

TỔNG QUAN TÀI LIỆU VÀ ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM DỰA TRÊN MÔ HÌNH NUÔI ĐA BẬC DINH DƯỠNG ĐỂ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ XỬ LÝ CHẤT Ô NHIỄM HỮU CƠ VÀ DINH DƯỠNG PHÁT SINH DO HOẠT ĐỘNG NUÔI THỦY SẢN LỒNG BÈ TẬP TRUNG TẠI VÙNG BIỂN QUẢNG NINH

Đến tòa soạn 13-03-2024

**Lê Văn Nam^{*}, Nguyễn Thị Mai Lựu, Đinh Văn Nhân, Nguyễn Văn Quân,
Nguyễn Thị Thu Hà, Lê Xuân Sinh**

Viện Tài nguyên và Môi trường biển - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

^{}Email: namlektmt@gmail.com*

SUMMARY

OVERVIEW AND PROPOSED EXPERIMENTAL DESIGN METHOD BASED ON THE INTEGRATED MULTI-TROPHIC AQUACULTURE MODEL TO EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF TREATING ORGANIC AND NUTRITIONAL POLLUTANTS ARISING FROM CONCENTRATED CAGE AQUACULTURE ACTIVITIES IN QUANG NINH COASTAL AREA

In Quang Ninh, there are two methods of marine aquaculture catering to different species: cage farming for fish and raft farming for bivalve molluscs. The floating cage farming method offers technical advantages, including ease of management, simplicity in feeding, convenience in cleaning, and good oxygen supply due to wind disturbance. However, the main limitation is the restriction of flow, leading to nutrient agglomeration near the cage. Waste from aquaculture, including uneaten food, solid waste, and inorganic and organic solutes from the excretion of cultured organisms, causes negative impacts such as eutrophication and increased nutrient emissions from the substrate, which affect the quality of the water environment. In the aquaculture industry, numerous efforts have been undertaken to mitigate organic and nutrient waste in and around cage farming areas through enhanced feed efficiency, advanced feed management systems, and other solutions. However, despite technological advancements, the issue of organic (nutrient) pollution linked with cage fish farming has not been entirely eradicated. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) is a concept modeled after the inherent function of the food chain in the marine environment. In this food chain, each species typically finds a suitable food spectrum from the waste produced by another species. Currently, countries around the world have adopted the IMTA farming model to address organic and nutrient pollutants originating from concentrated cage aquaculture activities. However, in Vietnam, particularly in Quang Ninh province, there have been no specific studies conducted on solutions to mitigate and address organic and nutrient pollution stemming from concentrated cage farming activities in coastal areas. Based on a review of research results, the study proposes a method for designing experiments and evaluating the effectiveness of treating organic and nutrient pollutants in the IMTA farming model.

Keywords: *Pollution, organic matter, nutrition, cage aquaculture, Integrated Multi-Trophic Aquaculture.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Quảng Ninh, có hai phương thức nuôi trồng thủy sản trên biển cho các đối tượng nuôi khác nhau là nuôi lồng bè thường sử dụng cho nuôi cá, nuôi giàn bè thường sử dụng cho nuôi nhuyễn thể hai mảnh vỏ [1]. Mặc dù nghề nuôi trồng thủy sản lồng bè tại Quảng Ninh đã đem lại lợi ích kinh tế rõ rệt, nhưng cũng phải đối diện với nhiều thách thức trong suốt quá trình phát triển mà chủ yếu liên quan đến việc phát triển ở ạt với số lượng lồng, bè quá dày đã gây tác động xấu đến cảnh quan thiên nhiên và hệ sinh thái biển.

Phương thức nuôi lồng bè nổi có những ưu điểm về mặt kỹ thuật như: dễ dàng quản lý, phương thức cho ăn đơn giản, thuận tiện khi làm vệ sinh lồng và khả năng cung cấp oxy là khá tốt do gió xáo trộn. Nhược điểm chính của mô hình nuôi lồng bè trên biển là khả năng hạn chế dòng chảy ra vào khu vực nuôi, dẫn đến tích tụ chất dinh dưỡng gần lồng nuôi. Thứ nhất, chính chất thải từ các hoạt động nuôi thủy sản là nguồn cung cấp chất dinh dưỡng phong phú cho hệ sinh thái thủy sinh. Thứ hai, chất thải từ nuôi thủy sản bao gồm dạng không hòa tan như thức ăn thừa, chất thải rắn, các dạng chất hòa tan vô cơ và hữu cơ có nguồn gốc từ bài tiết của các đối tượng nuôi. Thứ ba, ngoài các chất dinh dưỡng hòa tan ở lớp nước phía trên, lượng chất dinh dưỡng phát thải từ nền đáy phía dưới cũng rất lớn, ngày càng tăng, gây ra những tác động tiêu cực như phú dưỡng, tảo nở hoa và ảnh hưởng bất lợi đến vùng nước [2].

Các đối tượng nuôi lồng bè chủ yếu tại Quảng Ninh gồm các loài cá Song, cá Vược, cá Giò và cá Hồng Mỹ. Đây đều là những đối tượng nuôi có giá trị kinh tế cao, tuy nhiên thức ăn chính của những loài cá biển này lại là cá tạp. Phương thức "lấy cá nuôi cá" là nguyên nhân chính dẫn đến ô nhiễm hữu cơ do phần thức ăn dư thừa thải trực tiếp vào môi trường nước và tích lũy trong trầm tích. Hơn nữa, chất thải sinh hoạt phát sinh không được xử lý và xả trực tiếp xuống biển cũng làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm nguồn nước, trong đó có ô nhiễm các chất hữu cơ.

Hoạt động nuôi lồng bè đã có những tác động xấu đến môi trường biển: làm thay đổi chất lượng nước, ảnh hưởng đến trầm tích đáy, ảnh hưởng đến sinh vật biển. Sử dụng hóa chất trong quá trình nuôi cũng gây tác động xấu đến môi trường biển [3].

Bên cạnh đó, thức ăn hữu cơ đầu vào cho hệ thống nuôi thủy sản có tác động nhiều đến chất lượng nước đặc biệt là các chất dinh dưỡng dưới dạng hòa tan ở các vùng ven biển [4 - 7], ảnh hưởng đến lớp trầm tích ở vùng nuôi và gây ra sự biến động thành phần dinh dưỡng của cột nước. Chẳng hạn như có thể dẫn đến tăng cường trao đổi chất trong trầm tích, giảm oxy, giảm sunfat và tích tụ sunfua, tăng cao lượng ni tơ và photpho, axit hóa, độ đục và tất cả các quá trình khác liên quan đến hiện tượng phú dưỡng [8].

