

Tổng quan các công nghệ xử lý nước thải bền vững của ngành Nuôi trồng Thủy sản

Overview of sustainable wastewater treatment technologies of the Aquaculture industry

Trần Ngọc Hạnh^{1*}, Lâm Quốc Huy¹, Lê Hoàng Vũ¹

¹ Trường Đại học Bạc Liêu;

* Email: tnhanh@blu.edu.vn

Ngày nhận bài:

22/11/2023

Ngày chấp nhận đăng:

20/12/2023

Keywords: Recirculating aquaculture system, Constructed wetlands, Aquaponics, Aquaculture wastewater treatment with microalgae, Aquaculture wastewater treatment with seaweed.

ABSTRACT

The aquaculture industry plays an important role in solving global food scarcity due to population growth. However, traditional aquaculture systems have caused adverse effects on water quality and pollution, threatening aquatic resources. Improving water recycling efficiency and reducing the discharge of waste water are the major factors contributing to sustainable aquaculture system. The study presents the various aquaculture waste water treatment technologies and their role in achieving sustainability. Recirculation systems in aquaculture units are found to be more effective in managing the volume of waste water since only 10% of the total volume of water is replaced per day and hence more sustainable. Constructed wetland systems have reported high efficiency in the treatment of waste water containing nitrogen compounds. Energy needs in Aquaponics systems have been reduced to much lower levels than in conventional systems. The study of the use of local and low trophic level biomass like microalgae as feed stock was found to reduce the environmental impacts of fish farming with added benefit of biomass production and lipid production. The algae harvesting efficiency of above 90% has been achieved by using proper coagulants in Biofloc technology. Research using a combination of seaweed and fish farming for water treatment shows that it is more effective in reducing the concentration of pollutants in water and increasing fish resistance.

TÓM TẮT

Ngành nuôi trồng thủy sản đóng vai trò quan trọng trong việc giải quyết tình trạng khan hiếm lương thực toàn cầu do sự gia tăng dân số. Tuy nhiên các hệ thống nuôi trồng thủy sản truyền thống đã gây ra các ảnh hưởng bất lợi đến chất lượng và ô nhiễm nguồn nước, đe dọa đến nguồn lợi thủy sản. Cải thiện hiệu quả tái chế nước và giảm xả nước thải là những yếu tố chính góp phần tạo nên các hệ thống nuôi trồng thủy sản bền vững. Bài báo này giới thiệu các công nghệ xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản khác nhau và vai trò của chúng trong việc đạt được tính bền vững. Hệ thống tuần hoàn trong nuôi trồng thủy sản góp phần mang lại hiệu quả hơn trong việc quản lý lượng nước thải vì chỉ 10% tổng lượng nước được thay thế mỗi ngày. Các hệ thống đất ngập nước nhân tạo đã đạt hiệu quả cao trong việc xử lý nước thải có chứa hợp chất nitơ. Nhu cầu năng lượng trong các hệ thống Aquaponics kết hợp đã giảm

Từ khóa: Hệ thống tuần hoàn nước, đất ngập nước kiến tạo, aquaponics, xử lý nước thải bằng vi tảo, sử dụng rong biển để xử lý nước thải.

xuống thấp hơn rất nhiều so với các hệ thống thông thường. Nghiên cứu về việc sử dụng sinh khối ở cấp độ dinh dưỡng thấp như vi tảo làm thức ăn góp phần giảm tác động môi trường của việc nuôi cá đồng thời mang lại lợi ích bổ sung cho việc sản xuất sinh khối và sản xuất lipid. Hiệu suất thu hoạch tảo trên 90% đã đạt được bằng cách sử dụng chất keo tụ thích hợp trong công nghệ Biofloc. Nghiên cứu sử dụng kết hợp rong biển với nuôi cá hoặc tôm để xử lý nước cho thấy hiệu quả hơn trong việc giảm nồng độ chất ô nhiễm trong nước và tăng sức đề kháng của đối tượng nuôi.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, ngành nuôi trồng, khai thác và chế biến thủy sản xuất khẩu ở Việt Nam phát triển mạnh mẽ. Theo VASEP, năm 2022, ước tính ngành thủy sản chiếm 3% tổng xuất khẩu hàng hóa của Việt Nam. So với tổng kim ngạch xuất khẩu khu vực kinh tế trong nước, ngành thủy sản đóng góp gần 12% giá trị. Trên bản đồ xuất khẩu thủy sản thế giới, Việt Nam đang là quốc gia xuất khẩu lớn thứ 3, chỉ đứng sau Trung Quốc và Na Uy – 2 cường quốc có diện tích đất và mặt nước lớn hơn nhiều so với Việt Nam. Với kết quả của năm 2022, ước tính thủy sản Việt Nam sẽ chiếm trên 7% thị phần thị trường thế giới. Từ 2015-2022, sản lượng nuôi trồng thủy sản của Việt Nam tăng 47% từ 3,53 triệu tấn lên 5,19 triệu tấn (VASEP, 2022). Nuôi trồng thủy sản phục vụ cho xuất khẩu tập trung chủ yếu ở ĐBSCL (chiếm 95% tổng sản lượng cá tra và 80% sản lượng tôm).

