

乳山宫家岛以东牡蛎养殖水域秋季 海—气界面 CO₂ 交换通量研究

蒋增杰^{1*}, 方建光¹, 王巍¹, 李加琦¹, 孟伟², 谭林涛², 侯仕营²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;

2. 乳山市水产技术推广站, 山东 乳山 264500)

摘要: 为探讨规模化贝类养殖对海—气界面 CO₂ 交换通量的影响, 选择山东乳山市宫家岛以东太平洋牡蛎养殖水域作为研究区域, 根据 2011 年 10 月大面调查获得的 pH、总碱度(TA)、叶绿素 a 等基础数据, 分析了该区域表层海水溶解无机碳(DIC)体系各分量的浓度、组成比例及平面分布特征, 估算了海—气界面 CO₂ 的交换通量, 定量了浮游植物的固碳贡献。结果表明, 秋季乳山宫家岛以东牡蛎养殖水域表层海水 DIC 浓度范围 1 953.20 ~ 2 130.74 μmol/L, 平均值(2 048.73 ± 57.19) μmol/L; HCO₃⁻ 是 DIC 的主要成分, 占 88.25%; 表层海水 pCO₂ 范围为 220.08 ~ 262.29 μatm, 平均值(246.46 ± 23.00) μatm; 该区域秋季海—气界面 CO₂ 交换通量在 -53.78 ~ -21.93 mmol/(m² · d), 平均值为 -42.09 mmol/(m² · d), 表现为强的 CO₂ 汇; 该区域浮游植物的固碳强度变化范围为 460.27 ~ 725.64 mg/(m² · d), 平均为 (593.27 ± 91.98) mg/(m² · d), 海—气界面较强烈的 CO₂ 交换通量主要由浮游植物的光合作用贡献; 养殖区与对照区海—气界面 CO₂ 交换通量差异不显著, 表明太平洋牡蛎呼吸、钙化生理活动释放的 CO₂ 对海—气界面 CO₂ 的交换影响不大。

关键词: 太平洋牡蛎; 浮游植物; 溶解无机碳体系; pCO₂; 交换通量

中图分类号: Q 176; X 55

文献标志码: A

人类活动每年排放的 CO₂ 以碳计为 55 亿 t, 其中海洋吸收了人类排放 CO₂ 总量的 30% ~ 50%^[1]。作为海洋碳循环的关键生物地球化学过程之一, 海—气界面 CO₂ 交换通量的研究是认识 CO₂ 在海水中转移与归宿的基础。目前, 有关海—气界面 CO₂ 交换通量的研究主要集中在外海及一些内湾非养殖水域^[2-5]。随着“碳汇渔业”理念的提出及不断深入, 海水养殖贝类在固碳方面的作用引起了密切关注^[6], 但到目前为止, 有关贝类养殖水域海—气界面 CO₂ 交换通量的研究还很少有报道。本研究根据 2011 年 10 月在乳山宫家岛以东牡蛎养殖水域的大面调查数据, 估算了海—气界面 CO₂ 的交换通量, 并定量了浮游植物的固碳贡献, 研究结果对于认识贝类

养殖活动对局部海区 CO₂ 源/汇格局的影响具有十分重要的科学意义。

1 材料与方法

2011 年 10 月在乳山宫家岛以东太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 养殖水域共设置 11 个大面监测站, 站位设置见图 1。其中, 1 ~ 8 号站位于太平洋牡蛎养殖区外, 9 ~ 11 号站位于养殖区内。利用德国 HYDRO-BIOS 公司 Ruttner 水样采集器采集表层(水下 0.5 m)水样, 迅速导入 500 mL 磨口玻璃瓶, 保存在 4 °C 冷藏样品盒中备用。美国 Thermo Scientific Orion 精密型便携式 pH 计(相对精度 ± 0.01)现场测定 pH(NBS 标度), 美国 YSI Professional Plus 便携式水质分析仪测定水体