Ngoài ra, các loại cá thương phẩm được nuôi lồng bè bị phụ thuộc nhiều vào nguồn cung cấp thức ăn bên ngoài và có nhiều tác động xấu đến chất lượng nước. Nuôi lồng bè phát thải ra lượng chất hữu cơ (chất dinh dưỡng cao), phần lớn từ thức ăn thừa, sự bài tiết của cá và phân thải ra của chúng. Lượng thức ăn dư thừa có thể từ 1 đến 38%, tùy thuộc vào từng loại thức ăn, tập tính ăn, phương pháp nuôi và loài nuôi và là một trong các nguồn gây ô nhiễm cao nhất [9, 10]. Lượng thức ăn dư thừa là lớn hơn nhiều nếu đặt hệ thống nuôi lồng bè ở khu vực biển kín, sử dụng cá tạp làm thức ăn. Lượng chất thải hữu cơ đã lắng đọng mỗi năm ước tính khoảng 3 kg/m² ở khu vực lân cận lồng nuôi và 10 kg/m² (hoặc 1,8 - 31,3 kgC/m²) ở phía bên dưới lồng nuôi [11]. Lượng dinh dưỡng do nuôi cá là đáng kể và có thể gây ảnh hưởng xấu đến môi trường sinh vật đáy do thiếu ôxy và tăng lượng tích tụ chất hữu cơ, dẫn đến sự thay đổi hóa học trầm tích, gây ảnh hưởng tiêu cực đến sự đa dạng của các loài sinh vật đáy.

Ngoài ra, nhiều nỗ lực được thực hiện để giảm chất thải hữu cơ và dinh dưỡng xung quanh các vùng nuôi lồng bè thông qua việc cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn của cá, hệ thống quản lý thức ăn bằng tin học và các giải pháp khác. Tuy nhiên, những cải tiến công nghệ như vậy vẫn chưa loại bỏ được vấn đề ô nhiễm các chất hữu cơ (dinh dưỡng) liên quan đến nuôi cá lồng bè [12]. Hiện nay, vấn đề ô nhiễm các chất hữu cơ, dinh dưỡng phát sinh từ hoạt động nuôi lồng bè tập trung cần được quan tâm và có các giải pháp cụ thể để xử lý.

Bài báo trình bày tổng quan về ô nhiễm chất hữu cơ và dinh dưỡng phát sinh do hoạt động nuôi thủy sản lồng bè tập trung tại vùng biển Quảng Ninh. Trong đó tổng hợp các nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam về các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm

chất hữu cơ và dinh dưỡng phát sinh do hoạt động nuôi thủy sản lồng bè tập trung tại vùng biển. Trên cơ sở tổng quan tài liệu, nghiên cứu đề xuất phương pháp thiết kế thí nghiệm, đánh giá hiệu quả xử lý chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của mô hình nuôi trồng thủy sản đa bậc dinh dưỡng (IMTA).

2. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU NGOÀI NƯỚC

Trong quá trình nuôi thủy sản lồng bè tập trung tại các vùng biển, cacbon hữu cơ được thải ra dưới dạng thức ăn thừa và trong phân cá. Wu (1995) đã tổng kết rằng 80 - 84% cacbon trong thức ăn được thải ra môi trường, với khoảng 23% tích tụ trong lớp trầm tích bên dưới lồng nuôi [13]. Theo Pearson và Black (2001), lượng cacbon hữu cơ được thải ra khoảng 29 - 78% (4,1 - 78 g cacbon/m²/ngày) [14]. Theo Wu (1995) [13], Islam (2005) [15], Pittenger và nnk (2007) [16], tính trung bình trên toàn cầu có 20 - 463 kg ni tơ và 5 - 80 kg photpho được thải ra trên một tấn cá được nuôi.

Theo Yang, C.Z. và L.J. Albright (1994) [17], tại Scotland có khoảng 50.000 tấn chất thải được tạo ra từ lồng nuôi cá hồi phát thải trực tiếp ra biển, tương đương với nước thải của khoảng ba phần tư dân số Scotland.

Theo Md. Shahidul Islam (2005), nuôi lồng bè trên biển thường được đặc trưng bởi mức độ tương tác cao với môi trường và có khả năng tạo ra một lượng lớn chất thải được thải trực tiếp ra môi trường biển. Việc phát triển nuôi trồng thủy sản lồng bè quy mô lớn tạo ra một lượng lớn chất thải hữu cơ, dinh dưỡng được thải ra môi trường ven biển. Nghiên cứu cho thấy có tới 81,5% ni tơ và 85,7% photpho được thải vào môi trường cho mỗi tấn cá được nuôi và chỉ có 18,5% ni tơ và 14,3% photpho được tạo ra dưới dạng sinh khối của cá [18].

Xinxin Wang và nnk (2012) đã định lượng tỷ lệ phát thải cacbon, ni tơ và photpho từ các trang trại cá hồi tại Na Uy để đánh giá ảnh hưởng môi trường đối với các vùng nước xung quanh và tiềm năng cho nuôi trồng thủy sản đa bậc dinh dưỡng (IMTA). Trong tổng lượng thức ăn đầu vào có 70% cacbon, 62% ni tơ và 70% photpho được thải ra môi trường nước, xấp xỉ lượng thải ra hàng năm khoảng 404000, 50600 và 9400 tấn cacbon, ni tơ

và photpho tương ứng (với tổng số sản lượng cá hồi là $1,02 \times 10^6$ tấn) [19].

Muhammad Junaidi và nnk (2019) đã ước tính lượng chất thải hữu cơ để phát triển nuôi tôm hùm (hệ thống nuôi lồng) ở huyện Bắc Lombok, tỉnh Tây Nusa Tenggara, Indonesia, cụ thể là, tôm hùm được nuôi trong lồng lưới nổi trong 6 tháng tạo ra chất thải phát tán vào vùng nước là 213,58 kg ni tơ và 44,07 kg photpho; chất thải do con người phát sinh ra là 18562,00 kg ni tơ và 88793,96 kg photpho. Từ các kết quả nghiên cứu, tập thể tác giả đã đề xuất số lượng lồng nuôi tôm hùm phù hợp để tránh và giảm thiểu nguy cơ gây ô nhiễm môi trường tại khu vực nuôi [20].

Dựa trên tiếp cận sinh thái và hiểu biết về khả năng tái tạo và lọc sinh học tự nhiên của hệ sinh thái sẽ đem lại hiệu quả bền vững, giảm thiểu tối đa chi phí môi trường do phát thải các chất ô nhiễm từ hoạt động nuôi lồng bè trên biển. Neori và cs., (2004) đã đề xuất mô hình nuôi sinh thái tổng hợp đa bậc dinh dưỡng (Integrated Multi-Trophic Aquaculture - IMTA) [21]. Nuôi tổng hợp đa bậc dinh dưỡng (IMTA) là một khái niệm được mô phỏng theo chức năng vốn có của chuỗi thức ăn trong môi trường biển. Theo đó, trong chuỗi thức ăn, một loài luôn tìm được phôi thức ăn phù hợp từ chất thải do loài khác tạo ra. Thuật ngữ IMTA được sử dụng trong trường hợp sản phẩm phụ (chất thải) của một loài được tái sử dụng và trở thành đầu vào (phân bón, nguồn thức ăn và năng lượng) cho các loài khác.

