

国家重点研发计划项目
(项目编号: 2022YFC3105300)

我国近海典型海域浮游生态系统演变、临界点及重构
Tipping points, resilience and restructure of plankton ecosystem in
typical marine areas of China

项目简报

2023 年 2 月, 第 2 期

项目办公室主办 2022 年 2 月 28 日

目 录

一、项目组织实施.....	01
二、研究进展.....	02
三、公众科普.....	05
四、后续工作概览.....	06

项目办公室通讯信息

地址: 厦门大学翔安校区金泉楼 A217

邮编: 361102

电话: 18750286265

Email: hlx@xmu.edu.cn

一、项目组织实施

1. 我国近海浮游生态系统历史调查数据研讨会

2023年2月21日，课题一组织召开我国近海典型海域浮游生态系统历史调查数据研讨会，旨在推动历史数据的收集与综述文章的撰写。项目成员汇报了国内外浮游生物长时间序列研究的历史情况，针对技术上、数据可比性、存在的困难、研究热点等进行探讨，对浮游植物、浮游动物历史研究数据不均衡性进行了描述；最后对综述撰写进行了初步人员分工。

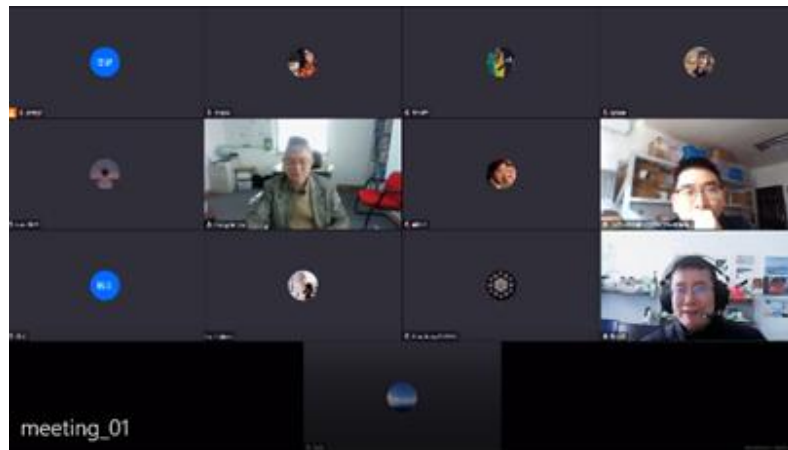


图 1 历史数据研讨会

二、研究进展

课题一

1. 沉积物研究组

围绕我国近海典型海域浮游生物演化历史，收集已发表长江口及其邻近东海泥质区基于生物标记物的研究数据，约 20 个站位，总结长江口及邻近海域近百年来硅藻，甲藻，颗石藻等初级生产力演化历史。

2. 浮游生物研究组

收集了香港近岸水域的浮游植物长时间（20 年）数据，并对物种组成、粒径谱进行了初步分析，下一步将结合环境因子对其机理进行深入探究。

课题二

1. 东海 POC 输出通量的历史数据分析

东海 POC 输出通量存在明显空间和季节变化（图 2），近岸特别是长江口的 POC 输出通量明显高于离岸区域；由于长江径流影响，春季和夏季 POC 通量明显高于秋冬两季。以上结果表明，长江径流的营养盐输出对东海 POC 分布的重要影响。

