

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Trần Thành Thái

**ĐA DẠNG SINH HỌC VÀ DI TRUYỀN KHU HỆ TÂM
VÙNG CỬA SÔNG MÊ KÔNG, TỈNH VĨNH LONG**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ SINH HỌC

Ngành: SINH THÁI HỌC

Mã số: 9420120

TP. HỒ CHÍ MINH - Năm 2026

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Ngô Xuân Quảng
Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. Nguyễn Thị Phương Thảo
Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam

Phản biện 1: PGS. TS. Phạm Cử Thiện

Phản biện 2: PGS. TS. Lê Thành Long

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp
Học viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm
Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi 09h00, ngày 22 tháng 5
năm 2026

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

**DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN
LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. **Tran T.T.**, Nguyen T.P.T., Pham T.L., Ngo X.Q., 2025, Spatio-temporal variations in abundance and biomass of three commercial shrimp species in the Mekong estuaries, Southern Vietnam, *Biology Bulletin*, 52(2), 74. <https://doi.org/10.1134/S106235902461228X>.
2. **Tran T.T.**, Ngo X.Q., Nguyen T.P.T., Pham T.L., 2025, Diversity and distribution of Decapoda and Stomatopoda from the Mekong estuaries in relation to environmental parameters, *Aquatic Sciences*, 87(4), 79. <https://doi.org/10.1007/s00027-025-01206-x>.
3. **Tran T.T.**, Ngo X.Q., Nguyen T.P.T., Pham T.L., 2025, Spatial and temporal variation in abundance and biomass of different sex classes of the estuary prawn *Macrobrachium equidens* (Dana, 1852) (Decapoda, Palaemonidae) from the Mekong estuaries, with notes on its salinity tolerance, *Asian Fisheries Science*, 38(3), 143-156. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2025.38.3.002>.
4. **Tran T.T.**, Nguyen T.P.T., Pham T.L., Huynh V.B., Nguyen X.D., Nguyen T.T., Le P.M.C., Ngo X.Q., 2025, The first mitochondrial genome of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea: Decapoda) from Mekong Delta: Gene characterization and phylogenetic considerations, *Biology Bulletin*, 52(10), 290. <https://doi.org/10.1134/S1062359025609334>.

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Hệ thống sông Mê Kông là một trong những lưu vực lớn và quan trọng trên thế giới, đóng vai trò thiết yếu đối với sinh thái, kinh tế và sinh kế của hàng chục triệu người dân. Tại Việt Nam, vùng cửa sông Mê Kông gồm 8 cửa sông chính (cửa Tiêu, cửa Đại, cửa Ba Lai, cửa Hàm Luông, cửa Cổ Chiên, cửa Cung Hầu, cửa Định An và cửa Trần Đề) là khu vực chuyển tiếp đặc thù giữa nước ngọt và nước mặn, nơi hình thành các hệ sinh thái cửa sông - ven biển có giá trị sinh học và kinh tế cao. Các hệ sinh thái này giúp duy trì đa dạng sinh học, điều hòa dòng chảy, cải thiện chất lượng nước, bảo vệ bờ biển và là nơi cư trú, sinh sản của nhiều loài thủy sinh vật, đồng thời cung cấp sinh kế quan trọng cho cộng đồng thông qua khai thác, nuôi trồng thủy sản và du lịch sinh thái.

Tuy nhiên, dù giữ vai trò quan trọng, vùng cửa sông vẫn chưa được nghiên cứu tương xứng so với các khu vực thượng nguồn sông Mê Kông. Hiện còn rất ít dữ liệu khoa học về sinh học và sinh thái, đặc biệt là cơ chế điều khiển cấu trúc - chức năng hệ sinh thái cửa sông dưới tác động tổng hợp của biến đổi khí hậu, ô nhiễm và các hoạt động nhân sinh. Việc bổ sung các nghiên cứu nền về khu vực này là hết sức cần thiết, góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý tổng hợp tài nguyên và bảo tồn đa dạng sinh học vùng hạ lưu.

Trong các nhóm thủy sinh vật của hệ sinh thái cửa sông, giáp xác, đặc biệt là các loài tôm, có vai trò sinh thái và kinh tế quan trọng nhưng lại chưa được quan tâm nghiên cứu đầy đủ. Chúng là mắt xích trung gian trong mạng lưới dinh dưỡng nền đáy, tham gia phân hủy vật chất hữu cơ, tái tạo khoáng chất và duy trì cân bằng sinh thái nền đáy. Nhiều loài tôm như tôm càng xanh (TCX, *Macrobrachium rosenbergii*) hay tôm sú (*Penaeus monodon*) còn là nguồn lợi kinh tế chủ lực, mang lại thu nhập đáng kể cho người dân địa phương. Tuy nhiên, sự khai thác quá mức, ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng

của biến đổi khí hậu đã làm suy giảm trữ lượng, cấu trúc quần thể và tính đa dạng di truyền của các loài tôm, đe dọa nghiêm trọng đến tính bền vững của nguồn lợi và sinh kế cộng đồng.

Trước thực trạng đó, việc thực hiện luận án “*Đa dạng sinh học và di truyền khu hệ tôm vùng cửa sông Mê Kông, tỉnh Vĩnh Long*” là cần thiết và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Nghiên cứu hướng tới làm rõ đặc điểm di truyền, đa dạng loài và phân bố của các loài tôm trong vùng cửa sông, qua đó đề xuất cơ sở khoa học cho bảo tồn nguồn gen, quản lý khai thác theo hướng bền vững. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học về sinh thái, di truyền của nhóm giáp xác, mà còn hỗ trợ chiến lược quản lý tài nguyên thích ứng với biến đổi khí hậu và bảo đảm sinh kế bền vững cho cộng đồng vùng hạ lưu sông Mê Kông.

2. Mục tiêu nghiên cứu

- Bước đầu đánh giá đa dạng di truyền một số loài tôm có giá trị thương mại ở cửa sông Mê Kông.
- Đánh giá đa dạng thành phần loài, đa dạng phân bố khu hệ tôm.
- Nghiên cứu một số yếu tố môi trường nước mặt ảnh hưởng đến đa dạng sinh học khu hệ tôm.
- Đề xuất giải pháp khai thác bền vững nguồn lợi tôm vùng cửa sông Mê Kông.

3. Nội dung nghiên cứu

- Xây dựng cơ sở dữ liệu đa dạng di truyền một số loài tôm bằng gen *COI* và hệ gen ty thể TCX vùng cửa sông Mê Kông.
- Phân tích cấu trúc thành phần loài, mật độ, sinh khối, đa dạng sinh học và đặc điểm phân bố của khu hệ tôm vùng cửa sông Mê Kông.
- Phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố môi trường nước mặt đến đa dạng sinh học khu hệ tôm vùng cửa sông Mê Kông.

- Đánh giá biến động mật độ, sinh khối và một số đặc điểm hình thái của TCX theo không - thời gian. Đồng thời, phân tích biến động quần thể TCX và đề xuất khai thác bền vững nguồn lợi này.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

4.1. Ý nghĩa khoa học

Luận án góp phần mở rộng cơ sở khoa học về sinh thái học thủy sinh vật vùng cửa sông, thông qua việc mô tả và phân tích đặc điểm cấu trúc quần xã, tính đa dạng và biến động phân bố theo không - thời gian của quần xã tôm. Kết quả tiếp tục bổ sung và hoàn thiện cơ sở khoa học về phản ứng của sinh vật đáy trước các yếu tố môi trường đặc thù vùng cửa sông, nơi có sự giao thoa giữa hai hệ sinh thái nước ngọt và nước mặn.

