

Công nghệ Biofloc trong nuôi trồng thủy sản: ứng dụng và thách thức

Lê Thái Hoàng*, Trần Bùi Phúc

Viện Ứng dụng Công nghệ và Phát triển Bền vững, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành,

*lthoang@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Nuôi trồng thủy sản là một ngành kinh tế mũi nhọn tại Việt Nam, đóng vai trò quan trọng trong xuất khẩu và phát triển kinh tế. Tuy nhiên, các vấn đề như ô nhiễm môi trường nước, dịch bệnh, và hiệu suất sử dụng thức ăn thấp đang ảnh hưởng tiêu cực đến sự phát triển bền vững của ngành. Công nghệ Biofloc đã và đang được áp dụng rộng rãi nhờ các lợi ích như cải thiện chất lượng nước, tối ưu hóa hiệu suất sử dụng thức ăn và giảm thiểu dịch bệnh cho vật nuôi. Tuy nhiên, cơ chế hình thành Biofloc và các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình này vẫn chưa được hiểu rõ hoàn toàn. Bài viết này phân tích các mô hình sử dụng Biofloc, cơ chế hình thành và các yếu tố kiểm soát, nhằm đánh giá toàn diện những lợi ích và hạn chế của công nghệ này. Qua đó, các giải pháp được đề xuất nhằm tối ưu hóa ứng dụng Biofloc, góp phần nâng cao giá trị kinh tế và bảo vệ môi trường trong nuôi trồng thủy sản.

Nhận 18/09/2024
Được duyệt 05/03/2025
Công bố 28/04/2025

Từ khóa

Biofloc, nuôi trồng thủy sản, xử lý nước, phát triển bền vững

© 2025 Journal of Science and Technology - NTTU

1 Đặt vấn đề

Công nghệ Biofloc (Biofloc Technology - BFT) là kỹ thuật tạo bông sinh học từ các chất hữu cơ lơ lửng trong nước gồm tảo, động vật nguyên sinh, các vi sinh vật dị dưỡng và được gắn kết với nhau tạo thành khối bông. Chất hữu cơ ô nhiễm trong bể nuôi được chuyển hóa thành Biofloc mang đặc tính vượt trội như một loại men vi sinh có lợi cho động vật thủy sinh (ĐVTS) được sản sinh tại chỗ giàu protein, và khoáng chất [1]. Bên cạnh đó, Biofloc cũng cho thấy khả năng cải thiện chất lượng và tiết kiệm nước trong hệ thống ao nuôi, tạo điều kiện cho việc nâng cao sinh khối ĐVTS.

Hiện nay, công nghệ Biofloc được ứng dụng thành công trong nuôi trồng nhiều loại thủy sản khác nhau như cá rô phi, cá hồng, tôm thẻ chân trắng, và cá trê. Hệ thống nuôi cá rô phi (*Oreochromis niloticus*) trong bể chứa 200 m³ thu được sản lượng cá cao hơn 37 lần so với khi nuôi trong ao không sục khí sử dụng Biofloc [2]. Công nghệ này cũng được áp dụng thành công trong nâng cao hiệu quả kinh tế trong một số trang trại nuôi tôm *Cryphiops caementarius* thương mại tại các nước ở châu Mỹ và châu Á [3].

Tại Việt Nam, mô hình Biofloc được triển khai ở tỉnh Cà Mau năm 2019 cho thấy tỷ lệ sống bình quân của

tôm là 80,29 %; hệ số tiêu tốn thức ăn (FCR) khoảng 1,40. Từ năm 2018 đến năm 2021, hệ thống sử dụng Biofloc được triển khai quy mô thương mại trong dự án hợp tác giữa Việt Nam và Úc (CSIRO) từ nguồn thức ăn dinh dưỡng để làm thức ăn cung cấp ngược lại cho ĐVTS do có hàm lượng đạm cao [4]. Ngoài ra, nhiều địa phương khác tại Việt Nam cũng đã áp dụng mô hình Biofloc và bước đầu mang lại những lợi ích cho ngành nuôi trồng thủy sản (NTTS) như tôm thẻ chân trắng ở Cà Mau, Bạc Liêu, và Ninh Thuận, hay cá chép giống ở Huế, và Bắc Ninh [5]. Hiện nay, Biofloc đang được sử dụng và điều chỉnh cho phù hợp với từng điều kiện cụ thể của địa phương: độ mặn, điều kiện nuôi, thời tiết, cơ sở hạ tầng, công nghệ, và tài chính. Nhiều mô hình nuôi trồng thủy sản khẳng định lợi ích của Biofloc cho kết quả khả quan với tỷ lệ sống ổn định trên 90 % và năng suất tối đa là 46 tấn tôm/ha trong một chu kỳ nuôi [6].

Mặc dù mang lại nhiều hiệu quả thiết thực, việc vận hành công nghệ này vẫn còn tồn tại một số rủi ro thất bại, hoặc hiệu quả chưa như kỳ vọng do những kiến thức và nguyên lý hình thành Biofloc tại các ao nuôi thủy sản vẫn chưa được hiểu rõ. Trong nghiên cứu này, các kiến thức cơ bản và cập nhật về các công nghệ Biofloc như lịch sử hình thành, cơ chế hoạt động, các yếu tố môi trường quan trọng, và các hệ thống Biofloc ứng dụng trong NTTS hiện nay được tổng hợp và phân tích chi tiết. Từ đó, những lợi ích và hạn chế của các hệ thống sử dụng kỹ thuật Biofloc được hiểu rõ và các giải pháp tiềm năng nâng cao hiệu quả và giảm thiểu các hạn chế của kỹ thuật này được thảo luận góp phần mang lại giá trị cao hơn cho ngành NTTS.

