

CẤU TRÚC VÀ XU HƯỚNG BIẾN ĐỘNG NĂNG SUẤT SINH HỌC SƠ CẤP Ở VÙNG BIỂN NAM TRUNG BỘ, VIỆT NAM

Nguyễn Hữu Huân^{1, 2, *}, Nguyễn Trịnh Đức Hiệu¹, Trần Thị Vân³,
Nguyễn Đăng Huyền Trân⁴, Trần Đức Diễn⁵, Nguyễn Phương Liên⁵,
Nguyễn Minh Hiếu¹, Võ Hải Thi¹, Nguyễn Trí Quang⁶

¹Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm KHCNVN,

²Học viện Khoa học và công nghệ, Viện Hàn lâm KHCNVN,

³Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

⁴Đại học Thái Bình Dương

⁵Chi nhánh ven biển, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

⁶Biofluids and Biosystems Modelling Lab., Dalhousie University, Nova Scotia, Canada
*nghhuan@gmail.com

Tóm tắt: Năng suất sinh học sơ cấp (Primary Productivity-PP) của thực vật phù du biển là nguồn năng lượng sơ khởi chủ yếu trong đại dương, được xem là một trong những thông tin cơ bản để đánh giá hệ sinh thái biển. Kết hợp giữa phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm với phân tích chuỗi số liệu theo thời gian, bài báo này nhằm mục đích: (1) Xác định cấu trúc phân bố, và (2) Phân tích xu hướng và tốc độ biến động của PP theo thời gian tại vùng biển Nam Trung Bộ trong khoảng thời gian từ năm 2003 đến năm 2020. Kết quả phân tích cấu trúc phân bố cho thấy: thành phần trực giao đầu tiên giải thích 37,9 % tổng biến thiên chuỗi số liệu PP, đại diện cho phân bố và biến động PP trong mùa đông. Thành phần trực giao thứ hai chiếm 23,1 % biến động của chuỗi số liệu PP, đại diện cho phân bố và biến động PP trong khoảng thời gian hoạt động của nước trời (tháng 7 đến tháng 9). Phân tích biến động PP cho thấy: trong khoảng thời gian từ năm 2003 đến năm 2020, PP trên toàn vùng không có xu hướng biến động rõ nét (tăng với tốc độ chỉ 1,65 mgC/m²/tháng² nhưng không có ý nghĩa thống kê (Mann - Kendall, P=0,472) nhưng PP có xu hướng và tốc độ tăng/giảm khác nhau theo từng giai đoạn khác nhau. Từ tháng 1/2003 đến tháng 9/2007, PP tăng với tốc độ khoảng 26,43 mgC/m²/tháng². Tuy nhiên, trong các giai đoạn: tháng 10/2007-10/2010, tháng 11/2010-9/2013, tháng 10/2013-11/2016, và tháng 12/2016-12/2020 thì, PP lại có xu hướng giảm, với tốc độ giảm lần lượt là: 105,06 mgC/m²/tháng², 155,61 mgC/m²/tháng², 86,85 mgC/m²/tháng² và 30,57 mgC/m²/tháng².

Từ khóa: Chuỗi thời gian, hàm trực giao thực nghiệm, năng suất sinh học sơ cấp, xu thế.

1. Giới thiệu

Năng suất sinh học sơ cấp (Primary Productivity - PP) của thực vật phù du là nguồn năng lượng sơ khởi chủ yếu trong đại dương, được xem là một trong những thông tin cơ bản để đánh giá hệ sinh thái biển (Dehmordi và cs., 2016). Kết quả ước tính cho thấy thực vật phù du cung cấp gần 50 % PP toàn cầu (Tin và cs., 2016). Nghiên cứu về năng suất sinh học sơ cấp không chỉ giúp hiểu rõ hơn về chu trình vật chất và nguồn năng lượng sơ khởi, mà còn giúp đánh giá và dự báo nguồn lợi sinh học biển, đặc biệt là nguồn lợi cá (Nguyen Tac An & Tong Phuoc Hoang Son, 2004).

Vì đóng vai trò quan trọng nêu trên nên việc tính toán PP từ dữ liệu viễn thám trên quy mô khu vực và toàn cầu là một trong những mục tiêu được quan tâm nhất của các chương

trình viễn thám màu đại dương quốc tế. Nhiều nghiên cứu đã ứng dụng hiệu quả dữ liệu viễn thám trong việc tính toán PP trên các vùng biển khác nhau (Tin và cs., 2016); và việc ước tính PP của đại dương ngày càng trở nên có ý nghĩa đối với các khu vực có quy mô không gian rộng trong khoảng thời gian dài (Zhou và cs., 2017). Hiện nay dựa vào nguồn dữ liệu vệ tinh, PP được ước tính dựa vào 3 mô hình chính, gồm: mô hình sản lượng tổng quát hóa theo cột nước (Vertically Generalized Production Model - VGPM); phiên bản “Eppley” của mô hình VGPM (Eppley - VGPM) và mô hình sản lượng dựa vào các bon (Carbon-based Production Model - CbPM). Mô hình VGPM và Eppley - VGPM là những mô hình tính toán PP dựa vào hàm lượng chlorophyll-a. Sự khác biệt duy nhất giữa VGPM và Eppley - VGPM là mô tả sự phụ thuộc vào nhiệt độ của hiệu quả quang hợp, cụ thể: mô hình VGPM sử dụng mối quan hệ đa thức, trong khi đó mô hình Eppley - VGPM sử dụng một hàm số mũ. CbPM là một mô hình dựa trên các bon, nghĩa là PP được tính toán dựa vào sinh khối các bon của thực vật phù du, trong đó lượng sinh khối này được xác định từ hàm lượng chlorophyll-a và hệ số tán xạ ngược (Zhou và cs., 2017).

