

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU SINH HỌC SINH SẢN, KỸ THUẬT SẢN XUẤT VÀ ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU NHẪM NÂNG CAO HIỆU QUẢ SẢN XUẤT GIỐNG NHÂN TẠO LOÀI BÀO NGƯ CHÍNH LỖ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846)

Lại Duy Phương^{1*}, Phan Thị Vân², Nguyễn Khắc Bát¹

¹Viện Nghiên cứu Hải sản; ²Công ty TNHH IDH Việt Nam

*Tác giả liên hệ: ldphuong@rimf.org.vn

Ngày nhận bài: 21.08.2025

Ngày chấp nhận đăng: 23.10.2025

TÓM TẮT

Bào ngư chín lỗ (*H. diversicolor*) là loài nhuyễn thể có giá trị cao, phân bố rộng tại khu vực biển nhiệt đới và cận nhiệt đới, bao gồm Việt Nam. Trước thực trạng suy giảm nguồn giống tự nhiên, sản xuất giống nhân tạo đang được xem là giải pháp trọng tâm trong phát triển nguồn lợi và nghề nuôi bền vững. Bài báo này tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến đặc điểm sinh sản và kỹ thuật sản xuất giống bào ngư, bao gồm: đặc điểm tuyển sinh dục, chu kỳ sinh sản, yếu tố môi trường ảnh hưởng, hành vi sinh sản và kỹ thuật sinh sản nhân tạo. Phân tích so sánh cho thấy các quốc gia như Nhật Bản, Hàn Quốc,... đã áp dụng các công nghệ sinh học phân tử và kỹ thuật sản xuất giống tiên tiến; trong khi tại Việt Nam vẫn còn khoảng cách lớn về năng lực nghiên cứu và trình độ công nghệ. Bài viết cũng chỉ ra một số khoảng trống nghiên cứu, đặc biệt là trong hiểu biết về nội tiết sinh sản, và “nút thắt” trong giai đoạn biến thái từ ấu trùng veliger sang spat. Trên cơ sở đó, tác giả đề xuất một số định hướng nghiên cứu ứng dụng nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo, hướng tới đảm bảo chủ động nguồn giống và phát triển bền vững nghề nuôi bào ngư tại Việt Nam.

Từ khóa: Bào ngư chín lỗ, sinh học sinh sản, sinh sản.

State of Research on Reproductive Biology and Hatchery Techniques, with Proposed Directions to Enhance Artificial Seed-production Efficiency in *Haliotis diversicolor* Reeve, 1846

ABSTRACT

The abalone species, *H. diversicolor*, is a high-value marine gastropod widely distributed in tropical and subtropical coastal waters, including Vietnam. In response to the decline of wild seed resources, artificial seed production has emerged as a key strategy for resource restoration and sustainable aquaculture development. This paper provides a comprehensive review of domestic and international studies on the reproductive biology of *H. diversicolor*, encompassing gonadal development, reproductive seasonality, environmental drivers, spawning behavior, and hatchery/ induced - spawning techniques. Comparative analysis indicates that countries such as Japan and South Korea,.. have adopted advanced molecular biotechnology and seed production protocols, whereas Vietnam still faces significant gaps in research capacity and technological readiness. The review also highlights existing knowledge gaps, particularly in reproductive endocrinology and the critical bottleneck during the metamorphosis from veliger larvae to spat. Building upon this critical review, the authors propose future research directions aimed at enhancing artificial seed production efficiency, ensuring a reliable supply of high-quality seed, and fostering the sustainable development of abalone aquaculture in Vietnam.

Keywords: *Haliotis diversicolor*, reproductive biology, reproduction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846) là loài nhuyễn thể chân bụng (Gastropoda):

họ Haliotidae, phân bố rộng ở vùng biển nhiệt đới và cận nhiệt đới khu vực Tây Thái Bình Dương, bao gồm Việt Nam, Nhật Bản, Đài Loan, Trung Quốc và các đảo quốc lân cận. Loài này có giá trị

kinh tế cao, thích nghi tốt với điều kiện nhiệt đới và được ưa chuộng trong tiêu dùng nhờ hàm lượng dinh dưỡng cao, đặc biệt là protein, axit béo không no và khoáng vi lượng (Li & cs., 2017). Với giá trị thực phẩm cao, chúng được xem là đối tượng nuôi tiềm năng, góp phần gia tăng lợi ích kinh tế cho người nuôi trong bối cảnh nguồn lợi tự nhiên suy giảm (Đào Minh Đông & Đỗ Công Thung, 2019).

Trong bối cảnh nguồn lợi tự nhiên suy giảm do khai thác quá mức và biến đổi môi trường sống, việc phát triển nghề nuôi bào ngư theo hướng bền vững đóng vai trò quan trọng trong bảo tồn và khai thác hiệu quả nguồn tài nguyên này. Một trong những yếu tố then chốt quyết định sự thành công của nghề nuôi là khả năng chủ động sản xuất giống nhân tạo, nhằm đảm bảo nguồn giống chất lượng, số lượng ổn định và giảm phụ thuộc vào khai thác tự nhiên.

Tại Việt Nam, bên cạnh các nghiên cứu mô tả về sinh học sinh sản, việc sản xuất giống nhân tạo cũng đã được thực hiện nhờ nắm bắt được kỹ thuật nuôi vỗ bố mẹ, ương ấu trùng và sản xuất giống cấp I (Lê Đức Minh, 2000; Lại Duy Phương & cs., 2013; 2019; 2020). Tuy nhiên, các kết quả sản xuất còn ở quy mô nhỏ; mức độ chuẩn hóa quy trình cho sản xuất công nghiệp vẫn hạn chế, đặc biệt ở kiểm soát điều kiện môi trường, mật độ và chất lượng đàn bố mẹ. Nút thắt kỹ thuật vẫn tập trung ở giai đoạn biến thái veliger → spat và tính ổn định của tỷ lệ sống giai đoạn ấu trùng. Trong khi đó, quốc tế đã tiến xa về mô học, sinh học phân tử và điều hòa nội tiết/hormone để kiểm soát sinh sản, cải thiện hiệu quả trong sản xuất giống (Di & cs., 2013; Kim & cs., 2018). Việc tích hợp các tiến bộ này với dữ liệu trong nước là hướng khả thi để rút ngắn khoảng cách công nghệ. Qua đó, có thể từng bước nâng cao năng lực sản xuất giống quy mô công nghiệp ở nước ta.

