

PHÂN BỐ KHÔNG GIAN – THỜI GIAN HÀM LƯỢNG CHLOROPHYLL-A, NHIỆT ĐỘ NƯỚC BIỂN TẦNG MẶT VÙNG BIỂN NAM TRUNG BỘ TỪ DỮ LIỆU MODIS AQUA NĂM 2017

SPATIO - TEMPORAL DISTRIBUTION OF CHLOROPHYLL-A, SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE COASTAL MARINE AREA OF VIETNAM SOUTH CENTRE FROM MODIS AQUA DATA IN 2017

Nguyễn Trịnh Đức Hiệu

Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Email:nguyentrinhduchieu@gmail.com

Ngày nhận bài: 20/04/2020; Ngày phản biện thông qua: 12/07/2020; Ngày duyệt đăng: 28/09/2020

TÓM TẮT

Chlorophyll-a (chl-a) và nhiệt độ nước biển tầng mặt (SST) có vai trò quan trọng trong hệ sinh thái biển. Bài báo sử dụng nguồn dữ liệu MODIS Aqua cấp độ 3 trung bình tháng để đánh giá phân bố không gian-thời gian hàm lượng chl-a, SST tại vùng biển Nam Trung Bộ năm 2017. Kết quả nghiên cứu cho thấy chl-a và SST biến động mạnh giữa các tháng trong năm (ANOVA, $P < 0,05$); phân bố không gian của chl-a giảm từ bờ ra khơi. Hàm lượng chl-a trung bình đạt $0,26 \text{ mg/m}^3$, dao động trong khoảng rộng từ $0,01 - 9,74 \text{ mg/m}^3$. SST dao động trong khoảng rộng từ $20,73 - 31,24 \text{ }^\circ\text{C}$, trung bình đạt $27,63 \text{ }^\circ\text{C}$. Trong thời kì hoạt động của gió mùa tây nam, hình thành nên một “lưỡi” chl-a dài với tâm ở vùng ven bờ tỉnh Bình Thuận và lan rộng theo hướng tây bắc – đông nam; ngoài ra còn có sự xuất hiện rõ nét tâm vùng nước lạnh tại vùng biển ven bờ Bình Thuận, vươn xa về phía đông của vùng nghiên cứu. Phân bố không gian - thời gian của chl-a, SST có thể được sử dụng để giám sát chất lượng môi trường biển trong vùng nghiên cứu.

Từ khóa: biển Nam Trung Bộ, chl-a, MODIS Aqua, nhiệt độ nước biển tầng mặt

ABSTRACT

Chlorophyll-a (chl-a) and Sea Surface Temperature (SST) play an important role in marine ecosystems. Spatio-temporal distribution of chl-a and SST have been assessed from MODIS Aqua data (monthly, level3) in the coastal marine area of Vietnam South Centre in 2017. The results showed that chl-a, SST varied significantly between months (ANOVA, $P < 0.05$); spatial distribution of chl-a decreased from coastal to off shore regions. The average of chl-a in 2017 was 0.26 mg/m^3 , ranged from 0.01 to 9.74 mg/m^3 . SST ranged from 20.73 to $31.24 \text{ }^\circ\text{C}$, the average of SST reached $27.63 \text{ }^\circ\text{C}$. During the southwest monsoon, highest chl-a concentration was concentrated on Binh Thuan coastal region and spread in the northwest – southeast direction. The lowest average SST also occurred at Binh Thuan coastal region, spread to the east of the study area during southwest monsoon period. The spatio-temporal distribution of chl-a, SST could be used to monitor the marine environmental quality of the study area.

Keywords: chl-a, coastal marine area of Vietnam South Centre, MODIS Aqua, SST

I. GIỚI THIỆU

Chlorophyll-a (chl-a) là một sắc tố quang hợp được tìm thấy trong tảo, thực vật phù du..., và được sử dụng như thông số đại diện cho sinh khối cacbon của thực vật phù du [10, 21]. Sắc tố chl-a đóng vai trò quan trọng trong chu trình cacbon giữa khí quyển và biển; chu trình vật chất và chuyển đổi năng

lượng; giám sát dòng hải lưu và quản lý nghề cá [13]. Bên cạnh đó, hàm lượng chl-a cũng được xem là một trong những chỉ số đánh giá hiện trạng sinh thái của môi trường biển [12]. Trong khi đó, nhiệt độ nước biển tầng mặt (Sea Surface Temperature - SST) cũng có vai trò quan trọng trong hệ thống khí hậu của trái đất, và nó được xem là thông số quan trọng

nhất trong hải dương học [15, 20]. SST không chỉ là một thông số vật lý để nghiên cứu trao đổi hơi nước, nhiệt giữa bề mặt nước và khí quyển, mà nó còn cung cấp những thông tin hữu ích cho các nghiên cứu hải dương học như tuần hoàn đại dương, khối lượng nước, xáo trộn lớp nước, nước trôi, nước chìm, và môi trường sinh thái biển [11].

Vùng biển Nam Trung Bộ là một khu vực có tầm quan trọng đặc biệt đối với kinh tế biển Việt Nam, vì vùng biển này thường xuất hiện hiện tượng nước trôi trong mùa gió tây nam [1]. Khi nước trôi hoạt động, các lớp nước lạnh ở tầng sâu di chuyển thẳng đứng lên trên bề mặt mang theo nhiều chất dinh dưỡng tạo điều kiện tối ưu cho quá trình quang hợp của thực vật nổi. Kết quả là vùng nước trôi thường có nhiệt độ tầng mặt thấp và hàm lượng chlorophyll-a cao, có khả năng xảy ra hiện tượng tảo nở hoa trong thủy vực. Do đó, việc sử dụng nguồn dữ liệu viễn thám để giám sát phân bố và biến động hàm lượng chlorophyll-a, nhiệt độ nước biển tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ là vấn đề thiết thực cần thực hiện.

Tại vùng biển Việt Nam, đã có một số nghiên cứu đánh giá biến động chl-a và SST sử dụng nguồn dữ liệu vệ tinh. Nghiên cứu đánh giá tác động của hiện tượng ENSO đến nhiệt độ nước biển tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ từ cơ sở dữ liệu nội suy tối ưu SST – OISST của NOAA trong khoảng thời gian 1981 – 2014 [9]. Đánh giá các đặc trưng mang tính chế độ của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt vùng biển Nam Trung Bộ bằng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm dựa trên tư liệu ảnh viễn thám màu hải dương giai đoạn 1997 – 2016 [24]. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của trường nhiệt độ và biến đổi bất thường của mực nước trong biển Đông liên quan đến biến đổi khí hậu giai đoạn 1979 – 2014 [5]. Đánh giá xu thế biến động nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển Tây Nam Việt Nam dựa vào nguồn dữ liệu MUR SST trong giai đoạn 2002 – 2017 [4]. Đánh giá, phân tích các đặc trưng của yếu tố nhiệt độ và độ muối tầng mặt vùng

biển Nam Trung Bộ dựa trên nguồn số liệu MODIS trong 10 năm (2006 – 2014) nhằm hỗ trợ các nhà quản lý và người nuôi trồng thủy sản chọn lựa giống loài thích hợp trong nuôi trồng thủy sản, bảo vệ đa dạng sinh học, bảo vệ môi trường tại vùng biển Nam Trung Bộ [7]. Đánh giá phân bố hàm lượng chlorophyll-a trung bình tháng ở tầng mặt vùng Biển Đông, từ tháng 8/2011 đến tháng 7/2012 từ ảnh MODIS – Aqua [6]. Nghiên cứu bất thường của hàm lượng chlorophyll-a tầng mặt tại vùng biển ven bờ Nam Trung Bộ Việt Nam liên quan đến hiện tượng ENSO bằng ảnh MODIS Aqua [8]. Kết quả nghiên cứu từ các đề tài trên cho thấy nguồn số liệu chl-a và SST được giải đoán từ ảnh viễn thám chụp từ vệ tinh là đáng tin cậy và có thể sử dụng trong việc nghiên cứu hiện trạng sinh thái môi trường biển.