Tại vùng Biển Đông Việt Nam, đã có một số nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám để đánh giá phân bố và biến động PP với một số kết quả được ghi nhận sau: (1) PP xuất hiện hai đỉnh cực đại trong một năm, một đỉnh vào mùa đông và đỉnh còn lại vào mùa hè, với đỉnh mùa đông có giá trị lớn hơn so với đỉnh mùa hè (Tan, S.C. and G.Y. Shi, 2009). (2) Hiện tượng ENSO và các điều kiện môi trường hóa lý ảnh hưởng đến sự biến động không gian - thời gian của PP (Liao và cs., 2012; Tan, S.C. and G.Y. Shi, 2009). (3) Phân bố theo không gian của PP ở Biển Đông cũng chỉ ra rằng giá trị PP cao xuất hiện ở các vùng nước nông và sau đó giảm dần theo khoảng cách ngày càng xa bờ biển (Xu và cs., 2016). (4) Mô hình VGPM và dữ liệu viễn thám thích hợp để ước tính PP ở vùng biển trung tâm phía Tây Biển Đông (Zhou và cs., 2017). (5) Hiện tượng nước trời, gió mùa, dòng lục địa đã tác động đến sự phân bố và biến động của PP tại vùng biển Việt Nam (Nguyen Tac An & Tong Phuoc Hoang Son, 2004; Phan Minh Thu và cs., 2012).

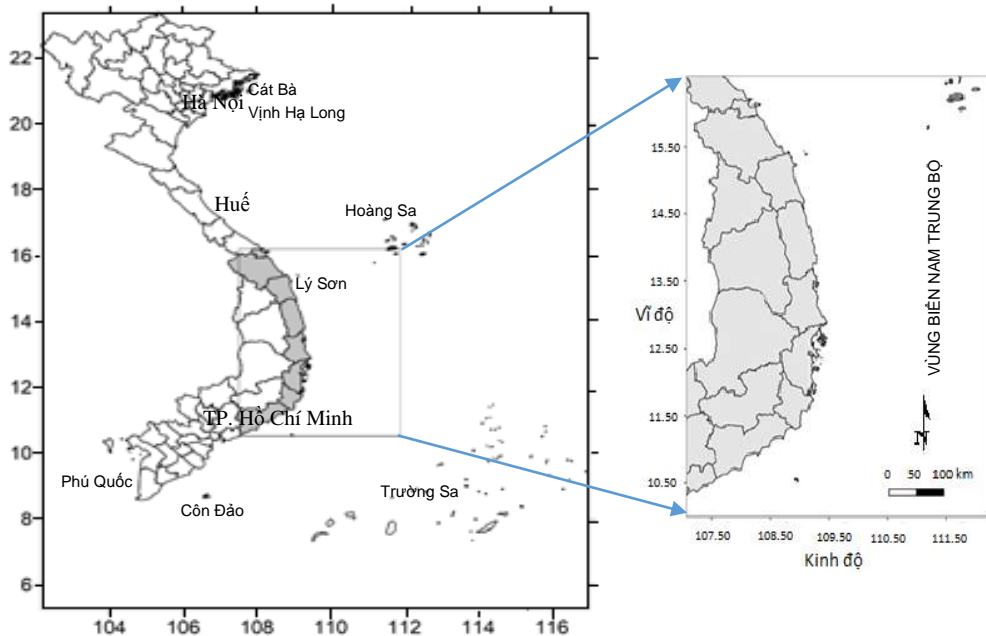
Vùng biển Nam Trung Bộ là một khu vực có tầm quan trọng đặc biệt đối với kinh tế biển Việt Nam. Đây là vùng biển giàu nguồn lợi, có nhiều cảng nước sâu phù hợp để phát triển kinh tế biển theo mô hình cảng - đô thị - biển; là khu vực có triển vọng phát triển du lịch biển đảo, sinh thái. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều tài liệu đánh giá cấu trúc phân bố và xu hướng biến động của PP tại vùng biển Nam Trung Bộ. Bằng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm (Empirical Orthogonal Function – EOF), phân tích chuỗi số liệu theo thời gian, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích: (1) Xác định cấu trúc phân bố, (2) Phân tích xu hướng và tốc độ biến động của PP theo thời gian tại vùng biển Nam Trung Bộ trong khoảng 18 năm (2003-2020).

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc vùng biển Nam Trung Bộ, với giới hạn không gian trong khoảng tọa độ từ 10,30° đến 16,25°N và từ 107,30° đến 112,00° E (Hình 1). Dải ven biển Nam Trung Bộ kéo dài hơn 5,5 vĩ độ địa lý từ phía bắc thành phố Đà Nẵng đến phía nam tỉnh Bình Thuận, thuộc vùng biển của 8 tỉnh/thành phố, gồm: Đà Nẵng, Quảng Nam,

Quảng Ngãi, Bình Định, Phú Yên, Khánh Hòa, Ninh Thuận và Bình Thuận. Các vũng, vịnh ven bờ Nam Trung Bộ là nơi tập trung nhiều loại tài nguyên sinh vật như: hệ sinh thái rừng ngập mặn, rạn san hô, các loài thủy hải sản có giá trị kinh tế, đặc biệt nơi đây được đánh giá là vùng có PP vào bậc cao. Xét về đặc điểm địa hình, địa lý, có thể chia toàn vùng Nam Trung Bộ thành 3 vùng nhỏ: vùng 1 từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi; vùng 2 từ Quy Nhơn đến mũi Đá Vách (Khánh Hòa); và vùng 3 từ mũi Đá Vách đến La Gi. Vùng biển Nam Trung Bộ chịu sự chi phối của gió mùa Đông Bắc (tháng 12 đến tháng 2) và gió mùa Tây Nam (tháng 6 đến tháng 8). Vùng 1 và vùng 2 có mùa mưa trùng với mùa gió Đông Bắc; vùng 3 có mùa mưa trùng với mùa gió Tây Nam (Bùi Hồng Long, 2011).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu

Trong khoảng thời gian từ tháng 5 đến tháng 9, đặc biệt là khi gió mùa Tây Nam thịnh hành, xuất hiện hiện tượng nước trời trong các vùng biển thềm lục địa Nam Trung Bộ, vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận được đánh giá là tồn tại hiện tượng nước trời mạnh nhất. Các khu vực khác nằm ở phía Bắc và Nam của vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận, hiện tượng nước trời cũng tồn tại, nhưng ở mức độ trung bình hoặc yếu hơn, như tại vùng biển từ Bình Định đến bắc Khánh Hòa (Võ Văn Lành và cs., 1997). Khi nước trời hoạt động, nguồn vật chất dinh dưỡng từ tầng sâu khi chuyển lên tầng mặt tạo điều kiện thích hợp cho thực vật phù du quang hợp, kết quả là gia tăng năng suất sinh học sơ cấp nhưng đồng thời cũng có khả năng xảy ra hiện tượng tảo nở hoa trong khu vực. Mặc dù tâm nước trời nằm ở vùng biển Ninh Thuận đến Bắc Bình Thuận, nhưng vùng có hiệu quả sinh thái cao nhất lại nằm tại tam giác Cà Ná - Phú Quý - Phan Thiết, rìa phía tây của tâm nước trời (Võ Văn Lành và cs., 1997; Bùi Hồng Long, 2009). Vùng tam giác này có các điều kiện sinh thái - môi trường thuận lợi cho sự phát triển của sinh vật thủy

sinh, như hàm lượng dinh dưỡng thích hợp, PP cao, sinh vật phù du, sinh vật đáy, trứng cá, cá con nhiều; vì vậy nơi đây có sản lượng cao các loài thủy hải sản (Võ Văn Lành và cs., 1997).

2.2. Dữ liệu

Dữ liệu PP ở định dạng lưới (gridded data) trung bình tháng trong giai đoạn 18 năm (2003 - 2020) với độ phân giải không gian 4 km được sử dụng để đánh giá biến động không gian - thời gian PP tại vùng biển Nam Trung Bộ. Bộ dữ liệu PP tính toán thông qua mô hình VGPM từ các thông số chlorophyll-a, nhiệt độ nước biển tầng mặt, độ sâu tầng ưu quang, bức xạ quang hợp,... thu được trên vệ tinh MODIS Aqua; dữ liệu có sẵn từ website: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap>. Nguồn website này hiện đang cung cấp dữ liệu PP trong khoảng thời gian từ tháng 01/2003 đến nay; do đó nghiên cứu này chỉ đánh giá biến động PP trong khoảng thời gian từ năm 2003 đến năm 2020 từ nguồn dữ liệu sẵn có.

2.3. Phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm

Kỹ thuật phân tích EOF đã được sử dụng trong lĩnh vực khoa học Trái đất từ những năm 1940. Mục đích ban đầu khi sử dụng phân tích EOF nhằm phân rã một chuỗi dữ liệu đa biến theo không gian - thời gian $\{X(N, M)\}$ thành các hàm trực giao, hoặc các “modes” (ký hiệu EOF mode). Những “modes” này đại diện cho các thay đổi không gian và thời gian của bộ dữ liệu ban đầu. Phương pháp phân rã ma trận hiệp phương sai (Covariance Matrix Decomposition - CMD) được sử dụng nhằm phân rã ma trận $X_{M \times N}$ ($X = x_{ij}$, với i là chỉ số thời gian có độ dài M và j là chỉ số không gian với độ dài N) thành các hàm trực giao không gian và thời gian.

Ma trận hiệp phương sai C được xây dựng từ ma trận dữ liệu X ban đầu theo phương trình (1) (Taylor và cs., 2013):

$$C = \frac{1}{M} X^T X, \quad c_{jj'} = \frac{\sum_{i=1}^M x_{ji} x_{j'i}}{M} \quad (1)$$

Với C là một ma trận $N \times N$ chứa giá trị hiệp phương sai giữa các cột x_j của ma trận X . Ma trận C được phân hủy thành tích của ba ma trận khác thông qua phân hủy giá trị riêng (eigenvalue decomposition) theo phương trình (2) (Taylor và cs., 2013):

$$C = E \Lambda E^T, \quad c_{jj'} = \sum_{k=1}^N e_{jk} o e_{k j'} \quad (2)$$

Trong đó E là ma trận $N \times N$ của các hàm trực giao theo không gian (EOF patterns) và Λ là ma trận $N \times N$ chứa các giá trị riêng (λ_k) trên đường chéo. Dựa vào ma trận E , các hệ số EOF (đôi khi được gọi là các thành phần chính) được tính toán theo phương trình (3) (Taylor và cs., 2013):

$$A = X E, \quad a_{ik} = \sum_{j=1}^N x_{ij} e_{jk} \quad (3)$$

Với A là ma trận $M \times N$ của các hệ số EOF.

Phương sai giải thích của mỗi chế độ EOF được tính theo phương trình (4) (Taylor và cs., 2013):

$$\% \text{ phương sai giải thích} = \frac{o_k}{\sum_{k=1}^N o_k} \times 100 \quad (4)$$

Trong đó λ_k là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận đường chéo Λ trong phương trình (4).

