

Bài báo khoa học

Biến thiên theo mùa của sinh vật phù du lớp bề mặt vùng Biển Đông sử dụng mô hình sinh địa hóa độ phân giải cao

Trịnh Bích Ngọc^{1*}, Võ Diệu Linh¹, Tô Duy Thái²

¹ Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; trinh-bich.ngoc@usth.edu.vn; volinh111796@gmail.com

² Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; duythaito@gmail.com

*Tác giả liên hệ: trinh-bich.ngoc@usth.edu.vn; Tel.: +84-904903945

Ban Biên tập nhận bài: 8/10/2023; Ngày phản biện xong: 6/11/2023; Ngày đăng bài: 1/2/2024

Tóm tắt: Hệ sinh thái sinh vật phù du - cấp đầu tiên trong lưới thức ăn - đóng vai trò quan trọng trong đa dạng sinh học của vùng Biển Đông. Nghiên cứu mô phỏng sử dụng mô hình kết hợp vật lý/ sinh địa hóa với độ phân giải cao (4 km) áp dụng trên vùng Biển Đông trong các năm 2016/2017 cho thấy biến thiên mạnh theo mùa của nồng độ các chất dinh dưỡng (nitrat, photphat, silicat) và chất diệp lục (Chl-a) lớp bề mặt. Trên phần lớn lưu vực, nồng độ chất dinh dưỡng và chất diệp lục đạt cực đại vào mùa đông và có giá trị thấp nhất vào mùa hè. Tại khu vực nước trời Nam Việt Nam, nồng độ bề mặt các chất dinh dưỡng và Chl-a cao nhất vào mùa hè và thấp nhất vào mùa đông. Nồng độ nitrat, photphat, silicat và Chl-a trung bình lớp bề mặt vùng xa bờ lần lượt là 7,9 mmol/m³, 0,74 mmol/m³, 23,7 mmol/m³, 0,27 mg/m³ vào tháng 12-1; và 7,2 mmol/m³, 0,69 mmol/m³, 21,7 mmol/m³, 0,1 mg/m³ vào các tháng 5-6. Kết quả mô phỏng cũng cho thấy chu kỳ theo mùa tương tự nhau của sinh vật phù du: nồng độ cao vào mùa xuân-hè và nồng độ thấp vào mùa đông.

Từ khóa: Mô phỏng; Mô hình sinh địa hóa; Hệ sinh thái sinh vật phù du; Biển Đông.

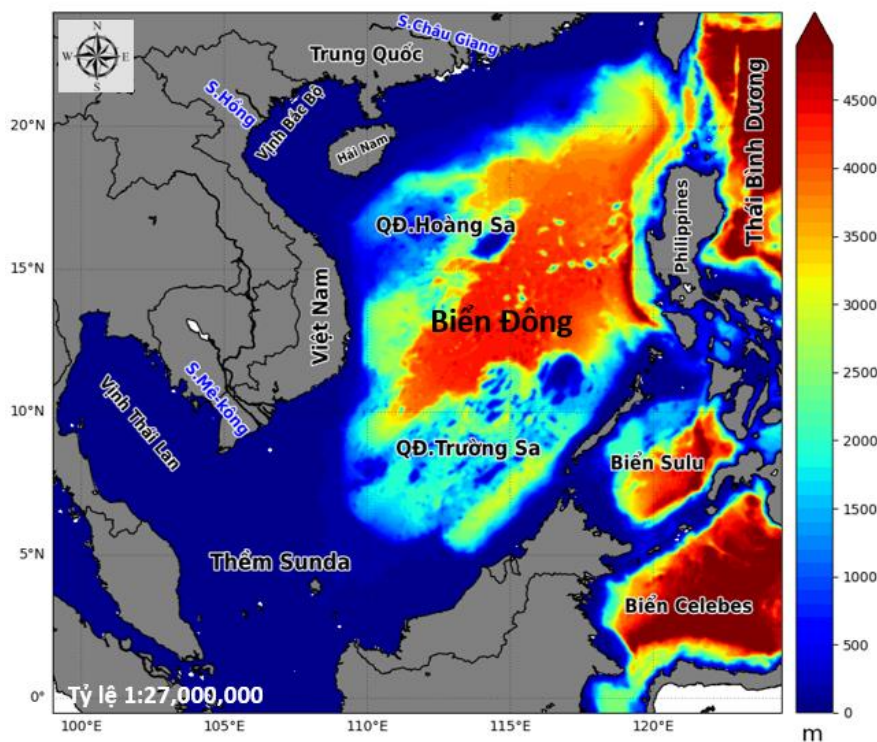
1. Giới thiệu

Biển Đông là vùng biển quan trọng phía Tây Thái Bình Dương dựa trên sự phong phú về đa dạng sinh học cũng như vai trò của nó trong nền kinh tế xã hội của Đông Nam Á. Vùng biển rìa lớn nhất thế giới này là nơi sinh sống của gần 12 nghìn loài sinh vật, từ các rạn san hô, rừng ngập mặn, cỏ biển, cá và thực vật. Các nghiên cứu trước đây cho thấy rằng các tính chất sinh địa hóa và hệ sinh thái ở Biển Đông bị tác động bởi biến thiên khí hậu, lượng nước và dòng chảy của các chất dinh dưỡng từ đất liền và sự xâm nhập của hải lưu Kuroshio [1–4]. Theo nghiên cứu [3], sự xâm nhập của hải lưu Kuroshio vào Biển Đông thông qua eo biển Luzon kiểm soát quá trình nước trời và cung cấp dinh dưỡng trên diện rộng của lưu vực, do đó kiểm soát quá trình sinh trưởng của thực vật phù du. Các đặc điểm sinh địa hóa của Biển Đông có sự thay đổi mạnh theo mùa. Nghiên cứu [5] cho thấy biến thiên mạnh mẽ do gió mùa của nồng độ chất diệp lục bề mặt (Chl-a) và chất dinh dưỡng của Biển Đông ở các vùng nước trời. Cụ thể phía tây bắc đảo Luzon vào mùa đông và ngoài khơi bờ biển phía đông nam Việt Nam vào mùa hè ghi nhận nồng độ Chl-a và chất dinh dưỡng tăng cao ở lớp nước bề mặt. Ở các lớp nước sâu hơn, chất dinh dưỡng được đẩy lên lớp nước bề mặt bởi xáo trộn dọc và chuyển động đi lên được tạo ra bởi hệ thống gió mùa và các xoáy trung bình [6]. Nồng độ dinh dưỡng và sản xuất sinh học cao nhất được ghi nhận ở lớp nước xáo trộn trong khoảng thời gian gió mùa đông bắc thổi (tháng 11 đến tháng 3) [7].