2 Công nghệ Biofloc là gì?

Công nghệ Biofloc là một phương pháp NTTS bền vững, chủ yếu được sử dụng trong nuôi tôm và cá, bằng

cách tạo ra một hệ sinh thái tự duy trì trong nước. Trong hệ thống này, vi sinh vật (chủ yếu là vi khuẩn, nấm men, và tảo) được sử dụng để phân hủy chất thải hữu cơ trong môi trường nước, từ đó tạo ra một nguồn thức ăn cho tôm, cá và các sinh vật khác trong bể nuôi.

2.1 Nguyên lý hình thành Biofloc

Biofloc là các bông sinh học của các loài vi sinh vật tự dưỡng, dị dưỡng, tảo, động vật phù du, và các hạt lơ lửng từ thức ăn thừa và chất bài tiết của vật nuôi trong các ao hồ. Các bông sinh học này kết dính lại nhờ vào các yếu tố chính sau: các chất nhầy ngoại bào được tiết ra bởi một số vi sinh vật trong quá trình tăng trưởng, sự tương tác tĩnh điện của các thành phần lơ lửng, và sự hiện diện của các vi sinh vật dạng sợi. Nhiều loài vi sinh vật trong môi trường nước khi gặp điều kiện không thuận lợi gây stress thường tiết ra các chất nhầy ngoại bào dạng polymer (Extracellular polymeric substances, EPS) có vai trò quan trọng trong việc kết dính các tế bào vi sinh vật, vi tảo, động thực vật phù du thành các bông sinh học và duy trì cấu trúc dạng bông trong môi trường nước [7].

Ngoài ra, việc trung hoà các điện tích âm trên màng ngoài tế bào các vi sinh vật nhằm làm giảm các lực đẩy tĩnh điện giữa các tế bào giúp chúng dễ dàng tiếp cận gần nhau và thúc đẩy việc kết các tế bào vi sinh vật thành các Biofloc trong môi trường nước. Một số chất bổ sung giúp trung hoà điện tích trên màng tế bào và đóng vai trò cấu trúc trung gian gắn kết các thành phần của Biofloc đã được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây bao gồm các muối vô cơ của nhôm (AlCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, sắt (FeCl_2 , FeSO_4), và các polymer có nguồn gốc tự nhiên như chitosan [8].

Trong một cơ chế khác, sự hình thành các bông sinh học trong môi trường nuôi trồng thủy sản còn được thúc đẩy bởi sự hiện diện của nhiều loài vi sinh vật dạng sợi. Cấu



trúc dạng sợi của tế bào và các lông mao của những loài vi nấm dạng sợi như *Aspergillus* và *Penicillium* được chứng minh là đóng vai trò như các dây tua thúc đẩy sự hình thành và tăng kích thước các bông sinh học [9].

2.2 Sự tương tác của vi sinh vật trong Biofloc

Vi sinh vật đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống Biofloc không chỉ giúp duy trì, cải thiện chất lượng nước, giảm mầm bệnh mà còn là nguồn dinh dưỡng tại chỗ cho các động vật thủy sinh. Các sinh vật tự dưỡng (vi tảo), hóa tự dưỡng (vi khuẩn nitrat hóa) và dị dưỡng (nấm, động vật phù du như luân trùng, chân chèo và giun tròn) là các sinh vật phổ biến trong hệ thống Biofloc [10]. Vi khuẩn sử dụng chất hữu cơ hòa tan, và được các động vật nguyên sinh tiêu thụ, sau đó làm nguồn dinh dưỡng cho các sinh vật khác trong hệ thống. Tùy vào chức năng của từng loại mà vi sinh vật có thể thực hiện các chức năng như: loại bỏ các hợp chất nitơ vô cơ, cải thiện chất lượng nước; và tạo nguồn thức ăn bổ sung cho ĐVTS. Sự đa dạng của vi sinh vật cũng thay đổi tùy theo lượng nguồn carbon bổ sung, loại vật nuôi, mật độ thả, tính chất nguồn nước, độ mặn, tỷ lệ C/N, tốc độ sục khí, cường độ ánh sáng và tổng chất rắn lơ lửng. Tùy vào thành phần dinh dưỡng và cộng đồng vi sinh vật, hệ vi sinh vật có thể thúc đẩy hoặc gây cản trở cho các quá trình sinh học loại bỏ ô nhiễm hữu cơ diễn ra trong môi trường nước [10].

2.2.1 Tương tác hỗ trợ

Trong quá trình tạo thành Biofloc, cộng đồng các sinh vật thủy sinh bao gồm tảo, động vật phù du và vi khuẩn tương tác với nhau theo nhiều cách khác nhau. Sự hiện diện các vi khuẩn giúp đẩy nhanh quá trình hình thành khối Biofloc như vi khuẩn *Halomonas* sp., *Vibrio* sp., *Bacillus* sp., *Providencia* sp., *Nitratireductor* sp. và *Pseudoalteromonas* sp. [11]. Các loài tảo có chứa các

Bảng 1 Các phương pháp tạo Biofloc phổ biến trong NTTS

axit amin và axit béo không bão hòa cao, là nguồn dinh dưỡng có lợi cho sự tăng trưởng của các loài thủy sản. Các Biofloc có chứa vi khuẩn *Actinobacteria* có thể giúp giảm mầm bệnh cho thủy sản [12]. Như vậy, sự đa dạng sinh học trong các bông Biofloc giúp sự tương quan và cân bằng dinh dưỡng trong môi trường và nhờ đó cải thiện chất lượng nước trong các ao hồ, tạo môi trường tự nhiên an toàn cho sự phát triển của các loài thủy sinh.

