

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TỚI NHÓM GIÁP XÁC Ở VÙNG BIỂN VEN BỜ BẠC LIÊU

NGUYỄN HOÀNG MINH, PHẠM QUỐC HUY

Viện Nghiên cứu Hải sản

Tóm tắt

Dữ liệu tổng hợp từ nguồn vệ tinh, các trạm quan trắc và thực đo trong 10 năm (2010 - 2019) về các thông số môi trường như nhiệt độ tầng mặt nước biển (SST), độ muối tầng mặt (SSS), mực nước biển (SSH), nồng độ Chlorophyll-a (CHL), lượng mưa và các thành phần dòng chảy (uo, vo). Cùng với nguồn dữ liệu về nguồn lợi giáp xác (nhóm tôm, cua và ghẹ) từ 12 chuyến điều tra bằng lưới kéo đáy cá và lưới kéo đáy tôm của Viện Nghiên cứu Hải sản. Nghiên cứu sử dụng phân tích thành phần chính (PCoA) và mô hình hồi quy tuyến tính tổng quát (GAMs) để đánh giá mối liên hệ giữa các yếu tố này. Kết quả phân tích PCoA cho thấy, cấu trúc quần xã giáp xác biến động theo các gradient môi trường. Nhóm loài ở vùng biển ven bờ gắn liền với nhiệt độ cao, lượng mưa nhiều, độ muối giảm và nồng độ Chlorophyll-a tăng, trong khi nhóm loài ngoài khơi lại đặc trưng bởi chế độ nhiệt và muối ổn định. Trong đó, SST là yếu tố chi phối chính. Các yếu tố khác như SSS, lượng mưa, CHL, dòng chảy và SSH cũng đóng vai trò quan trọng trong việc định hình cấu trúc quần xã và sự phân bố của nguồn lợi. Nghiên cứu kết luận rằng nguồn lợi giáp xác ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu chịu ảnh hưởng rõ rệt của ENSO với độ trễ khoảng 6 tháng, đồng thời chịu tác động kép của cả khí hậu và hoạt động khai thác.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu, nhóm giáp xác, vùng biển Bạc Liêu.

Ngày nhận bài: 26/7/2025; Ngày sửa chữa: 15/8/2025; Ngày duyệt đăng: 10/9/2025.

Assessing the impact of climate change on crustocas in the coastal area of Bac Lieu

Abstract

From data synthesized from satellite sources, monitoring stations and measurements in 10 years (from 2010 to 2019) on environmental parameters such as sea surface temperature (SST), sea surface salinity (SSS), sea surface height (SSH), Chlorophyll-a concentration (CHL), rainfall and flow components (uo, vo). Along with data on crustacean resources (shrimp and crab group) taken from 12 surveys using fish bottom trawls and shrimp bottom trawls of the Research Institute for Marine Fisheries. The study used principal component analysis (PCoA) and generalized linear regression models (GAMs) to assess the relationship between these factors. The results of PCoA analysis showed that the crustacean community structure fluctuated along with environmental gradients. The group of species in coastal waters was associated with high temperatures, high rainfall, decreased salinity and increased Chlorophyll-a concentrations, while the group of species in the open sea was characterized by stable temperature and salt regimes. In which, SST is the main factor. Other factors such as SSS, rainfall, CHL, flow, SSH also play an important role in shaping the community structure and distribution of these resources. The study concluded that crustacean resources in the coastal waters of Bac Lieu are clearly affected by ENSO with a lag of about six months, and are also affected by both climate and fishing activities.

Keywords: Climate change, crustacean group, Bac Lieu sea waters.

JEL Classifications: O13, Q51, Q54.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu (BĐKH) là quá trình thay đổi lâu dài trong trạng thái trung bình của khí hậu toàn cầu, thể hiện qua sự gia tăng nhiệt độ, thay đổi lượng mưa, dâng mực nước biển, axit hóa đại dương và sự xuất hiện với cường độ mạnh hơn của các hiện tượng khí hậu cực đoan như El Niño, La Niña, bão mạnh, hạn hán kéo dài... Các biến động này đang ảnh hưởng ngày càng nghiêm trọng đến hệ sinh thái biển và nguồn lợi thủy sản, làm thay đổi các yếu tố môi trường sống, gây ra sự mất cân bằng sinh lý bên trong cơ thể các sinh vật. Đối với nhóm giáp xác, chúng không thể thực hiện quá

trình lột xác một cách bình thường, dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng như chậm lớn, dễ mắc bệnh và tăng tỷ lệ tử vong, đe dọa trực tiếp đến quần thể [1].

Các nghiên cứu ở vùng biển Việt Nam, bước đầu đã xác lập mối liên hệ giữa biến động các yếu tố khí tượng - hải dương (như nhiệt độ, độ mặn, Chlorophyll-a) và sự biến động nguồn lợi hải sản. Nguyễn Viết Nghĩa (2021) phân tích chuỗi số liệu về năng suất khai thác (CPUE) của nghề lưới kéo đáy giai đoạn 2011-2020 ở vịnh Bắc bộ và chỉ ra sự suy giảm sản lượng khai thác tại nhiều vùng biển ven bờ, có liên quan đến chu kỳ ENSO [2]. Nguyễn Toàn Thắng và cộng sự (2021) cho



ràng, ảnh hưởng của BĐKH đang tác động ngày càng nghiêm trọng đến sự phát triển bền vững của các khu vực, vùng lãnh thổ của Việt Nam, từ đó đã đề xuất các nhiệm vụ trọng tâm và biện pháp giảm nhẹ, thích ứng với BĐKH có quy mô phù hợp theo đặc điểm tự nhiên của mỗi vùng, khu vực trên cả nước [3].

