



Nature Communications揭示海洋亚中尺度过程对生物碳泵效率的影响

发布时间: 2024-01-25



近日,中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室(LTO)海洋模拟与生态动力课题组,在海洋亚中尺度过程对生物碳泵效率的影响研究方面取得新进展,相关成果以“Efficient biological carbon export to the mesopelagic ocean induced by submesoscale fronts”为题,发表在Nature Communications。LTO副研究员郭铭先为第一作者,共同第一作者为自然资源部第二海洋研究所研究员邢小罡,通讯作者为厦门大学教授修鹏,厦门大学高级工程师陈蔚芳和教授柴扉、意大利国家海洋与应用地球物理研究所研究员Giorgio Dall’Olmo为共同作者。

海洋中尺度涡旋和亚中尺度动力过程是副热带流涡区营养盐垂向供给的关键途径。以往的研究表明,中尺度涡和亚中尺度过程的加强能够带来营养盐的垂向供给,促进真光层的初级生产力。然而,由于在中小尺度上进行生物地球化学过程的连续高频观测极具挑战,目前对中尺度和亚中尺度等动力过程的碳输出效应依然缺乏明确的认识,这限制了对副热带流涡区固碳能力的准确估算。为了解决上述问题,团队利用高频BGC-Argo的自主观测能力克服常规观测的不足,解析了中尺度涡旋和亚中尺度锋面动力演化过程对POC输出通量及垂向传输效率的影响,并外推量化了亚中尺度动力过程对副热带流涡区生物碳泵效率的贡献。

BGC-Argo经历了气旋涡的加强和成熟期(图1a, b),测得的弱光层POC减小速率在加强期低于成熟期,暗示涡旋加强期POC输出通量的增加。该通量在真光层底部为 $1.68 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,且马丁曲线垂向衰减系数b值为1.14,与北太平洋多年的现场观测平均值(POC 通量= $1.63 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $b=1.19$)接近(图1c)。上述结果表明涡旋在加强期能增加POC的输出通量,但是,并没有增强POC通量在弱光层的传输效率。

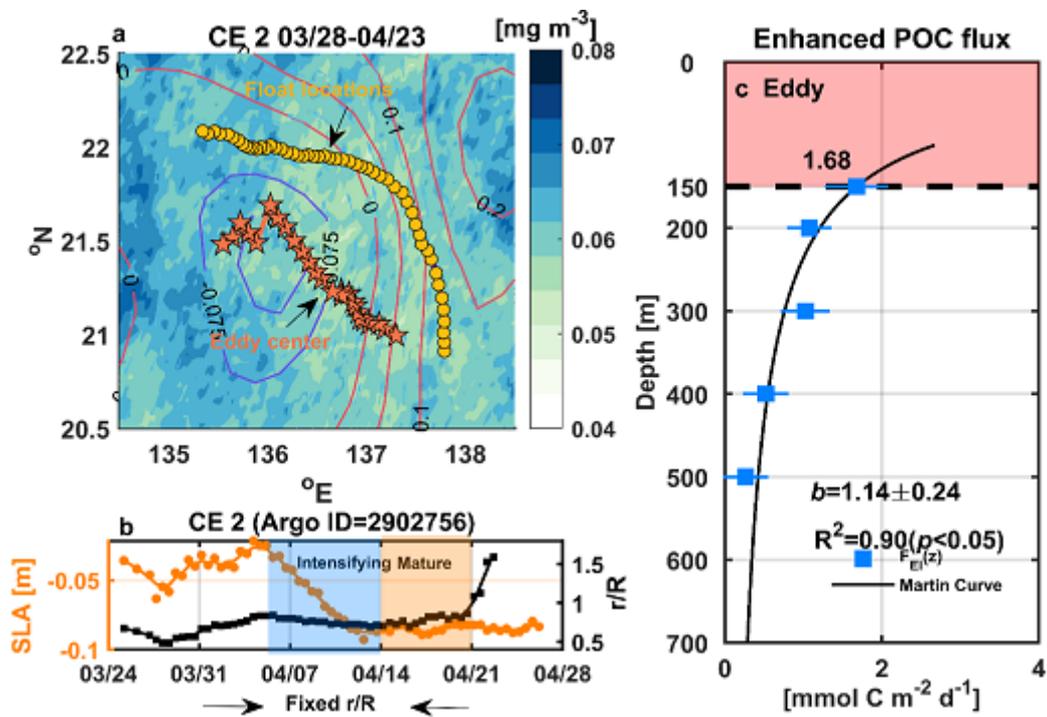


图1. 中尺度涡旋加强期弱光层POC通量及其传输效率。(a) 涡旋中心和BGC-Argo的连续轨迹;(b) BGC-Argo在涡内相对位置及海表高度时间序列;(c) 涡内POC通量在弱光层的分布及马丁曲线拟合结果。

动力诊断揭示亚中尺度锋面存在加强和衰退期(图2a, c),通过分析这两个时期的POC减小速率,得到锋面加强期POC通量的垂向分布和拟合的马丁曲线(图2b)。在锋面加强期,相对于气旋涡,锋面显著增强了真光层底部的POC输出通量,达到了 $2.11 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。此外,马丁曲线衰减系数 b 值为0.56。弱光层底部和真光层底部的POC通量比值(代表输出效率)在锋面加强期、涡旋加强期分别为37%、12%,而历史观测平均值为10%。因此,在亚中尺度锋面加强期内,POC通量在弱光层的传输效率显著高于中尺度涡旋和历史观测平均值。亚中尺度过程通过增加真光层内营养盐的垂向供给,促进局地大浮游植物(如硅藻)的生长,导致较大颗粒物快速沉降(图2d),可能是其提高POC通量传输效率的潜在机制。除此之外,物理潜沉作用在弱光层的上层对POC通量传输效率的加强也有一定的贡献。

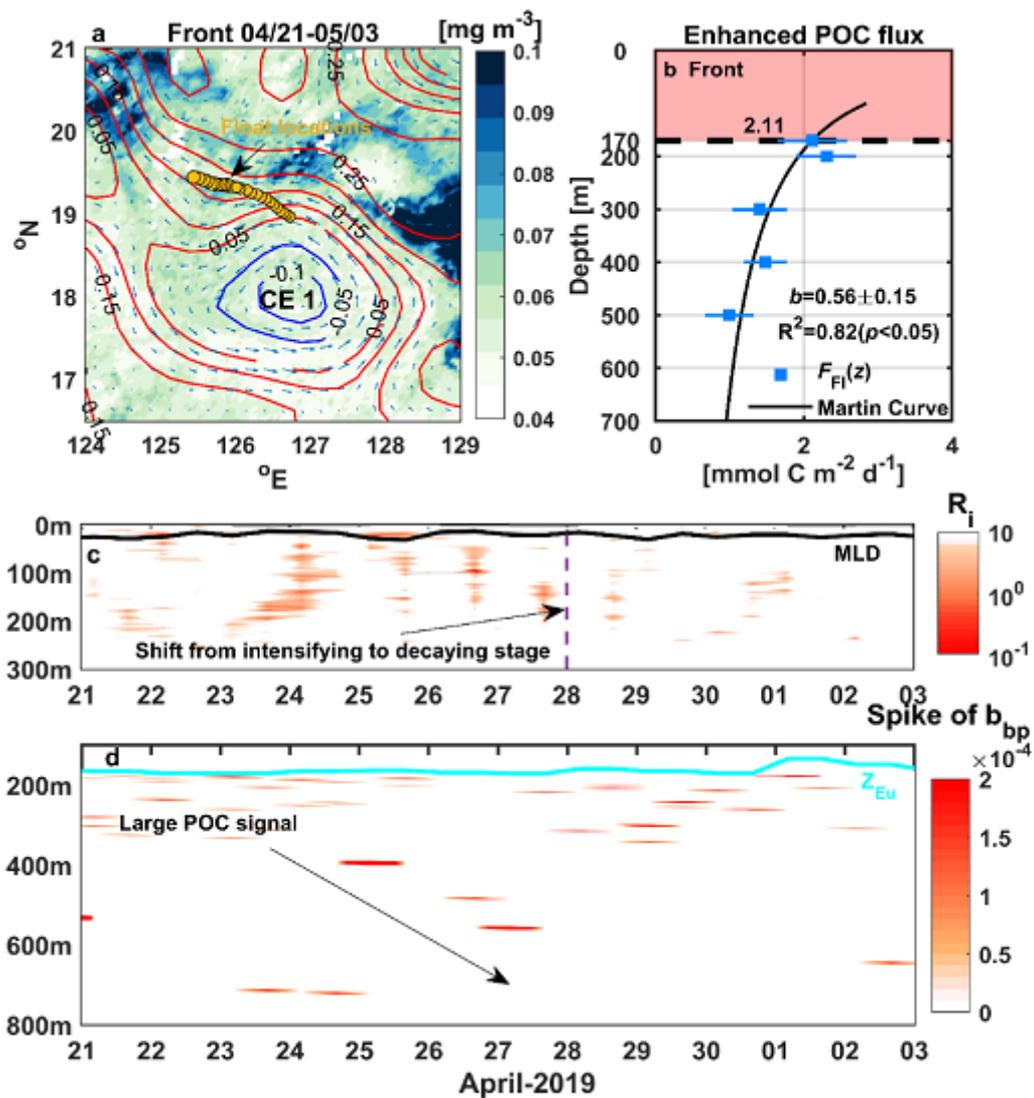


图2. 亚中尺度锋面加强期弱光层POC通量及其传输效率。(a) 锋面上BGC-Argo的连续轨迹;(b) 锋面POC通量在弱光层的分布及马丁曲线拟合结果;(c) 理查森数(R_i)的时间序列;(d) 颗粒物后向散射系数(b_{bp})spike的时间序列。