Thông qua phân tích mối liên hệ giữa các đặc điểm quần xã tôm và một số thông số môi trường, luận án góp phần làm sáng tỏ cơ chế chi phối phân bố và thích nghi của nhóm sinh vật đáy trong điều kiện môi trường biến động mạnh của vùng cửa sông Mê Kông. Những kết quả này nâng cao hiểu biết về quy luật phân bố sinh vật trong hệ sinh thái chuyển tiếp, đóng góp vào nền tảng khoa học cho quản lý và dự báo biến động sinh thái vùng hạ lưu.

Luận án cung cấp bằng chứng khoa học về cấu trúc, đa dạng và quan hệ di truyền của một số loài tôm có giá trị thương mại trong điều kiện sinh thái đặc thù cửa sông. Kết quả này bổ sung cơ sở lý luận cho sinh học bảo tồn nguồn gen thủy sinh vật, đồng thời minh chứng hiệu quả của hướng tiếp cận liên ngành giữa sinh thái học, hình thái học và di truyền học trong nghiên cứu và quản lý bền vững tài nguyên thủy sinh vật vùng cửa sông.

4.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở dữ liệu môi trường và sinh thái nền phục vụ quản lý tổng hợp vùng cửa sông Mê Kông. Việc đánh giá biến động không - thời gian của các yếu tố môi trường giúp xác định các khu vực nhạy cảm và vùng sinh thái thuận lợi cho sự phát triển của tôm, hỗ trợ công tác

quy hoạch không gian sinh thái, kiểm soát chất lượng môi trường nước và ứng phó với xâm nhập mặn, ô nhiễm cũng như biến đổi khí hậu.

Thông qua phân tích đặc điểm và quan hệ di truyền giữa các loài tôm bằng chỉ thị phân tử (*COI* và hệ gen ty thể đối với TCX), luận án cung cấp nguồn dữ liệu khoa học quan trọng cho bảo tồn và phát triển giống tôm bản địa có năng suất, khả năng thích nghi cao. Các kết quả này có thể ứng dụng trong chọn, sản xuất và quản lý giống, phục hồi nguồn gen bản địa, góp phần nâng cao hiệu quả và tính bền vững của hoạt động nuôi trồng thủy sản vùng cửa sông.

Nghiên cứu thiết lập bộ dữ liệu nền về đa dạng loài, phân bố và cấu trúc di truyền của các loài tôm có giá trị thương mại, tạo cơ sở khoa học cho theo dõi, giám sát và ra quyết định trong quản lý nguồn lợi thủy sản. Đặc biệt, đối với TCX, các kết quả về biến động quần thể, tham số tăng trưởng và hệ số khai thác giúp xác định ngưỡng và thời điểm khai thác hợp lý, từ đó giảm thiểu nguy cơ suy giảm nguồn lợi và đảm bảo sinh kế bền vững cho cộng đồng ngư dân vùng cửa sông Mê Kông.

5. Những đóng góp mới của luận án

Luận án cung cấp dữ liệu lần đầu về đặc điểm di truyền một số loài tôm có giá trị thương mại, đặc biệt là hệ gen ty thể hoàn chỉnh của TCX, giúp xác định quan hệ di truyền, phân hóa quần thể và tiến hóa trong họ tôm còng Palaemonidae, làm cơ sở cho bảo tồn, sản xuất, chọn và quản lý giống tôm bản địa.

Cung cấp dữ liệu mới về đặc điểm quần xã tôm vùng cửa sông Mê Kông, bao gồm thành phần loài, mật độ, sinh khối, đa dạng và phân bố theo không gian - thời gian, bổ sung nguồn thông tin nền phục vụ nghiên cứu sinh thái và quản lý môi trường vùng chuyển tiếp nước ngọt - nước mặn.

Lần đầu xác định và phân tích mối quan hệ giữa các đặc điểm quần xã tôm và các yếu tố môi trường, góp phần làm rõ cơ chế phân bố và thích nghi

của quần xã tôm trong điều kiện môi trường biến động mạnh của vùng cửa sông.

Lần đầu đánh giá biến động quần thể TCX tự nhiên vùng cửa sông Mê Kông, xác định tham số tăng trưởng và mức khai thác hợp lý, phục vụ xây dựng mô hình quản lý - khai thác bền vững nguồn lợi.

Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan hệ sinh thái cửa sông

1.1.1. Định nghĩa

Cửa sông là vùng chuyển tiếp nơi nước biển xâm nhập vào sông đến giới hạn cao nhất của thủy triều. Hệ thống này thường được chia thành ba khu vực: cửa sông dưới (chịu ảnh hưởng biển mạnh), cửa sông giữa (pha trộn nước mặn - ngọt mạnh), và cửa sông trên (chủ yếu nước ngọt nhưng vẫn chịu tác động triều). Ranh giới các khu vực thay đổi theo lưu lượng dòng chảy và điều kiện thủy triều.

1.1.2. Một số đặc điểm cơ bản của hệ sinh thái cửa sông

1.1.2.1. Đa dạng các tiểu hệ sinh thái hợp thành

Hệ sinh thái cửa sông có đa dạng sinh học cao nhờ sự kết hợp của nhiều sinh cảnh như bãi triều, kênh thủy triều, vùng nước nông và đất ngập nước. Sinh vật không chỉ thích nghi mà còn tham gia cải biến sinh cảnh, góp phần gia tăng tính đa dạng tổng thể.

1.1.2.2. Vai trò của vật chất hữu cơ trong động lực dinh dưỡng cửa sông

Hệ thống dinh dưỡng cửa sông mang tính phức hợp, trong đó mạng lưới thức ăn mùn bã hữu cơ đóng vai trò chủ đạo. Sinh khối từ rừng ngập mặn, cỏ biển, tảo đáy phần lớn không được tiêu thụ trực tiếp mà phân hủy thành mùn bã, trở thành nguồn năng lượng chính cho động vật đáy và các bậc dinh dưỡng cao hơn. Song song đó, mạng lưới thực vật phù du và vi sinh vật góp phần tạo nên hệ thống dinh dưỡng đa nguồn, liên kết chặt chẽ.

1.1.2.3. Sự thích nghi của sinh vật với điều kiện môi trường cửa sông

Môi trường cửa sông biến động mạnh về độ mặn, nhiệt độ, oxy và dinh dưỡng, trong đó độ mặn là yếu tố chi phối quan trọng nhất. Sinh vật cửa sông thích nghi thông qua điều hòa sinh lý hoặc chấp nhận biến đổi trạng thái bên trong, thường kết hợp linh hoạt cả hai chiến lược. Mặc dù biến động môi trường làm giảm số loài, cửa sông vẫn duy trì mật độ và sinh khối cao nhờ năng suất sơ cấp lớn và áp lực săn mồi thấp.

1.1.3. Hệ sinh thái cửa sông Mê Kông

1.1.3.1. Điều kiện môi trường, thủy văn

Sông Mê Kông có lưu lượng lớn và chế độ lũ theo mùa ổn định, tạo nền tảng cho cân bằng sinh thái vùng hạ lưu. Các xung động tự nhiên như lũ, triều và gió mùa điều tiết độ mặn, vận chuyển dinh dưỡng và duy trì các quá trình sinh học trong hệ cửa sông.

Hệ thống này chịu ảnh hưởng của tải lượng trầm tích và vật chất hữu cơ rất lớn từ thượng nguồn, cung cấp nguồn năng lượng chủ đạo cho mạng lưới thức ăn mùn bã. Lũ hàng năm không chỉ vận chuyển trầm tích mà còn duy trì bồi tụ đồng bằng và chức năng sinh thái vùng ven biển.

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là hệ cửa sông đa nhánh, chịu tác động đồng thời của triều Biển Đông và Biển Tây, tạo nên chế độ thủy động lực phức tạp. Độ mặn biến đổi mạnh theo mùa, với xâm nhập mặn sâu vào nội đồng mùa khô và dòng chảy đẩy mặn ra biển vào mùa mưa.

