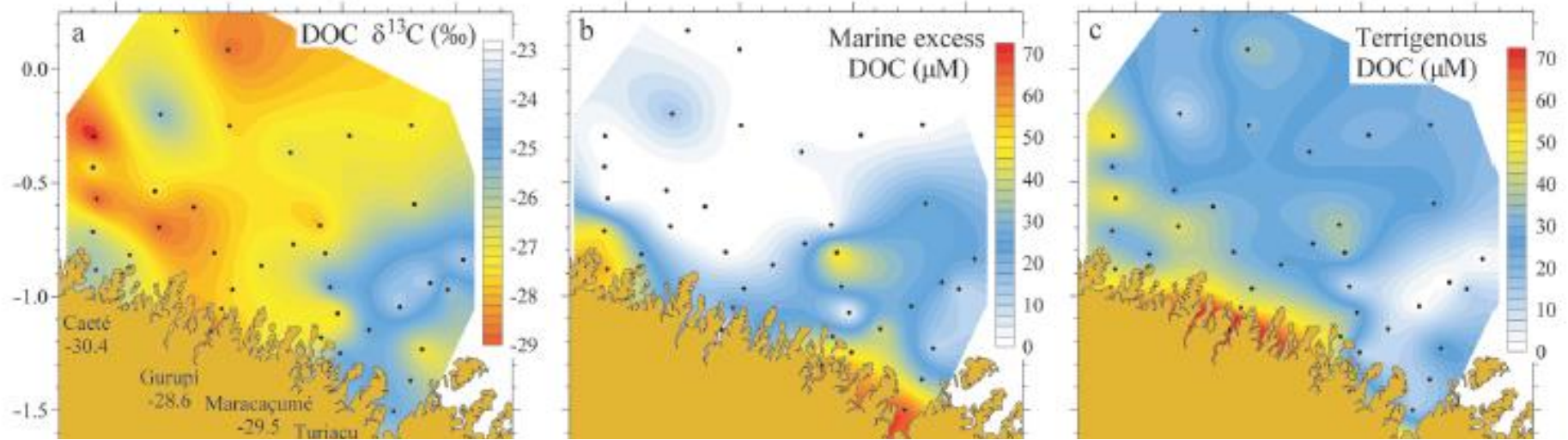
- 碳的埋藏效率与转化机理不够清楚
- 横向传输通量与变化过程不明确
- 蓝碳碳库变化对自然过程和人类活动的响应不确定
- 蓝碳增汇潜力尚待评估



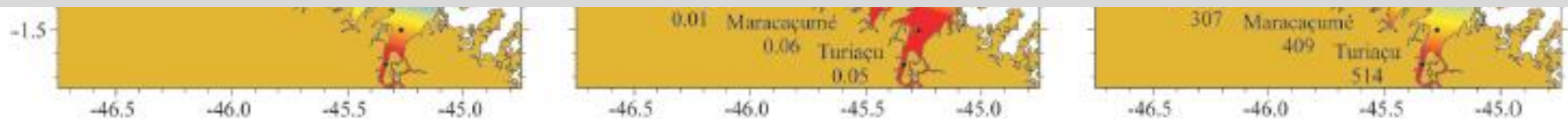


# 滨海湿地碳循环过程十分复杂





**On a global scale, mangroves account for >10% of the terrestrially derived, refractory DOC transported to the ocean, while they cover only <0.1% of the continents' surface !**



# 汇报提纲

- 稳定同位素生态专业委员会简介
- 红树林等湿地的固碳潜力
- 红树林湿地碳交换的稳定同位素研究**

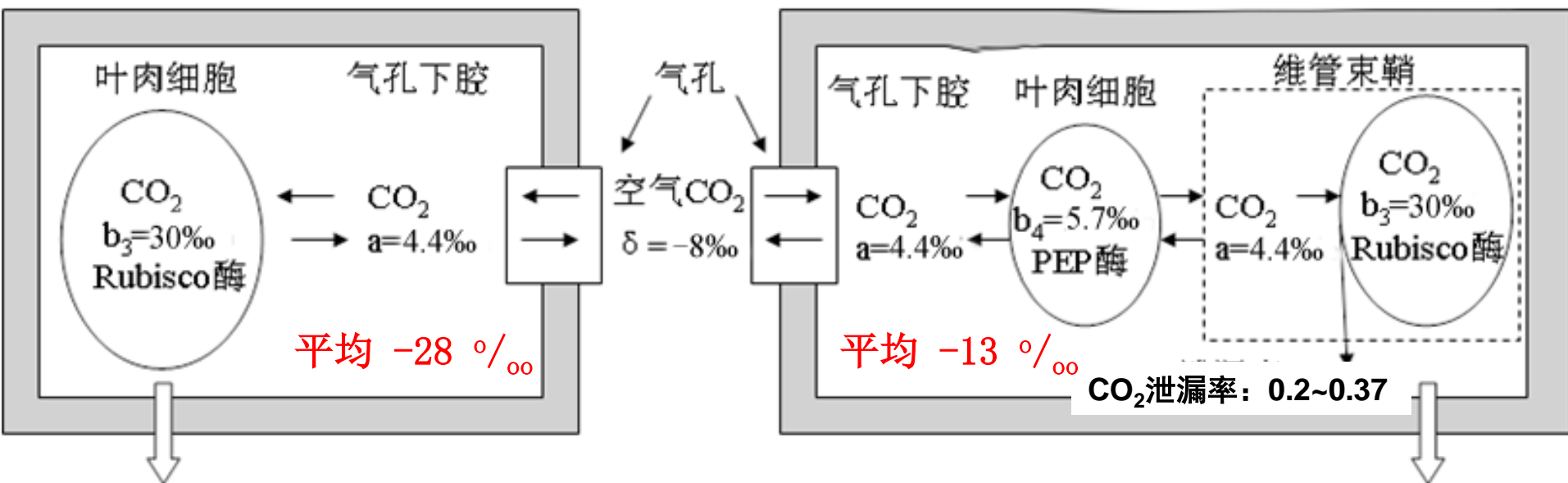
# 不同光合途径植物光合作用过程中碳同位素分馏效应



C<sub>3</sub> 植物



C<sub>4</sub> 植物



糖类  $\delta = -20\text{‰} \sim -35\text{‰}$

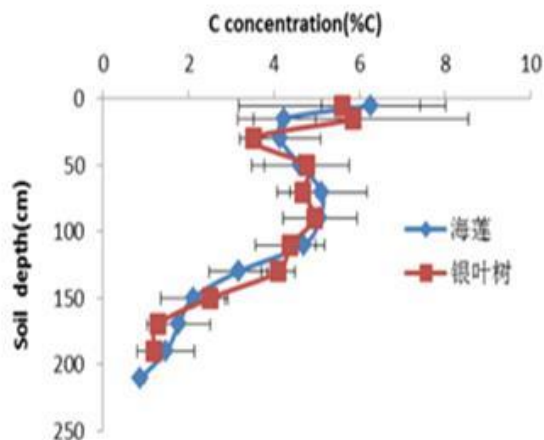
糖类  $\delta = -7\text{‰} \sim -15\text{‰}$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{air}} - a - (b - a) \frac{C_i}{C_a}$$

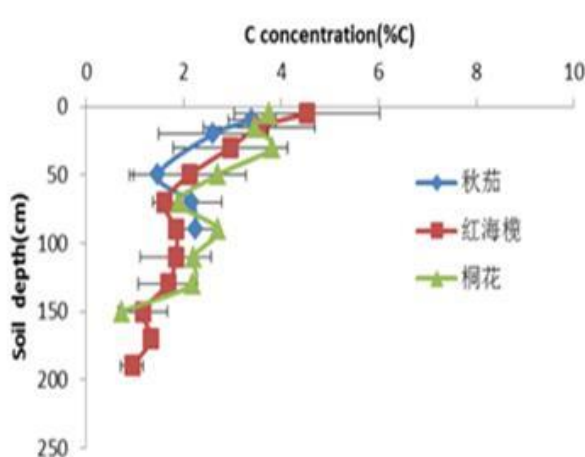
$$\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{air}} - a - (b_4 + b \times f - a) \frac{C_i}{C_a}$$