2.2.2 Tương tác đối kháng

Bên cạnh nhóm vi sinh và thực vật phù du có lợi thì trong ao nuôi khả năng tồn tại những nhóm sinh vật có hại cho Biofloc. Ví dụ, nhóm vi khuẩn lam (*Cyanobacteria*) gây trở ngại cho hệ thống Biofloc do giá trị dinh dưỡng thấp và khả năng sản xuất độc tố của chúng. Ngoài ra, sự phát triển của một số giống tảo như *Cochlodinium* sp., *Kryptoperidinium foliaceum*, *Noctiluca scintillans*, *Heterosigma akashiwo*, *Pyrodinium bahamense*, *Ostreopsis* sp. và vi khuẩn lam *Trichodesmium erythraeum* dẫn đến sự tiết ra các độc tố gây hiện tượng cá chết hàng loạt ở vịnh Lampung, Indonesia, ở biển Đỏ [13]. Gần đây, ngành nuôi trồng thủy sản tại Trung Quốc cũng chịu nhiều thiệt hại do sự có mặt của một số loài tảo có hại như *Dinoflagellates*, *Raphidophytes*, *Haptophytes* gây chết tôm cá [14]. Vì vậy, việc theo dõi và kiểm soát các điều kiện môi trường hình thành Biofloc đóng vai trò quan trọng nhằm hạn chế các loài sinh vật có hại và kích thích các loài sinh vật có lợi cho sức khỏe hệ sinh thái và môi trường NTTS.

2.3 Các phương pháp tạo Biofloc

Hiện nay, ba phương pháp chính để tạo thành công Biofloc trong hệ thống ao nuôi thủy sản bao gồm: phương pháp bổ sung nguồn carbon, phương pháp cấy vi sinh, và phương pháp pha trộn vi sinh được trình bày ở Bảng 1.

Phương pháp	Đặc điểm	Ưu điểm	Nhược điểm
Bổ sung carbon [15]	Tỷ lệ C/N từ 12 đến 15. Nguồn carbon: mật rỉ đường, cám bắp, bột mì	Hiệu quả cải thiện chất lượng nước cao	Cần nhiều thời gian để Biofloc hình thành
Cấy vi sinh [16]	Bổ sung các lợi khuẩn nhằm tăng cường mật độ vi sinh	Tiết kiệm thời gian tạo ra Biofloc	Cần nhiều bước nuôi cấy trung gian
Pha trộn với vi sinh vật [17]	Các chủng lợi khuẩn, vi tảo được bổ sung để thúc đẩy hình thành Biofloc.	Thúc đẩy sự phát triển của thủy sản, ức chế các mầm bệnh	Cần pha trộn với tỉ lệ phù hợp các loài vi sinh vật

2.4 Lợi ích của Biofloc trong NTTS

2.4.1 Cải thiện chất lượng nước ao nuôi

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh Biofloc có thể làm giảm đáng kể nồng độ khí độc ammoniac và nitrit tích lũy trong nước. Gần đây, việc ứng dụng công nghệ Biofloc trong nuôi cá rô phi cũng giảm tác động đến môi trường nhờ vào khả năng giảm đáng kể chất thải N và P thải ra môi trường, và giảm 40 % lượng nước sử dụng so với hệ thống NTTS truyền thống [18]. Hệ thống sử dụng Biofloc nhờ có chứa đa dạng hệ vi sinh vật, và vi tảo, nên kích thích sự cộng sinh đa loài trong môi trường nước. Do đó, các bông sinh học này thúc đẩy nhanh hơn quá trình đồng hóa các chất thải hữu cơ ô nhiễm, giúp cải thiện môi trường, chất lượng nước, hạn chế việc thay nước và ảnh hưởng đến môi trường, góp phần nâng cao năng suất và tạo tính bền vững cho ngành NTTS.

Bảng 2 Các thông số chất lượng nước trong nuôi tôm bằng hai phương pháp khác nhau [19]

Các chỉ tiêu	Điều kiện nuôi	
	Ao thường	Biofloc
Chủng vật nuôi	<i>Penaeus vannamei</i> (PL 15)	
Diện tích ao (ha)	0,12	
Mật độ thả/lần (con/m ²)	60	
Thời gian nuôi (ngày)	120	
Trọng lượng (g/con)	0,015	

Mật rỉ đường:Đường: Lúa mì	8:1:1	
Tỷ lệ C/N	15:1	
Nồng độ oxy hòa tan (DO) (mg/L)	4,7	5,3
pH	7,6	8,5
Tổng nitơ amonia, TAN (mg/L)	1,5	0,7
Nitrit, NO ₂ (mg/L)	0,037	0,02
Amonia, NH ₃ (mg/L)	0,25	0,05
Nitrat, NO ₃ (mg/L)	2	1
Alkinity (mg/L)	178	162
Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) (mg/L)	350	630
Survival (%)	81	92
Tổng vi khuẩn dị đường (CFU/mL)	3,5 × 10 ⁻³ 4,4 × 10 ⁷	4,8 × 10 ⁻³ 5,2 × 10 ⁷

Bảng 2 thể hiện sự so sánh các thông số chất lượng nước trong ao nuôi tôm giữa phương pháp truyền thống, và phương pháp Biofloc, được báo cáo trong nghiên cứu gần đây [19]. Trong hệ thống sử dụng Biofloc, tổng số lượng vi sinh vật dị dưỡng tăng cao đi cùng với sự giảm nồng độ tổng nitơ amonia, nitrit, nitrat so với ao đối chứng. Các vi sinh vật có lợi phát triển trong Biofloc đã tiêu thụ nitơ vô cơ độc hại và chuyển hóa thành protein hữu ích, làm thức ăn có sẵn tại chỗ cho tôm nuôi.