收稿日期: 2011-12-12 修回日期: 2012-05-29

资助项目: 国家“九七三”重点基础研究发展规划项目(2011CB409805); 国家自然科学基金项目(41006074); 国家贝类产业技术体系专项(CARS-48)

通讯作者: 蒋增杰, E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn

温度、盐度。总碱度(TA)的测定采用瑞士万通 Metrohm 848 Titrino plus 自动电位滴定仪,测量精度 ± 5 mmol/L。叶绿素 a 含量测定采用日本 ALEC ACLW 叶绿素浊度测定仪,相对精度 ± 0.1 $\mu\text{g/L}$,并与经 0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤后丙酮萃取法获得的叶绿素 a 含量相互校正。透明度的测定采用透明度盘。日出、日落时间由中国天气网 (<http://www.weather.com.cn/weather/101121304.shtml>) 获得。根据 pH、总碱度、温度和盐度计算海水中无机碳体系各分量的浓度和 $p\text{CO}_2$ ^[7]。

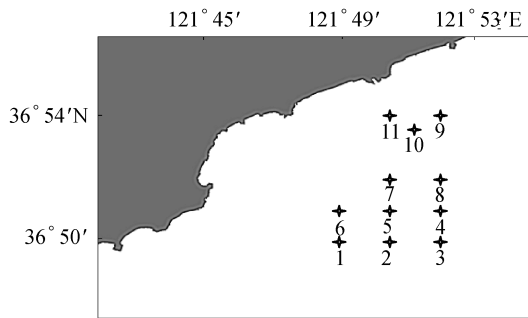


图 1 乳山官家岛以东水域调查站位图
Fig. 1 Investigation stations in East Gongjia Island of Rushan City

浮游植物的固碳强度采用叶绿素估算法中的经验模式法。

$$P = \frac{P_s Z D}{2}$$

式中, P 为真光层浮游植物日光合固碳量 [$\text{mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], P_s 为表层水中浮游植物的潜在生产力 [$\text{mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$], Z 为真光层深度 (m), D 为每日光照时间 (h/d)。

表层水 (1 m 以内) 中浮游植物的潜在生产力 P_s 根据表层水中叶绿素 a 的含量计算:

$$P_s = C_a \times Q$$

式中, C_a 为表层叶绿素 a 的含量 ($\mu\text{g/L}$), Q 为同化系数 [$\text{mg C}/(\text{mg Chl. a} \cdot \text{h})$]。

同化系数 (Q) 是指单位叶绿素 a 在单位时间内合成的有机碳量,是用来表征浮游植物光合作用强度的量值。浮游植物的同化系数在不同的海域、不同季节差异较大,影响因素除了与不同藻类的适应性有关外,还与环境营养盐、光照条件和温度等因素有关。同化系数值利用表层海水温度的关系式估算^[8],具体公式如下:

$$Q = 1.13 (SST < 1.0 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q = 4.00 (SST > 28.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q = 1.2956 + 0.1279 SST + 0.0617 SST^2 - 0.0205 SST^3 + 2.462 \times 10^{-3} SST^4 - 1.348 \times 10^{-4} SST^5 + 3.4132 \times 10^{-6} SST^6 - 3.27 \times 10^{-8} SST^7$$

$$(1 \text{ } ^\circ\text{C} \leq t \leq 28.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

真光层的深度利用透明度进行换算:

