

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ QUY TRÌNH NUÔI CÁ TRÊ VÀNG (*Clarias macrocephalus*) TRONG HỆ THỐNG TUẦN HOÀN KẾT HỢP XỬ LÝ CHẤT THẢI

Nguyễn Thị Hồng Nho^{1*} và Phạm Thanh Liêm²

¹Khoa Nông nghiệp, Tài nguyên và môi trường, Trường Đại học Đồng Tháp, Việt Nam

²Khoa Công nghệ nuôi trồng thủy sản, Trường Thủy sản, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Hồng Nho, nthno@dthu.edu.vn

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 11/12/2024; Ngày nhận chỉnh sửa: 04/02/2025; Ngày duyệt đăng: 05/02/2025

Tóm tắt

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của quy trình nuôi cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) trong hệ thống tuần hoàn (RAS) kết hợp xử lý chất thải. Thí nghiệm được thực hiện trong hệ thống tuần hoàn với thể tích 4 m³ nước nuôi trong thời gian 4 tháng. Cấu phân của RAS bao gồm 4 bể nuôi có thể tích 1 m³/bể được nối với bể lắng xoáy (350L), bể chứa (350L), bể lọc sinh học (2 m³) và bể bèo tai tượng (diện tích bề mặt 2 m²). Cá có khối lượng trung bình 11 gam/con được thả nuôi trong bể với mật độ 1.000 con/m³. Cá được cho ăn 2 lần/ngày bằng thức ăn viên công nghiệp 41% protein. Kết quả nghiên cứu cho thấy, cá trê vàng nuôi trong RAS quy mô 4 m³ thể tích nước nuôi đạt khối lượng 141,0-157,8 g/con, tỉ lệ sống 73,74-88,3 %, năng suất đạt 100,7-141,8 kg/m³ và FCR là 1,02-1,29 sau 120 ngày nuôi. Tăng trưởng về khối lượng (y: tính bằng gram) của cá theo ngày nuôi (x: tính theo ngày) được thể hiện bằng phương trình $y = 1,2397x - 3,4465$ ($R^2 = 0,9697$) với tốc độ tăng trưởng tương đối 2,05%/ngày. Khi cung cấp 1 kg thức ăn (tính trên vật chất khô, chứa 52,2 g N) thì thải ra 19,78% N (chứa 10,32 g N) chất thải rắn và 40,60% N (chứa 21,19 g N) chất thải hòa tan. Bể lọc sinh học xử lý được 32,5% lượng TSS, 3,42% lượng COD, 6,49% lượng PO₄³⁻ và bể bèo xử lý được 24,7% lượng TSS, 0,37% lượng COD, 17,55 % lượng NO₃⁻, 5,34% lượng PO₄³⁻, 12,82% lượng TN của hệ thống nuôi. Lượng nước sử dụng để sản xuất 1 kg cá trê vàng trong RAS là 0,2 m³ nước.

Từ khóa: Bèo tai tượng, cá trê vàng, hệ thống tuần hoàn, xử lý chất thải.

DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.14.2.2025.1483>

Trích dẫn: Nguyễn, T. H. N., & Phạm, T. L. (2025). Đánh giá hiệu quả quy trình nuôi cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) trong hệ thống tuần hoàn kết hợp xử lý chất thải. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 14(2), 111-120. <https://doi.org/10.52714/dthu.14.2.2025.1483>.

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

EVALUATING THE BIGHEAD CATFISH (*Clarias macrocephalus*) EFFICIENCY IN RECIRCULATION SYSTEM COMBINED WITH WASTE TREATMENT

Nguyen Thi Hong Nho^{1*} and Pham Thanh Liem²

¹Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Dong Thap University,
Cao Lanh 870000, Vietnam

²Faculty of Aquaculture Technology, College of Aquaculture and Fisheries,
Can Tho University, Vietnam

