

Bài báo khoa học

Sử dụng nồng độ Chlorophyll-a và nhiệt độ bề mặt biển từ ảnh vệ tinh để đánh giá phân bố CO₂ trong nước ở biển Việt Nam

Bùi Thị Ngọc Oanh^{1*}, Trần Kiêm Khánh Linh¹

¹ Khoa Vật lý-Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM;
btoanh@hcmus.edu.vn; trankiemkhanhlinh@gmail.com

*Tác giả liên hệ: btoanh@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-907353080

Ban Biên tập nhận bài: 5/5/2022; Ngày phản biện xong: 14/6/2022; Ngày đăng bài: 25/7/2022

Tóm tắt: Phát thải khí nhà kính vào khí quyển, đặc biệt là CO₂, đã góp phần gia tăng nhiệt độ khí quyển chúng ta trên toàn cầu. Khu vực vùng biển nước ta cũng được xem như một bể chứa CO₂ góp phần giải phóng CO₂ vào khí quyển. Do giới hạn về nghiên cứu đo đạc khảo sát CO₂ trên biển cũng như CO₂ trong khí quyển tại gần bề mặt biển, nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu nồng độ chl-a và SST của ảnh vệ tinh Aqua/MODIS (năm 2021) để ước tính pCO₂ bề mặt biển cũng như lượng khí phát thải/hấp thụ ở Biển Đông. pCO₂ tính toán trung bình và thông lượng CO₂ trung bình lần lượt là 425,9 (μatm) và 38,4 (mol/m²/yr). Kết quả nghiên cứu cho thấy các vùng biển nước ta thải khí CO₂ vào khí quyển, qua đó thấy vai trò đại dương qua quá trình trao đổi biển-khí.

Từ khóa: Phân bố CO₂ trong nước; Trao đổi CO₂; Nồng độ chl-a; Nhiệt độ bề mặt biển.

1. Mở đầu

CO₂ là khí nhà kính có ảnh hưởng rõ rệt đến nhiệt độ của Trái Đất, nếu không có sự hiện diện của khí nhà kính, nhiệt độ bề mặt Trái Đất trung bình sẽ lạnh hơn hiện tại khoảng 33°C (59°F). CO₂ không chỉ hiện diện trong bầu khí quyển của Trái đất mà còn có trong các đại dương, biển, sông, hồ, nước ngầm và sông băng. Vào năm 2021, theo Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia của Mỹ (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) với dữ liệu được đo tại Đài quan sát Mauna Loa tại Hawaii cho biết nồng độ CO₂ hiện nay trong khí quyển ở mức trung bình là 418 ppmv [1]. Điều này phần lớn là do phát thải từ việc con người sử dụng nhiên liệu hóa thạch với khí đốt là nguồn chính, CO₂ cũng có thể được phát thải từ các tác động trực tiếp. Trong khi đó, đại dương có vai trò hấp thụ khoảng 30% CO₂ từ phát thải [2]. Đại dương có vai trò kép vừa là bể cung cấp CO₂ cho khí quyển vừa là bể tiêu thụ CO₂ từ khí quyển.

Dựa trên các mô hình nghiên cứu trước đây, nồng độ CO₂ trong khí quyển có thể tăng gấp đôi vào những năm 2030–2050 so với những năm 1700 là 275 ppm [3]. Đến năm 2015, nồng độ CO₂ trong khí quyển đã vượt qua 400 ppmv lần đầu tiên sau 800 000 năm. Nồng độ CO₂ trong khí quyển vào cuối thế kỷ 21 và đầu thế kỷ 22 có thể đạt đến mức lớn hơn hai lần giá trị năm 1700 [3]. Đặc biệt, trong khoảng thời gian 2020 khi tình hình dịch bệnh diễn biến phức tạp, nhiều nơi trên thế giới phải tạm ngưng hoạt động công nghiệp, nông nghiệp, nên khi đó lượng phát thải các khí giảm đáng kể. Theo thống kê thì năm 2020 trong bối cảnh giãn cách xã hội, thì lượng khí CO₂ thải ra đã giảm kỷ lục 1,9 tỉ tấn, tức giảm 5,4% so với năm trước đó. Nhưng dấu hiệu đáng mừng đó chưa kéo dài thì vào năm 2021, khi Thế giới trở lại

hoạt động và với tình thần khôi phục lại nền kinh tế thì với dự báo rằng lượng khí CO₂ thải ra sẽ tăng 4,9% [4]. Sự gia tăng CO₂ trong khí quyển là nguyên nhân gây ra khoảng 2/3 tổng sự mất cân bằng năng lượng khiến nhiệt độ Trái đất tăng lên. [5–6] đã dựa trên dữ liệu tổng hợp hàng năm thu được từ Biển Đông đã đưa lập luận rằng các thêm lục địa ở vĩ độ trung bình và vĩ độ cao ở Bắc bán cầu là một bể chứa CO₂ trong khí quyển. [7] ước tính rằng Biển Đông chứa xấp xỉ 0,43 GtC CO₂ do con người gây ra với độ sâu xâm nhập gần 500 m dựa trên các phép đo hệ thống cacbonat nước biển ở Đông Bắc biển Đông. [7] ước tính thông lượng CO₂ từ biển đi vào khí quyển trung bình trên toàn bộ biển Đông là +0,33 mol CO₂ m⁻²/yr từ năm 1990–2004.