$$Z_{eu} = 3.05 \times SDD$$

式中, Z_{eu} 是真光层深度 (m), SDD 是海水透明度 (m)。

海—气界面 CO₂ 交换通量采用公式 $F = k \times \alpha_s \times \Delta p\text{CO}_2$ 进行估算。其中, F 为海—气界面 CO₂ 交换通量 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], F 为负值,则此区域为大气 CO₂ 的汇,即大气中的 CO₂ 溶入到海水中;若 F 为正值,则此区域为 CO₂ 的源,海水中的 CO₂ 向大气释放。 k 是海气界面气体传输速度 (cm/h)。 α_s 为 CO₂ 在海水中的溶解度系数 [$\text{mol}/(\text{kg} \cdot \text{atm})$],是与温度和盐度相关的函数,参照 Weiss (1974) 公式 $\text{Ln } \alpha_s = -58.0931 + 90.5069 (100/K) + 22.2940 \times \text{Ln} (K/100) + S[0.027166 - 0.025888 (K/100) + 0.0050578 (K/100)^2]$ 计算得到, K 为热力学温度。 $\Delta p\text{CO}_2$ 是海水和大气中 $p\text{CO}_2$ 的差值。本研究中将大气 $p\text{CO}_2$ 取值为 361 μatm ,海气界面气体传输速度取大陆架海区的平均值 10.3 ^[9-10]。

利用同质缓冲系数 (homogeneous buffer factor) β 来探讨水体的无机碳动力学,计算公式:

$$\beta = \left(\frac{\Delta p\text{CO}_2}{p\text{CO}_2} \right) \left(\frac{\Delta \text{DIC}}{\text{DIC}} \right)^{-1} = \frac{d\text{Ln}(p\text{CO}_2)}{d\text{Ln}(\text{DIC})}$$

当溶解 CO₂ 是影响无机碳浓度变化的唯一因素时, β 值约为 12;当 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 H_3O^+ 均参与到生物地球化学循环过程中时, β 值会存在相应变化。Frankignoulle^[11] 研究表明,当有机碳代谢 (光合、呼吸作用) 和无机碳代谢 (钙化作用) 同时影响水体无机碳体系时,可以利用公式 $\beta = -7.02 + 0.186 \times \% C_{\text{org}} (R^2 = 0.9994)$ 对有机碳、无机碳代谢所占的比例进行估算,式中, $\% C_{\text{org}}$ 表示有机碳代谢所占的比例。

差异显著性检验及相关关系分析采用 SPSS 10.0 软件,等值线的绘制采用 Surfer 7.0 软件。

2 结果

2.1 表层海水无机碳体系各分量浓度及比例

乳山宫家岛以东水域秋季表层海水中 DIC 浓度及各分量浓度见表 1。从表中可以看出, DIC 浓度变化范围为 1 953.20 ~ 2 130.74 $\mu\text{mol/L}$, 平均值 (2 048.73 \pm 57.19) $\mu\text{mol/L}$; HCO_3^- 浓度变化范围为 1 743.16 ~ 1 874.03 $\mu\text{mol/L}$, 平均值 (1 807.77 \pm 47.81) $\mu\text{mol/L}$; CO_3^{2-} 浓度变化范围

为 200.33 ~ 256.65 $\mu\text{mol/L}$, 平均值 (232.09 \pm 20.01) $\mu\text{mol/L}$; CO_2 浓度变化范围为 7.80 ~ 10.59 $\mu\text{mol/L}$, 平均值 (8.87 \pm 0.80) $\mu\text{mol/L}$ 。从 DIC、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 平均浓度来看, 非养殖区高于养殖区, 而 CO_2 平均浓度养殖区高于非养殖区, 所有分量养殖区与非养殖区差异不显著 (t -test, $P > 0.05$)。 HCO_3^- 是 DIC 的主要组成成分, 占 88.25%, CO_2 所占比例最低, 仅为 0.43%。

表 1 表层海水无机碳体系各分量浓度

Tab.1 Concentration of carbonate system parameters in the sea surface of survey area		$\mu\text{mol/L}$			
		DIC	HCO_3^-	CO_3^{2-}	CO_2
养殖区 culture area	范围 range	1 953.20 ~ 2 040.85	1 743.16 ~ 1 791.80	200.33 ~ 240.95	8.10 ~ 9.61
	平均值 \pm 标准差 mean \pm SD	1 993.53 \pm 44.24	1 770.52 \pm 24.89	213.99 \pm 23.34	9.02 \pm 0.81
非养殖区 non-culture area	范围 range	2 007.41 ~ 2 130.74	1 752.60 ~ 1 874.03	208.77 ~ 256.65	7.80 ~ 10.59
	平均值 \pm 标准差 mean \pm SD	2 069.43 \pm 48.15	1 821.74 \pm 47.66	238.87 \pm 14.95	8.82 \pm 0.85

