

ĐÁNH GIÁ NĂNG SUẤT SINH HỌC VÀ TỐC ĐỘ PHÁT TRIỂN CỦA THỰC VẬT NỔI Ở VÙNG CỬA SÔNG TỈNH BÀ RỊA - VŨNG TÀU

EVALUATION OF PRIMARY PRODUCTION AND GROWTH RATE PHYTOPLANKTON IN ESTUARIES OF BA RIA – VUNG TAU PROVINCE

Huỳnh Minh Sang, Nguyễn Minh Hiếu và Phan Minh Thụ

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

Tác giả liên hệ: Huỳnh Minh Sang; Email: hmsang2000@yahoo.com

Ngày nhận bài: 20/11/2024; Ngày phân biện thông qua: 09/12/2024; Ngày duyệt đăng: 25/12/2024

TÓM TẮT

Thực vật nổi đóng vai trò quan trọng trong hệ sinh thái cửa sông, nơi diễn ra động thái dinh dưỡng phức tạp. Bài viết này đánh giá năng suất sinh học và tốc độ phát triển của thực vật nổi (phytoplankton) tại vùng cửa sông Bà Rịa - Vũng Tàu, nhằm làm rõ tính đặc thù của hệ sinh thái cửa sông phục vụ quản lý môi trường nước. Nghiên cứu được thực hiện dựa vào kết quả hai chuyến khảo sát và thực nghiệm tại 4 trạm vào tháng 6/2022 (mùa mưa) và tháng 12/2022 (mùa khô). Kết quả nghiên cứu cho thấy năng suất sinh học (GPP) của thực vật nổi dao động từ 387,0-2040,0 mgC m⁻³ ngày⁻¹ vào tháng 6/2022 và 355,5-1254,0 mgC m⁻³ ngày⁻¹ vào tháng 12/2022. Tỷ lệ GPP/CR biến động từ 2,15 đến 16,06, phản ánh tình tự dưỡng của vùng nước. Tốc độ phát triển của thực vật nổi trung bình đạt 0,975 ± 0,743 ngày⁻¹ vào mùa mưa và 1,459 ± 0,494 ngày⁻¹ vào tháng 12/2022. Tốc độ phát triển này có mối quan hệ nghịch với hàm lượng chlorophyll-a, và cao hơn vào tháng 12/2022. Tốc độ này giảm dần theo độ sâu có thể do hạn chế ánh sáng ở các độ sâu lớn hơn. Các kết quả cho thấy vùng cửa sông ở Bà Rịa – Vũng Tàu là môi trường giàu dinh dưỡng, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của thực vật nổi. Tuy nhiên, nó cũng tiềm ẩn nguy cơ gây ra hiện tượng tảo nở hoa dưới điều kiện ánh sáng thuận lợi. Hiểu rõ các quá trình động thái học này góp phần quản lý và giám sát hiệu quả môi trường thủy sinh, đồng thời dự báo các hệ quả sinh thái tiềm ẩn của việc tăng cường dinh dưỡng trong khu vực.

Từ khóa: Thực vật nổi, tốc độ phát triển, cửa sông, Bà Rịa – Vũng Tàu.

ABSTRACT

Phytoplankton plays a crucial role in aquatic ecosystems of estuaries where nutrient dynamics are often complex. This study evaluates the primary production and growth rate of phytoplankton in the estuarine area of Bà Rịa - Vũng Tàu, aiming to clarify the characteristics of the estuarine ecosystem for the better aquatic environmental management. The research was conducted through two surveys and experiments at 4 stations in June 2022 (rainy season) and December 2022 (dry season). Results indicated that primary production (GPP) of phytoplankton ranged from 387.0–2040.0 mgC m⁻³ day⁻¹ in June and 355.5–1254.0 mgC m⁻³ day⁻¹ in December. The GPP/CR ratio, ranging from 2.15 to 16.06, reflects the autotrophic status of the waters. The average growth rate of phytoplankton reached 0.975 ± 0.743 day⁻¹ in June and 1.459 ± 0.494 day⁻¹ in December. The growth rates were inversely proportional to the chlorophyll-a content, with higher growth rates observed in the December. Growth rates also showed a trend of decreasing with depth, due to light limitations at lower depths. These results demonstrated that estuarine waters in Ba Rìa – Vung Tau is nutrient-rich environment that supports rapid phytoplankton growth. However, this also presents a potential risk for algal blooms under favorable light conditions. Understanding these dynamics is crucial for effective management and monitoring of aquatic environments, as well as for anticipating the potential ecological consequences of nutrient loading in the region.

Keywords: phytoplankton, growth rate of phytoplankton, estuaries, Bà Rịa – Vũng Tàu.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vùng cửa sông là nơi giao thoa giữa nước ngọt từ sông đổ ra và nước mặn từ biển chảy vào

theo thủy triều, tạo nên môi trường đặc thù với đặc điểm đa dạng sinh học cao và phong phú [9]. Nó đóng vai trò quan trọng không chỉ trong

cung cấp nguồn lợi thủy sản mà còn trong bảo vệ môi trường và duy trì cân bằng sinh thái khu vực [38]. Trong hệ sinh thái đó, thực vật nổi (phytoplankton) như là mắt xích thức ăn quan trọng và là yếu tố ổn định chất lượng nước [8].

Thực vật nổi tham gia vào chu trình vật chất của thủy vực thông qua quá trình quang hợp nhờ năng lượng ánh sáng mặt trời [8]. Chúng có vai trò cung cấp thức ăn trực tiếp cho động vật phù du, cá và các sinh vật thủy sinh khác [30]. Thực vật nổi còn góp phần điều hòa khí hậu qua việc hấp thụ khí carbonic và giải phóng khí oxy [30]. Tuy nhiên, sự phát triển của thực vật nổi ở vùng cửa sông chịu ảnh hưởng từ các yếu tố môi trường như độ mặn, nhiệt độ, ánh sáng, và các muối dinh dưỡng nitơ (NH_4^+ , NO_3^-) và photphat [34] và mang tính đặc trưng của khu hệ nước lợ rõ rệt. Sự thay đổi của các yếu tố này có thể dẫn đến bùng phát hoặc suy giảm mật độ thực vật nổi, từ đó ảnh hưởng đến toàn bộ hệ sinh thái thủy sinh [26]. Thực vật nổi, là nhóm sinh vật sản xuất, ảnh hưởng trực tiếp đến chu trình dinh dưỡng và năng suất sinh học của hệ sinh thái [38]. Thêm vào đó, thực vật nổi còn là một thông số cốt lõi trong các mô hình sinh thái dùng để dự đoán và quản lý hệ sinh thái nước [33]. Chính vì vậy, việc đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi cho từng vùng là một bước quan trọng trong việc hiểu rõ diễn biến trạng thái của các hệ sinh thái nước ở vùng cửa sông

Tại vùng cửa sông Bà Rịa - Vũng Tàu, nguồn dinh dưỡng/chất thải từ các hoạt động kinh tế như công nghiệp, nông nghiệp, và nuôi trồng thủy sản đã làm thay đổi đáng kể chất lượng môi trường nước [18]. Nguồn tích tụ muối dinh dưỡng này có thể dẫn đến hiện tượng phú dưỡng (eutrophication), kích thích sự gia tăng bất thường của thực vật nổi, gây mất cân bằng sinh thái và ảnh hưởng bất lợi đến chất lượng nước cũng như nguồn lợi thủy sản [17, 23, 37]. Vì vậy, đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi tại vùng cửa sông Bà Rịa - Vũng Tàu là cần thiết để hiểu rõ hiện trạng và sự biến đổi của chúng trong hệ sinh thái.