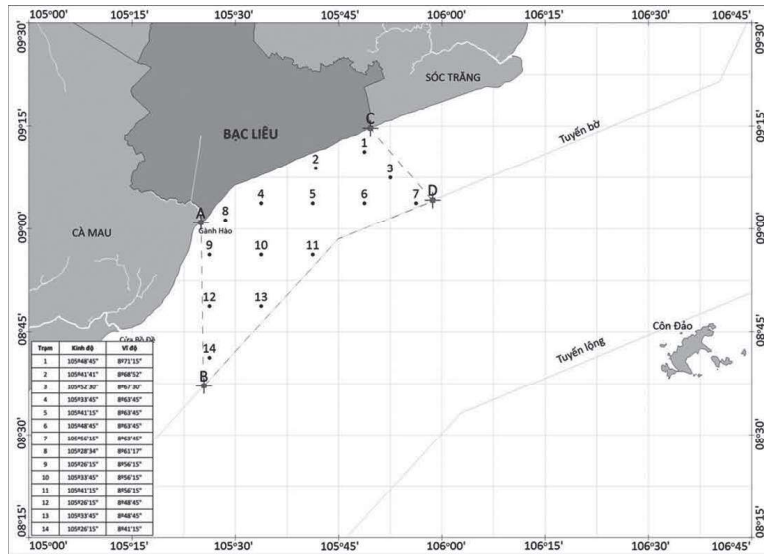
Là một trong những địa phương ven biển trọng điểm của Đồng bằng sông Cửu Long, tỉnh Bạc Liêu (cũ) nay thuộc tỉnh Cà Mau, có bờ biển dài khoảng 56 km và vùng biển quản lý rộng hơn 40.000 km². Đây là khu vực có nguồn lợi hải sản đa dạng, với khu hệ tôm, cua, gẹ biển có giá trị kinh tế cao, điển hình như tôm tít (Stomatopoda), cua gẹ (Decapoda) [4]. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, nguồn lợi khai thác đang có xu hướng suy giảm rõ nét: CPUE giảm, tỷ lệ kích thước nhỏ tăng, cấu trúc loài có sự thay đổi bất thường. Mặt khác, tác động của ENSO, biến động nhiệt độ nước biển và độ mặn đang ngày càng biểu hiện rõ rệt, ảnh hưởng đến khả năng khai thác hiệu quả, làm thay đổi động thái của các khu tập trung nguồn lợi hải sản truyền thống.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu tác động của BĐKH tới cấu trúc nguồn lợi hải sản nói chung và nhóm giáp xác nói riêng là cần thiết. Kết quả sẽ làm rõ vai trò chi phối của ENSO và biến động các yếu tố khí tượng - hải dương trong sự thay đổi quần xã sinh vật biển tại Bạc Liêu. Đây sẽ là cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng các kịch bản quản lý nghề cá thích ứng với biến đổi khí hậu, hướng tới phát triển bền vững khai thác thủy sản ven bờ của địa phương.

2. PHẠM VI, ĐỐI TƯỢNG, TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu tập trung tại vùng biển tỉnh Bạc Liêu và vùng phụ cận với giới hạn tọa độ địa lý là từ 8°37'N đến 9°15'N và từ 105°20'E đến 106°00'E với các tâm ô (Hình 1).



Hình 1. Phạm vi và vị trí thu thập số liệu khí tượng - hải dương, năng suất khai thác (CPUE) và mật độ (CPUA) ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu

2.2. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là nhóm giáp xác bao gồm tôm biển, tôm tít và cua gẹ biển.

2.3. Nguồn dữ liệu về môi trường, hải dương

Thu thập tổng hợp và tổ chức dữ liệu chuỗi thời gian liên tục trong 10 năm (2010-2019) đối với các thông số khí tượng - hải dương chủ yếu có ảnh hưởng trực tiếp đến hệ sinh thái biển và nguồn lợi thủy sản ở vùng biển Bạc Liêu. Cụ thể bao gồm:

- Thông số khí tượng: Lượng mưa hiệu chỉnh (Rainfall).
 - Thông số hải dương học: Nhiệt độ tầng mặt nước biển (SST - Sea Surface Temperature); Độ muối tầng mặt nước biển (SSS - Sea Surface Salinity); Thành phần dòng chảy uo và vo (surface current: u v); Mực nước biển (SSH - Sea Surface Height); Nồng độ Chlorophyll-a (CHL).
- Dữ liệu được tổng hợp từ các nguồn quốc tế và quốc gia bao gồm:
- Dữ liệu vệ tinh và mô hình tái phân tích: ERA5 (dữ liệu khí hậu khí tượng từ ECMWF), NASA POWER (dữ liệu năng lượng mặt trời khí hậu phục vụ nông nghiệp), Copernicus Marine Service (dữ liệu hải dương học toàn cầu và vùng ven bờ).
 - Dữ liệu trạm quan trắc: Các trạm khí tượng - hải văn quốc gia và Dữ liệu đo đạc trực tiếp từ các chuyến điều tra do Viện Nghiên cứu Hải sản thực hiện.
 - Dữ liệu Oceanic Niño Index (ONI, bản v5) do NOAA/CPC công bố; ONI được định nghĩa là trung bình trượt 3 tháng của dị thường SST ERSSTv5 trong vùng Niño-3.4 (5°N-5°S; 120°-170°W), tính trên các chuẩn 30 năm cập nhật mỗi 5 năm.

Các dữ liệu khí tượng, hải dương được thu thập với giá trị trung bình tháng và đồng bộ với dữ liệu nguồn lợi hải sản theo trạm điều tra hoặc theo ô lưới (15'x15' độ).

2.4. Nguồn dữ liệu về nguồn lợi nhóm giáp xác

Dữ liệu điều tra về nguồn lợi nhóm giáp xác ở vùng biển nghiên cứu được thu thập bởi hai loại nghề lưới kéo đáy cá và lưới kéo đáy tôm. Trong giai đoạn 2010-2019, tổng số 12 chuyến điều tra (đã tiến hành 50 trạm đánh lưới), gồm 08 chuyến điều tra bằng lưới kéo đáy cá

(thực hiện 41 trạm đánh lưới) và 4 chuyến điều tra bằng lưới kéo đáy tôm (thực hiện 9 trạm đánh lưới) ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu.

Số liệu điều tra được sắp xếp theo loại ngư cụ (lưới kéo cá và lưới kéo tôm), mùa gió (Đông Bắc và Tây Nam) và giai đoạn năm 2010-2014 và 2015-2019 (Bảng 1).