Khan hiếm nước và cạn kiệt nguồn nước tự nhiên là những thách thức lớn mà thế giới ngày nay đặc biệt là các quốc gia đang phát triển phải đối mặt. An ninh thủy sản có liên quan đến các nguồn tài nguyên quan trọng như năng lượng và nước, đồng thời chất lượng môi trường cũng cần được duy trì để đảm bảo cung cấp thực phẩm hiệu quả. Những thách thức lớn đối với sự phát triển nuôi trồng thủy sản bền vững là các vấn đề liên quan đến bảo vệ môi trường, an toàn thực phẩm và cạn kiệt nguồn nước. Sản lượng nuôi trồng thủy sản sẽ giảm trong tương lai do một số thách thức, trong đó liên quan đến khả năng tiếp cận nguồn nước chất lượng. Điều này đòi hỏi sự phát triển của các công nghệ bền vững để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản. Các phương pháp xử lý nước thải truyền thống rất tốn kém về vốn đầu tư, tiêu thụ năng lượng và bảo trì do đó không mang lại tính bền vững cho ngành nuôi trồng thủy sản. Hiện tại, các lựa chọn công nghệ mới nhất để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bền vững đã được nghiên cứu rộng rãi, đặc biệt là mối liên hệ giữa nước, thức ăn và chuỗi năng lượng.

Quá trình nuôi trồng thủy sản làm phát sinh nhiều chất thải như nước thải, bùn thải. Đặc biệt, nước thải có chứa chất rắn lơ lửng, hợp chất nitơ, hợp chất photpho và nhiều thành phần hữu cơ dễ phân hủy sinh học tạo nên sự siêu dưỡng, làm nở rộ vi khuẩn và vi trùng gây bệnh ảnh hưởng đến chất lượng môi trường. Do đó xử lý nước thải là điều cần thiết trong các hệ thống nuôi trồng thủy sản để giữ cho tôm cá nuôi khỏe mạnh và cũng để tránh các tác động bất lợi đến môi trường. Có rất nhiều hạn chế khi sử dụng các phương pháp xử lý nước thải thông thường trong các hệ thống nuôi trồng thủy sản do gánh nặng kinh tế và tiêu thụ nhiều năng lượng. Ngoài ra, các phương pháp xử lý truyền thống như hiếu khí và kỵ khí đối với nước thải nuôi trồng thủy sản đang giải phóng các khí nhà kính như CO₂ và CH₄, đồng thời các nguồn dinh dưỡng trong nước thải không thể được tái sử dụng một cách hiệu quả. Việc cải thiện các phương pháp xử lý truyền thống là rất cần thiết để duy trì tính bền vững trong nuôi trồng thủy sản. Trong bài báo này sẽ giới thiệu một số công nghệ xử lý nước thải bền vững ngành nuôi trồng thủy sản trên thế giới.

2. Các mô hình xử lý nước thải trong nuôi trồng thủy sản

2.1. Hệ thống tuần hoàn nước (RAS)

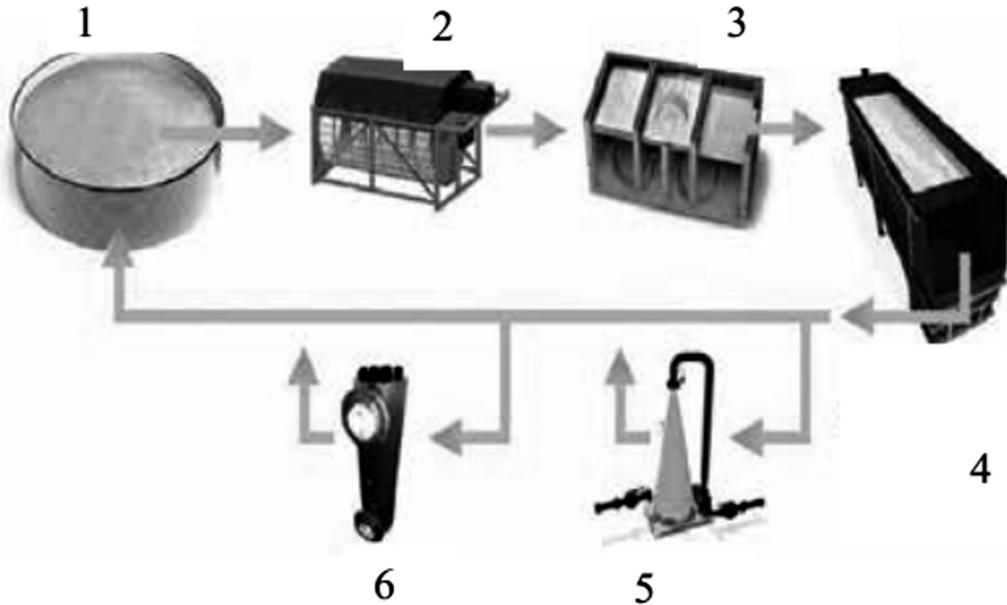
Các hệ thống nuôi trồng thủy sản truyền thống đòi hỏi lượng nước cung cấp dư thừa và yếu tố quan trọng nhất cần được xem xét là tính bền vững của nguồn nước cấp. Các nguồn nước cấp cho nuôi trồng thủy sản chủ yếu là nguồn nước mặt như sông, suối, hồ và hồ chứa cũng như giếng nước ngầm. Lưu lượng nước trong các hệ thống này phải đủ để đáp ứng nhu cầu oxy hòa tan hoặc để làm sạch chất thải trao đổi chất của các loài thủy sinh. Nước được sử dụng trong hệ thống nuôi phần lớn được thay thế bằng nước cấp mới. Việc tự làm sạch chỉ có thể đạt được nếu cung cấp tốc độ dòng chảy đủ lớn trong hệ thống. Các hạn chế của hệ thống nuôi trồng thủy sản thông thường có thể cải thiện bằng cách sử dụng hệ thống nuôi

trồng thủy sản tuần hoàn nước (RAS).