2.4.2 Nguồn thức ăn dinh dưỡng cho thủy sản

Biofloc có chứa hàm lượng dinh dưỡng protein và lipid tương đối cao nên được tận dụng làm nguồn thức ăn tự nhiên cho thủy sản. Tỷ lệ thức ăn nhân tạo và sinh khối Biofloc 1:1 cho kết quả tăng trưởng cao ở cá rô phi (*Labeo rohita*) [20]. Khi thay 25 % thức ăn nhân tạo bằng sinh khối Biofloc, hiệu suất nuôi cá rô phi sông Nile (*Oreochromis niloticus*) cũng đạt giá trị tốt nhất. Một số nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng sinh khối Biofloc có thể được coi là một giải pháp sinh học đầy hứa hẹn nhằm thay thế lượng protein trong thức ăn thủy

sản hàng ngày, và tỷ lệ giảm thức ăn có thể đạt được khoảng (30-50) %. Giá trị dinh dưỡng trong các hệ thống Biofloc nghiên cứu không đồng bộ với nhau, điều này có thể do ảnh hưởng địa lý, giống vật nuôi, nguồn thức ăn bổ sung (chất lượng và kích thước), tỷ lệ C/N sử dụng, khả năng tiêu hóa của các sinh vật nuôi cấy (độ tuổi) và kỹ thuật Biofloc áp dụng khác nhau. Bảng 3 trình bày thành phần dinh dưỡng của một số hệ thống Biofloc của một số các nghiên cứu được thực hiện trên các loài thủy sinh khác nhau [21].

Bảng 3 Tỷ lệ phần trăm các thành phần hóa học của Biofloc trong một số hệ thống khác nhau. “-” không biểu thị trong tài liệu tham khảo.

STT	Thành phần hóa học	[22] (Muthusamy, 2015)	[21] (Lee, 2017)	[23] (Sousa, 2021)
1	Protein thô (%)	45,98	28,7	387
2	Lipit thô (%)	-	2,3	72,6
3	Tro thô (%)	22,53	43	118
4	Xơ thô (%)	12,92	-	-
5	Zn (mg/kg)	146,2	521,8	-
6	Al (mg/kg)	-	287,8	-
7	Mn (mg/kg)	-	180,7	-
8	Fe(mg/kg)	4417,33	146,9	-
9	Cu (mg/kg)	-	34	-
10	Carbon (%)	30,92	-	-
11	Calcium (mg/kg)	23,9	-	-
12	Sodium (mg/kg)	16,52	-	-
13	Mg (mg/kg)	7315	-	-

2.4.3 Tăng sức đề kháng cho thủy sản

Biofloc có thể được tạo thành cùng với các vi sinh vật có lợi (probiotic bacteria) được bổ sung vào ao nuôi nhằm duy trì hệ vi sinh vật có lợi trong ao nuôi, từ đó giúp thủy sản nâng cao khả năng hoạt động của các enzym tiêu hóa. Khi đó, Biofloc cũng có thể đóng vai

trò là chế phẩm sinh học, giúp nâng cao hệ thống miễn dịch và ngăn ngừa bùng phát dịch bệnh. Ngoài ra, sự hiện diện các vi khuẩn có lợi còn ức chế sự phát triển của những vi khuẩn gây bệnh thủy sản trong môi trường nuôi. Hơn nữa, việc tiêu thụ Biofloc của các ĐVTS có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc giải phóng các chất

biển đường từ vi sinh vật, nâng cao khả năng miễn dịch của chúng, đồng thời là nguồn cung các giống ĐVTS chất lượng cao [24].

2.5 Ứng dụng công nghệ Biofloc trong NTTS tại Việt Nam

Tỉnh Cà Mau đã áp dụng công nghệ Biofloc vào việc nuôi tôm mang lại nhiều kết quả khả quan, đạt $(5\,246 \pm 1\,401)$ kg/ha/vụ và (551 ± 342) triệu đồng/ha/vụ [25]. Mô hình nuôi tôm thẻ chân trắng theo quy trình Biofloc với nguồn carbon cám gạo tại tỉnh Bến Tre cho năng suất cao gấp 1,63 lần so với phương pháp nuôi truyền thống, với năng suất trung bình 9,32 tấn/ha, lợi nhuận cao gấp 3,16 lần là (403 ± 188) triệu đồng/ha/vụ. Hệ thống sử dụng Biofloc được chứng minh thúc đẩy sự tăng trưởng và tỷ lệ sống của một số loài cá nước ngọt như cá rô phi và cá chép tốt hơn so với nghiệm thức không sử dụng Biofloc [5]. Ngoài ra, khi sử dụng công nghệ Biofloc kết hợp thức ăn có độ đậm 44 % trong nuôi cá mú lai thì tốc độ sinh trưởng và tỷ lệ sống cao, với hệ số chuyển hóa thức ăn thấp hơn khi so với điều kiện không áp dụng công nghệ Bioflocs (mật độ 50 con/m³). Gần đây tỉnh Cần Thơ cũng áp dụng thành công quy trình công nghệ Biofloc trong nuôi cá kèo *Pseudapocryptes elongatus* với mật độ 200 con/m³, tỷ lệ sống và sinh khối cá lần lượt là 91,0 % và 2,6 kg/m³ [27]. Mô hình Biofloc cũng được áp dụng trong nuôi cá rô phi ở miền Bắc Việt Nam và cho năng suất tăng trưởng cao hơn từ 20 % đến 30 % [5]. Hệ thống thử nghiệm Biofloc quy mô thương mại trong dự án của hợp tác giữa Việt Nam và Úc (CSIRO) từ năm 2018 đến năm 2021 cho kết quả khả quan với tỷ lệ sống ổn định trên 90 % và năng suất tối đa là 46 tấn tôm/ha trong một chu kỳ nuôi [6].