# 中国不同类型红树林土壤碳库分布比较

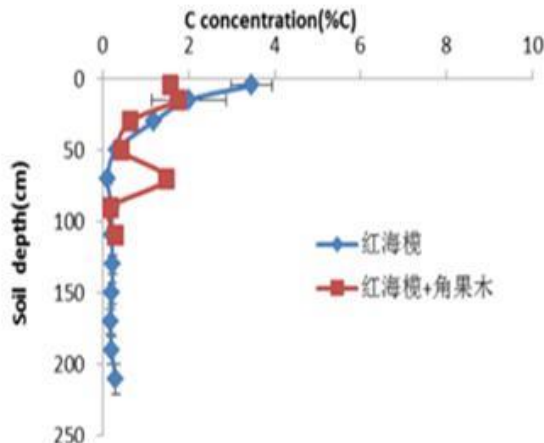
海南文昌土壤碳含量



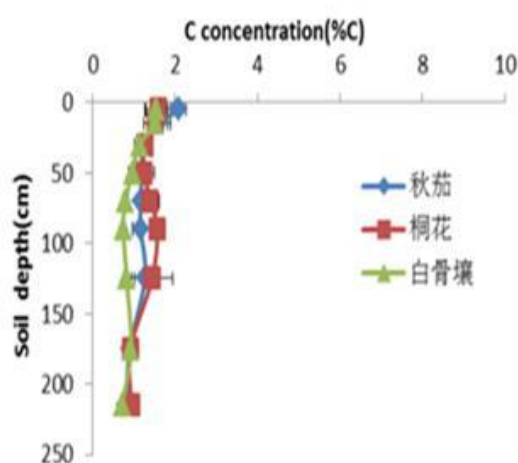
广东湛江土壤碳含量



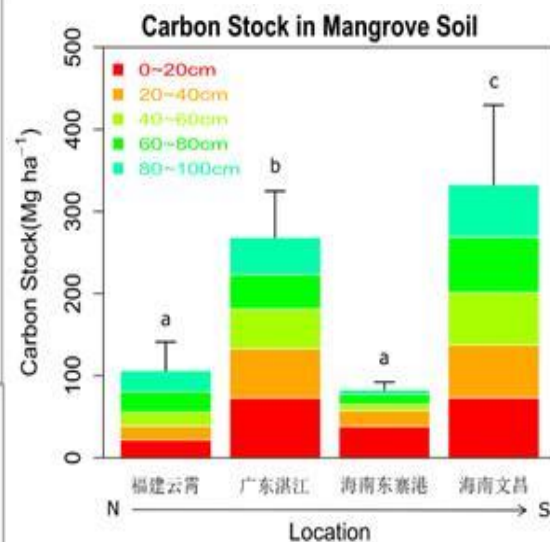
海南东寨港土壤碳含量



福建云霄土壤碳含量

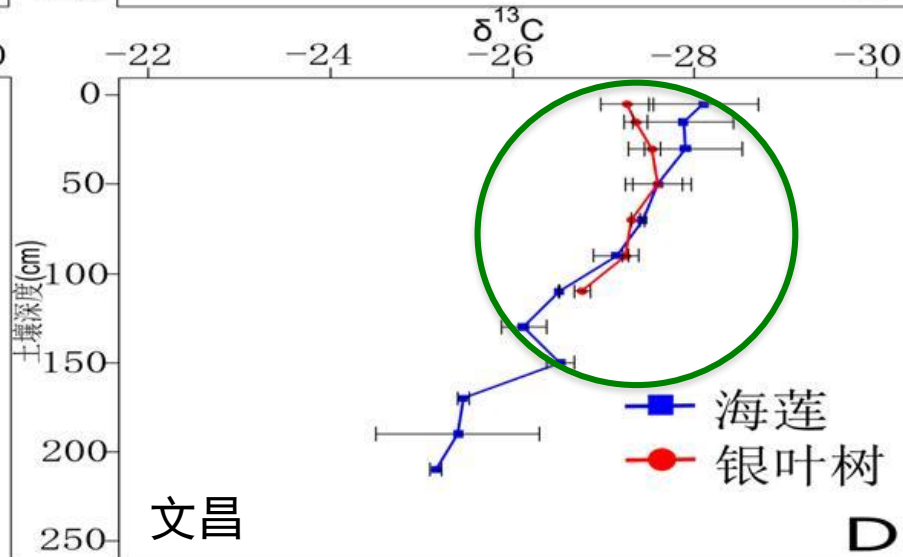
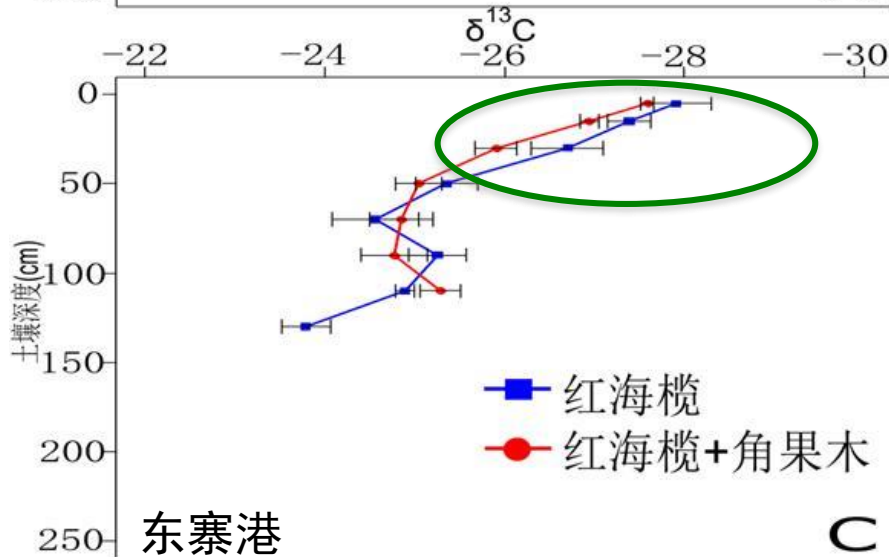
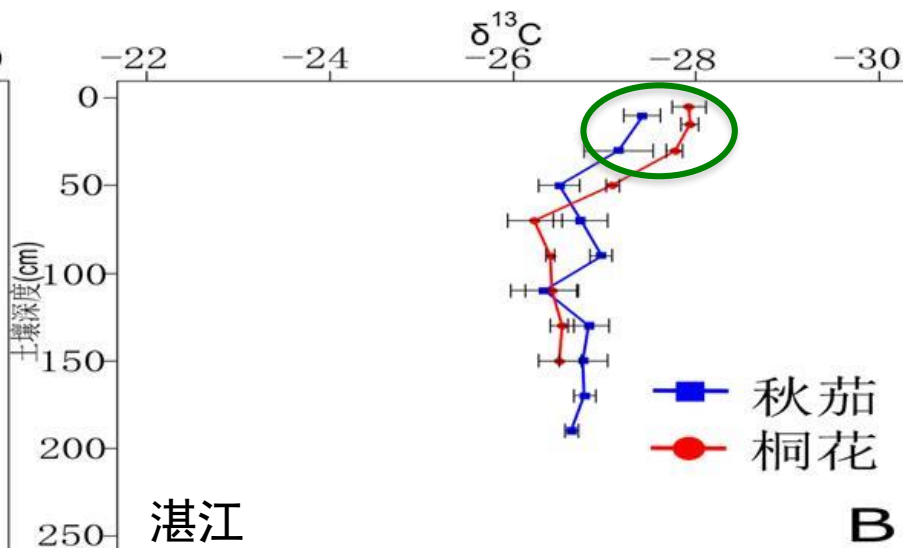
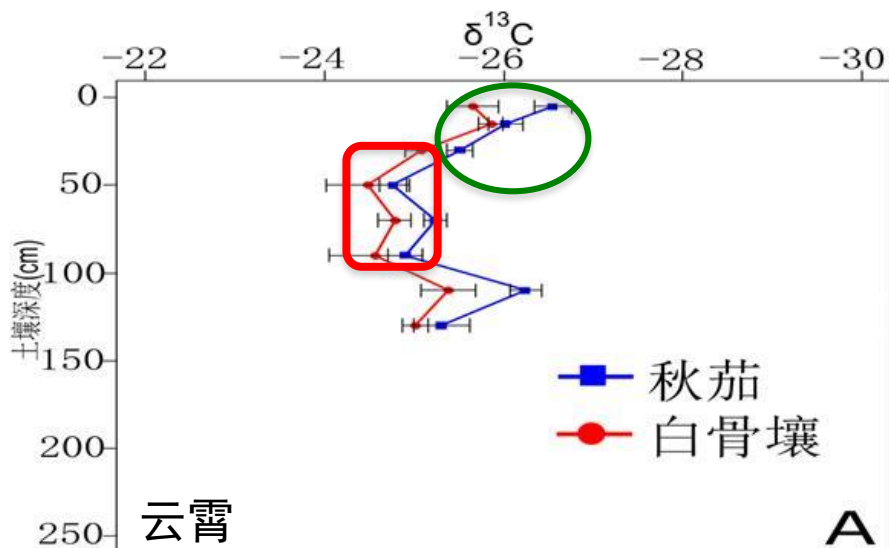