1.1.3.2. Thủy sinh vật cửa sông Mê Kông

Cửa sông Mê Kông có mức độ đa dạng sinh học cao nhất lưu vực nhờ sự pha trộn của sinh vật biển, nước lợ và nước ngọt. Rừng ngập mặn đóng vai trò quan trọng như bãi đẻ và bãi ương cho nhiều loài cá và động vật không xương sống.

Trong khi cá cửa sông đã được nghiên cứu tương đối đầy đủ, các nhóm động vật không xương sống, đặc biệt là giáp xác và động vật đáy, vẫn còn thiếu thông tin. Các nghiên cứu gần đây cho thấy giáp xác Mười chân chiếm ưu thế nhưng mật độ thấp, phản ánh áp lực khai thác và suy thoái sinh cảnh.

Nhìn chung, nghiên cứu về khu hệ giáp xác cửa sông Mê Kông vẫn còn hạn chế và cần được bổ sung.

1.2. Đa dạng sinh học khu hệ tôm cửa sông

1.2.1. Đa dạng di truyền

1.2.1.1. Tổng quan

Đánh giá đa dạng di truyền là cơ sở quan trọng cho bảo tồn và quản lý bền vững tài nguyên tôm. Phân loại hình thái truyền thống gặp nhiều hạn chế do tính tương đồng và biến đổi hình thái theo giai đoạn phát triển. Việc kết hợp hình thái với chỉ thị phân tử, đặc biệt là gen ty thể, đã chứng minh hiệu quả trong nhận dạng loài, phân tích quan hệ phát sinh và cấu trúc quần thể, qua đó nâng cao độ chính xác trong đánh giá đa dạng sinh học.

1.2.1.2. Việt Nam

Ở Việt Nam, nghiên cứu đa dạng di truyền tôm còn hạn chế và chủ yếu tập trung vào TCX. Các kết quả cho thấy sự phân hóa di truyền rõ rệt giữa các quần thể, song các nghiên cứu vẫn mang tính đơn loài. Mối quan hệ di truyền giữa các loài tôm trong cùng khu hệ, đặc biệt ở ĐBSCL, vẫn chưa được làm rõ, cho thấy nhu cầu nghiên cứu hệ thống và toàn diện hơn.

1.2.2. Đa dạng thành phần loài

1.2.2.1. Tổng quan

Tôm phân bố rộng trong các thủy vực với khoảng 4.000 loài đã được ghi nhận. Phân bộ Penaeoidea, đặc biệt họ Penaeidae, chiếm ưu thế về giá trị kinh tế, trong khi phân bộ Caridea có số loài lớn hơn, bao gồm nhiều loài nước ngọt thuộc các họ Atyidae và Palaemonidae. Nhiều loài được cho là vẫn chưa được mô tả đầy đủ, đặc biệt tại khu vực nhiệt đới.

1.2.2.2. Việt Nam

Nghiên cứu khu hệ tôm Việt Nam bắt đầu từ cuối thế kỷ XIX nhưng phân bố không đồng đều. Hiện ghi nhận khoảng 24 loài tôm cang nước ngọt, chủ yếu thuộc giống *Macrobrachium*. Đối với tôm lợ - mặn, các khảo sát cho thấy hơn 230 loài, song phần lớn nghiên cứu tập trung ở miền Bắc và miền

Trung. Khu vực ĐBSCL vẫn thiếu các nghiên cứu hệ thống về khu hệ và sinh thái tôm tự nhiên.

1.2.2.3. Cửa sông Mê Kông

Khu hệ tôm cửa sông Mê Kông có đa dạng tương đối cao, bao gồm tôm biển, nước lợ và nước ngọt chịu mặn. Nhiều loài có giá trị kinh tế cao đóng vai trò quan trọng cho sinh kế ven biển. Tuy nhiên, phần lớn nghiên cứu mới dừng ở mức mô tả thành phần loài, thiếu các phân tích về đa dạng di truyền, sinh thái và cơ chế thích nghi trước biến động môi trường.

1.3. Tương tác giữa khu hệ tôm với các điều kiện môi trường

1.3.1. Dòng chảy, trầm tích

Dòng chảy chi phối cấu trúc trầm tích và nơi cư trú của tôm. Nền đáy cát mịn giàu bùn và hữu cơ thường có mật độ tôm cao, đặc biệt ở giai đoạn non.

1.3.2. Độ sâu

Tôm con thường phân bố ở vùng nước nông, trong khi tôm trưởng thành sống ở vùng sâu hơn, phản ánh sự phân hóa sinh thái theo giai đoạn phát triển.

1.3.3. Nhiệt độ và độ mặn

Nhiệt độ và độ mặn ảnh hưởng mạnh đến hoạt động, phân bố và sinh trưởng của tôm. Tôm non thích nghi tốt hơn với độ mặn thấp và biến động so với tôm trưởng thành.

1.3.4. Oxy hòa tan

Nước thiếu oxy khiến tôm tránh xa hoặc trôi lên khỏi trầm tích. Nhìn chung, các yếu tố môi trường thủy văn và chất lượng nước chi phối mạnh cấu trúc và động thái khu hệ tôm. Tuy nhiên, các nghiên cứu tại ĐBSCL còn thiếu các phân tích định lượng về mối quan hệ này.

1.4. Các mối đe dọa với khu hệ tôm

1.4.1. Phát triển thủy điện thượng nguồn

Thủy điện làm phân mảnh sinh cảnh, thay đổi chế độ dòng chảy và lũ, ảnh hưởng đến di cư, sinh sản và bãi ương tự nhiên của tôm.

1.4.2. Chuyển đổi sử dụng đất và phá rừng

Suy giảm rừng ngập mặn làm mất sinh cảnh quan trọng và gia tăng xói mòn, ảnh hưởng đến chuỗi thức ăn thủy sinh.

1.4.3. Phát triển công - nông nghiệp và thủy sản

Ô nhiễm và thu hẹp vùng ngập lũ theo mùa tác động mạnh đến các giai đoạn nhạy cảm của tôm; loài ngoại lai có nguy cơ làm biến đổi quần xã.

1.4.4. Khai thác quá mức

Khai thác hủy diệt và cường độ cao làm suy giảm nhanh quần thể, phá hủy bãi sinh sản và giảm đa dạng di truyền.

1.4.5. Biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu làm rối loạn chế độ mưa - lũ và nhịp sinh học của tôm, đặc biệt ở vùng cửa sông.

Khu hệ tôm ĐBSCL đang chịu tác động tổng hợp của nhiều áp lực, trong đó khai thác quá mức là cấp bách nhất. Việc thiếu thông tin về cấu trúc quần thể và khả năng tái tạo làm gia tăng nguy cơ suy kiệt nguồn lợi. Do đó, cần các nghiên cứu toàn diện, đặc biệt với các loài giá trị cao như TCX, làm cơ sở cho quản lý và bảo tồn bền vững trong bối cảnh biến đổi môi trường và khí hậu.