Tại Việt Nam, hầu hết các nghiên cứu về sinh địa hóa khu vực Biển Đông đều tập trung vào quan trắc, phân loại hệ sinh thái, đa dạng sinh học và nghề cá ven bờ [8–10]. Các nghiên cứu chủ yếu tiến hành ở các vùng ven biển trong thời gian ngắn trong khi các quan trắc về biến thiên theo chu kỳ mùa và liên mùa của hệ sinh thái sinh vật phù du trên toàn bộ lưu vực của Biển Đông vẫn còn khan hiếm.

Hệ sinh thái biển và các tính chất sinh địa hóa của Biển Đông chịu tác động mạnh của khí hậu và các hoạt động của con người. Trong những thập kỷ và thế kỷ tới, cùng với đại dương toàn cầu, toàn bộ hệ sinh thái biển ngoài khơi và ven biển của Biển Đông sẽ ngày càng bị tác động mạnh mẽ do sự nóng lên của nhiệt độ nước biển, quá trình axit hóa và khử oxy đại dương [11]. Những thay đổi trong hệ sinh thái biển có thể đe dọa sinh kế của lượng lớn người dân tại các khu vực ven Biển Đông - nơi có mật độ dân cư thuộc hàng đông nhất trên thế giới. Vì vậy, việc nghiên cứu hoạt động và sự biến thiên của các sinh vật phù du - bậc đầu tiên trong lưới thức ăn đại dương là rất quan trọng. Hiểu biết về các đặc điểm sinh địa hóa vùng Biển Đông rất cần thiết cho các ngành thủy hải sản, ngư nghiệp và du lịch. Tuy nhiên, các nghiên cứu khoa học vẫn còn hạn chế, do đặc điểm địa hình rộng lớn và thời tiết phức tạp của vùng biển này, làm gia tăng kinh phí khảo sát đo đạc. Trong khi phương pháp đo đạc các thông số sinh địa hóa còn gặp nhiều giới hạn, phương pháp số sử dụng mô hình ba chiều có độ phân giải cao trở thành công cụ thích hợp để nghiên cứu sự biến thiên của các quá trình sinh địa hóa học. Tuy nhiên, các mô hình được sử dụng vẫn còn khá đơn giản với độ phân giải thấp, hầu hết chỉ nghiên cứu về nồng độ chất dinh dưỡng mà chưa tích hợp hệ sinh thái sinh vật phù du.

Nghiên cứu này sử dụng mô hình độ phân giải cao với mục tiêu khảo sát sự biến thiên theo mùa của một số thông số sinh địa hóa Biển Đông như: nồng độ chất dinh dưỡng và chlorophyll-a, nồng độ của một số loài sinh vật phù du ở lớp bề mặt. Đây là lần đầu tiên lưới tính có độ phân giải cao (4 km) được áp dụng trên toàn bộ vùng Biển Đông, với mô hình sinh địa hóa gồm 35 biến trạng thái thể hiện các nguyên tố sinh học/dinh dưỡng và một số loài sinh vật phù du. Nghiên cứu được tiến hành trong giai đoạn từ tháng 5/2016 đến tháng 5/2017, với mục đích góp thêm một phần hiểu biết về biến thiên sinh địa hóa vùng Biển Đông theo mùa.



Hình 1. Trường phân bố độ sâu (m) và lưới tính áp dụng trên khu vực Biển Đông của mô hình kết hợp SYMPHONIE và ECO-3mS.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Biển Đông trải dài từ kinh tuyến 99° đến 121° Đông và từ đường xích đạo đến vĩ tuyến 23° Bắc (Hình 1). Biển Đông sở hữu địa hình độc đáo với lòng chảo sâu ở trung tâm (độ sâu lên đến 5500 m), bao quanh là các thềm lục địa, các đảo và quần đảo. Hoàn lưu Biển Đông được tạo nên bởi nhiều yếu tố khác nhau: địa hình lưu vực, sự kết nối với Thái Bình Dương và biến thiên của khí quyển [12, 13]. Vào mùa đông, gió mùa đông bắc thổi mạnh tạo ra một vòng hoàn lưu bề mặt trên toàn bộ lưu vực với các dòng xoáy thuận ở cả hai phần phía bắc và phía nam của lưu vực. Vào mùa hè, gió mùa Tây Nam tương đối yếu hơn thổi qua khu vực, dẫn đến cấu trúc một dòng xoáy thuận ở phía bắc và một dòng xoáy ngược ở phía nam [14, 15]. Biển Đông được phân loại là vùng nghèo dinh dưỡng với năng suất sơ cấp thấp [16]. Nitơ là chất dinh dưỡng hạn chế sự phát triển của thực vật phù du trong vùng biển này [17], [18].

2.2. Số liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, mô hình kết hợp tuần hoàn đại dương ba chiều SYMPHONIE [19, 20] và sinh địa hóa biển ECO-3mS [21] được sử dụng để thực hiện mô phỏng. Các mô hình này được phát triển bởi nhóm các nhà khoa học thuộc viện nghiên cứu LEGOS, Cộng hòa Pháp. Mô hình thủy động lực học 3D SYMPHONIE được mô tả chi tiết trong nghiên cứu của nhóm tác giả Tô Duy Thái và Bùi Hồng Long [22]. Mô phỏng vật lý được thực hiện cho khoảng thời gian 10 năm, từ 01/01/2009 đến 31/12/2018. Mô phỏng sinh địa hóa được thực hiện cho khoảng thời gian từ 01/05/2016 - 30/04/2017.