Bài viết này tổng hợp và phân tích các nghiên cứu đã được công bố về sinh học sinh sản và công nghệ sản xuất giống nhân tạo bào ngư chín lỗ trong và ngoài nước, từ đó nhận diện những khoảng trống trong nghiên cứu hiện tại. Trên cơ sở đó, đề xuất các định hướng nghiên cứu cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo phục vụ phát triển bền vững nghề nuôi bào ngư tại Việt Nam trong tương lai.

2. TỔNG QUAN VỀ ĐẶC ĐIỂM SINH HỌC SINH SẢN CỦA BÀO NGƯ CHÍN LỖ

Đặc điểm hình thái và phân bố: Bào ngư chín lỗ (*H. diversicolor*) là loài thân mềm một mảnh vỏ, có giá trị kinh tế cao, phân bố chủ yếu ở các vùng biển nhiệt đới và cận nhiệt đới. Tại Việt Nam, chúng phân bố rải rác ở các vùng biển có rạn đá ngầm, đặc biệt ở Cô Tô, Minh Châu, Quan Lạn (Quảng Ninh): Cát Bà và Bạch Long Vĩ (Hải Phòng) (Nguyễn Chính, 1996). Vỏ của bào ngư hình elip, có 7-9 lỗ hô hấp nằm dọc theo mép trái, được dùng để hô hấp và bài tiết (Hình 1). Thân mềm gồm đầu, màng áo, chân và nội tạng. Chân phát triển rộng, giúp cho bào ngư bám chặt vào giá thể và di chuyển, thích nghi với môi trường sống bám đáy.

Đặc điểm phân biệt giới tính và phát triển tuyến sinh dục: Bào ngư chín lỗ là loài phân tính (đực - cái riêng biệt) và không có hiện tượng chuyển đổi giới tính trong suốt vòng đời (Weng & cs., 2022). Giới tính có thể phân biệt bằng mắt thường nhờ màu sắc tuyến sinh dục: màu vàng kem ở cá thể đực và xanh lục hoặc xanh lam ở cá thể cái (Lê Đức Minh, 2000). Tuyến sinh dục bao quanh tuyến tiêu hóa, tạo thành tổ hợp gan - tuyến sinh dục (Laura & cs., 2004). Sự phát triển của tuyến sinh dục được chia thành 5 giai đoạn: phát triển sớm, phát triển chủ động, thành thực, sinh sản, và sau sinh sản (Wells & Keesing, 1989). Theo dõi mô học tuyến sinh dục cho thấy quá trình sinh tinh và sinh trứng diễn ra trong các túi sinh dục, có thể quan sát được các tế bào mầm, tinh trùng và trứng ở các mức độ phát triển khác nhau.

Kích thước, tuổi thành thực sinh dục lần đầu và sức sinh sản: Loài bào ngư chín lỗ (*H. diversicolor*) có thể đạt tuổi thành thực sinh dục lần đầu vào khoảng 2 đến 3 năm tuổi, tùy thuộc vào điều kiện môi trường và dinh dưỡng. Các nghiên cứu cho thấy, loài bào ngư này thường bắt đầu sinh sản khi có kích thước khoảng 5-7cm (Xu & cs., 2008). Ở những môi trường nuôi có điều kiện thuận lợi, kích thước này có thể đạt được nhanh hơn, giúp bào ngư đạt tuổi thành thực sớm hơn (Wang & cs., 2013; Bryan & Qian, 1998). Sức sinh sản của bào ngư chín lỗ có sự biến động lớn theo mùa và độ tuổi.

Tổng quan tình hình nghiên cứu sinh học sinh sản, kỹ thuật sản xuất và đề xuất hướng nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo loài bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846)

Các nghiên cứu cho thấy, bào ngư trưởng thành có thể sinh sản hàng năm với sản lượng trứng và tinh trùng lớn. Một cá thể trưởng thành có thể sản xuất hàng triệu trứng trong mỗi mùa sinh sản (Wu & cs., 2012). Tuy nhiên, sức sinh sản này có thể giảm đi nếu điều kiện môi trường không ổn định, đặc biệt là nhiệt độ và chất lượng nước (Li & cs., 2015).

Chu kỳ sinh sản và yếu tố ảnh hưởng: Chu kỳ sinh sản của *H. diversicolor* phụ thuộc vào điều kiện môi trường và vị trí địa lý. Tại Việt Nam, mùa sinh sản kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, với đỉnh điểm vào tháng 7-8, khi nhiệt độ nước ở ngưỡng 24-26°C (Lê Đức Minh, 2000; Lại Duy Phương & cs., 2013). Bào ngư có thể sinh sản 1-2 lần trong mùa, với chu kỳ cách nhau khoảng 1 tháng. Các yếu tố ảnh hưởng lớn đến quá trình sinh sản gồm:

- Nhiệt độ: khoảng tối ưu 22-26°C; dưới 18°C sự phát triển tuyến sinh dục giảm mạnh, trên 30°C có thể gây stress (Alcantara & Noro, 2006).

- Độ mặn: thích hợp từ 30-34‰, dao động mạnh làm giảm tỷ lệ thụ tinh và phát triển phôi (Jebreen & cs., 2010).

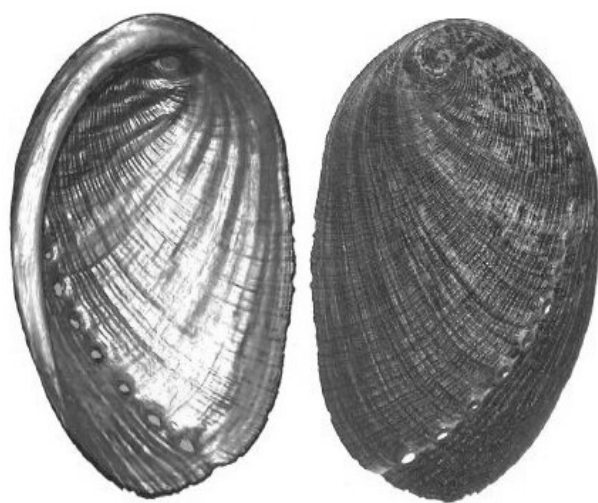
- Ánh sáng: ảnh hưởng đến hoạt động phóng trứng/phóng tinh, ánh sáng khuếch tán nhẹ (< 100lux) là lý tưởng (Wu & cs., 2012).