Chương 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

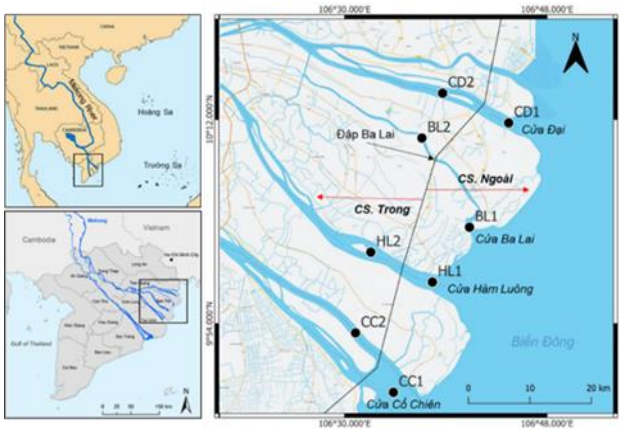
2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung đánh giá mối quan hệ giữa một số thông số môi trường nước mặt với sinh trưởng, cấu trúc và động thái của khu hệ tôm tại bốn cửa sông Mê Kông thuộc tỉnh Vĩnh Long, bao gồm: Cửa Đại, Ba Lai, Hàm Luông và Cổ Chiên. Bên cạnh đó, các đặc điểm quần xã, đa dạng di truyền và nguồn lợi tôm được phân tích, trong đó loài TCX là đối tượng trọng tâm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Khu vực nghiên cứu và thời gian khảo sát

Khu vực nghiên cứu được chọn là khu vực cửa sông của sông Tiên: Cửa Đại, Ba Lai, Hàm Luông và Cổ Chiên. Ở mỗi cửa sông, bố trí 2 vị trí khảo sát: CD1 và CD2 thuộc cửa Đại; BL1 và BL2 thuộc cửa Ba Lai; HL1 và HL2 thuộc cửa Hàm Luông; CC1 và CC2 thuộc cửa Cổ Chiên (Hình 2.1). Khu hệ tôm và các đặc điểm môi trường được tiến hành thu thập và đo đạc vào năm 2022 ở các tháng 3 (tương ứng với mùa khô ở miền Nam Việt Nam), tháng 6 (chuyển mùa từ khô sang mưa), tháng 8 (mùa mưa), và tháng 11 (chuyển mùa từ mưa sang khô). Tuy nhiên, để thuận tiện cho việc phân tích và giải thích kết quả, số liệu sẽ được phân tích thành 2 mùa: Khô (bao gồm tháng 3 và 6) và mưa (tháng 8 và 11).



Hình 2.1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và các vị trí khảo sát khu hệ tôm ở vùng cửa sông Mê Kông

2.2.2. Thu thập số liệu

2.2.2.1. Thu mẫu, xác định khối lượng và định danh tôm

Tại mỗi vị trí khảo sát, 4 lần kéo lưới lặp lại được thực hiện bằng lưới kéo đáy tôm, chiều ngang miệng lưới 4 m, chiều dài 6 m, kích thước mắt lưới là 20 mm. Sau khi thu, các mẫu vật được bảo quản trong côn 96° và chuyển về phòng thí nghiệm của Viện Khoa học sự sống để tiến hành phân tích.

Khối lượng của từng cá thể tôm được xác định bằng cân điện tử có độ chính xác $\pm 0,01$ g và được hiệu chỉnh với hệ số 1,2 để bù trừ cho sự thay đổi khối lượng do bảo quản trong cò. Các mẫu tôm được định danh bằng cách so sánh các đặc điểm hình thái với các tài liệu phân loại như Holthuis (1980), Chaitiamvong và Supongpan (1992), Nguyễn Văn Thường và Trương Quốc Phú (2004), Đặng Ngọc Thanh và Hồ Thanh Hải (2012).

2.2.2.2. Đo đạc các thông số môi trường

Các thông số môi trường nước mặt được đo đồng thời với thu mẫu tôm, bao gồm: nhiệt độ, độ mặn, pH, oxy hòa tan (DO), tổng chất rắn lơ lửng (TSS), và độ sâu.

2.2.3. Xử lý và phân tích số liệu

2.2.3.1. Đa dạng di truyền khu hệ tôm và hệ gen ty thể TCX

Các mẫu mô chân bơi từ một số loài tôm được thu và bảo quản để tách chiết DNA bằng bộ kit chuyên dụng, sau đó khuếch đại đoạn gen ty thể *COI* (~720 bp) bằng PCR với cặp mồi chuẩn của Folmer và cộng sự (1994). Sản phẩm PCR được kiểm tra qua điện di gel agarose 1%, sau đó gửi giải trình tự. Trình tự *COI* được đối chiếu với cơ sở dữ liệu GenBank bằng BLAST để kiểm tra mức độ tương đồng, và xây dựng cây phát sinh loài bằng phương pháp Maximum Likelihood, đánh giá độ tin cậy bằng bootstrap (1.000 lần). Đa dạng di truyền của 6 loài tôm kinh tế được phân tích thông qua chỉ số H_d và π bằng phần mềm DnaSP.

Riêng với loài TCX, mẫu được giải trình tự toàn bộ hệ gen ty thể bằng công nghệ NGS (Illumina MiSeq). Bộ gen được lắp ráp de novo (GetOrganelle), chú giải bằng MITOS và hiệu chỉnh bằng MEGA X. Thành phần nucleotide, skew, sử dụng codon, cấu trúc tRNA và bản đồ hệ gen ty thể được phân tích chi tiết bằng nhiều công cụ tin sinh học chuyên biệt. Cây phát sinh loài xây dựng từ 13 gen PCGs của 12 loài Palaemonidae (và 2 loài outgroup) bằng Maximum Likelihood cho thấy quan hệ tiến hóa rõ ràng giữa các loài tôm trong nghiên cứu.

2.2.3.2. Đặc điểm khu hệ tôm

Về khu hệ tôm, mật độ và các chỉ số đa dạng sinh học (S, d, H', J') được tính bằng PRIMER v6.1. Phân tích PERMANOVA ba yếu tố (mùa, cửa sông, và khu vực khảo sát) được dùng để đánh giá sự khác biệt về cấu trúc quần xã tôm, kiểm định bằng PERMDISP. Phân bố khu hệ tôm theo không gian và thời gian được trực quan hóa qua biểu đồ nmMDS; phân tích SIMPER xác định loài đóng góp chính vào sự khác biệt giữa các nhóm. Tương quan giữa môi trường và khu hệ tôm được đánh giá qua các phân tích DistLM, BIOENV, RDA và tương quan Spearman, nhằm xác định các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến quần xã tôm. Các phân tích này được thực hiện bằng phần mềm PRIMER v6 + PERMANOVA add-on, CANOCO 4.5 và Statgraphics 18.

2.2.3.3. Tương quan giữa môi trường và khu hệ tôm

Các thông số môi trường được kiểm tra sơ bộ bằng biểu đồ Draftsman để đánh giá tính đồng nhất, sau đó phân tích PCA xác định các gradient môi trường chính. Phân tích PERMANOVA ba yếu tố (mùa, cửa sông, và khu vực khảo sát) tiếp tục được sử dụng để kiểm định sự khác biệt giữa các nhóm, với dữ liệu được chuẩn hóa và ma trận khoảng cách Euclid. Phân tích DistLM và BIOENV được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của từng biến môi trường và tổ hợp biến lên cấu trúc khu hệ tôm. Kết quả DistLM được biểu diễn bằng biểu đồ dbRDA. Ngoài ra, phân tích RDA và tương quan hạng Spearman được áp dụng để đánh giá mối quan hệ giữa mật độ loài, đặc điểm khu hệ và các yếu tố môi trường.

2.2.3.4. Đặc điểm hình thái và biến động quần thể TCX

Tổng cộng 187 cá thể TCX cái được đo 20 đặc điểm hình thái và khối lượng. Chiều dài giáp đầu ngực (CL) được sử dụng làm biến chuẩn. Phân tích PCA được áp dụng để xác định các đặc điểm hình thái quan trọng và biến động hình thái theo không gian và thời gian. PERMANOVA hai yếu tố (mùa, cửa sông) được sử dụng để kiểm tra sự khác biệt tổng hợp hình thái.

Phân tích đơn biến (ANOVA hoặc Kruskal-Wallis) được sử dụng để kiểm tra sự khác biệt từng đặc điểm hình thái, kết hợp phân tích hậu kiểm khi cần thiết. Mối quan hệ giữa các đặc điểm hình thái với môi trường được đánh giá bằng tương quan Spearman.

Quan hệ chiều dài - chiều dài và chiều dài - khối lượng được xây dựng nhằm xác định kiểu tăng trưởng hình thái (đẳng hướng hoặc dị hướng). Các tham số tăng trưởng quần thể được ước tính theo mô hình tăng trưởng von Bertalanffy bằng phần mềm FiSAT II. Các chỉ số từ suất (Z, M, F), bổ sung quần thể, sản lượng tương đối (Y'/R) và sinh khối còn lại (B'/R) được xác định để đánh giá tình trạng khai thác và mức độ bền vững của quần thể TCX.

Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Bước đầu xây dựng cơ sở dữ liệu đa dạng di truyền một số loài tôm bằng gen COI và hệ gen ty thể tôm càng xanh vùng cửa sông Mê Kông

3.1.1. Đa dạng và quan hệ di truyền một số loài tôm có giá trị thương mại

Phân tích quan hệ di truyền gen *COI* cho thấy có sự tách biệt di truyền giữa các loài thuộc họ tôm he (Penaeidae) và tôm càng (Palaemonidae). Giữa các giống trong cùng một họ cũng có sự tách biệt rõ ràng về đặc điểm di truyền như trường hợp của giống *Metapenaeus* và *Parapenaeopsis* trong họ Penaeidae. Thậm chí, trong cùng một giống, các loài cũng có sự khác biệt đáng kể trong cấu trúc gen *COI*, ví dụ giữa loài *M. rosenbergii* và *M. equidens* (cùng giống *Macrobrachium*), giữa loài *M. ensis* và *M. brevicornis* (cùng giống *Metapenaeus*), và giữa loài *P. hardwickii* và *P. sculptilis* (cùng giống *Parapenaeopsis*).

Chỉ số H_d đánh giá tính phong phú của các haplotype, trong khi π liên quan đến mức độ sai khác di truyền (các nucleotide). Tuy nhiên, trong trường hợp số mẫu quá ít, đánh giá đa dạng di truyền theo H_d có thể kém chính xác hơn.

3.1.2. Đặc điểm bộ gen ty thể tôm càng xanh Mê Kông

3.1.2.1. Kết quả kiểm tra mẫu và chuẩn bị thư viện WGS

Kết quả đánh giá nồng độ, tinh sạch và kích thước của mẫu như sau: Nồng độ DNA (ng/ μ L): 30,20; OD260/OD280: 1,65; lượng (ng): 1510. Các chỉ số chất lượng thư viện như sau: Nồng độ thư viện (ng/ μ L): 41,70; kích thước trung bình: 470. Kết quả đảm bảo đủ nồng độ và kích thước đoạn trình tự của thư viện cho bước giải trình tự.

3.1.2.2. Cấu trúc bộ gen ty thể tôm càng xanh Mê Kông

Bộ gen ty thể TCX Mê Kông dạng vòng, có chiều dài 15.766 bp, gồm 37 gen, trong đó có 13 gen mã hóa protein, 22 gen RNA vận chuyển và 2 gen RNA ribosome, cùng với một vùng điều hòa.

Tổng chiều dài của các gen mã hóa protein (PCGs) trong bộ gen ty thể TCX Mê Kông là 11.057 bp, chiếm 70,13% tổng chiều dài bộ gen. Trong số 13 gen PCGs, kích thước dao động từ 159 bp (*ATP8*) đến 1.677 bp (*NAD5*). Trong đó, 9 gen (*COX1*, *COX2*, *ATP8*, *ATP6*, *COX3*, *NAD3*, *NAD6*, *CYTB* và *NAD2*) được mã hóa trên mạch nặng (H strand), trong khi bốn gen còn lại (*NAD5*, *NAD4*, *NAD4L* và *NAD1*) nằm trên mạch nhẹ (L strand). Các gen PCGs mã hóa tổng cộng 5.255 amino acid, trong đó amino acid phổ biến nhất là leucine (Leu) (11,30%), tiếp theo là serine (Ser) (10,66%), threonine (Thr) (7,75%), và lysine (Lys) (7,06%).

Hệ gen ty thể của TCX Mê Kông có 22 tRNA. Các trình tự tRNA có độ dài từ 62 bp (*tRNA^{Arg}*) đến 69 bp (*tRNA^{Glu}*, *tRNA^{Ser2}* và *tRNA^{Trp}*). Tổng chiều dài của 22 gen tRNA là 1.450 bp. Tất cả các tRNA đều có cấu trúc bốn nhánh điển hình (cấu trúc lá cỏ), ngoại trừ *tRNA^{Ser1}*, trong đó nhánh DHU (dihydrouridine) bị thay thế bằng một vòng đơn giản, đây là một đặc điểm thường gặp ở nhiều loài giáp xác.

Các trình tự hệ gen ty thể đã biết của họ tôm càng Palaemonidae có hai kiểu sắp xếp gen khác nhau. Nhóm thứ nhất bao gồm các loài thuộc giống *Macrobrachium*. Các loài này thể hiện trình tự gen phù hợp với mô hình gốc của Pancrustacea: 5'-*NAD4L-tRNA^{Thr}-tRNA^{Pro}-NAD6*-3'. Nhóm thứ hai gồm các loài thuộc các giống *Palaemon* và *Exopalaemon*, thể hiện sự tái sắp xếp

gen liên quan đến hiện tượng hoán vị vị trí giữa $tRNA^{Pro}$ và $tRNA^{Thr}$, dẫn đến trình tự: 5'-NAD4L-tRNA^{Pro}-tRNA^{Thr}-NAD6-3'.

3.1.2.3. Quan hệ di truyền các loài trong họ tôm còng Palaemonidae dựa vào bộ gen ty thể

Phân tích phát sinh chủng loài, được thực hiện bằng cách chỉ sử dụng các gen mã hóa protein (PCGs) từ 16 bộ gen ty thể này, từ 3 giống: *Palaemon*, *Exopalaemon* và *Macrobrachium* cho thấy rằng: *Exopalaemon* và *Palaemon* có mối quan hệ tiến hóa gần gũi. Ngược lại, giống *Macrobrachium* hình thành một nhánh đơn ngành (monophyletic clade) riêng biệt.

3.2. Đa dạng quần xã tôm cửa sông Mê Kông

3.2.1. Đa dạng thành phần loài

3.2.1.1. Cấu trúc thành phần loài

Cấu trúc thành phần loài khu hệ tôm bao gồm 62 loài thuộc 18 giống, 7 họ (Alpheidae, Atyidae, Palaemonidae, Palinuridae, Penaeidae, và Sergestidae), và 2 bộ: Mươi chân Decapoda và Chân miệng Stomatopoda. Bộ Mươi chân chiếm ưu thế tuyệt đối trong quần xã, với 12.846 cá thể, chiếm 97,75% tổng số cá thể. Bộ Chân miệng chỉ ghi nhận 296 cá thể, chiếm 2,25% tổng số cá thể. Tất cả các cá thể của bộ Chân miệng đều thuộc về họ Squillidae. Các họ còn lại bao gồm Alpheidae, Atyidae, Palaemonidae, Palinuridae, Penaeidae, Sergestidae đều thuộc bộ Mươi chân. Họ tôm còng Palaemonidae ưu thế trong quần xã, ghi nhận 7.100 cá thể, chiếm tới 54,03% tổng số cá thể. Sau đó là họ tôm he Penaeidae có 5.252 cá thể, chiếm 39,96% tổng số cá thể. Tổng 2 họ ưu thế nhất chiếm tới 93,99% tổng số cá thể, do đó hầu hết các loài tôm đều thuộc 2 họ Palaemonidae và Penaeidae. Các họ khác như rốc Sergestidae, tôm gõ mõ Alpheidae, tôm riu Atyidae, và tôm hùm gai Palinuridae, chiếm tỷ lệ thấp trong quần xã, lần lượt là 2,40%, 2,25%, 1,31%, 0,03%, và 0,02%.