2.2 表层海水无机碳体系各分量浓度的平面分布

表层海水无机碳体系各分量的平面分布情况见图 2。从图中可以看出, DIC 浓度分布特征表现为从近海养殖区向外海非养殖区逐渐升高的趋

势, 在养殖区与非养殖交界区域形成一涡旋状高值区; HCO_3^- 与 CO_3^{2-} 的浓度分布特征与 DIC 相似, 呈现出养殖区浓度低, 非养殖区浓度高的特征; CO_2 浓度分布特征与 DIC 相反, 表现为外海非养殖区浓度低, 向近岸养殖区逐渐升高的趋势。

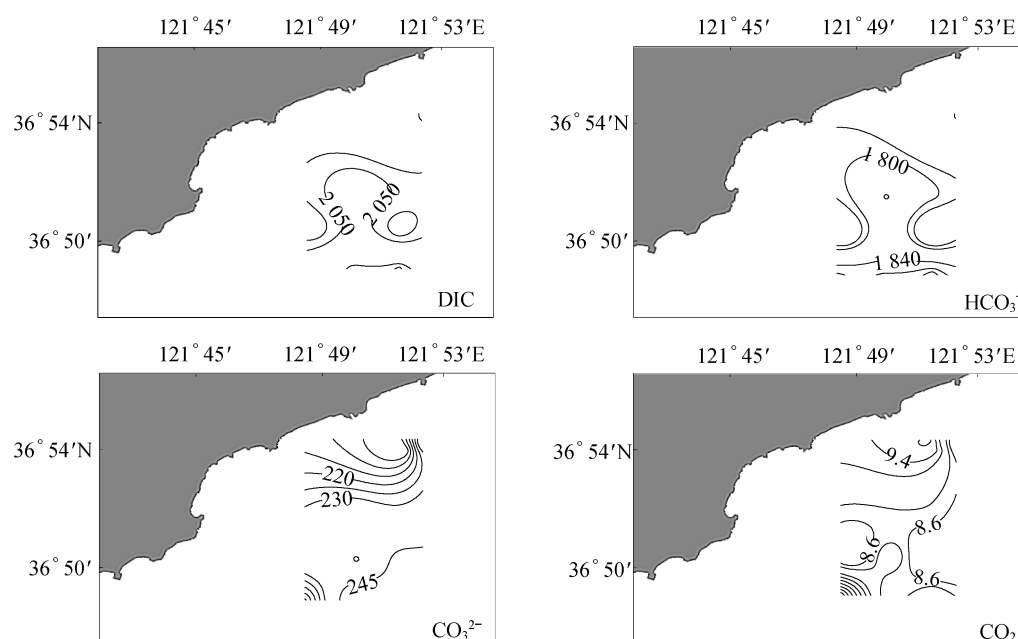


图 2 无机碳体系各分量浓度的平面分布

Fig.2 Horizontal distributions of different DIC forms in survey area

2.3 叶绿素 a 含量平面分布和浮游植物固碳强度

乳山宫家岛以东水域秋季表层海水中叶绿素

a 含量变化范围为 3.68 ~ 5.14 $\mu\text{g/L}$, 平均值 (4.46 \pm 0.53) $\mu\text{g/L}$; 养殖区叶绿素 a 含量平均值为 (4.71 \pm 0.64) $\mu\text{g/L}$, 非养殖区平均值为

(4.36 ± 0.50) $\mu\text{g/L}$ 。从平均含量来看,养殖区高于非养殖区,但差异不显著 ($t\text{-test}, P > 0.05$)。叶绿素 a 含量平面分布见图 3。从图中可以看出,调查区域叶绿素 a 含量呈现自西往东逐渐递增的趋