- Dinh dưỡng: sử dụng rong tươi (*Gracilaria*, *Ulva*) giúp cải thiện chất lượng giao

tử và rút ngắn thời gian thành thực sinh dục (Shepherd, 1974; Xu & cs., 2008).

Tập tính sinh sản: Bào ngư chín lỗ là loài phát tán giao tử và thụ tinh ngoài môi trường nước: trong tự nhiên, con đực và con cái phóng giao tử trực tiếp vào cột nước. Sự kiện sinh sản thường diễn ra vào ban đêm hoặc rạng sáng - khi cường độ chiếu sáng thấp và nhiệt độ ổn định - giúp đồng bộ thời điểm phóng giao tử và nâng cao xác suất thụ tinh (Wells & Keesing, 1989). Trong điều kiện nuôi vỗ nhân tạo, việc đáp ứng điều kiện môi trường - sinh thái ổn định (tương đồng như ngoài tự nhiên) và bố trí mật độ nuôi phù hợp có thể làm tăng tỷ lệ tham gia sinh sản, kích thích hoạt động giao vĩ và phóng giao tử đồng bộ. Đây là tập tính đặc trưng của loài sinh sản theo hình thức thụ tinh ngoài.

Trong điều kiện nuôi nhân tạo, có thể kích thích sinh sản bằng các phương pháp như sốc nhiệt (thay đổi nhiệt độ đột ngột 5-7°C) hoặc sử dụng dung dịch oxy già (H₂O₂) với nồng độ 2-3 ml/l trong 30 phút. Nếu đàn bố mẹ được nuôi vỗ đúng kỹ thuật, các biện pháp này có thể đạt tỷ lệ phóng trứng/phóng tinh cao (> 80%) (Lê Đức Minh, 2000; Lại Duy Phương & cs., 2023). Sau khi được thụ tinh, trứng phát triển thành ấu trùng trochophore trong 8-10 giờ, và thành ấu trùng veliger sau 18-24 giờ và sống bám đáy sau 4-5 ngày.



Nguồn: Lại Duy Phương (2021).

Hình 1. Bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor*)

3. ĐÁNH GIÁ TỔNG QUAN VỀ MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU NỔI BẬT TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

3.1. Trên thế giới

Các nghiên cứu trên thế giới về sinh học sinh sản của loài *H. diversicolor* và các loài bào ngư nói chung đã đạt được nhiều tiến bộ đáng kể, góp phần làm rõ các đặc điểm sinh học cốt lõi phục vụ cho hoạt động sản xuất giống nhân tạo. Một số kết quả nổi bật bao gồm:

- Chu kỳ sinh sản theo mùa và ảnh hưởng của môi trường: Nhiều công trình xác định rằng chu kỳ sinh sản của *H. diversicolor* phụ thuộc mạnh vào nhiệt độ, ánh sáng và độ mặn. Sinh sản chủ yếu diễn ra từ tháng 6 đến tháng 11, tập trung vào tháng 7-8 ở các vùng biển nhiệt đới, khi nhiệt độ nước dao động từ 22-26°C (Chen, 1984; Alcantara & Noro, 2006).

- Phát triển tuyến sinh dục và phân biệt giới tính: Tuyến sinh dục của bào ngư có thể được chia thành các giai đoạn phát triển rõ ràng từ giai đoạn nghỉ ngơi đến thành thục và sau sinh sản. Sự thay đổi màu sắc tuyến sinh dục cho phép phân biệt giới tính trực quan (Wells & Keesing, 1989). Cấu trúc mô học tuyến sinh dục cũng đã được mô tả chi tiết ở nhiều loài bào ngư khác nhau, làm rõ quá trình hình thành trứng và tinh trùng (Capinpin & cs., 1995; Kim & cs., 2016).

- Thụ tinh ngoài và phát triển phôi: Quá trình sinh sản ở *H. diversicolor* diễn ra thông qua thụ tinh ngoài. Sau khi thụ tinh, trứng phát triển theo chuỗi phôi dâu → phôi nang → phôi vị → ấu trùng trochophore → ấu trùng veliger → bào ngư non (Leighton, 1974; Manahan & Jaeckle, 1992).

- Tập tính sinh sản: Các nghiên cứu cũng ghi nhận hiện tượng sinh sản đồng loạt (*synchronous spawning*) trong tự nhiên, với các cá thể phóng trứng/tinh cùng lúc nhằm tăng khả năng thụ tinh (Wells & Keesing, 1989).

Ứng dụng trong kỹ thuật sản xuất giống nhân tạo: Trên cơ sở những hiểu biết về sinh học sinh sản, các quốc gia nuôi bào ngư hàng đầu như Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc và Đài

Loan đã phát triển và hoàn thiện quy trình sản xuất giống nhân tạo cho *Halotis diversicolor*. Một số ứng dụng nổi bật bao gồm:

Kỹ thuật kích thích sinh sản: Phổ biến nhất là sử dụng phương pháp sốc nhiệt (thermal shock) với mức thay đổi nhiệt độ 5-7°C, hoặc dùng dung dịch oxy già (H₂O₂) ở nồng độ 1-3 ml/l để kích thích phóng trứng và tinh trùng với tỷ lệ thành công cao (> 85%) (Kikuchi & Uki, 1974; Bryan & Qian, 1998).

Nuôi vỗ đàn bố mẹ: Đàn bố mẹ được nuôi vỗ bằng rong tươi (*Ulva*, *Gracilaria*) kết hợp với bổ sung khoáng và vitamin, giúp nâng cao tỷ lệ thành thục và chất lượng giao tử (Xu & cs., 2008; Li & cs., 2015).

Ương nuôi ấu trùng: Các kỹ thuật ấp phôi và ương ấu trùng, con giống đã được tối ưu hóa với hệ thống nước biển sạch, sục khí nhẹ, điều kiện nhiệt độ 25-27°C và độ mặn ổn định 30-34‰. Việc sử dụng vi tảo đáy như *Navicula*, *Nitzschia* và màng sinh học tự nhiên giúp tăng tỷ lệ ấu trùng veliger chuyển xuống bám đáy (Searcy & cs., 1996; Wu & cs., 2012).