3 Các yếu tố ảnh hưởng lên quá trình tạo Biofloc

3.1 Thức ăn bổ sung

Thức ăn là một yếu tố quan trọng cần kiểm soát vì nó thường chiếm khoảng 50 % trong chi phí vận hành sản xuất mà thông thường sinh vật chỉ hấp thụ được khoảng (20-30) % lượng protein có trong thức ăn. Các loại thức ăn bổ sung thường được sử dụng như các loại đường (glucose, fructose, sucrose), tinh bột (bột ngô, bột gạo), chất béo (dầu thực vật, mỡ động vật), protein (bột cá, bột đậu nành), vitamin và khoáng chất, chất kích thích sinh trưởng (enzyme, probiotics). Trong hệ thống sử dụng Biofloc, lượng thức ăn cung cấp hàng ngày cho cá chép giống giảm 25 % và từ 15 % đến 30 % đối với cá rô phi sông Nile mà không gây ảnh hưởng đến các chỉ số tăng trưởng của chúng [28]. Loài tôm hồng *Farfantepenaeus brasiliensis* PL25 có thể sử dụng thức ăn có sẵn giàu hàm lượng protein thô cao (30,4 %) trong Biofloc và đã thúc đẩy sự tăng trưởng và nâng cao sản xuất của giống tôm hồng [29].

3.2 Nguồn carbon

Các nguồn carbon khi bổ sung vào hệ thống sẽ kích thích sự phát triển hệ vi sinh vật sẵn có trong ao nuôi thúc đẩy sự hình thành Biofloc. Các nguồn carbon với tốc độ hòa tan khác nhau cũng ảnh hưởng đến việc chuyển hóa ammonia bởi hệ vi sinh vật nitrat hoá. Tuy nhiên, khi quá trình nitrat hóa bằng vi sinh vật được ổn định, việc bổ sung carbon cần được điều chỉnh để tránh dư thừa, giảm hiệu quả của hệ thống Biofloc. Nếu bổ sung quá nhiều carbon hữu cơ có thể dẫn đến tăng nhanh lượng chất rắn lắng, tổng chất rắn lơ lửng, chất rắn lơ lửng dễ bay hơi và độ đục của nước, giảm oxy hòa tan.

Các carbohydrate như cám gạo, đường, mật ri đường, tinh bột, glycerol thường được sử dụng phổ biến bổ sung vào hệ thống Biofloc. Báo cáo của Rocha và cộng sự cho thấy mật ri đường góp phần duy trì tốt chất lượng nước trong ao, giúp tiết kiệm khoảng 80 % lượng



nước tiêu thụ [30]. So với cám gạo và lúa mì, mật rỉ đường được hấp thụ bởi vi sinh vật dễ hơn, do đó đẩy nhanh sự phát triển của cộng đồng vi sinh vật hiếu khí, giúp quá trình chuyển hóa nồng độ amonia nhanh hơn, từ đó cải thiện chất lượng nước tốt hơn. Ngoài ra, khoai lang cũng được sử dụng để làm thức ăn trong nuôi tôm thẻ chân trắng cho kết quả tỉ lệ sống ($72,2 \pm 11,0$ %), tốc độ tăng trưởng ($3,9 \pm 0,02$ %/ngày, sinh khối ($2,7 \pm 0,4$) kg/m³, với thành phần sinh hóa và chất lượng của tôm không khác so với nghiệm thức đối chứng [31].

3.3 Tỉ lệ C/N

Tỷ lệ giữa carbon và nitơ (C/N) đóng một vai trò quan trọng trong sự hình thành Biofloc bởi vì sự cân bằng sinh dưỡng của cộng đồng vi sinh vật. Tỷ lệ C/N khuyến nghị được sử dụng trong hệ thống Biofloc dao động với mức khoảng từ 10/1 đến 20/1. Sự tăng trưởng, tỷ lệ sống và khả năng kháng bệnh của tôm thẻ chân trắng *Litopenaeus vannamei* đạt giá trị cao trong báo cáo của Panigrahi năm 2018 với tỉ lệ C/N là 15/1 [32]. Trong một nghiên cứu khác, tỉ lệ C/N là 10/1 với chế phẩm sinh học men vi sinh *B. subtilis* cho giá trị cao nhất về hiệu suất tăng trưởng và cải thiện rõ rệt trong việc sử dụng thức ăn so với nhóm đối chứng trong nuôi cá rô phi. Trong khi đó, khi cá chép được nuôi trong hệ thống Biofloc tỉ lệ C/N là 20/1 cho kết quả cao với các thông số miễn dịch, biểu hiện gen liên quan đến miễn dịch và phản ứng kỹ thuật của động vật [33]. Những khác biệt này có thể là do sự khác biệt về chủng loài, nguồn carbon sử dụng, tỷ lệ C/N, môi trường và phương pháp nuôi dưỡng của Biofloc.

3.4 Độ kiềm, độ pH, và sục khí

Trong hệ thống sử dụng Biofloc, độ pH từ 7 đến 9 và độ kiềm khoảng (100-150) mg CaCO₃ hoặc Na₂CO₃ được chứng minh là khoảng giá trị thích hợp để duy trì các bông sinh học và chất lượng nước ao nuôi. Thông

số pH và độ kiềm giúp kiểm soát ảnh hưởng của hoạt động chuyển hóa amonia trong nước đến trọng lượng, tỷ lệ sống, tốc độ tăng trưởng hàng ngày và tỷ lệ chuyển đổi thức ăn của sinh vật. Hệ thống Biofloc cần được khuấy và cung cấp oxy mạnh liên tục để giữ cho các bông vi sinh ở trạng thái lơ lửng và thúc đẩy quá trình chuyển hóa ammonia thành nitrit và nitrat. Tuy nhiên, sục khí quá mức có thể làm giảm sự kết bông hoặc làm vỡ các bông Biofloc, dẫn đến suy giảm hiệu quả xử lý nước của hệ thống Biofloc [34].