势,在中部区域形成“涡旋型”低值区。浮游植物的固碳强度变化范围为 $460.27 \sim 725.64 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,平均为 (593.27 ± 91.98) $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,养殖区与非养殖区差异不显著 ($t\text{-test}, P > 0.05$)。

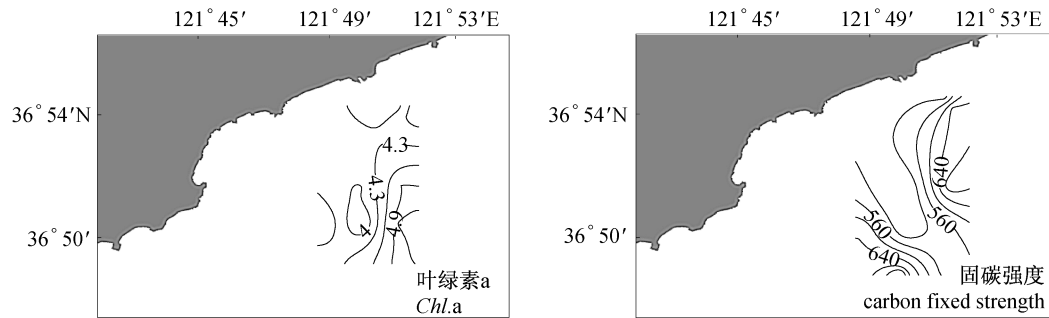


图 3 叶绿素 a 和浮游植物固碳强度平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of Chl. a and carbon fixed strength of phytoplankton

2.4 表层海水 $p\text{CO}_2$ 及海—气界面 CO₂ 交换通量

表层海水 $p\text{CO}_2$ 变化范围为 $219.49 \sim 300.90 \mu\text{atm}$,平均值 (247.80 ± 23.33) μatm ,养殖区与非养殖差异不显著 ($P > 0.05$)。表层海水 $p\text{CO}_2$ 平面分布特征表现为近岸养殖区和外海非养殖区高,中部区域低的特点(图 4)。估算结果表明,该区域秋季海—气界面 CO₂ 交换通量在 $-53.78 \sim -21.93 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间,平均值为 $-42.09 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,表现为强的 CO₂ 汇,且养殖区与非养殖差异不显著 ($P > 0.05$)。

$p\text{CO}_2$ 、CO₂ 交换通量与水环境因子的相关关系见表 2。从表中可以看出, $p\text{CO}_2$ 及 CO₂ 交换通

量与 pH 存在极显著的负相关关系,与叶绿素 a 存在显著的负相关关系。

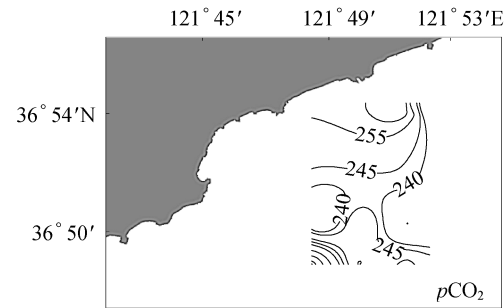


图 4 表层海水 $p\text{CO}_2$ 平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of sea surface $p\text{CO}_2$

表 2 $p\text{CO}_2$ 、CO₂ 交换通量与水环境因子的相关关系
Tab. 2 Pearson correlation coefficients between $p\text{CO}_2$, CO₂ flux and the environmental factor

	水温 T	pH	盐度 S	溶解氧 DO	叶绿素 a Chl. a	溶解无机碳 DIC
$p\text{CO}_2$	0.334	-0.960 **	0.200	-0.540	-0.706 *	0.198
CO ₂ 交换通量	0.402	-0.949 **	0.271	-0.522	-0.643 *	0.238

注: * 表示相关性显著 ($P < 0.05$); ** 表示相关性极显著 ($P < 0.01$)。

Notes: * means the significant correlation ($P < 0.05$); ** means very significant correlation ($P < 0.01$).