2.4. Phương pháp phân tích xu hướng chuỗi số liệu theo thời gian

Giá trị PP trung bình theo thời gian giai đoạn 2003-2020 được phân rã thành ba thành phần đặc trưng: phần xu hướng (trend - T_t), phần mùa (seasonal - S_t) và phần ngẫu nhiên (random - I_t) theo phương trình (5) (Goela và cs., 2016):

$$Y_t = T_t + S_t + I_t \quad (5)$$

Trong đó:

- T_t - Xu thế: Đó là sự thay đổi của biến quan trắc Y_t xét trên một thời gian dài.
- S_t - Biến đổi theo mùa: Xét đến sự biến đổi có tính tuần hoàn trong một chu kỳ.
- I_t - Dao động ngẫu nhiên: Xét đến sự dao động ngẫu nhiên xung quanh xu thế, điều này có thể làm ảnh hưởng đến chu kỳ và biến đổi theo mùa của chuỗi quan sát.

Thành phần mùa trong chuỗi thời gian gây khó khăn trong việc đánh giá xu hướng biến động của chuỗi số liệu (Goela và cs., 2016). Do đó, việc xác định và loại bỏ thành phần mùa trong chuỗi thời gian là cần thiết phải thực hiện khi phân tích xu hướng PP giai đoạn 2003-2020. Thành phần mùa được loại bỏ theo phương trình (6) (Goela và cs., 2016):

$$Y_t^* = Y_t - S_t = T_t + I_t \quad (6)$$

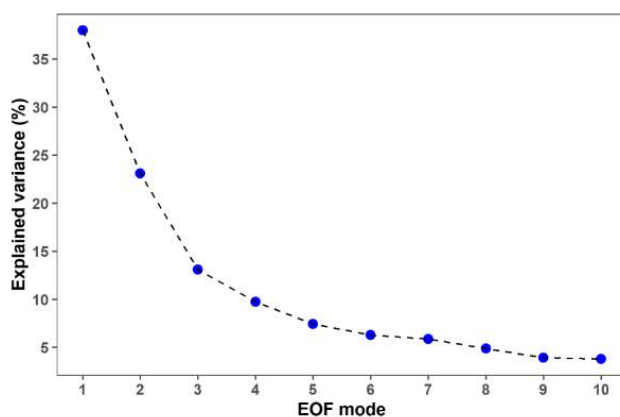
Sử dụng phương pháp phá vỡ cấu trúc (structural break) chuỗi Y_t^* để làm nổi bật các xu hướng tăng hoặc giảm của chuỗi số liệu theo từng khoảng thời gian nhỏ (Goela và cs., 2016). Dựa vào giá trị của tổng bình phương phần dư (Residual Sum of Squares - RSS), số lượng điểm thay đổi cấu trúc của chuỗi dữ liệu có giá trị RSS thấp nhất thì được chọn (Gallegati và cs., 2017). Nếu phát hiện được m điểm thay đổi cấu trúc thì chuỗi thời gian được phân chia thành (m+1) phân đoạn thời gian nhỏ. Kết quả của phân tích phá vỡ cấu trúc sẽ phân chia chuỗi số liệu PP thành các giai đoạn tăng và giảm, tùy thuộc vào hệ số độ dốc Theil - Sen được tính toán trong mỗi phân đoạn thời gian.

Mô hình hồi quy tuyến tính với hệ số độ dốc Theil - Sen được sử dụng để tính toán xu hướng và tốc độ thay đổi của PP theo thời gian. Phương pháp này được phát triển bởi Theil (1950) và sau đó được Sen (1968) mở rộng, đưa ra hồi quy tuyến tính đơn giản của một tập hợp các điểm dữ liệu, ước tính độ dốc trung bình giữa tất cả các đường nối các cặp điểm (Gómez-Letona và cs., 2017). Kiểm định xu hướng Mann - Kendall được sử dụng để kiểm tra xu hướng của chuỗi giá trị PP, kiểm định này thường được sử dụng để phát hiện xu hướng đơn điệu (tăng/giảm) trong chuỗi dữ liệu môi trường, dữ liệu khí hậu hoặc dữ liệu thủy văn (Uddin và cs., 2017).

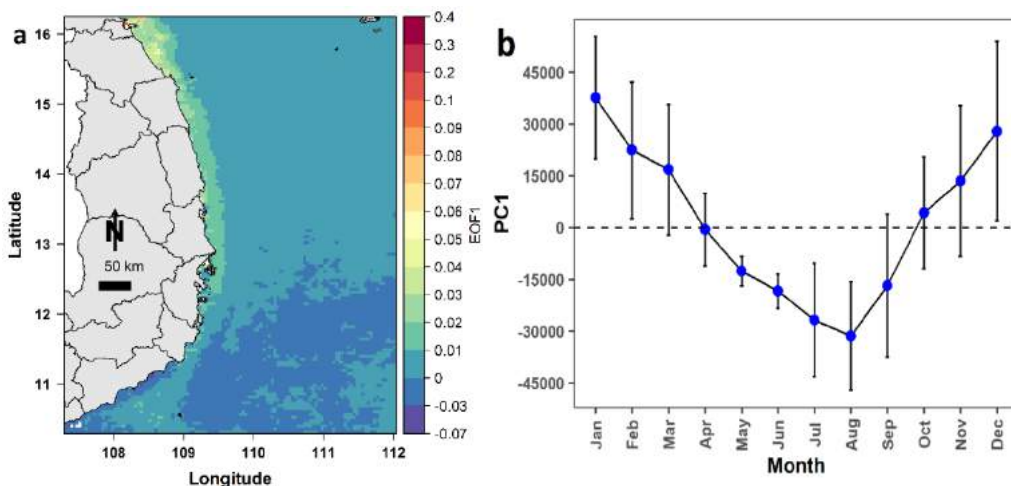
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Cấu trúc phân bố năng suất sơ cấp