RAS (Recirculating Aquaculture System) là hệ thống nuôi thủy sản tuần hoàn nước, được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi ở các nước Châu Âu từ thập niên 50 nhằm giảm thiểu các vấn đề về ô nhiễm nguồn nước, dịch bệnh, năng suất thấp

của công nghệ nuôi truyền thống. Hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn thường thay nước từ 5 đến 10% mỗi ngày tùy thuộc vào nguồn cung cấp và tỷ lệ cho ăn (Emperor Aquatics I, 2011); đặc biệt các công nghệ RAS tiên tiến nhất có tỷ lệ tái sử dụng nước lên đến 95-99% (Duy Sang, 2021).

Hình 1: Bản vẽ nguyên lý của hệ thống tuần hoàn (FAO, 2018)



Ghi chú: (1) Bể nuôi; (2) Bể lọc cơ học; (3) Bể lọc sinh học; (4) Thiết bị lọc khí tích tụ; (5) Thiết bị làm giàu oxy; (6) Khử trùng tia cực tím

Nguyên tắc hoạt động của RAS: Theo Trần Thị Thanh Nga và Võ Thị Thu Em (2022), trong hệ thống tuần hoàn, nước được xử lý liên tục để loại bỏ các chất thải do đối tượng nuôi bài tiết và bổ sung oxy để giữ cho đối tượng nuôi sống ổn định. Nước thải từ bể nuôi được thu gom về chảy qua bể lọc cơ học (tùy từng điều kiện cụ thể có thể sử dụng các loại như lọc lắng, lọc lưới, lọc tạo bọt...) để giảm thiểu chất thải rắn; sau đó qua bể lọc sinh học, tại đây các vi khuẩn dị dưỡng sẽ oxy hóa chất hữu cơ thành cacbon dioxide, amoniac và bùn; đồng thời vi khuẩn nitrat hóa sẽ loại bỏ amoniac ra khỏi nước bằng cách chuyển hóa thành nitrit rồi nitrat không độc, sau đó nước được cung cấp oxy, khử trùng bằng tia cực tím hoặc chất khử trùng ozone để trở lại bể nuôi. Hệ thống được tự động điều chỉnh độ pH, trao đổi nhiệt, khử nito, v.v. tùy thuộc vào yêu cầu của từng đối tượng.

Ưu điểm: Việc sử dụng RAS làm giảm tác động ô nhiễm của việc nuôi cá và giảm việc sử dụng nước ngọt (Martins và cộng sự, 2010) và do

đó thân thiện với môi trường. Trong các hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn, cá có thể được nuôi bên cạnh các sinh vật khác để giúp chuyển hóa các chất dinh dưỡng thải ra thành các sản phẩm có giá trị (Schneider và cộng sự, 2005), điều này làm cho hệ thống bền vững hơn so với các hệ thống thông thường. RAS cung cấp một điều kiện nuôi về lưu lượng nước, mật độ thả giống và duy trì sự cân bằng sinh lý tối ưu cho đối tượng nuôi (Trần Thị Thanh Nga và Võ Thị Thu Em, 2022). Thêm vào đó, RAS làm giảm sự phụ thuộc vào thuốc kháng sinh và là phương pháp trị liệu tạo ra lợi thế tiếp thị về chất lượng cao, hải sản “an toàn” (Trần Thị Thanh Nga và Võ Thị Thu Em, 2022). Thông qua công nghệ RAS, người nuôi có thể kiểm soát tối đa chất lượng nước và điều kiện nuôi trong ao, mang lại hiệu quả sản xuất cao và lợi ích kinh tế đáng kể. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy nuôi trồng thủy sản bằng RAS giúp gia tăng sản lượng thủy sản, tiết kiệm nước và tăng sức đề kháng của đối tượng nuôi. Nghiên cứu của Timmons và Ebeling (2010) cho kết quả nuôi cá rô phi bằng công nghệ RAS đạt năng suất 80 kg/m³ so

với nuôi ao chỉ 8,2 kg/m³ và lượng nước công nghệ RAS sử dụng chỉ bằng ¼ so với nuôi ao. Nghiên cứu của Nguyễn Nhật (2017) về nuôi thử nghiệm cá chình bông thương phẩm bằng công nghệ RAS tại Trại Nghiên cứu thực nghiệm và sản xuất thủy sản Thủ Đức (Viện Nghiên cứu nuôi trồng thủy sản 2) cho thấy, năng suất nuôi 47 kg/m³, tỷ lệ sống 82%, tốc độ tăng trưởng 2,1 g/con/ngày, chất lượng nước đạt tối ưu cho cá chình bông sinh trưởng trong suốt vụ nuôi. Chất lượng cá nuôi sạch bệnh, không nhiễm kháng sinh, hóa chất cấm, đáp ứng chỉ tiêu cá xuất khẩu.

Hạn chế: Tuy nhiên, hệ thống RAS cũng có một số mặt hạn chế như chi phí đầu tư ban đầu (vật liệu và hạ tầng cơ sở), chi phí vận hành (chi phí về điện, bảo trì, cũng như đội ngũ nhân viên giám sát và vận hành hệ thống cần được đào tạo chuyên sâu) khá cao. Ngoài ra, việc phát thải khí nhà kính cũng cao hơn nuôi trồng thủy sản không tuần hoàn. Tuy nhiên, nếu sản lượng thu đạt năng suất cao và hệ thống được thiết kế tốt, lợi ích đạt được sẽ lớn hơn các khoản chi phí tăng thêm, giúp giảm thiểu được chi phí sản xuất cuối cùng.