Quản lý chất lượng nước và ánh sáng: Việc kiểm soát chất lượng nước (pH, oxy, độ đục, amoniac) và sử dụng ánh sáng khuếch tán nhẹ đã được chứng minh là nâng cao đáng kể hiệu quả sinh sản và tỷ lệ sống của ấu trùng (Chao & cs., 2003; Onitsuka & cs., 2007).

Nghiên cứu sinh học phân tử: Một số nghiên cứu gần đây đã bắt đầu ứng dụng công nghệ sinh học phân tử (PCR, qRT-PCR, phân tích biểu hiện gen liên quan sinh sản) để phân tích các gene điều khiển quá trình thành thục và sinh sản (Kim & cs., 2018; You & cs., 2013): mở ra hướng kiểm soát sinh sản ở cấp độ tế bào và gen.

3.2. Kết quả nghiên cứu nổi bật tại Việt Nam

Tại Việt Nam, nghiên cứu về đặc điểm sinh học sinh sản và kỹ thuật sản xuất giống nhân tạo loài bào ngư chín lỗ (*H. diversicolor*) được bắt đầu từ những năm 1990, với sự tham gia của các viện nghiên cứu chuyên ngành như Viện Nghiên cứu Hải sản, Viện Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản I, III, các trung tâm giống và cơ

sở nuôi thương phẩm tại Quảng Ninh, Hải Phòng, Khánh Hòa và Ninh Thuận.

Nghiên cứu về đặc điểm sinh học sinh sản: Các công trình đầu tiên của Nguyễn Chính (1996) và Lê Đức Minh (2000) đã mô tả chi tiết hình thái, giải phẫu và cấu trúc tuyến sinh dục của bào ngư chín lỗ trong điều kiện tự nhiên tại vùng biển miền Bắc. Những nghiên cứu này cho thấy bào ngư là loài phân tính, có thể phân biệt giới tính dựa vào màu sắc tuyến sinh dục: trắng kem ở con đực và xanh lá đậm ở con cái. Tuyến sinh dục phát triển mạnh nhất vào mùa hè, đặc biệt trong giai đoạn tháng 6-8.

Gần đây, Lại Duy Phương & cs. (2020) đã áp dụng kỹ thuật mô học để phân chia rõ 4 giai đoạn phát triển tuyến sinh dục: nghỉ - phát triển - thành thục - sau sinh sản, đồng thời xác định được ảnh hưởng của yếu tố môi trường (nhiệt độ, độ mặn, ánh sáng) đến quá trình thành thục và hiệu quả sinh sản.

Về mùa vụ sinh sản, các nghiên cứu tại đảo Cô Tô và Bạch Long Vĩ cho thấy mùa sinh sản của bào ngư kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, với đỉnh điểm vào tháng 7-8 khi nhiệt độ nước biển ở mức 24-26°C (Nguyễn Văn Chung, 1996; Lê Đức Minh, 2000; Lại Duy Phương & cs., 2013). Một số nghiên cứu cũng cho thấy bào ngư có thể sinh sản nhiều lần trong cùng một mùa khi điều kiện nuôi dưỡng và môi trường được duy trì ổn định (Onitsuka & cs., 2010; Grubert & cs., 2005).

Về tuổi và sức sinh sản, Lại Duy Phương & cs. (2020) khi nghiên cứu về quần đàn bào ngư chín lỗ phân bố tự nhiên tại vùng biển Bạch Long Vĩ đã xác định được tuổi tham gia sinh sản lần đầu và mối tương quan giữa nhóm kích thước, khối lượng cơ thể với sức sinh sản của bào ngư chín lỗ. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tuổi tham gia sinh sản lần đầu từ 2,5-3 năm tuổi, nhóm kích thước càng lớn thì sức sinh sản tuyệt đối càng cao nhưng sức sinh sản tương đối lại giảm. Ở nhóm kích thước 80-90mm, có sức sinh sản tuyệt đối cao nhất (trung bình 2.200.000-3.500.000 trứng/cá thể) nhưng sức sinh sản tương đối lại thấp nhất (trung bình 33.800-43.800 trứng/g). Ngược lại, nhóm kích

thước 60-70mm, sức sinh sản tuyệt đối thấp nhất (trung bình 1.500.000-2.500.000 trứng/cá thể) nhưng sức sinh sản tương đối lại cao nhất (trung bình 50.000-55.000 trứng/g).

Nghiên cứu về kỹ thuật sản xuất giống nhân tạo: Từ sau năm 2012, Việt Nam đã đạt được tiến bộ đáng kể trong việc hoàn thiện quy trình sản xuất giống nhân tạo *H. diversicolor*, đặc biệt tại các cơ sở ở Bạch Long Vĩ (Hải Phòng) và Cô Tô (Quảng Ninh) (Lại Duy Phương & cs., 2019; 2014). Các bước trong quy trình sản xuất giống bao gồm: nuôi vỗ đàn bố mẹ, kích thích sinh sản, ấp trứng, ương ấu trùng và con giống cấp 1, cấp 2.

Nuôi vỗ bố mẹ: sử dụng rong tươi (*Ulva*, *Gracilaria*) kết hợp thức ăn công nghiệp giàu protein; điều kiện lý tưởng: nhiệt độ 24-26°C, độ mặn 30-32‰, oxy hòa tan > 5 mg/l (Lại Duy Phương & cs., 2020).

Kích thích sinh sản: phổ biến là áp dụng phương pháp sốc nhiệt (tăng nhiệt đột ngột 5-7°C) hoặc H₂O₂ với nồng độ 2-3 ml/l trong 30 phút, cho tỷ lệ phóng trứng/tinh lên tới 70-85% (Lê Đức Minh, 2000; Lại Duy Phương, 2019).