IMTA có thể được sử dụng để chỉ khả năng tái sử dụng các chất dinh dưỡng tiềm năng này bằng việc nuôi bổ xung những loài nuôi có giá trị kinh tế thích hợp. Những loài này có thể ngăn chặn và hấp thu chất thải có nguồn gốc từ nuôi trồng thủy sản (cả hữu cơ và vô cơ) khi được nuôi trồng cùng với các loài cá ăn tạp [21-23]. Nuôi trồng thủy sản bằng mô hình IMTA vượt trội so với nuôi ghép thông thường về mặt xử lý môi trường [24]. Các loài rong *Ulva rotundata*, *Ulva guttis* và *Gracilaria gracilis* đã được nuôi cùng với cá Vược và cho thấy chúng là những bộ lọc sinh học hiệu quả các muối photphat (PO_4^{3-}) [25] và amoni (NH_4^+) [26] từ nước thải.

Borges và cs. (2005) đã khảo sát một mô hình IMTA quy mô nhỏ của cá (cá Vược -

Dicentrarchus labrax và cá Bơn - *Scophthalmus maximus*), Ngao (*Tapes decussatus*) và ba loài vi tảo (*Isochrysis galbana*, *Tetraselmis suecica* và *Phaeodactylum tricornutum*) với mục đích là nuôi các loài này trong nước thải từ cá để làm thức ăn cho Ngao. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, cả ba loài vi tảo đều phát triển tốt và góp phần làm sạch nước thải. Các vi tảo này đều làm giảm lượng NH_4^+ , NO_3^- và PO_4^{3-} từ nước thải đầu ra [27].

Qian (1996) tiến hành nuôi kết hợp giữa rong Sụn *Kappaphycus alvarezii* và Trai ngọc tại vịnh Lian, tỉnh Hải Nam (Trung Quốc) [28]. Kết quả nuôi kết hợp cho thấy, tốc độ hấp thụ ni tơ của rong tăng trong xô có cho thêm muối dinh dưỡng (hàm lượng ni tơ tổng số do rong hấp thụ chỉ 0,04 mmol/giờ, trong khi đó đạt 0,3 mmol/giờ trong xô có cho thêm muối dinh dưỡng). Kết quả cho thấy, tỷ lệ thải các chất chứa ni tơ của 80 con Trai ngọc sau 6 giờ là $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^- : \text{NO}_2^- = 25:20:1$ tương đương với tốc độ hấp thụ ni tơ của 50g rong chỉ sau 1 giờ: $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^- : \text{NO}_2^- = 26:15:1$. Kết quả cho thấy, rong biển hấp thụ ion NH_4^+ nhanh hơn các ion khác (NO_3^- , NO_2^-).

Như vậy, từ các kết quả nghiên cứu trên thế giới cho thấy, vấn đề ô nhiễm các chất hữu cơ và dinh dưỡng từ hoạt động nuôi thủy sản lồng bè tập trung đã được quan tâm và nghiên cứu. Nuôi kết hợp là một hình thức nuôi phổ biến ở nhiều quốc gia trên thế giới vì nó nâng cao tối đa hiệu suất sử dụng mặt nước. Một lượng lớn chất thải của đối tượng nuôi này sẽ là nguồn thức ăn rất tốt cho đối tượng kia, từ đó làm sạch môi trường nước, giảm ô nhiễm, giảm chi phí sản xuất và tăng tổng năng suất thu hoạch của một vụ nuôi.

3. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU TRONG NƯỚC

Ở Việt Nam hiện chưa có nghiên cứu chuyên sâu về xử lý các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng phát sinh từ hoạt động nuôi lồng bè tập trung. Tuy nhiên, trong những năm gần đây đã có một số nghiên cứu đã được thực hiện về nuôi kết hợp các đối tượng hải sản để hướng đến một ngành nuôi trồng thủy sản bền vững nhằm cải thiện môi trường. Năm 2001 - 2003, Nguyễn Thị Xuân Thu đã thực hiện đề tài "Nuôi kết hợp Hải sâm cát với tôm Sú để cải thiện môi trường" do SUMA tài trợ. Đề tài này cho thấy lợi ích của Hải sâm trong việc xử lý nền đáy ao nuôi tôm Sú rất có khả quan.

Kết quả thí nghiệm nuôi kết hợp ốc Hương, Hải sâm và rong biển do Phạm Mỹ Dung (2003) thực hiện đã cho thấy rằng hàm lượng ni tơ trong nước ở các lô thí nghiệm có rong biển thấp hơn so với các lô không có rong biển. Trong quá trình nuôi, hàm lượng ni tơ trong lô nuôi ốc Hương tăng dần và đạt cực đại là 0,04 mg/l vào cuối thời gian thí nghiệm. Trong khi đó, ở lô nuôi kết hợp ốc Hương và Hải sâm, hàm lượng ni tơ đạt 0,02 mg/l. Đối với lô nuôi kết hợp ốc Hương với Hải sâm và rong Câu hàm lượng ni tơ tại thời điểm này là 0,002 mg/L và rong Sụn là 0,007 mg/L [29].

Nghiên cứu của Nguyễn Thị Mai (2010) đã chỉ ra rằng nuôi cá lồng biển tại Vân Đồn, Quảng Ninh làm tăng hàm lượng ni tơ trong nước và trầm tích theo thời gian nuôi. Ước tính, hoạt động này đã thải ra 194,4 tấn ni tơ, trong đó: Cá Song (114,5 tấn), cá Giò (57 tấn), cá Hồng Mỹ (23 tấn) [30].

Theo Cao Thị Thu Trang (2012), tại khu vực nuôi lồng bè thuộc đảo Cát Bà (Hải Phòng), môi trường nước đang bị ô nhiễm thể hiện qua nồng độ dinh dưỡng cao hơn giá trị giới hạn và có chiều hướng gia tăng nhanh theo thời gian, đồng thời nồng độ oxy hòa tan trong nước tại một số điểm thu mẫu giảm thấp, dưới ngưỡng cho phép. Chỉ số đa dạng loài thực vật phù du thấp đã phản ánh môi trường nước bị ô nhiễm bởi các chất hữu cơ [31].