Ứng dụng công nghệ RAS tại Việt Nam

Hệ thống RAS đã được ứng dụng thực tế ở một số nơi trong nước, với nhiều quy mô và đối tượng nuôi khác nhau, từ các loại thủy sản chiến

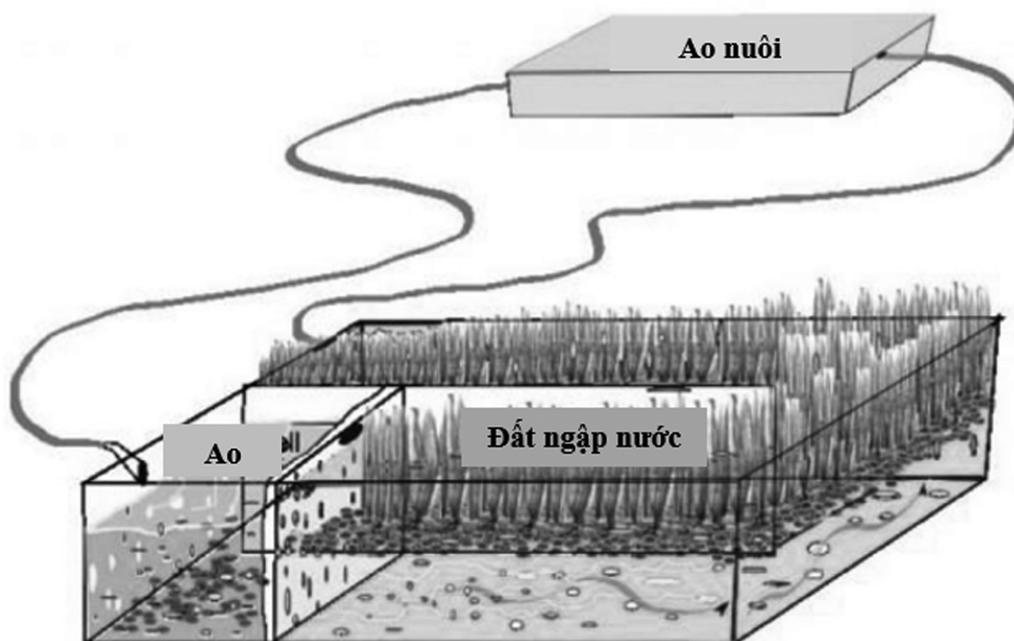
lược (cá tra, tôm) cho đến các loại có giá trị kinh tế cao (cá chình bông, cá chạch quế, trắm đen, cá tầm,...). Ở Đồng bằng sông Cửu Long từ năm 2000, công nghệ RAS cải tiến đã được áp dụng cho các trại sản xuất tôm giống và đã đạt được kết quả đáng kể trong việc kiểm soát các yếu tố môi trường, giúp tiết kiệm nước và tăng tỷ lệ sống của ấu trùng (70-92%) (Nguyễn Quang Chương, 2020).

Tuy nhiên quy mô ứng dụng công nghệ RAS tại ao nuôi thâm canh ở Việt Nam còn rất nhỏ, mới chỉ dừng lại ở các đề tài, dự án, mô hình thử nghiệm. Nguyên nhân là do nuôi trồng thủy sản phần lớn là quy mô nhỏ lẻ, đầu tư một hệ thống tốn hàng tỷ đồng để nuôi không hề đơn giản. Mặt khác, giá tôm nuôi tương đối thấp, đầu ra không ổn định nên khó thuyết phục nhà đầu tư sử dụng (Nguyễn Quang Chương, 2020).

2.2. Công nghệ đất ngập nước kiến tạo trong hệ thống tuần hoàn nước (RAS)

Công nghệ đất ngập nước nhân tạo ngày càng trở nên quan trọng hơn trong các hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn (RAS) vì đất ngập nước đã được chứng minh là khả thi và hiệu quả về chi phí để xử lý nước thải. Hình 2 thể hiện mô hình đất ngập nước nhân tạo được xây dựng trong một hệ thống tuần hoàn.

Hình 2: Mô hình đất ngập nước kiến tạo trong hệ thống tuần hoàn (Turcios và Papenbrock, 2014)



Ghi chú: Culture tank: ao nuôi; settling cell: bể lắng; wetland: đất ngập nước

Nguyên lý hoạt động: Nước thải từ ao nuôi sau khi qua bể lắng sơ bộ để loại bỏ các chất rắn có kích thước lớn sẽ được đưa vào hệ thống đất ngập nước; tại đây hệ thực vật kết hợp với hệ vi sinh vật sẽ tiến hành phân giải và hấp thu các chất thải trong nước. Nước thải sau xử lý ở hệ thống đất ngập nước sẽ được tuần hoàn trở lại ao nuôi.

Ưu điểm: Hệ thống đất ngập nước nhân tạo có ưu điểm là hiệu quả cao trong xử lý nước thải chứa hợp chất nitơ. Quá trình công nghệ không đòi hỏi kỹ thuật phức tạp; chi phí cho xử lý bằng thực vật thủy sinh không cao, trong nhiều trường hợp không cần cung cấp năng lượng; do đó, việc ứng dụng thực vật thủy sinh để xử lý nước ô nhiễm ở những vùng không có điện điều có thể thực hiện dễ dàng. Hiệu quả xử lý ổn định đối với nhiều loại nước ô nhiễm thấp. Sinh khối tạo ra sau quá trình xử lý được ứng dụng vào nhiều mục đích khác nhau như: Làm nguyên liệu cho thủ công mỹ nghệ như cối, đay, lục bình, cỏ; Làm thực phẩm cho người như củ sen, củ sùng, rau muống; Làm thực phẩm cho gia súc như rau muống, sen, bèo tây,