Sau khi phân rã chuỗi số liệu PP bằng phương pháp phân hủy giá trị đơn, phương sai giải thích (explained variance) của 10 thành phần trực giao đầu tiên được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Phương sai giải thích của 10 thành phần trực giao đầu tiên

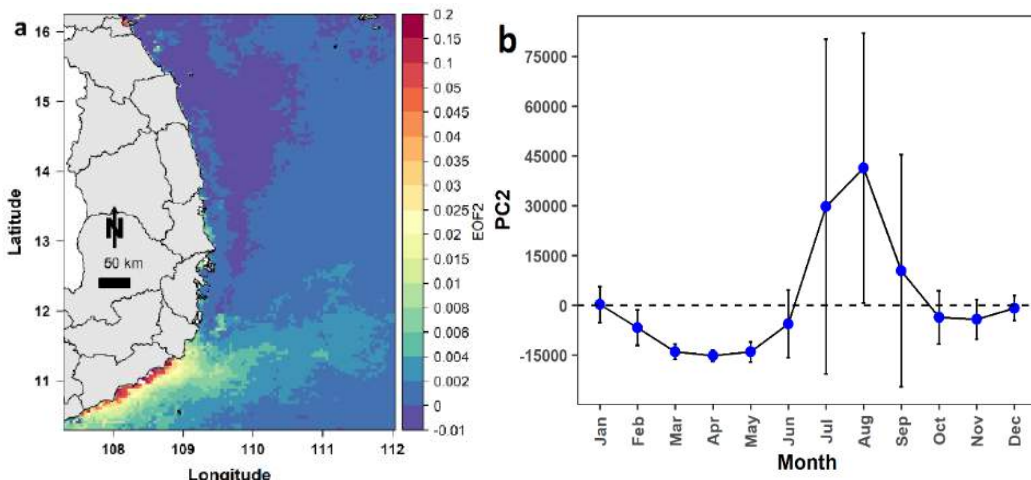


Hình 3. Phân bố không gian của tải EOF1 (a) và trung bình hóa theo tháng giá trị PC1 (b) của thành phần EOF1

Đồ thị Hình 2 cho thấy: hai thành phần trực giao đầu tiên có tổng phương sai giải thích hơn 61 %, và có sự suy giảm đáng kể giá trị phương sai giải thích giữa hai thành phần trực giao đầu tiên với các thành phần trực giao còn lại. Hai thành phần trực giao đầu tiên này (EOF1 và EOF2) được sử dụng để đánh giá những thay đổi của giá trị PP tại vùng biển Nam Trung Bộ trong giai đoạn 2003-2020. Kết quả phân tích hàm trực giao thực nghiệm được trình bày ở Hình 3 và Hình 4, trong đó: Hình 3a và Hình 4a trình bày kiểu phân bố không gian tương ứng của tải EOF1 và tải EOF2 (EOF loading), mô tả sự thay đổi về mặt không gian của giá trị PP; Hình 3b và Hình 4b trình bày giá trị trung bình theo tháng của hệ số chuỗi thời gian của thành phần EOF1 (PC1) và thành phần EOF2 (PC2), cho biết khả năng xảy ra của kiểu phân bố không gian của tải EOF tương ứng.

Thành phần trực giao đầu tiên giải thích 37,9 % tổng biến thiên chuỗi số liệu PP. Hình 3a cho thấy: phân bố không gian của tải EOF1 có xu hướng giảm từ bắc xuống nam dọc vùng biển ven bờ, với giá trị lớn nhất được tìm thấy tại vùng biển Đà Nẵng và giá trị thấp nhất

tại vùng biển Bình Thuận. Tải EOF1 có giá trị dương tại vùng biển ven bờ từ Đà Nẵng đến Khánh Hòa ($11,90^{\circ}\text{N} - 16,25^{\circ}\text{N}$ và $109,5^{\circ}\text{E}$ trở vào bờ). Hệ số PC1 trung bình theo tháng đạt giá trị dương trong khoảng thời gian từ tháng 10 đến tháng 3 và đạt giá trị âm từ tháng 5 đến tháng 9 với các đỉnh cực đại và cực tiểu được tìm thấy tương ứng vào mùa đông và mùa hè (Hình 3b). Kết hợp tải EOF1 và PC1 cho thấy rằng: trong khoảng thời gian từ tháng 10 đến tháng 3 (đặc biệt là mùa đông), PP có xu hướng giảm từ bắc xuống nam, và giảm từ bờ ra khơi trong vùng nghiên cứu. Bên cạnh đó, tại khu vực vùng biển ven bờ từ Đà Nẵng đến Khánh Hòa (tải EOF1 dương) có sự gia tăng PP với giá trị PP lớn hơn so với PP trung bình. Từ đó cho thấy, thành phần trực giao đầu tiên đại diện cho phân bố và biến động PP trong mùa đông với xu hướng giảm từ bắc xuống nam và từ bờ ra khơi; và có sự gia tăng PP ở vùng biển từ Đà Nẵng đến Khánh Hòa với giá trị PP lớn hơn PP trung bình.