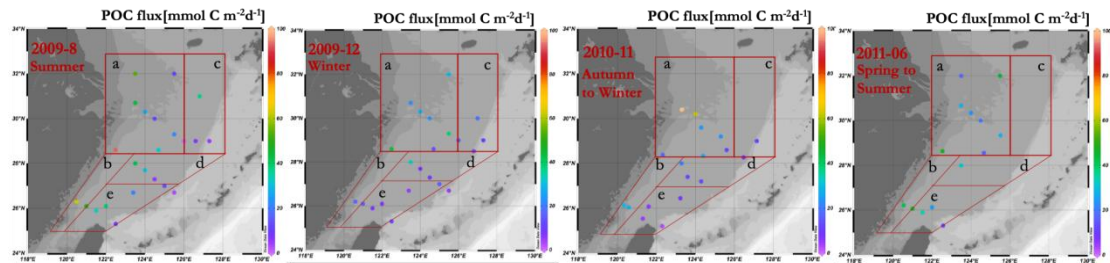


图 2 东海 POC 输出通量的空间和季节变化

2. 水生生态系统临界点理论梳理和分析

2001 年，Scheffer 等科学家在 Nature 上发表文章“Catastrophic shifts in ecosystems”，指出地球的生态系统可能出现大规模的稳态转换 regime shift，并对不同生态系统稳态转换的潜在驱动因子进行了分析梳理，提出了初步的理论框架。随后，基于 2000-2005 年调查结果，联合国发布的《千年生态系统评估报告》中指出，需要警惕水生生态系统中与生物多样性变化相关的阈值效应：一个或多个驱动力的渐变性或线性变化造成系统剧变或非线性变化。

3. 南海北部陆架夏季和冬季浮游植物磷限制临界点研究

前期研究发现，盐度 33.45 是南海北部陆架浮游植物磷限制状态的转变临界值，为进一步揭示其环境调控机制，采用混合效应模型结合滚动窗口分析研究了磷限制与环境因子相互作用的动态变化：发现碱性磷酸酶活性（APA）与 N/P 比、DIN 浓度在羽流始终存在明显的正相关关系，在盐度 33.5 之后转变为负相关关系。结果表明，APA 在珠江羽流受到高 N/P 比的直接调控，而南海水中，浮游植物总生物量调控 APA。

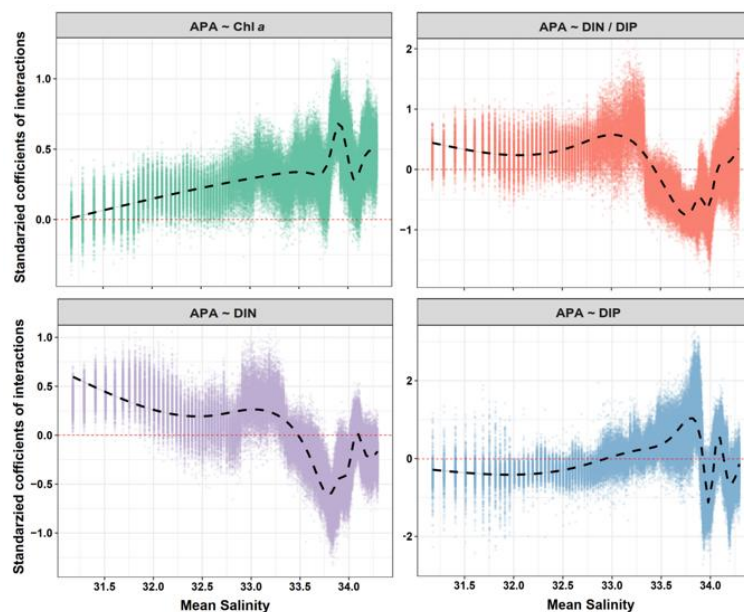


图 3 盐度梯度下 APA 与环境因子之间相互作用的非线性变化

课题三

1. 珠江口和长江口的模型已开始运行，珠江口模型中加入了 CoSiNE13；
2. 确定实验室模拟、船基甲板培养实验条件和参数测定方法，积极备航；
3. 高坤山教授等研究发现海洋变暖和去氧化作用可协同影响浮游生物的迁移和二氧化氮固定菌的固氮作用。此外，海洋酸化及二氧化碳浓度增加会在高光照或营养缺乏时对海洋初级生产者产生负面影响，该成果发表在环境科学与生态学领域期刊 *Water* 上。

课题四

1. 为厘清珠江口夏季水体缺氧的形成机制，基于 2020 年 7 月珠江口水体表层产氧，及表、底层耗氧速率分析，发现表层水体的平均产氧速率为 $2.80 \pm 2.60 \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ，空间分布可能受浊度、营养盐和叶绿素等调控；表、底层水体的平均耗氧速率分别为 $0.34 \pm 0.21 \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 和 $0.32 \pm 0.17 \mu\text{mol O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 。两层水体的平均耗氧速率没有明显差别，但在空间分布上并不一致。