Trong giai đoạn ương ấu trùng: việc phủ giá thể bằng màng tảo khuê đáy gồm *Navicula* và *Nitzschia* giúp tăng đáng kể tỷ lệ sống và biến thái từ giai đoạn ấu trùng trôi nổi veliger sang hậu ấu trùng bám spat. Trong điều kiện được xác lập là thuận lợi, tỷ lệ sống từ phôi đến giống cấp I đạt khoảng 6-8% (Lại Duy Phương & cs., 2020). Tuy nhiên, năng suất giống vẫn dao động giữa các đợt với nguyên nhân là thiếu chuẩn hóa về kỹ thuật ở các khâu then chốt như duy trì màng tảo khuê đáy trên giá thể; kỹ thuật chăm sóc, quản lý môi trường nuôi giai đoạn ấu trùng trôi nổi đến giai đoạn bám đáy; chế độ dinh dưỡng giai đoạn bám đáy - con non.

Tóm lại, những nghiên cứu xuất giống trong nước đã xây dựng được các bước quy trình kỹ thuật, đây là nền tảng khoa học cho sản xuất giống bào ngư chín lỗ, song vẫn còn những khoảng trống về cơ sở khoa học cơ bản và ứng dụng như:

- Nghiên cứu sinh lý - nội tiết là điều kiện cần để chuyển từ quan sát hình thái sang điều

hiển cơ chế thành thực. Các chỉ dấu này cho phép xác định “điểm sẵn sàng”, lập lịch kích thích sinh sản đúng thời điểm, giảm vòng thử - sai và đồng bộ hóa phóng giao tử. Dựa trên ngưỡng sinh lý, có thể tối ưu nuôi vỗ (ngưỡng môi trường, ánh sáng, khẩu phần P:L, vi chất): qua đó rút ngắn thời gian nuôi vỗ, tăng chất lượng giao tử, nâng cao hiệu sản xuất.

- Giai đoạn ương nuôi ấu trùng veliger → spat luôn là “điểm rơi tỷ lệ sống” do nhu cầu tiêu tốn năng lượng cao trong quá trình biến thái (thoái hóa lông bơi, tạo mới chân bám, xúc tu, vỏ) để chuyển sinh thái từ sống trôi nổi → bám đáy; chuyển đổi chế độ dinh dưỡng từ thức ăn lơ lửng sang gặm vi tảo đáy; phụ thuộc vào sự phù hợp bề mặt của giá thể bám (Roberts, 2001); sự nhạy cảm cao với môi trường và áp xuất trong cột nước (Roberts & cs., 2007). Vì vậy, cần có nghiên cứu làm rõ về nhu cầu năng lượng dự trữ; mật độ, vật bám phù hợp; chất lượng nước và vi sinh là chìa khóa nâng tỷ lệ sống giai đoạn này.

- Bên cạnh đó, ứng dụng công nghệ vi sinh trong quản lý môi trường và nâng cao chất lượng con giống còn hạn chế, chưa hình thành bộ chỉ số thực hành chuẩn để dự báo, kiểm soát.

- So với quốc tế, dữ liệu mùa vụ và đặc tính sinh sản của bào ngư chín lỗ tại Việt Nam chưa được theo dõi liên tục qua nhiều năm và phân tích thống kê chặt chẽ, cho thấy khoảng trống về chuỗi dữ liệu dài hạn phục vụ chuẩn hóa quy trình.

Những thiếu hụt trên là các điểm hạn chế cần ưu tiên đầu tư nghiên cứu nhằm cải thiện năng suất, chất lượng và sự ổn định trong sản xuất giống bào ngư.

3.3. So sánh kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước về sinh học sinh sản của bào ngư

So sánh các nghiên cứu về sinh học sinh sản của loài *H. diversicolor* trong và ngoài nước cho thấy một số điểm tương đồng và khác biệt rõ rệt:

- Về chu kỳ sinh sản và mùa vụ: Cả trong và ngoài nước đều xác nhận rằng *H. diversicolor* có mùa sinh sản vào mùa hè, thường kéo dài từ

tháng 5 đến tháng 10, với đỉnh điểm vào tháng 7-8, khi nhiệt độ nước đạt khoảng 24-26°C (Guan & cs., 2020); Lại Duy Phương & cs., 2020). Tuy nhiên, ở các nghiên cứu quốc tế, dữ liệu mùa vụ được theo dõi liên tục qua nhiều năm và có sự phân tích thống kê rõ ràng hơn.

- Đánh giá sự phát triển tuyến sinh dục: Ở trong nước, chủ yếu dựa trên quan sát màu sắc tuyến sinh dục (Lê Đức Minh, 2000). Trong khi, các nghiên cứu quốc tế đã tiếp cận định lượng - đa phương pháp. Nổi bật như mô học tiêu chuẩn hóa và nhuộm hóa mô miễn dịch (IHC) cùng với định lượng hormone sinh dục (E2, T) và GSI. Các kỹ thuật này đã chuẩn hóa phân hạng thành thực và nâng độ tin cậy trong việc ra quyết định điều chỉnh kỹ thuật nuôi vỗ - kích thích sinh sản (Kim & cs., 2018).

- Về kích thích sinh sản: Cả trong nước và quốc tế đều áp dụng các phương pháp như sốc nhiệt hoặc sử dụng H_2O_2 để kích thích bào ngư sinh sản. Tuy nhiên, ở các nước phát triển, kỹ thuật này đã được tối ưu hóa về liều lượng, thời gian xử lý, và thậm chí kết hợp với phân tích hoạt tính sinh dục ở cấp độ gen (You & cs., 2013).

- Về nuôi vỗ và ương ấu trùng: Trong khi các nước như Nhật Bản, Trung Quốc, Hàn Quốc đã chuẩn hóa thức ăn nuôi vỗ và môi trường ương ấu trùng với công nghệ vi sinh, vi tảo và ánh sáng phù hợp, tại Việt Nam vẫn chủ yếu sử dụng rong tươi và giá thể tảo bám tự nhiên, chưa kiểm soát tốt các điều kiện vi sinh và dinh dưỡng (Kato & cs., 2021; Lại Duy Phương & cs., 2020).

3.4. Những hạn chế trong nghiên cứu sinh học sinh sản của bào ngư tại Việt Nam

Mặc dù đã có nhiều tiến bộ, song các nghiên cứu trong nước vẫn còn thiếu và yếu ở một số nội dung sau:

- Chưa có nghiên cứu về nội tiết sinh sản và hoạt động hormone trong quá trình thành thực và sinh sản, trong khi đây là nền tảng để phát triển các biện pháp kiểm soát sinh sản hiệu quả hơn.