3.2.1.2. Mật độ và sinh khối

Khu hệ tôm cửa sông Mê Kông có trung bình tổng mật độ từ $38,62 \pm 34,44$ cá thể/1.000 m² (CC2) đến $194,86 \pm 271,85$ cá thể/1.000 m² (CD1), trung bình tổng sinh khối từ $211,30 \pm 247,48$ g/1.000 m² (CC2) đến $625,34 \pm 660,04$ g/1.000 m² (CD2), sinh khối trung bình cá thể từ $2,86 \pm 1,72$ g (BL1) đến $5,30 \pm 3,50$ g (CC2), trung bình chỉ số W từ $-0,05 \pm 0,16$ (BL2) đến $0,20 \pm 0,23$ (CC2). Mặc dù có sự khác biệt trong phương pháp thu mẫu nhưng nhìn chung tổng mật độ và sinh khối khu hệ tôm cửa sông Mê Kông cao hơn một số khu vực khác trên thế giới.

3.2.1.3. Các chỉ số đa dạng sinh học

Khu hệ tôm Mê Kông có trung bình chỉ số S từ $4,75 \pm 1,61$ đến $8,50 \pm 2,59$, trung bình chỉ số d từ $0,87 \pm 0,37$ đến $1,59 \pm 0,45$, trung bình chỉ số H' từ $0,85 \pm 0,39$ đến $1,54 \pm 0,30$, và trung bình chỉ số J' từ $0,50 \pm 0,22$ đến $0,81 \pm 0,12$. Nhìn chung, vị trí HL2 và BL2 ghi nhận có đa dạng sinh học thấp, ngược lại vị trí CC1 và CD1 có đa dạng cao. Theo chỉ số S và d thì vị trí HL2 có đa dạng sinh học thấp nhất nhưng khi xét đến độ đồng đều của các cá thể trong quần xã (chỉ số H' và J') thì vị trí BL2 (trong đập Ba Lai) có đa dạng sinh học thấp nhất. Dù có sự khác biệt trong phương pháp thu mẫu nhưng nhìn chung mức độ đa dạng sinh học của khu hệ tôm cửa sông Mê Kông cao hơn một số khu vực khác trên thế giới.

3.2.1.4. Một số loài điển hình trong quần xã tôm

Kết quả phân tích SIMPER ghi nhận 13 loài tôm có tỷ lệ đóng góp và ảnh hưởng cao nhất vào sự tương đồng của khu hệ tôm khi phân tích theo phân bố không gian (cửa sông, khu vực khảo sát) và thời gian (mùa khảo sát). Các loài tôm này đến từ 4 họ Palaemonidae, Alpheidae, Penaeidae, và Squillidae nhưng đóng vai trò chủ chốt vẫn là họ Palaemonidae và Penaeidae. Các loài thuộc giống *Macrobrachium* (họ Palaemonidae) và giống *Parapenaeopsis*, *Metapenaeus* (họ Penaeidae) ghi nhận có tỷ lệ đóng góp cao vào sự tương đồng giữa các quần xã tôm khi phân tích theo phân bố không gian - thời gian.

3.2.2. Đa dạng phân bố

3.2.2.1. Phân bố theo không gian (cửa sông)

Trung bình mật độ ở cửa Cỏ Chiên ($79,31 \pm 81,45$ cá thể/1.000 m²) thấp hơn các cửa còn lại, từ $124,63 \pm 89,94$ cá thể/1.000 m² (Ba Lai) đến $163,50 \pm 211,15$ cá thể/1.000 m² (cửa Đại). Tương tự, trung bình tổng sinh khối cửa Cỏ Chiên cũng thấp nhất ($290,20 \pm 237,16$ g/1.000 m²), cửa Ba Lai cũng ghi nhận trung bình tổng sinh khối khá thấp ($346,36 \pm 395,36$ g/1.000 m²), trong khi cửa Hàm Luông và cửa Đại có trung bình tổng sinh khối khá cao, lần lượt là $424,22 \pm 322,70$ g/1.000 m² và $516,11 \pm 533,59$ g/1.000 m². Sinh khối trung bình, trung bình chỉ số W và các chỉ số đa dạng đều ghi nhận thấp nhất ở cửa Ba Lai và cao nhất ở cửa Cỏ Chiên và cửa Đại. Ví dụ, trung bình chỉ số W ở cửa Ba Lai là $0,0014 \pm 0,16$, trong khi cửa Cỏ Chiên là $0,15 \pm 0,21$. Tương tự, trung bình chỉ số H' và J' ở cửa Ba Lai thấp nhất, lần lượt là $1,06 \pm 0,46$ và $0,57 \pm 0,22$, ngược lại, ở cửa Cỏ Chiên có trung bình chỉ số H' và J' lần lượt là $1,38 \pm 0,44$ và $0,80 \pm 0,10$.

3.2.2.2. Phân bố theo không gian (khu vực khảo sát)

Sinh khối trung bình khu hệ tôm khu vực trong cửa sông cao hơn ngoài cửa sông, lần lượt là $4,77 \pm 3,42$ g và $3,69 \pm 2,57$ g. Trung bình chỉ số W trong và ngoài cửa sông đều lớn hơn 0, tương ứng là $0,08 \pm 0,21$ và $0,06 \pm 0,17$. Tuy nhiên, kết quả phân tích thống kê cho thấy không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo khu vực khảo sát với sinh khối trung bình và trung bình chỉ số W. Ngược lại, trung bình tổng mật độ, trung bình tổng sinh khối, các chỉ số đa dạng S, d, H', và J' đều ghi nhận có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo khu vực khảo sát. Thật vậy, trung bình tổng mật độ và trung bình tổng sinh khối ở ngoài cửa sông cao hơn trong cửa sông. Trung bình tổng mật độ ở ngoài và trong cửa sông lần lượt là $155,95 \pm 166,74$ cá thể/1.000 m² và $87,41 \pm 84,23$ cá thể/1.000 m². Trung bình tổng sinh khối ở ngoài và trong cửa sông lần lượt là $441,17 \pm 364,22$ g/1.000 m² và $352,43 \pm 402,52$ g/1.000 m². Tương tự, các chỉ số đa dạng S, d, H', và J' đều ghi nhận ở ngoài cửa sông cao hơn trong cửa sông. Trung bình chỉ số S, d, H', và J' ở ngoài

cửa sông lần lượt là $8,07 \pm 2,79$; $1,51 \pm 0,49$; $1,45 \pm 0,39$; $0,72 \pm 0,15$, trong khi trong cửa sông tương ứng là $5,48 \pm 2,13$; $1,10 \pm 0,46$; $1,09 \pm 0,39$; $0,67 \pm 0,19$. Nhìn chung, quần xã tôm khu vực cửa sông ngoài có tổng mật độ, sinh khối và đa dạng sinh học cao hơn đáng kể khi so với quần xã tôm khu vực cửa sông.

3.2.2.3. Phân bố theo thời gian (mùa)

Trung bình tổng mật độ khu hệ tôm mùa khô ($140,19 \pm 165,81$ cá thể/1.000 m²) cao hơn mùa mưa ($103,19 \pm 95,39$ cá thể/1.000 m²). Chỉ số J' mùa khô là $0,71 \pm 0,14$, ghi nhận cao hơn mùa mưa là $0,68 \pm 0,20$. Kết quả kiểm tra PERMANOVA cho thấy không có sự khác biệt thống kê ở trung bình tổng mật độ và chỉ số J' theo mùa. Sinh khối trung bình mùa khô và mùa mưa lần lượt là $4,49 \pm 2,98$ và $3,97 \pm 3,15$ nhưng chưa đủ bằng chứng kết luận sinh khối trung bình có khác biệt theo mùa.

3.3. Một số yếu tố môi trường nước mặt ảnh hưởng đến đa dạng sinh học khu hệ tôm cửa sông Mê Kông

3.3.1. Đặc điểm môi trường nước mặt cửa sông Mê Kông

Trung bình giá trị pH có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo mùa, cửa sông và cả khu vực khảo sát. Trung bình giá trị pH mùa khô là $7,49 \pm 0,35$, cao hơn khi so với mùa mưa là $7,19 \pm 0,37$.