3.5 Cộng đồng vi sinh vật trong Biofloc

Cộng đồng vi khuẩn trong Biofloc chịu trách nhiệm chính trong việc cải thiện chất lượng nước qua quá trình đồng hóa amonia độc hại thành dạng nitrit và nitrat ít độc hơn. Trong hệ thống Biofloc, sự tích lũy chất dinh dưỡng và sự phát triển chiếm ưu thế của vi khuẩn dị dưỡng xảy ra ở giai đoạn cuối của quá trình hình thành Biofloc, gây nên sự chuyển màu của Biofloc từ màu xanh lục (do có nhiều tảo) sang màu nâu (do có nhiều vi khuẩn dị dưỡng). Mật độ vi sinh vật trong môi trường nuôi áp dụng Biofloc có thể dao động từ (10^6 đến 10^9) tế bào/mL. Một Biofloc được gọi là hoàn chỉnh khi số lượng vi khuẩn dị dưỡng là $3,36 \times 10^7$ tế bào/mL [35].

3.6 Ánh sáng

Ánh sáng là yếu tố thúc đẩy sự phát triển của các vi tảo và thực vật phù du thông qua quá trình quang hợp. Những loài này đóng vai trò quan trọng trong mối quan hệ cộng sinh với hệ vi khuẩn dị dưỡng trong Biofloc và nâng cao nồng độ oxy hoà tan trong nước. Trong một nghiên cứu gần đây bởi Lopez-Betancur và cộng sự, hệ thống sử dụng Biofloc trong nuôi cá rô phi (*Oreochromis niloticus*) cho thấy, so với mẫu đối chứng sử dụng ánh sáng tự nhiên thì nhóm ánh sáng màu đỏ có bước sóng cực đại 627,27 nm cho thấy tốc độ tăng trưởng tốt nhất, tỷ lệ sống cao nhất và hàm

lượng lipid cao nhất [36]. Trong khi đó nhóm có ánh sáng màu lam ở bước sóng 451,67 nm cho hàm lượng lipid thấp nhất, nhưng mức độ protein cao nhất.

4 Những thách thức của công nghệ Biofloc ứng dụng trong NTTS

4.1 Những khó khăn khi áp dụng rộng rãi

Với các loài tôm như tôm thẻ chân trắng, tôm hồng và cá rô phi, cá chép thì đặc điểm sinh lý của chúng tương thích các đặc điểm của hệ thống sử dụng Biofloc. Nhưng với các loài như cá da trơn và cá vược sọc lai hay tôm sú và tôm nước ngọt khổng lồ lại không phù hợp với mô hình này do nồng độ chất rắn lơ lửng cao trong ao nuôi [37]. Ngoài ra, hệ thống Biofloc đòi hỏi khoảng chi phí đầu tư ban đầu lớn từ khâu xây dựng hệ thống nuôi đến vận hành. Trong đó, chi phí cho năng lượng liên quan đến đảm bảo sục khí cao và liên tục

cho hệ thống cũng là một trở ngại khi việc áp dụng mô hình Biofloc vào thực tế.

Tuy công nghệ Biofloc đang được ứng dụng rộng rãi trong NTTS, hiện nay vẫn còn nhiều vấn đề chưa được sáng tỏ. Sự biến động liên tục của chất lượng nước do sự ảnh hưởng từ cường độ ánh sáng, sự phát triển của tảo, và nhiệt độ môi trường làm cho tính bền vững của hệ thống không cố định. Bên cạnh đó, để có thể ứng dụng thành công hệ thống này, con người vận hành cần phải được đào tạo và nắm vững những kiến thức đầy đủ về các hệ thống Biofloc.

4.2 Yêu cầu về kỹ thuật và vận hành

Trong quá trình vận hành hệ thống Biofloc, các thông số kỹ thuật và vận hành của hệ thống (Bảng 4) cần được đo đạc và điều chỉnh phù hợp nhằm đảm bảo môi trường nuôi ổn định, giúp ĐVTS phát triển khỏe mạnh và đạt hiệu quả kinh tế cao.

Bảng 4 Các thông số vận hành công nghệ Biofloc nuôi ĐVTS thành công [38]

Thông số	Giá trị tối ưu	Biện pháp kiểm soát
Thức ăn	Thức ăn công nghiệp, protein > 42 %	Kiểm tra thức ăn thừa, điều chỉnh lượng cho ăn
Oxy hòa tan, DO (mg/L)	> 4	Sục khí, tăng cường máy quạt nước
pH	6,8-8,0	Bổ sung vôi (pH < 7,2), bổ sung vi khuẩn Biofloc + carbon (pH > 8,5)
Nhiệt độ (°C)	28-30	Điều chỉnh hệ thống sưởi/làm mát
Độ kiềm (mg/L)	80-120	Bổ sung vi khuẩn Biofloc + carbon (độ kiềm > 200 mg/L)
Tổng nitơ ammonia, TAN (mg/L)	< 1	Thay nước, tăng cường sục khí
Nitrit, NO ₂ (mg/L)	< 1	Thay nước, tăng cường sục khí, bổ sung vi khuẩn nitrat hóa
Nitrat, NO ₃ (mg/L)	0,5-20	Điều chỉnh lượng thức ăn, tăng cường sục khí
Tỷ lệ N/P	20/1	Bổ sung (NH ₄) ₂ SO ₄ (tăng N), CaCO ₃ hoặc Zeolit (giảm P)
Màu sắc hệ thống	Nâu nhẹ, lơ lửng	Điều chỉnh lượng carbon
Chỉ số thể tích bùn, FVI (ml/L)	0,5-15	Xả bớt bùn (khi FVI > 15 ml/L)
Tảo	Không bùng phát	Bổ sung chế phẩm sinh học
Tỷ lệ C/N	12-15/1	Bổ sung carbon định kỳ

Vì sinh vật	<i>Bacillus sp., Nitrosomonas, Nitrobacteria</i>	Bổ sung chế phẩm sinh học
--------------------	--	---------------------------