2.5 同质缓冲系数 β

该区域水体同质缓冲系数 β 值为 1.487 (图 5),表明太平洋牡蛎的钙化、呼吸作用及浮游植物的光合作用等生物的生理活动参与了碳的地球

化学循环过程,影响水体无机碳动力学的生物生理活动中无机碳代谢(钙化作用)占 55.34%,略强于有机碳代谢(占 44.66%)。

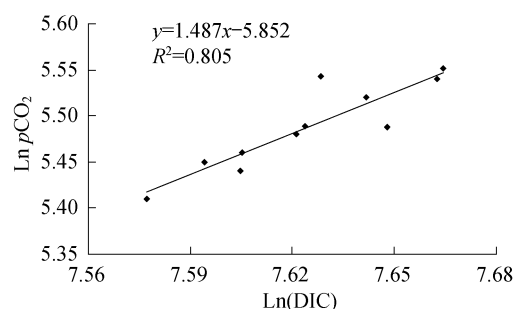


图5 Ln($p\text{CO}_2$)与Ln(DIC)的相关关系

Fig. 5 Plots of Ln($p\text{CO}_2$) versus Ln(DIC) of the aquaculture area

3 讨论

海—气界面 CO_2 交换是海洋碳循环研究中关键的生物地球化学过程之一^[12-13],目前主要以风速和海—气 CO_2 的分压差($p\text{CO}_2$)为主要参数来估算获得海—气界面 CO_2 通量。在浅海养殖生态系统中,浮游植物和养殖贝类是影响 $p\text{CO}_2$ 的重要因素:浮游植物通过光合作用将海水中的溶解无机碳(DIC)转化为有机碳,通过减小海水中 CO_2 分压,直接驱动大气中 CO_2 进入海水的溶解度泵;养殖贝类在形成贝壳的钙化过程利用水体溶解无机碳的同时,与呼吸过程协同释放出 CO_2 ^[14]。本研究结果表明,调查区域秋季海—气界面 CO_2 交换通量平均值为 $-42.09 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,高于同季节东海、黄海、胶州湾、大连湾等水域的研究结果^[15-18],这与该季节调查区域叶绿素 a 含量较高有关。乳山市是胶东半岛最大的牡蛎养殖基地,素有“江北牡蛎之乡”之称,目前,该市太平洋牡蛎年产量 20 余万 t,占乳山市海水养殖总产量的 70% 以上。与其他区域牡蛎养殖方式不同,乳山牡蛎养殖主要采用“秋播春收”的育肥养殖模式,每年 9 月上旬采购外地牡蛎半成品进行筏式吊笼养殖,当年 11 月初陆续收获,直至翌年 4 月底结束,育肥后的牡蛎肉重量由原来只占整个牡蛎总体重量的 5% 至 7%,提高到 14% 至 17%。采用这种“独特”养殖模式主要是基于该区域水体饵料生物丰富的特点,调查期间该区域叶绿素 a 含量为 $3.68 \sim 5.14 \mu\text{g}/\text{L}$,平均值达到 $(4.46 \pm 0.53) \mu\text{g}/\text{L}$, $p\text{CO}_2$ 及 CO_2 交换通量与叶绿素 a 存在显著的负相关关系,表明该区域较高的海—气界面 CO_2 交换通量主要是由浮游植物的光合作用所贡献。养殖区与非养殖区叶