Như đã đề cập, hiện đã có nhiều chuyến khảo sát nghiên cứu về thông lượng CO₂ và biến động của CO₂ với các nhân tố ảnh hưởng trên toàn thế giới. Nổi bật nhất là bản đồ phân bố thông lượng trao đổi CO₂ biển–khí quyển của [9]. Kết quả của nghiên cứu này được mô hình hóa dựa trên số liệu thực đo trên các đại dương lớn từ trước những năm 1970 cho đến 2006 và đưa ra bức tranh chung về trao đổi CO₂ trên toàn cầu theo quy mô khí hậu. Đại dương hấp thụ 1,5–2,0 PgC/yr, tương ứng với 25% lượng phát thải công nghiệp (7 PgC/yr). Điểm nổi bật chính của nghiên cứu của [9] là cho ra bức tranh chung cho trao đổi CO₂ toàn cầu ở các đại dương; nhược điểm là các biển và vùng ven bờ và vùng vĩ độ cao ở từng khu vực không được xét đến. [10] ước tính tổng lưu lượng cacbon ven biển được ước tính là 0,8–1,33 PgC yr⁻¹ và có khoảng 22–38% lượng cacbon hấp thụ trên đất liền (2,9 ± 0,8 PgC yr⁻¹). Tại các vùng thêm lục địa, việc hấp thụ CO₂ được tính lên tới 1 PgC yr⁻¹ hoặc 50% lượng CO₂ hấp thụ của đại dương [11].

Các thêm lục địa nằm từ 0–30° là nguồn phát thải CO₂ vào khí quyển. [10] đã đề cập đến các yếu tố như nhiệt độ, độ mặn đều có ảnh hưởng đến pCO₂ trong biển. Ngoài ảnh hưởng chính là nhiệt độ, pCO₂ trong nước của chịu ảnh hưởng thay đổi mùa. Bên cạnh đó, [13] khi khí CO₂ trong khí quyển tăng lên sẽ ảnh hưởng đến quá trình trao đổi giữa khí CO₂ hấp thụ vào đại dương chuyển sang vật chất hữu cơ cũng như quá trình lắng đọng vật chất khác trong đại dương [13]. [13] đã sử dụng mô hình toán và đưa ra kết luận: đại dương đang hấp thụ lượng CO₂ gấp đôi so với giai đoạn ở thế kỷ 19 nhờ vào sự hiện diện của thực vật phù du tồn tại trong nước biển [13]. Quá trình sản xuất cacbon hữu cơ trong biển dẫn đến giảm pCO₂ và tăng oxy hòa tan và ngược lại. Sự tương quan giữa pCO₂ và oxy hòa tan trong bề mặt đại dương có liên quan đến tình trạng trao đổi chất [14].

Dựa vào số liệu (Bảng 1) thông lượng CO₂ ở giao diện biển–khí quyển cho thấy biển Đông vừa là nguồn cung cấp CO₂ và là tiêu thụ CO₂ tại một số khu vực ở Biển Đông. Hầu hết các dữ liệu trên khu vực Biển Đông có được từ mô hình hoặc từ việc phân tích ảnh viễn thám. Một vài chuyến khảo sát cho kết quả thực đo nhưng nằm ở Biển Bắc Trung Quốc và gần khu vực đảo Hải Nam (Biển Đông). Do thiếu dữ kiện phân bố pCO₂ ở giữa và phía Nam Biển Đông nên nghiên cứu này cung cấp cái bức tranh tổng quát phân bố pCO₂ trên toàn khu vực. [15] đã đề nghị về việc sử dụng vệ tinh ứng dụng trong nghiên cứu phát thải khí nhà kính. Các chuyến đo đạc khảo sát trên biển tốn nhiều kinh phí mà hiện tại việc sử dụng dữ liệu vệ tinh thuận lợi hơn mặc dù có thể có sai số. [16] đề nghị dùng phương pháp viễn thám để tính toán và phân tích phân bố CO₂ trên toàn vùng. Trong các phương pháp nghiên cứu công bố trước đây thì phương pháp mô hình toán và viễn thám dùng dữ liệu vệ tinh là có nhiều thuận lợi nhất hỗ trợ cho nghiên cứu. Nhìn chung, việc sử dụng dữ liệu vệ tinh có tính thuận lợi trong việc đánh giá biến động CO₂ trong nước đối với phạm vi quy mô lớn. Vì vậy, nghiên cứu này nhằm mục đích sử dụng dữ liệu SST và chl-a của ảnh Aqua/MODIS, để giám sát biến động CO₂ trong năm 2021.

Bảng 1. Thống kê thông lượng trao đổi CO₂ ở Biển Đông và vùng biển lân cận.