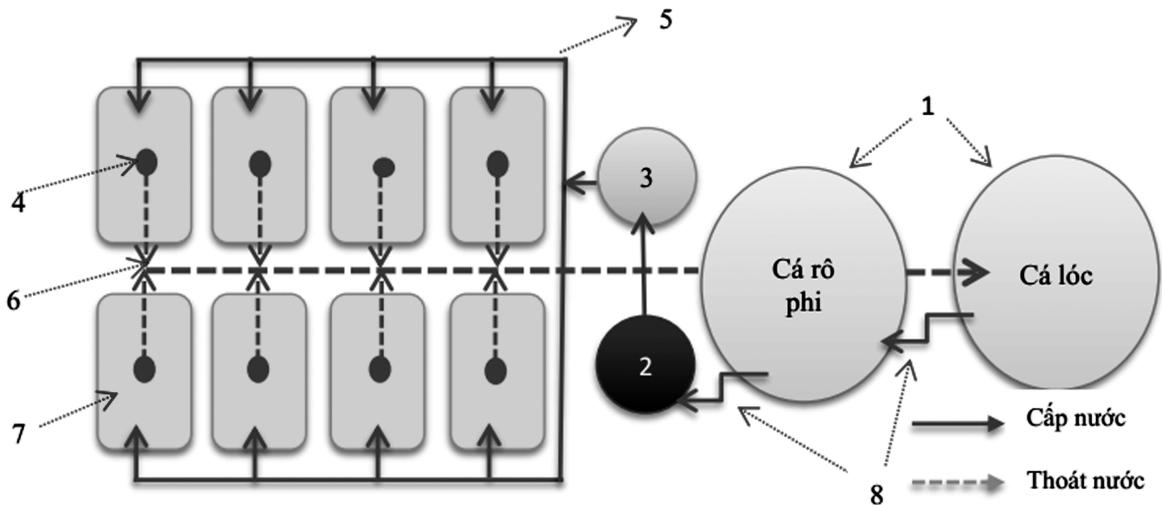
bèo tấm; Làm phân xanh; Sản xuất khí sinh học.

Nhược điểm: Việc sử dụng thực vật thủy sinh để xử lý nước ô nhiễm có những nhược điểm nhất định. Nhược điểm trước nhất là hệ thống đất ngập nước cần diện tích lớn, gấp 2,7 lần diện tích ao nuôi (Buhmann & Papenbrock, 2013). Ngoài ra các hệ thống đất ngập nước có tốc độ tải thủy lực thấp hơn và thời gian lưu thủy lực lâu hơn để đạt được hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm (Lin và cộng sự, 2005) do đó thời gian xử lý sẽ lâu hơn các công nghệ khác. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng cách xây dựng các hệ thống đất ngập nước nhỏ có tải trọng thủy lực cao, khả thi về mặt kinh tế và loại bỏ được 80% tổng chất rắn lơ lửng (TSS) (Sindilariu, 2009) đó chính là hệ thống aquaponics.

2.3. Aquaponics trong hệ thống tuần hoàn nước (RAS)

Aquaponics là một hệ thống sản xuất thực phẩm kết hợp giữa nuôi thủy sản và trồng thực vật thủy sinh trong hệ thống tuần hoàn nước.

Hình 3: Mô hình aquaponics tại trường Đại học Bạc Liêu (Trần Thị Bích Như và cộng sự, 2023)



Ghi chú: 1. Bể cá; 2. Bể lọc cơ; 3. Bể lọc vi sinh; 4. Bell siphon; 5. Hệ thống ống cấp nước vào khay rau; 6. Hệ thống ống thu nước từ khay rau về bể cá; 7. Khay rau; 8. Máy bơm chìm

Nguyên lý hoạt động: Aquaponics hoạt động dựa trên cơ sở cộng sinh của một hệ gồm 3 nhóm sinh vật chính đó là: cá, cây và vi sinh vật. Trong nuôi trồng thủy sản thông thường, chất bài tiết từ động vật được nuôi có thể tích tụ trong nước làm tăng độc tính. Trong hệ thống aquaponics, nước từ hệ thống nuôi trồng thủy sản được đưa vào hệ thống thủy canh, nơi các sản phẩm phụ được vi

khử phân hủy thành nitrat và amoni được cây trồng sử dụng làm chất dinh dưỡng. Nước sau đó được tuần hoàn trở lại các bể nuôi thủy sản. Có thể trồng đồng thời cây trong hệ thống nuôi trồng thủy sản khi đặt ngoài trời, trong nhà có đủ ánh sáng hoặc có thể trồng dưới dạng nhà kính. Ba loại thực vật được sử dụng trong aquaponics như thực vật nửa nổi, thực vật trôi nổi và thực vật ngập

nước. Những cây này có thể được thương mại hóa hoặc sử dụng làm thức ăn cho cá ăn cỏ như cá rô phi và cá chép cỏ. Một trong số đó, chúng cũng có lợi trong việc giảm thiểu sự phát triển của thực vật phù du trong nước.

Ưu điểm: Aquaponics được đánh giá là hệ thống sản xuất thực phẩm an toàn và giảm thiểu các mối nguy về ô nhiễm môi trường. Hệ thống Aquaponics góp phần tận dụng lợi ích giữa nuôi thủy sản và trồng rau; chất thải từ các bể nuôi cá tuần hoàn được hấp thu bởi thực vật do đó giúp giảm chi phí sử dụng phân bón, hóa chất và giảm thiểu việc xả chất thải ra môi trường; góp phần tiết kiệm chi phí cũng như công sức thời gian lao động. Do đó, mô hình Aquaponics có thể được xem là lựa chọn thay thế có trách nhiệm với môi trường.