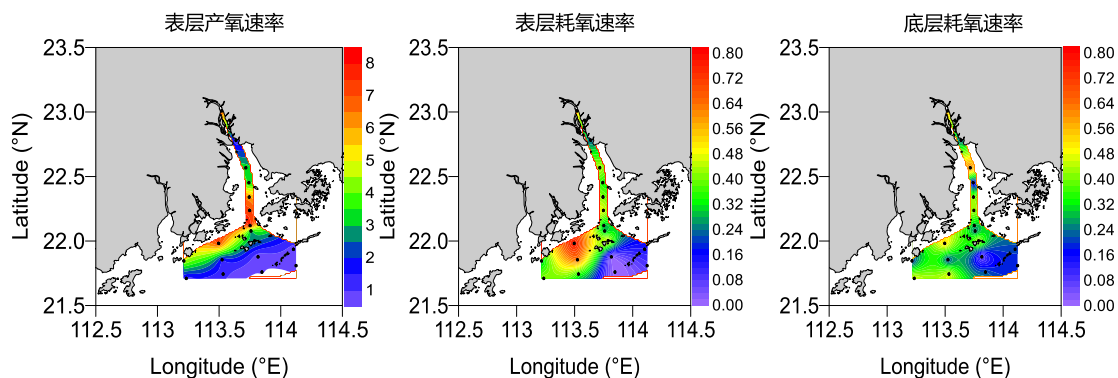


图 4 2020 年 7 月珠江口航次水体产氧和耗氧速率

2. 细化了“典型海域浮游生态系统的模拟重构与评估”部分的实施方案，初步研究了系统重构的方法和理论。在重构方法上，我们将根据模型模拟和中尺度围隔实验，建立海洋浮游生态系统的重建技术方法，包括重构模型的构建、临界点表征量化指标、中尺度海区围隔技术等；在理论方法上，根据模型模拟和中尺度围隔实验的结果，通过对人为源环境因子（CO₂ 和营养盐）与浮游生态系统变动之间的关联分析，找到人类对受损生态系统影响的关键生境条件，结合次生演替理论和自我设计理论，通过恢复关键生境条件促使浮游生态系统循序按照一定轨迹自动发展，根据生境条件合理的自我组织并改变其组分，最终构建基于人类 CO₂ 和营养盐减排的海洋浮游生态系统重构理论。

3. 基于收集整理的全中国燃煤电厂数据，使用 IPCC 清单编制方法编制了 2000-2020 年我国电厂级的燃煤电厂发电碳排放清单。结果表明，我国燃煤发电的碳排放从 2000 年（1.22 E+09 吨）到 2020 年（4.34E +09 吨）增长了 255.92%（图 6），燃煤发电量增长了 316.84%，这主要是由于通过上大压小、节能降耗改造等措施降低了燃煤机组的发电煤耗。