2.3. Giới thiệu mô hình Eco3M-S

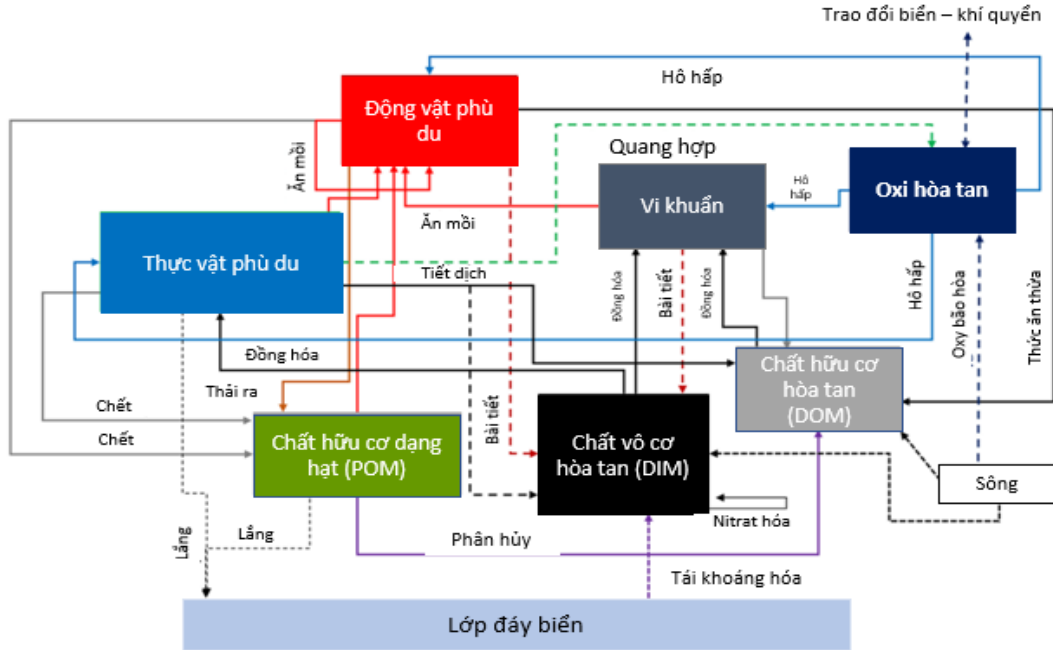
Mô hình sinh địa hóa biển Eco3M-S là một mô hình đa thông số dinh dưỡng và đa sinh vật phù du mô phỏng động lực học của các chu trình phân tách sinh địa hóa của một số nguyên tố sinh học (cacbon, nitơ, photpho, silic và oxy) và của các nhóm sinh vật phù du. Cấu trúc mô hình sử dụng trong nghiên cứu này tương tự như mô hình hệ sinh thái sinh vật phù du mà Herrmann và các cộng sự [23–25], Ulses và các cộng sự [26, 27] đã mô tả và sử dụng. Mô hình bao gồm 7 ngăn với tổng số 35 biến trạng thái, liên kết với nhau như trong sơ đồ khối ở Hình 2.

- + 1 ngăn thực vật phù du bao gồm 3 loại được phân loại theo kích thước (thực vật phù du pico (0,7-2 μm), thực vật phù du nano (2-20 μm) và thực vật phù du micro (20-200 μm)).
- + 1 ngăn động vật phù du gồm 3 loại được phân loại theo kích thước (động vật phù du nano (5-20 μm), động vật phù du micro (20-200 μm) và động vật phù du mezo (> 200 μm)).
- + 1 ngăn dành cho vi khuẩn (bacteria).
- + 4 ngăn tương ứng dành cho chất hữu cơ hòa tan (DOM), chất hữu cơ dạng hạt (POM), chất dinh dưỡng vô cơ (DIM, nitrat, amoni, photphat và silicat) và oxy hòa tan.

2.4. Thiết lập mô hình

Lưới tính cho mô hình được xây dựng bao phủ toàn bộ vùng Biển Đông (từ kinh độ 99° Đông đến 124° Đông, và từ vĩ độ -0.6° Bắc đến 24° Bắc, Hình 1). Trong nghiên cứu này, lưới vuông (regular grid) được sử dụng với độ phân giải 4 km theo phương ngang, độ sâu lớp nước được thiết lập 50 lớp. Dữ liệu trường phân bố độ sâu được xây dựng bởi Piton và các cộng sự [29]. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên mở cho các thông số nhiệt độ, độ muối, dòng chảy, mực nước biển, nồng độ các chất dinh dưỡng và sinh vật phù du được sử dụng từ dữ liệu trung bình ngày, độ phân giải $1/12^{\circ}$ của Copernicus CMEMS (<http://marine.copernicus.eu>).

Đầu ra của mô hình thủy động lực học SYMPHONIE được sử dụng làm điều kiện biên cho mô hình sinh địa hóa. Sự di chuyển và khuếch tán của các biến số sinh hóa theo phương ngang được tính toán bằng cách sử dụng lược đồ QUICKEST [30]. Đối với mô phỏng sinh địa hóa, nhóm nghiên cứu sử dụng cấu hình tương tự như mô phỏng thủy động lực học (Hình 1). Lực khí áp bề mặt được tính toán từ công thức [31], sử dụng dữ liệu ECMWF 1/8° tần suất 3 giờ cho điều kiện bề mặt.



Hình 2. Sơ đồ khối của mô hình sinh địa hóa Eco3M-S [28].

Điều kiện ban đầu và điều kiện biên mở cho các chất dinh dưỡng (nitrat, photphat, silicat, amoni, oxy) và cho thực vật phù du (cacbon và chất diệp lục) được trích xuất từ bộ dữ liệu hàng ngày của Copernicus BIOMER4V2R1 (sau đây được gọi là Bio-Copernicus). Để đơn giản hóa các mô phỏng được trình bày ở đây, nhóm nghiên cứu bỏ qua các dòng đầu vào của các chất hữu cơ và vô cơ từ khí quyển, cũng như sự đóng góp của các chất dinh dưỡng và các chất hữu cơ sinh ra từ quá trình hình thành và tái tạo trầm tích dưới đáy biển.