Nhược điểm: Hệ thống Aquaponics có một số mặt hạn chế như chi phí đầu tư ban đầu và chi phí năng lượng khá cao, cũng như đội ngũ kỹ thuật giám sát và vận hành hệ thống cần được đào tạo chuyên sâu.

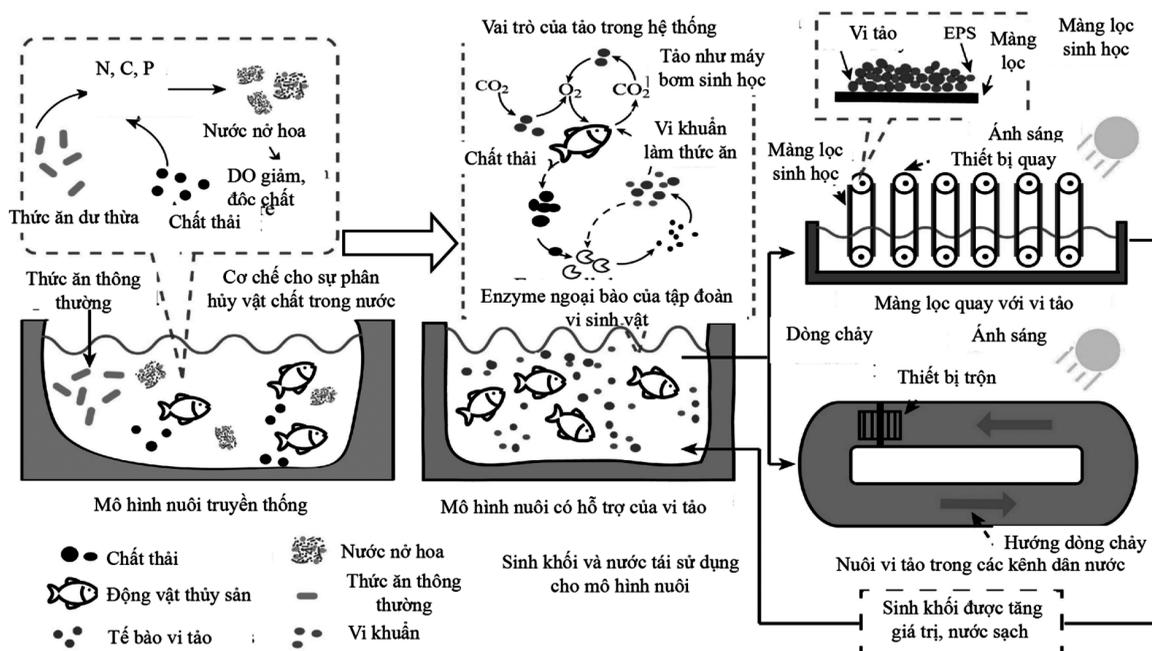
2.4. Sử dụng vi tảo trong nuôi trồng thủy sản

Sử dụng vi tảo trong nuôi trồng thủy sản là chuyển đổi chất hữu cơ trong nước thải phú dưỡng thành sinh khối nhờ sự phát triển của vi tảo và khai thác sinh khối có giá trị gia tăng để thay thế một

phần thức ăn và tăng cường khả năng miễn dịch cho động vật thủy sản. Việc xây dựng hệ vi tảo giúp đẩy nhanh quá trình cố định carbon dioxide đồng thời thúc đẩy giải phóng oxy, chúng hoạt động như máy bơm sinh học và tạo môi trường tốt cho động vật thủy sinh. Vi tảo hấp thụ các chất dinh dưỡng trong nước thải nuôi trồng thủy sản để sinh trưởng và phát triển từ đó tạo ra sinh khối có thể được thu hoạch và sử dụng làm thức ăn cho nuôi trồng thủy sản (Han và cộng sự, 2019). Tất cả những hệ thống nuôi trồng thủy sản được hỗ trợ bằng vi tảo đều vượt trội so với hệ thống nuôi trồng thủy sản thông thường, điều này được thể hiện trong Hình 4.

Hạn chế chính của công nghệ RAS là chi phí đầu tư và bảo trì cao, điều này có thể khắc phục bằng cách chuyển đổi chất dinh dưỡng từ nước thải nuôi trồng thủy sản thành sinh khối tảo, từ đó có thể giảm chi phí sản xuất sinh khối và xử lý nước thải, đồng thời đơn giản hóa quy trình xử lý (Badiola và cộng sự, 2012). Việc sử dụng sinh khối ở cấp độ dinh dưỡng thấp như vi tảo có thể làm giảm tác động môi trường của việc nuôi cá (Martins và cộng sự, 2010). Nuôi cấy tảo để xử lý nước thải trong RAS sẽ giúp sản xuất sinh khối và lipid (Ansari và cộng sự, 2017; Halfide và cộng sự, 2014). Vì vậy, đây là một hệ thống thân thiện với môi trường và khả thi về mặt kinh tế để thúc đẩy khái niệm cộng sinh và bền vững.