Nghiên cứu của Lê Tuấn Sơn (2014) về nuôi cá lồng tại Cát Bà (Hải Phòng) cho thấy, chất lượng nước ở đây ô nhiễm từ hoạt động nuôi cá, amoni tăng 1,05 lần so với quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước biển (QCVN 10-MT:2015/BTNMT). Chỉ số chất lượng nước (CCME-WQI) từ 46 đến 61 vào mùa mưa, cho thấy nước ô nhiễm do chất hữu cơ và dinh dưỡng tăng cao từ nuôi trồng hải sản, du lịch và nước thải từ đất liền [32].

Nghiên cứu về hiện trạng và ảnh hưởng của hoạt động nuôi lồng bè đối với chất lượng môi trường trầm tích vịnh Vũng Rô, tỉnh Phú Yên đã được Hoàng Trung Du công bố năm 2015. Kết quả nghiên cứu cho thấy: Tổng hàm lượng chất hữu cơ (TOM) giữa các vùng nuôi không có sự chênh lệch nhiều, trung bình là $71,04 \pm 7,52$ mg/g, dao động từ 52,92 đến 75,56 mg/g. Độ sâu cột mẫu không ảnh hưởng đến sự thay đổi hàm lượng TOM, tổng cacbon hữu cơ (TOC) và tổng photpho (TP) tại

vùng nuôi và ngoài vùng nuôi. Hàm lượng tổng ni tơ (TN) có xu hướng tăng dần từ lớp trầm tích phía dưới lên lớp phía trên, từ 6 cm lên đến mặt (0 cm) ở cả hai cột trầm tích [33].

Theo Nguyễn Văn Quỳnh Bôi (2016), tỷ lệ phát thải chất hữu cơ và dinh dưỡng phụ thuộc vào dạng thức ăn sử dụng, hệ số chuyển đổi thức ăn của đối tượng nuôi, chế độ cho ăn. Tỷ lệ phát thải so với lượng cung cấp thức ăn đầu vào (cả ở dạng dinh dưỡng hòa tan và lơ lửng) của ni tơ là 52% - 95% (33 - 44 kg/tấn cá), của photpho là 34% - 82% (1,8 - 4,9 kg/tấn cá) [34].

Đối với nước ta nói chung và tỉnh Quảng Ninh nói riêng vẫn chưa có các nghiên cứu cụ thể về giải pháp để xử lý và khắc phục ô nhiễm các chất hữu cơ và dinh dưỡng từ hoạt động nuôi lồng bè tập trung tại các vùng biển. Do đó, nghiên cứu, xây dựng mô hình nuôi lồng bè sinh thái tích hợp đa bậc dinh dưỡng nhằm góp phần đề xuất giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường, nâng cao giá trị và chất lượng sản phẩm trên cùng đơn vị diện tích nuôi biển mà không phá vỡ cảnh quan thiên nhiên, môi trường sinh thái tại vùng biển Quảng Ninh là rất cần thiết và cấp bách.

4. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ XỬ LÝ CHẤT Ô NHIỄM (HỮU CƠ VÀ DINH DƯỠNG) CỦA MÔ HÌNH NUÔI IMTA

Triển khai mô hình (tại điểm nuôi) sẽ bố trí các thí nghiệm cho cả 4 đối tượng nuôi là đối tượng cá dữ ăn tạp, đối tượng ăn mùn bã hữu cơ, đối tượng ăn lọc và đối tượng hấp thụ dinh dưỡng hòa tan. Đối với mỗi đối tượng nghiên cứu sẽ tiến hành lặp lại 3 thí nghiệm ở 3 giai đoạn phát triển khác nhau (Giai đoạn mới thả nuôi, giai đoạn giữa quá trình nuôi và giai đoạn trước thu hoạch).

4.1. Thí nghiệm đào thải chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của các đối tượng ăn tạp (cá dữ: cá Giò, cá Mú, cá Hồng)

Thí nghiệm này được lặp lại 3 lần đại diện cho 3 giai đoạn phát triển:

- Thí nghiệm 1: Được thực hiện sau khi thả các đối tượng nuôi vào lồng 1 tuần đến 10 ngày.
- Thí nghiệm 2: Được tiến hành sau khoảng 6 - 9 tháng nuôi.

- Thí nghiệm 3: Được tiến hành sau 12 - 16 tháng nuôi.

Tất cả các lần thí nghiệm đều tiến hành trong 24h, từ 6h sáng hôm trước đến 6h sáng hôm sau. Sử dụng 4 bể thí nghiệm có dung tích 200 lít. Nước biển được lấy trực tiếp tại vùng nuôi và cho vào mỗi bể thí nghiệm. Sử dụng 3 bể để làm thí nghiệm và 1 bể làm bể đối chứng. Nước biển cho vào trong bể được đo các thông số môi trường ban đầu là nhiệt độ, pH, DO, độ muối, COD, BOD₅, TSS, TOC, NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, tổng ni tơ và tổng photpho. Nước trong bể được bố trí hệ thống sục khí nhẹ. Tại mỗi bể thí nghiệm thả 5 cá thể (mỗi bể thí nghiệm thả 1 loài khác nhau) và không thả vào bể đối chứng. Thu các mẫu sau 12 tiếng và 24 tiếng triển khai thí nghiệm.

Sự tăng giảm chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng (DO, COD, BOD₅, TSS, TOC, NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, tổng ni tơ và tổng photpho) trong các bể được tính theo công thức:

$$C=(C_2-C_1)-(C'_2-C'_1),$$

trong đó:

C₁ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng ban đầu;

C₂ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng lúc sau triển khai thí nghiệm;

C'₁ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc đầu;

C'₂ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc sau triển khai thí nghiệm.

4.2. Thí nghiệm đào thải các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của các đối tượng ăn mùn bã hữu cơ (Cua, cá Dìa Công, Hải Sâm, cá Hói, Cầu Gai)

Thí nghiệm này cũng được lặp lại 3 lần đại diện cho 3 giai đoạn phát triển giống đối tượng ăn tạp. Các thí nghiệm cũng thực hiện tương tự với đối tượng ăn tạp. Tuy nhiên bể thí nghiệm (6 bể) sẽ sử dụng bể có dung tích nhỏ hơn, dung tích 50 lít. Mỗi bể thí nghiệm thả 10 cá thể (mỗi bể thí nghiệm thả 1 loài khác nhau) và không thả vào bể đối chứng. Cách thức thu mẫu và đo các thông số môi trường

cũng tương tự với thí nghiệm đối với các đối tượng ăn tạp.

Sự tăng giảm chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng (DO, COD, BOD₅, TSS, TOC, NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, tổng ni tơ và tổng phốt pho) trong các bể được tính theo công thức:

$$C = (C_2 - C_1) - (C'_2 - C'_1),$$

trong đó:

C₁ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng ban đầu;

C₂ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng lúc sau triển khai thí nghiệm;

C'₁ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc đầu;

C'₂ - hàm lượng chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc sau triển khai thí nghiệm.