- Thiếu dữ liệu định lượng về năng suất sinh sản: chưa có thống kê đầy đủ về sức sinh sản tuyệt đối, tương đối, mối tương quan giữa khối lượng với kích thước và chất lượng giao tử.

Tổng quan tình hình nghiên cứu sinh học sinh sản, kỹ thuật sản xuất và đề xuất hướng nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo loài bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846)

- Chưa có nghiên cứu ứng dụng sinh học phân tử để phân tích gen điều khiển sinh sản, chọn lọc bố mẹ chất lượng cao hoặc xác định các chỉ thị sinh học liên quan đến thành thực sinh dục, sức chống chịu môi trường và tốc độ tăng trưởng.

- Chưa đồng bộ về kỹ thuật nuôi vỗ (công thức thức ăn, mật độ, thời gian): dẫn đến chất lượng đàn bố mẹ không ổn định giữa các cơ sở sản xuất.

- Thiếu hệ thống giám sát môi trường nước trong trại giống, đặc biệt trong giai đoạn nhạy cảm như ấp trứng và bám đáy của ấu trùng.

3.5. Hạn chế trong sản xuất giống nhân tạo

Những khoảng trống trong nghiên cứu sinh học sinh sản đã và đang ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất và chất lượng con giống, cụ thể như:

- Tỷ lệ sống từ phôi đến giống cấp 1 còn thấp (chỉ đạt 6-8%) do chưa kiểm soát tốt giai đoạn biến thái từ ấu trùng veliger sang giai đoạn spat (Lại Duy Phương & cs., 2020).

- Độ đồng đều và chất lượng con giống chưa cao, ảnh hưởng đến tốc độ sinh trưởng và tỷ lệ sống trong quá trình nuôi thương phẩm.

- Quy trình sản xuất giống còn phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của từng cơ sở sản xuất giống, thiếu hướng dẫn kỹ thuật chuẩn hóa ở cấp quốc gia.

- Khả năng mở rộng sản xuất bị hạn chế bởi thiếu nghiên cứu chọn lọc đàn bố mẹ dẫn đến cận huyết và suy thoái di truyền, khiến việc chọn bố mẹ dựa vào “hình thái/kinh nghiệm” dẫn đến rủi ro cao, hiệu quả sản xuất giống thấp.

Tóm lại, khoảng cách về ứng dụng khoa học công nghệ giữa Việt Nam và các nước dẫn đầu trong nghiên cứu sinh học sinh sản bào ngư là đáng kể. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết cần đầu tư thêm cho nghiên cứu cơ bản kết hợp ứng dụng công nghệ mới nhằm cải thiện hiệu quả sản xuất giống nhân tạo trong nước.

4. ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Nhằm nâng cao hiệu quả và tính ổn định trong sản xuất giống nhân tạo bào ngư chín lỗ

(*H. diversicolor*) tại Việt Nam, cần tập trung vào các định hướng nghiên cứu sau:

4.1. Làm rõ đặc điểm sinh học sinh sản theo mùa và vùng địa lý

Cần thực hiện các nghiên cứu hệ thống về chu kỳ sinh sản, thời điểm thành thực tuyến sinh dục và khả năng tái sinh sản của bào ngư tại các vùng sinh thái khác nhau như Quảng Ninh, Hải Phòng, Khánh Hòa, Bình Thuận và Ninh Thuận. Điều này sẽ giúp xác định mùa vụ sinh sản tối ưu ở từng vùng địa lý, từ đó bố trí lịch nuôi vỗ và sản xuất giống hợp lý.

Đồng thời, cần phân tích mối liên hệ giữa yếu tố môi trường (nhiệt độ, độ mặn, dinh dưỡng, ánh sáng) và năng suất sinh sản nhằm xây dựng mô hình dự báo mùa sinh sản phục vụ quy hoạch sản xuất giống theo mùa vụ.

4.2. Nghiên cứu sâu về sinh lý sinh sản

Các nghiên cứu hiện tại chủ yếu tập trung vào quan sát hình thái tuyến sinh dục, trong khi sinh lý sinh sản của bào ngư vẫn chưa được làm rõ. Cần đầu tư các nghiên cứu về:

- Cơ chế điều hòa thành thực, biến động hormone sinh dục (GnRH, estradiol, testosterone) để đồng bộ hóa chu kỳ thành thực, sinh sản (Sukhan & cs., 2021; Nuurai & cs., 2020).

- Biểu hiện gen liên quan đến sinh sản giúp nhận diện giai đoạn thành thực chính xác hơn (Kim & cs., 2018).

- Tối ưu giai đoạn nuôi vỗ bố mẹ, cơ chế điều hòa thành thực và cảm ứng sinh sản dựa trên ngưỡng sinh lý và ứng dụng PCR kiểm soát sinh sản (Kim & cs., 2017; Botwright & cs., 2019).

4.3. Ứng dụng công nghệ hỗ trợ sinh sản

Ngoài các phương pháp truyền thống như sốc nhiệt và H_2O_2 để kích thích sinh sản, nên mở rộng nghiên cứu và thử nghiệm các biện pháp hỗ trợ thành thực, sinh sản đồng pha, bao gồm:

- Chiết xuất, sử dụng hormone sinh giục nhằm thúc đẩy thành thực tuyến sinh dục, đồng bộ thời điểm phóng trứng/tinh và điều tiết hành vi sinh sản.

- Thử nghiệm tỷ lệ tinh - trứng tối ưu và các chỉ dấu tránh đa tinh (polyspermy): kết hợp công nghệ lọc - khử khuẩn nước biển bằng UV/ozon để nâng cao tỷ lệ thụ tinh và phát triển phôi.

- Cảm biến môi trường kết nối IoT để giám sát liên tục nhiệt độ, pH, oxy, độ mặn - các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến sinh sản.

4.4. Tối ưu hóa điều kiện nuôi vỗ và ương ấu trùng

Cần thiết kế thí nghiệm tối ưu các yếu tố trong quá trình nuôi vỗ đàn bố mẹ và ương nuôi ấu trùng như:

- Thành phần và tỷ lệ dinh dưỡng trong thức ăn nuôi vỗ: nghiên cứu sử dụng kết hợp rong biển với thức ăn chế biến giàu PUFA, vitamin và khoáng.

- Mật độ nuôi, thời gian nuôi vỗ, chỉ tiêu theo dõi sức sinh sản (khối lượng giao tử, chất lượng trứng).