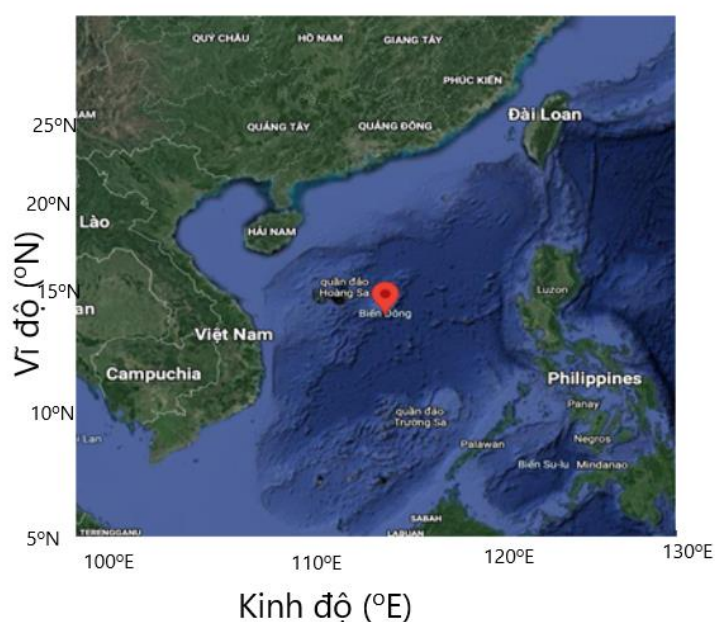
Nghiên cứu của nhóm tác giả	Vùng	Thông lượng
Tsunogai et al. (1999) [5]	Bắc Biển Đông	-2,9 mol m ⁻² yr ⁻¹
Wang et al. (2000) [6]		

Nghiên cứu của nhóm tác giả	Vùng	Thông lượng
Chen and Huang (1995) [7]	Biển Đông	~0,43 Gt C/yr
Chai et al. (2009) [7]	Biển Đông	0,33 mol CO ₂ m ⁻² .yr ⁻¹ .
Rehder and Suess (2001) [17]	Lưu vực Biển Đông	0–1,9mmol m ⁻² d ⁻¹
	Ven bờ phía Nam Biển Đông	0,3–5,5 mmol m ⁻² d ⁻¹
Zhu et al. (2009) [18]	Đông Bắc Biển Đông	7 – 9 mmol CO ₂ m ⁻² .d ⁻¹
	Biển Đông	3,5 mmol CO ₂ m ⁻² d ⁻¹

2. Khu vực và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực Biển Đông là tên gọi riêng của Việt Nam sử dụng, là một phần đại dương của tây bắc Thái Bình Dương, giáp với lục địa Đông Nam Á. Biển Đông là một vùng biển kín được bao bọc xung quanh bởi đảo Đài Loan, quần đảo Philippines ở phía đông; các đảo Indônêxia, Borneo, Sumatra và bán đảo Malaysia ở đông nam và phía nam. Diện tích Biển Đông khoảng 3.400.000 km², độ sâu trung bình khoảng 1140 m và chỗ sâu nhất khoảng 5016 m [19] (Hình 1). Khí hậu Biển Đông có những biểu hiện thuộc khí hậu biển: Mùa hè mát hơn và mùa đông ấm hơn so với trong đất liền [19].



Hình 1. Bản đồ khu vực Biển Đông (Nguồn: Google Earth).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, sử dụng dữ liệu vệ tinh của SST và chl-a áp dụng vào công thức thực nghiệm đã có để tính pCO₂ trong nước ở bề mặt biển.

2.2.1. Dữ liệu

Dữ liệu nồng độ Chl-a trung bình các tháng (năm 2021) trên bề mặt biển được tải tại trang web vệ tinh NEO (Nasa Earth Observation) của NASA (Link: <https://neo.gsfc.nasa.gov/>). Dữ liệu ảnh Aqua/MODIS từng tháng có độ phân giải là 0,25° × 0,25°.

Dữ liệu nhiệt độ bề mặt biển (SST) trung bình các tháng (năm 2021) cũng thuộc Aqua/MODIS có độ phân giải là 0,25° × 0,25° (Link: <https://neo.gsfc.nasa.gov/>).

Cả hai dữ liệu Chl-a và SST của NASA cung cấp từ năm 2002 cho đến nay, định dạng dữ liệu tải về dạng excel. Ở đây, dữ liệu năm 2021 được chọn để tính toán nhằm thấy được giá trị CO₂ hiện tại và biến động CO₂ trong một năm. Các hình ảnh kết quả được vẽ bằng phần mềm ODV (Ocean Data View).

2.2.2. Công thức tính

[18] đã thực hiện khảo sát pCO₂ và các nhân tố lý hóa ở vùng biển nước ta và đưa ra công thức thực nghiệm mối liên hệ giữa pCO₂ với SST và chl-a:

$$\text{pCO}_2 \text{ theo nhiệt độ bề mặt biển} \quad \text{pCO}_2 = 6.34T^2 - 366.65T + 5678.53 \quad (1)$$

$$\text{pCO}_2 \text{ theo nhiệt độ bề mặt biển và SST} \quad \text{pCO}_2 = 6.31T^2 + 61.9\text{chl}a^2 - 365.85T - 94.41\text{chl}a + 5715.94 \quad (2)$$