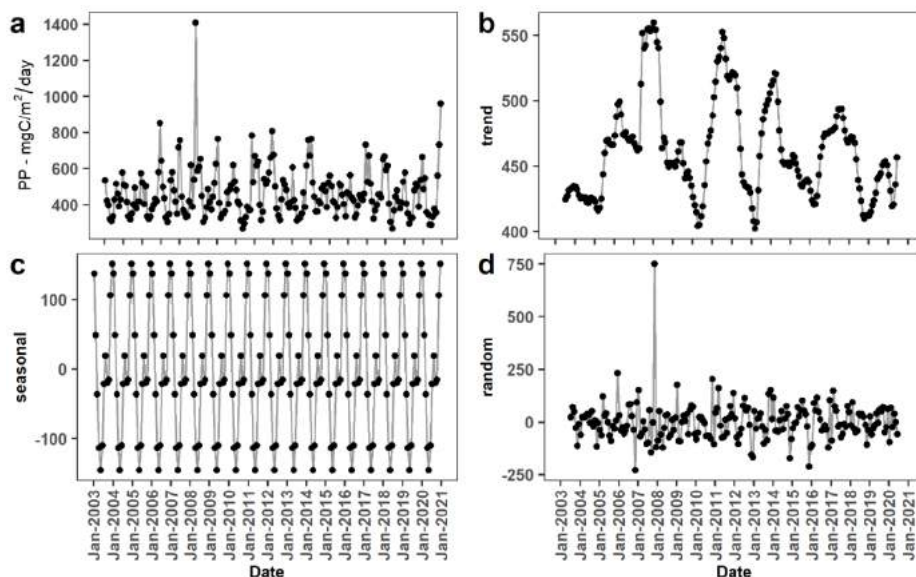
Hình 4. Phân bố không gian của tải EOF2 (a) và trung bình hóa theo tháng giá trị PC2 (b) của thành phần EOF2

Thành phần EOF thứ hai chiếm 23,1 % biến động của chuỗi số liệu PP. Tải EOF2 có giá trị dương tại khu vực ven biển Ninh Thuận - Bình Thuận và lan rộng theo hướng đông bắc trong vùng nghiên cứu (Hình 4a). Diễn biến theo thời gian của thành phần trực giao thứ hai trong Hình 4b cho thấy PC2 đạt giá trị dương trong khoảng thời gian từ tháng 7 đến tháng 9, tức nằm trong khoảng thời gian hoạt động của nước trời Nam Trung Bộ (tháng 5 đến tháng 9) (Võ Văn Lành và cs., 1997; Bùi Hồng Long, 2009). Từ kết quả phân tích tải EOF2 và PC2 cho thấy, trong khoảng thời gian từ tháng 7 đến tháng 9, giá trị PP khu vực ven bờ Ninh Thuận - Bình Thuận lớn hơn so với PP trung bình, do hiệu ứng sinh thái của dòng nước trời, phân bố không gian của PP trong khu vực này có xu hướng giảm từ bờ ra khơi theo hướng đông bắc.

3.2. Xu hướng biến đổi năng suất sơ cấp theo thời gian

Kết quả phân tích dữ liệu PP thu thập thành 3 thành phần đặc trưng gồm thành phần xu hướng, thành phần mang tính mùa và thành phần ngẫu nhiên được trình bày chi tiết trong Hình 5. Đồ thị Hình 5c cho thấy PP có chu kỳ biến thiên theo mùa, đạt giá trị cao nhất trong mùa đông và thấp nhất trong mùa xuân, xu hướng biến thiên theo mùa này lặp lại

trong từng năm. Thành phần mùa trong chuỗi số liệu mang tính chu kì, gây khó khăn trong việc đánh giá xu hướng của chuỗi số liệu nên bị loại bỏ khi phân tích xu hướng biến thiên giá trị PP theo thời gian.



Hình 5. Phân rã chuỗi số liệu PP ($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{ngày}$) thu thập (a) thành các thành phần xu hướng (b), mùa (c), và ngẫu nhiên (d)

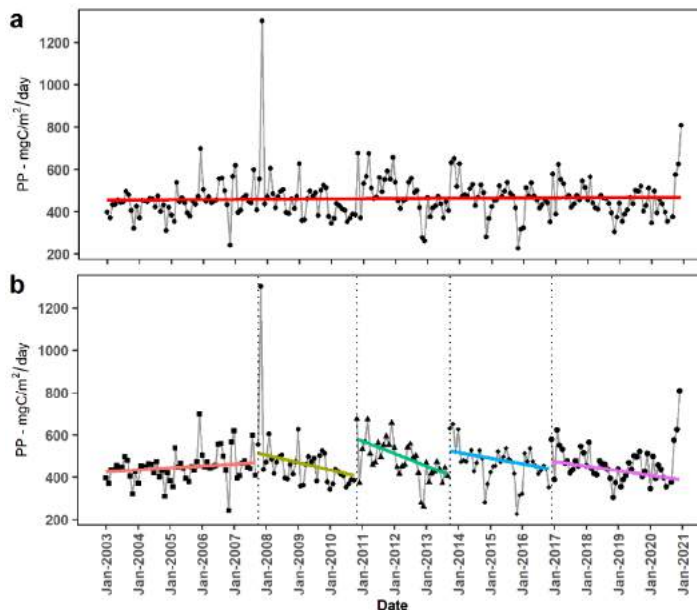
Kết quả phân tích xu hướng trong khoảng thời gian 2003-2020 được trình bày trong Bảng 1 và Hình 6a.

Bảng 1. Kết quả kiểm định Mann - Kendall và tính toán tốc độ thay đổi PP

Giai đoạn	Thời gian	Mann-Kendall, P	Sen's slope	ΔPP ($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$)
t	1/2003-12/2020	0,472	0,055	1,65
t1	1/2003-9/2007	0,040	0,881	26,43
t2	10/2007-10/2010	0,003	-3,520	-105,60
t3	11/2010-9/2013	0,000	-5,187	-155,61
t4	10/2013-11/2016	0,005	-2,895	-86,85
t5	12/2016-12/2020	0,111	-1,283	-30,57

ΔPP : Thay đổi PP theo thời gian, $\Delta PP > 0$ thì PP tăng, $\Delta PP < 0$ thì PP giảm

Hệ số đường dốc Sen's trong Bảng 1 cho thấy: trong giai đoạn 2003-2020, giá trị PP tăng theo thời gian với tốc độ tăng khoảng $1,65 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$, thấp hơn đáng kể so với tốc độ gia tăng PP trung bình giai đoạn 1998-2016 tại vùng Biển Đông ($2,95 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$) (Kong và cs., 2019). Tuy nhiên, kiểm định Mann - Kendall cũng chỉ ra rằng: chuỗi số liệu PP là chuỗi không có xu hướng theo thời gian ($P = 0,472$).