2.5. Phương pháp xác định yếu tố môi trường, hải dương ảnh hưởng tới nguồn lợi

Để đánh giá ảnh hưởng của các biến khí tượng, hải dương đến nguồn lợi ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu, chúng tôi sử dụng phép phân tích thành phần chính (PCoA - Principal Coordinates Analysis). Sau đó sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính với biến phụ thuộc là các biến độc lập: SST, SSS, SSH, CHL, uo, vo và Lượng mưa để xác định mối liên quan của các loài chính chi phối trục PCoA.

Nguồn số liệu được phân kỳ theo giai đoạn 5 năm (2010-2014; 2015-2019) để đạt cân bằng tối ưu giữa ổn định thống kê và độ nhạy với biến thiên trung hạn, đồng thời bảo đảm đủ kích thước mẫu cho PCoA hoặc GAM. Các giai đoạn này trùng với các năm có thiết kế khảo sát đồng nhất, giúp giảm sai lệch phương pháp và theo phân đoạn của chế độ khí hậu.

Phân tích được thực hiện với sự hỗ trợ của các gói (packages) bởi ngôn ngữ lập trình R (v. 4.3.2) như: Cluster (v.2.1.6), Stats (v.4.3.2), Factoextra (v.1.0.7), Vegan (v.2.6.4).

2.6. Phương pháp đánh giá tác động khí hậu và áp lực khai thác

Nghiên cứu áp dụng mô hình hồi quy cộng tính tổng

Bảng 1. Nguồn dữ liệu về nguồn lợi nhóm giáp xác trong các chuyến điều tra ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu

Loại ngư cụ	Số chuyến	Thông tin về chuyến điều tra	Số trạm
Lưới kéo cá (kích thước mắt lưới ở đụt là 2a=30mm)	01	Chuyến điều tra khu vực thả rạn tiềm năng ở vùng biển Việt Nam	10
	02	Điều tra đa dạng sinh học và nguồn lợi hải sản khu vực đường ống điện khí Bạc Liêu	8
	05	Điều tra nguồn lợi hải sản tầng đáy bằng lưới kéo đơn cá vùng biển ven bờ Việt Nam	23
Lưới kéo tôm (2a = 10mm)	04	Chuyến điều tra nguồn lợi tôm biển ở vùng biển ven bờ Việt Nam	9
Tổng số	12	Thời gian thực hiện từ năm 2010 đến 2019	50

quát (GAM) để định lượng đóng góp tương đối của khí hậu (ENSO) và áp lực khai thác (F) lên cấu trúc quần xã và chỉ số nguồn lợi. GAM cho phép mô tả quan hệ phi tuyến, đa thang và có cấu trúc không gian, thời gian [5], với tham số làm mượt được ước lượng bằng REML để đảm bảo ổn định và tránh quá khớp (overfitting) [6].

Hai đáp biến được phân tích song song là (i) điểm số (Bray-Curtis) đại diện cấu trúc quần xã, sử dụng phân phối Gaussian và (ii) chỉ số CPUE (kg.km⁻²) của nhóm/loài chỉ thị, sử dụng phân phối Tweedie [7].

Các biến phụ thuộc gồm:

- Khí hậu: ONI (Niño 3.4, trung bình trượt 3 tháng), với độ trễ $\ell=0-6$ tháng để phản ánh đáp ứng trẻ sinh học [8].

- Áp lực khai thác: Chỉ số proxy F^* được xây dựng từ CPUE điều tra theo công thức:

$$F^*_y = -zscore(\log(CPUE_{\sim y} + \epsilon))$$

Trong đó: $CPUE_{\sim y}$ là trung vị CPUE của năm (giảm ảnh hưởng ngoại lai); ϵ là hằng số nhỏ tránh giá trị 0, và phép chuẩn hóa zscore giúp đưa các năm về cùng thang đo.

Độ trễ ONI (ℓ - lag) được chọn theo hệ số AIC thấp nhất; tham số làm mượt được ước lượng bằng REML. Ảnh hưởng của khí hậu và khai thác được đánh giá bằng so sánh mô hình đầy đủ với mô hình loại bỏ từng biến; $\Delta AIC \geq 10$ được coi là bằng chứng mạnh về tầm quan trọng của biến bị loại [9]. Các kiểm định phần dư và chuẩn hoá biến được thực hiện để đảm bảo tính ổn định; đồng thời áp dụng kiểm định độ bền bằng cross-validation theo khối năm và phân tích nhạy cảm theo lag ONI và khu vực (vùng biển ven bờ/ vùng ngoài khơi).

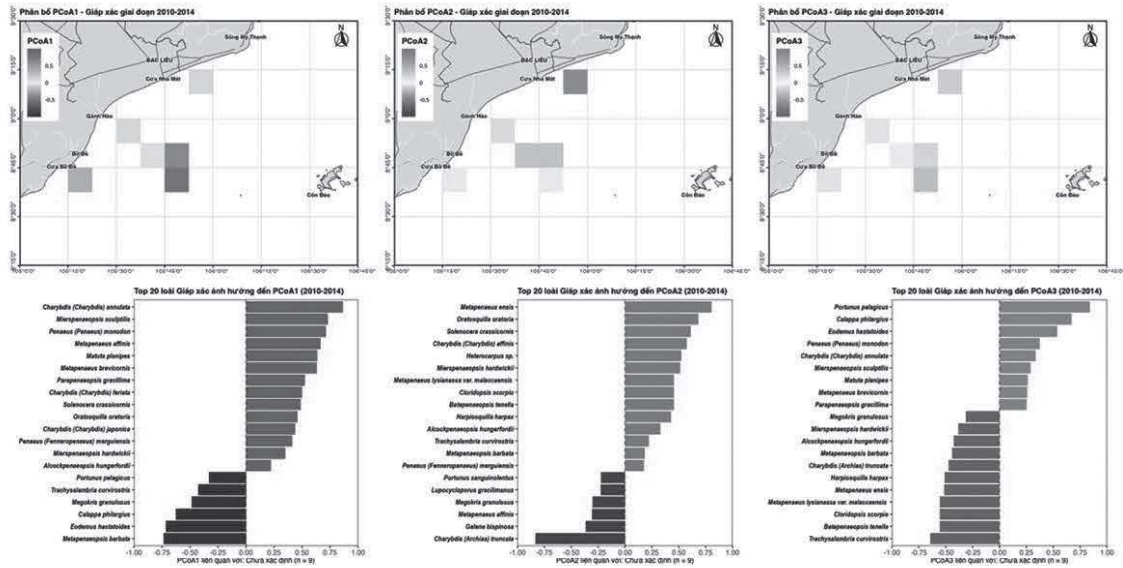
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cấu trúc thành phần loài của nhóm giáp xác theo thời gian