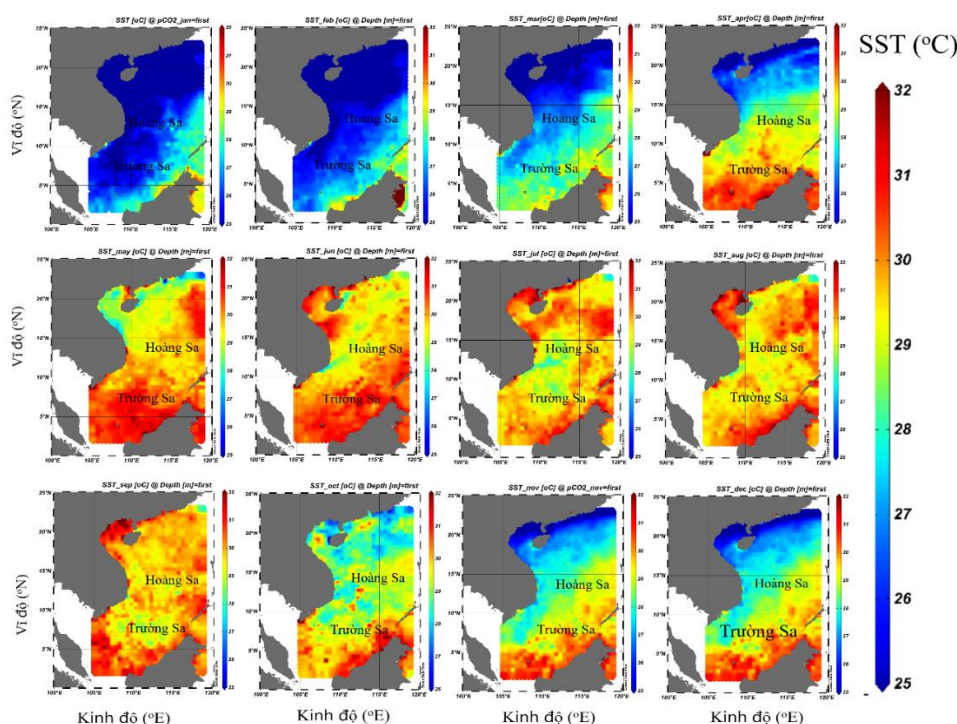
Trong đó pCO₂ là áp suất riêng của CO₂ trong nước biển (μatm), T: nhiệt độ bề mặt biển (°C); chl_a (mg/m³). Với 2 công thức tính khác nhau, nhằm so sánh ảnh hưởng của 2 yếu tố đối với pCO₂ trong nước.

Các công trình nghiên cứu trước đây cũng đã tìm được công thức thực nghiệm giữa pCO₂ và SST, chẳng hạn như [7], [14] nhưng ở khu vực bên ngoài eo biển Đài Loan. Tác giả chọn công thức thực nghiệm của [18] vì nằm trong khu vực Biển Đông nước ta.

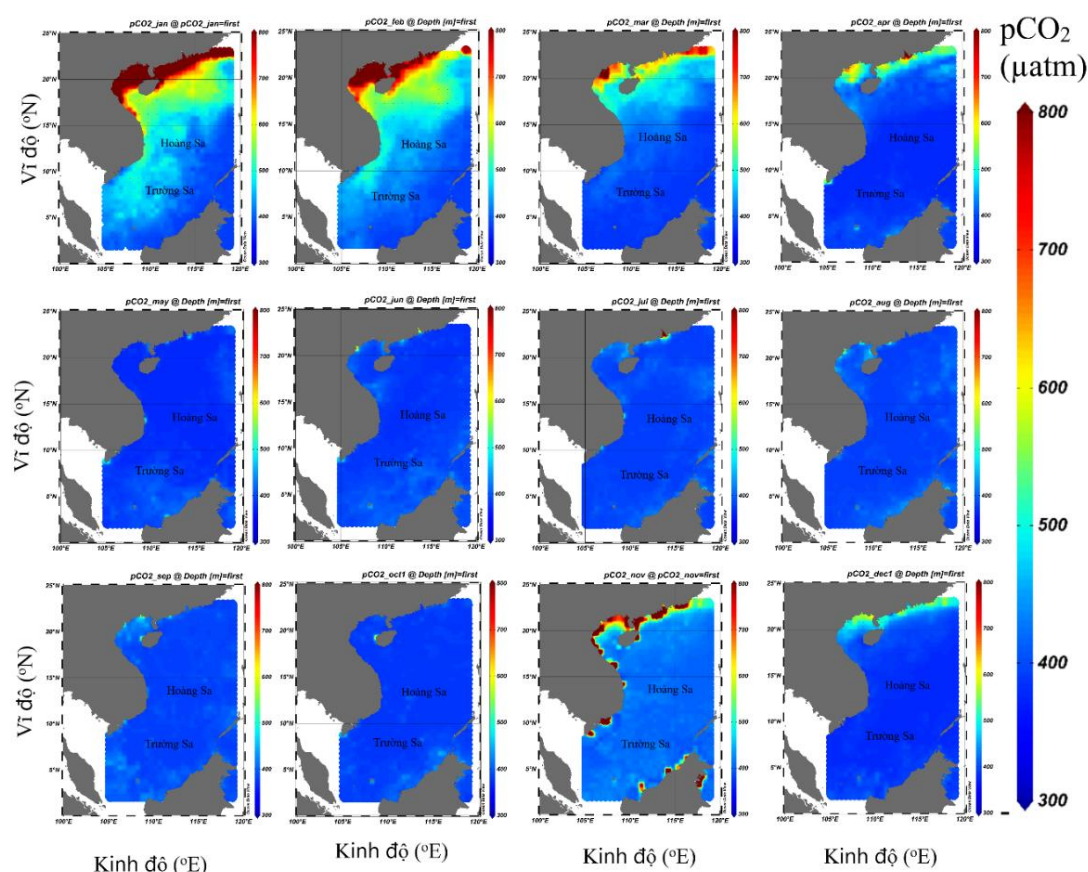
3. Kết quả và thảo luận

3.1. pCO₂ trong nước tính toán từ SST

Phân bố SST từ tháng 1/2021 đến tháng 12/2021 dao động từ 15,3–35°C, trong đó nhiệt độ cực tiểu xuất hiện ở tháng 1 (15.3°C) (Hình 2), giá trị cực đại xuất hiện vào tháng 6 (35°C). Áp dụng công thức (1), pCO₂ tính toán nhỏ nhất có giá trị 377.58 (μatm) và cực đại là 612.28 (μatm) trong năm. pCO₂ trong nước cao ở vùng gần bờ khu vực phía Bắc thuộc Vịnh Bắc Bộ là chủ yếu, sau đó pCO₂ cao dần đến khu vực vùng biển Nam Trung Bộ vào thời điểm tháng 1, 2, 3 và 11. Trong khi đó, các tháng còn lại (tháng 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 và 12) có giá trị pCO₂ thấp trên toàn khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Phân bố nhiệt độ bề mặt biển ở Biển Đông năm 2021.