3. Kết quả và thảo luận

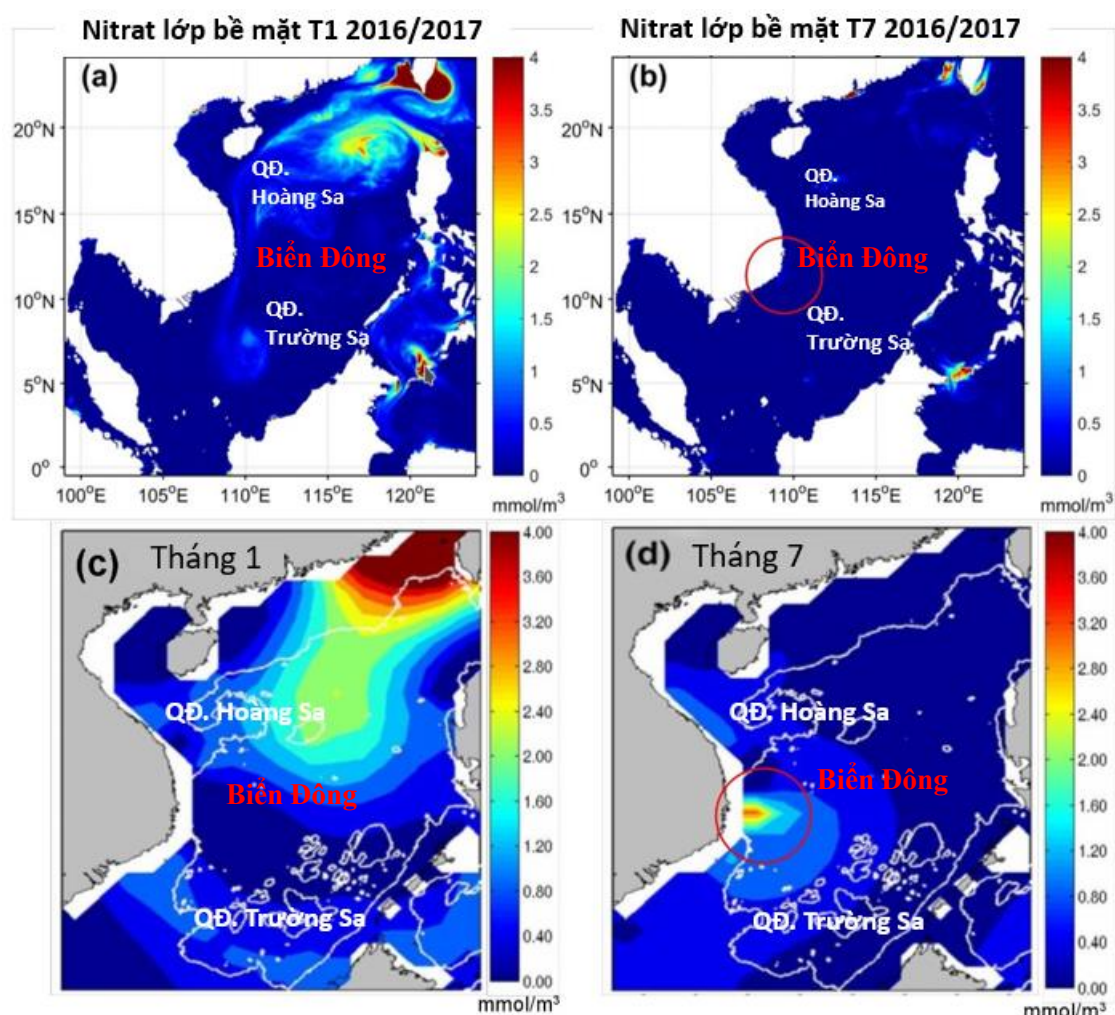
Để đánh giá hiệu suất của mô hình sinh địa hóa, nghiên cứu so sánh kết quả đầu ra của mô phỏng với các quan sát thu được từ dữ liệu vệ tinh và kết quả quan trắc. Trong khuôn khổ bài báo, nhóm nghiên cứu trình bày một số kết quả mô phỏng ban đầu của mô hình sinh địa hóa trong khoảng thời gian 1 năm từ tháng 5/2016 đến tháng 5/2017 trên khu vực ngoài khơi Biển Đông. Các kết quả mô phỏng vùng ven bờ sẽ được trình bày trong một nghiên cứu khác.

3.1. Chất dinh dưỡng và Chlorophyll-a lớp bề mặt

Theo [32, 33], khu vực Biển Đông ghi nhận tỷ lệ nitrat/photphat nhỏ hơn tỷ lệ Redfield (9:16), trong đó nitrat là chất dinh dưỡng hạn chế sự tăng trưởng của thực vật phù du hơn là photphat. Nghiên cứu kiểm tra sự phân bố theo mùa của nitrat bề mặt trên lưu vực Biển Đông bằng cách so sánh kết quả được mô hình hóa với bộ dữ liệu World Ocean Atlas WOA V2 2013 vào mùa hè và mùa đông (Hình 3).

Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố của nồng độ nitrat lớp bề mặt từ mô hình tương tự với dữ liệu quan trắc WOA13. Vào mùa đông, nồng độ nitrat cao có thể nhìn thấy trên lưu vực phía bắc. Vào mùa hè, dữ liệu quan sát cho thấy nồng độ nitrat bề mặt cao nhất trong vùng nước trời Nam Việt Nam (3 mmol/m^3 , Hình 3d). Nồng độ nitrat thu được từ kết quả mô

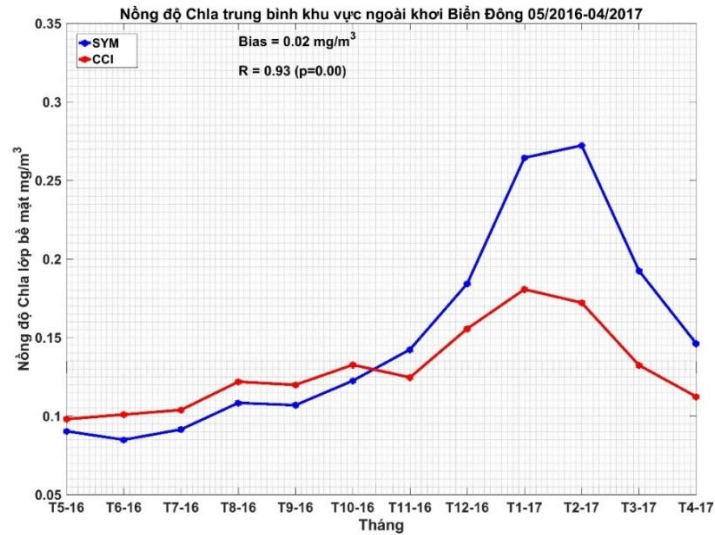
phồng mạnh hơn trong vùng nước trôi Nam Việt Nam (vòng tròn màu đỏ, Hình 3b) so với các khu vực khác vào mùa hè, nhưng thấp hơn 1 bậc độ lớn ($0,25 \text{ mmol/m}^3$) so với tập dữ liệu WOA13. Cũng vào mùa hè, kết quả mô phỏng thu được nồng độ nitrat cao xung quanh eo biển Đài Loan nhưng không quan sát thấy trong dữ liệu quan trắc. Nồng độ nitrat bề mặt của mô phỏng thấp hơn trong cả mùa đông và mùa hè so với WOA13. Điều này có thể được giải thích do mô hình còn thiếu dữ liệu nguồn dinh dưỡng đầu vào từ các con sông lớn và sự tiêu thụ nhanh chóng các chất dinh dưỡng của các sinh vật phù du.