Bài báo đánh giá tốc độ phát triển thực vật nổi tại các khu vực cửa sông ở Bà Rịa - Vũng

Tàu dựa trên những thí nghiệm của quá trình quang hợp tại hiện trường. Đánh giá sự phát triển của thực vật nổi không chỉ giúp nhận diện sớm các biến động sinh thái và dự báo các rủi ro tiềm tàng đối với hệ sinh thái thủy sinh và sức khỏe con người. Kết quả các nghiên cứu này còn cung cấp hệ số thực nghiệm về tốc độ phát triển của thực vật nổi cho các mô hình sinh thái phục vụ công tác quản lý bền vững môi trường vùng nghiên cứu.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

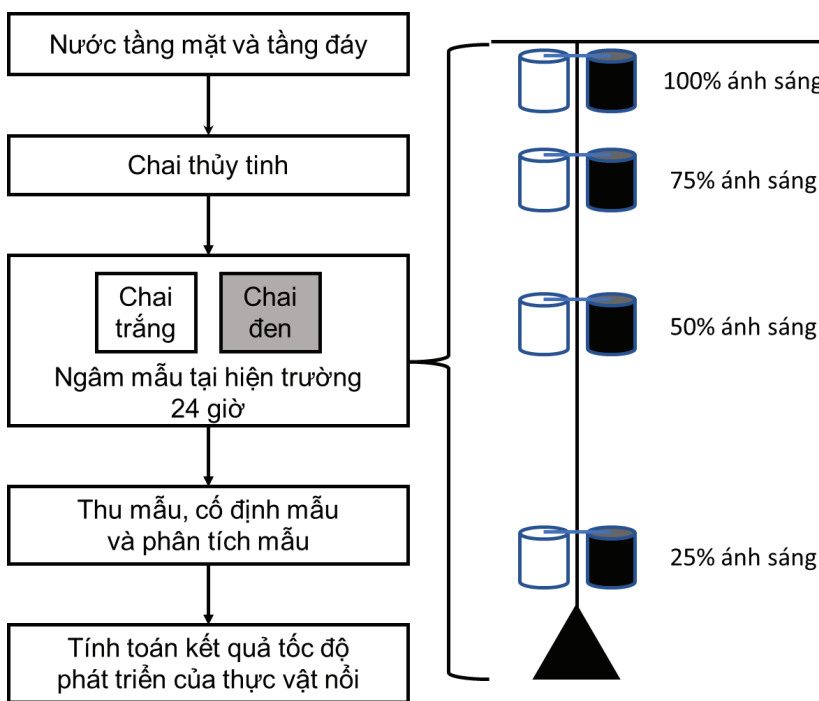
2.1. Khảo sát thực địa và bố trí thực nghiệm

Tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu là tỉnh Đông Nam Bộ, có đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa điển hình với hai mùa rõ rệt, mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô diễn ra từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Tuy nhiên, năm 2022, mưa chuyển mùa diễn ra từ đầu tháng 4. Vì vậy, khảo sát năng suất sinh học và triển khai thực nghiệm đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi được thực hiện tại hiện trường ở vùng cửa sông Dinh (trạm SD3), sông Chà Và (trạm CV1), sông Mỏ Nhát (trạm MN3) và cửa vịnh Gành Rái (TV1) tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 1) vào tháng 6/2022 (đại diện cho mùa mưa) và tháng 12/2022 (đại diện cho mùa khô). Tại mỗi trạm nghiên cứu, nước tầng mặt và tầng cách đáy 1 m (gọi tắt là tầng đáy) được thu thập để phân tích oxy hòa tan (DO), hàm lượng muối dinh dưỡng nitơ (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) và photphat (PO_4^{3-}), hàm lượng Chlorophyll-a (Chla) và năng suất sinh học, các giá trị phân tích này được xem như điều kiện môi trường đầu vào của mẫu nước thực nghiệm. Mỗi mẫu được thực hiện với mẫu lặp $n=3$. Mặt khác, thực nghiệm đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi cũng tiến hành với mẫu nước thu tại các tầng mặt và tầng đáy và được bố trí như Hình 2.

Quá trình bố trí thực nghiệm như sau: Mẫu nước sau khi được thu bằng bình Niskin 6L, được lọc qua lưới động vật phù du (kích thước lưới là 64 μm) để loại bỏ động vật phù du. Sau đó, mẫu nước được cho vào bộ dụng cụ bằng nhựa arctic trong suốt có đường kính 110mm và chiều cao 300mm, gồm bình trắng và bình



Hình 1: Trạm vị thu mẫu và thực nghiệm. Trạm SD3 trên sông Dinh, Trạm CV1 trên sông Chà Và, Trạm MN3 trên sông Mỏ Nhát, và trạm TV1 tại cửa vịnh Gành Rái.



Hình 2: Sơ đồ bố trí thực nghiệm tốc độ phát triển của thực vật nổi tại hiện trường.

đen. Quá trình này được thực hiện từ từ và không xuất hiện bọt khí. Sau đó, các bình trắng và bình đen được treo song song hệ thống phao tại hiện trường ở tầng mặt và các tầng sâu có cường độ ánh sáng khoảng 75%, 50% và 25% so với tầng mặt. Căn cứ vào kết quả xác định cường độ ánh sáng tại khu vực nghiên cứu, độ sâu tương ứng với cường độ ánh sáng trên là tầng mặt (0-0,5m), tầng 1-1,5m, tầng 2-2,5

m và tầng 3,5-4m. Thời gian thí nghiệm là 24 giờ, lặp lại 3 lần. Mẫu nước để phân tích oxy hòa tan (DO) và Chlorophyll-a (Chla) được thu trước và sau khi thí nghiệm kết thúc. Trong suốt quá trình thí nghiệm, cường độ ánh sáng được xác định hàng giờ (trong thời gian có ánh sáng mặt trời).