Hình 3. Phân bố pCO_2 bề mặt biển ở Biển Đông tính theo CT1.

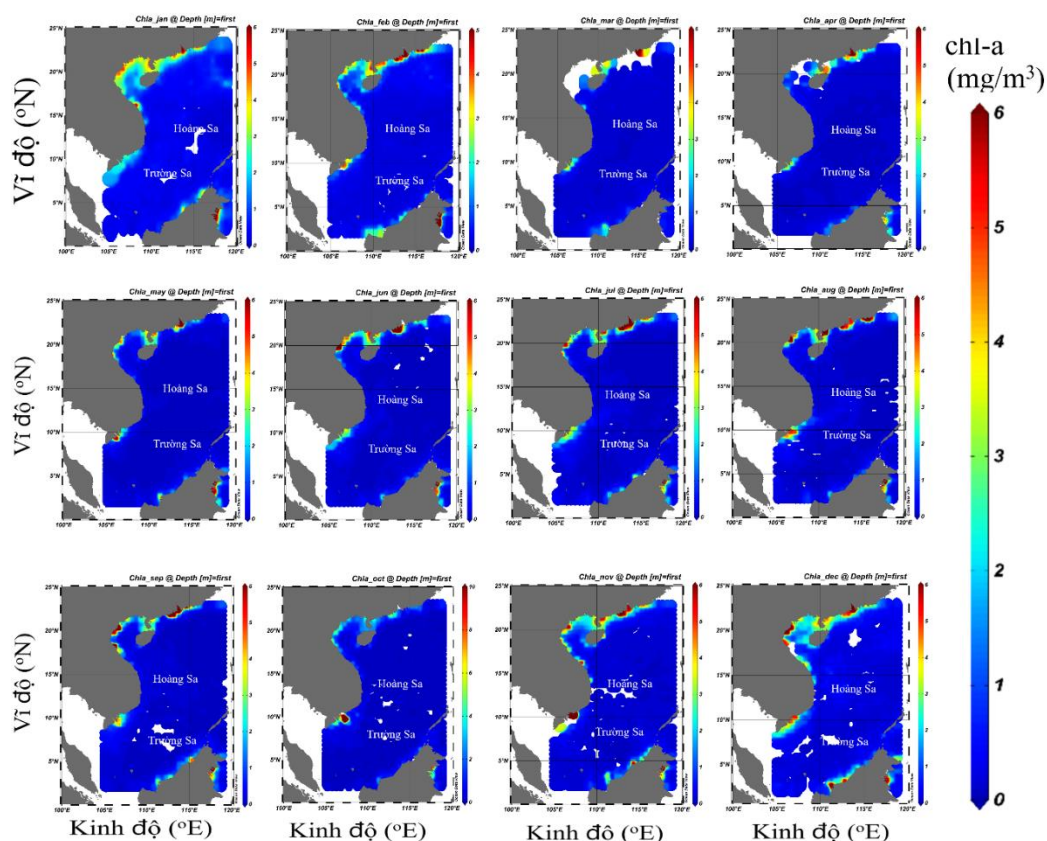
Theo thống kê trung bình các tháng, SST trung bình thấp nhất vào tháng 1 và cao nhất vào tháng 6 (Bảng 2). Ngược lại, giá trị pCO_2 trung bình tháng lần lượt đạt cực đại và cực tiểu là 535,1 (μatm) vào tháng 1 và 390 (μatm) vào tháng 6. Điều này cho thấy, có mối liên hệ ngược giữa SST và pCO_2 , có thể được giải thích là do nước lạnh hòa tan được nhiều CO_2 vào nước hơn so với nước ấm.

3.2. pCO_2 trong nước tính toán từ SST và chl-a

Đối với áp dụng công thức (2) pCO_2 tính toán nhỏ nhất là 380,09 (μatm) và lớn nhất là 1547 (μatm) trong năm. Tương tự, áp dụng công thức (1), giá trị pCO_2 trong nước cao tập trung ở khu vực gần bờ: Vịnh Bắc Bộ ở phía Bắc. Còn ở phía Nam tập trung chủ yếu gần cửa sông MeKong vào khoảng các tháng 11, 12, 1, 2. Đối với các tháng còn lại, pCO_2 không có sự biến động nổi bật.

Theo thống kê, nồng độ chl-a trung bình các tháng trong năm thấp nhất vào tháng 3 và cao nhất vào tháng 1 (Bảng 2). Giá trị trung bình tháng của pCO_2 lần lượt đạt cực đại và cực tiểu là 611,23 (μatm) vào tháng 1 và 429,99 (μatm) vào tháng 4. Điều này cho thấy có mối liên hệ thuận giữa chl-a và pCO_2 , khi có nhiều chl-a hơn thì có nhiều CO_2 trong nước. Cả hai kết quả tính của pCO_2 đều cho giá trị pCO_2 lớn hơn so với các công bố trước đây [5, 7].