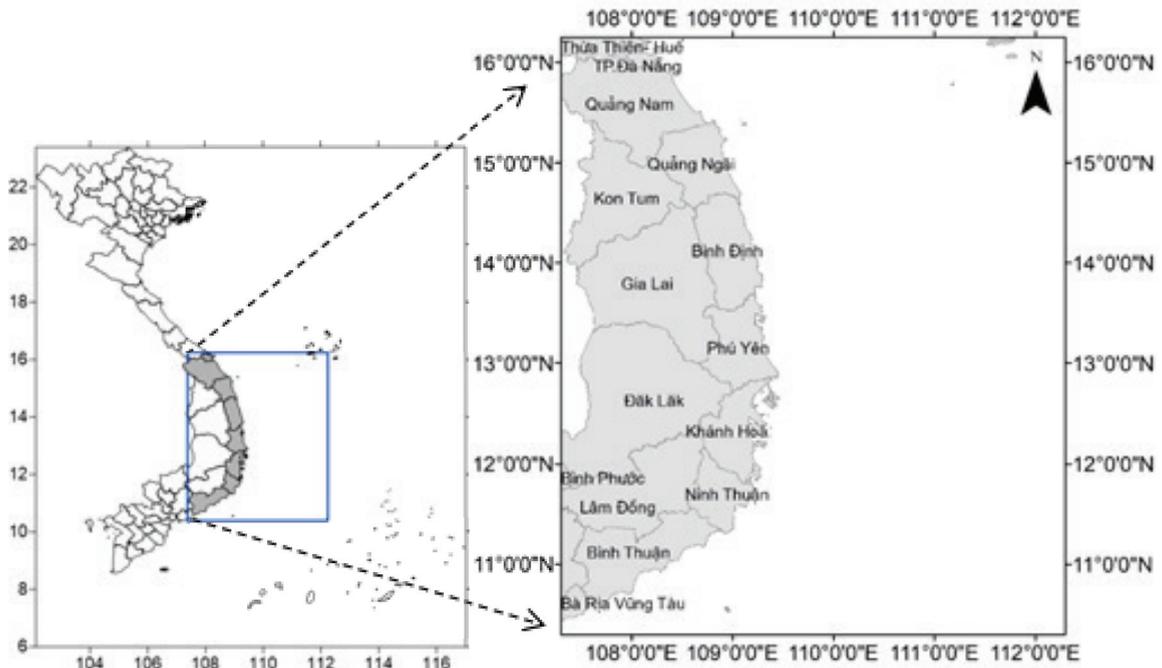
Bài báo sử dụng nguồn dữ liệu miễn phí MODIS Aqua, được xử lý trên phần mềm mã nguồn mở R nhằm đánh giá diễn biến theo thời gian và phân bố theo không gian hàm lượng chl-a, SST vùng biển Nam Trung Bộ năm 2017, phục vụ giám sát các đặc điểm về hiện trạng môi trường vùng biển Việt Nam từ dữ liệu vệ tinh.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Phạm vi, khu vực nghiên cứu

Phạm vi, giới hạn không gian vùng nghiên cứu: Khu vực nghiên cứu thuộc vùng biển Nam Trung Bộ – từ Đà Nẵng đến Bình Thuận, giới hạn trong tọa độ 10,30° – 16,25°N và 107,30° – 112,30°E (Hình 1). Vùng nghiên cứu có ảnh hưởng của nước trôi với thời gian tồn tại từ tháng 5 đến tháng 9, mạnh nhất là vào tháng 7 và tháng 8 [1]. Thời gian hoạt động của gió mùa tại vùng nghiên cứu như sau: Gió mùa Đông Bắc (NEM) - từ tháng 12 đến tháng 2; thời kì chuyển tiếp giữa gió mùa Đông Bắc sang gió mùa Tây Nam (ITM1) - từ tháng 3 đến tháng 4; gió mùa Tây Nam (SWM) - từ tháng 5 đến tháng 8; thời kì chuyển tiếp giữa gió mùa Tây Nam sang gió mùa Đông Bắc (ITM2) - từ tháng 9 đến tháng 11.

Phạm vi về mặt thời gian: từ tháng 01/2017 đến tháng 12/2017.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp thu thập và trích xuất dữ liệu MODIS Aqua

Bài báo sử dụng nguồn ảnh MODIS Aqua cấp độ 3 (L3) trung bình tháng, độ phân giải 9 km, được khai thác miễn phí trên website: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>; thu thập ảnh trong khoảng thời gian từ tháng 1/2017 đến tháng 12/2017. Sau khi thu thập, lưu trữ ảnh trong cùng một thư mục để xử lý đồng thời cùng với nhau.

Ảnh MODIS Aqua L3 sau khi tải về được lưu trữ mặc định với định dạng netCDF - Network Common Data Form (phần tập tin mở rộng có dạng *.nc). Định dạng netCDF được xuất hiện lần đầu tiên vào cuối những năm 1980 bởi Unidata Program Center với mục đích là xây dựng một định dạng tệp cho phép chia sẻ dữ liệu giữa các nhà khoa học trong lĩnh vực khí quyển. Sử dụng phần mềm mã nguồn mở R để xử lý ảnh sau khi thu thập, bao gồm 2 bước sau:

Bước 1 - Đọc, cắt ảnh theo khu vực nghiên cứu: Vì ảnh MODIS có độ phủ toàn cầu, do đó ảnh được cắt trong phạm vi vùng nghiên cứu, giới hạn trong khung tọa độ 10,30° – 16,25°N và 107,30° – 112,30°E.

Bước 2 - Trích xuất dữ liệu: Giá trị chl-a hoặc SST tại các vị trí có tọa độ nằm trong khu vực nghiên cứu được trích xuất đồng thời từ các ảnh MODIS Aqua L3. Các thông tin đi kèm như thời gian (năm, tháng), tọa độ (kinh độ, vĩ độ), đơn vị đo lường cũng được trích xuất song song với giá trị của thông số. Sau đó các giá trị và thông tin này được lưu trữ trên cùng 1 tập tin (với phần tập tin mở rộng có dạng *.csv) để phục vụ cho các phân tích thống kê tiếp theo.

3. Phương pháp thống kê, xử lý số liệu

Tập số liệu chl-a/SST sau khi xử lý sẽ được chuyển đổi sang định dạng raster để xây dựng sơ đồ phân bố nhằm đánh giá phân bố không gian chl-a và SST trên vùng biển Nam Trung Bộ. Bộ sơ đồ phân bố không gian được xây dựng bằng phần mềm mã nguồn mở R.