Trung bình nhiệt độ không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo khu vực khảo sát nhưng có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo mùa và cửa sông. Nhiệt độ ở cửa sông Mê Kông ổn định, ít biến động, từ $29,5^{\circ}\text{C}$ đến $30,5^{\circ}\text{C}$.

Giá trị DO trung bình ghi nhận chỉ có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo khu vực khảo sát, cụ thể khu vực cửa sông ngoài có DO cao hơn khu vực cửa sông trong, tương ứng với $6,60 \pm 0,38$ mg/L và $6,25 \pm 0,38$ mg/L.

Giá trị độ mặn thấp nhất là 0,06 PSU ghi nhận tại vị trí CC2.3 vào mùa mưa, trong khi giá trị cao nhất là 22,63 PSU ghi nhận tại vị trí CD1.4 vào mùa khô. Có sự khác biệt lớn giữa trung bình độ mặn mùa khô ($8,22 \pm 7,04$ PSU, nước mặn vừa - mesohaline) và mùa mưa ($2,09 \pm 3,09$ PSU, nước hơi

mặn - oligohaline), và giữa cửa sông ngoài ($7,79 \pm 7,30$ PSU, nước mặn vừa - mesohaline) và cửa sông trong ($2,48 \pm 3,27$ PSU, nước hơi mặn - oligohaline). Độ mặn Cửa Đại ($6,68 \pm 6,62$ PSU) và cửa Ba Lai ($5,82 \pm 7,53$) ghi nhận cao hơn cửa Hàm Luông ($4,48 \pm 5,31$) và Cổ Chiên ($4,11 \pm 6,03$), tuy nhiên, không ghi nhận có sự khác biệt ý nghĩa thống kê về độ mặn theo cửa sông.

Độ sâu trung bình có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo cửa sông, với độ sâu ở cửa Hàm Luông ($5,03 \pm 2,42$ m) thấp nhất khi so với cửa Ba Lai ($8,16 \pm 4,17$ m) và Cửa Đại ($7,68 \pm 3,31$ m). Ngoài ra, độ sâu trung bình ở cửa sông ngoài ($5,70 \pm 2,56$ m) thấp hơn cửa sông trong ($7,50 \pm 4,40$ m).

Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS) mùa mưa cao hơn hẳn mùa khô, tương ứng đạt $89,26 \pm 69,90$ mg/L và $61,08 \pm 37,81$ mg/L.

3.3.2. Ảnh hưởng của các yếu tố môi trường đến đặc điểm quần xã tôm cửa sông Mê Kông

Khi xem xét tổng hợp 2 mùa khảo sát thì DO và độ mặn đóng vai trò quan trọng trong chi phối các đặc điểm khu hệ tôm, 2 thông số này tương quan thuận với các đặc điểm như mật độ, sinh khối, và đa dạng.

3.3.3. Ảnh hưởng đến phân bố không - thời gian của quần xã tôm cửa sông Mê Kông

3.3.3.1. Biến động không - thời gian của quần xã

Các đặc điểm và cấu trúc khu hệ tôm vùng cửa sông Mê Kông có biến động theo không - thời gian. Với phân bố theo không gian cửa sông, mật độ, sinh khối, và đa dạng ở cửa Ba Lai, nhìn chung, thấp hơn các cửa sông còn lại. Hơn nữa, cấu trúc khu hệ tôm cửa Ba Lai cũng có khác biệt với các cửa sông khác. Nguyên nhân có thể xuất phát từ ảnh hưởng của đập chắn lên điều kiện môi trường thủy văn sông Ba Lai, từ đó ảnh hưởng đến hệ thủy sinh vật, trong đó có nhóm tôm. Với phân bố theo không gian khu vực khảo sát, khu vực ngoài cửa sông có mật độ, sinh khối, và đa dạng sinh học cao hơn hẳn khu vực trong cửa sông. Về phân bố theo thời gian, mùa khô có sinh khối và

đa dạng sinh học cao hơn đáng kể khi so với mùa mưa. Sự khác biệt và biến động trong độ mặn là nguyên nhân chính, khiến cho các đặc điểm và cấu trúc thành phần loài khu hệ tôm biến động theo khu vực và mùa khảo sát. Căn cứ vào mức độ giải thích biến động phương sai, hầu hết các đặc điểm và cả cấu trúc khu hệ tôm biến động mạnh nhất theo khu vực khảo sát, sau đó là thời gian và cửa sông. Biến động theo cửa sông giải thích ít nhất biến động trong phương sai vì sự khác biệt theo cửa sông chủ yếu đến từ sự khác biệt giữa cửa Ba Lai với các cửa còn lại. Các cửa này nhìn chung không có sự khác biệt trong đặc điểm và cả cấu trúc khu hệ tôm.

3.3.3.2. Phân bố các nhóm sinh thái

Dựa vào tương tác đa biến giữa 13 loài điển hình trong khu hệ tôm và các thông số môi trường, tập trung vào độ mặn, có thể chia các loài tôm điển hình làm 4 nhóm chính:

- Nhóm tôm lợ hướng mặn: Tương quan thuận mạnh, có ý nghĩa thống kê với độ mặn;
- Nhóm tôm thuần lợ hướng mặn: Tương quan thuận, có ý nghĩa thống kê với độ mặn;
- Nhóm tôm thuần lợ điển hình: Tương quan thuận, không có ý nghĩa thống kê với độ mặn;
- Nhóm tôm lợ hướng ngọt: Tương quan nghịch mạnh, có ý nghĩa thống kê với độ mặn.

3.4. Biến động mật độ, sinh khối, hình thái, đặc điểm quần thể và đề xuất giải pháp khai thác bền vững tôm càng xanh cửa sông Mê Kông

3.4.1. Mật độ, sinh khối và hình thái TCX cửa sông Mê Kông

3.4.1.1. Mật độ, sinh khối

Cửa sông Ba Lai và Cỏ Chiên có trung bình tổng mật độ TCX thấp, tương ứng $1,75 \pm 2,62$ cá thể/1.000 m² và $2,63 \pm 4,64$ cá thể/1.000 m², ngược lại, cửa Hàm Luông có trung bình tổng mật độ TCX cao, $5,19 \pm 5,23$ cá thể/1.000 m². Trong cửa sông có trung bình tổng mật độ cá thể cao hơn ngoài cửa sông,

$4,70 \pm 5,84$ cá thể/1.000 m² và $2,00 \pm 3,56$ cá thể/1.000 m². Không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê theo mùa trong trung bình tổng mật độ TCX, $3,96 \pm 5,89$ cá thể/1.000 m² vào mùa khô và $2,74 \pm 3,89$ cá thể/1.000 m² vào mùa mưa.

Trung bình tổng sinh khối và sinh khối trung bình cá thể chỉ ghi nhận có sự khác biệt theo khu vực khảo sát. Cụ thể, trong cửa sông có trung bình tổng sinh khối và sinh khối trung bình cá thể lần lượt là $134,62 \pm 184,70$ g/1.000 m², $21,43 \pm 18,54$ g cao hơn khi so với ngoài cửa sông, tương ứng là $65,03 \pm 117,77$ g/1.000 m², $14,85 \pm 21,07$ g. Theo cửa sông và mùa khảo sát, không có sự khác biệt trong trung bình tổng sinh khối và sinh khối trung bình cá thể.

3.4.1.2. Hình thái

Các giá trị đặc điểm hình thái TCX đều ghi nhận mùa mưa cao hơn mùa khô, trừ CaW, điều này có nghĩa là mùa mưa TCX có kích thước và khối lượng cao hơn mùa khô. Mặc dù, giá trị của tất cả các đặc điểm hình thái TCX ở cửa Ba Lai đều thấp hơn các cửa sông còn lại nhưng kết quả phân tích thống kê cho thấy không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê của các đặc điểm hình thái giữa các cửa sông.