3.1.1. Giai đoạn năm 2010-2014

Phân tích PCoA thực hiện trên 38 loài mẫu thu thập được từ các chuyến điều tra cho nhóm giáp xác (bao gồm loài 12 tôm biển, 10 loài tôm tít, 9 loài ghẹ và 7 loài cua biển) đã xác định được 3 thành phần chính phản ánh sự phân tách tổ hợp loài theo không gian (Hình 2 và 3).

Ở trục thứ nhất, nhóm loài tải dương gồm Charybdis annulata, Mierspenaeopsis sculptilis, Penaeus monodon, Metapenaeus affinis, Matuta planipes... đối lập với nhóm loài tải âm gồm Metapenaeopsis barbata, Eodromus hastatoides, Calappa philargius, Megokris granulosus, Trachysalambria curvirostris...



Hình 2. Phân bố điểm số PCoA (Bray-Curtis) và nhóm giáp xác đại diện ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu, giai đoạn 2010-2014

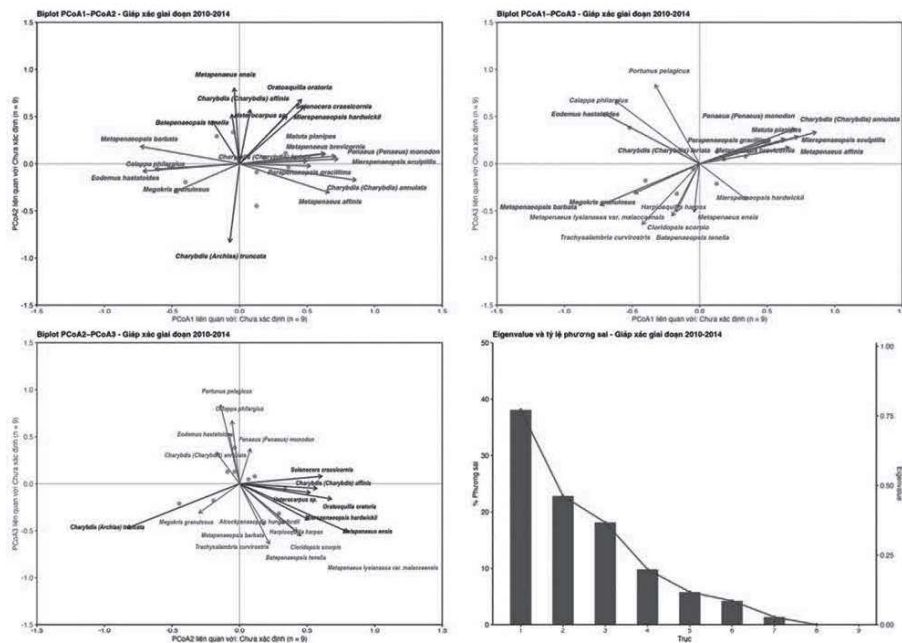
Trục thứ hai cho thấy nhóm loài tải dương nổi bật là *Metapenaeus ensis*, *Oratosquillina oratoria*, *Solenocera crassicornis*, *Charybdis affinis*, *Heterocarpus* sp... trong khi nhóm loài tải âm gồm *Charybdis truncata*, *Galene bispinosa*, *Metapenaeus affinis*, *Megokris granulatus*, *Lupocyclus gracilimanus*...

Trục thứ ba tiếp tục biểu hiện phân tách tổ hợp loài nhưng chưa gắn được với biến môi trường. Nhóm loài tải dương chủ yếu gồm *Portunus pelagicus*, *Calappa*

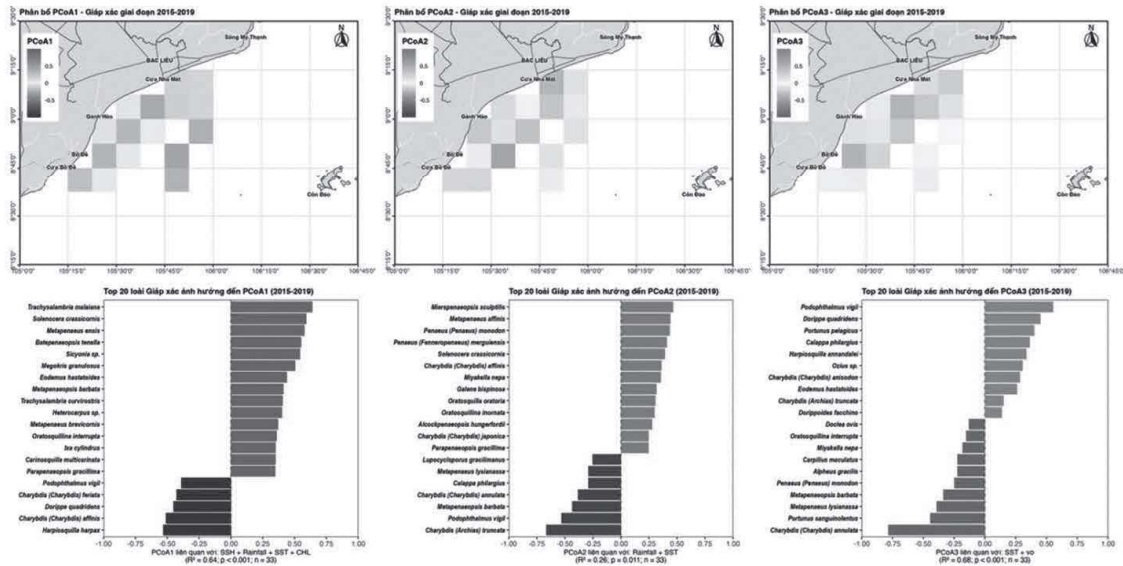
philargius, *Eodromus hastatoides*, *Penaeus monodon*, *Charybdis annulata*..., trong khi đó nhóm loài tải âm gồm *Trachysalambria curvirostris*, *Batepenaeopsis tenella*, *Chloridopsis scorpio*, *Metapenaeus lysianassa* var. *malaccensis*, *Harpiosquilla harpax*...