*Corresponding author: Nguyen Thi Hong Nho, Email: nthnho@dthu.edu.vn

History article

Received: 11/12/2024; Received in revised form: 04/02/2025; Accepted: 05/02/2025

Abstract

The objective of the study was to evaluate the bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) efficiency in recirculation aquaculture system (RAS) combined with waste treatment. The experiment was carried out in a recirculating aquaculture system with a volume culture tank of 4 m³ for 4 months. The RAS consists of 4 culture tanks with a volume of 1 m³/tank, 350-L swirl separator, 350-L sump tank, 2m³ moving bed biofilm reactor tank and a water lettuce tank (surface area 2 m²). Fish with an average weight of 11 grams/fish are cultured with a density of 1,000 fish/m³. The fish were fed twice a day at ad-libitum rate with 41% protein pellet. The results showed that cultured in the RAS with a scale of 4m³, the fish reached 141.0-157.8 g/fish, survival rate 73.74-88.3%, yield 100.7-141.8 kg/m³ and FCR is 1.02-1.29 after 120 days of culture. Growth in weight (y : in grams) of *Clarias macrocephalus* by day of culture (x : in days) is represented by the equation: $y = 1.2397x - 3.4465$ ($R^2 = 0.9697$) with a special growth rate weight 2.05% / day. In the 1 kg of feed supply (by dry matter, containing 52.2 g N), waste production fecal loss and total suspended solids by made up 19.78% of N (containing 10.32 g N); and non-fecal loss accounting for 40.6% of N (containing 21.19 g N). The moving bed biofilm tank could reduce 32.5% of TSS, 3.42% of COD, 6.49% of PO₄³⁻ and the water lettuce tank could reduce 24.7% of TSS, 0.37% of COD, 17, 55% of NO₃⁻, 5.34% of PO₄³⁻, 12.82% of TN of the RAS. Water use for 1 kg bighead catfish in RAS is 0.2 m³.

Keywords: *Clarias macrocephalus*, recirculating aquaculture system (RAS), water lettuce, waste treatment.

1. Đặt vấn đề

Cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) là loài đặc trưng cho khu hệ cá hạ lưu sông Mê-Kông và khu vực Đông Nam Á. Chúng có đặc điểm dễ nuôi, mau lớn, ít bệnh, sống được trong môi trường nước tù, có thể nuôi ở mật độ cao và cho năng suất cao. Đồng thời cá trê vàng dễ dàng tiêu thụ sản phẩm trên thị trường do chúng có hương vị thơm ngon và giá cả tương đối bình dân (Zidni & cs., 2013). Do đó nhiều hộ đã chuyển từ nông nghiệp sang nuôi trồng thủy sản (NTTS- chiếm 52%), đồng thời những hộ có ao bỏ trống (do nuôi cá tra gặp nhiều khó khăn, thua lỗ-chiếm 48%), đã chuyển sang nuôi cá trê, nhằm góp phần tăng thêm thu nhập, nâng cao cuộc sống gia đình (Phạm, 2014). Điều này đã dẫn đến ô nhiễm môi trường nước do sự hấp thu thức ăn của cá thấp, chỉ khoảng 30% lượng thức ăn sử dụng và dẫn đến sản xuất kém hiệu quả (Avnimelech, 2007; Ekasari, 2009). Sự tích tụ nhanh chóng của thức ăn dư thừa, hợp chất chuyển hóa và độc hại có tác động đến sự xuất hiện của dịch bệnh hoặc cá chết, cuối cùng gây ra tổn thất và các vấn đề ô nhiễm môi trường (Avnimelech, 2007; Crab & cs., 2007; de Schryver & cs., 2008; Ekasari, 2009).

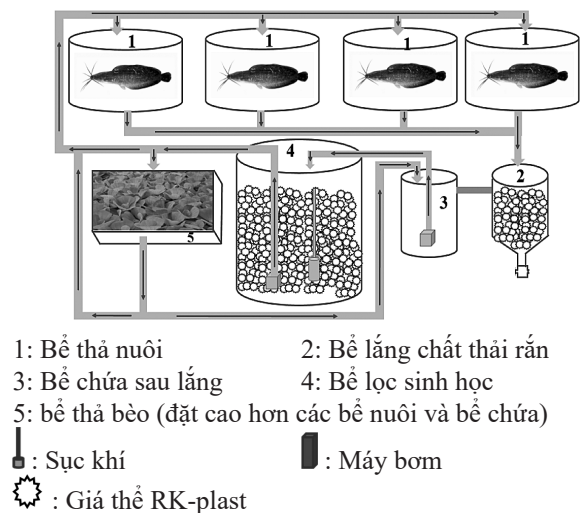
Chất thải trong ngành NTTS phụ thuộc vào loài được nuôi, hệ thống nuôi và môi trường cung cấp nước (Boyd & Queiroz, 2001). Hàm lượng dinh dưỡng trong các ao nuôi cá thâm canh rất cao, một số ao nuôi cá trê ở Châu Phi có nồng độ H_2S là 0,4 mg/L, $N-NH_4^+$ là 1,8 mg/L, NH_3 là 0,5 mg/L và COD là 48 mg/L (Haylor, 1989; Peteri & cs., 1989). Ở Việt Nam, kết quả chất lượng nước nuôi cá trê vàng lai ở mật độ 100-180 con/m² của Đoàn (2008) cho thấy COD dao động từ 79 -106 mg/L, TKN dao động từ 10,72-12,83 mg/L, $PO_4^{3-}-P$ dao động từ 1,03-1,74 mg/L, DO 0,22-0,34 mg/L. Trong khi đó, kết quả nghiên cứu của Srithong & cs. (2015) cho thấy TSS, amoniac và nitrite của hệ thống tuần hoàn nuôi cá trê vàng lai là 62,21-111,65 mg/L, 2,01-3,88 mg-N/L và 1,10-4,50 mg-N/L (lắng tằm tách); 63,90-90,56 mg/L, 1,55-2,86 mg-N/L và 1,02-3,50 mg-N/L (lắng xoáy), thấp hơn so với hệ thống nuôi truyền thống có thay 50% nước mỗi ngày (TSS, amoniac và nitrite lần lượt là 200,73-478,73 mg/L, 5,94-19,46 mg-N/L và 3,23-20,56 mg-N/L). Do vậy, người nuôi đã chuyển từ NTTS truyền thống sang các mô hình NTTS tuần hoàn. Hệ thống NTTS tuần hoàn (RAS) là hệ thống khép kín liên tục lọc và tái sử dụng nước có lợi thế về