4.3. Thí nghiệm hấp thụ mùn bã hữu cơ của các đối tượng ăn mùn bã hữu cơ (Cua, cá Dìa Công, Hải Sâm, cá Hói, Cầu Gai)

Thí nghiệm này cũng được lặp lại 3 lần đại diện cho 3 giai đoạn phát triển. Mỗi lần thí nghiệm sử dụng 6 bể có dung tích 50 lít và thực hiện trong 24h. Nước dành cho thí nghiệm được lấy trực tiếp tại vùng nuôi và có bố trí sục khí nhẹ trong thời gian thí nghiệm. Mỗi bể thí nghiệm thả 10 cá thể (mỗi bể thí nghiệm thả 1 loài khác nhau) và không thả vào bể đối chứng. Lượng mùn bã hữu cơ được cho vào các bể thí nghiệm có trọng lượng 5 - 20 g tùy vào giai đoạn phát triển. Đối với bể đối chứng thì sẽ không cho mùn bã hữu cơ vào. Các thông số môi trường ban đầu và kết thúc thí nghiệm sẽ được tiến hành đo nhanh (nhiệt độ, pH, DO, độ muối). Mẫu mùn bã hữu cơ sau khi kết thúc thí nghiệm cũng sẽ được thu.

Tính toán lượng hấp thụ mùn bã hữu cơ theo công thức:

$$M = (M_1 - M_2) - M'_2,$$

trong đó:

M₁ - lượng mùn bã hữu cơ ban đầu;

M₂ - lượng mùn bã hữu cơ sau khi thí nghiệm;

M'₂ - lượng mùn bã hữu cơ sau thí nghiệm ở bể đối chứng.

4.4. Thí nghiệm khả năng ăn lọc của các đối tượng ăn lọc (Hàu Đại dương, cá Măng, Vẹm xanh)

Thí nghiệm này lặp lại 3 lần đại diện cho 3 giai đoạn phát triển. Tại mỗi giai đoạn tiến hành thí nghiệm khả năng lọc của đối tượng ăn lọc trong 24h.

4 bể có dung tích 100 lít được sử dụng để làm thí nghiệm với hệ thống sục khí nhẹ. Nước dùng cho thí nghiệm được lấy trực tiếp tại khu vực nuôi và thí nghiệm cũng tiến hành trực tiếp tại khu vực nuôi. 10 cá thể sẽ được thả vào bể thí nghiệm (mỗi bể thí nghiệm thả 1 loài khác nhau) và không thả đối với bể đối chứng. Các thông số môi trường sẽ được đo là nhiệt độ, pH, DO, độ muối, mẫu sinh vật phù du, tổng ni tơ, tổng phốt pho, NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, TOC, TSS, COD, BOD₅ ban đầu và sau khi kết thúc thí nghiệm cũng sẽ được thu ở cả bể thí nghiệm và bể đối chứng và sẽ được phân tích để phục vụ tính toán.

Tốc độ lọc của các đối tượng ăn lọc được xác định theo công thức của Coughlan (1969):

$$CR = \frac{V \cdot \ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{T}$$

trong đó:

CR - tốc độ lọc của các đối tượng ăn lọc (lít);

V - thể tích nước thí nghiệm (lít);

C₀, C_t - hàm lượng các thông số phân tích tại thời điểm t₀ và t₁;

t₀ - thời điểm ban đầu;

t₁ - thời điểm kết thúc;

T - thời gian thí nghiệm (T=t₁ - t₀).

4.5. Thí nghiệm khả năng hấp thụ dinh dưỡng hòa tan của rong biển (rong Sụn, rong Cầu)

Thí nghiệm này cũng thực hiện lặp lại 3 lần đại diện cho 3 giai đoạn phát triển của rong. Thí nghiệm này cũng thực hiện trong 24h, 3 bể có dung tích 100 lít được sử dụng để tiến hành thí nghiệm. Nước biển dùng cho thí nghiệm được lấy trực tiếp tại mô hình nuôi và bố trí thí nghiệm ngay tại mô

hình nuôi. Sử dụng 2 bể để làm thí nghiệm, mỗi bể thả 200 g rong biển (mỗi bể thí nghiệm thả 1 loài rong khác nhau). Bể đối chứng sẽ không thả rong biển vào. Các thông số môi trường sẽ được đo nhanh ở thời điểm bắt đầu và kết thúc thí nghiệm. Các mẫu dinh dưỡng hòa tan (tổng ni tơ, tổng phot pho, NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-) cũng sẽ được thu ở thời điểm bắt đầu, sau 12h thí nghiệm và khi kết thúc thí nghiệm.

Khả năng hấp thụ dinh dưỡng hòa tan của rong biển được tính theo công thức:

$$C_n = (C_1 - C_2) - (C'_2 - C'_1),$$

trong đó:

C_1 - hàm lượng dinh dưỡng ban đầu; C_2 là hàm lượng dinh dưỡng lúc sau;

C'_1 - hàm lượng dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc đầu;

C'_2 - hàm lượng dinh dưỡng trong bể đối chứng lúc sau.

4.6. Thiết kế và thực hiện mô hình nuôi tại một ô lồng nuôi

Sau khi có kết quả phân tích và đánh giá các thí nghiệm cho cả 4 đối tượng nuôi (đối tượng cá dữ ăn tạp, đối tượng ăn mùn bã hữu cơ, đối tượng ăn lọc và đối tượng hấp thụ dinh dưỡng hòa tan) sẽ thiết kế và thực hiện mô hình nuôi tại một ô lồng nuôi (số lượng cá thể nuôi của các đối tượng nuôi sẽ căn cứ vào các kết quả đánh giá ở các thí nghiệm).

+ Thiết kế mô hình nuôi (hình 1 và hình 2).

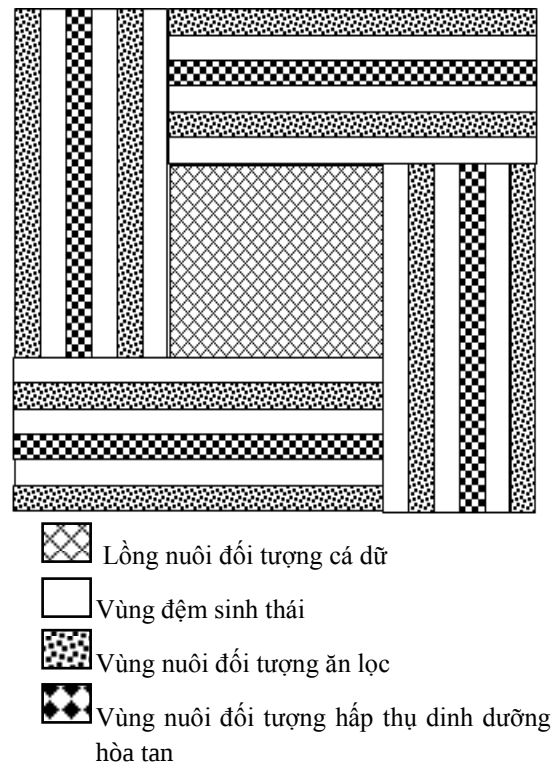
- Vật liệu làm lồng: Làm lồng bằng vật liệu HPDE (High Density Polyethylene).