绿素 a 含量差异不显著表明目前该水域养殖太平洋牡蛎的摄食压力尚未对浮游植物群落造成显著影响。

贝类是近海养殖生态系统中的一个重要类群,它在生命过程中通过摄食、呼吸、代谢、钙化等生理活动对近海碳循环有很大影响^[19]。在贝类诸多的生理活动中,与海—气界面 CO_2 交换直接相关的两个生理活动主要是呼吸过程和钙化过程,这两个释放 CO_2 的过程使得贝类在表现为生物碳汇的同时还表现为部分碳源^[20]。贝类的钙化过程可以用反应式 $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 来描述,从反应式来看,每形成 1 mol 的 CaCO_3 ,会吸收 2 mol 的 HCO_3^- ,但同时会释放 1 mol 的 CO_2 。但由于水体存在 CO_2 缓冲体系,释放出 CO_2 的量并不符合化学计量学算法,而依赖于水体的缓冲能力,一般用 ψ 来描述 CaCO_3 生成与 CO_2 释放的比值,研究表明,海水中 ψ 约为 0.6^[21],也就是说每生成 1 mol CaCO_3 的同时,会有 0.6 mol 的 CO_2 进入大气。钙化过程中的 HCO_3^- 来自海洋无机碳库,但生成的 CO_2 经过海水缓冲后会有部分进入大气碳库,因此有学者认为生物钙化是 CO_2 源,甚至有学者认为最近一次冰河间期到工业革命之前大气中 CO_2 浓度的上升可能是由海洋生物钙化所引起的^[22-23]。从本结果来看,养殖区与非养殖区表层海水 $p\text{CO}_2$ 及海—气界面 CO_2 的交换通量差异不显著,说明虽然太平洋牡蛎呼吸、钙化过程释放 CO_2 ,但对该区域海—气界面 CO_2 的交换影响并不显著。

参考文献:

- [1] Siegenthaler U, Sarmiento J I. Atmospheric carbon dioxide and the ocean [J]. Nature, 1993, 365: 119 - 125.
- [2] 谭燕,张龙军,王凡,等. 夏季东海西部表层海水中的 $p\text{CO}_2$ 及海—气界面通量 [J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3): 241 - 244.
- [3] Abdirahman M O, Truls J, Are O, et al. Seasonal and interannual variability of the air-sea CO_2 flux in the Atlantic sector of the Barents Sea [J]. Marine Chemistry, 2007, 104(3 - 4): 203 - 213.
- [4] Urbain K, Nathalie L, Georges K, et al. Surface CO_2 parameters and air-sea CO_2 flux distribution in the eastern equatorial Atlantic Ocean [J]. Journal of Marine Systems, 2010, 82(3): 135 - 144.

- [5] Brostrom G. The role of the annual cycles for the air-sea exchange of CO₂ [J]. Marine Chemistry, 2000, 72: 151 - 169.
- [6] Tang Q S, Zhang J H, Fang J G. Shellfish and seaweed mariculture increase atmospheric CO₂ absorption by coastal ecosystems [J]. Marine Ecology Progress Series, 424: 97 - 104.
- [7] Prieto F J M, Miller O F J. The values of pK₁ + pK₂ for the dissociation of carbonic acid in seawater [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2002, 66 (14): 2529 - 2540.
- [8] 王作华. 黄东海叶绿素 a 和溶解有机碳分布特征及固碳强度初探 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [9] Tsunogai S, Watanabe S, Sato T. Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂? [J]. Tellus B, 1999, 51 (3): 701 - 712.
- [10] 宋金明. 中国近海生物地球化学 [M]. 济南: 山东科技出版社, 2004.
- [11] Frankignoulle M. A complete set of buffer factors for acid/base CO₂ system in seawater [J]. Journal of Marine Systems, 1994, 5 (2): 111 - 118.
- [12] 李宁, 李学刚, 宋金明. 海洋碳循环研究的关键生物地球化学过程 [J]. 海洋环境科学, 2005, 24 (2): 75 - 80.
- [13] 殷建平, 王友绍, 徐继荣, 等. 海洋碳循环研究进展 [J]. 生态学报, 2006, 26 (2): 566 - 575.
- [14] Chauvaud L, Thompson J K, Cloern J E, et al. Clams as CO₂ generators: the *Potamocorbula amurensis* example in San Francisco Bay [J]. Limnology and Oceanography, 2003, 48 (6): 2086 - 2092.
- [15] 张远辉, 黄自强, 马黎明, 等. 东海表层水二氧化碳及其海气通量 [J]. 台湾海峡, 1997, 16 (1): 37 - 42.
- [16] 刘启珍, 张龙军, 薛明. 胶州湾秋季表层海水 pCO₂ 分布及水 - 气界面通量 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40 (10): 127 - 132.
- [17] 胡玉斌, 刘春颖, 杨桂朋, 等. 秋季东海和南黄海表层海水 CO₂ 体系各参数分布及海—气界面通量 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40 (2): 73 - 78.
- [18] 王芹, 关道明, 李明, 等. 大连湾表层海水 CO₂、CH₄ 和 N₂O 的分布及海 - 气交换通量 [J]. 海洋环境科学, 2011, 30 (3): 398 - 403.
- [19] 张继红, 方建光, 唐启升. 中国浅海贝藻养殖对海洋碳循环的贡献 [J]. 地球科学进展, 2005, 20 (3): 359 - 365.
- [20] Claire G, Franck G, Dominique D. Secondary production, calcification and CO₂ fluxes in the cirripedes *Chthamalus montagui* and *Elminius modestus* [J]. Oecologia, 2008, 155 (1): 133 - 142.
- [21] Frankignoulle M, Pichon M, Gattuso J. Aquatic calcification as a source of carbon dioxide [C] // Beran M A (ed.). Carbon sequestration in the biosphere, NATO ASI Series, 133: 265 - 271.
- [22] Frankignoulle M, Canon C, Gattuso J. Marine calcification as source of carbon dioxide: positive feedback of increasing atmospheric CO₂ [J]. Limnology and Oceanography, 1994, 39 (2): 458 - 462.
- [23] Berger. Increase of carbon dioxide in the atmosphere during deglaciation: the coral reef hypothesis [J]. Kurze Originalmitteilungen, 1982, 69 (2): 87 - 88.