giảm lượng nước tiêu thụ, cho phép nuôi cá quy mô lớn với lượng nước nhỏ và chất thải ít hoặc không gây ô nhiễm, giúp cho việc quản lý chất thải, tái sử dụng chất dinh dưỡng, quản lý dịch bệnh tốt hơn) và kiểm soát ô nhiễm sinh học (Zohar & cs., 2005; Tal & cs., 2009). Thiết kế và quản lý RAS hợp lý là cơ sở cho việc quản lý thành công trong xử lý chất thải NTTS. Hiện nay, đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng RAS nuôi cá trê vàng (Nguyễn & cs., 2018, 2019, 2020, 2021, 2022), tuy nhiên chỉ được thực hiện ở các mức thí nghiệm ở các hệ thống bể nuôi 100 lít để tìm ra những thông số cơ bản cho quy trình nuôi. Vì vậy, nghiên cứu “Đánh giá hiệu quả quy trình nuôi cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) trong hệ thống tuần hoàn kết hợp xử lý chất thải” được thực hiện nhằm góp phần xây dựng mô hình nuôi cá trê vàng thương phẩm trong RAS và đánh giá được hiệu quả của quy trình nuôi cá trê vàng trong RAS và hiệu quả xử lý chất thải của RAS nuôi cá trê vàng.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trong RAS với thể tích 4 m³ nước nuôi. Cấu phần của RAS bao gồm 4 bể nuôi có thể tích 1 m³/bể được nối với bể lắng xoáy (350L), bể chứa (350L), bể lọc sinh học (2 m³) và bể bèo tai tượng (diện tích bề mặt 2 m²) (Hình 1). Bể lắng có chứa 70 L giá thể nhựa RK-Plast (để tăng hiệu quả xử lý chất thải rắn) và bể lọc sinh học chứa 800 L giá thể nhựa RK-Plast. Hệ thống tuần hoàn được vận hành trước khi bố trí thí nghiệm 15 ngày để tạo dòng vi khuẩn nitrate hóa trong hệ thống lọc sinh học.



Hình 1. Sơ đồ RAS nuôi cá trê vàng kết hợp thực vật thủy sinh xử lý chất thải

Cá có khối lượng trung bình 11 gam/con được thả nuôi trong bể với mật độ 1.000 con/m³. Các bể nuôi được thả cách nhau 30 ngày để đảm bảo trong tất cả mọi thời điểm luôn có 4 cỡ cá khác nhau trong hệ thống nuôi (Bảng 1). Cá được thả nuôi là những con khỏe mạnh, không dị hình và

không bị xây sát. Cá mới mang về được ngâm trong nước muối 3% trong thời gian 10-15 phút, sau đó thả vào bể nuôi. Bể nuôi mới thả cá phải được cách ly ít nhất 3 ngày, nếu cá không có các biểu hiện bệnh thì mở van để nước từ bể nuôi kết nối vào hệ thống lọc sinh học.