Hình 6. Xu hướng biến động PP ($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{ngày}$) trong 18 năm (a), và từng giai đoạn (b)

Bảng 2. Kết quả phân tích phá vỡ cấu trúc chuỗi Y_t^*

Bước nhảy	0	1	2	3	4	5
Thời gian tại bước nhảy		02/2008	9/2007 10/2010	9/2007 10/2010 10/2013	9/2007 10/2010 10/2013 12/2016	8/2005 4/2008 12/2010 10/2013 12/2016
RSS	2.166.063	2.040.878	1.927.477	1.839.813	1.786.818	1.847.369

Mặc dù chuỗi số liệu PP được mô tả ở Hình 6a là chuỗi không có xu hướng trong thời gian 18 năm, nhưng khi quan sát ở mỗi phân đoạn thời gian nhỏ hơn thì chuỗi PP có thể có xu hướng tăng/giảm. Do đó, phương pháp phá vỡ cấu trúc chuỗi Y_t^* được sử dụng để làm nổi bật các xu hướng tăng hoặc giảm của chuỗi số liệu PP trong từng khoảng thời gian nhỏ. Dựa vào giá trị của tổng bình phương phần dư đã xác định được 4 điểm thay đổi cấu trúc (bước nhảy) vào tháng 9/2007, tháng 10/2010, tháng 9/2013 và tháng 11/2016; và chuỗi thời gian 18 năm được phân chia thành 5 phân đoạn thời gian nhỏ (Bảng 1, Bảng 2 và Hình 6b). Phân đoạn 1 từ tháng 1/2003 đến tháng 9/2007, giá trị PP tăng theo thời gian với tốc độ tăng khoảng $26,43 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,040$). Phân đoạn 2 từ tháng 10/2007 đến tháng 10/2010, giá trị PP giảm theo thời gian với tốc độ giảm khoảng $105,06 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,003$). Phân đoạn 3 từ tháng 11/2010 đến tháng 9/2013, giá trị PP giảm theo thời gian với tốc độ giảm khoảng $155,61 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,000$). Phân đoạn 4 từ tháng 10/2013 đến tháng 11/2016, giá trị PP giảm theo thời gian với tốc độ giảm khoảng $86,85 \text{ mgC}/\text{m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,005$). Phân đoạn 5 từ tháng 12/2016 đến tháng

12/2020, giá trị PP giảm theo thời gian với tốc độ giảm khoảng $30,57 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,2063$). Kết quả phân tích trên chỉ ra rằng: giá trị PP không có xu hướng tuyến tính theo thời gian trong giai đoạn 2003-2020, nhưng trong mỗi phân đoạn thời gian ngắn hơn thì PP có xu hướng và tốc độ tăng/giảm khác nhau theo mỗi giai đoạn khác nhau.

Kết luận

Phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian đã được sử dụng hiệu quả trong việc xác định cấu trúc và xu hướng thay đổi của năng suất sinh học sơ cấp tại vùng biển Nam Trung Bộ. Kết quả phân tích cho thấy: Từ năm 2003 đến 2020, PP trên toàn vùng Nam Trung Bộ không có xu hướng biến động rõ nét (tăng với tốc độ chỉ $1,65 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ nhưng không có ý nghĩa thống kê (Mann - Kendall, $P=0,472$) nhưng PP có xu hướng và tốc độ tăng/giảm khác nhau theo từng giai đoạn khác nhau. Từ tháng 01/2003 đến tháng 9/2007, PP tăng với tốc độ khoảng $26,43 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,040$). Tuy nhiên, trong các giai đoạn: tháng 10/2007-10/2010, tháng 11/2010-9/2013, tháng 10/2013-11/2016, và tháng 12/2016-12/2020 thì: PP lại có xu hướng giảm, với tốc độ giảm lần lượt là $105,06 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,003$), $155,61 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,000$), $86,85 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,005$) và $30,57 \text{ mgC/m}^2/\text{tháng}^2$ ($P=0,2063$).

Lời cảm ơn: Đây là công trình chào mừng kỷ niệm 100 năm thành lập Viện Hải dương học. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí từ Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thông qua Nhiệm vụ khoa học công nghệ: “Đánh giá biến động năng suất sinh học sơ cấp vùng biển Nam Trung Bộ theo thời gian (giai đoạn 2003-2020)” và từ Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga theo Quyết định số 2963/QĐ-TTNDVN.