3.1.2. Giai đoạn năm 2015-2019

Phân tích PCoA (Bray-Curtis) cho 59 loài nhóm giáp xác (bao gồm loài 27 tôm biển, 10 loài tôm tít, 10 loài ghẹ và 12 loài cua biển) cho thấy 3 thành phần



Hình 3. Biểu đồ Biplot và Scree trong phân tích PCoA (Bray-Curtis) của giáp xác ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu, giai đoạn 2010-2014



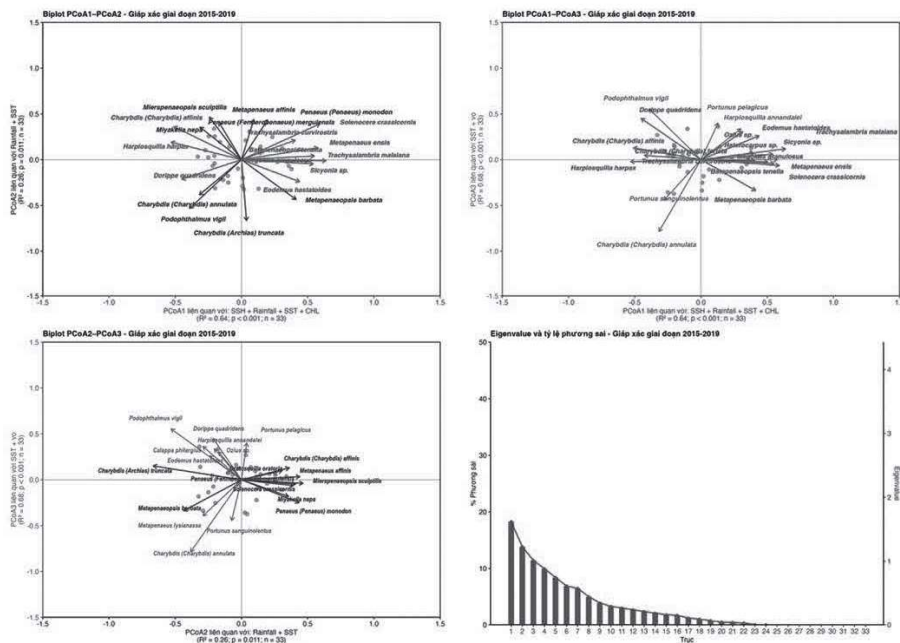
Hình 4. Phân bố điểm số PCoA (Bray-Curtis) và nhóm giáp xác đại diện ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu, giai đoạn 2015-2019

chính với các mối liên quan môi trường tương đối rõ rệt (Hình 4 và 5).

Trực thứ nhất liên quan với độ cao mực nước biển (SSH), lượng mưa, nhiệt độ tầng mặt nước biển (SST) và nồng độ Chlorophyll-a (CHL) ($R^2=0,64$; $p<0,001$); các loài *Trachysalambria malaiana*, *Solenocera crassicornis*, *Metapenaeus ensis*, *Batepenaeopsis tenella*, *Sicyonia* sp... liên quan thuận, trong khi *Harpisquilla harpax*, *Charybdis affinis*, *Charybdis*

feriata, *Dorippe quadridentis*, *Podophthalmus vigil*... liên quan nghịch.

Trực thứ hai liên quan với lượng mưa và SST ($R^2=0,26$; $p=0,011$): loài *Mierspenaeopsis sculptilis*, *Metapenaeus affinis*, *Penaeus monodon*, *Fenneropenaeus merguensis*, *Solenocera crassicornis*... liên quan thuận, còn nhóm loài *Charybdis truncata*, *Podophthalmus vigil*, *Metapenaeopsis barbata*, *Calappa philargius*, *Charybdis annulata*... liên quan nghịch.



Hình 5. Biểu đồ Biplot và Scree trong phân tích PCoA (Bray-Curtis) của giáp xác ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu, giai đoạn 2015-2019



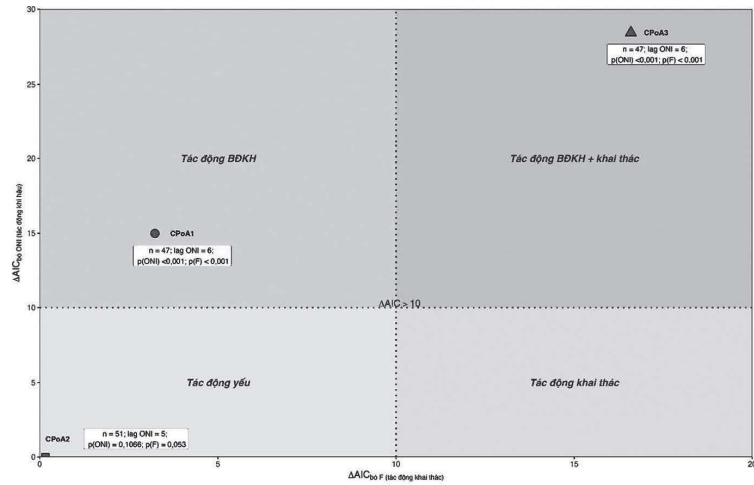
Trục thứ ba liên quan với SST và vận tốc dòng chảy theo hướng Bắc - Nam ($R^2 = 0,68$; $p < 0,001$): các loài *Podophthalmus vigil*, *Dorippe quadridentis*, *Portunus pelagicus*, *Calappa philargius*, *Harpiosquilla annandalei*... liên quan thuận, đối lập với nhóm loài *Charybdis annulata*, *Portunus sanguinolentus*, *Metapenaeus lysianassa*, *Metapenaeopsis barbata*, *Penaeus monodon*... liên quan nghịch.