Mẫu DO được xử lý và phân tích ngay lập tức, trong khi đó mẫu muối dinh dưỡng được

cổ định bằng Chloroform, giữ lạnh, mẫu Chla được lọc bằng màng lọc GF/F và được giữ tối và lạnh cho đến khi vận chuyển về phòng thí nghiệm của Viện Hải dương học.

2.2. Đo đạc và phân tích mẫu

Nhiệt độ nước và độ mặn được đo bằng máy RBRconcerto³ C.T.D (conductivity, temperature, and pressure). DO được phân tích bằng phương pháp Winkler [5]. Năng suất sinh học được xác định thông qua sự chênh lệch DO trong bình đen – bình trắng dưới điều kiện ánh sáng tự nhiên tại hiện trường trong 24 giờ. Hàm lượng muối dinh dưỡng nito NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- và photphat PO_4^{3-} được xác định lần lượt theo phương pháp chuẩn kiểm tra nước và nước thải (Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water) SMEWW 4500-NH3.B&F:2017, SMEWW 4500-NO2.B:2017, SMEWW 4500-NO3.E:2017, SMEWW 4500-P.E:2017 [5]. Mẫu Chla được chiết suất bằng Aceton 90% trong 24 giờ ở nhiệt độ dưới 4°C, và đo trên máy quang phổ U2900 [20, 21].

2.3. Xử lý số liệu

Tính toán năng suất sinh học sơ cấp hay năng suất sinh học thô (GPP) được tính theo công thức sau:

$$\text{GPP} = \text{NPP} + \text{CR} \quad (\text{đơn vị tính: mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ ngày}^{-1})$$

Trong đó: NPP: Năng suất tịnh và CR: Cường độ hô hấp trong bình đen. NPP và CR là lượng oxy chênh lệch giữa hàm lượng DO ban đầu với hàm lượng DO trong bình trắng và bình đen khi thời gian thí nghiệm 24 giờ. Sử dụng hệ số 0,375 để chuyển đổi giữa O_2 và C trong tính năng suất sinh học.

Hệ số tốc độ phát triển của tảo được thực hiện theo công thức sau [16, 19]:

$$\mu_1 = \frac{\ln \text{Chl } a_2 - \ln \text{Chl } a_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{đơn vị: ngày}^{-1})$$

trong đó, $\text{Chl } a_2$ và $\text{Chl } a_1$ là hàm lượng Chl-a của thực vật nổi tại thời điểm t_2 trong bình trắng và t_1 .

So sánh sự khác biệt thống kê về giá trị trung bình các nghiệm thức thí nghiệm của các thông số thí nghiệm bằng phương pháp phân tích phương sai “One Way ANOVA” với phép

thử Tukey’s post-hoc test cho thí nghiệm ở mức ý nghĩa $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm môi trường vùng nghiên cứu

Kết quả khảo sát môi trường nước vùng nghiên cứu cho thấy vào tháng 6/2022 (mùa mưa), nhiệt độ nước dao động trong khoảng 29,35 - 31,55 °C và độ mặn dao động trong khoảng 27,26 - 32,65 ‰. Trong khi đó, vào tháng 12/2022 (mùa khô) nhiệt độ nước dao động trong khoảng 27,28 - 28,59 °C và độ mặn dao động trong khoảng 29,09-31,31‰. Độ trong dao động 1,0-1,5m vào tháng 6/2022 và 0,6-1,9m vào tháng 12/2022. Các yếu tố môi trường khác được ghi nhận ở Bảng 1. Các yếu tố môi trường khác biến động giữa những trạm nghiên cứu, nhưng sự khác biệt giữa tháng 12/2022 và tháng 6/2022 không rõ ràng. Hàm lượng Chla khác nhau có ý nghĩa giữa tầng mặt và tầng đáy và ở tháng 6/2022 cao hơn tháng 12/2022 ($p < 0,05$). Nồng độ của tổng muối dinh dưỡng nito ($\text{DIN} = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) vào tháng 6/2022 dao động trong khoảng 4,65 - 26,40 μM , trung bình $14,52 \pm 7,84 \mu\text{M}$, và vào tháng 12/2022 dao động trong khoảng 7,12 - 18,88 μM , trung bình $13,42 \pm 3,97 \mu\text{M}$. Nồng độ muối dinh dưỡng photphat (DIP hay PO_4^{3-}) vào tháng 6/2022 dao động trong khoảng 0,48 - 2,60 μM , trung bình $1,15 \pm 0,72 \mu\text{M}$, và vào tháng 12/2022 dao động trong khoảng 0,54 - 1,54 μM , trung bình $0,94 \pm 0,35 \mu\text{M}$. Tỷ lệ N:P vào tháng 6/2022 dao động trong khoảng 7,79 - 31,58, trung bình $14,08 \pm 8,36$, và vào tháng 12/2022 dao động trong khoảng 11,56 - 19,74, trung bình $14,74 \pm 3,12$. Theo Justic và cs. [22], hàm lượng muối dinh dưỡng là yếu tố giới hạn phát triển của thực vật nổi khi (1) $\text{DIN} < 1 \mu\text{M}$ và $\text{N:P} < 10$, thì muối dinh dưỡng N là yếu tố giới hạn; hoặc (2) $\text{DIP} < 0.1 \mu\text{M}$ và $\text{N:P} > 22$, thì muối dinh dưỡng P là yếu tố giới hạn. Như vậy, điều kiện muối dinh dưỡng N và P ở khu vực nghiên cứu thích hợp cho sự phát triển của thực vật nổi.