5 Kết luận

Mặc dù NTTS là một trong những ngành nghề quan trọng định hướng phát triển ở Việt Nam và một số nước trên thế giới nhằm góp phần đảm bảo an ninh lương thực trong bối cảnh biến đổi khí hậu, ngành đang phải đối mặt với nhiều thách thức liên quan đến sử dụng nhiều tài nguyên nước, đất, và gây ô nhiễm môi trường. Công nghệ Biofloc là một giải pháp nhiều tiềm năng để ứng dụng vào nuôi trồng thủy sản nhằm khắc phục những vấn đề môi trường đáp ứng các tiêu chí phát triển nông nghiệp bền vững. Ưu điểm của công nghệ Biofloc là cải thiện chất lượng nước, nâng cao hiệu suất sử dụng thức ăn, giảm thiểu mầm bệnh, tăng sức đề kháng, nâng cao tăng trưởng và tỷ lệ sống vật nuôi. Tuy nhiên, nông dân cần được đào tạo kiến thức một cách vững vàng và

áp dụng những kinh nghiệm thành công của hệ thống Biofloc vào thực tiễn.

Công nghệ Biofloc mang lại nhiều lợi ích cho ngành NTTS, bao gồm cải thiện chất lượng nước, giảm chi phí thức ăn và tăng cường sức đề kháng cho vật nuôi. Tuy nhiên, việc áp dụng Biofloc đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về cơ chế vận hành và các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến hệ thống. Để tối ưu hóa hiệu quả của Biofloc, cần có các nghiên cứu sâu hơn về cơ chế sinh học, cũng như các chính sách hỗ trợ tài chính và đào tạo kỹ thuật cho người nuôi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Quỹ phát triển Khoa học và Công nghệ – Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, mã số đề tài 2025.01.137/HĐ-KHCN

Tài liệu tham khảo

1. Khanjani, M. H., & Sharifinia, M. (2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1836-1850.
2. Rakocy, J. E., Danaher, J. J., Bailey, D. S., & Shultz, R. C. (2008). Development of a Biofloc System for the Production of Tilapia. *Aquaculture*, 277, 138-145.
3. Emerenciano, M. G. C., Miranda-Baeza, A., Martínez-Porchas, M., Poli, M. A., & Vieira, F. do N. (2021). Biofloc technology (BFT) in shrimp farming: past and present shaping the future. *Frontiers in Marine Science*, 1879.
4. Liu, H., Li, H., Wei, H., Zhu, X., Han, D., Jin, J., ... Xie, S. (2019). Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture*, 506, 256-269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.031>
5. Khoa, Đ. Đ., Hải, N. Đ., Bình, T. T., & Vạn, K. V. (2023). Thử nghiệm ương cá chép giống (*Cyprinus carpio*) bằng công nghệ Biofloc ở các mật độ khác nhau. *TNU Journal of Science and Technology*, 228(01), 92-99.
6. Emerenciano, M. G. C., Arnold, S., Perrin, T., Little, B., Cowley, J. A., & Rahman, A. (2022). Collaboration Drives Innovations in Super-Intensive Indoor Shrimp Farming, Part 2. *Glob. Seaf. Alliance's (GSA)*.

7. Liu, Y.-Q., Liu, Y., & Tay, J.-H. (2004). The effects of extracellular polymeric substances on the formation and stability of biogranules. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65(2), 143-148. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1657-8>
8. Rossi, S., Visigalli, S., Castillo Cascino, F., Mantovani, M., Mezzanotte, V., Parati, K., ... Ficara, E. (2021). Metal-based flocculation to harvest microalgae: a look beyond separation efficiency. *Science of The Total Environment*, 799, 149395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149395>
9. Khanjani, M. H., Mohammadi, A., & Emerenciano, M. G. C. (2022). Microorganisms in biofloc aquaculture system. *Aquaculture Reports*, 26, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101300>
11. Kasan, N. A., Ghazali, N. A., Ikhwanuddin, M., & Ibrahim, Z. (2017). Isolation of Potential Bacteria as Inoculum for Biofloc Formation in Pacific Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture Ponds. *Pakistan Journal of Biological Sciences : PJBS*, 20(6), 306-313. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2017.306.313>
12. Liu, H., Li, H., Wei, H., Zhu, X., Han, D., Jin, J., ... Xie, S. (2019). Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture*, 506, 256-269. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.031>
13. Gokul, E. A., Raitos, D. E., Gittings, J. A., & Hoteit, I. (2020). Developing an Atlas of harmful algal blooms in the Red Sea: Linkages to local aquaculture. *Remote Sensing*, 12(22), 3695.
14. Gu, H., Wu, Y., Lü, S., Lu, D., Tang, Y. Z., & Qi, Y. (2022). Emerging harmful algal bloom species over the last four decades in China. *Harmful Algae*, 111, 102059. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102059>
15. Khanjani, M. H., Sajjadi, M. M., Alizadeh, M., & Sourinejad, I. (2017). Nursery performance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) cultivated in a biofloc system: the effect of adding different carbon sources. *Aquaculture Research*, 48(4), 1491-1501.
16. Zemor, J. C., Wasielesky, W., Fóes, G. K., & Poersch, L. H. (2019). The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 85, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.001>
17. Liu, G., Zhu, S., Liu, D., Guo, X., & Ye, Z. (2017). Effects of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status, and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. *Fish & Shellfish Immunology*, 67, 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.05.038>
18. Liang, W., Luo, G., Tan, H., Ma, N., Zhang, N., & Li, L. (2014). Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. *Aquacultural Engineering*, 59, 41-47.
19. Kumar, S., Pandey, P., Theivasigamani, A., Govindarajan, R., & Kumar, S. (2018). Biofloc improves water, effluent quality and growth parameters of *Penaeus vannamei* in an intensive culture system. *Journal of Environmental Management*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.015>
20. Mahanand, S. S., Moulick, S., & Srinivasa Rao, P. (2013). Optimum formulation of feed for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), with biofloc as a component. *Aquaculture International*, 21(2), 347-360.
21. Lee, C., Kim, S., Lim, S.-J., & Lee, K.-J. (2017). Supplemental effects of biofloc powder on growth performance, innate immunity, and disease resistance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0059-7>
22. Muthusamy, R., Pandey, P., Aravind, R., Alagarsamy, V., Bharti, V., & Purushothaman, C. (2015). Effect of different biofloc system on water quality, biofloc composition and growth performance in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture Research*, 47. <https://doi.org/10.1111/are.12792>