Tóm lại, cấu trúc quần xã giáp xác trong toàn bộ chuỗi thời gian được tổ chức chủ yếu dọc theo các gradient động lực và thủy văn bề mặt. Ở giai đoạn năm 2010-2014 ghi nhận sự tách biệt tổ hợp loài trên 3 trục nhưng chưa xác định được biến chi phối, vì vậy nên coi đây là giai đoạn tham chiếu về hình thái cấu trúc hơn là suy luận cơ chế. Đến năm 2015-2019, các mối liên quan môi trường xuất hiện rõ rệt trở lại, trục PCoA1 gắn với SSH, lượng mưa, SST và CHL; PCoA2 gắn với lượng mưa và SST; PCoA3 gắn với SST và thành phần dòng chảy theo hướng Bắc - Nam. Bức tranh nhất quán qua các giai đoạn là yếu tố động lực (SSH, uo/vo) đặt khung phân bố theo trục bờ - khơi, trong khi thủy văn và năng suất bề mặt (SST, SSS, CHL, lượng mưa) điều chỉnh thành phần loài theo tính mùa và ảnh hưởng nước sông. Do đó, khi xây dựng GAMs để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và áp lực khai thác, nên chọn SSH, lượng mưa và SST làm biến lỗi, đồng thời bổ sung uo/vo, CHL và SSS như biến điều hướng.

3.2. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới nguồn lợi nhóm giáp xác

Kết quả phân tích cho thấy, 3 trục PCoA phản ánh những chiều biến thiên chính trong cấu trúc quần xã nhóm giáp xác, với mức độ chi phối khác nhau của các yếu tố khí hậu (ENSO - biểu diễn qua chỉ số ONI) và áp lực khai thác (F).

Trục PCoA1 thể hiện sự biến động mạnh của quần xã dưới tác động của BĐKH, trong đó ΔAIC_{noONI} vượt ngưỡng 10 và giá trị $p(ONI)$ rất nhỏ, chỉ ra vai trò chi phối rõ rệt của khí hậu. Nhóm loài có đóng góp lớn trên trục này



Hình 6. Tác động của chỉ số dao động ENSO (ONI) và tác động của hoạt động khai thác (F) lên các quần thể nhóm giáp xác ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu

bao gồm các loài *Portunidae*, *Trachypenaeus* sp., *Metapenaeopsis* sp., vốn có vòng đời ngắn và nhạy cảm với biến động nhiệt - độ mặn ở tầng mặt nước biển. Sự suy giảm mật độ CPUA của các loài này từ giai đoạn năm 2010-2014 sang năm 2015-2019 cho thấy tác động tiêu cực của các sự kiện ENSO mạnh, phù hợp với xu thế được ghi nhận ở các hệ sinh thái nhiệt đới.

Trục PCoA2 không cho thấy nguyên nhân chi phối rõ ràng, với ΔAIC của cả hai yếu tố dưới ngưỡng và p-value không ý nghĩa thống kê. Loài đóng góp chính tập trung vào nhóm tôm sú (*Penaeus monodon*), có vòng đời dài hơn và khả năng phân tán rộng, dẫn đến đáp ứng chậm và ít rõ rệt hơn trước các biến động khí hậu ngắn hạn. Sự ổn định tương đối của CPUA giữa các giai đoạn cho thấy cộng đồng này có thể được điều khiển bởi các yếu tố môi trường nền hoặc áp lực khai thác dài hạn, hơn là bởi ENSO.

Trục PCoA3 phản ánh tác động đồng thời của BĐKH và áp lực khai thác, với ΔAIC_{noONI} và ΔAIC_{noF} đều vượt ngưỡng 10 và giá trị p rất nhỏ cho cả hai yếu tố. Nhóm loài đóng góp chính chủ yếu là *Podophthalmus vigil*, *Dorippe quadridentis*, *Portunus pelagicus*, *Metapenaeus lysianassa*, *Metapenaeopsis barbata*, *Penaeus monodon*... Đây đều là các đối tượng có giá trị kinh tế cao, chịu khai thác mạnh và đồng thời nhạy cảm với biến động môi trường.

Nhìn tổng thể, kết quả phân tích đã phản ánh một bức tranh phân hóa về tác nhân điều khiển quần xã, chứng tỏ nhóm giáp xác phản ứng nhanh với BĐKH (ENSO). Cách tiếp cận này cung cấp nền tảng để xây dựng các kịch bản thích ứng và quản lý đến năm 2030-2050, phân loại theo nguyên nhân chi phối và nhóm nguồn lợi ưu tiên (Hình 6).

3.3. Thảo luận

Có thể thấy, phép phân tích PCoA đã xác định biến động cấu trúc nguồn lợi hải sản trong vùng ven bờ Bạc Liêu theo các gradient môi trường ổn định theo không gian (vùng biển ven bờ - ngoài khơi; theo chiều Bắc - Nam) và thời gian. Trục gradient theo chiều bờ tới khơi là nền tảng quan trọng: cụm loài ven bờ gắn với nền nhiệt cao, lượng mưa nhiều kết hợp độ muối giảm và hàm lượng Chlorophyll-a tăng;

trong khi cụm loài ngoài khơi đặc trưng bởi chế độ nhiệt - muối ổn định và tốc độ dòng chảy thấp. Trục gradient theo chiều Bắc - Nam với khối nước ngoài khơi và ven bờ của sông theo dòng chảy mùa gió Đông Bắc và mùa gió Tây Nam. Trong các yếu tố sinh thái, SST được lựa chọn nhiều nhất trong các trục, có nghĩa đây là yếu tố chi phối chính, đồng thời các yếu tố khác như độ muối bề mặt (SSS), lượng mưa và Chlorophyll-a (CHL) được coi là các nhân tố ảnh hưởng có tính chất mùa, còn dòng chảy và mực nước biển đại diện cho động lực góp phần mô tả biến động không gian của nguồn lợi hải sản tại khu vực nghiên cứu theo các khối nước, thể hiện tính đặc thù của hệ sinh thái ven bờ, nhất là các khu vực có tương tác biển lục địa mạnh như ở vùng ven bờ Đồng bằng sông Cửu Long.