Dựa trên kết quả pCO_2 tính toán được, nhìn chung $pCO_2[\text{CT2}]$ (cột gạch chéo) các tháng lớn hơn $pCO_2[\text{CT1}]$ (cột màu trắng) (Hình 6) (Bảng 2). Độ chênh lệch $pCO_2[\text{CT1}]$ và $pCO_2[\text{CT2}]$ được tính là $\%pCO_2 = (pCO_2[\text{CT2}] - pCO_2[\text{CT1}]) / pCO_2[\text{CT1}]$. Từ kết quả tính toán được cho thấy, $\%pCO_2$ trung bình là 12 %, nghĩa là $pCO_2[\text{CT2}]$ cao hơn $pCO_2[\text{CT1}]$ khoảng 12%, nguyên nhân là do ảnh hưởng của chl-a đến pCO_2 trong nước. Khu vực có chl-a cao kết hợp với SST ấm thuận lợi cho quá trình hoạt động sinh học.



Hình 4. Phân bố nồng độ chl-a bề mặt biển các tháng.

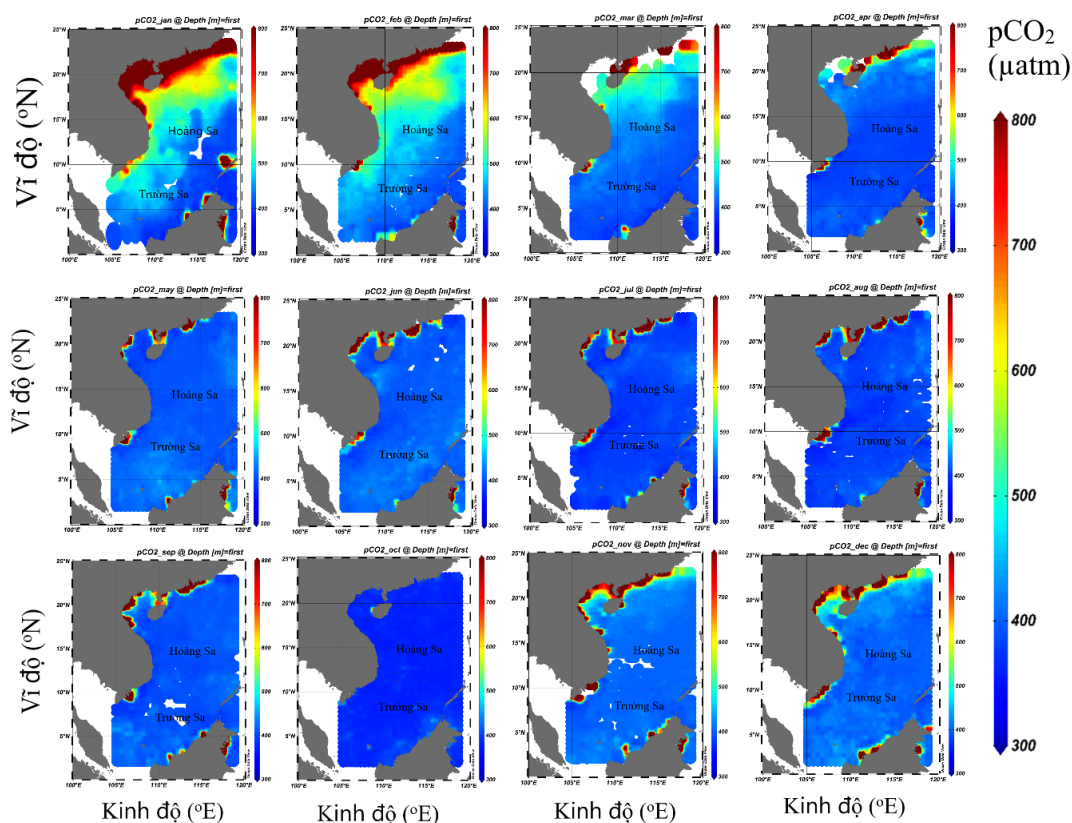
3.3. Đánh giá chung về trao đổi khí ở vùng biển Việt Nam

Để ước tính trao đổi khí CO_2 ở biển–khí quyển cần có giá trị pCO_2 của khí quyển, mà [20] đã có khảo sát ở phía Bắc vùng biển nước ta và giá trị là 354,8 (μatm), sau đó có thể xác định ΔpCO_2 (μatm) và thông lượng trao đổi khí CO_2 . Kết quả tính toán các thông số liên quan đến CO_2 được trình bày trong Bảng 2. Nhìn chung, ΔpCO_2 hầu hết đều có giá trị dương (lớn hơn 0), nghĩa là giá trị pCO_2 trong nước lớn hơn giá trị pCO_2 trong không khí. Vậy vùng biển nước ta nhả khí CO_2 vào khí quyển, tương tự với các nghiên cứu khảo sát trước đây như [7–7, 17–18]. Tuy nhiên, giá trị thông lượng CO_2 là 38.4 ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{năm}$), tương ứng với 1,57 (GtC/yr). Giá trị tính được (1,57 GtC/yr) này lớn hơn so với [7] là 0,29 GtC/yr . Đánh giá phát thải khí ở nghiên cứu này giúp bổ sung bản đồ phân bố CO_2 trên toàn vùng biển nước ta và làm đầy phần khuyết có trong bản đồ phân bố của [9], tuy nhiên cũng còn có hạn chế là sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh nên kết quả tính toán được chỉ cung cấp giá trị tương đối.