Bảng 1. Ngày thả cá và cỡ cá ước tính trong các bể nuôi khi bắt đầu theo dõi các chỉ tiêu thí nghiệm

Các thông số của thí nghiệm	Bể nuôi 1	Bể nuôi 2	Bể nuôi 3	Bể nuôi 4
Số lượng cá thả (con)	728	870	830	718
Khối lượng ban đầu (g/con)	11,0	31,6	75,5	110,4
Thời gian nuôi tương ứng (ngày nuôi thứ...)	1	30	60	90
Số ngày nuôi thực tế (đến khi thu hoạch)	120	90	60	30
Tổng ngày nuôi (đạt khối lượng thu hoạch)	120	120	120	120

Ghi chú: Số lượng cá thả ban đầu của 4 bể là 1.000 con/m³. Số lượng cá thả trong Bảng 1 là số lượng cá còn lại khi bắt đầu thực hiện theo dõi các chỉ tiêu cả thí nghiệm.

Bèo tai tượng (*Pistia stratiotes*) thí nghiệm được chọn là loại tự nhiên và thu thập từ các vùng ven nội ô thành phố Cần Thơ. Bèo tai tượng được chọn làm giống là những cây phát triển khỏe mạnh, không bị sâu bệnh. Bèo tai tượng được thả trong hệ thống thí nghiệm 2 ngày trước khi thí nghiệm cho quen dần với điều kiện trên bể nhỏ. Bể bèo được đặt bên ngoài trời để có đủ ánh sáng cho quá trình sinh trưởng và phát triển. Định kỳ thu hoạch bèo già (5 ngày/lần) để giảm mật độ khi bèo phát triển đầy diện tích bể thí nghiệm và duy trì sự phát triển liên tục của bèo trong hệ thống thí nghiệm.

2.2. Chăm sóc và quản lý cá nuôi trong RAS

Cá được cho ăn 2 lần/ngày vào buổi sáng (8h) và buổi tối (18h) bằng thức ăn công nghiệp 41% protein (NAFA N41L-độ ẩm 11%) với các kích cỡ thức ăn phù hợp cho cỡ cá ở các bể nuôi. Khi cho ăn, quan sát hoạt động bắt mồi của cá. Cá được cho ăn đến khi hoạt động bắt mồi của cá giảm, cá xuống đáy thì ngưng cho ăn và xác định lượng thức ăn sử dụng. Định kỳ bổ sung NaHCO₃ để duy trì pH trong khoảng 7,5-8,5.

Hàng ngày sục rửa giá thể hạt trong bể lắng, xả hết cặn trong bể lắng và cấp nước bù lại các bể nuôi và bể chứa. Tỷ lệ xả thải và cấp bù nước hàng ngày khoảng 8-10% thể tích nước bể nuôi. Lưu lượng nước tuần hoàn trong RAS ở tốc độ 10-15 L/phút.

2.3. Chỉ tiêu theo dõi

Khi RAS có đủ 4 lứa cá thì bắt đầu theo dõi các chỉ tiêu của thí nghiệm. Các chỉ tiêu theo dõi:

- Theo dõi tăng trưởng, tỉ lệ sống của cá; FCR,

lượng nước sử dụng. Mẫu cá được thu 15 ngày/lần. Cá được thu ngẫu nhiên 30 con/bể nuôi để cân khối lượng và đo chiều dài. Lượng thức ăn cho ăn, lượng nước thay hoặc cấp bổ sung do xả cặn và lượng cá chết được ghi nhận lại hàng ngày trong quá trình chăm sóc cá.

- Theo dõi lượng chất thải bình quân hàng ngày của cá trong hệ thống nuôi, khả năng xử lý chất thải của mô hình nuôi.

+ Các chỉ tiêu môi trường: pH, nhiệt độ, DO, COD, CO₂, độ kiềm, TAN, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, TSS, PO₄³⁻-P, TN, TP được theo dõi trong 10 ngày liên tiếp. Các điểm thu mẫu: Bể lắng (đầu ra của 4 bể nuôi), bể lọc sinh học (đầu vào của bể bèo), đầu ra của bể bèo.

+ Phân cá được thu hàng ngày tại bể lắng và van xả cặn của 4 bể nuôi, sau đó trữ lạnh để phân tích mẫu.

+ Khối lượng bèo tăng lên sau 10 ngày thí nghiệm được thu tại bể bèo.

Các chỉ tiêu chất lượng nước, mẫu phân cá, thức ăn và bèo được thu và phân tích theo APHA & cs. (1995). Mẫu bùn đáy, thức ăn cá và mẫu cá sử dụng phương pháp Kjeldahl sau đó xác định TN và TP bằng phương pháp Indo-phenol blue và Molybden blue. Độ ẩm bùn đáy, thức ăn cá và mẫu cá: sấy ở nhiệt độ 105°C đến khi đạt khối lượng không đổi.