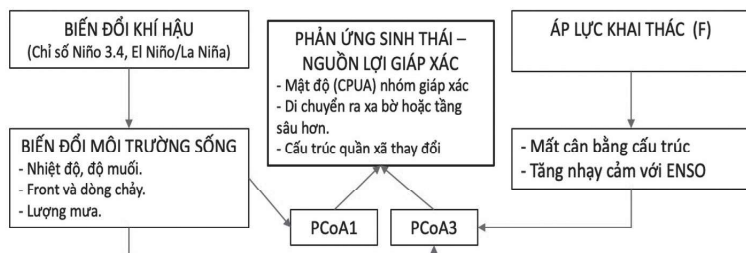
Kết quả hồi quy tuyến tính cho thấy nhiệt độ tăng mặt biển (SST) là biến giải thích quan trọng đối với biến động thành phần loài của nguồn lợi nhóm giáp xác. Điều này là phù hợp với các ghi nhận trên thêm lục địa châu Âu và Bắc Đại Tây Dương: khi nước biển ấm lên, nhiều loài di chuyển lên vĩ độ cao hơn hoặc xuống sâu hơn, kéo theo thay đổi cấu trúc ưu thế trong quần xã nguồn lợi [10] [11]; hay tỷ trọng loài ưa ấm trong sản lượng khai thác trên các đại dương cũng tăng theo thời gian [12]. Nhiệt độ khoảng 30°C được xác định là tối ưu cho sự sinh sản của một số loài tôm, trong khi nhiệt độ quá cao (trên 33°C) hoặc quá thấp (dưới 25°C) sẽ làm giảm khả năng bắt mồi và hoạt động, khiến chúng dễ bị bệnh. Hơn nữa, theo sinh thái, khi điều kiện nhiệt độ vượt khỏi ngưỡng của một số loài hoặc nhóm loài sẽ làm giảm hiệu năng sinh học, loài hoặc nhóm loài buộc phải điều chỉnh phân bố và nhường ưu thế cho các loài khác thích hợp hơn [13].

Kết quả phân tích cho thấy biến động SSS và CHL có mối liên hệ đáng kể với mật độ nguồn lợi (CPUA) nhóm giáp xác ở vùng biển nghiên cứu. Cơ chế này phù hợp với quan điểm trong khung “sinh thái nhiệt đới ven bờ” [14], nhấn mạnh vai trò của chế độ mưa và nước sông trong việc tái cấu trúc cột

nước, điều tiết nguồn muối tạo dinh dưỡng và sản xuất sơ cấp, qua đó chi phối chuỗi thức ăn và quần xã sinh vật. Tại đồng bằng sông Cửu Long, Tran et al. (2024) ghi nhận cơ chế “xâm nhập mặn - dinh dưỡng - Chlorophyll a” có vai trò quyết định tới phân bố và mùa vụ khai thác hải sản ở vùng biển ven bờ [15]. Như vậy, kết quả này không chỉ nhất quán với xu thế chung được quan sát ở các vùng biển nhiệt đới, mà còn làm rõ nét đặc thù của đồng bằng sông Cửu Long: biến động SSS và CHL theo mùa vụ có thể coi là các chỉ thị sinh thái quan trọng để giải thích sự thay đổi mật độ (CPUA) của nguồn lợi hải sản nói chung và nhóm giáp xác nói riêng ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu.

Bên cạnh đó, các thành phần vận tốc dòng chảy bề mặt (uo, vo) và mực nước biển (SSH) có mối liên hệ rõ rệt với mật độ (CPUA) nguồn lợi hải sản. Điều này phản ánh chế độ động lực học khu vực nghiên cứu chịu chi phối bởi gió mùa Đông Bắc và Tây Nam kết hợp với dòng chảy triều đã đóng vai trò điều tiết môi trường sống và phân bố của nguồn lợi hải sản. Sự thay đổi hướng và cường độ dòng chảy theo mùa tạo nên quá trình vận chuyển khối nước, quyết định mức độ ưu thế của khối nước ngoài khơi hay ven bờ, trực tiếp ảnh hưởng đến mật độ của sinh vật phù du thông qua nguồn dinh dưỡng. Đồng thời, mức độ biến thiên của SSH được coi là đại diện của hoàn lưu và dao động mặt biển, phản ánh sự hình thành các front và các khối nước giao nhau thường tạo nên những không gian giàu thức ăn và thu hút sự tập trung của giáp xác nói riêng và các sinh vật biển nói chung. Các phân tích trong nghiên cứu này có sự tương đồng với kết quả đã quan sát được từ nhiều hệ thống ven bờ biển khác trên thế giới, nơi dòng chảy bề mặt và SSH được xem là nhân tố sinh thái quan trọng trong tìm hiểu phân bố nguồn lợi tại khu vực. Sự tương đồng này củng cố nhận định rằng các biến động uo, vo và SSH tại vùng biển ven bờ Bạc Liêu có thể coi là nền tảng sinh thái quan trọng, định hình gradient quần xã mà phân tích PCoA đã tái hiện.