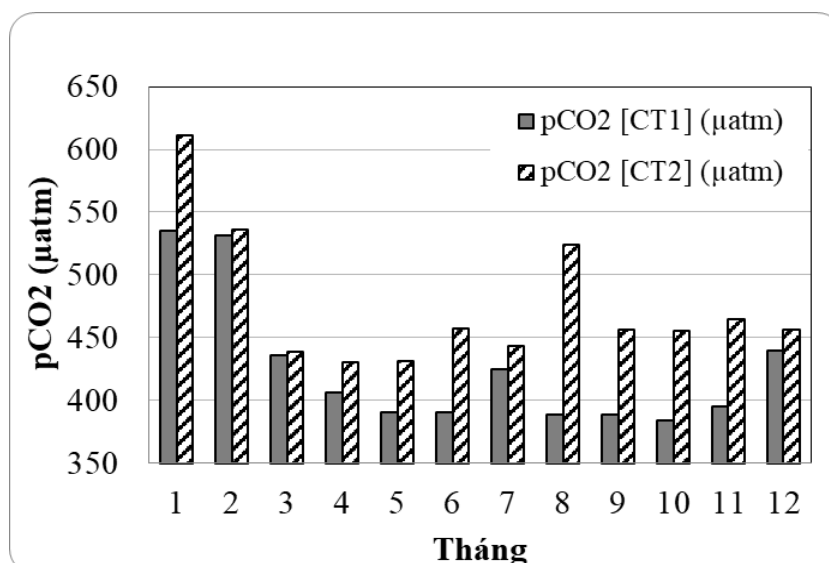
Bảng 2. Giá trị trung bình của nồng độ chl-a, nhiệt độ bề mặt biển (SST), pCO_2 và thông lượng CO_2 tính toán.

Tháng	Chl-a (mg/m^3)	SST ($^{\circ}\text{C}$)	pCO_2 [CT1] (μatm)	pCO_2 [CT2] (μatm)	ΔpCO_2 (μatm)	% pCO_2 (%)	Thông lượng FCO_2 ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{yr}$)
1	0,74	25,09	535,1	611,23	180,3	14,23	89,28
2	0,52	25,51	531,78	536,12	176,98	0,82	88,54
3	0,23	26,88	435,62	439,11	80,82	0,80	41,83
4	0,24	28,42	406,44	429,99	51,64	5,79	27,83
5	0,26	29,95	390,27	431,69	35,47	10,61	19,98
6	0,33	30,11	390,89	456,76	36,09	16,85	20,43
7	0,34	29,84	424,98	443,17	70,18	4,28	39,40

Tháng	Chl-a (mg/m ³)	SST (oC)	pCO ₂ [CT1] (μatm)	pCO ₂ [CT2] (μatm)	ΔpCO ₂ (μatm)	%pCO ₂ (%)	Thông lượng FCO ₂ (mol/m ² /yr)
8	0,38	29,97	388,41	523,71	33,61	34,83	18,94
9	0,36	30,02	388,54	455,87	33,74	17,33	19,05
10	0,39	29,3	384,19	455,41	29,39	18,54	16,24
11	0,47	28,41	395,24	464,87	40,44	17,62	21,79
12	0,59	26,83	439,51	456,00	84,71	3,75	43,79
					71,11	12,12	38,40



Hình 5. Phân bố pCO₂ bề mặt biển các tháng tính theo CT2.



Hình 6. Biểu đồ so sánh pCO₂ trong nước tính toán theo công thức (1), (2).

4. Kết luận

Sau khi áp dụng dữ liệu vệ tinh của SST và chl-a, nghiên cứu đã tính toán pCO₂ theo 2 công thức đã nêu cho vùng biển nước ta. pCO₂ cao hơn khi có sự hiện diện của chl-a so với chỉ có SST. pCO₂ tính toán trung bình theo 2 công thức lần lượt là 425,9 (μatm) và 475,3 (μatm). pCO₂ dưới ảnh hưởng của chl-a cao hơn so với ảnh hưởng của SST khoảng 12%. Thông lượng CO₂ trung bình 38,4 (mol/m²/yr), nghĩa là đại dương nhà khí CO₂.