Sea-air CO₂ flux in *Crassostrea gigas* aquaculture area of East Gongjia Island, Rushan, Shandong, in autumn

JIANG Zeng-jie^{1*}, FANG Jian-guang¹, WANG Wei¹, LI Jia-qi¹,
MENG Wei², TAN Lin-tao², HOU Shi-ying²

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,
Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Rushan Fishery Technology Popularization Centre, Rushan 264500, China)

Abstract: Recently, several studies indicated that respiration and calcification activities by shellfish represent a net source of CO₂. In order to assess the effect of shellfish aquaculture on the sea-air CO₂ flux, a Pacific oyster *Crassostrea gigas* aquaculture area which is located in East Gongjia Island, Rushan City, was selected as the investigation area. Based on the investigation data of pH, total alkalinity (TA), *Chl. a*, etc. in October 2011, the concentration and horizontal distribution of dissolved inorganic carbon (DIC) system parameters were calculated. Moreover, sea-air CO₂ fluxes and the contribution of phytoplankton to the sea-air CO₂ flux were estimated. Results showed that the DIC concentration of sea surface water ranged from 1 953.20 to 2 130.74 μmol/L, with an average of (2 048.73 ± 57.19) μmol/L; the main component of DIC was HCO₃⁻, which accounted for 88.25%; the pCO₂ ranged from 220.08 to 262.29 μatm, with an average of (246.46 ± 23.00) μatm; the sea-air flux of CO₂ ranged from -53.78 to -21.93 mmol/(m² · d), with an average of -42.09 mmol/(m² · d), which indicated that this area acted as a strong sink of atmosphere CO₂ in autumn; Carbon fixed strength of phytoplankton ranged from 460.27 to 725.64 mg/(m² · d), with an average of (593.27 ± 91.98) mg/(m² · d); the higher sea-air flux of CO₂ was mostly contributed by the photosynthesis of phytoplankton; there was no significant difference between culture area and non-cultured area in sea-air flux of CO₂, which indicated that the respiration and calcification activities of oyster had little effect on the CO₂ flux.

Key words: *Crassostrea gigas*; phytoplankton; DIC system; pCO₂; sea-air flux

Corresponding author: JIANG Zeng-jie. E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn