

李艳霞, 杨凌霄. 黄、东海秋季水体溶解无机碳稳定同位素组成特征及其指示意义[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(8): 96-98.

LI Yanxia, YANG Lingxiao. Stable isotopic composition of dissolved inorganic carbon in autumn waters of the Yellow Sea and East China Sea and its indicative significance[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(8): 96-98.

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.092

黄、东海秋季水体溶解无机碳稳定同位素组成特征及其指示意义

李艳霞, 杨凌霄

(山东大学环境研究院, 青岛 266237)

0 引言

海洋是重要的碳汇, 空气中的 CO_2 持续通过海-气界面被水体吸收, 在降低大气 CO_2 含量的同时也导致海水酸化, 由此也导致水体中溶解无机碳(DIC)的 ^{13}C 同位素组成逐渐偏负^[1]。全球不同海域因为初级生产力、水团循环的差异, 导致其 $\delta^{13}\text{C}$ 组成差异显著。 $\delta^{13}\text{C}$ 也成为评估人为活动释放 CO_2 对海洋水体 DIC 影响程度的关键指标之一。

对于陆架海来说, CO_2 的源汇格局存在较大的时空差异, 在一些低纬度沿海区域, 由于高温和高陆源有机碳输入, 可能会释放 CO_2 ; 而在一些远离河口的开阔陆架海区域, 由于受大洋深层水营养盐和无机碳(DIC)的输入, 也会成为 CO_2 释放源^[2]。因此, 掌握陆架海水体不同深度中 $\delta^{13}\text{C}$ 的组成特征是揭示自然过程与人为活动对碳循环影响的关键环节之一。

中国陆架海是全球陆海作用最为强烈的区域之一, 在接收大量陆源输入的同时也受到大洋水体的强烈影响, 研究该区域中的 $\delta^{13}\text{C}$ 空间分布特征对于揭示陆海交互过程中陆源碳的迁移、海洋生物对碳的吸收等过程具有重要意义。

1 研究区概况

中国黄海与东海, 作为关键的陆架海区域, 在

碳循环中发挥着不可或缺的作用。黄海为半封闭的浅海, 受丰富大陆陆源物质输入的影响, 其碳循环过程时空差异显著。东海则是一个较为开阔的边缘海, 连接太平洋和黄海, 通过水团的混合与交换, 促进了深层碳向表层的输送。这两个海域通过生物地球化学过程, 如光合作用和呼吸作用, 实现了碳在海洋中的循环与转化, 不仅影响着海洋生态系统的健康, 也对全球气候变化产生深远影响。深入研究这两大海域的碳循环过程, 对于理解海洋生态系统的结构与功能、保护海洋环境以及应对全球气候变化具有重要意义。

2 样品采集

于 2022 年 10 月 24 日—11 月 20 日搭载“北斗号”利用多通道采水器采集了黄、东海共 62 个站位的表层、20 m 层和底层海水样品(图 1), 其中 20 m 层样品仅限于水深 >20 m 的站点。各层位样品采集后, 用注射器吸取一定体积的样品, 经 $0.45\ \mu\text{m}$ 孔径针头滤膜过滤后装入 2 mL 棕色样品瓶中, 样品瓶中事先加入 $10\ \mu\text{L}$ 饱和 HgCl_2 溶液, 装满水样后密封, $4\ ^\circ\text{C}$ 冷藏保存至回实验室测试, 确保测试结果不受微生物和运输过程影响^[3]。

DIC 稳定同位素组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)测试采用美国 Thermo Fisher 公司生产的 MAT 253 型 GasBench II-IRMS 仪进行。流程如下: 在 12 mL 圆底顶空玻璃样品瓶中加入无水磷酸, 密封后高纯氮气吹扫 300 s 排除空气。排空处理后, 用注射器加入 0.5 mL 的海水样品, 混匀后于 $26\ ^\circ\text{C}$ 恒温 12 h, 以使 DIC 完全转化为 CO_2 气体。顶空气进行 C 稳定同位素测定, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 值以国际标准 VPDB 作为参考, 分析精度优

收稿日期: 2024-04-19

资助项目: 青岛市自然科学基金(23-2-1-224-zyyd-jch)

第一作者: 李艳霞(1986—), 女, 博士, 实验师, 主要从事海洋环境化学方面的研究工作。E-mail: liyanxia@sdu.edu.cn

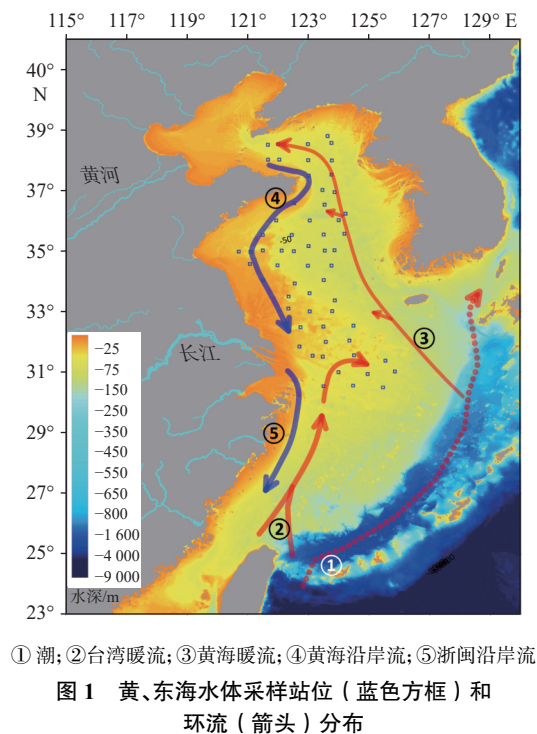


Fig.1 Distribution of sampling stations (blue boxes) and currents (arrows) in the Yellow Sea and East China Sea

于 0.10‰。

3 结果与讨论

3.1 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 分层分布特征

针对海水中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的研究已持续半个世纪^[4]。现有数据显示, 中低纬度表层海水的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 高于

高纬度表层海水。在全球海洋中, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 随水深增加逐渐降低, 直至超过一定深度后基本保持稳定。这主要是因浮游植物光合作用将 DIC 转化为有机碳。在光合作用中, 优先使用 ^{12}C , 导致残留 DIC 中的 ^{13}C 逐渐富集。浮游生物光合作用形成的贫 ^{13}C 有机碳会随着生物粪便或死亡生物残骸沉入深层水体, 有机碳进入深层水体后分解释放出贫 ^{13}C 的 DIC。除了生物效应外, 细菌、热液和冷泉也对海水中 DIC 同位素组成有所贡献^[5]。近年来, 由于大量的化石燃料释放的 CO_2 被海洋吸收, 导致了显著的海洋酸化、碳酸盐补偿深度变浅和表面海水中 DIC 的 ^{13}C 持续稀释。近几十年来, 进行了许多关于海洋剖面 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 调查和长期固定站点监测, 以追踪人为释放的 CO_2 对海洋碳池的影响。根据 1970—1990 年可用观测数据, 在该时期内 ^{13}C 同位素确实可以追踪到人为 CO_2 在海洋中的吸收情况^[1]。

如图 2 所示, 根据黄海 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的分布特征, 可从 35°N 分成南北 2 个不同的区域。在南部区域中, 值整体较低, 并且表、中、底层差异不显著, 表明该区域中接收了大量的陆源无机碳, 随长江冲淡水与台湾暖流交汇后进入黄海中部区域。而在北部区域, 整体值偏高, 表明其受陆源输入的影响相对较小, 该区域虽接收大量的黄河输送物质, 但是在漫长的输送过程中, 颗粒物逐渐沉降, 生物活动逐步占主导, 陆源 ^{12}C 不断被消耗, 使得残留在水体中的 ^{13}C 相对较高。这也表明, 北部区域可能是 CO_2 的汇, 而南部区域可能是 CO_2 的源。

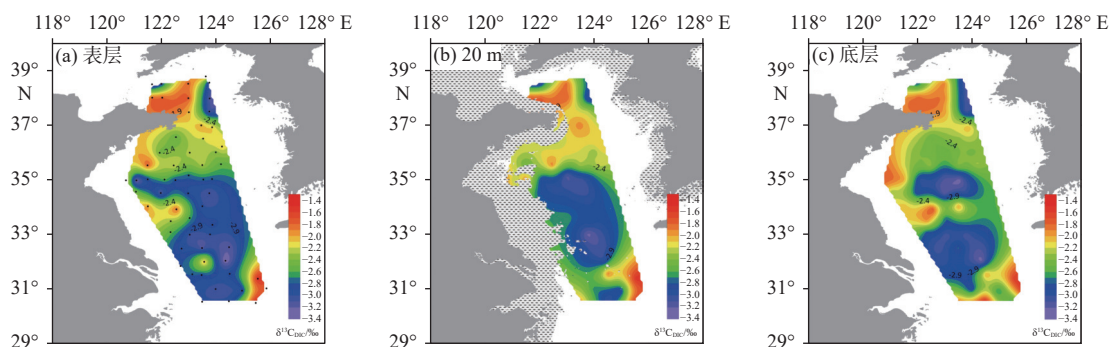


图 2 黄东海不同深度水体溶解无机碳稳定同位素组成分布

Fig.2 Distribution of stable isotopic composition in dissolved inorganic carbon at different depths

整个区域中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的分层特征不明显, 未呈现出类似大洋中从表层至底层逐渐降低的趋势,