23. Sousa, A. A., Nora, L., Lopes, D. L. A., Petrolli, T. G., Furlan, V. J. M., Wagner, R., ... Da Silva, A. S. (2021). Vegetable choline in feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised in a biofloc technology system (BFT): Biofloc composition, chemical composition, and fatty acid profiles in meat. *Aquaculture*, 545, 737174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737174>
24. Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., & Wu, F. (2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448, 135-141.
25. Long, N. T. (2016). Phân tích hiệu quả tài chính của mô hình nuôi tôm sú thâm canh ở tỉnh Cà Mau. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, (46 SE-), 89-94. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2016.546>
26. Nhung, V. T. N., Loan, N. T., & Trí, T. M. (2017). Nghiên cứu một số nguồn carbohydrate tạo biofloc để nuôi tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*). *Tạp chí Khoa học*, 14(12), 149.
27. Phú, T. M., & Hải, T. N. (2019). Nghiên cứu nuôi cá kèo (*Pseudapocryptes elongatus*) trong bể với các mật độ khác nhau theo công nghệ biofloc. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 55(4), 97-104.
28. de Holanda Cavalcante, D., dos Santos Lima, F. R., Rebouças, V. T., & e Sá, M. V. do C. (2017). Integration between bioflocs and periphyton in Nile tilapia culture tanks. *Acta Scientiarum. Technology*, 39, 601-607.
29. Emerenciano, M., Ballester, E. L. C., Cavalli, R. O., & Wasielesky, W. (2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*, 43(3), 447-457.
30. da Rocha, A. F., Barbosa, V. M., Wasielesky Jr, W., Abreu, P. C., Lisboa, V., Cavalli, L., & Tesser, M. B. (2022). Water quality and juvenile development of mullet *Mugil liza* in a biofloc system with an additional carbon source: Dextrose, liquid molasses or rice bran? *Aquaculture Research*, 53(3), 870-883.
31. Việt, L. Q., Phú, T. M., & Hải, T. N. (2017). Đánh giá khả năng thay thế thức ăn công nghiệp bằng khoai lang (*Ipomoea batatas*) trong nuôi tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) theo công nghệ biofloc. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, (48 SE-), 27-35. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2017.613>
32. Panigrahi, A., Sundaram, M., Chakrapani, S., Rajasekar, S., Syama Dayal, J., & Chavali, G. (2019). Effect of carbon and nitrogen ratio (C: N) manipulation on the production performance and immunity of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a biofloc-based rearing system. *Aquaculture Research*, 50(1), 29-41.
33. Azimi, A., Shekarabi, S. P. H., Paknejad, H., Harsij, M., Khorshidi, Z., Zolfaghari, M., ... Zakariaee, H. (2022). Various carbon/nitrogen ratios in a biofloc-based rearing system of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings: Effect on growth performance, immune response, and serum biochemistry. *Aquaculture*, 548, 737622.
34. Lara, G., Krummenauer, D., Abreu, P. C., Poersch, L. H., & Wasielesky, W. (2017). The use of different aerators on *Litopenaeus vannamei* biofloc culture system: effects on water quality, shrimp growth and biofloc composition. *Aquaculture International*, 25(1), 147-162.
35. Khanjani, M. H., Alizadeh, M., & Sharifinia, M. (2020). Rearing of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system: The effects of different food sources and salinity levels. *Aquaculture Nutrition*, 26(2), 328-337.
36. Lopez-Betancur, D., Moreno, I., Guerrero-Mendez, C., Gómez-Meléndez, D., Macias P, M. de J., & Olvera-Olvera, C. (2020). Effects of colored light on growth and nutritional composition of tilapia, and biofloc as a food source. *Applied Sciences*, 10(1), 362.

37. Vijayan, K. K., Panigrahi, A., Balasubramanian, C. P., Jayanthi, M., Saraswathy, R., Kannappan, S., ... Otta, S. K. (2019). Biofloc Technology for Nursery and Growout Aquaculture.
38. Emerenciano, M. G. C., Córdova, L. R. M., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In H. Tutu (Ed.), (p. Ch. 5). Rijeka: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/66416>

Biofloc Technology in Aquaculture: Application and Challenges

Le Thai Hoang*, Tran Bui Phuc

Institute of Applied Technology and Sustainable Development, Nguyen Tat Thanh University

*lthoang@ntt.edu.vn

Abstract

Aquaculture is one of Vietnam's key economic sectors, with the goal of becoming a major export industry. However, challenges such as water pollution, disease outbreaks, and low feed efficiency threaten the health of farmed animals, increase production costs, and significantly impact the sustainable development of aquaculture. In recent years, Biofloc technology has been increasingly applied in the aquaculture industry due to numerous benefits, including improved water quality, enhanced feed efficiency, and reduced disease incidence in farmed animals. However, the mechanisms of Biofloc formation and the factors influencing its development in aquaculture ponds remain poorly understood. This study evaluated the current aquaculture systems using Biofloc technology, explored the mechanisms behind Biofloc formation and identified key factors affecting its development. Furthermore, potential solutions to maximize the benefits are discussed in order to enhance economic value and environmental sustainability in the aquaculture industry.

Keywords Biofloc, aquaculture, wastewater, sustainable development