Tài liệu tham khảo

- Bùi Hồng Long, 2009. Hiện tượng nước trời trong vùng biển Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- Bùi Hồng Long, 2011. Cẩm nang tra cứu về điều kiện tự nhiên, môi trường sinh thái, kinh tế, xã hội và quản lý tổng hợp đới ven bờ biển Nam Trung Bộ. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- Dehmordi, M.L., A. Savari, B. Dostshenas, M.H. Asgari, and A. Abasi, 2016. Satellite-derived primary productivity and its spatial and temporal variability in the Khure-Mussa (northwest persian gulf). *Applied Ecology And Environmental Research*, 2016. 14(4): p. 461-475.
- Gallegati, M., M. Gallegati, J.B. Ramsey, and W. Semmler, 2017. Long waves in prices: new evidence from wavelet analysis. *Cliometrica*, 2017. 11(1): p. 127-151.
- Goela, P.C., C. Cordeiro, S. Danchenko, J. Icely, S. Cristina, and A. Newton, 2016. Time series analysis of data for sea surface temperature and upwelling components from the southwest coast of Portugal. *Journal of Marine Systems*, 2016. 163: p. 12-22.
- Gómez-Letona, M., A.G. Ramos, J. Coca, and J. Arístegui, 2017. Trends in primary production in the canary current upwelling system-A regional perspective

- comparing remote sensing models. *Frontiers in Marine Science*, 2017. 4: p. 370.
- Kong, F., Q. Dong, K. Xiang, Z. Yin, Y. Li, and J. Liu, 2019. Spatiotemporal Variability of Remote Sensing Ocean Net Primary Production and Major Forcing Factors in the Tropical Eastern Indian and Western Pacific Ocean. *Remote Sensing*, 2019. 11(4): p. 391.
- Liao, X., J. Ma, and H. Zhan, 2012. Effect of different types of El Niño on primary productivity in the East Sea. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2012. 15(2): p. 135-143.
- Nguyen Tac An and Tong Phuoc Hoang Son, 2004. Application of Remote Sensing for Interpretation of Primary Productivity in Bien Dong (Eastern Sea). *Proceedings of the Geo-informatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Applied Sciences (GIS-IDEAS 2004)*.
- Phan Minh Thu, Ngo Manh Tien, Nguyen Hoang Thai Khang, Lau Va Khin, 2012. Photosynthesis of phytoplankton in the southern marine regions of Vietnam from MODIS data, in *International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Applied Sciences*.
- Tan, S.C. and G.Y. Shi, 2009. Spatiotemporal variability of satellite-derived primary production in the East Sea, 1998-2006. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2009. 114(G3).
- Taylor, M.H., M. Losch, M. Wenzel, and J. Schröter, 2013. On the sensitivity of field reconstruction and prediction using empirical orthogonal functions derived from gappy data. *Journal of Climate*, 2013. 26(22): p. 9194-9205.
- Tin, H.C., M.W. Lomas, and J. Ishizaka, 2016. Satellite-derived estimates of primary production during the Sargasso Sea winter/spring bloom: Integration of in-situ time-series data and ocean color remote sensing observations. *Regional Studies in Marine Science*, 2016. 3: p. 131-143.
- Uddin, M., S. Akter, M. Uddin, and M. Diganta, 2017. Trend Analysis Variations and Relation Between Discharge and Rainfall: a Study on Kushiyara River. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 2017. 10(2): p. 121-132.
- Võ Văn Lành, Nguyễn Tác An, Nguyễn Văn Lục, Lê Phước trình, Nguyễn Hữu Phụng và Nguyễn Kim Vinh, 1997. Các công trình nghiên cứu vùng nước trời mạnh Nam Trung Bộ. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. 207 tr.
- Xu, H., W. Zhou, A. Li and S. Ji, 2016. Similarities and differences of oceanic primary productivity product estimated by three models based on modis for the open East Sea. in *International Conference on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem*. Springer.
- Zhou, W., H. Xu, A. Li, and S. Ji, 2017. Zone statistics of the oceanic primary productivity for the traditional fishing areas of the open East Sea based on MODIS products. *Applied Ecology And Environmental Research*, 2017. 15(3): p. 1013-1024.

STRUCTURES AND CHANGE TRENDS OF MARINE PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE WATERS OF SOUTH CENTRAL VIET NAM

Nguyen Huu Huan^{1,2,*}, Nguyen Trinh Duc Hieu¹, Tran Thi Van³, Nguyen Dang Huyen Tran⁴, Tran Duc Dien⁵, Nguyen Phuong Lien⁵, Nguyen Minh Hieu¹, Vo Hai Thi¹, Nguyen Tri Quang⁶

Institute of Oceanography, VAST

²Graduate University of Science and Technology, VAST

³University of Technology, HCMC, National University

⁴Thai Binh Duong University

⁵Coastal Branch, Vietnam – Russia Tropical Centre

⁶Biofluids and Biosystems Modelling Lab., Dalhousie Univ., Nova Scotia, Canada

* nghhuan@gmail.com

Abstract. Primary production (PP) of marine phytoplankton is the major primary source of energy in the ocean. It is considered as one of the basic information for assessing marine ecosystems. In combining between empirical orthogonal function (EOF) and time series analysis, this paper aims: (1) to determine the structure of PP distribution, and (2) to analyze the long-term trend and variation of PP in the waters of Vietnam South Centre (VSC) during the period 2003-2020. The analysis of PP distributive structure showed that, the first orthogonal component standing for 37.9 % of the total variation represented the PP distribution and variation in the winter while the second orthogonal component accounted for 23.1 % of the variation, representing the PP distribution and variation over the upwelling period (July to September). The analysis of PP variation showed that PP has an unclear trend in the VSC during 2003-2020 (with an increased rate of $1.65 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$ without a statistically significant (Mann - Kendall, $P=0.472$)). However, trends and changed rates of PP varied from period to period in the period of 2003-2020. From January 2003 to September 2007, PP increased at a rate of about $26.43 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$. Nevertheless, from October 2007 to October 2010, November 2010 to September 2013, October 2013 to November 2016, and December 2016 to December 2020, the PP decreased with corresponding reduction rates of $105.06 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$, $155.61 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$, $86.85 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$ and $30.57 \text{ mgC/m}^2/\text{month}^2$, respectively.

Keywords: Empirical orthogonal function, marine primary productivity, time series analysis, trend.