- Kích thước lồng nuôi: 3 x 3 x 3 m. Tổng thể tích 1 lồng là 27m³

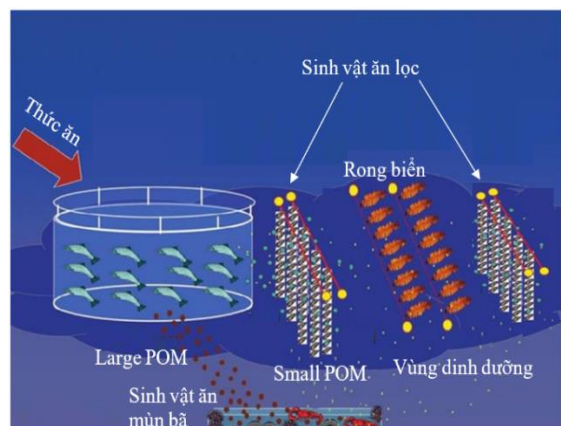
- Tổng diện tích của mô hình nuôi: Tùy thuộc vào quy mô và diện tích của các hộ nuôi sẵn có trên địa bàn để thiết kế diện tích mô hình

- Vùng đệm và vùng nuôi các đối tượng ăn lọc và hấp thụ dinh dưỡng hòa tan có diện tích chiều ngang là 2m và chiều dài theo hiện trạng lồng nuôi hiện có của người dân.

- Vùng đáy dưới hệ thống lồng nuôi được thả nuôi các đối tượng ăn mùn bã hữu cơ và thức ăn thừa trong quá trình nuôi các đối tượng ăn tạp có diện tích bằng với diện tích ô lồng.



Hình 1: Mô hình nuôi tổng hợp đa bậc dinh dưỡng (mặt cắt ngang)



Hình 2: Mô hình nuôi tổng hợp đa bậc dinh dưỡng (mặt cắt đứng)

Large POM: Vật chất lơ lửng dạng hạt lớn (thức ăn thừa, phân), Small POM: Vật chất lơ lửng dạng hạt nhỏ [35].

Bảng 1: Số lượng mô hình nuôi

Đối tượng	Mô hình nuôi 1	Mô hình nuôi 2	Mô hình nuôi 3
Cá dữ	Cá Giò	Cá Mú	Cá Hồng
Mùn bã hữu cơ	Cá Diạ công, Cua	Cá Hói, Hải sâm	Cầu gai
Ăn lọc	Hàu Đại dương	Vẹm xanh	Cá Măng, Hàu Đại dương
Hấp thụ dinh dưỡng hòa tan	Rong Câu	Rong Sụn	Rong Câu

Trong bảng 1, 4 đối tượng nuôi ở 4 phổ thức ăn khác nhau, mô phỏng theo chuỗi thức ăn trong tự nhiên như một hệ sinh thái đơn giản, đảm bảo không có hiện tượng cạnh tranh thức ăn, không gian sống cũng như tuân thủ theo dòng vận chuyển vật chất trong chuỗi thức ăn. Chất thải của loài này là nguồn thức ăn của loài khác.

4.7. Thu và bảo quản mẫu trong quá trình triển khai mô hình

Trong quá trình triển khai mô hình sẽ tiến hành thu mẫu môi trường định kỳ để đánh giá sự biến động của các thông số môi trường cũng như chất lượng môi trường nước trong vòng 1 năm (12 tháng). Định kỳ 1 tháng thu một lần vào kỳ nước ròng. Các thông số môi trường nước: Nhiệt độ, pH, DO, độ muối, COD, BOD₅, TSS, TOC, NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, tổng ni tơ và tổng phốt pho, chlorophyll-a, độ trong sẽ được thu tại 04 vị trí thực hiện thí nghiệm: Trong lồng nuôi các đối tượng ăn tạp, vùng đệm sinh thái của mô hình, khu vực nước bên ngoài vùng nuôi và ở một hệ thống lồng bè lân cận (lồng nuôi không áp dụng mô hình nuôi đa bậc).

5. PHƯƠNG PHÁP HỖ TRỢ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ GIẢM THIỂU CHẤT Ô NHIỄM (HỮU CƠ VÀ DINH DƯỠNG) CỦA MÔ HÌNH NUÔI

5.1. Phương pháp tính chỉ số ô nhiễm hữu cơ

Sử dụng chỉ số ô nhiễm hữu cơ (Organic Pollution Index - OPI) để đánh giá hiệu quả xử lý chất ô nhiễm hữu cơ của mô hình nuôi. Chỉ số OPI, là chỉ số xác định mức độ ô nhiễm các chất hữu cơ của một vùng nước dựa trên kết quả khảo sát và phân tích của 4 thông số chất lượng nước gồm: Nhu cầu

oxy hóa học (COD), DO, DIN (ni tơ vô cơ hòa tan) và DIP (phốt pho vô cơ hòa tan) [36-38]. Thang điểm đánh giá OPI được chia thành 4 mức: Rất tốt (< 0 điểm), tốt (0 - 1 điểm), ô nhiễm (1 - 4 điểm) và ô nhiễm nặng (4 - 5 điểm).

5.2. Tính chỉ số dinh dưỡng (TRIX)

Chỉ số TRIX được tính toán dựa trên công thức sau [39].

$$TRIX = \frac{[\log_{10}(PO_4^{3-} \times TN \times Chla \times D\%O_2) + a]}{b},$$

trong đó:

Chla - nồng độ chlorophyll-a trong nước (µg/L);

D%O₂ - độ lệch giữa DO đo được và DO_{bão hòa} ở nhiệt độ xác định (%);

TN - nồng độ tổng ni tơ trong nước (µg/L);

PO₄³⁻ - nồng độ PO₄³⁻ trong nước (µg/L);

Các tham số a = 1,5 và b = 1,2 là các hệ số được đề xuất bởi Giovanardi và Vollenweider (Giovanardi F. and Vollenweider R.A, 2004) để cố định chỉ số giới hạn dưới, vừa để cố định thang đo từ 0 tới 10.