Bảng 1: Hàm lượng một số yếu tố môi trường vùng nghiên cứu

TT	Trạm	Tầng	DO mgO ₂ /L	NO ₂ ⁻ μM	NO ₃ ⁻ μM	NH ₄ ⁺ μM	PO ₄ ³⁻ μM	Chla mg/m ³
Tháng 6/2022 (Mùa mưa)								
1	SD3	M	5,14 ± 0,09	0,85 ± 0,01	2,93 ± 0,05	1,80 ± 0,01	0,72 ± 0,01	18,26 ± 0,13 ^{ab}
2	SD3	Đ	5,02 ± 0,08	1,24 ± 0,0	4,63 ± 0,05	1,53 ± 0,03	0,86 ± 0,01	13,89 ± 0,08 ^{ab}
3	CV1	M	5,24 ± 0,03	2,59 ± 0,05	6,42 ± 0,13	6,66 ± 0,07	1,47 ± 0,01	13,03 ± 0,22 ^b
4	CV1	Đ	5,38 ± 0,04	3,06 ± 0,04	9,37 ± 0,07	5,17 ± 0,02	0,86 ± 0,01	12,71 ± 0,13 ^b
5	MN3	M	5,80 ± 0,08	3,47 ± 0,06	9,04 ± 0,07	5,67 ± 0,11	0,58 ± 0,01	29,36 ± 0,26 ^{ab}
6	MN3	Đ	5,38 ± 0,09	0,83 ± 0,01	2,06 ± 0,01	1,76 ± 0,02	0,48 ± 0,0	39,95 ± 0,64 ^{ab}
7	TV1	M	6,43 ± 0,03	2,53 ± 0,03	11,52 ± 0,21	12,34 ± 0,23	1,66 ± 0,03	29,14 ± 0,58 ^{ab}
8	TV1	Đ	5,27 ± 0,09	5,50 ± 0,04	8,26 ± 0,07	6,89 ± 0,12	2,60 ± 0,02	10,55 ± 0,05 ^{ab}
Tháng 12/2022 (Mùa khô)								
1	SD3	M	4,92 ± 0,03	0,72 ± 0,01	2,83 ± 0,06	7,51 ± 0,11	0,57 ± 0,01	5,71 ± 0,03 ^{ab}
2	SD3	Đ	4,83 ± 0,04	0,77 ± 0,01	3,48 ± 0,05	7,36 ± 0,04	0,80 ± 0,01	3,04 ± 0,03 ^{ab}
3	CV1	M	5,34 ± 0,08	2,20 ± 0,04	5,41 ± 0,08	11,28 ± 0,20	0,96 ± 0,02	4,44 ± 0,02 ^{ab}
4	CV1	Đ	5,27 ± 0,05	2,74 ± 0,05	4,27 ± 0,03	6,15 ± 0,08	1,02 ± 0,02	2,58 ± 0,05 ^{ab}
5	MN3	M	4,94 ± 0,06	2,37 ± 0,04	6,85 ± 0,04	2,14 ± 0,03	0,80 ± 0,01	12,65 ± 0,05 ^{ab}
6	MN3	Đ	4,98 ± 0,06	1,67 ± 0,03	3,28 ± 0,07	2,16 ± 0,03	0,54 ± 0,01	10,29 ± 0,21 ^{ab}
7	TV1	M	6,10 ± 0,05	3,03 ± 0,01	7,44 ± 0,15	5,92 ± 0,04	1,33 ± 0,02	5,60 ± 0,09 ^{ab}
8	TV1	Đ	6,32 ± 0,04	2,64 ± 0,02	5,84 ± 0,08	9,29 ± 0,12	1,53 ± 0,02	4,21 ± 0,05 ^{ab}

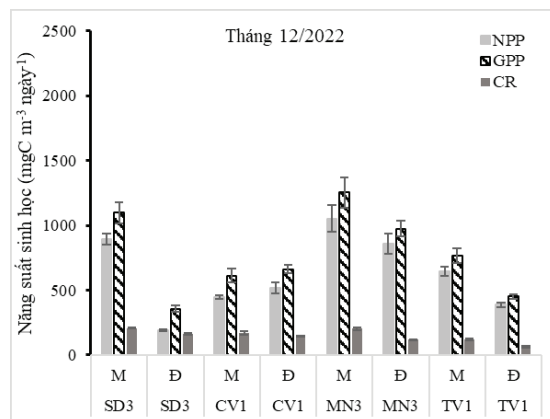
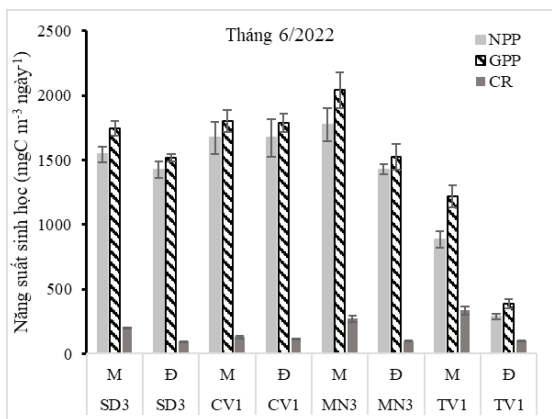
(các ký tự (a): chỉ ra sự khác nhau giữa tầng mặt và tầng đáy, (b) chỉ ra sự khác nhau giữa tháng 6/2022 và tháng 12/2022, $p < 0,05$)

3.2. Năng suất sinh học của thực vật nổi ở vùng nghiên cứu

Kết quả phân tích năng suất sinh học được trình bày ở Hình 3 và Bảng 2 cho thấy, năng suất sinh học dao động 355,5 - 2040,0 mgC m⁻³ ngày⁻¹ đối với GPP (năng suất sinh học thô) và 63,0 - 334,5 mgC m⁻³ ngày⁻¹ đối với CR (cường độ hô hấp). Hệ số GPP/CR dao động 2,15 - 16,06. Chứng tỏ rằng vùng nước nghiên cứu

là vùng tự dưỡng [28], nguồn vật chất tạo ra từ quá trình quang hợp của thực vật nổi có thể cung cấp nguồn thức ăn cơ sở cho thủy vực.

Về biến động theo thời gian ở vùng cửa sông tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, trong tháng 6/2022 (mùa mưa), năng suất sinh học ở các trạm vùng cửa sông (SD3, CV1, MN3) cao hơn có ý nghĩa so với trạm cửa vịnh Gành Rái (TV1) ($p < 0,05$), trong khi đó vào tháng 12/2022 (mùa



Hình 3: Biến động năng suất sinh học sơ cấp ở các trạm nghiên cứu.

Bảng 2: Năng suất sinh học sơ cấp ở các trạm nghiên cứu (kỳ tự a chỉ ra sự khác nhau có ý nghĩa giữa tháng 6/2022 và tháng 12/2022, $p < 0,05$)