主要是因陆架海中复杂的水动力环境使得各层之间混合相对均匀, 同时因水深较浅, 表层水体沉降

至深层的贫 ^{13}C 有机碳无法及时分解。研究区东南部陆架与大洋水体交汇区域 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 差异明显,大洋水体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 相对较高,而受河流输入的陆架水体中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 明显偏低。这一现象表明,大洋水体主要从深层进入陆架海,长江冲淡水主要沿上层向外部扩散。

3.2 陆架海与大洋 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 差异分析

边缘海域的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 大多数情况下 $<-0.5\text{‰}$ (平

均为 -0.87‰),明显比世界上开放海洋中的值更负(图3)。尽管不同海洋之间存在一些 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的差异,特别是随着水深变化而有明显差异,但基本上都 >0 。中国陆架海域的水团主要来自洋流的海洋水和周围河流带来的淡水2个部分。全球河流中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 的平均值为 -11.6‰ ^[6]。这表明中国边缘海域,包括远离中国大陆的黄海中部甚至靠近冲绳海槽外陆架区域,受到了来自陆地无机碳输入的明显影响。

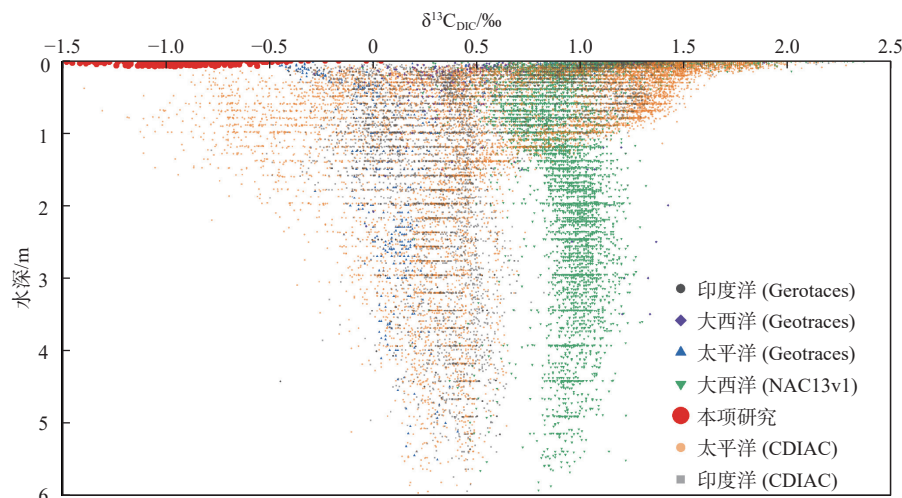


图3 不同海域水体DIC稳定同位素组成数据对比

Fig.3 Comparison among stable isotope composition data of dissolved inorganic carbon (DIC) from water samples collected from different marine areas

4 结论

$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 是指示陆架海溶解无机碳来源及碳循环特征的有效指标。该研究结果显示黄东海DIC来源和循环存在显著差异,35°N以南河流输入的影响明显,呈现明显的自长江口向外扩散特征;35°N以北河流影响相对较低, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 偏负表明水体DIC被水体生物消耗明显,该区域可能是重要的碳汇。从表层至底层 $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ 差异不明显,与大洋水体的垂向分布特征存在较大差异。

致谢: 本研究的样品采集自青岛海洋科学与技术试点国家实验室深远海科学考察船队共享航次,该航次由中国水产科学研究院黄海水产研究所“北斗”号实施,在此一并致谢。

参考文献:

[1] EIDE M, OLSEN A, NINNEMANN U S, et al. A global estim-

ate of the full oceanic ^{13}C Suess effect since the preindustrial[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2017, 31(3): 492-514.

[2] DAI M H, CAO Z M, GUO X H, et al. Why are some marginal seas sources of atmospheric CO_2 ?[J]. *Geophysical Research Letters*, 2013, 40(10): 492-514.

[3] OLACK G A, COLMAN A S, PFISTER C A, et al. Seawater DIC analysis: the effects of blanks and long-term storage on measurements of concentration and stable isotope composition[J]. *Limnology and Oceanography (Methods)*, 2018, 16(3): 1-20.

[4] TAMŠE S, OGRINC N, WALTER L M, et al. River sources of dissolved inorganic carbon in the gulf of Trieste (N Adriatic): stable carbon isotope evidence[J]. *Estuaries and Coasts*, 2015, 38: 151-64.

[5] ZHANG X R, SUN Z L, FAN D J, et al. Compositional characteristics and sources of DIC and DOC in seawater of the Okinawa Trough, East China Sea[J]. *Continental Shelf Research*, 2019, 174: 1-10.

[6] 单森, 齐远志, 罗春乐, 等. 中国主要河流输送陆源碳的同位素特征及影响因素[J]. *地球科学进展*, 2020, 35(9): 948-61.