Bảng 2: Phân loại mức độ phú dưỡng theo chỉ số TRIX

Điểm TRIX	Mức độ phú dưỡng
0 - 4	Nghèo dinh dưỡng
4 - 6	Trung dưỡng
6 - 8	Phú dưỡng
> 8	Siêu phú dưỡng

Chỉ số dinh dưỡng được tính cho 12 tháng thu mẫu định kỳ tại lồng nuôi thí nghiệm và một hệ thống lồng bè lân cận nhằm đánh giá hiệu quả giảm thiểu chất ô nhiễm hữu cơ của mô hình nuôi.

6. KẾT LUẬN

Tại Quảng Ninh, có các hình thức nuôi trồng thủy sản trên biển cho các đối tượng nuôi khác nhau là nuôi lồng bè thường sử dụng cho nuôi cá, nuôi giàn bè thường sử dụng cho nuôi nhuyễn thể hai mảnh vỏ. Hoạt động nuôi thủy sản lồng bè trên biển có tác động tiêu cực đến môi trường, thể hiện ở bốn khía cạnh là chất lượng nước biển bị thay đổi, ảnh hưởng đến chất lượng trầm tích đáy, ảnh

hưởng đến đời sống sinh vật biển, sử dụng hóa chất trong hoạt động nuôi làm ảnh hưởng đến môi trường biển.

Nuôi lồng bè phát thải ra lượng chất hữu cơ, chủ yếu từ thức ăn thừa, sự bài tiết của cá và phân thải ra của chúng. Các quốc gia trên thế giới đã áp dụng mô hình nuôi sinh thái tổng hợp đa bậc dinh dưỡng (IMTA) để xử lý ô nhiễm chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng phát sinh từ hoạt động nuôi thủy sản lồng bè tập trung. Đối với nước ta nói chung và tỉnh Quảng Ninh nói riêng vẫn chưa có các giải pháp cụ thể nào để xử lý và khắc phục ô nhiễm các chất hữu cơ và dinh dưỡng từ hoạt động nuôi lồng bè tập trung. Việc ứng dụng tri thức về sinh thái môi trường, đặc biệt là nguyên lý tuần hoàn trong vùng đệm sinh thái để có được giải pháp khoa học công nghệ tối ưu, đảm bảo hài hòa và đạt được mục tiêu kép là phát triển nuôi lồng bè đạt hiệu quả kinh tế cao tạo sinh kế cho người dân, đồng thời đạt mục tiêu bảo vệ và cải thiện môi trường, từ đó phát triển bền vững vùng nuôi lồng bè tại tỉnh Quảng Ninh.

Các thí nghiệm đánh giá hiệu quả xử lý chất ô nhiễm (hữu cơ và dinh dưỡng) của mô hình nuôi IMTA, bao gồm: thí nghiệm đào thải chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của các đối tượng ăn tạp (cá dừ: cá Giò, cá Mú, cá Hồng); thí nghiệm đào thải các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của các đối tượng ăn mùn bã hữu cơ (Cua, cá Dìa Công, Hải Sâm, cá Hói, Cầu Gai); thí nghiệm hấp thụ mùn bã hữu cơ của các đối tượng ăn mùn bã hữu cơ (Cua, cá Dìa Công, Hải Sâm, cá Hói, Cầu Gai); thí nghiệm khả năng ăn lọc của các đối tượng ăn lọc (Hầu Đại dương, cá Măng, Vẹm xanh); thí nghiệm khả năng hấp thụ dinh dưỡng hòa tan của rong biển (rong Sụn, rong Câu). Áp dụng các phương pháp tính chỉ số ô nhiễm hữu cơ và chỉ số dinh dưỡng nhằm đánh giá hiệu quả giảm thiểu chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của mô hình nuôi.

Áp dụng mô hình nuôi tổng hợp đa bậc dinh dưỡng đảm bảo tính logic của khoa học về mặt sinh thái cũng như đảm bảo chất lượng môi trường vùng nước nuôi.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn tới ban chủ nhiệm đề tài "Nghiên cứu đề xuất giải pháp giảm thiểu ô nhiễm chất hữu cơ và dinh dưỡng phát sinh do hoạt động nuôi thủy sản lồng

bè tập trung tại vùng biển Quảng Ninh (mã số: VAST07.05/24-25)" đã hỗ trợ để hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cao Thị Thu Trang, (2020). Báo cáo tổng kết nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp tỉnh Quảng Ninh "Nghiên cứu đánh giá tác động môi trường của các vật liệu sử dụng làm phao nổi trong nuôi trồng thủy sản và công bố các vật liệu bền vững, thân thiện môi trường". Viện Tài nguyên và Môi trường biển.
- [2] Hoàng Trung Du, (2019). Ô nhiễm môi trường trầm tích vùng nuôi và rủi ro đối với hoạt động nuôi lồng bè ven biển Nam Trung Bộ. *Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong "Khoa học Trái đất và Môi trường"* (DOI: 10.15625/vap.2019.000179), tp. Hồ Chí Minh.
- [3] Zhou X., Zhao X., Zhang S., Lin J., (2019). Marine Ranching Construction and Management in East China Sea: Programs for Sustainable Fishery and Aquaculture. *Water* 2019, **11**, 1237.
- [4] Rosenthal, H., Weston, D. P. Gowen, R. J. and Black E. A., (1988). Report of the "ad hoc" study group on "Environmental Impact of Mariculture." *ICES Cooperative Research Report* 154, Copenhagen, 83 pp.
- [5] López, D. A., Buschmann, A. H. & González, M. L., (1988). Efectos del uso de las zonas costeras por prácticas de acuicultura. *Medio Ambiente*, **9**, 42 - 54.
- [6] Folke, C. & Kautsky, N, (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio* **18**, 234 - 43.
- [7] Handy, R. D. & Poxton, M. G., (1993). Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish*, **3**, 205 - 41.
- [8] Troell, M. & Berg, H., (1997). Cage fish farming in the tropical lake Kariba: impact and biogeochemical changes in sediment. *Aquacult. Res.* **28**, 527 - 44.
- [9] Ackefors, H. & Enell, M., (1994). The release of nutrients and organic matter from aquaculture