2.4. Công thức tính toán

- Tỷ lệ sống (%) = (số cá thể cuối/số cá thể đầu) * 100

- FCR= tổng khối lượng thức ăn sử dụng/khối lượng cá tăng trọng

- Phương pháp xác định tăng trưởng của cá

$$\text{Tăng trọng: } W_G = W_t - W_0$$

Tốc độ tăng trưởng tương đối (%/ngày):

$$\text{SGRW} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

Trong đó: W_t là khối lượng cá ở thời điểm t ; W_0 : khối lượng cá ở thời điểm đầu, t là thời gian thí nghiệm

- Sự phân hóa sinh trưởng khối lượng của cá được đánh giá qua hệ số biến thiên (CV-Coefficient of Variation)

$$\text{CV (\%)} = [\text{Độ lệch chuẩn (SD) / Khối lượng trung bình}] * 100$$

- Lượng nước sản xuất:

$$\text{Lượng nước sản xuất (m}^3\text{/kg)} = V_{\text{nước sử dụng}} / \text{Tăng trọng}$$

Trong đó: $V_{\text{nước sử dụng}}$ = thể tích nước trong RAS + thể tích nước bổ sung

- Thức ăn thừa (viên nổi trên mặt nước) được thu sau khi cá ngừng ăn, sau đó mang sấy khô đến khối lượng không đổi và cân khối lượng. Lượng thức ăn thừa được tính theo công thức:

$$\text{Lượng thức ăn thừa (g)} = \frac{\text{lượng thức ăn khô thu được}}{1 - \text{độ ẩm của thức ăn}}$$

- Lượng thải chất rắn mỗi ngày:

Lượng chất thải rắn = lượng phân thu từ ống xả của 4 bể nuôi + lượng chất rắn lắng ở bể lắng + TSS * thể tích nước hệ thống nuôi

- Lượng chất thải hòa tan mỗi ngày:

$$\text{Lượng chất thải hòa tan} = \text{TN}_{\text{bể lắng}} * V_{\text{bể nuôi+bể lắng}} + \text{TN}_{\text{bể lọc}} * V_{\text{bể lọc}} + \text{TN}_{\text{bể bèo}} * V_{\text{bể bèo+bể chứa}}$$

- Lượng chất thải (N) ra môi trường hàng ngày:

Lượng chất thải (N) ra môi trường hàng ngày = lượng phân thu từ ống xả của 4 bể nuôi + lượng chất rắn lắng ở bể lắng + $\text{TN}_{\text{bể lắng}} * V_{\text{(nước thải mỗi ngày-V phân)}}$

- Hiệu quả xử lý chất thải

$$\text{Hiệu quả xử lý của bể lọc (\%)} = \frac{\text{lượng chất thải ở bể nuôi} - \text{lượng chất thải ở bể lọc}}{\text{lượng chất thải ở bể nuôi}} * 100$$

Hiệu quả xử lý của bể bèo (%)

$$= \frac{\text{lượng chất thải ở bể lọc} - \text{lượng chất thải ở bể bèo}}{\text{lượng chất thải ở bể lọc}} * 100$$

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu của thí nghiệm được tính toán giá trị trung bình, độ lệch chuẩn bằng phần mềm Microsoft Excel 2016.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các yếu tố môi trường

Các yếu tố môi trường của bể nuôi, bể lọc sinh học, bể bèo được theo dõi trong 10 ngày liên tục được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu môi trường của các bể trong 10 ngày liên tục

Chỉ tiêu	Bể nuôi	Bể lọc	Bể bèo
Nhiệt độ (°C)	28,0±1,00	28,1±1,10	28,7±1,19
pH	7,46±0,07	7,85±0,06	7,67±0,05
DO (mg/L)	2,38±0,11	4,80±0,20	3,18±0,20
CO ₂ (mg/L)	32,6±8,76	26,5±5,28	26,5±4,91
COD (mg/L)	22,2±1,73	21,5±2,84	21,4±2,13
TAN (mg/L)	3,14±0,90	2,97±0,83	3,01±0,93
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,58±0,08	0,43±0,11	0,46±0,09
NO ₃ ⁻ (mg/L)	14,1±4,74	16,6±7,97	13,7±5,05
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	15,4±5,44	14,4±3,29	13,7±2,75
Độ kiềm (mgCaCO ₃ /L)	103,2±30,62	98,6±29,27	100,1±31,7
TSS (mg/L)	16,00±9,63	10,80±3,66	8,20±3,06

Ghi chú: Số liệu trong bảng là trung bình và độ lệch chuẩn.