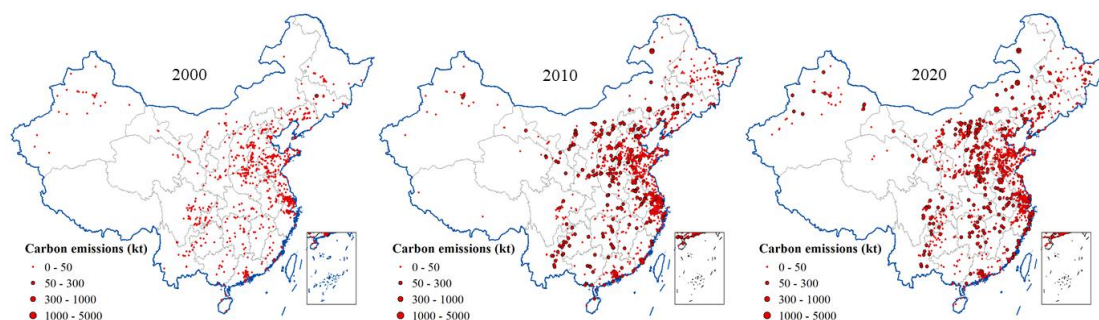


图 5 2000-2020 年我国燃煤电厂发电碳排放空间分布

4. 继续整理研究区域 2014 年至 2018 年沿海二级流域城市污水处理厂出水总氮浓度数据，初步绘制了沿海二级流域城市污水处理厂总氮排放浓度的时空分布图（图 6）。2014-2018 年沿海二级流域城市污水处理厂的总氮出水浓度呈现下降趋势，但依然远高于地表水五类标准，长江流域入海口区域的城市污水处理厂总氮出水浓度下降较为明显。此外，整理了沿海二级流域城市污水处理厂总氮排放总量的分布特征，以及沿海区域工业企业的点源分布及氮排放数据，并将其匹配到二级流域尺度。

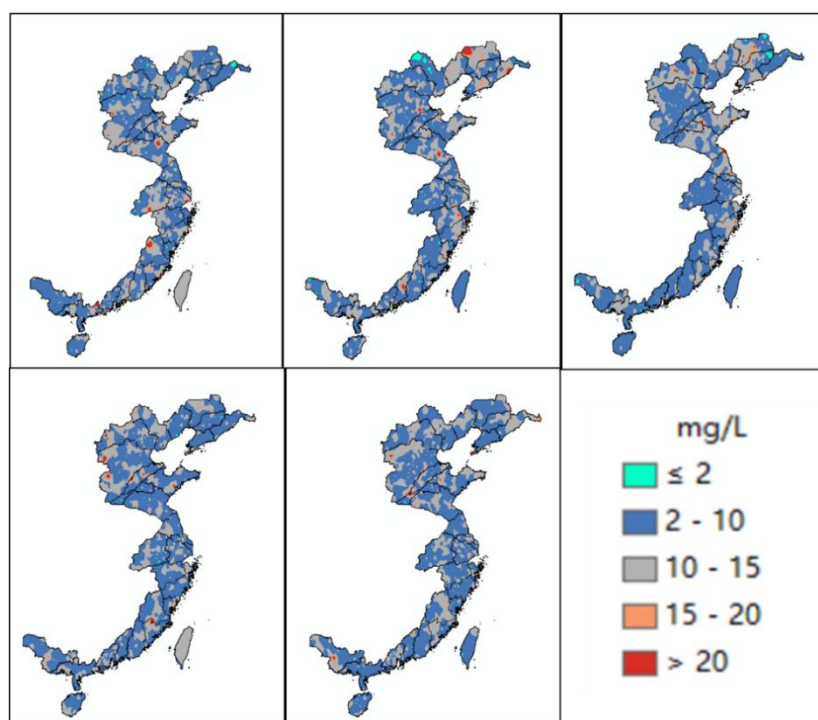


图 6 2014-2018 年沿海二级流域城市污水处理厂总氮排放浓度的时空分布特征

三、公众科普

2023 年 2 月 20 日，项目骨干林昕副教授参加厦门市第 32 届中小学科技节暨厦门高新学校首届科技节活动，为全体师生带来海洋生物多样性和生态系统的科普讲座，呼吁同学们保护海洋，守护地球未来。



图 7 项目骨干林昕副教授向中小学生科普海洋生物

四、后续工作概览

- 我国近海典型海域浮游生态系统调查春季航次备航及出海人员培训；
- 深入研究南海北部羽流-上升流系统中浮游植物磷限制临界点及其调控机制，剖析磷限制临界点与环境胁迫的关系；
- 长江口模型考虑在张扬助理研究员团队的模型基础上加入 CoSiNE；对围隔实验数据中的敏感参数进行模型微调 and 测试；
- 深入分析珠江口水体缺氧机制；
- 研究次生演替理论、自我设计理论等，结合获得的人为源 CO₂ 和营养盐排放清单，争取提出适合减排的海洋浮游生态系统重构理论；
- 基于巴黎协议的气候目标，设计中国燃煤电厂发展路径，计算未来不同节点燃煤电厂的碳排放量；
- 进一步分析沿海二级流域城市污水处理厂氮磷营养盐排放的时空变化特征，尝试不同方法解析其与海洋营养盐浓度变化的关联性；
- 继续完善并整理沿海区域工业企业的点源分布及营养盐排放数据。