Hình 3. Nồng độ nitrat lớp bề mặt (đơn vị: mmol/m^3) vào mùa đông (tháng 1) và mùa hè (tháng 7) thu được từ mô hình ECO-3mS (a,b) và từ dữ liệu quan trắc WOA13 (c,d [8]).

Để đánh giá nồng độ Chl-a lớp bề mặt, nhóm nghiên cứu sử dụng dữ liệu Chl-a lớp bề mặt từ dự án Sáng kiến Biến đổi Khí hậu (CCI) về quang học đại dương của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu ESA. Giá trị trung bình hàng tháng của nồng độ Chl-a bề mặt từ mô hình và dữ liệu quan trắc cho thấy một chu kỳ hàng năm tương tự nhau, với mối tương quan có ý nghĩa cao ($R = 0,93$, $p < 0,01$) và độ chệch $0,02 \text{ mg/m}^3$ (Hình 4). Nồng độ Chl-a bề mặt đạt giá trị nhỏ nhất vào mùa hè (mô phỏng $0,085 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 6; CCI $0,098 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 5) và tối đa vào mùa đông (mô phỏng $0,27 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 2; CCI $0,18 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 1). Mô hình mô phỏng Chl-a thấp hơn trong mùa hè và cao hơn vào mùa đông (sự khác biệt mạnh nhất được quan sát thấy vào tháng Giêng và tháng Hai), so với các quan sát vệ tinh.

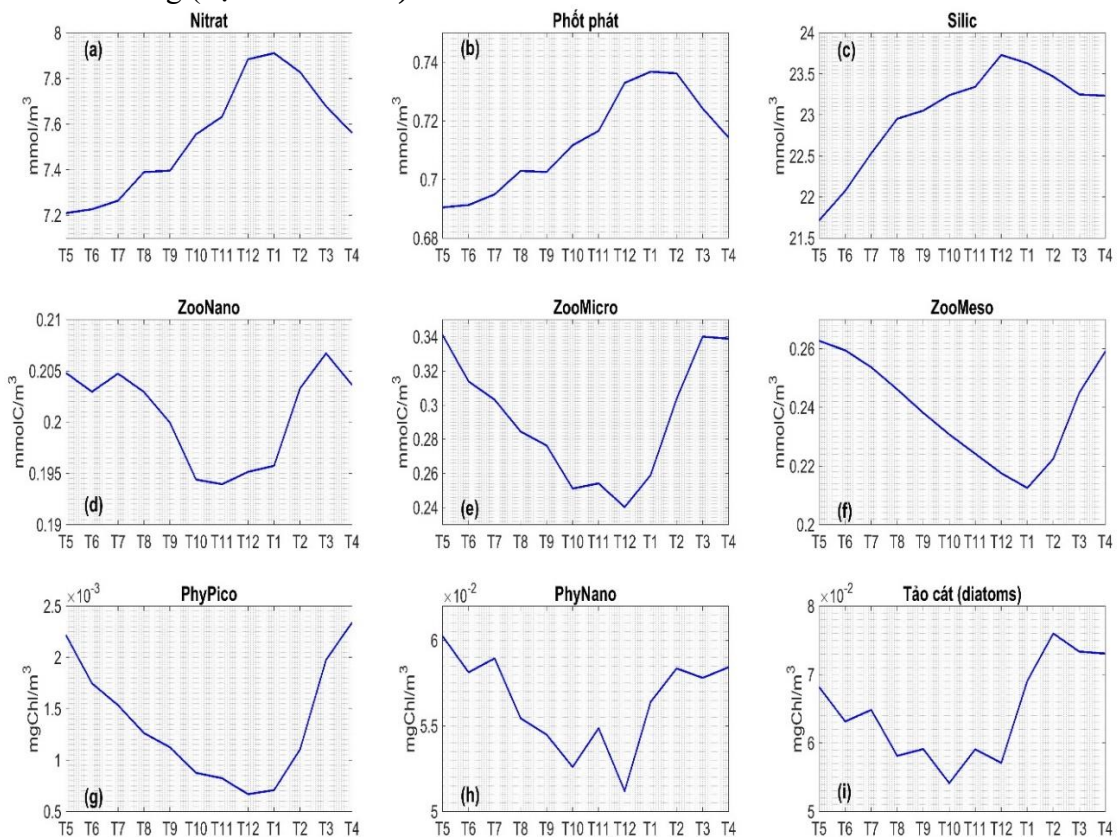
Biến thiên theo mùa của nồng độ Chl-a bề mặt thu được từ mô hình tương đồng với nghiên cứu mô phỏng [34]. Cụ thể, các tác giả tính toán nồng độ Chl-a trung bình trên toàn lưu vực đạt giá trị cực đại vào tháng 12 ($0,27 \text{ mg/m}^3$) và thấp nhất vào tháng 7 ($0,1 \text{ mg/m}^3$).



Hình 4. So sánh biến thiên theo mùa giai đoạn từ tháng 5/2016 đến tháng 4/2017 của nồng độ Chl-a lớp bề mặt giữa kết quả mô phỏng (đường màu xanh) và dữ liệu CCI (đường màu đỏ).

3.2. Biến thiên theo mùa của nồng độ chất dinh dưỡng, zooplankton và phytoplankton

Trong phần này, bài báo trình bày các kết quả ban đầu về chu kỳ theo mùa của các sinh vật phù du và các chất dinh dưỡng thu được từ mô phỏng giai đoạn 2016-2017. Hình 5 trình bày chu kỳ trung bình hàng tháng trong năm của các chất dinh dưỡng và 3 loại kích thước động vật phù du và thực vật phù du tính trung bình trên lớp nước 0-200 m của khu vực ngoài khơi Biển Đông (độ sâu > 200 m).