- Ứng dụng màng vi tảo sinh học được kiểm soát, sử dụng vi sinh vật có lợi (probiotic) để giảm tỷ lệ tử vong ở giai đoạn biến thái của ấu trùng trước khi xuống bám đáy.

- Nghiên cứu mô hình ương ấu trùng tuần hoàn bán kín, giúp kiểm soát tốt hơn chất lượng nước và điều kiện môi trường.

Việc phát triển các hướng nghiên cứu trên không chỉ giúp nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo mà còn tạo nền tảng khoa học vững chắc để phát triển chương trình chọn giống và nhân giống bền vững, từ đó đảm bảo chất lượng con giống đầu vào cho nghề nuôi bào ngư chín lỗ tại Việt Nam trong tương lai.

5. KẾT LUẬN

Bài viết cho thấy Việt Nam đã hình thành quy trình cơ bản và có kết quả sinh sản nhân tạo, nhưng quy mô còn nhỏ và mức độ chuẩn hóa kỹ thuật còn hạn chế. Hai khoảng trống nổi bật là hiểu biết chưa đầy đủ về nội tiết sinh sản và “nút thắt” trong quá trình ương ấu trùng veliger sang giai đoạn spat gây tỷ lệ sống thấp. Trên cơ sở đó, bài viết đề xuất tập trung vào tiếp

cận cơ chế nội tiết - sinh sản, đề xuất hướng nghiên cứu và áp dụng kỹ thuật thống nhất cho toàn bộ chuỗi sản xuất - từ nuôi vỗ bố mẹ, kích thích sinh sản, ấp phôi, ương ấu trùng đến con giống để nâng hiệu quả và chủ động nguồn giống cho phát triển bền vững nghề nuôi bào ngư ở Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Viện Nghiên cứu Hải sản, Viện Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản I đã tạo điều kiện thuận lợi về chuyên môn, thời gian và cơ sở vật chất trong suốt quá trình thu thập tài liệu và hoàn thiện bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alcantara L.B. & Noro T. (2006). Growth of the abalone *Haliotis diversicolor* (Reeve) fed with macroalgae in floating net cage and plastic tank. *Aquaculture Research*. 37(7): 708-717.
- Botwright N.A., Zhao M., Wang T., McWilliam S., Colgrave M.L., Hlinka O., Li S., Suwansa-Ard S., Subramanian S., McPherson L., King H., Reverter A., Cook M.T., McGrath A., Elliott N.G. & Cummins S.F. (2019). Greenlip abalone (*Haliotis laevis*) genome and protein analysis provides insights into maturation and spawning. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 9(10): 3067-3078.
- Bryan P.J. & Qian P.Y. (1998). Induction of larval attachment and metamorphosis in the abalone *Haliotis diversicolor* (Reeve). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 223: 39-51.
- Capinpin E.C. (1995). Spawning and larval development of a tropical abalone *Haliotis asinina* (Linnaeus). *Philippine Journal of Science*. 124(3): 215-232.
- Chao W.R., Huang C.Y. & Sheen S.S. (2010). Development of formulated diet for post-larval abalone, *Haliotis diversicolor* supertexta. *Aquaculture*. 307(1-2): 89-94.
- Chen H.C. (1984). Recent innovations in cultivation of edible molluscs in Taiwan, with special reference to the small abalone *Haliotis diversicolor* and the hard clam *Meretrix lusoria*. *Aquaculture*. 39(1): 11-27.
- Di G., You W., Yu J., Wang D. & Ke C. (2013). Genetic changes in muscle protein following hybridization between *Haliotis diversicolor* reeve Japan and Taiwan populations revealed using a proteomic approach. *Proteomics*. 13(5): 845-859.

Tổng quan tình hình nghiên cứu sinh học sinh sản, kỹ thuật sản xuất và đề xuất hướng nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giống nhân tạo loài bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846)