Hình 4: So sánh nuôi trồng thủy sản thông thường và nuôi trồng thủy sản được hỗ trợ bằng vi tảo (Han và cộng sự, 2019)



Tuy nhiên, việc dư thừa chất dinh dưỡng sẽ gây ra những hậu quả không mong muốn như hiện tượng tảo nở hoa do vi tảo phát triển quá nhanh. Vì vậy, thu hoạch vi tảo sau khi xử lý nước thải sẽ giúp ngăn ngừa vấn đề này. Đông tụ/kết bông, ly tâm và lọc là ba kỹ thuật thu hoạch tảo hiệu quả để tạo nhiên liệu sinh học, thực phẩm cho người và động vật, các sản phẩm có giá trị cao và phục hồi chất lượng nước (Singh và cộng sự, 2018). Các công nghệ thu hoạch vi tảo hiện nay phụ thuộc vào các phương pháp tinh vi và phức tạp như lọc sợi rỗng, keo tụ hóa học và ly tâm, chỉ khả thi về mặt kinh tế nếu thu được sản phẩm có giá trị cao. Một nghiên cứu điển hình sử dụng sự kết hợp các loại vi tảo gồm *Moringaoleifera*, *Aspergillus niger* và *Ankistrodesmus* đã được chứng minh là thành công. Công nghệ Biofloc (BFT) sử dụng sự kết hợp vi tảo với việc bổ sung chitosan làm chất kết tụ sinh học đã được chứng minh là đơn giản và hiệu quả với việc thu hoạch 95% các loài vi tảo *Chlorella* (Jusoh và cộng sự, 2020).

2.5 Sử dụng kết hợp rong biển để xử lý nước

Nhiều nghiên cứu nhận thấy nuôi kết hợp hai hoặc nhiều loài tương thích trong cùng một hệ thống; chúng có thể cùng sống trong cùng môi trường sống không cạnh tranh về thức ăn và không gian sống: nuôi kết hợp tôm/cá với rong biển, chất thải của tôm/cá là nguồn phân hữu cơ cho rong hoặc thức ăn cho đối tượng khác trong hệ thống và như thế giúp cân bằng hệ sinh thái. Lợi ích của hệ thống nuôi kết hợp rong biển với các đối tượng nuôi biển để tái hấp thu chất dinh dưỡng thừa đóng vai trò quan trọng trong phát triển bền vững nghề nuôi thủy sản ở vùng ven biển (Bui Nguyen Thu An và Nguyen Thi Ngoc Anh, 2020). Nghiên cứu của Nguyễn Thị Ngọc Anh và cộng sự (2019), nuôi kết hợp rong câu chỉ - tôm sú cỡ 1,97 g ở điều kiện trong bể, tăng trưởng và năng suất của tôm nuôi kết hợp cho ăn 50% nhu cầu không khác biệt thống kê so với tôm nuôi đơn, tương ứng với chi phí thức ăn có thể giảm đến

49,0%, đồng thời chất lượng nước tốt hơn. Theo Nguyễn Hoàng Vinh và cộng sự (2020), rong câu chỉ (*G. tenuistipitata*) có khả năng hấp thu nhanh các hợp chất đạm và lân trong nước thải nuôi tôm thâm canh. Nồng độ TAN ban đầu là 4,64 mg/l, sau 7 ngày xử lý với mật độ rong 3 kg/m³ ở điều kiện có sục khí giảm xuống còn 0,14 mg/L với hiệu suất xử lý là 96,98% cho thấy chỉ tiêu này đạt tiêu chuẩn QCVN 02-19: 2014/BNNPTNT về chất lượng nước có thể cấp vào ao nuôi trở lại so với chuẩn cho phép là 0,3 mg/L. Ở điều kiện thí nghiệm, Trần Thị Tuyết Hoa và cộng sự (2018) cho biết nuôi kết hợp tôm sú (*P. monodon*) - rong câu (*Gracilaria sp.*) và chế độ cho ăn khác nhau trong 60 ngày. Sau đó tôm thí nghiệm được gây cảm nhiễm với vi khuẩn gây bệnh hoại tử gan tụy cấp tính (*Vibrio parahaemolyticus*) trong 14 ngày. Kết quả cho thấy tôm sú được nuôi kết hợp rong câu và chế độ cho ăn khác nhau giúp tăng cường đáp ứng miễn dịch và tăng tỉ lệ sống cho tôm sú khi cảm nhiễm với *Vibrio parahaemolyticus*, được biểu thị bởi tỉ lệ chết tích lũy ở những nghiệm thức nuôi kết hợp có tỉ lệ thấp hơn (23,3%) so với tôm ở nghiệm thức nuôi đơn (63,3%). Tương tự, sử dụng rong câu chỉ trong ương giống tôm thẻ chân trắng (Nguyen Thi Ngoc Anh và cộng sự, 2019) và tôm sú (Nguyen Thi Ngoc Anh và cộng sự, 2020) có thể áp dụng ương ở mật độ tôm lên đến 3.000 con/m³ vẫn đạt tỉ lệ sống cao (85-86%) sau 30 ngày ương đồng thời duy trì được chất lượng nước tốt và tăng sức đề kháng khi cảm nhiễm với *Vibrio parahaemolyticus* tốt hơn so với nhóm đối chứng không có rong trong bể ương.