Kết quả cho thấy nhiệt độ dao động từ 28-28,7°C. Giá trị pH trung bình được ghi nhận tại các bể dao động từ 7,46-7,85. Độ kiềm trong hệ thống dao động từ 98,6-103,2 mg CaCO₃/L, độ kiềm ở bể nuôi có giá trị cao nhất (103,2±30,6 mg CaCO₃/L) và độ kiềm ở bể lọc thấp nhất (98,6±29,3 mg CaCO₃/L). Theo Masser & cs. (1999) yêu cầu pH cho RAS là 7-8 và độ kiềm từ 50 đến 100 mg CaCO₃/L, pH từ 7,0 đến 9,0 tối ưu cho quá trình nitrate hóa (Haug & McCarty, 1972; Chen & cs., 2006), pH tối ưu cho Nitrosomonas spp. nằm trong khoảng từ 7,2 đến 7,8 (Loveless & Painter, 1968; Antoniou & cs., 1990) và từ 7,2 đến 8,2 đối với Nitrobacter spp. thì pH và độ kiềm của nghiên cứu này nằm trong khoảng thích hợp cho cá phát triển.

DO cao nhất ở bể lọc với giá trị trung bình 4,8±0,2 mg/L và thấp nhất ở bể nuôi với giá trị 2,38±0,1 mg/L. Theo Water Pollution Control Federation (1983), duy trì DO trong bể lọc của RAS cao hơn 4 mg/L là có thể đảm bảo an toàn cho lọc

sinh học hoạt động. DO đo được ở bể nuôi thấp hơn so với yêu cầu. Tuy nhiên các loài cá trê nói chung đều có tính chịu đựng cao với những nơi có DO thấp, chỉ cần da cá có độ ẩm nhất định có thể sống trên cạn được vài ngày vì cơ thể cá trê có cơ quan hô hấp phụ gọi là “hoa khế” giúp cá hô hấp được nhờ khí trời (Ngô, 2007; Đỗ & Nguyễn, 2010).

Bảng 2 cũng cho thấy, các yếu tố TAN, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P, TSS ở bể nuôi được theo dõi liên tục 10 ngày có giá trị trung bình lần lượt là 3,14±0,90 mg/L, 0,58±0,08 mg/L, 14,1±4,74 mg/L, 15,4±5,44 mg/L, 16,00±9,63 mg/L. So với kết quả của Nguyễn và cộng sự (Nguyễn & cs., 2018, 2019) thì các yếu tố như TAN và NO₂⁻-N đều dao động trong khoảng

trung bình của 2 nghiên cứu này. NO₃⁻-N được quản lý ổn định hơn, dao động trong khoảng 14,1±4,74 mg/L, không tăng quá cao như ở các thí nghiệm 1 và 2 do đã tính toán được lượng bèo tai tượng sử dụng hiệu quả NO₃⁻-N trong RAS từ các kết quả nghiên cứu của Nguyễn và cộng sự (Nguyễn & cs., 2021, 2022). Nhìn chung, các chỉ tiêu nằm trong khoảng thích hợp cho cá trê vàng sinh sống và tăng trưởng.

3.2. Hiệu quả xử lý chất thải của RAS

Hàm lượng TSS, COD, PO₄³⁻ giảm dần qua các bể cụ thể như sau: Lượng nước qua bể lọc giảm 32,5% lượng TSS, 3,44% lượng COD, 6,45% lượng PO₄³⁻ (Bảng 3).

Bảng 3. Nồng độ chất thải trong hệ thống nuôi khi cung cấp 1kg thức ăn mỗi ngày và hiệu quả xử lý chất thải

Chỉ tiêu	Bể nuôi	Đầu vào của bể bèo (Bể lọc)	Hiệu quả xử lý của bể lọc (%)	Đầu ra của bể bèo	Hiệu quả xử lý của bể bèo (%)
TSS (mg/L)	6,53	4,41	32,50	3,35	24,07
COD (mg/L)	9,07	8,76	3,44	8,73	0,38
NO ₃ ⁻ (mg/L)	5,77	6,77	-	5,58	17,55
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	6,30	5,89	6,45	5,57	5,37
TN (mg/L)	12,11	13,39	-	11,80	11,85