1、同一地点，不同类型红树林土壤碳含量和分布深度也有显著差异；



2、不同地区红树林土壤碳含量和碳库差异显著，碳含量随纬度增加出现递减格局，但总碳库与土壤深度密切相关！

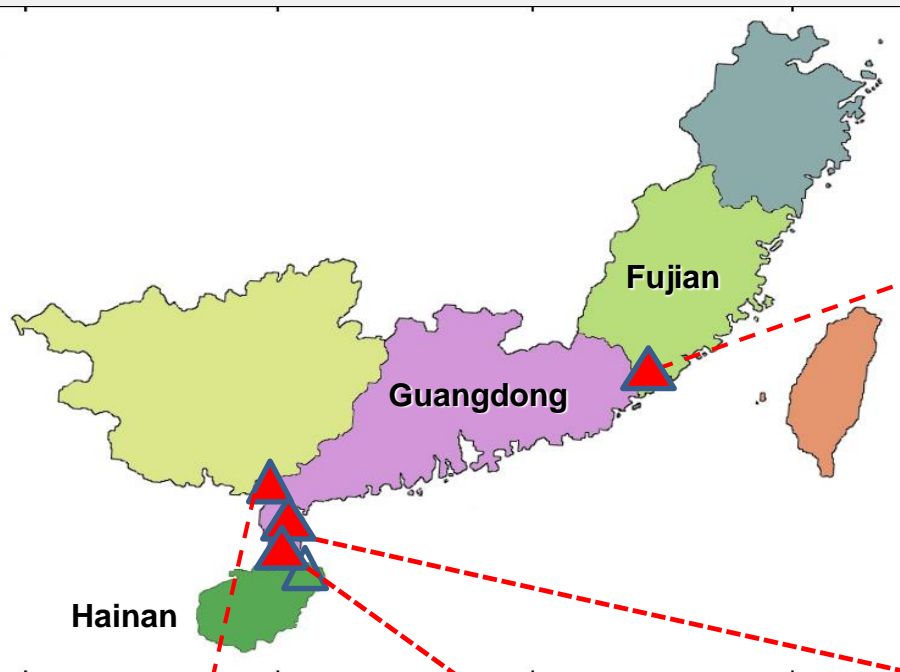
# 红树林土壤碳同位素随深度的变化趋势



  互花米草的贡献

  红树植物等的贡献

# 红树林通量观测网



云霄  
2008-2014



无瓣海桑林 (2015-)



湛江雷州

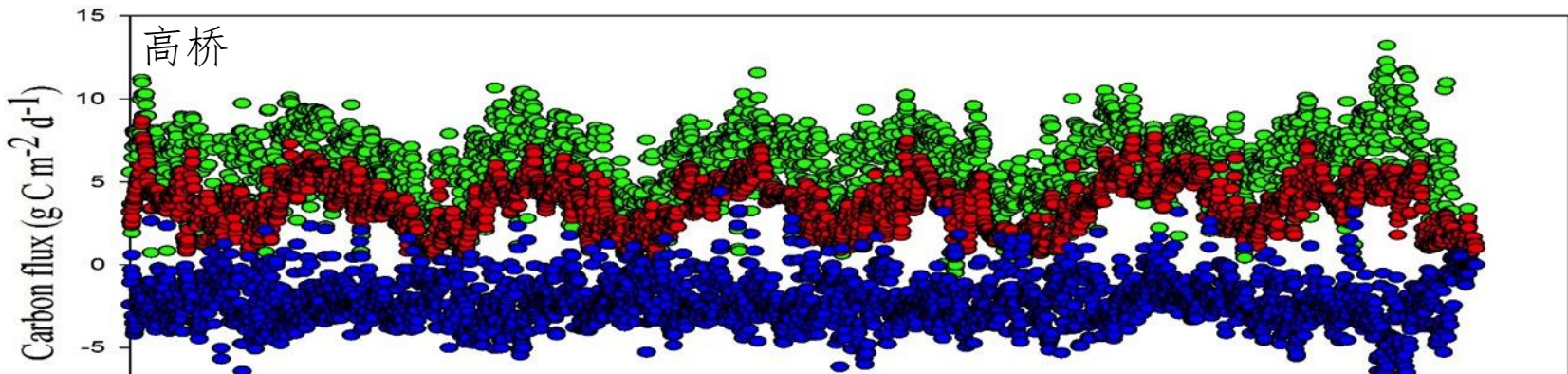


鱼塘 (2015-)