So sánh các thông số thống kê (trung bình, độ lệch chuẩn, giá trị cực đại, giá trị cực tiểu) giữa chl-a/SST trung bình các tháng nhằm đánh giá diễn biến theo thời gian chl-a/SST. Sử dụng kiểm định one way ANOVA để kiểm tra sự khác biệt giá trị chl-a/SST giữa các tháng trong năm. Trong trường hợp có sự khác biệt giá trị chl-a/SST mang ý nghĩa thống kê,

sử dụng kiểm định *post hoc* Tukey HSD để tìm những cặp thời gian có sự khác biệt [14]. Sử dụng kiểm định one sample t-test để kiểm tra sự khác biệt giá trị chl-a/SST trung bình từng tháng với trung bình năm 2017 [14]. Sử dụng kiểm định Pearson correlation để kiểm định mối tương quan giữa chl-a và SST [14]. Trong các kiểm định one way ANOVA, one sample t test và Pearson, sự khác biệt có ý nghĩa thống kê khi $P < 0,05$; tất cả các kiểm định thống kê được thực hiện trên phần mềm mã nguồn mở R.

4. Phương pháp nội suy khoảng cách nghịch đảo trọng số

Chl-a và SST trích xuất từ ảnh MODIS có thể bị thiếu dữ liệu không gian do mây che phủ, do đó bài báo này sử dụng phương pháp nội suy khoảng cách nghịch đảo trọng số (Inverse Distance Weighted - IDW) để cung cấp dữ liệu không gian bị mất; và tăng độ phân giải không gian từ 9 km lên 1 km. Phương pháp IDW xác định các giá trị chl-a và SST cần nội suy bằng cách tính trung bình các giá trị chl-a và SST tại các điểm mẫu trong vùng lân cận. Điểm lân cận càng gần điểm trung tâm (mà ta đang cần nội suy) thì càng có ảnh hưởng nhiều hơn đến kết quả nội suy. Giá trị chl-a/SST cần nội suy tại vị trí x_0 , kí hiệu $\hat{z}(x_0)$ được xác định theo phương trình sau [12]:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (1)$$

Trong đó:

- $z(x_i)$ là giá trị của chl-a/SST tại vị trí được lấy mẫu i ;

- n là số vị trí lấy mẫu lân cận được sử dụng cho ước tính $\hat{z}(x_0)$.

- w_i là trọng số theo khoảng cách giữa các vị trí không được lấy mẫu (x_0) và vị trí được lấy mẫu (x_i), w_i được tính theo công thức sau [12]:

$$w_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n d_j^{-p}} \quad (2)$$

Trong đó:

- d_i là khoảng cách giữa điểm x_0 và điểm x_i

- p là tham số lũy thừa

Bài báo này sử dụng package {gstat} [18] trên phần mềm mã nguồn mở R để thực hiện phép tính nội suy IDW.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Đánh giá diễn biến thời gian và phân bố không gian hàm lượng chl-a

Hàm lượng chl-a trung bình năm 2017 đạt $0,26 \text{ mg/m}^3$, dao động giữa giá trị cao nhất và thấp nhất trong năm 2017 từ $0,01$ đến $9,74 \text{ mg/m}^3$. Trung bình hóa theo tháng cho thấy chl-a cực đại trong tháng 12 và cực tiểu trong tháng 5 với các giá trị tương ứng đạt $0,41 \pm 0,63 \text{ mg/m}^3$ và $0,15 \pm 0,20 \text{ mg/m}^3$ (Bảng 1). Sự khác biệt hàm lượng chl-a giữa các tháng trong năm 2017 thì có ý nghĩa về mặt thống kê (ANOVA, $P < 2,20 \times 10^{-16}$). Hầu hết giá trị chl-a trung bình tháng có sự khác biệt với giá trị chl-a trung bình năm 2017 (t.test, $P < 0,01$), ngoại trừ các tháng 3, tháng 9 và tháng 10 (t.test, $P > 0,05$) (Hình 2, bên trái). Hàm lượng chl-a trung bình năm 2017 ($0,26 \text{ mg/m}^3$) lớn hơn so với chl-a trung bình đo đạc hiện trường tại vùng biển miền Trung ($0,11 \text{ mg/m}^3$) (Nguyễn Tác An & Hoàng Trung Du, 2009), tuy nhiên thấp hơn so với chl-a tại vùng biển ven bờ ($0,60 \text{ mg/m}^3$) và vùng tâm nước trời ($1,04 \text{ mg/m}^3$) (Bùi Hồng Long et al., 2016).

Giá trị chl-a tăng liên tục từ mùa xuân đến mùa đông với giá trị tương ứng đạt $0,21 \pm 0,35 \text{ mg/m}^3$ vào mùa xuân; $0,23 \pm 0,38 \text{ mg/m}^3$ vào mùa hè, $0,30 \pm 0,57 \text{ mg/m}^3$ vào mùa thu và $0,34 \pm 0,57 \text{ mg/m}^3$ vào mùa đông. Khác biệt về giá trị chl-a giữa các mùa trong năm 2017 thì có ý nghĩa về mặt thống kê (ANOVA, $P < 2,20 \times 10^{-16}$). Nghiên cứu trước đây tại vùng Nam Trung Bộ cho thấy chl-a đã từng đạt cực đại trong mùa đông ($1,92 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 12/2006 và $1,51 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 01/2007) [25], tương đương với kết quả trong nghiên cứu này.

Kết quả phân bố không gian của chl-a trong năm 2017 được trình bày chi tiết ở Hình 3. Từ kết quả phân bố không gian cho thấy chl-a biến đổi mạnh theo không gian và có xu hướng giảm từ vùng ven bờ ra đến ngoài khơi trên toàn vùng nghiên cứu, cụ thể: Vào thời kì NEM, chl-a đạt giá trị cao tại vùng ven bờ ($109,50^\circ\text{E}$ trở vào bờ) trên toàn vùng nghiên cứu (từ Đà Nẵng đến Bình Thuận). Trong thời kì ITM1, hàm lượng chl-a chỉ cao tại dải hẹp ven bờ với phạm vi không gian nhỏ hơn so

với thời kì NEM (từ Đà Nẵng đến Phú Yên). Nguyên nhân là do có sự xáo trộn dòng chảy khi hướng gió thay đổi, đây là thời kì gió mùa Đông Bắc bắt đầu suy giảm và chuyển hướng [1]. Trong khi đó vào mùa SWM (thời kì nước trời hoạt động) hàm lượng chl-a tập trung cao tại vùng ven bờ phía nam của vùng Nam Trung Bộ, từ giữa Ninh Thuận đến cuối Bình Thuận, đặc biệt là vào tháng 8. Kết quả nghiên cứu trước đây cũng tìm thấy vùng chl-a cao tại khu vực ven bờ Ninh Thuận – Bình Thuận và hiện tượng này có liên quan đến dòng nước trời [25]. Thời kì này với sự hoạt động mạnh của dòng nước trời Nam Trung Bộ, theo đó dòng nước trời phát sinh từ dưới đáy biển sẽ mang lên tầng mặt một lượng lớn muối dinh dưỡng, tạo điều kiện thuận lợi cho thực vật phù du phát triển, làm gia tăng sinh khối và gia tăng hàm lượng chl-a tại khu vực ven bờ Ninh Thuận - Bình Thuận [1]. Hình 3 cũng cho thấy chl-a giảm dần từ bờ ra khơi và hình thành nên một “lưỡi” chl-a dài với tâm ở vùng ven

bờ tỉnh Bình Thuận và lan rộng theo hướng tây bắc – đông nam, “lưỡi” chl-a này lan rộng vào giữa thời kì SWM, khi cường độ gió mùa mạnh nhất (tháng 7 và tháng 8), điều này hoàn toàn tương tự như kết quả nghiên cứu trước đây [1]. Vào đầu thời kì ITM2, “lưỡi” chl-a theo hướng tây bắc – đông nam như mô tả thời kì SWM vẫn còn xuất hiện. Tuy nhiên đến cuối thời kì ITM2 (tháng 11), phân bố chl-a có sự thay đổi theo không gian, lưỡi “chl-a” này không còn tồn tại, hàm lượng chl-a cao chỉ tập trung ở vùng ven bờ, tuy nhiên kéo dài phạm vi phân bố đến tận vùng biển Khánh Hòa do sự chuyển hướng của gió mùa từ mùa gió Đông Bắc sang mùa gió Tây Nam.