Mặt khác, tác động khí hậu nhiều năm được thể hiện nhất quán trên cấu trúc các trục tọa độ sinh thái. Trục PCoA1 chịu ảnh hưởng rõ rệt của ENSO (chỉ số ONI) với độ trễ xấp xỉ nửa năm, phản ánh chuỗi cơ chế trong đó ENSO làm thay đổi hoàn lưu và mực nước biển, từ đó tác động đến năng suất sơ cấp và cuối cùng là quần xã phản ứng sau một khoảng trễ nhất định. Trục PCoA3 phản ánh sự tương tác kép giữa tín hiệu khí hậu và áp lực khai thác (F-proxy), hàm ý rằng biến động nền khí hậu có thể khuếch đại độ nhạy cảm của các nhóm loài



Hình 7. Sơ đồ mối quan hệ giữa ENSO, khai thác và phản ứng sinh thái của giáp xác ở vùng biển Bạc Liêu



đang chịu cường lực khai thác cao; hiện tượng này đặc biệt đáng lưu ý đối với những loài có vòng đời ngắn và giá trị kinh tế cao. Ngược lại, PCoA2 không cho thấy một tác nhân chi phối đơn lẻ, nhiều khả năng phản ánh tổng hợp của các yếu tố sinh thái đáy.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

- Biến động nguồn lợi giáp xác ở vùng biển ven bờ Bạc Liêu chịu tác động mạnh mẽ của các yếu tố môi trường. Trong đó, nhiệt độ tầng mặt biển (SST) đóng vai trò là động lực nền, chi phối sự phân bố và tốc độ tăng trưởng của nhóm giáp xác. Các yếu tố như độ mặn tầng mặt nước biển (SSS), lượng mưa và nồng độ Chlorophyll a (CHL) góp phần định hình ranh giới hệ sinh thái ven bờ, nơi các loài giáp xác chiếm ưu thế.

- Tác động của biến đổi khí hậu lên các loài giáp xác thể hiện rõ qua hiện tượng ENSO, với độ trễ khoảng 6 tháng. Trong các pha ENSO bất lợi, nhiệt độ nước biển tăng cao vượt ngưỡng chịu đựng của một số loài, khiến chúng phải điều chỉnh phân bố, di chuyển đến vùng nước sâu hơn hoặc vĩ độ cao hơn, dẫn đến sự suy giảm nguồn giống và tốc độ tăng trưởng. Điều này tạo cơ hội cho các loài giáp xác ưa ấm chiếm ưu thế, làm thay đổi cấu trúc của quần xã.

- Dưới áp lực khai thác liên tục, các quần thể giáp xác trở nên dễ tổn thương hơn trước những biến động môi trường.

4.2. Kiến nghị

- Điều chỉnh cường lực khai thác theo chu kỳ ENSO thông qua việc giảm áp lực khai thác trong các giai đoạn ENSO, để các quần thể giáp xác có thời gian phục hồi.

- Đối với các nhóm loài giáp xác chịu tác động kép của khí hậu và khai thác, cần kiểm soát kích cỡ mắt lưới ngư cụ, điều chỉnh không gian khai thác để bảo vệ các vùng sinh sản và các loài giáp xác non.

- Để có cơ sở khoa học vững chắc hơn, cần tiếp tục thu thập dữ liệu theo chuỗi thời gian về các loài giáp xác phản ứng nhanh với các yếu tố môi trường, hải dương học.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Ban chủ nhiệm Đề tài “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới nguồn lợi hải sản ở vùng biển ven bờ tỉnh Bạc Liêu” đã hỗ trợ và cho phép sử dụng nguồn số liệu để chúng tôi hoàn thành bài báo này■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Marissa D. McMahan, Diane F. Cowan, Yong Chen, Graham D. Sherwood & Jonathan H. Grabowski (2016), “Growth of juvenile American lobster *Homarus americanus* in a changing environment”, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 557: 177-187.

2. Nguyễn Việt Nghĩa (2021), “Đánh giá nguồn lợi cá nổi nhỏ và các rủi ro sinh thái của một số nghề khai thác chủ yếu ở biển vịnh Bắc Bộ, Việt Nam”, *Luận án Tiến sĩ, Viện Nghiên cứu Hải sản*.

3. Nguyễn Toàn Thắng, Đỗ Quang Hưng, Trần Thị Thu Trang & Phạm Thúy Hạnh (2021), “Đánh giá nguy cơ tác động của biến đổi khí hậu đến một số khu vực của Việt Nam và triển khai các hoạt động thích ứng”, *Tạp chí Môi trường*, Số 8/2021.

4. Van M.V., Tuan N.A., Dinh T.D. & Hung H.P. (2010), “Species composition and characteristics of fish and shrimp fauna distributed in the coastal area of Soc Trang - Bac Lieu”, *Can Tho University Scientific Journal*, 15a: 232-240.

5. Wood S. N. (2017), *Generalized additive models: An introduction with R (2nd ed.)*.

6. Wood S. N. (2011), “Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, 73(1), 3-36.

7. Zuur A. F., Ieno E. N., Walker N. J., Saveliev A. A. & Smith G. M. (2009), *Mixed effects models and extensions in ecology*, R. Springer.

8. Salazar J. O., Arreguín-Sánchez F. & Zetina-Rejón M. J. (2021), “Standardization of catch-per-unit-effort (CPUE) data in small-scale fisheries using generalized additive models”, *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(4), 623-635.

9. Burnham K. P. & Anderson D. R. (2002), *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach (2nd ed.)*, Springer.

10. Perry A. L., Low P. J., Ellis J. R. & Reynolds J. D. (2005), “Climate change and distribution shifts in marine fishes”, *Science*, 308(5730), 1912-1915.

11. Dulvy N. K., Rogers S. I., Jennings S., Stelzenmüller V., Dye S. R. & Skjoldal H. R. (2008), “Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: A biotic indicator of warming seas”, *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029-1039.

12. Cheung W. W. L., Watson R. & Pauly D. (2013), “Signature of ocean warming in global fisheries catch”, *Nature*, 497(7449), 365-368.

13. Pörtner H. O. & Peck M. A. (2010), “Climate change effects on fishes and fisheries: Towards a cause-and-effect understanding”, *Journal of Fish Biology*, 77(8), 1745-1779.

14. Longhurst A. & Pauly D. (1987), *Ecology of tropical oceans*, Academic Press.

15. Tran V. H., Nguyen M. T. & Le Q. T. (2024), “Salinity intrusion and its impacts on coastal ecosystems in the Mekong Delta”, *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 24(2), 55-70.