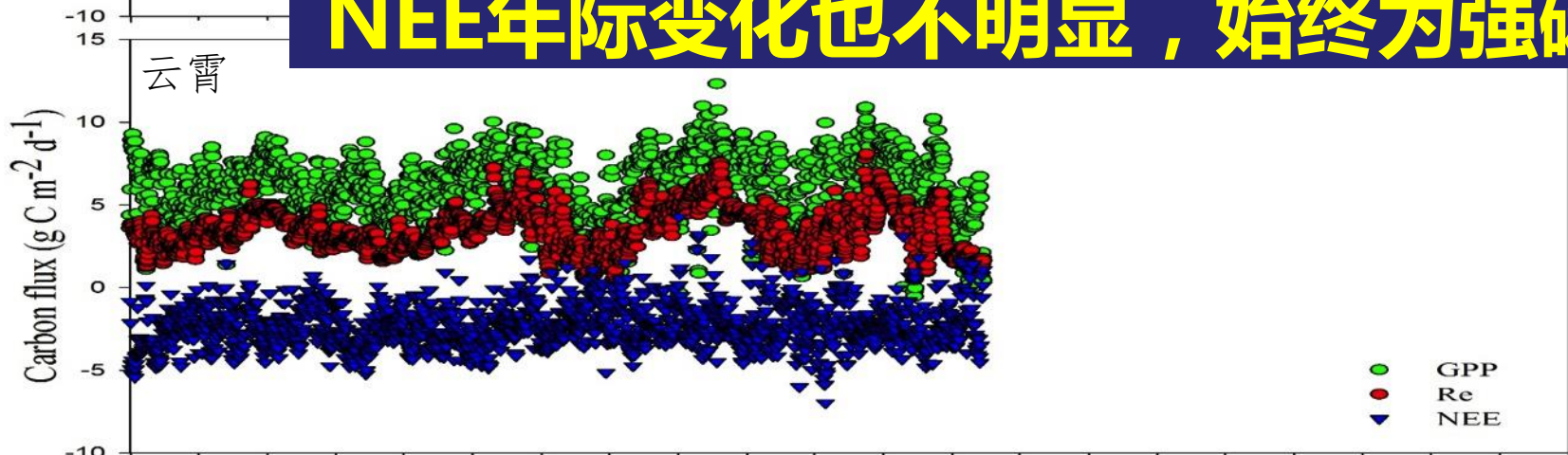
高桥  
2009-



碳交换率



**NEE年际变化也不明显，始终为强碳汇**



● GPP  
● Re  
▼ NEE



GPP: 总初级生产力  
Re: 生态系统总呼吸  
NEE: 净生态系统碳交换

Cui et al., 2017 *Agr. & For. Meteorol.* (in revision)



# 代表性成果1：全球滨海与内陆湿地生态系统碳通量的整合对比

## Global Change Biology

Global Change Biology (2016), doi: 10.1111/gcb.13424

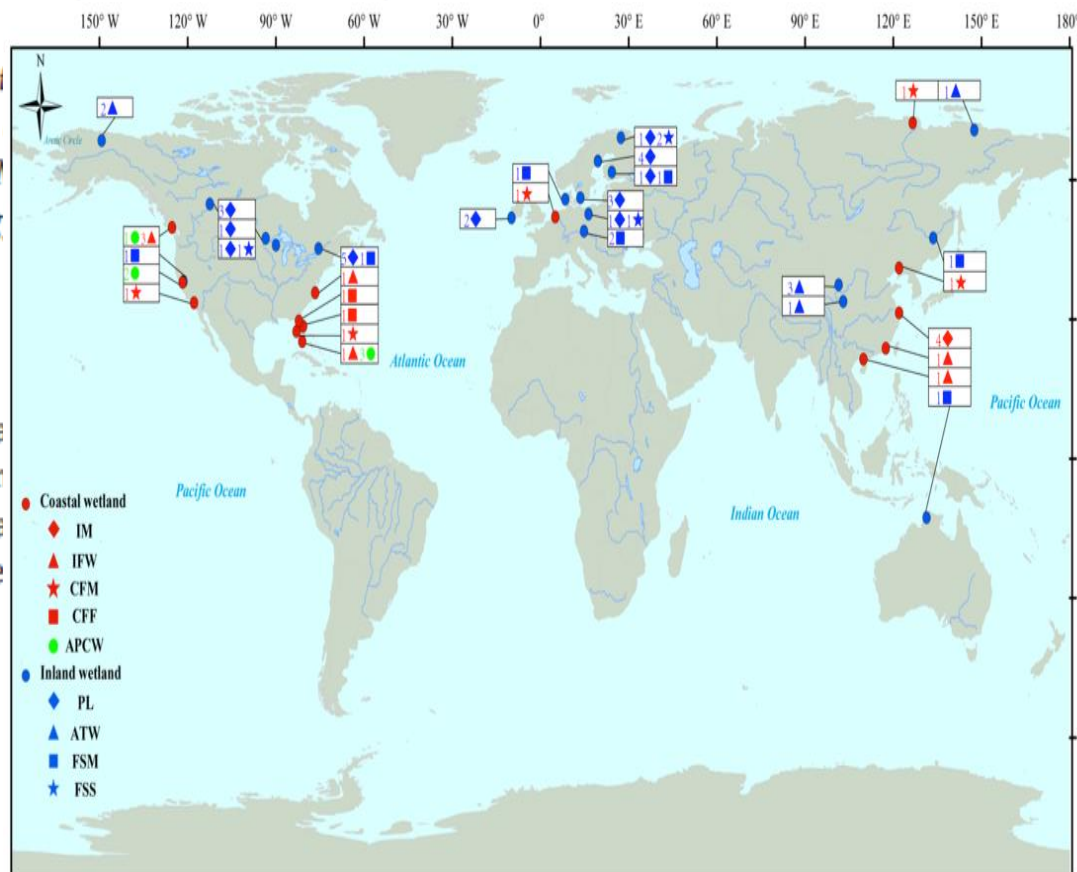
### Contrasting ecosystem CO<sub>2</sub> fluxes of inland and coastal wetlands: a meta-analysis of eddy covariance data

WEIZHI LU<sup>1</sup>, JINGFENG XIAO<sup>2</sup>, FANG LIU<sup>3</sup>, YUE ZHANG<sup>1</sup>, CHANG'AN LIU<sup>1</sup> and GUANGHUI LIN<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>National Marine Environmental Monitoring Center, State Research Center, Institute for the Study of Earth, Oceans, <sup>3</sup>Ministry of Education Key Laboratory for Earth System 100084, China, <sup>4</sup>Division of Ocean Science and Technology 518055, China

#### Abstract

Wetlands play an important role in regulating the atmosphere and the climate. However, there is still lack of quantitative data, especially at the global scale. Here, we conducted a meta-analysis of eddy covariance data from 15 types of wetlands using a global database compiled