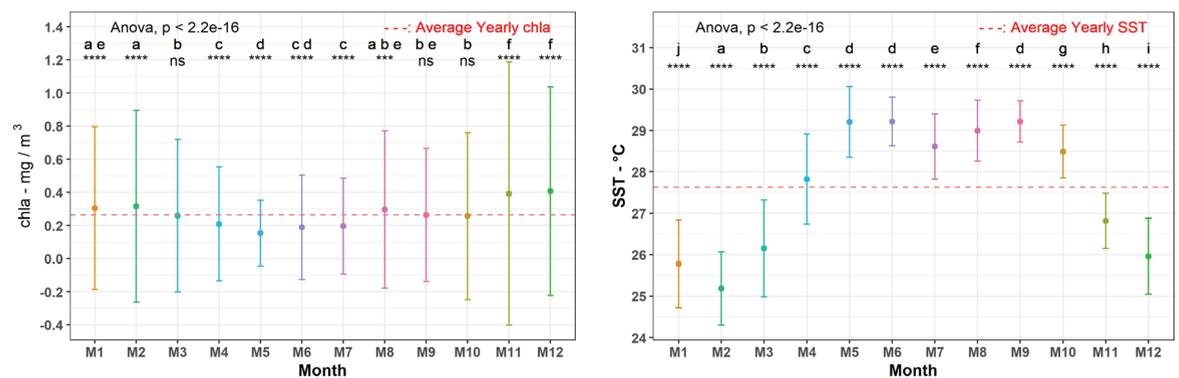
2. Đánh giá diễn biến thời gian và phân bố không gian SST

Giá trị SST năm 2017 dao động trong khoảng rộng từ 20,73 – 31,24°C, trung bình đạt 27,63 ± 1,70°C. Kết quả thống kê SST trung bình theo từng tháng được trình bày chi tiết trong Hình 2

Bảng 1. Thống kê hàm lượng chl-a trung bình theo từng tháng trong năm 2017

Tháng	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Nov	Oct	Dec
<i>n</i>	2454	2385	2953	2930	2895	2925	2465	2934	2862	2446	1986	1861
<i>mean</i>	0,304	0,316	0,260	0,209	0,154	0,189	0,196	0,297	0,263	0,256	0,393	0,407
<i>sd</i>	0,491	0,579	0,460	0,345	0,199	0,316	0,290	0,475	0,402	0,504	0,794	0,631
<i>min</i>	0,064	0,013	0,018	0,010	0,016	0,044	0,020	0,017	0,017	0,050	0,011	0,011
<i>max</i>	4,332	9,439	8,792	3,958	3,190	7,049	3,505	7,032	8,606	9,744	8,217	4,657

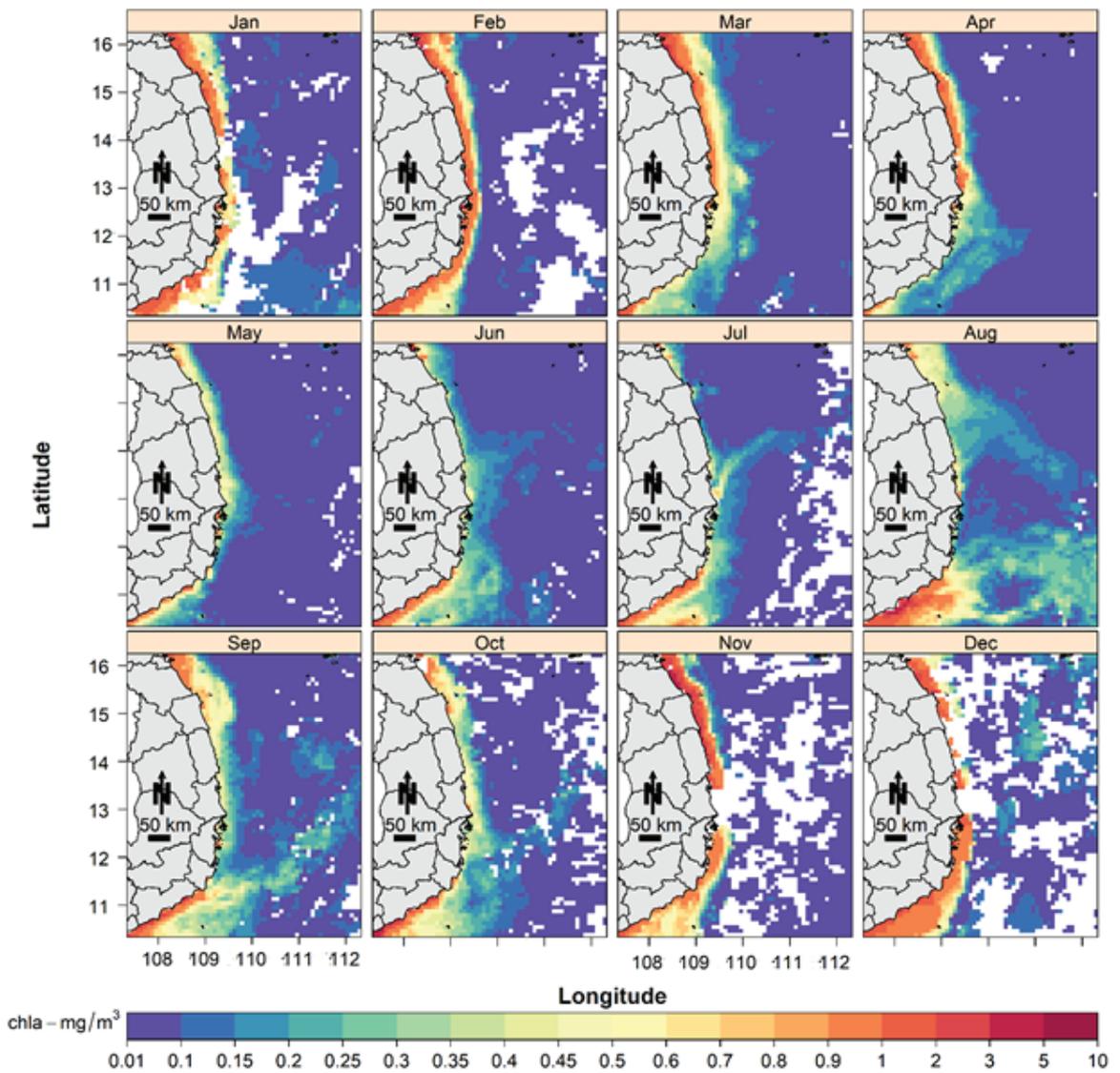
Ghi chú: *n* – số lượng pixel, *mean* - giá trị trung bình, *sd* - độ lệch chuẩn, *min* - giá trị thấp nhất, *max* - giá trị cao nhất.