3. Kết luận

Ứng dụng các công nghệ tuần hoàn nước, đất ngập nước, aquaponics, vi tảo và rong biển trong nuôi trồng thủy sản góp phần xử lý nước thải bền vững, bảo vệ môi trường và mang lại giá trị gia tăng cho ngành thủy sản. Tùy từng điều kiện cụ thể có thể áp dụng các công nghệ này cho phù hợp với thực tế, nâng cao hiệu quả trong nuôi trồng thủy sản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- An, B. N. T., & Anh, N. T. N. (2020). Co-culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and red seaweed (*Gracilaria tenuistipitata*) under different feeding rates: effects on water quality, fish growth and feed efficiency. *Journal of Applied Phycology*, 32, 2031-2040.
- Anh, N. T. N., An, B. N. T., Lan, L. M., & Hai, T. N. (2019). Integrating different densities of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* and red seaweed *Gracilaria tenuistipitata* in the nursery phase:

- effects on water quality and shrimp performance. *Journal of Applied Phycology*, 31(5), 3223-3234.
- Anh, N. T. N., Thong, L. V., Lam, N. P., Lien, T. T. K., & Hoa, N. V. (2020). Effects of water levels and water exchange rates on growth and production of sea grape *Caulerpa lentillifera* J. Agardh 1837. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3), 211-216.
- Ansari, F. A., Singh, P., Guldhe, A., & Bux, F. (2017). Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: integrated biomass generation and nutrient remediation. *Algal research*, 21, 169-177.
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26-35.
- Buhmann, A., & Papenbrock, J. (2013). Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 122-133.
- Duy Sang, 2021. Công nghệ nuôi trồng thủy sản bằng hệ thống nước tuần hoàn (RAS), Hệ thống thông tin thông kê khoa học và công nghệ. Trang web: <http://thongke.cesti.gov.vn/>, 8/5/2021. [Ngày truy cập ngày 26/10/2023].
- Ebeling, J. M., & Timmons, M. B. (2010). *Recirculating aquaculture*. Ithaca, NY, USA: Cayuga Aqua Ventures.
- Emperor Aquatics I, 2011. Recirculation systems in aquaculture.
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Halfhide, T., Åkerstrøm, A., Lekang, O. I., Gislørød, H. R., & Ergas, S. J. (2014). Production of algal biomass, chlorophyll, starch and lipids using aquaculture wastewater under axenic and non-axenic conditions. *Algal research*, 6, 152-159.
- Han, P., Lu, Q., Fan, L., & Zhou, W. (2019). A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture. *Applied Sciences*, 9(11), 2377.
- Jusoh, A., Nasir, N. M., Yunos, F. H. M., Jusoh, H. H. W., & Lam, S. S. (2020, January). Green technology in treating aquaculture wastewater. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2197, No. 1). AIP Publishing.
- Lin, Y. F., Jing, S. R., Lee, D. Y., Chang, Y. F., Chen, Y. M., & Shih, K. C. (2005). Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environmental Pollution*, 134(3), 411-421.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C., Heinsbroek, L. T., Schneider, O., Blancheton, J. P., & Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural engineering*, 43(3), 83-93.
- Nguyễn Hoàng Vinh, Nguyễn Thị Ngọc Anh và Trần Ngọc Hải, 2020. Nghiên cứu khả năng hấp thụ đạm (N) và lân (P) trong nước thải từ nuôi tôm sú thâm canh của rong câu chỉ (*Gracilaria tenuistipitata*) ở các mật độ và chế độ sục khí khác nhau. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 56 (Số chuyên đề: Thủy sản) (2), 59-69.
- Nguyễn Nhứt, 2017. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ tuần hoàn nuôi cá chình bông. TP.HCM.
- Nguyễn Quang Chương, 6/7/2020, Hệ thống lọc tuần hoàn trong NTTS. Báo online Thủy sản. Trang web: <https://thuysanvietnam.com.vn> [Ngày truy cập: 14/7/2023].
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 32(3-4), 379-401.
- Sindilariu, P. D., Brinker, A., & Reiter, R. (2009). Factors influencing the efficiency of constructed wetlands used for the treatment of intensive trout farm effluent. *Ecological Engineering*, 35(5), 711-722.

- Singh, G., & Patidar, S. K. (2018). Microalgae harvesting techniques: A review. *Journal of environmental management*, 217, 499-508.
- Tom, A. P., Jayakumar, J. S., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. A. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 4, 100022.
- Trần Thị Bích Như, Nguyễn Thị Hồng Vân, Trần Thị Bé, Lê Mỹ Phương, 2023. Xây dựng mô hình Aquaponics tại trường Đại học Bạc Liêu, *TNU Journal of Science and Technology*, DOI 228(05): 97 – 104.
- Trần Thị Thanh Nga và Võ Thị Thu Em, 2022. Hệ thống tuần hoàn (RAS) – Xu hướng nuôi trồng thủy sản bền vững, *Tạp chí Khoa học – Trường Đại học Phú Yên*, Số 29, 49-58.
- Trần Thị Tuyết Hoa, Đinh Thị Ngọc Mai, Hồng Mộng Huyền và Nguyễn Thị Ngọc Anh, 2018. Ảnh hưởng của mô hình nuôi kết hợp tôm sú (*Penaeus monodon*) với rong câu (*Gracilaria* sp.) và chế độ cho ăn lên khả năng đề kháng bệnh của tôm. *Tạp chí Khoa học Trường ĐH Cần Thơ*. 54 (Số chuyên đề: Thủy sản) (2), 187-194.
- Trọng Duy, 2020. Bạc Liêu chú trọng nuôi tôm công nghệ cao, Báo online Nhân dân. Trang web: <https://nhandan.vn/>. [Ngày truy cập 25/7/2023].
- Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2014). Sustainable treatment of aquaculture effluents-what can we learn from the past for the future?. *Sustainability*, 6(2), 836-856.
- VASEP (Hiệp hội chế biến và xuất khẩu thủy sản Việt Nam), 01/11/2022. Xuất khẩu thủy sản 10 tháng đầu năm đạt 9,5 tỷ USD. Trang web: <https://vasep.com.vn/>. [Ngày truy cập 25/7/2023].