IF (2016) : 8.5

# 采用稳定同位素技术量化了河口湿地碳横向交换



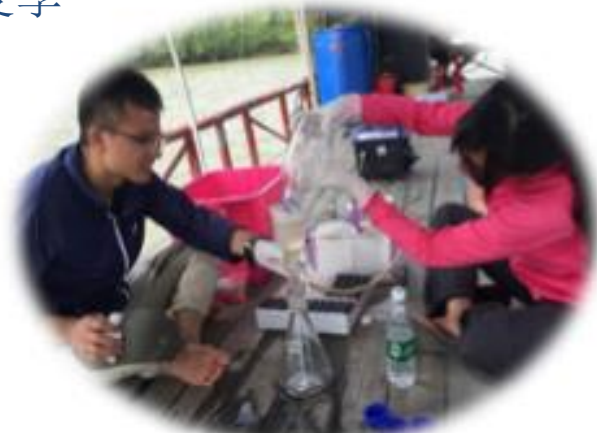
湛江英罗湾河口

2014年冬季

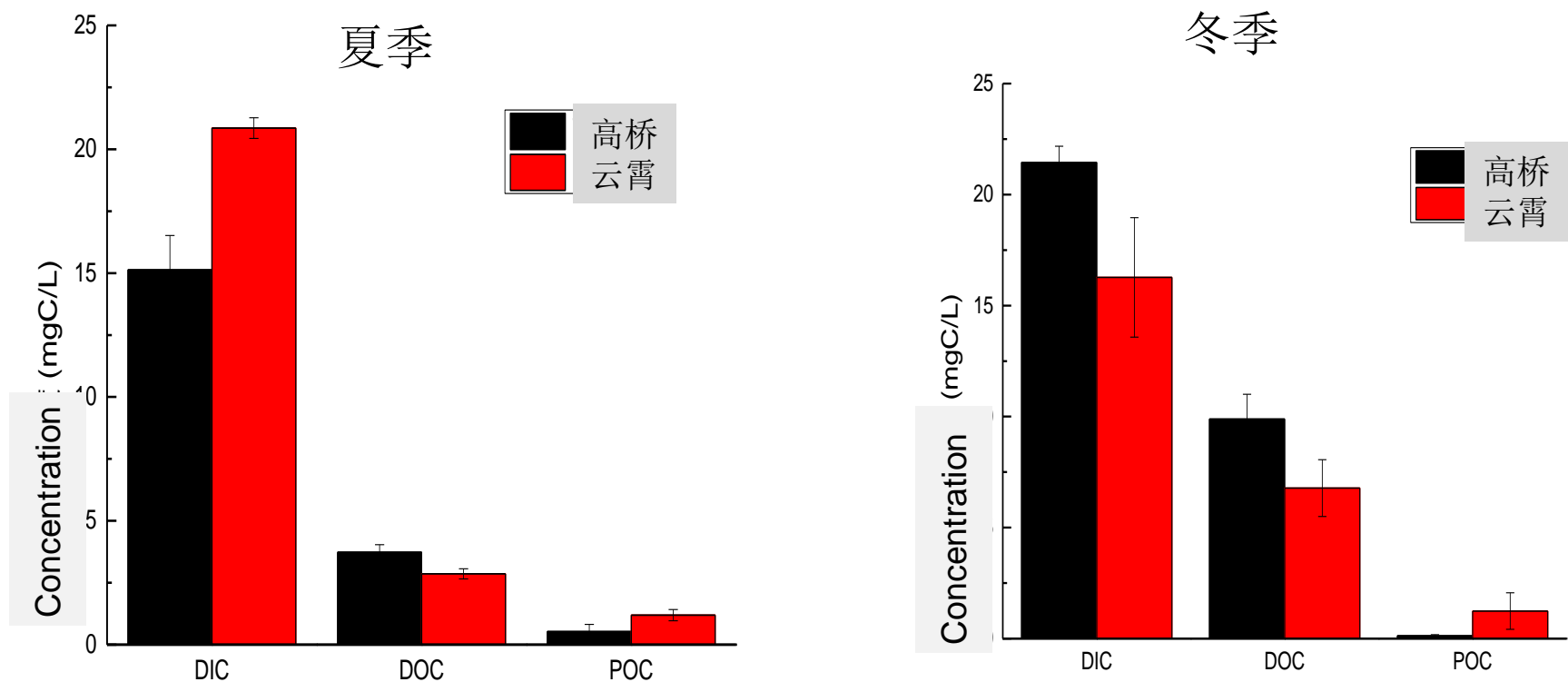


湛江南渡河河口

2015年夏季

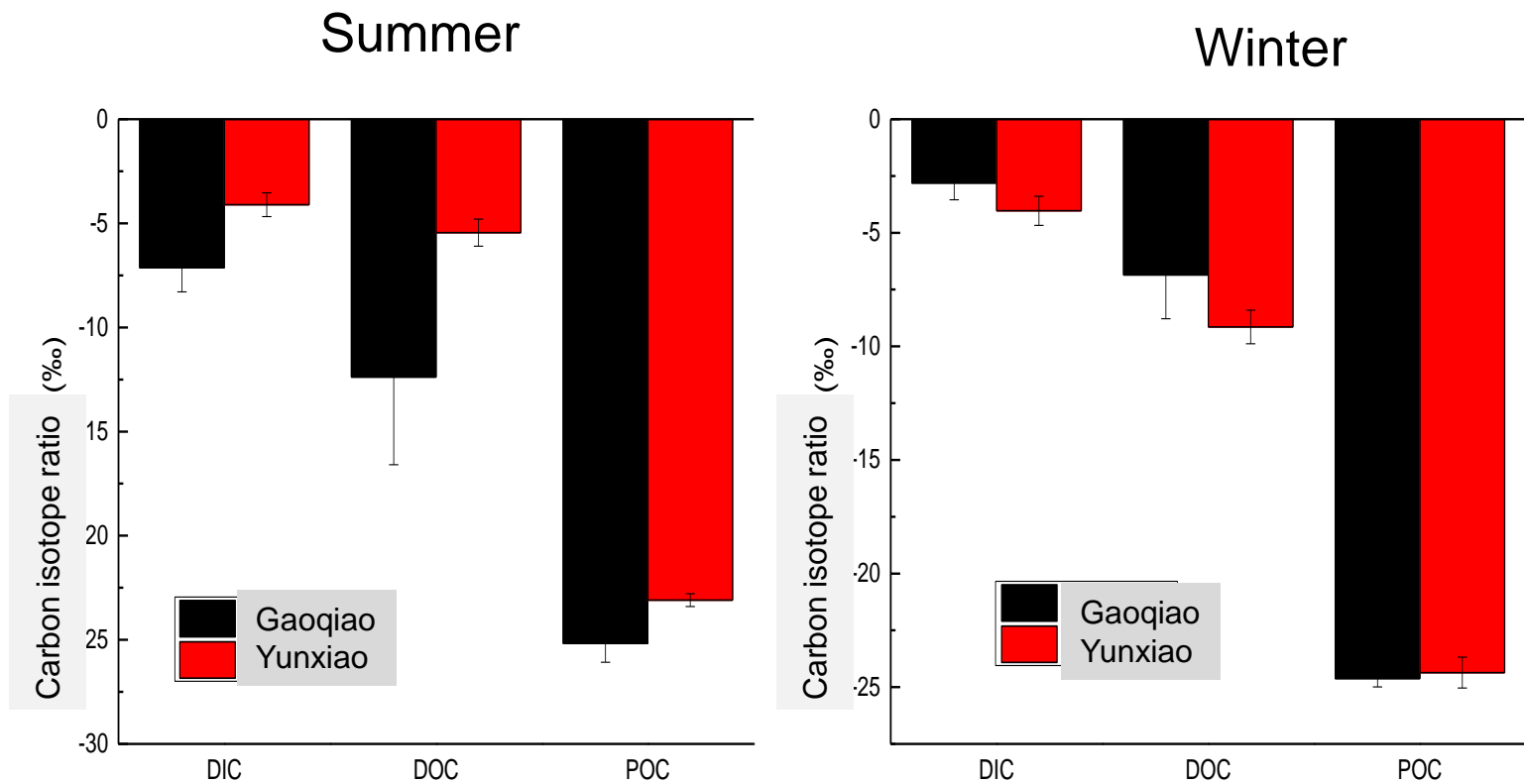


# DIC、DOC 和 POC浓度的比较



DIC是红树林潮沟水体浓度最高的碳形式!