****. *p* < 0,0001; ***. *p* < 0,001; ns - not significant: *p* > 0,05

Những chữ cái khác nhau (a, b, c...) thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê, Tukey, *p* < 0,05

Hình 2. Diễn biến giá trị chl-a (trái) và SST (phải) trung bình từng tháng trong năm 2017.



Hình 3. Phân bố không gian chl-a năm 2017.

và Bảng 2. Dựa vào Hình 2 bên phải, giá trị SST trung bình tháng được chia làm hai giai đoạn, giai đoạn một từ tháng 4 đến tháng 10 và giai đoạn hai từ tháng 11 đến tháng 3. Trong giai đoạn một, trung bình tháng SST lớn hơn giá trị trung bình năm 2017; tuy nhiên ở giai đoạn hai, trung bình tháng SST thấp hơn trung bình năm. Sự khác biệt về giá trị SST giữa trung bình tháng và trung bình năm 2017 thì có ý nghĩa về mặt thống kê (t.test, $P < 0,001$). Giá trị SST trung bình đạt cực đại vào tháng 5, tháng 6 và tháng 9 với giá trị tương ứng đạt $29,20 \pm 0,85^{\circ}\text{C}$;

$\pm 0,59^{\circ}\text{C}$; $29,21 \pm 0,49^{\circ}\text{C}$, và đạt cực tiểu trong tháng 2 với giá trị tương ứng đạt $25,19 \pm 0,88^{\circ}\text{C}$. Khác biệt về giá trị SST giữa các tháng trong năm 2017 thì có ý nghĩa thống kê (ANOVA, $P < 2,20 \times 10^{-16}$). Tuy nhiên không tìm thấy sự khác biệt SST giữa các tháng 5, tháng 6, tháng 9 (Tukey HSD, $P = 1,00$) (Hình 2, bên phải).

Trong năm 2017, giá trị SST cao nhất được tìm thấy trong mùa hè đạt $28,94 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$ và thấp nhất trong mùa đông với giá trị đạt $25,64 \pm 1,01^{\circ}\text{C}$, phù hợp với quy luật phân bố SST trên biển. Vào mùa xuân và mùa thu, giá trị

SST tại vùng nghiên cứu tương ứng đạt $27,73 \pm 1,63^{\circ}\text{C}$ và $28,18 \pm 1,17^{\circ}\text{C}$. Khác biệt về giá trị SST giữa các mùa trong năm thì có ý nghĩa về mặt thống kê (ANOVA, $P < 2,20 \times 10^{-16}$).

Kết quả phân bố không gian của SST trong năm 2017 được trình bày chi tiết ở Hình 4, cụ thể: Vào thời kì NEM cho thấy nhiệt độ có xu hướng giảm từ bắc xuống nam, với ưu thế của lưỡi nước lạnh xâm nhập từ phía bắc xuống phía nam. Trong thời kì ITM1, vẫn còn tồn tại lưỡi nước lạnh chạy dọc theo hướng bắc nam của vùng nghiên cứu, tuy nhiên lưỡi nước lạnh này có nhiệt độ cao hơn và không còn rõ nét như trong thời kì NEM trước đó. Vào đầu thời kì SWM, lưỡi nước lạnh vẫn còn tồn tại, tuy nhiên phạm vi của lưỡi nước lạnh này hẹp hơn (Đà Nẵng – Phú Yên) và nhiệt độ cũng cao hơn so với thời kì trước. Hình 4 cho thấy trong thời kì SWM, toàn bộ vùng ngoài khơi có nhiệt độ tầng mặt lớn, trung bình đạt 29°C . Kiểu phân bố tiêu biểu của trường nhiệt

độ nước biển tầng mặt vào thời kì SWM cho thấy có sự xuất hiện rõ nét tâm vùng nước lạnh của vùng nước trời xuất hiện ở vùng biển ven bờ Ninh Thuận – Bình Thuận và vuron xa về phía đông của vùng nghiên cứu dưới tác động của SWM. Tại vùng nước trời nhiệt độ nước thường thấp hơn $1 - 3^{\circ}\text{C}$ so với toàn vùng nghiên cứu. Đặc biệt là vào thời kì tháng 8, tâm nước trời được quan sát rõ ràng tại khu vực ven bờ Ninh Thuận – Bình Thuận. Kiểu phân bố trường nhiệt độ nước biển này có thể cho phép ta nhận định rằng, trường nhiệt độ nước biển tầng mặt vào thời kì SWM liên quan chặt chẽ với hiện tượng nước trời và thể hiện rõ nét nhất vào tháng 8 năm 2017. Vào đầu thời kì ITM2 (tháng 9), vùng nước lạnh ở tâm trời vẫn còn xuất hiện, tuy nhiên phạm vi vùng lạnh này hẹp hơn và nhiệt độ SST lại cao hơn so với thời kì SWM. Đến cuối thời kì ITM2, không còn xuất hiện vùng nước lạnh ở tâm vùng trời.

Bảng 2. Thống kê giá trị SST trung bình theo từng tháng trong năm 2017

Tháng	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<i>n</i>	2716	2765	2676	2722	2696	2736	2732	2750	2723	2717	2725	2739
<i>mean</i>	25,782	28,488	26,818	25,96	25,186	26,154	27,825	29,204	29,215	28,613	28,995	29,214
<i>sd</i>	1,061	0,634	0,665	0,916	0,885	1,172	1,090	0,854	0,589	0,787	0,733	0,494
<i>min</i>	22,210	24,345	23,855	20,730	21,34	22,395	24,375	25,600	25,335	25,290	25,175	26,160
<i>max</i>	28,055	30,88	28,515	28,100	27,325	28,085	29,780	30,825	31,185	30,490	30,985	31,235