TT	Trạm	Tầng	Năng suất sinh học ($\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$)			Chl-a (mg m^{-3})	Hệ số GPP/CR
			NPP	GPP	CR		
Tháng 6/2022 (mùa mưa)							
1	SD3	M	1545,0 ± 60,3	1743,0 ± 57,5	198,0 ± 4,0	18,26 ± 1,37	8,80
2	SD3	Đ	1423,5 ± 62,6	1518,0 ± 30,4	94,5 ± 2,5	13,89 ± 0,61	16,06
3	CV1	M	1671,0 ± 125,3	1801,5 ± 82,9	130,5 ± 10,3	13,03 ± 0,38	13,80
4	CV1	Đ	1671,0 ± 143,7	1786,5 ± 69,7	115,5 ± 3,9	12,71 ± 0,38	15,47
5	MN3	M	1770,0 ± 127,4	2040,0 ± 140,8	270,0 ± 27,0	29,36 ± 1,67	7,56
6	MN3	Đ	1428,0 ± 38,6	1524,0 ± 96,0	96,0 ± 3,5	39,95 ± 4,0	15,88
7	TV1	M	883,5 ± 63,6	1218,0 ± 85,3	334,5 ± 33,5	29,14 ± 2,89	3,64
8	TV1	Đ	286,5 ± 21,8	387,0 ± 38,3	100,5 ± 4,5	10,55 ± 0,41	3,85
Khoảng dao động			286,5 - 1770,0	387,0 - 2040,0	94,5 - 334,5	10,55 - 39,95	3,64 - 16,06
Trung bình			1334,8 ± 504,1 ^a	1502,3 ± 513,1 ^a	167,4 ± 91,3	20,86 ± 10,65 ^a	10,63 ± 5,32 ^a
Tháng 12/2022 (mùa khô)							
1	SD3	M	891,0 ± 42,8	1098,0 ± 81,3	207,0 ± 6,2	5,71 ± 0,14	5,30
2	SD3	Đ	190,5 ± 9,9	355,5 ± 25,6	165,0 ± 7,3	3,04 ± 0,12	2,15
3	CV1	M	443,4 ± 15,1	611,4 ± 52,0	168,0 ± 13,1	4,44 ± 0,20	3,64
4	CV1	Đ	517,8 ± 44,0	661,8 ± 30,4	144,0 ± 5,0	2,58 ± 0,11	4,60
5	MN3	M	1053,0 ± 103,2	1254,0 ± 115,4	201,0 ± 11,5	12,65 ± 0,49	6,24
6	MN3	Đ	858,0 ± 79,8	975,0 ± 61,4	117,0 ± 3,2	10,29 ± 0,27	8,33
7	TV1	M	645,0 ± 38,1	765,0 ± 55,8	120,0 ± 5,8	5,60 ± 0,56	6,37
8	TV1	Đ	387,0 ± 17,0	450,0 ± 17,6	63,0 ± 4,9	4,21 ± 0,09	7,14
Khoảng dao động			190,5 - 1053,0	355,5 - 1254,0	63,0 - 207,0	2,58 - 12,65	2,15 - 8,33
Trung bình			623,2 ± 292,4 ^a	771,3 ± 315,1 ^a	148,1 ± 47,8	6,07 ± 3,57 ^a	5,47 ± 1,98 ^a

khô) sai khác này không rõ ràng (Hình 3). Nhìn chung, vào tháng 6/2022, GPP dao động 387,0 - 2040,0 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, trung bình 1502,3 ± 513,1 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, tương ứng hàm lượng Chl-a dao động 10,55 - 39,95 mg m^{-3} , trung bình 20,86 ± 10,65 mg m^{-3} . Trong khi đó, vào tháng 12/2022, GPP dao động 355,5 - 1254,0 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, trung bình 771,3 ± 315,1 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, tương ứng hàm lượng Chl-a dao động 2,58 - 12,65 mg m^{-3} , trung bình 6,07 ± 3,57 mg m^{-3} (Bảng 2). So sánh với các khu vực khác, GPP tại Vũng Rô trung bình vào mùa mưa 176,15 ± 113,44 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, và vào mùa khô 367,74 ± 166,89 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$ [2]; ở cửa sông Cửu Long GPP tương ứng vào mùa mưa 258,20 ± 206,43 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, và vào mùa khô 156,74 ± 59,39 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$ [3]; hay ở vịnh Nha Trang – Nha Phu GPP tương ứng vào

mùa mưa 152,33 ± 151,59 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$, và vào mùa khô 104,29 ± 77,70 $\text{mgC m}^{-3} \text{ ngày}^{-1}$ [1]. Như vậy, GPP trong nghiên cứu này cao hơn rất nhiều các thủy vực khác. Điều này có thể do sinh lượng của thực vật nổi cao, cũng như muối dinh dưỡng đáp ứng nhu cầu phát triển chúng (Bảng 1).

3.3. Tốc độ phát triển của thực vật nổi ở vùng nghiên cứu

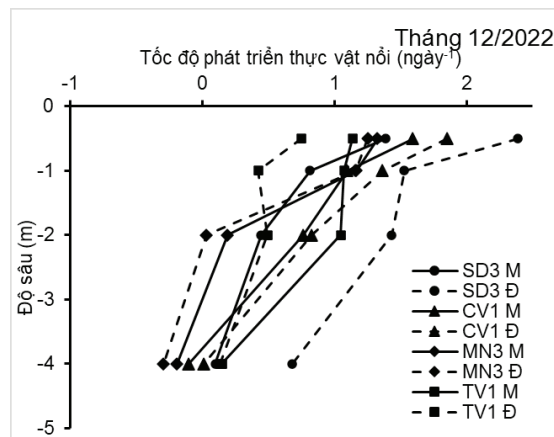
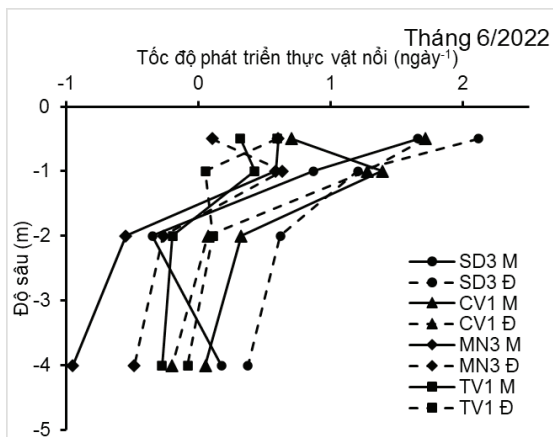
Kết quả đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi (Hình 4) ở vùng nghiên cứu cho thấy hằng số tốc độ phát triển của thực vật nổi có xu hướng giảm dần theo độ sâu và ở vùng cửa sông cao (Trạm SD3, CV1 và MN3) hơn so với vùng cửa vịnh Gành Rái (Trạm TV1). Tại tầng mặt, nơi có đầy đủ cường độ ánh sáng cho thực vật nổi phát triển, hằng số tốc độ phát triển của thực vật nổi trung bình 0,975 ± 0,743 ngày^{-1}

vào tháng 6/2022 và $1,459 \pm 0,494$ ngày⁻¹ vào tháng 12/2022. Tại tầng 4m, hằng số tốc độ phát triển của thực vật nổi trung bình $-0,174 \pm 0,413$ ngày⁻¹ vào tháng 6/2022 và $0,061 \pm 0,297$ ngày⁻¹ vào tháng 12/2022. Sự suy giảm tốc độ phát triển của thực vật nổi ở những tầng nước sâu hơn thể hiện mối quan hệ của chúng đến giới hạn ánh sáng. Giả sử sự phát triển của thực vật nổi trong bình trắng của thực nghiệm không sai khác với môi trường ngoài, thì sự gia tăng của sinh khối thực vật nổi (dựa vào hàm lượng Chla) có ảnh hưởng nhất định đến suy giảm cường độ ánh sáng trong tầng nước. Độ trong (Z_{sd}) quan trắc tại các trạm tiền hành thực nghiệm dao động trong khoảng 0,6-1,6m. Độ trong có mối quan hệ với độ sâu tầng ưu quang (euphotic depth, Z_{cu}), Golubkov và cs. [13] xác định tỷ lệ $Z_{sd} : Z_{cu}$ trung bình là 2,8 lần. Như vậy, tầng nước có đủ năng lượng ánh sáng cho quang hợp tương ứng 1,68 – 4.48m. Kết quả nghiên cứu này đã chỉ ra giá trị giới hạn ánh sáng đối với sự phát triển của thực vật nổi trong vùng nghiên cứu, trong một khoảng thời gian nào đó tầng nước sâu hơn không đủ cường độ ánh sáng cho thực vật nổi phát triển.

So sánh với những vùng nước ven bờ khác, tốc độ phát triển của thực vật nổi vùng cửa sông Bà Rịa – Vũng Tàu tương tự. Theo Stelmakh và Kovrigina (2021) [36], tốc độ phát triển cực đại của thực vật nổi tại vùng biển ôn đới (Biển Đen – Black Sea) là 0,70–1,10 ngày⁻¹ và giá trị dự báo khoảng 1,10–1,40 ngày⁻¹. Những ghi nhận ở vùng biển khác, như tốc độ phát triển cực đại của thực vật nổi tại vùng Biển Địa Trung Hải

dao động 0,45–1,41 ngày⁻¹ [6], vịnh Galveston (Texas, USA) là 0,6-1,3 ngày⁻¹ trong điều kiện giàu dinh dưỡng và 0,4-0,6 ngày⁻¹ trong điều kiện giới hạn dinh dưỡng [29], và dự báo sinh khối tăng lên dựa vào Chla khoảng 2,2-2,7 lần trong điều kiện giàu dinh dưỡng. Hệ thực vật nổi tự nhiên thường phát triển trong điều kiện tăng trưởng không tối ưu, tốc độ phát triển của thực vật nổi dao động từ 0,11–1,08 ngày⁻¹ [10, 12, 32]. Tuy nhiên, trong môi trường đầy đủ chất dinh dưỡng, tốc độ phát triển của thực vật nổi có thể dao động từ 0,26 đến 2,75 ngày⁻¹ [27, 29]. Tốc độ phát triển của thực vật nổi tự nhiên biến động theo không gian hoặc thời gian có thể cung cấp thông tin về những thích ứng với điều kiện môi trường cũng như sự thay đổi tương đối giữa các nhóm thực vật nổi. Hơn nữa, việc đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi từ những thực nghiệm trong phòng hay tại hiện trường có thể cung cấp dữ liệu để dự đoán những diễn biến và tác động tiềm tàng của tải lượng chất dinh dưỡng do con người đưa vào hệ sinh thái cửa sông. Đây là những dữ liệu không thể thiếu khi triển khai các mô hình sinh thái động lực học để dự báo các trạng thái dinh dưỡng của hệ sinh thái biển và ven biển.

Tốc độ tăng trưởng của thực vật nổi trong các vùng nước ven biển và cửa sông là một yếu tố quan trọng trong việc đánh giá sức khỏe và năng suất sinh học của các hệ sinh thái ở đây. Chỉ số này còn có thể được áp dụng trong quản lý môi trường và nuôi trồng thủy sản. Khả năng phát triển của thực vật nổi trực tiếp ảnh hưởng đến chuỗi thức ăn trong thủy vực. Thực vật



Hình 4: Biến động tốc độ phát triển của thực vật nổi theo độ sâu.

nổi tham gia trực tiếp vào quá trình sản xuất sơ cấp trong các hệ sinh thái thủy sinh, cung cấp nguồn thức ăn ở bậc dinh dưỡng thứ nhất cho chuỗi thức ăn trong thủy vực, bao gồm các quần thể cá tự nhiên và các đối tượng nuôi trồng như nghêu, sò. Phát triển của thực vật nổi trong các vùng nước ven biển chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm sẵn có của các muối dinh dưỡng (nitơ, photpho và silica), ánh sáng, nhiệt độ và các đặc tính vật lý của lớp nước [27, 29].

Trong quá trình quản lý môi trường nước ven biển và cửa sông, theo dõi trạng thái dinh dưỡng góp phần hiểu rõ khả năng tăng trưởng và phát triển của thực vật nổi [4, 26, 35]. Môi trường giàu dinh dưỡng, thường liên quan đến sự tiếp nhận nguồn nước thải từ các hoạt động sống và phát triển kinh tế, như nguồn thải nông nghiệp, sinh hoạt và các hoạt động khác của con người [35]. Sự tích lũy này tiềm ẩn nguy cơ dẫn đến phú dưỡng và có thể gây ra phát triển bùng nổ của thực vật nổi [15]. Mặc dù, trong thời gian đầu, sự phát triển này có thể làm tăng năng suất sinh học sơ cấp [26], nhưng cũng có thể gây ra nở hoa tảo gây hại (HAB), hoặc đến quá trình suy tàn của thực vật nổi làm cho cạn kiệt oxy trong nước, phá vỡ cân bằng môi trường sống thủy sinh và dẫn đến tình trạng thiếu hụt oxy hoặc môi trường yếm khí, từ đó gây ra hiện tượng cá chết hàng loạt và mất đa dạng sinh học [24]. Ngược lại, sự thiếu hụt chất dinh dưỡng có thể làm giảm tăng trưởng của thực vật nổi, làm giảm năng suất sinh học của các hệ sinh thái ven biển [7, 15, 22]. Do đó, theo dõi biến động nồng độ muối dinh dưỡng để có thể đánh giá tốc độ phát triển của thực vật nổi, từ đó có những điều chỉnh thích hợp nhằm đảm bảo cân bằng hệ sinh thái.

Trong quản lý nuôi trồng thủy sản, đặc biệt là trong nuôi động vật hai mảnh vỏ ăn lọc, xác định tốc độ phát triển của thực vật nổi góp phần kiểm soát nguồn thức ăn tự nhiên và quản lý mật độ nuôi [11, 14]. Động vật hai mảnh vỏ, bao gồm hào, ngao và sò, là những loài ăn lọc và phụ thuộc vào nguồn thức ăn chính là mùn bã hữu cơ và thực vật nổi. Chính vì vậy, hiểu rõ quá trình động lực học thực vật nổi trong

thủy vực giúp cho các nhà quản lý có thể tối ưu hóa các hoạt động nuôi trồng thủy sản, đảm bảo rằng đối tượng nuôi có đầy đủ dinh dưỡng để phát triển mà không sống trong môi trường thiếu hụt nguồn thức ăn, điều này có thể gây tác động tiêu cực đến chất lượng nước hoặc chính các đối tượng nuôi [11, 14, 39]. Ngoài ra, quản lý cân bằng phát triển thực vật nổi giúp giảm thiểu rủi ro của các đợt nở hoa tảo có hại HAB, có thể sản sinh ra độc tố gây hại cho cả động vật thân mềm và người tiêu dùng [25].

Thêm vào đó, một trong những công cụ hữu hiệu để quản lý môi trường và nuôi trồng thủy sản ở các vùng nước ven bờ và cửa sông là thiết lập và áp dụng các mô hình sinh thái phù hợp với đặc trưng từng địa phương cụ thể. Để đạt được các kết quả dự báo chính xác hơn, mỗi một mô hình sinh thái đều mang những hệ số thực nghiệm của các quá trình sinh thái học [33]. Tốc độ phát triển của thực vật nổi là hệ số thực nghiệm quan trọng trong quá trình mô phỏng trạng thái phát triển và tăng trưởng của thực vật nổi, đặc biệt hơn là mô phỏng các tương tác giữa các chất dinh dưỡng, điều kiện vật lý và các quá trình sinh thái học. Thông qua các mô hình sinh thái, các nhà quản lý có thể dự đoán được các kịch bản thay đổi môi trường, thay đổi tải lượng nguồn dinh dưỡng, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (gia tăng nhiệt độ), hoặc ảnh hưởng từ động lực học đến thực vật nổi [31, 33]. Kết quả dự báo cũng có thể giúp hiểu rõ các tác động dây chuyền đến chuỗi thức ăn, bao gồm quần thể cá và các sinh vật đáy [11, 14, 39]. Mô hình có thể được sử dụng để dự báo thời gian và cường độ của các đợt nở hoa của tảo [24, 31], điều này đặc biệt quan trọng trong việc quản lý các hoạt động nuôi trồng thủy sản, như nuôi động vật hai mảnh vỏ ăn lọc, vốn rất nhạy cảm với những thay đổi về chất lượng nước và thành phần thức ăn tự nhiên [11, 14, 39].

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Với những dữ liệu khảo sát và thực nghiệm ở vùng cửa sông tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, nước tại vùng nghiên cứu giàu dinh dưỡng, tạo hiệu ứng đến sự phát triển của thực vật nổi. GPP dao động 355,5 - 2040,0 mgC m⁻³ ngày⁻¹ trong

khi đó CR dao động 63,0 - 334,5 mgC m⁻³ ngày⁻¹, GPP vào tháng 6/2022 cao hơn tháng 12/2022 và ở tầng nước mặt cao hơn tầng đáy. Tỷ số GPP/CR dao động 2,15 - 16,06. Hằng số tốc độ phát triển của thực vật nổi ở tầng nước mặt trung bình $0,975 \pm 0,743$ ngày⁻¹ vào tháng 6/2022 và $1,459 \pm 0,494$ ngày⁻¹ vào tháng 12/2022 và giảm dần xuống tầng đáy. Kết quả đã phản ánh tốc độ phát triển nhanh của thực vật nổi trong môi trường rất giàu dinh dưỡng và tiềm ẩn nguy cơ xảy ra hiện tượng nở hoa tảo khi ánh sáng đầy đủ. Hằng số tốc độ phát triển của thực vật nổi trong nghiên cứu này có thể được sử dụng trong các mô hình sinh thái động lực học ở vùng cửa sông Bà Rịa – Vũng Tàu để theo dõi sự phát triển của thực vật nổi và trạng thái dinh dưỡng của thủy vực, từ đó

góp phần vào việc quản lý môi trường nước vì sự phát triển bền vững.

Lời cảm ơn

Tập thể Tác giả xin chân thành cảm ơn UBND tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, Sở Khoa học và Công nghệ đã cung cấp kinh phí nghiên cứu thông qua đề tài “Nghiên cứu sức chịu tải môi trường phục vụ lập kế hoạch phát triển vùng nuôi trồng thủy sản bền vững tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu” (2021-2024). Chúng tôi xin cảm ơn đến Viện Hải dương học và Phòng thí nghiệm trọng điểm về Môi trường và An toàn thực phẩm Miền Trung (VAST) đã hỗ trợ cơ sở vật chất. Sự đóng góp và hỗ trợ của các đồng nghiệp và các thành viên trong nhóm đã góp phần quan trọng vào thành công của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hữu Huân, Nguyễn Tác An và Bùi Hồng Long (2009), “Năng suất sinh học sơ cấp của thực vật nổi và điều kiện sinh thái liên quan ở vực nước Nha Trang-Nha Phu (Khánh Hòa)”, *Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Sinh học biển và phát triển bền vững*, Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội. pp. 431-442.
2. Nguyễn Hữu Huân và Nguyễn Trịnh Đức Hiệu (2017), “Năng suất sinh học sơ cấp của thực vật nổi và một số yếu tố sinh thái liên quan ở vực nước Vũng Rô (Phú Yên)”, *Tạp chí Sinh học*, 39(1), pp. 40-50.
3. Nguyễn Hữu Huân và Phan Minh Thụ (1999), “Năng suất sinh học sơ cấp vùng delta Mêkong và một số yếu tố sinh thái của nó”, *Tuyển tập Báo cáo khoa học Hội nghị Khoa học Công nghệ biển toàn quốc lần thứ IV*, Hà Nội, 12-13/11/1998. pp. 1147-1154.
4. Alam R.Q., Benson B.C., Visser J.M. và Gang D.D. (2016), “Response of estuarine phytoplankton to nutrient and spatio-temporal pattern of physico-chemical water quality parameters in Little Vermilion Bay, Louisiana”, *Ecological Informatics*, 32, pp. 79-90.
5. APHA (2017), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition*, 23rd Edition, Washington, D.C., American Public Health Association.
6. Arin L., Morán X.A.G. và Estrada M. (2002), “Phytoplankton size distribution and growth rates in the Alboran Sea (SW Mediterranean): short term variability related to mesoscale hydrodynamics”, *Journal of Plankton Research*, 24(10), pp. 1019-1033.
7. Burson A., Stomp M., Greenwell E., Grosse J. và Huisman J. (2018), “Competition for nutrients and light: testing advances in resource competition with a natural phytoplankton community”, *Ecology*, 99(5), pp. 1108-1118.
8. Cloern J.E., Foster S.Q. và Kleckner A.E. (2014), “Phytoplankton primary production in the world’s estuarine-coastal ecosystems”, *Biogeosciences*, 11(9), pp. 2477-2501.
9. Elliott M. và McLusky D.S. (2002), “The Need for Definitions in Understanding Estuaries”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(6), pp. 815-827.