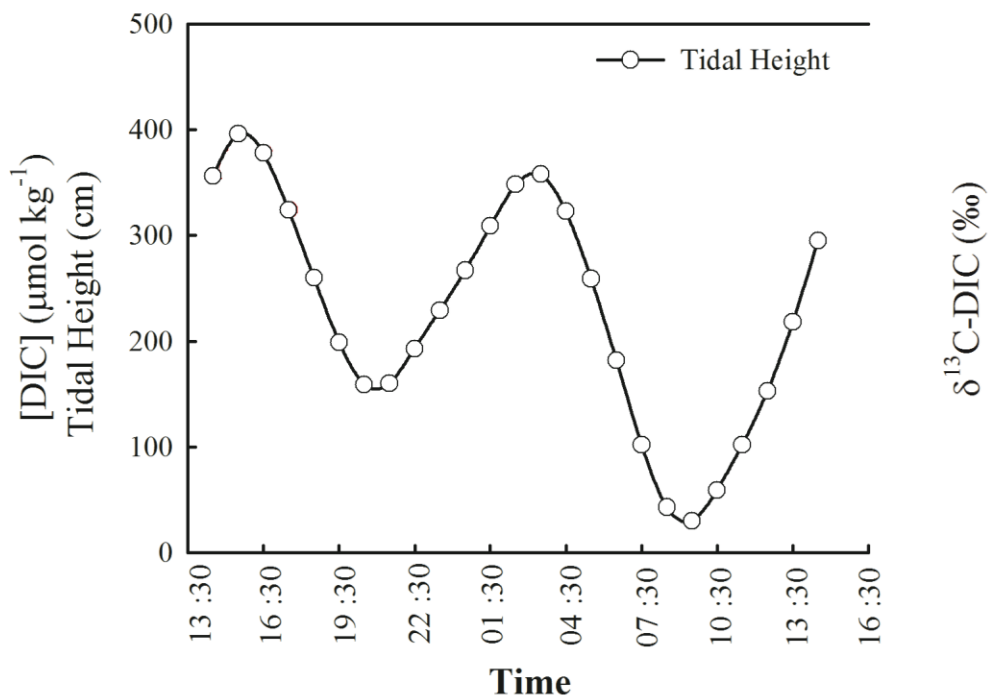
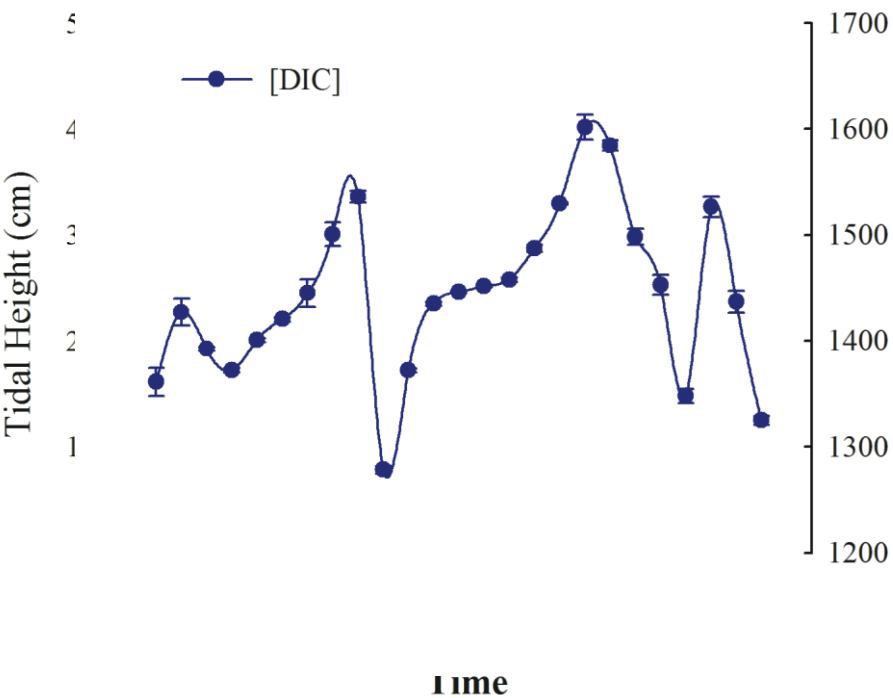
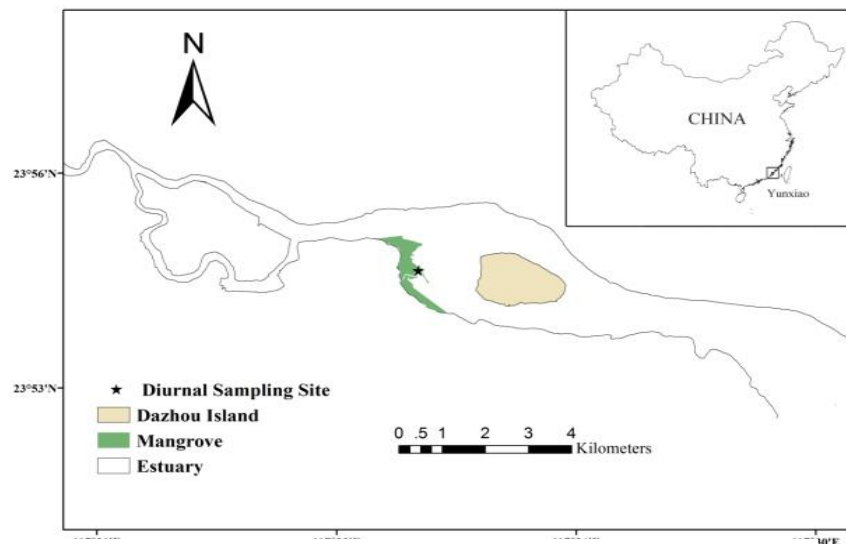
# DIC、DOC 和 POC碳同位素比值的比较



POC at both sites came from  $C_3$  plants (mangroves)