Hình 5. Chu kỳ theo mùa của các chất dinh dưỡng (nitrat, photphat, silicat), động vật phù du (nano-, micro-, meso- zooplankton), thực vật phù du (pico-, nano-, diatoms- phytoplankton) tính trung bình cho lớp nước 0-200m khu vực ngoài khơi Biển Đông (độ sâu >200m), trong khoảng thời gian 5/2016 - 4/2017. Đơn vị: mmol/m³.

Ở vùng biển khơi, các chất dinh dưỡng bị hạn chế vào mùa hè, và dồi dào hơn vào mùa đông (Hình 5a-5c). Nitrat, chất dinh dưỡng chính hạn chế sự tăng trưởng của thực vật phù du ở Biển Đông, đạt mức tối đa vào tháng Giêng ($7,9 \text{ mmol/m}^3$) và thấp nhất vào tháng Năm ($7,2 \text{ mmol/m}^3$). Kết quả này tương đồng với nghiên cứu dựa trên dữ liệu vệ tinh và dữ liệu [35] khi cho thấy nồng độ nitrat lớp bề mặt vùng Biển Đông khá thấp (dưới 10 mmol/m^3) vào cả mùa đông và mùa hè. Nồng độ phát phát mô phỏng trong lớp bề mặt (từ 200 m trở lên) cho thấy một chu kỳ theo mùa tương tự, với đỉnh cao nhất vào tháng Giêng ($0,74 \text{ mmol/m}^3$) và giá trị thấp nhất vào tháng Năm ($0,69 \text{ mmol/m}^3$). Nồng độ silicat cũng có biến thiên theo mùa tương tự với nồng độ cao nhất vào tháng 12 ($23,7 \text{ mmol/m}^3$) và giá trị thấp nhất vào tháng 5 ($21,7 \text{ mmol/m}^3$).

Các sinh vật phù du có chu kỳ theo mùa tương tự nhau: nồng độ cao vào mùa xuân-hè và nồng độ thấp vào mùa đông (Hình 5d-5i). Liên quan đến động vật phù du, các sinh vật phù du nano-, micro-, meso-zooplankton đạt cực đại lần lượt là $0,21 \text{ mmolC/m}^3$ (tháng 3), $0,34 \text{ mmolC/m}^3$ (tháng 3-tháng 5), $0,26 \text{ mmolC/m}^3$ (tháng 4 và 5). Nồng độ thấp nhất của động vật phù du được tìm thấy vào tháng 11 ($0,19 \text{ mmolC/m}^3$), tháng 12 ($0,24 \text{ mmolC/m}^3$), tháng 1 ($0,21 \text{ mmolC/m}^3$) tương ứng đối với nano-, micro-, meso-zooplankton.

Nghiên cứu thu được cùng một biến thiên theo mùa đối với thực vật phù du: nồng độ pico-, nano-, diatom (tảo cát) thấp nhất thu được lần lượt vào tháng 12 ($0,7 \cdot 10^{-3} \text{ mgChl/m}^3$), tháng 12 ($5,1 \cdot 10^{-2} \text{ mgChl/m}^3$) và tháng 10 ($5,4 \cdot 10^{-2} \text{ mgChl/m}^3$). Số lượng các sinh vật này tăng vào mùa xuân và đạt mức tối đa vào tháng 4 ($2,3 \cdot 10^{-3} \text{ mgChl/m}^3$), tháng 5 ($6,02 \cdot 10^{-2} \text{ mgChl/m}^3$), tháng 2 ($7,6 \cdot 10^{-2} \text{ mgChl/m}^3$). Kết quả mô phỏng chu kỳ theo mùa của sinh vật phù du tương tự với kết quả nghiên cứu [36, 37] với nồng độ động vật phù du (mesozooplankton) thấp nhất $0,25 \text{ mmol/m}^3$ vào mùa đông và cao nhất $1,67 \text{ mmol/m}^3$ vào mùa xuân hè.

4. Kết luận

Mô phỏng sơ bộ sử dụng mô hình kết hợp vật lý/sinh địa hóa độ phân giải cao (SYMPHONIE/ Eco3M-S) đã được tiến hành với mục đích nghiên cứu các đặc điểm sinh địa hóa của Biển Đông trong giai đoạn từ tháng 5 năm 2016 đến cuối tháng 4 năm 2017. Mặc dù so sánh với các dữ liệu quan trắc được trình bày ở đây cho thấy rằng mô hình sinh hóa vẫn cần được cải thiện, cần nhấn mạnh rằng mô phỏng này là kết quả của một quá trình hiệu chỉnh đáng kể mô hình sinh địa hóa độ phân giải cao lần đầu tiên được áp dụng cho khu vực Biển Đông. So với những mô phỏng ban đầu của nhóm nghiên cứu, những sai lệch và điểm yếu đã được giảm đáng kể.

Điều kiện gió mùa và thủy động lực ảnh hưởng mạnh đến hệ sinh thái Biển Đông. Trước hết, nghiên cứu đánh giá hiệu suất của mô hình sinh địa hóa qua so sánh kết quả của mô hình với các dữ liệu vệ tinh cũng như dữ liệu quan trắc. Sự phân bố của nồng độ nitrat bề mặt theo không gian thể hiện chu kỳ theo mùa tương tự như chu kỳ thu được từ bộ dữ liệu khí hậu WOA13. Nồng độ nitrat cao được quan sát thấy vào mùa đông, mạnh nhất ở eo biển Đài Loan sau đó lan rộng hơn trong lưu vực. Vào mùa hè, nồng độ nitrat bề mặt trong mô hình trên khu vực nước trời Nam Việt Nam thấp hơn nhiều so với dữ liệu quan trắc. Nồng độ Chl-a lớp bề mặt từ mô phỏng cho thấy biến thiên theo mùa tương tự với tập dữ liệu vệ tinh CCI khu vực biển khơi: nồng độ Chl-a trên bề mặt cao vào mùa đông và thấp vào mùa hè. Kết quả này khẳng định quan sát [38] khi họ chỉ ra rằng sự hấp thụ chất dinh dưỡng và chất diệt lục được tăng cường trong các xoáy thuận. Nói cách khác, xoáy thuận theo chu kỳ mùa đông là nguồn dinh dưỡng và Chl-a quan trọng trong lưu vực. Vào mùa hè, áp lực gió cuốn tròn tạo ra một vùng nước trời mạnh ở bờ biển phía Nam Việt Nam, lớp nước biển lạnh và giàu dinh dưỡng từ các tầng nước sâu di chuyển lên mặt biển. Hiện tượng này tạo ra nồng độ Chl-a cao trên bề mặt, tạo điều kiện cho sự sinh sôi của sinh vật phù du.