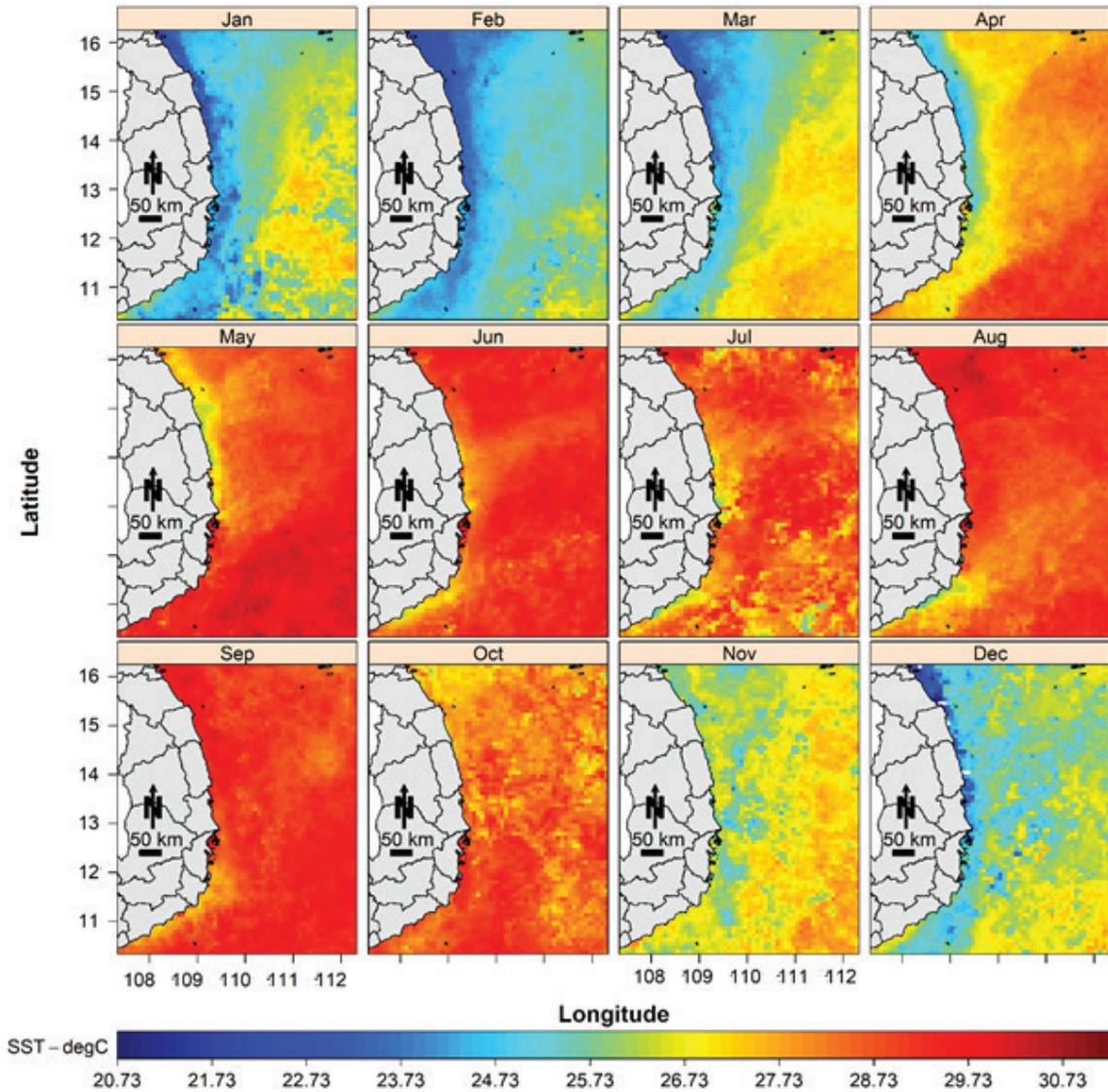
Ghi chú: *n* - số lượng pixel, *mean* - giá trị trung bình, *sd* - độ lệch chuẩn, *min* - giá trị thấp nhất, *max* - giá trị cao nhất.

IV. THẢO LUẬN

Bên cạnh việc sử dụng hàm lượng chl-a để đánh giá một số đặc trưng trạng thái của quần xã thực vật phù du thì chl-a cũng được xem như một chỉ số để đánh giá chất lượng môi trường nước biển. Thông thường khi chl-a trong nước biển lớn hơn 10 mg/m^3 thì tảo biển có khả năng nở hoa [17,25]. Theo đó tại khu vực ven bờ tỉnh Bình Thuận ($10,71^{\circ}\text{N}$ và $107,79^{\circ}\text{E}$) có thể xảy ra hiện tượng tảo nở hoa với hàm lượng chl-a cực đại đạt $9,74 \text{ mg/m}^3$ vào tháng 10 năm 2017 (Hình 3). Những kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy tại khu vực mũi Kê Gà (Bình Thuận),

tảo đã từng bùng phát và nở hoa với hàm lượng chl-a lớn hơn 10 mg/m^3 vào tháng 7 năm 2007 [25]. Kết quả khảo sát thực địa cũng cho thấy tại khu vực ven bờ Nam Trung Bộ, hàm lượng chl-a có giá trị đạt đến 8 mg/m^3 [2].

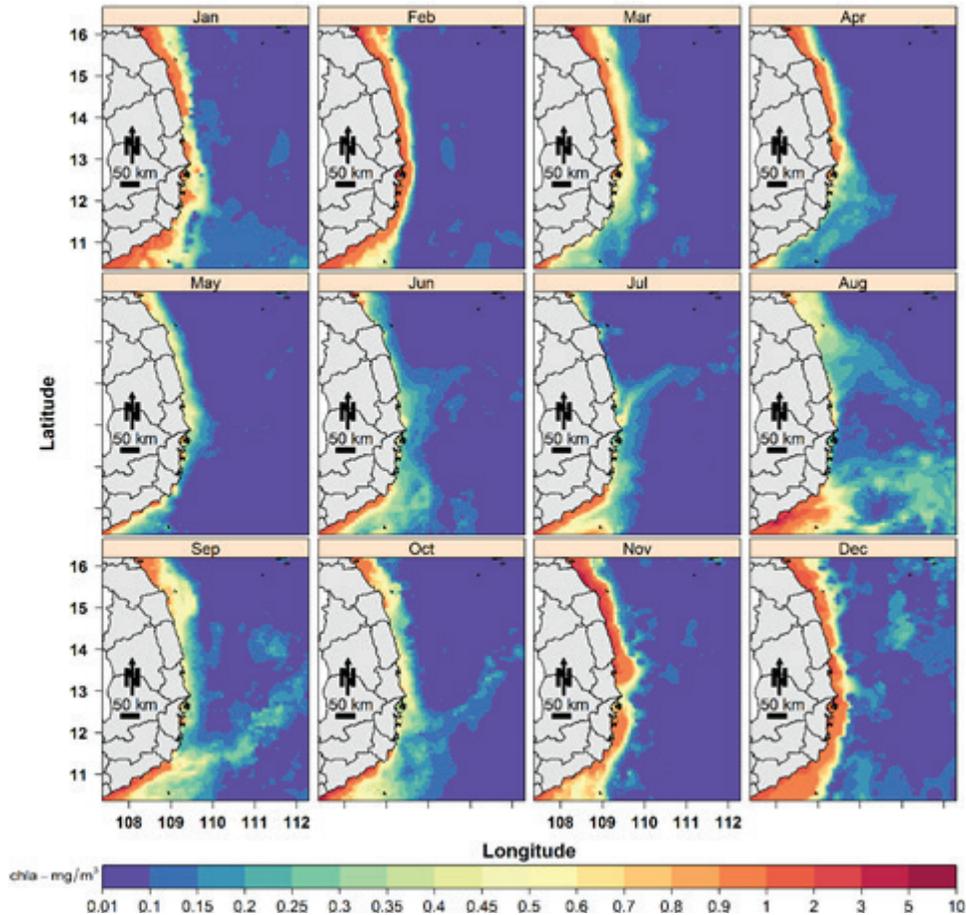
Kết quả từ Bảng 1, Bảng 2, Hình 3 và Hình 4 cho thấy chl-a và SST thu được trên vệ tinh MODIS đều bị mất dữ liệu, nguyên nhân gây mất dữ liệu không gian là do MODIS Aqua là vệ tinh quang học, nguồn dữ liệu thu được từ vệ tinh này bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết địa phương, đặc biệt là bị ảnh hưởng của mây và tác động của ánh sáng mặt trời (sunglin)



Hình 4. Phân bố không gian SST năm 2017.