10. Eppley R.W. (1972), "Temperature and phytoplankton growth in the sea", *Fishery Bulletin*, 70(4), pp. 1063-1085.
11. Filgueira R., Guyondet T., Comeau L.A. và Tremblay R. (2016), "Bivalve aquaculture-environment interactions in the context of climate change", *Global Change Biology*, 22(12), pp. 3901-3913.
12. Gieskes W.W.C. và Kraay G.W. (1989), "Estimating the carbon-specific growth rate of the major algal species groups in eastern Indonesian waters by ¹⁴C labeling of taxon-specific carotenoids", *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(8), pp. 1127-1139.
13. Golubkov M. và Golubkov S. (2024), "Patterns of the relationship between the Secchi disk depth and the optical characteristics of water in the Neva Estuary (Baltic Sea): the influence of environmental variables", *Frontiers in Marine Science*, 11.
14. Grant J. và Pastres R. (2019), Ecosystem Models of Bivalve Aquaculture: Implications for Supporting Goods and Services, in: *Goods and Services of Marine Bivalves*, Smaal A.C., Ferreira J.G., Grant J., Petersen J.K. và Strand Ø., Editors., Springer International Publishing, Cham. pp. 507-525.
15. Guildford S.J. và Hecky R.E. (2000), "Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship?", *Limnology and Oceanography*, 45(6), pp. 1213-1223.
16. Hoffmann W.A. và Poorter H. (2002), "Avoiding bias in calculations of relative growth rate", *Annals of botany*, 90(1), pp. 37-42.
17. Horta P.A., Rörlig L.R., Costa G.B., Baruffi J.B., Bastos E., Rocha L.S., Destri G. và Fonseca A.L. (2021), Marine Eutrophication: Overview from Now to the Future, in: *Anthropogenic Pollution of Aquatic Ecosystems*, Häder D.-P., Helbling E.W. và Villafaña V.E., Editors., Springer International Publishing, Cham. pp. 157-180.
18. Hung Phu L., Hong Ngoc P., Trong Dung L., Hong Thu N., Van The H., Tuan Linh V.T., Minh Hieu N. và Minh Thu P. (2024), "Heavy metals assessment for sustainable management in Estuaries of Ba Ria-Vung Tau Province", *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 24(1), pp. 17-32.
19. Hunt R. (1982), *Plant Growth Curves: The Functional Approach to Plant Growth Analysis*, University Park Press.
20. Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C. và Wright S.W. (1997), *Phytoplankton pigments in oceanography : guidelines to modern methods*. Monographs on oceanographic methodology, Paris, France, UNESCO Publishing.
21. Jeffrey S.W. và Welschmeyer N.A. (1997), Spectrophotometric and fluorometric equations in common use in oceanography, in: *Phytoplankton pigments in oceanography : guidelines to modern methods*, Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C. và Wright S.W., Editors. pp. 597-615.
22. Justic D., Rabalais N.N., Turner R.E. và Dortch Q. (1995), "Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: stoichiometric nutrient balance and its consequences", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40(3), pp. 339-356.
23. Khan M.N. và Mohammad F. (2014), Eutrophication: Challenges and Solutions, in: *Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2*, Ansari A.A. và Gill S.S., Editors., Springer Netherlands, Dordrecht. pp. 1-15.
24. Lan J., Liu P., Hu X. và Zhu S. (2024), "Harmful Algal Blooms in Eutrophic Marine Environments: Causes, Monitoring, and Treatment", *Water*, 16(17), pp. 2525.
25. Lenzen M., Li M. và Murray S.A. (2021), "Impacts of harmful algal blooms on marine aquaculture in a

- low-carbon future”, *Harmful Algae*, 110, pp. 102143.
26. Livingston R.J. (2007), “Phytoplankton bloom effects on a gulf estuary: Water quality changes and biological response”, *Ecological Applications*, 17(sp5), pp. S110-S128.
 27. Macintyre H., Kana T., Anning T. và Geider R. (2002), “Photoacclimation of Photosynthesis Irradiance Response Curves and Photosynthetic Pigments in Microalgae and Cyanobacteria 1”, *Journal of Phycology*, 38.
 28. Mallin M.A. (2023), Lotic Primary Producers: Phytoplankton and Periphyton, in: *River Ecology: Science and Management for a Changing World*, Mallin M.A., Editor, Oxford University Press. pp. 51-86.
 29. Örnólfssdóttir E.B., Lumsden S.E. và Pinckney J.L. (2004), “Phytoplankton community growth-rate response to nutrient pulses in a shallow turbid estuary, Galveston Bay, Texas”, *Journal of Plankton Research*, 26(3), pp. 325-339.
 30. Pachiappan P., Santhanam P., Begum A. và Balaji Prasath B. (2019), An Introduction to Plankton, in: *Basic and Applied Phytoplankton Biology*, Santhanam P., Begum A. và Pachiappan P., Editors., Springer Singapore, Singapore. pp. 1-24.
 31. Pesce M., Critto A., Torresan S., Giubilato E., Santini M., Zirino A., Ouyang W. và Marcomini A. (2018), “Modelling climate change impacts on nutrients and primary production in coastal waters”, *Science of The Total Environment*, 628-629, pp. 919-937.
 32. Redalje D.G. và Laws E.A. (1981), “A new method for estimating phytoplankton growth rates and carbon biomass”, *Marine Biology*, 62(1), pp. 73-79.
 33. Schartau M., Wallhead P., Hemmings J., Löptien U., Kriest I., Krishna S., Ward B.A., Slawig T. và Oschlies A. (2017), “Reviews and syntheses: parameter identification in marine planktonic ecosystem modelling”, *Biogeosciences*, 14(6), pp. 1647-1701.
 34. Schlüter L. (1998), “The influence of nutrient addition on growth rates of phytoplankton groups, and microzooplankton grazing rates in a mesocosm experiment”, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 228(1), pp. 53-71.
 35. Statham P.J. (2012), “Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change”, *Science of The Total Environment*, 434, pp. 213-227.
 36. Stelmakh L. và Kovrigina N. (2021), “Phytoplankton Growth Rate and Microzooplankton Grazing under Conditions of Climatic Changes and Anthropogenic Pollution in the Coastal Waters of the Black Sea (Sevastopol Region)”, *Water*, 13(22), pp. 3230.
 37. Stevenson R. và Esselman P. (2013), Nutrient Pollution: A Problem with Solutions, in: *River Conservation: Challenges and Opportunities*, Sabater S. và Elosegi A., Editors., Fundación BBVA, Spain. pp. 77-104.
 38. Thrush S.F., Townsend M., Hewitt J.E., Davies K., Lohrer A.M., Lundquist C. và Cartner K. (2013), The many uses and values of estuarine ecosystems, in: *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*, Dymond J.R., Editor, Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand. pp. 226-237.
 39. Zhao Q., Huang H., Zhu Y., Cao M., Zhao L., Hong X. và Chu J. (2022), “Analysing ecological carrying capacity of bivalve aquaculture within the Yellow River Estuary ecoregion through mass-balance modelling”, *Aquaculture Environment Interactions*, 14, pp. 147-161.