Từ nghiên cứu sơ bộ này, các công việc tiếp theo sẽ được tiến hành để cải thiện mô hình sinh địa hóa. Các mô phỏng trong giai đoạn dài hơn sẽ được thực hiện để cải thiện hiệu suất

của mô hình khi so sánh với dữ liệu quan trắc tương ứng. Với mô hình vật lý/ sinh địa hóa được hiệu chỉnh tốt, nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành các bước tiếp theo với các nghiên cứu sâu hơn về sự vận chuyển chất dinh dưỡng, ảnh hưởng của thủy triều, ảnh hưởng của các hoàn lưu đối với hệ sinh thái phù du, từ chu kỳ mùa đến quy mô liên mùa.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.B.N.; Xử lý số liệu: T.B.N., V.D.L., T.D.T.; Viết bản thảo bài báo: T.B.N., T.D.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.B.N.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội trong đề tài mã số USTH.YOUTH.GED.01/23. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học phòng thí nghiệm LEGOS (Toulouse, CH Pháp) đã hỗ trợ hướng dẫn sử dụng mô hình trong quá trình thực hiện nghiên cứu. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn hai phản biện với những đóng góp ý kiến quý báu, giúp bài báo được hoàn thiện hơn.

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

Tài liệu tham khảo

1. Liu, K.K.; Chao, S.Y.; Shaw, P.T.; Gong, G.C.; Chen, C.C.; Tang, T.Y. Monsoon-forced chlorophyll distribution and primary production in the South China Sea: observations and a numerical study. *Deep Sea Res. Part I* **2002**, 49(8), 1387–1412.
2. Liu, G.; Chai, F. Seasonal and interannual variability of primary and export production in the South China Sea: a three-dimensional physical - biogeochemical model study. *ICES J. Mar. Sci.* **2009**, 66, 420–431.
3. Liu, K.K.; Kang, C.K.; Kobari, T.; Liu, H.; Rabouille, C.; Fennel, K. Biogeochemistry and ecosystems of continental margins in the western North Pacific Ocean and their interactions and responses to external forcing - an overview and synthesis. *Biogeosci.* **2014**, 11(23), 7061–7075.
4. Zhang, W.Z.; Wang, H.; Chai, F.; Qiu, G. Physical drivers of chlorophyll variability in the open South China Sea. *J. Geophys. Res. Oceans.* **2016**, 121, 7123–7140.
5. Yu, Y.; Xing, X.; Liu, H.; Yuan, Y.; Wang, Y.; Chai, F. The variability of chlorophyll-a and its relationship with dynamic factors in the basin of the South China Sea. *J. Mar. Syst.* **2019**, 200, 103230.
6. Hu, Z.; Tan, Y.; Song, X.; Zhou, L.; Lian, X.; Huang, L.; He, Y. Influence of mesoscale eddies on primary production in the South China Sea during spring inter-monsoon period. *Acta Oceanolog. Sin.* **2014**, 33(3), 118–128.
7. Chen, Y.L.L. Spatial and seasonal variations of nitrate-based new production and primary production in the South China Sea. *Deep Sea Res. Part I* **2005**, 52(2), 319–340.
8. Truong, S.H.T.; Nguyen, T.V. Đa dạng sinh học động vật phù du vùng biển ven bờ bán đảo Sơn Trà, Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2018**, 18(4A), 59–71.
9. An, N.T.; Thu, P.M. Biogeochemical Variability of Vietnamese Coastal Waters Influenced by Natural and Antropogenic Processes. *Asian J. Water Environ. Pollut.* **2007**, 4, 37–46.
10. Minh, N.H.; Hào, V.M.; Quảng, N.V.; Thước, P. Thực vật nổi (Phytoplankton) vùng biển phía Tây vịnh Bắc bộ và phụ cận. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển* **2011**, 11(4), 57–73.
11. Gruber, N. Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Philos. T. R. Soc. A.* **2011**, 369, 1980–1996.
12. Metzger, E.J.; Hurlburt, H.E. Coupled dynamics of the South China Sea, the Sulu Sea, and the Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* **1996**, 101(C5), 12331–12352.
13. Gan, J.; H. Li.; Curchitser, E.N.; Haidvogel, D.B. Modeling South China Sea