3.4.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố môi trường nước mặt lên mật độ, sinh khối và hình thái tôm càng xanh cửa sông Mê Kông

3.4.2.1. Mật độ và sinh khối

Phân tích tương quan Spearman cho thấy tất cả các yếu tố môi trường đều ghi nhận không có tương quan ý nghĩa với mật độ, sinh khối TCX cửa sông Mê Kông. Trong nghiên cứu này, TCX dường như thích nghi tốt với điều kiện môi trường cửa sông.

3.4.2.2. Hình thái

Kết quả phân tích tương quan Spearman cho thấy nhiệt độ và TSS gần như không ghi nhận tương quan có ý nghĩa với các đặc điểm hình thái TCX ở cửa sông Mê Kông. Ngược lại, pH, độ mặn, DO, và độ sâu ghi nhận tương

quan có ý nghĩa với các đặc điểm hình thái TCX. Trong khi pH và độ mặn ghi nhận tương quan nghịch thì độ sâu có tương quan thuận với các đặc điểm hình thái. Tuy nhiên, hệ số tương quan giữa độ sâu và các đặc điểm hình thái khá thấp, từ 0,14 đến 0,21. Tương tự, pH và độ mặn chỉ ghi nhận tương quan có ý nghĩa với các đặc điểm hình thái thân với r cũng khá thấp, từ 0,15 đến 0,20. DO ghi nhận là thông số ảnh hưởng mạnh nhất tới các đặc điểm hình thái vì hệ số tương quan r khá cao, từ 0,23 đến 0,36. Chỉ có DO ghi nhận tương quan có ý nghĩa với tất cả các đặc điểm hình thái TCX.

3.4.3. Biến động quần thể và giải pháp khai thác bền vững

3.4.3.1. Chiều dài tối đa L_{∞} và hệ số tăng trưởng K

Chiều dài tối đa mà cá thể cái có thể đạt được là $L_{\infty} = 253,25$ mm, hệ số tăng trưởng $K = 0,59/\text{năm}$, $t_0 = -0,051$ (thời điểm (tuổi) TCX có chiều dài bằng 0), $t_{\max} = 5,03$ năm (đây không phải là tham số trong mô hình, nhưng thường được dùng để ước lượng tuổi tối đa có thể đạt được của sinh vật dựa trên mô hình). Do đó, phương trình von Bertalanffy mô phỏng tăng trưởng quần thể TCX cửa sông Mê Kông là $L_t = 253,25 * (1 - e^{-0,59*(t + 0,051)})$.

3.4.3.2. Bổ sung quần thể

Sự bổ sung quần thể thể hiện sự gia nhập của các cá thể TCX non đã đạt đến một kích thước hoặc độ tuổi nhất định đủ để bị khai thác. Sự bổ sung quần thể TCX ở cửa sông Mê Kông diễn ra gần như quanh năm nhưng tăng mạnh từ tháng 4 đến tháng 8, với đỉnh điểm vào tháng 4 và 5 với tỷ lệ bổ sung lần lượt là 19% và 22%.

3.4.3.3. Ước lượng hệ số chết

Hệ số chết tổng cộng (Z), hệ số chết tự nhiên (M) và hệ số chết do khai thác (F) của TCX lần lượt là $Z = 3,59/\text{năm}$ (CI: 2,8 - 4,38), $M = 0,72/\text{năm}$ và $F = 2,87/\text{năm}$. Như vậy, hệ số chết của TCX cửa sông Mê Kông do điều kiện tự nhiên là khá thấp vì điều kiện sống tự nhiên phù hợp, trong khi đó hệ số chết do khai thác là rất lớn.

3.4.3.4. Đề xuất giải pháp khai thác bền vững TCX sông Mê Kông

Mùa khai thác TCX ở cửa sông Mê Kông nên bắt đầu từ nửa cuối tháng 4 và kết thúc vào khoảng tháng 7 hằng năm. Trong mùa khai thác, chiến lược khai thác bền vững được đề xuất là: Nâng chiều dài khai thác lần đầu lên từ 60% L_{∞} ($L_c \geq 151,95$ mm) và duy trì cường độ khai thác không vượt quá $E = 0,5$, để vừa đảm bảo sản lượng ổn định, vừa duy trì khả năng tái tạo của quần thể TCX cửa sông Mê Kông trong dài hạn. Tuy nhiên, trường hợp cần ưu tiên kinh tế cho ngư dân thì ngưỡng $L_c/L_{\infty} = 0,5$ ($L_c \geq 126,6$ mm) vẫn có thể được chấp nhận.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Phân tích di truyền cho thấy sự tách biệt rõ ràng giữa các nhóm tôm he (Penaeidae) và tôm càng (Palaemonidae), cũng như giữa các giống và loài trong cùng một họ. Trong trường hợp số mẫu hạn chế, chỉ số đa dạng di truyền π được xem là đáng tin cậy hơn H_d .

Khu hệ tôm vùng cửa sông Mê Kông có mật độ phong phú, đa dạng thành phần loài cao. Cấu trúc phân bố có sự biến động rõ theo không - thời gian. Khu hệ tôm chia làm 4 nhóm sinh thái: Lợi hướng mặn, lợi hướng ngọt, thuần lợi hướng mặn và thuần lợi điển hình. Trong số các yếu tố môi trường khảo sát, độ mặn và DO được xác định là hai yếu tố chính chi phối sự biến động quần xã tôm theo cả không gian và thời gian.

Biến động hình thái TCX chủ yếu diễn ra theo mùa, với kích thước cơ thể lớn hơn trong mùa mưa. Trong số các yếu tố môi trường khảo sát, DO là yếu tố ảnh hưởng chính đến hình thái TCX. Sự bổ sung quần thể TCX diễn ra quanh năm, tăng mạnh từ tháng 4 đến tháng 8, đạt đỉnh vào tháng 4 - 5. Tuy nhiên, kết quả cho thấy nguồn lợi loài này đang chịu áp lực khai thác quá mức.

Kiến nghị

Tăng số lượng cá thể (từ 10 đến 30) đồng thời thu thập ở đa dạng các thủy vực trong đánh giá đa dạng di truyền, đồng thời mở rộng số loài cần đánh giá

đa dạng di truyền, kể cả loài chưa có giá trị thương mại. Ngoài đa dạng haplotype (H_d) và đa dạng nucleotide (π), số lượng haplotype, mối quan hệ giữa các haplotype đó (haplotype network), khác biệt di truyền (genetic differentiation FST) của các quần thể tôm giữa các khu vực địa lý (trong DBSCL và trên thế giới) cần được đánh giá.

Phân tích, đánh giá thêm ảnh hưởng của một số thông số môi trường, đặc biệt là môi trường trầm tích như: Dinh dưỡng (TN, OM, Chl, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}), thành phần trầm tích, lưu lượng đến đặc điểm khu hệ tôm.

Hầu hết các phân tích hình thái học đều dùng các phép đo đặc kích thước, điều này dẫn tới các biến động hoặc sai khác nhỏ trong đặc điểm hình thái thường bị bỏ qua. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo có thể áp dụng cách tiếp cận đo đạc hình thái mới như phép đo hình học dựa trên mốc (geometric morphometric), phân tích này cho phép phát hiện sai khác nhỏ trong đặc điểm hình thái của các loài trong một vùng địa lý nhỏ (microgeographical scale) như trường hợp các cửa sông Mê Kông.

Giải pháp khai thác bền vững nguồn lợi TCX cửa sông Mê Kông như sau: Mùa khai thác TCX nên bắt đầu từ nửa cuối tháng 4 và kết thúc vào khoảng tháng 7 hằng năm. Nâng chiều dài khai thác lần đầu lên $L_c \geq 151,95$ mm và duy trì cường độ khai thác không vượt quá $E = 0,5$. Tuy nhiên, trường hợp cần ưu tiên kinh tế cho ngư dân thì ngưỡng $L_c \geq 126,6$ mm vẫn có thể được chấp nhận.