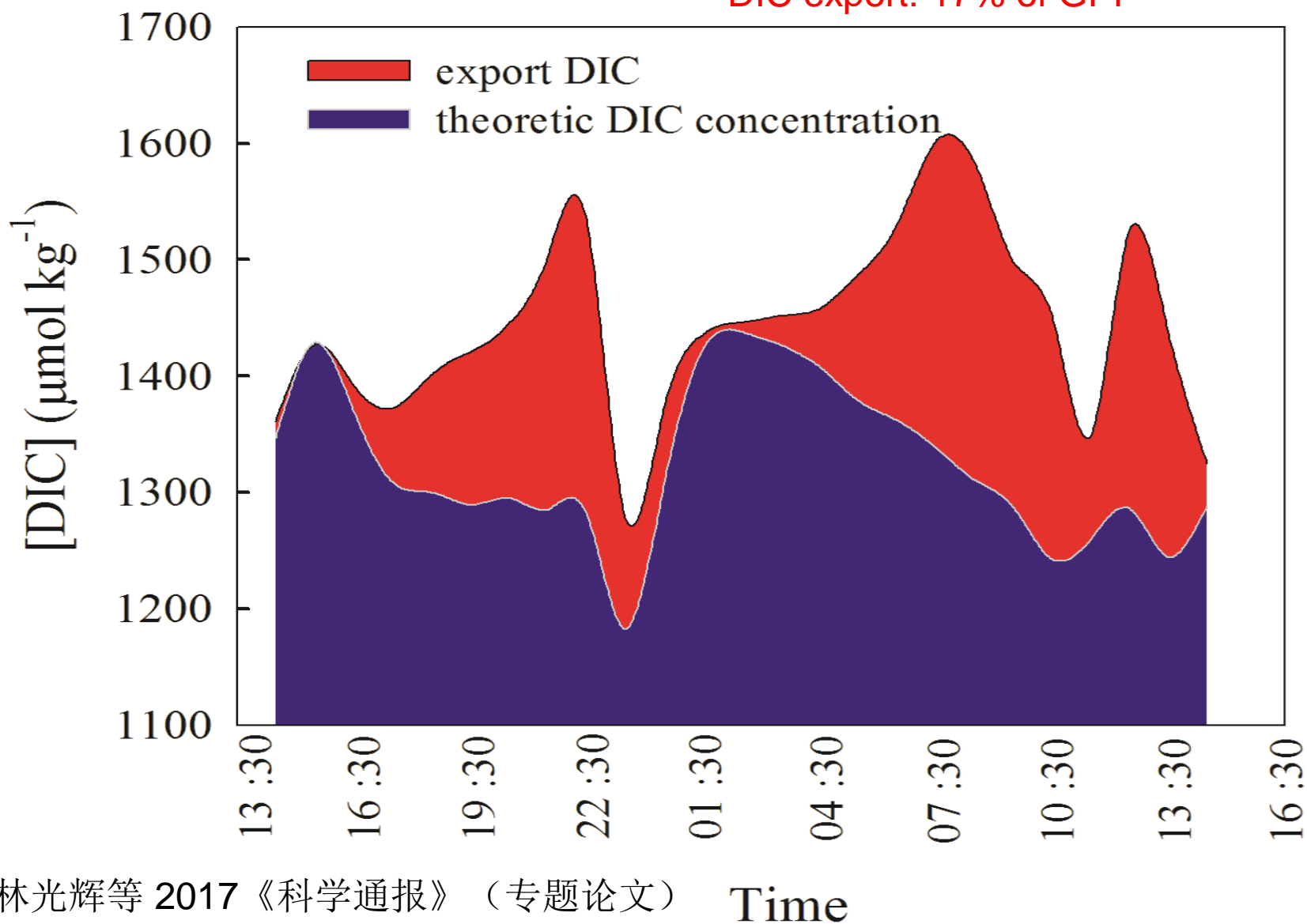
# DIC 日变化动态

## 福建云霄

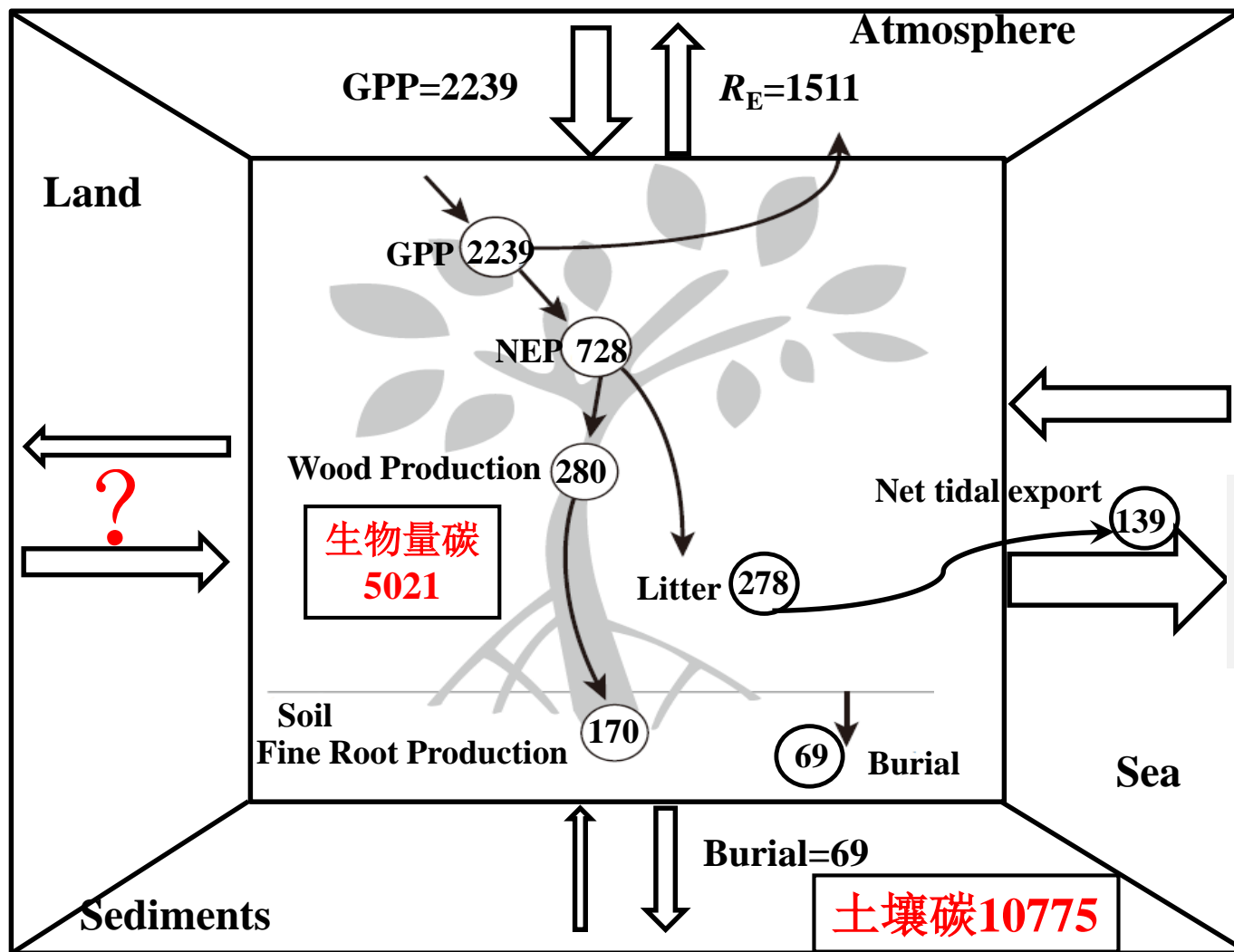


# DIC export at Yunxiao

DIC export: 17% of GPP



# 红树林生态系统碳收支 ( $\text{g C m}^{-2}$ , 2009-2016, 高桥)



(1) 净交换:  
 $728 \div 2239 = 33\%$   
(文献: 25-48%)

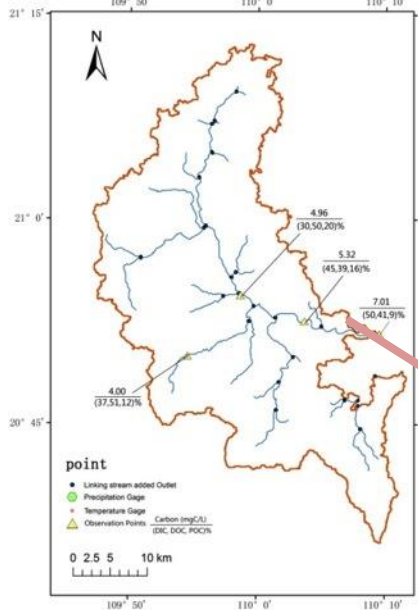
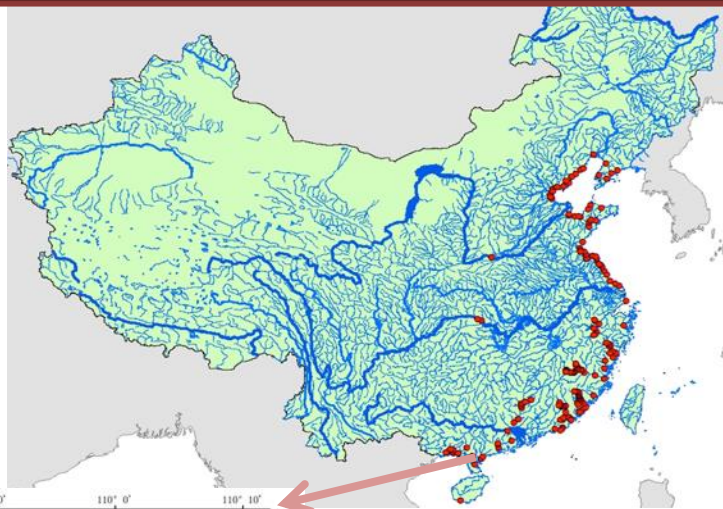
(2) 掉落物流失  
 $278 \div 728 = 38\%$   
(文献: 30-35%)

(3) 潮汐横向交换  
 $139 \div 728 = 19\%$   
(文献: >17%)

(4) 土壤碳埋藏  
 $69 \div 728 = 10\%$   
(文献: <10%)