Nồng độ TN trong hệ thống thí nghiệm tăng theo ngày do lượng thức ăn cung cấp tăng, lượng chất thải tăng trong khi lượng nước thay trong hệ thống ở mức thấp. Hàm lượng NO₃⁻-N tăng khi qua bể lọc do hàm lượng TAN, NO₂⁻-N đã được chuyển thành NO₃⁻-N nhờ vi khuẩn chuyển hóa đạm trong bể lọc (Könnike & cs., 2005; de la Torre & cs., 2008; Junier & cs., 2010). Ngoài ra, hàm lượng PO₄³⁻-P giảm liên tục khi qua bể lọc và bể bèo là do sự hấp thu của bèo và các nhóm vi sinh vật, đồng thời lớp bùn thải có chứa nhiều acid hữu cơ cũng hấp thu PO₄³⁻-P hay Ca²⁺ trong hệ thống (do bón vôi bổ sung kiềm) cũng dễ hấp thu mạnh các muối orthophosphate hòa tan trong nước (Boyd, 1990; Naylor & cs., 2003).

Bảng 3 cũng cho thấy bình quân mỗi ngày bể bèo tai tượng có khả năng làm giảm 24,07% TSS, 0,38% COD, 17,55 % NO₃⁻-N, 5,37% PO₄³⁻-P, 11,85% TN. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả của thí nghiệm xác định diện tích bèo tai tượng của Nguyễn và cộng sự (Nguyễn & cs., 2022) (bèo tai tượng có khả năng làm giảm 45,34% COD, 57,57% NO₃⁻-N, 35,10% PO₄³⁻-P và 57,15% TN sau 10 ngày thí nghiệm). Như vậy, có thể đánh giá được bể bèo đã loại bỏ được một

lượng vật chất đáng kể, giúp duy trì và ổn định chất lượng nước trong hệ thống.

Từ các kết quả thu được của thí nghiệm, có thể tính toán được rằng với 1 kg thức ăn được cấp vào hệ thống (tính trên vật chất khô) thì ngoài lượng đạm (N) được cá hấp thu và lượng đạm thất thoát (không tính được chính xác trong thí nghiệm này), lượng đạm bài tiết ở dạng hòa tan là 21,19 g N (chiếm 40,6%), dạng không hòa tan là 10,32 g N (chiếm 19,78%), lượng đạm hòa tan được bèo hấp thu 0,26 g N (chiếm 0,49%) khi đi qua bể bèo (Bảng 4). Qua đó cho thấy, bể lắng và bèo đã xử lý hơn 13% hàm lượng đạm mỗi ngày trong hệ thống khi cung cấp 1kg thức ăn.

Bảng 4 cũng cho thấy lượng chất thải hòa tan có chứa nitơ trong RAS là khá cao, chiếm 40,60% so với tổng lượng thức ăn cung cấp cho cá. Các chất có chứa nitơ ở dạng hòa tan trong RAS bao gồm các chất hữu cơ có chứa nitơ và các chất vô cơ ở dạng NH₃, NH₄⁺, NO₂⁻ và NO₃⁻. Kết quả nghiên cứu ở Bảng 4 cho thấy nồng độ TAN trong bể nuôi là khá cao (3,14±0,90 mg/L) nhưng đã giảm khi sang bể lọc (2,97±0,83 mg/L). Nồng độ NO₃⁻-N ở bể nuôi là 14,1±4,74 mg/L và tăng lên ở bể lọc (16,6±7,97 mg/L). Điều này cho

thấy rằng, hệ thống lọc sinh học đã góp phần xử lý và duy trì tốt nồng độ các chất thải hòa tan có chứa nitơ trong RAS, mặc dù nồng độ TAN còn khá cao, tuy nhiên so với khuyến cáo về nồng độ giới hạn (C_{limit}) của các chất thải trong RAS của các tác giả Eding & van Weerd (1999), nồng độ TAN_{limit} của cá trê phi là bé hơn 8 g/m^3 (ở $\text{pH}=7$) thì nồng độ TAN trong nghiên cứu này còn nằm trong khoảng chịu

đựng đối với cá trê nuôi. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy rằng các thông số thiết kế của bể lắng, bể lọc sinh học và bể bèo để xử lý chất thải của cá trê vàng nuôi trong RAS là phù hợp. Các bể lắng, lọc và bể bèo trong RAS có khả năng xử lý tốt các chất thải rắn và chất thải hòa tan trong hệ thống nuôi, giúp duy trì và ổn định chất lượng nước cho cá trê vàng tăng trưởng tốt trong RAS.