[16,19,22]. Kết quả trích xuất dữ liệu chl-a và SST cho thấy trong cùng một điều kiện thời tiết và cùng thời gian thu ảnh thì chl-a bị mất dữ liệu nhiều hơn so với SST. Nguyên nhân là do năng lượng bề mặt trái đất được đo trong vùng nhiệt hồng ngoại là năng lượng phát ra của mục tiêu, không phải năng lượng phản xạ như trong vùng ánh sáng khả kiến và vùng hồng ngoại phản xạ (hồng ngoại gần và giữa). Do đó, SST thu được trong vùng nhiệt hồng ngoại nên không phụ thuộc vào ánh sáng mặt trời phản chiếu, và dữ liệu SST thậm chí có thể được thu

thập vào ban đêm [23]. Ngoài ra, vì chl-a được tính toán từ vùng ánh sáng khả kiến nên bị ảnh hưởng mạnh bởi “sol” khí (aerosol), ánh sáng mặt trời và độ đục cao của nước; do đó, dữ liệu chl-a thường không hoàn chỉnh hơn so với dữ liệu SST [26]. Trong bài báo này, thuật toán nội suy IDW được sử dụng nhằm bổ sung dữ liệu không gian bị mất và tăng cường độ phân giải không gian từ 9 km lên 1 km. Kết quả phân bố không gian của chl-a và SST ở độ phân giải không gian 1 km được trình bày chi tiết trên Hình 5 và Hình 6.



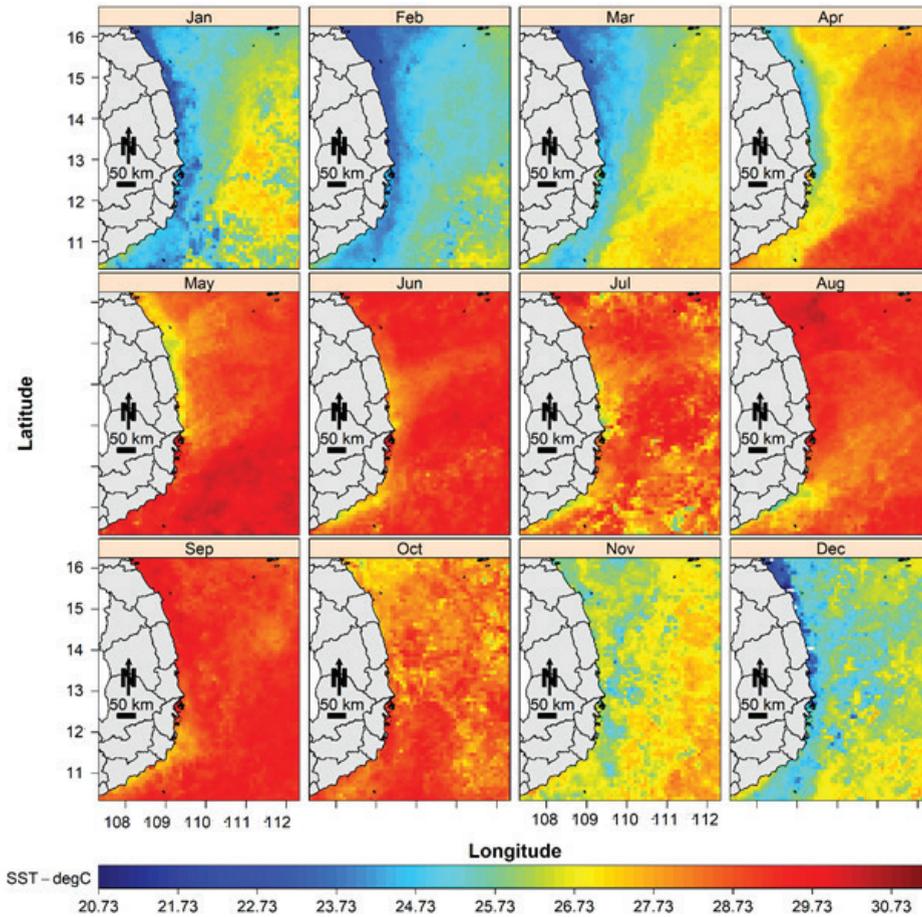
Hình 5. Phân bố không gian chl-a năm 2017 sau khi nội suy với độ phân giải không gian 1 km.

Những phân tích về phân bố không gian của chl-a và SST như đã trình bày ở phần kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng trong thời kì hoạt động của gió mùa tây nam, hình thành nên một “lưỡi” chl-a dài có hàm lượng cao với tâm ở vùng ven bờ tỉnh Bình Thuận và lan rộng theo hướng tây bắc – đông nam; đồng thời có sự xuất hiện rõ nét tâm vùng nước lạnh với nhiệt độ thấp tại vùng biển ven bờ Ninh Thuận – Bình Thuận, vươn xa về phía đông của vùng nghiên cứu. Từ đó cho thấy, có tồn tại mối quan hệ tuyến tính giữa chl-a và SST tại vùng biển nghiên cứu bởi vì khi hàm lượng chl-a đạt giá trị cao thì SST đạt giá trị thấp; và kiểm định Pearson được sử dụng để tìm kiếm mối tương quan tuyến tính giữa chl-a và SST. Kết quả kiểm định Pearson cho thấy có tồn tại mối tương quan nghịch giữa

SST với chl-a (Pearson, $r = -0,26$, $P < 0,001$). Những nghiên cứu trước đây cũng cho thấy chl-a và SST có mối tương quan tuyến tính; do đó SST được sử dụng như biến số phụ trợ để nội suy hàm lượng chl-a bằng mô hình hồi quy tuyến tính [26]. Phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a và nhiệt độ nước biển tầng mặt vào thời kì gió mùa tây nam (như đã phân tích ở trên) có thể được xem như chỉ thị để quan sát thời gian hoạt động của nước trôi trong vùng Nam Trung Bộ.

V. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Hàm lượng chl-a, SST tại vùng biển Nam Trung Bộ biến động mạnh theo thời gian, phụ thuộc vào các mùa gió trong năm, phân bố không gian của chl-a giảm từ bờ ra khơi. Hàm lượng chl-a trung bình năm 2017 đạt 0,26



Hình 6. Phân bố không gian SST năm 2017 sau khi nội suy với độ phân giải không gian 1 km.

mg/m³, dao động trong khoảng rộng từ 0,01 – 9,74 mg/m³. SST dao động trong khoảng rộng từ 20,73 – 31,24 °C, trung bình năm 2017 đạt 27,63 ± 1,70°C.

Trong thời kì hoạt động của gió mùa tây nam, hình thành nên một “lưỡi” chl-a dài với tâm ở vùng ven bờ tỉnh Bình Thuận và lan rộng theo hướng tây bắc – đông nam; ngoài ra còn có sự xuất hiện rõ nét tâm vùng nước lạnh tại vùng biển ven bờ Ninh Thuận – Bình Thuận, vươn xa về phía đông của vùng nghiên cứu.