Từ kết quả thu được, cần có nghiên cứu về đóng góp cũng như vai trò của đại dương đối với khí nhà kính. Hạn chế của công trình nghiên cứu là kết quả có độ chính xác chưa cao, mặc dù chỉ mang tính tương đối nhưng cũng đã cho thấy vùng biển nước ta là nguồn cung cấp CO₂. Do đó, cần có những chuyên khảo sát để đo đạc CO₂ trên biển và các nhân tố hóa lý liên quan nhằm gia tăng chất lượng và độ chính xác cho kết quả. Kết quả nghiên cứu cung cấp thông tin trao đổi khí nhà kính cũng như vai trò đại dương trong trao đổi biển-khí.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.N.O.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: B.T.N.O.; Thu thập dữ liệu: B.T.N.O.; Xử lý và tính toán: B.T.N.O., T.K.K.L.; Viết bản thảo bài báo: B.T.N.O. Chỉnh sửa bài báo: B.T.N.O.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2021-04.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không sao chép từ các nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.
2. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/24/071/24071882.pdf
3. <https://www.britannica.com/science/hydrosphere/Impact-of-human-activities-on-the-hydrosphere>.
4. <https://tuoitre.vn/luong-khi-thai-co2-toan-cau-gan-nhu-tro-ve-muc-truoc-dai-dich-20211104100636745.htm>
5. Shizou, T.; Shuichi, W.; Sato, T. Is there a continental shelf pump for the absorption of atmospheric CO₂? *Tellus* **1999**, 51B, 701–712.
6. Shu-lun, W.; Chen, C.T.A.; Gi-hoon, H.; Chang-Soo, C. Carbon dioxide and related parameters in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.* **2000**, 20, 525–544.
7. Chen, C.T.A.; Ming-Hsiung, H. Carbonate chemistry and the anthropogenic CO₂ in the South China Sea. *Acta Oceanol. Sin.* **1995**, 14(1), 47–57.
8. Fei, C.; Guimei, L.; Huijie, X.; Lei, S.; Yi, C.; Chun-Mao, T.; Wen-Chen, C.; Kon-K.L. Seasonal and Interannual Variability of Carbon Cycle in South China Sea: A Three-Dimensional Physical Biogeochemical Modeling Study. *J. Oceanogr.* **2009**, 65, 703–720.
9. Taro, T.; Stewart, C.S.; Colm, S.; Alain, P.; Nicolas, M.; Bronte, T.; Nicolas, B.; Rik, W.; Feely, R.A.; Christopher, S.; Jon, O.; Yukihiro, N. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Res.* **2002**, II(49), 1601–1622.
10. Tsing-Hsuan, H.; Chen, C.T.A.; Tseng, H.C.; Jang-Yuh, L.; Shu-lun, W.; Liyang, Y.; Selvaraj, K.; Xuelu, G.; Jough-Tai, W.; Edwin, Aldrian; Gusti, Z.A.; Penjai, S.; Wang, B.J. Riverine carbon fluxes to the South China Sea. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* **2017**, 122, 1239–1259.
11. WeiJun, C.; Minhan, D.; Yongchen, W. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins: A province-based synthesis. *Geophys. Res. Lett.* **2006**, 33, L12603. doi:10.1029/2006GL026219.
12. <https://khoahocphattrien.vn/khoa-hoc/muc-khi-carbon-dioxide-cao-nhat-trong-lich-su-nhan-loai/2022060901444598p1c160.htm>.

13. <https://khoahocphattrien.vn/khoa-hoc/dai-duong-hap-thu-nhieu-co2-hon-chung-ta-nghi/20200411091933674p1c160.htm>.
14. Weidong, Z.; Dai, M.; Wei-jun, C. Coupling of surface pCO₂ and dissolved oxygen in the northern South China Sea: impacts of contrasting coastal processes. *Biogeosciences* **2009**, 6, 2589–2598.
15. Stephen, H.; Heather, G. Satellite observations to support monitoring of greenhouse gas emissions, Grantham Institute, Briefing paper No. 16, 2016.
16. Shuping, Z.; Anna, R.; Petra, P.; Marcus, W.B. Remote Sensing Supported Sea Surface pCO₂ Estimation and Variable Analysis in the Baltic Sea. *Remote Sens.* **2021**, 13, 259. <https://doi.org/10.3390/rs13020259>.
17. Gregor, R.; Erwin, S. Methane and pCO₂ in the Kuroshio and the South China Sea during maximum summer surface temperatures. *Mar. Chem.* **2001**, 75, 89–109.
18. Yu, Z.; Shaoling, S.; Weidong, Z.; Minhan, D. Satellite-derived surface water pCO₂ and air-sea CO₂ fluxes in the northern South China Sea in summer. *Prog. Nat. Sci.* **2009**, 19, 775–779.
19. Tô, L.Đ.; Lạp, H.T.; Trục, T.C.; Vinh, N.Q. Quản lý biển. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2004.
20. Weidong, Z.; Minhan, D.; Chen, B.S.; Guo, X.H.; Li, Q.; Shaoling, S.; Zhang, C.Y.; Weijun, C.; Wang, D.X. Seasonal variations of sea - air CO₂ fluxes in the largest tropical marginal sea (South China Sea) based on multiple-year underway measurements. *Biogeosciences* **2013**, 10, 7775–7791.

Using satellite data of chlorophyll-A and sea surface temperature to evaluate dissolved CO₂ distribution in Vietnam

Bui Thi Ngoc Oanh^{1*}, Tran Kiem Khanh Linh¹

¹ Faculty of Physics and Engineering Physics, VNUHCM–University of Science; btnoanh@hcmus.edu.vn; trankiemkhanhlinh@gmail.com

Abstract: Emissions of greenhouse gases into the atmosphere such as CO₂, have contributed to the increasing in the atmospheric temperature. Our coast and sea are also considered as a CO₂ reservoir in the world, contributing to the release of CO₂ into the atmosphere. Due to the limitation of measurement of CO₂ at sea surface as well as CO₂ in the atmosphere near the sea surface. This study used data of chl-a concentrations and SST of Aqua/MODIS satellite images (in 2021) to estimate the sea surface pCO₂ as well as emissions/absorption in the East Sea. Averaged calculated pCO₂ and CO₂ flux are 425.9 (µatm) and 38.4 (mol/m²/yr), respectively. Results provide information on greenhouse gas exchange as well as the ocean's role in sea-air exchange.

Keywords: Distribution of CO₂ in water; CO₂ exchange; chl-a concentration; Sea surface temperature.