- Đào Minh Đông & Đỗ Công Thung (2019). Nguồn lợi thân mềm ven các đảo Đông Bắc Việt Nam, định hướng quản lý khai thác bền vững. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. 19(3A): 285-293.
- Grant M.J. & Booth A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Information & Libraries Journal. 26(2): 91-108.
- Grubert M.A. & Ritar A.J. (2005). The effect of temperature and conditioning interval on the spawning success of wild-caught blacklip (*Haliotis rubra*) and greenlip (*H. laevigata*) abalone. Aquaculture Research. 36(7): 654-665.
- Guan Y., Ding X., Wu F. & Lin Z. (2020). Reproductive physiology and artificial propagation techniques of abalone *Haliotis diversicolor*. Aquaculture Reports. 17: 100312.
- Jebreen E.J., Preston N.P., Johnson C.R. & Degnan B.M. (2000). Pattern, synchrony and predictability of spawning of the tropical abalone *Haliotis asinina* from Heron Reef, Australia. Marine Ecology Progress Series. 207: 119-126.
- Kato Y., Koyama T. & Nakada M. (2021). Evaluation of a closed recirculating aquaculture system for broodstock conditioning of abalone *Haliotis discus hannai*. Japan Agricultural Research Quarterly, 55(1): 97-104.
- Kikuchi S. & Uki N. (1974). Technical study on artificial spawning of abalone, genus *Haliotis*. I. Relation between water temperature and advancing sexual maturity. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 40(9): 977-983.
- Kim H., Kim B.H., Son M.H., Jeon M.A., Lee J.S. & Lee J.S. (2016). Gonadal development and reproductive cycle of cultured abalone, *Haliotis discus hannai* (Gastropoda: Haliotidae) in Korea: Implications for seed production. Journal of Shellfish Research. 35(3): 653-659.
- Kim M.A., Rhee J.-S., Kim T.H., Lee J.S., Choi A.-Y., Choi B.-S., Choi I.-Y., & Sohn Y.C. (2017). Alternative splicing profile and sex-preferential gene expression in the female and male Pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Genes. 8(3): 99.
- Kim Y.K., Kim S.Y., Kang S.W. & Kim J.H. (2018). Studies on gonadal development and spawning induction in *Haliotis diversicolor* supertexta. Fisheries Science. 84: 243-251.
- Kim Y.K., Kim B.H., Kim H.J., Park J.S., Lee J.S. & Lee, Y.G. (2018). Gene expression and gonadal development in abalone. Fisheries Science. 84(2): 243-251.
- Laura Rogers Richard, Dondanville F. & Jerry Kashiwada (2004). Size specific fecundity of red abalone (*Haliotis rufescens*): Evidence for reproductive senescence? Journal of Shellfish Research. 23(2): 553-560.
- Lại Duy Phương, Đỗ Anh Duy & Nguyễn Kim Thoa (2014). Kết quả nuôi vỗ và sản xuất giống nhân tạo bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846) tại Bạch Long Vĩ, Hải Phòng. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. tr. 199-205.
- Lại Duy Phương, Nguyễn Văn Hiếu & Đỗ Anh Duy (2013). Một số đặc điểm sinh học bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor* Reeve, 1846) tại vùng biển ven đảo Bạch Long Vĩ, Hải Phòng. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. tr. 183-191.
- Lại Duy Phương, Phạm Thành Công, Nguyễn Quốc Tĩnh & Bùi Thị Thu Hiền (2019). Thử nghiệm thức ăn chế biến nuôi bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor*) từ giai đoạn giống đến giai đoạn thương phẩm. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. tr. 111-116.
- Lại Duy Phương, Phạm Thành Công, Nguyễn Xuân Xinh, Đỗ Mạnh Dũng, Đặng Minh Dũng & Nguyễn Quốc Tĩnh (2020). Kết quả nghiên cứu kỹ thuật nuôi vỗ đàn bố mẹ, kích thích sinh sản và ấp trứng bào ngư chín lỗ (*Haliotis diversicolor*). Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. tr. 142-148.
- Lê Đức Minh (2000). Sinh học và kỹ thuật sản xuất giống Bào ngư Vành tai (*Haliotis asinina* Linne). Nhà xuất bản Nông nghiệp, thành phố Hồ Chí Minh. 51tr.
- Leighton D.L. (1974). The biology and culture of abalone. FAO Training Manual AB731E. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Li Q., Wang Q., Liu S. & Zhang J. (2015). Effects of water velocity on growth, survival and feeding of juvenile abalone *Haliotis discus hannai* in a recirculating aquaculture system. Aquaculture Research. 46(9): 2173-2182.
- Manahan D.T. & Jaekle W.B. (1992). Implications of dissolved organic material in seawater for the energetics of abalone larvae *Haliotis rufescens*: A review. In S.A. Shepherd, M.J. Tegner & S.A. Guzmán del Próo (Eds.): Proceedings of the 1st International Symposium on Abalone Biology, Fisheries and Culture (pp. 95-106). Blackwell Scientific Publications.
- Nguyễn Chính (1996). Một số loài động vật nhuyễn thể (Mollusca) có giá trị kinh tế ở biển Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 132tr.
- Nguyễn Văn Chung, Lê Đức Minh, Hoàng Đỗ Hựu, Lê Thị Hồng, Nguyễn Thị Kim Bích, Nguyễn Hữu Phụng & Nguyễn Thị Bích Ngọc (1996). Nghiên cứu sinh học sinh sản và nuôi bào ngư (*Haliotis* spp.) tại Khánh Hoà. Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN, Viện Hải Dương học Nha Trang, 53tr.
- Nurrai P., Wanichanon C., & Wanichanon R. (2020). Effect of gonadotropin releasing hormone on the expression of luteinizing hormone and estrogen in

- the nerve ganglia and ovary of a tropical abalone, *Haliotis asinina* Linnaeus. *Acta Histochemica*. 122(1): 151-154.
- Onitsuka T., Kawamura T. & Horii T. (2010). Reproduction and early life ecology of abalone *Haliotis diversicolor* in Sagami Bay, Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 44(4): 375-382.
- Onitsuka T., Kawamura T., Horii T., Takiguchi N., Takami H. & Watanabe Y. (2007). Synchronized spawning of abalone *Haliotis diversicolor* triggered by typhoon events in Sagami Bay, Japan. *Marine Ecology Progress Series*. 351: 129-138.
- Roberts R.D. (2001). A review of settlement cues for larval abalone (*Haliotis* spp.). *J Shellfish Res.* 20(2): 571-586.
- Roberts R.D., Kawamura T. & Handley C.M. (2007). Factors affecting settlement of abalone (*Haliotis iris*) larvae on benthic diatom films. *J Shellfish Res.* 26(2): 323-334.
- Searcy-Bernal R. (1996). Boundary layers and abalone postlarval culture: Preliminary studies. *Aquaculture*. 140(1-2): 129-137.
- Shepherd S.A. (1974). Nutrition and reproductive output in abalone. *Marine and Freshwater Research*, 25(1): 67-81.
- Sukhan Z.P., Sharker M.R., Cho Y., Hossen S., Choi K.S. & Kho K.H. (2021). Thermal stress affects gonadal maturation by regulating GnRH, GnRH receptor, APGWamide, and serotonin receptor gene expression in male Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* during breeding season. *Frontiers in Marine Science*. 8: 664426.
- Wang Y., Li X. & Wang Z. (2013). Effects of environmental factors on the spawning of *Haliotis diversicolor* in the wild. *Journal of Shellfish Research*. 32(4): 837-843.
- Wells F.E. & Keesing J.K. (1989). Reproduction and feeding in abalone. In: Shepherd, S.A., Tegner, M.J. & Guzmán del Prío S.A. (Eds.): *Abalone of the World: Biology, Fisheries and Culture*. Fishing News Books.
- Weng X., Xu Y., Dong X., Luo X., You W., Ke C. & Cai M. (2022). Sex-specific markers developed by next-generation sequencing confirmed a male heterogametic sex determination in small abalone, *Haliotis diversicolor*. *Aquaculture*. 555: 738256.
- Wu C., Zhang T., Zhang L. & Yang J. (2012). Influence of photoperiod on reproductive performance and gonadal maturation in the abalone *Haliotis diversicolor*. *Aquaculture International*. 20: 1071-1080.
- Xu T., Zhang G. & Li Q. (2008). Advances in abalone aquaculture in China. *Journal of Shellfish Research*. 27(3): 701-708.
- You W., Ke C. & Wang D. (2013). Artificial breeding and larval rearing of small abalone *Haliotis diversicolor*. *Journal of Shellfish Research*. 32: 305-312.