利用副热带流涡区衰减系数(b 值)的历史观测数据与反映锋面强度的温度梯度进行回归分析,发现 b 值与温度梯度呈现明显的负相关关系,表明锋面强度增强会引起 b 值的降低(图3)。与以往研究经常分析的 b 值与温度的关系(主要解释POC的矿化过程)有所不同, b 值与温度梯度的关系可以解释POC的生产过程。将此线性关系扩展至副热带流涡区,发现本研究计算得到的平均 b 值与观测更为接近。在海盆尺度上的计算表明,忽略亚中尺度过程可能造成对副热带流涡区深海碳通量的低估达20%~58%。

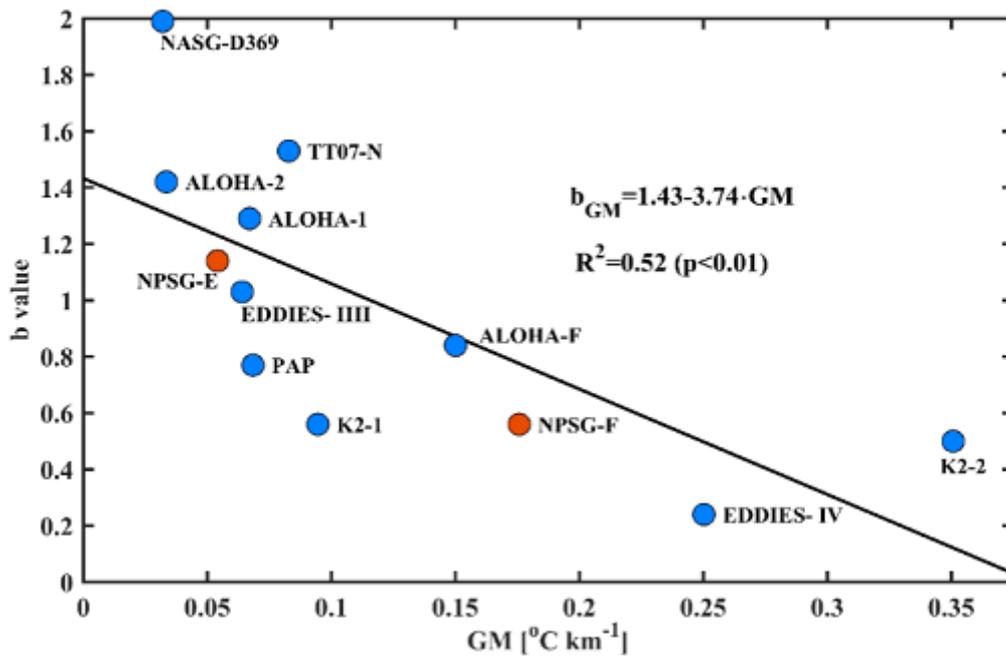


图3. 副热带流涡区马丁曲线衰减系数(b值)历史观测值和海表温度梯度的线性回归关系。

北太平洋副热带流涡区是全球海洋CO₂的主要汇区之一。目前大部分现场观测或数值模式未考虑海洋亚中尺度过程的影响,这给副热带流涡区的生物碳泵估算带来很大的不确定性。本研究通过BGC-Argo高频观测捕捉并量化事件性的海洋中小尺度过程对局地POC输出通量和传输效率的影响,揭示了亚中尺度动力过程对副热带流涡区生物碳泵效率的加强作用。副热带流涡区是海洋中小尺度动力过程活跃的区域,因此,该研究结果强调了考虑亚中尺度过程对于准确估算副热带流涡区固碳和储碳能力的重要性。

该研究获得国家自然科学基金(41890805, 42376154, 42376117)、重点研发计划(2022YFE01366 00,2022YFC3105303)及广东省自然科学基金(2022A1515011876)等项目的联合资助。

相关论文信息:Mingxian Guo, Xiaogang Xing, Peng Xiu, Giorgio Dall'Olmo, Weifang Chen, & Fei Chai. Efficient biological carbon export to the mesopelagic ocean induced by submesoscale fronts. *Nature communications*, **15**, 580 (2024).

论文链接:<https://doi.org/10.1038/s41467-024-44846-7>



版权所有 © 中国科学院南海海洋研究所 备案序号: 粤ICP备05007992号



地址: 广州市海珠区新港西路164号 邮编: 510301

Email: webmaster@scsio.ac.cn 电话: 020-84452227 (综合办) 传真: 020-84451672



官方微信



官方网站



本网站及其文字内容归中国科学院南海海洋研究所所有，任何单位及个人未经许可，不得擅自转载或他用。