全国总碳库:  $30.2 \pm 9.6 \text{ Tg C}$ ; 年固定量:  $0.09 \pm 0.03 \text{ Tg C a}^{-1}$

# 定量研究了河流-滨海湿地-滨海的碳来源、输入与迁移以及人类活动的影响

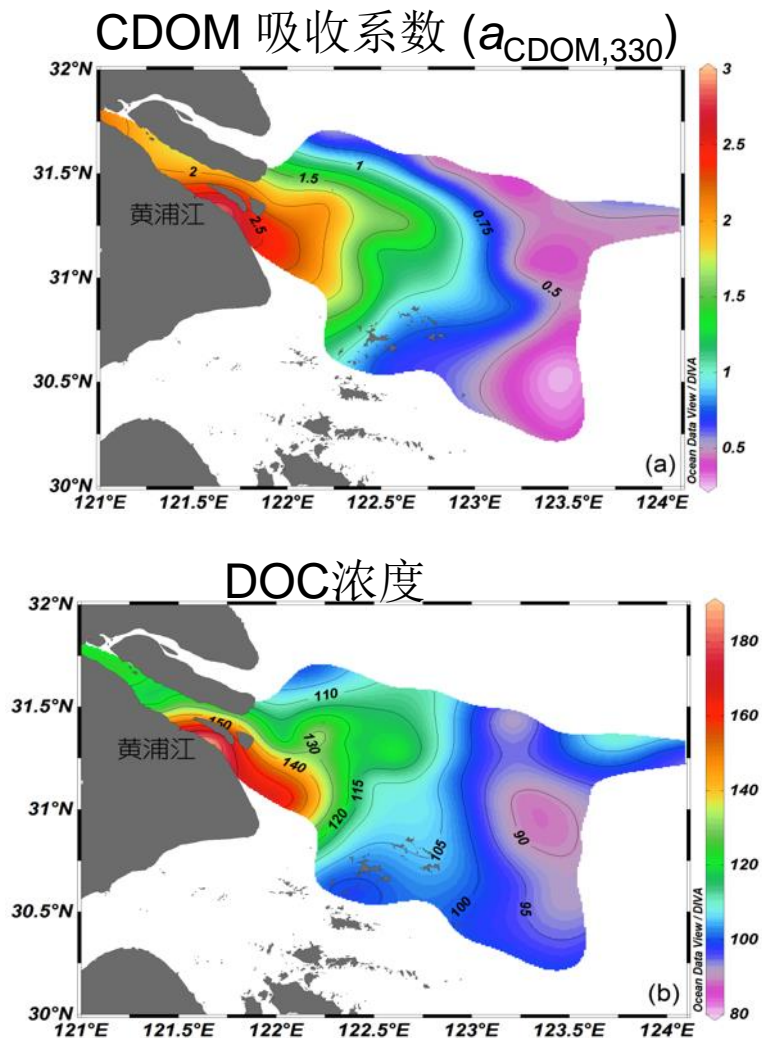


南渡河流域, 1444 km<sup>2</sup>

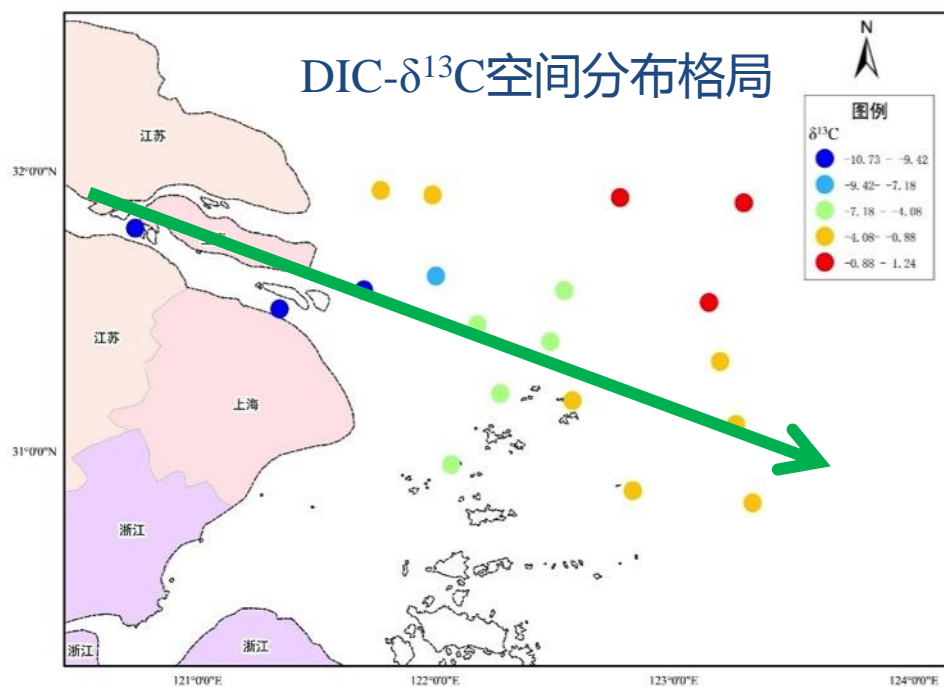
- 河流碳和近海（POC、DOC、DOC）组成及动态变化观测；
- 基于稳定同位素技术碳来源与去向的量化；
- 基于水文模型河流碳通量分析及基于海洋动力模型的陆-海碳传输的链接



# 长江口陆源碳的传输观测与追踪



陆源DIC, DOC可输送到200多千米外

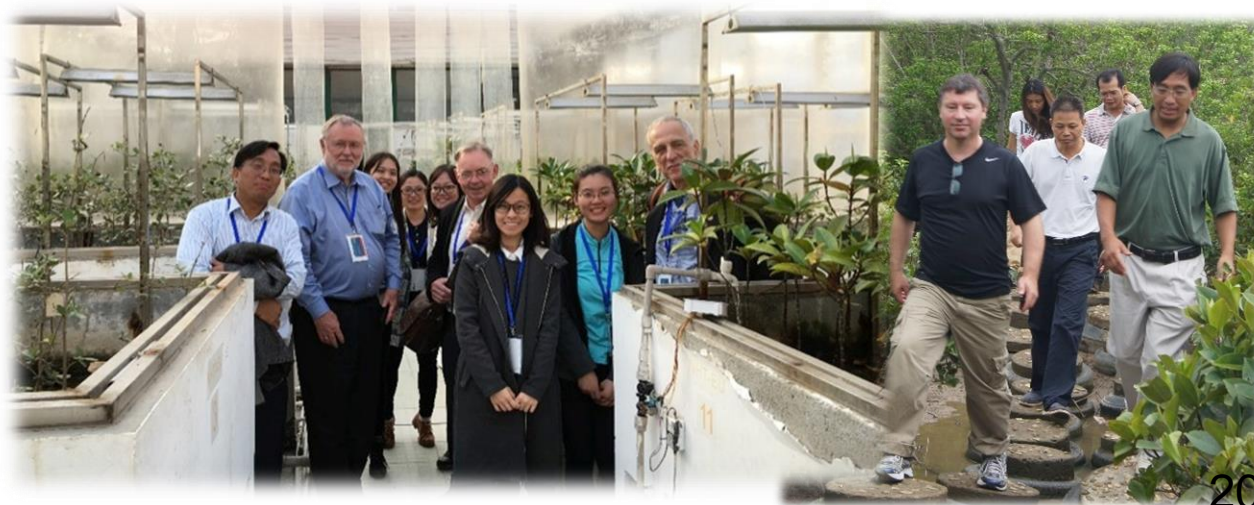


李奕洁 等 2015 《海洋湖沼》

珠江口正在开展类似的观测与追踪

# 正在开展的中-美-澳红树林碳合作研究

2016三位美国科学院院士参观实验平台 2014Steven Crooks考察湛江碳通量研究基地塔



2016林光辉访问香港中文大学



2014 David William教授学术讲座（清华大学）



2015USGS-Tom Doyle博士参观深圳温室实验

# 总 结

- 稳定同位素生态学是分析化学新技术进步催生的新分支学科，过去30年国内外发展迅速，未来应用前景广阔；
- 红树林、盐沼、海草床等滨海湿地具有重要的碳汇功能与潜力，但这些湿地生态系统的碳循环过程十分复杂，其研究需要稳定同位素等定量化技术的应用；
- 稳定同位素技术可以更好地量化红树林等滨海湿地生态系统的碳交换，不仅可以深入认知生态系统碳循环关键过程，也可为全球蓝碳管理提供科学依据。



清华大学  
Tsinghua University

谢谢!

- ★ 项目资金支持：973项目（2013CB956601）、海洋公益性专项（201305021）、重点自然科学基金（30930017）和深圳市科创委重大学科布局项目；
- ★ 合作者：科研助理、博士后和研究生和国内外合作者等。