- systems in Nordic countries. *J. Appl. Ichthyol*, **10**, 225 - 41.
- [10] Seymour, E. A. & Bergheim, A, (1991). Towards a reduction of pollution from intensive aquaculture with reference to the farming of salmonids in Norway. *Aquacult. Eng*, **10**, 73–88.
- [11] Gowen, R. J. & Bradbury, N. B., (1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev* , **25**, 563 - 75.
- [12] Wang X., Olsen LM., Reitan KI., Olsen Y., (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* **2**(3), 267-283.
- [13] Wu, R.S.S., (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, **31**, 159-166.
- [14] Pearson, T.H., and K.D. Black, (2001). The environmental impacts of marine fish cage culture. Pages 1-31 in K.D. Black, editor. *Environmental Impacts of Aquaculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [15] Islam, M., (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, **50**, 48-61.
- [16] Pittenger, R., B. Anderson, D.D. Benetti, P. Dayton, B. Dewey, R. Goldberg, A. Rieser, B. Sher, and A. Sturgulewski, (2007). Sustainable marine aquaculture: Fulfilling the promise; managing the risks. *Marine Aquaculture Task Force*. Available at: www.pewtrusts.org/uploadedFiles/wwwpewtrustsorg/Reports/Protecting_ocean_life/Sustainable_Marine_Aquaculture_final_1_07.pdf. Accessed: 27 September 2012.
- [17] Yang, C.Z. and L.J. Albright., (1994). Anti-phytoplankton therapy of finfish: The mucolytic agent L-cysteine ethyl ester protects coho salmon *Oncorhynchus kisutch* against the harmful phytoplankton *Chaetoceros concavicornis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **20**(3), 197-202.
- [18] Md. Shahidul Islam, (2005). Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin*, **50**(2005), 48- 61.
- [19] Xinxin Wang, Lasse Mork Olsen, Kjell Inge Reitan, Yngvar Olsen, (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult Environ Interact*, **2**, 267 - 283, 2012.
- [20] Muhammad Junaidi, Nurliah, Fariq Azhar, Nanda Diniarti, Salnida Y. Lumbessy, (2019). Estimation of organic waste and waters carrying capacity for lobster cage culture development in North Lombok District, West Nusa Tenggara Province. *AACL Bioflux*, **12**(6).
- [21] Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M. & Yarish, C., (2004). Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, **231**, 361-391.
- [22] Chopin, T., Buschmann, A.H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G.P., Zertuche-Gonzalez, J.A., Yarish, C. & Neefus, C., (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology*, **37**, 975-986.
- [23] Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N. & Yarish C., (2003). Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, **226**, 69-90.
- [24] Biswas, G., Kumar, P., Ghoshal, T.K., Kailasam, M., De, D., Bera, A., Mandal, B., Sukumaran, K., Vijayan, K.K., (2019). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) outperforms conventional polyculture with respect to environmental remediation, productivity and economic return in brackishwater ponds. *Aquaculture* (2019).
- [25] Martínez-Aragon, J.F., Hernández, I., Pérez-Lloréns, J.L., Vásquez, R. & Vergara, J.J., (2002). Biofiltering efficiency in removal of dissolved

nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters. 1. Phosphate. *Journal of Applied Phycology*, **14**, 365-374.

[26] Hernández, I., Martínez-Aragon, J.F., Tovar, A., Pérez-Lloréns, J.L. & Vergara, J.J. (2002). Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium. *Journal of Applied Phycology* **14**, 375-384.

[27] Borges, M.T., Silva, P., Moreira, L. & Soares, R. (2005). Integration of consumer-targeted microalgal production with marine fish effluent biofiltration – a strategy for mariculture sustainability. *Journal of Applied Phycology*, **17**, 187-197.

[28] Qian, P.Y., Wu, C. Y., Wu, M. and Xie, Y.K., (1996). Integrated cultivation of the red algae *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martens*, *Aquaculture*, **147**, 21-35.

[29] Phạm Mỹ Dung, (2003). Tìm hiểu hình thức nuôi kết hợp ốc hương, hải sâm và rong biển trong điều kiện thí nghiệm. Luận văn tốt nghiệp đại học, Đại học Thủy Sản, Nha Trang.

[30] Nguyễn Thị Mai, (2010). Kỹ thuật nuôi lồng cá biển và tác động của việc sử dụng thức ăn nuôi cá lên môi trường ở vùng biển Vân Đồn, Quảng Ninh. Luận văn thạc sĩ, trường đại học Nha Trang.

[31] Cao Thị Thu Trang, (2012). Hiện trạng môi trường đảo Cát Bà và một số giải pháp quản lý. *Tài nguyên và Môi trường biển tập XVI*, 71-81, ISBN 978-604-913-074-8.

[32] Lê Tuấn Sơn, Trần Quang Thư, Nguyễn Công Thành, Phạm Hoàng Giang, Trần Văn Thành, (2014). Ô nhiễm môi trường khu nuôi cá biển bằng lồng bè điển hình: trường hợp nghiên cứu tại Cát Bà - Hải Phòng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, **14(3)**, 265-271.

[33] Hoàng Trung Du, Nguyễn Hữu Huân, Võ Hải Thi, Lê Trọng Dũng, Lê Trần Dũng, Nguyễn Hữu Hải, (2015). Đánh giá hiện trạng và xem xét khả năng ảnh hưởng của hoạt động nuôi lồng bè đối với chất lượng môi trường trầm tích vịnh Vũng Rô, tỉnh Phú Yên. *Tuyển Tập Nghiên Cứu Biển*, **21(1)**, 84 - 93.

[34] Nguyễn Văn Quỳnh Bôi, (2016). Vài vấn đề về môi trường của hoạt động nuôi lồng biển. *Khoa học Công nghệ Thủy sản*, **1**, 160-168.

[35] T Chopin, S M C Robinson, M Troell, A Neori, A H Buschmann, and J Fang, (2008). Multitrophic Integration for Sustainable Marine Aquaculture. In Sven Erik Jørgensen and Brian D. Fath (Editor-in-Chief), *Ecological Engineering. Vol. [3] of Encyclopedia of Ecology*, **5**, 2463-2475 Oxford: Elsevier.

[36] J. W. Molly, R. A. Ted, P. Matthew, W. B. David, J. L. Jonathon, K. John, and N. Mari, (2019). An assessment of water quality in two Great Lakes connecting channels. *Journal of Great Lakes Research*, **45(5)**, 901-911.

[37] Nguyễn Minh Anh, Nguyễn Thu Hằng, Bùi Thị Huyền, Nguyễn Hoàng Mỹ, Cao Thị Huệ, Cao Trường Sơn, (2020). Đánh giá chất lượng nước hồ an dương, tỉnh Hải Dương sử dụng chỉ số chất lượng và các chỉ số ô nhiễm nước. *TNU Journal of Science and Technology*, **225(09)**, 39 - 46.

[38] Shuguang Liu, Sha Lou, Cuiping Kuang, Wenrui Huang, Wujun Chen, Jianle Zhang, Guihui Zhong, (2011). *Marine Pollution Bulletin*, **62**, 2220 - 2229.

[39] Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A., (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea. Proposal for a trophic scale, turbidity and a generalized water quality index. *Environmetrics*, **9**, 329 - 357.