- circulation: Response to seasonal forcing regimes. *J. Geophys. Res.* **2006**, *111*, C06034.
14. Qu, T. Upper-layer circulation in the South China Sea. *J. Phys. Oceanogr.* **2000**, *30*, 1450–1460.
15. Gan, J.; Liu, Z.; Hui, C. A three-layer alternating spinning circulation in the South China Sea. *J. Phys. Oceanogr.* **2016**, *46*(8), 2309–2315.
16. Pauly, D.; Christensen, V. Stratified models of large marine ecosystems: a general approach and an application to the South China Sea. Large marine ecosystems: stress, mitigation and sustainability. AAAS Press. **1993**, 148–174.
17. Wu, J.; Chung, S.W.; Wen, L.S.; Liu, K.K.; Chen, Y.L.L.; Chen, H.Y.; Karl, D.M. Dissolved inorganic phosphorus, dissolved iron, and Trichodesmium in the oligotrophic South China Sea. *Global Biogeochem. Cycles*. **2003**, *17*(1), 1–8.
18. Chen, Y.L.L.; Chen, H.Y.; Karl, D.M.; Takahashi, M. Nitrogen modulates phytoplankton growth in spring in the South China Sea. *Cont. Shelf Res.* **2004**, *24*(4–5), 527–541.
19. Marsaleix, P.; Auclair, F.; Floor, J.W.; Herrmann, M.J.; Estournel, C.; Pairaud, I.; Ulses, C. Energy conservation issues in sigma-coordinate free-surface ocean models. *Ocean Modell.* **2008**, *20*, 61–89.
20. Marsaleix, P.; Michaud, H.; Estournel, C. 3D phase-resolved wave modelling with a non-hydrostatic ocean circulation model. *Ocean Modell.* **2019**, *136*, 28–50.
21. Auger, P.A.; Diaz, F.; Ulses, C.; Estournel, C.; Neveux, J.; Joux, F.; Pujo-Pay, M.; Naudin, J.J. Functioning of the planktonic ecosystem on the Gulf of Lions shelf (NW Mediterranean) during spring and its impact on the carbon deposition: A field data and 3-D modelling combined approach. *Biogeosci.* **2011**, *8*(11), 3231–3261.
22. Thái, T.D.; Long, B.H. Nghiên cứu, ứng dụng mô hình Symphonie tính toán các quá trình thủy động lực trên Biển Đông. *Tạp chí khoa học và công nghệ biển* **2019**, *19*(4A), 1–15.
23. Herrmann, M.; Diaz, F.; Estournel, C.; Marsaleix, P.; Ulses, C. Impact of atmospheric and oceanic interannual variability on the Northwestern Mediterranean Sea pelagic planktonic ecosystem and associated carbon cycle. *J. Geophys. Res. Oceans*. **2013**, *118*, 5792–5813.
24. Herrmann, M.; Estournel, C.; Adloff, F.; Diaz, F. Impact of climate change on the northwestern Mediterranean Sea pelagic planktonic ecosystem and associated carbon cycle. *J. Geophys. Res.* **2014**, *119*, 5815–5836.
25. Herrmann, M.; Auger, P.A.; Ulses, C.; Estournel, C. Long-term monitoring of ocean deep convection using multisensors altimetry and ocean color satellite data. *J. Geophys. Res. Oceans* **2007**, *122*(2), 1457–1475.
26. Ulses, C.; Auger, P.A.; Soetaert, K.; Marsaleix, P.; Diaz, F.; Coppola, L.; Herrmann, M.J.; Kessouri, F.; Estournel, C. Budget of organic carbon in the North-Western Mediterranean Open Sea over the period 2004-2008 using 3D coupled physical biogeochemical modeling. *J. Geophys. Res. Oceans* **2016**, *121*, 7026–7055.
27. Ulses, C.; Estournel, C.; Fourier, M.; Coppola, L.; Kessouri, F.; Lefèvre D.; and Marsaleix, P. Oxygen budget for the North-Western Mediterranean deep convection region. *Biogeosciences Discussion* **2021**, *18*, 937–960.
28. Kessouri, F. Cycles biogéochimiques de la Mer Méditerranée: Processus et bilans. PhD thesis. Université de Toulouse 3, 2015.
29. Piton, V.; Herrmann, M.; Lyard, F.; Marsaleix, P.; Duhaut, T.; Allain, D.; Ouillon, S. Sensitivity study on the main tidal constituents of the Gulf of Tonkin by using the frequency-domain tidal solver in T-UGOm. *Geosci. Model Dev.* **2020**, *13*, 1583–1607.
30. Leonard, B.P. A stable and accurate convection modelling procedure based on

- quadratic upstream interpolation. *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* **1979**, 19, 59.
31. Large W.; Yeager S. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea-ice models: The data sets and flux climatologies, UCAR/NCAR, 2004.
 32. Wu, J.; Chung, S.W.; Wen, L.S.; Liu, K.K.; Chen, Y.L.L.; Chen, H.Y.; Karl, D.M. Dissolved inorganic phosphorus, dissolved iron, and Trichodesmium in the oligotrophic South China Sea. *Global Biogeochem. Cycles*. **2003**, 17(1), 1008.
 33. Chen, Y.L.L.; Chen, H.Y.; Karl, D.M.; Takahashi, M. Nitrogen modulates phytoplankton growth in spring in the South China Sea. *Cont. Shelf Res.* **2004**, 24, 527–541.
 34. Lu, Z.; Gan, J.; Dai, M.; Zhao, X.; Hui, C.R. Nutrient transport and dynamics in the South China Sea: A modeling study. *Prog. Oceanogr.* **2020**, 183, 102308.
 35. Du, C.; He, R.; Liu, Z.; Huang, T.; Wang, L.; Yuan, Z.; Dai, M. Climatology of nutrient distributions in the South China Sea based on a large data set derived from a new algorithm. *Prog. Oceanogr.* **2021**, 195, 102586.
 36. Goldblatt, R.H.; Mackas, D.L.; Lewis, A.G. Mesozooplankton community characteristics in the NE subarctic Pacific. *Deep Sea Res II*. **1999**, 46, 2619–2644.
 37. Harrison, P.J. Station Papa Time Series: Insights into Ecosystem Dynamics. *J. Oceanogr. Brazilian* **2002**, 58, 259–264.
 38. Xiu, P.; Chai, F. Modeled biogeochemical responses to mesoscale eddies in the South China Sea. *J. Geophys. Res.* **2011**, 116(C10), C10006.

The seasonal cycle of the plankton over the East Vietnam Sea using a high-resolution biogeochemical model

Trinh Bich Ngoc^{1*}, Vo Dieu Linh¹, To Duy Thai²

¹ University of Science and Technology of Hanoi, Vietnam Academy of Science and Technology; trinh-bich.ngoc@usth.edu.vn; volinh111796@gmail.com

² Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology; duythaito@gmail.com

Abstract: The East Vietnam Sea is an important region of the Western Pacific by its abundant biodiversity. The plankton plays an essential role in the biological variability of the region. Simulated results from a coupled hydrodynamical/biogeochemical model with 4km of horizontal resolution - applied over the East Vietnam Sea for a one-year case study 2016/2017 - show a strong seasonal variation of surface concentration in nutrient (nitrate, phosphate, silicate) and in chlorophyll-a over the offshore zone. Maximum concentrations in nutrient and chlorophyll are observed in winter and the minimum value are found in summer in most part of the basin. At the Southern Vietnam Upwelling zone, the nutrient and chlorophyll concentrations become highest in summer and lowest in winter. Averaged surface concentrations of nitrate, phosphate, silicate and Chl-a for the whole basin are respectively 7.9 mmol/m³, 0.74 mmol/m³, 23.7 mmol/m³, 0.27 mg/m³ in December - January and 7.2 mmol/m³, 0.69 mmol/m³, 21.7 mmol/m³, 0.1 mg/m³ in May-June. We obtain similar annual cycles of planktonic species: their concentrations reach maximum values in spring-summer and minimum values in winter.

Keywords: Simulation; Biogeochemical model; Planktonic ecosystem; East Vietnam Sea.