Dữ liệu vệ tinh có ưu điểm vượt trội trong việc giám sát hệ sinh thái biển với thông tin không gian rộng và thời gian quan sát dài. Kết quả của bài báo có thể được sử dụng để giám sát các đặc điểm về hiện trạng phân bố chl-a, SST; và thời gian hoạt động của nước trôi trong

vùng biển Nam Trung Bộ.

Mặc dù dữ liệu MODIS Aqua có thể được khai thác và sử dụng miễn phí, tuy nhiên hàm lượng chl-a thu thập từ ảnh MODIS Aqua có thể bị mất dữ liệu do mây che phủ. Do đó, cần phải thực hiện các phương pháp nội suy để cung cấp dữ liệu không gian bị mất và tăng cường độ phân giải không gian trên ảnh MODIS Aqua.

Lời cảm ơn: Công trình này là một phần của nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp cơ sở cho cán bộ trẻ của Viện Hải dương học: “Nội suy số liệu chlorophyll-a vùng biển Nam Trung Bộ bằng phương pháp nghịch đảo khoảng cách có trọng số”. Tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Hải dương học, phòng Sinh thái biển đã hỗ trợ kinh phí và chuyên môn để tôi hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Hồng Long (2009), “*Hiện tượng nước trời trong vùng biển Việt Nam*”, NXB Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ.
2. Bùi Hồng Long, Võ Sĩ Tuấn, Nguyễn Tác An và Phan Minh Thụ (2016), “*Đặc điểm tự nhiên, môi trường nguồn lợi và định hướng khai thác, phát triển bền vững các thủy vực ven bờ Nam Trung Bộ*”, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
3. Nguyễn Tác An và Hoàng Trung Du (2009), “*Hóa học biển, Năng suất sinh học và các vấn đề môi trường trong vùng biển Việt Nam*”, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
4. Nguyễn Thùy Linh (2018), “Xu thế biến động nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển Tây Nam Việt Nam”, *Rừng và Môi trường*, 91, 22-25.
5. Trần Văn Chung và Bùi Hồng Long (2016), “Ảnh hưởng của trường nhiệt độ và biến đổi bất thường của mực nước trong biển đông liên quan đến biến đổi khí hậu”, *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 16 (3), 321-327.
6. Vũ Văn Tác (2014), “Phân bố hàm lượng chlorophyll trung bình tháng vùng biển Đông từ tháng 8/2011 đến 7/2012”, *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 14(1), 25-31.
7. Vũ Văn Tác (2016), “Các đặc trưng nhiệt độ và độ muối tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ Việt Nam”, *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 17(1), 35-43.
8. Vũ Văn Tác và Đoàn Như Hải (2018), “Bất thường của hàm lượng chlorophyll a tầng mặt tại vùng biển ven bờ Nam Trung Bộ Việt Nam liên quan đến hiện tượng ENSO”, *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 18(1), 70-78.
9. Vũ Văn Tác, Đoàn Như Hải, Tống Phước Hoàng Sơn, Ngô Mạnh Tiến, Nguyễn Hoàng Thái Khang, và Phan Quảng (2017), “Bất thường của nhiệt độ nước tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ Việt Nam liên quan đến hiện tượng ENSO”, *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 17 (2), 121-131.

Tiếng Anh

10. Azmi S., Agarwadkar Y., Bhattacharya M., Apte M., and Inamdar A. (2015), “Indicator based ecological health analysis using chlorophyll and sea surface temperature along with fish catch data of Mumbai Coast”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 15(4), 923-930.
11. Gong S., and Wong K. (2018), “Spatio-temporal analysis of sea surface temperature in the East China Sea using TERRA/MODIS products data”, *Sea Level Rise and Coastal Infrastructure* (pp. 213-227): InTechOpen Limited London.
12. Li J., and Heap A. D. (2008), “A review of spatial interpolation methods for environmental scientists”, *Geoscience Australia*.
13. Liu Y., Tang D., and Evgeny M. (2019), “Chlorophyll concentration response to the typhoon wind-pump induced upper ocean processes considering air–sea heat exchange”, *Remote Sensing*, 11(15), 22 p.
14. Mangiafico S. S. (2015), “An R companion for the handbook of biological statistics”, version 1.09c, 274 p.
15. Minnett P. J., Alvera-Azcárate A., Chin T., Corlett G., Gentemann C., Karagali I., Li X., Marsouin A., Marullo S., and Maturi E. (2019), “Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature”, *Remote Sensing of Environment*, 233, 49 p.
16. Müller D. (2007), “*Estimation of algae concentration in cloud covered scenes using geostatistical methods*”, Paper presented at the Proceedings of ENVISAT symposium held in Montreux, ESA SP-636.
17. Ouyang Z., Shao C., Chu H., Becker R., Bridgeman T., Stepien C. A., John R., and Chen J. (2017), “The effect of algal blooms on carbon emissions in western Lake Erie: An integration of remote sensing and eddy

- covariance measurements”, *Remote Sensing*, 9(1), 44 p.
18. Pebesma E. J. (2006), “The gstat package”, 60 p.
19. Pottier C., Garçon V., Larnicol G., Sudre J., Schaeffer P., and Le Traon P.-Y. (2006), “Merging SeaWiFS and MODIS/Aqua ocean color data in North and Equatorial Atlantic using weighted averaging and objective analysis”, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 44(11), 3436-3451.
20. Robles-Tamayo C., Valdez-Holguín J., García-Morales R., Figueroa-Preciado G., Herrera-Cervantes H., López-Martínez J., and Enríquez-Ocaña L. (2018), “Sea surface temperature (SST) variability of the eastern coastal zone of the gulf of California”, *Remote Sensing*, 10(9), 23 p.
21. Şeyma M. K., and Ersin A. (2018), “Estimating Chlorophyll-A Concentration using Remote Sensing Techniques”, *Annals of Reviews and Research*, 4(2), 33-35.
22. Sirjacobs D., Alvera-Azcárate A., Barth A., Lacroix G., Park Y., Nechad B., Ruddick K., and Beckers J.-M. (2011), “Cloud filling of ocean colour and sea surface temperature remote sensing products over the Southern North Sea by the Data Interpolating Empirical Orthogonal Functions methodology”, *Journal of Sea Research*, 65(1), 114-130.
23. Tarigan S., and Wouthuyzen S. (2017), “Mapping and Monitoring the Sea Surface Temperature in Weda Bay Using Terra and Aqua-Modis Satellites”, *Journal of Remote Sensing & GIS*, 30, 3.
24. Tong Phuoc Hoang Son, Tran Van Chung, Nguyen Huu Huan, Ngo Manh Tien, Vu Van Tac, Nguyen Hoang Thai Khang, Nguyen Truong Thanh Hoi, Marine H., and Eko S. (2017), “Abnormal features of oceanographic characteristics in upwelling Vietnam waters under impact of El Niño events”, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 39(3), 225-239.
25. Tong Phuoc Hoang Son, Truong Minh Chuan and Hoang Cong Tin. (2015), “Detecting chlorophyll-a concentration and bloom patterns at upwelling area in South central Vietnam by high resolution multi-satellite data”, *J. Environ. Sci. Eng. A*, 4, 215-224.
26. Umbert M., Guimard S., Ballabrera Poy J., and Turiel A. (2020), “Synergy between Ocean Variables: Remotely Sensed Surface Temperature and Chlorophyll Concentration Coherence”, *Remote Sensing*, 12(7), 12 p.