Bảng 4. Lượng đạm (N) thải ra từ 1kg thức ăn (tính trên vật chất khô) được cung cấp mỗi ngày

	Khối lượng khô (g)	TN (g)	Tỉ lệ TN so với thức ăn (%)
Lượng thức ăn cung cấp	1.000	52,20	100
Lượng phân thải	66,94	6,89	13,19
Lượng TSS	33,42	3,44	6,58
Tổng lượng chất thải rắn	100,4	10,32	19,78
Tổng lượng chất thải hòa tan	-	21,19	40,60
Lượng bèo tăng	11,46	0,26	0,49

3.3. Tăng trưởng của cá trê vàng trong RAS

3.3.1. Khối lượng và tốc độ tăng trưởng tương đối của cá trê nuôi trong RAS

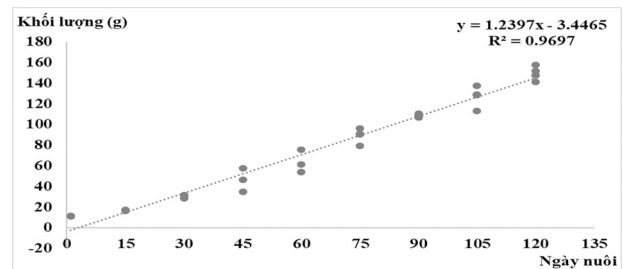
Cá trê được nuôi trong RAS với cỡ cá giống $11,04 \text{ g/con}$ ở mật độ 1.000 con/m^3 đạt khối lượng $30,01 \text{ g/con}$, $62,66 \text{ g/con}$, $105,00 \text{ g/con}$, $143,65 \text{ g/con}$ lần lượt sau 30 ngày, 60 ngày, 90 ngày, 120 ngày nuôi, tốc độ tăng trưởng tương đối lần lượt là $3,15\%/ngày$, $2,17\%/ngày$, $1,81\%/ngày$, $1,06\%/ngày$. Cá ở giai đoạn phát triển (ngày tuổi) nhỏ có tốc độ tăng trưởng nhanh hơn cá lớn. Tốc độ tăng trưởng ở giai đoạn 30 ngày đầu sau khi thả nuôi cao nhất đạt $3,15\%/ngày$ và tốc độ tăng trưởng thấp nhất trong giai đoạn nuôi từ 90-120 ngày là $1,06\%/ngày$ (Bảng 5).

Bảng 5. Khối lượng và tốc độ tăng trưởng của cá trê vàng trong RAS theo thời gian nuôi

Thời gian nuôi	Khối lượng cá (g/con)	Tốc độ tăng trưởng tương đối (%/ngày)
Bắt đầu thả nuôi	11,04	-
Ngày thứ 30	30,01	3,15
Ngày thứ 60	62,66	2,17
Ngày thứ 90	105,00	1,81
Ngày thứ 120	143,65	1,06

Từ số liệu (Bảng 5), phương trình dự đoán khối lượng cá (y, tính bằng g) theo thời gian nuôi (x, tính bằng số ngày nuôi) được xác định và trình bày ở Hình 2. Theo Phạm (2014), cá trê nuôi trong ao đất sau 150 ngày nuôi đạt $129,53 \pm 17,22 \text{ g/con}$ với khối

lượng cá ban đầu là $4-7 \text{ g/con}$ và theo Yakubu & cs. (2014) cá trê phi (*Clarias gariepinus*) nuôi trong RAS trong 16 tuần có mức tăng trọng trung bình cao nhất là $173,78 \pm 14,30 \text{ g}$ thì tăng trưởng của cá trê vàng trong RAS ở thí nghiệm này là khá lý tưởng, khối lượng cá dao động từ $140-160 \text{ g}$ trong 120 ngày nuôi (Hình 2).



Hình 2. Tăng trưởng khối lượng (g) của cá trê vàng trong RAS theo thời gian

3.3.2. Tỉ lệ sống, năng suất và hệ số chuyển hóa thức ăn (FCR) của cá trê vàng nuôi trong RAS

Kết quả thí nghiệm cho thấy, cá trê vàng được nuôi trong RAS với mật độ 1.000 con/m^3 đạt tỉ lệ sống $73,74-88,30\%$ sau 120 ngày nuôi, năng suất đạt $100,7-141,8 \text{ kg/m}^3$ với FCR $1,02-1,29$. (Bảng 6). Bảng 6 cũng cho thấy, khối lượng cá thu hoạch sau 120 ngày nuôi đạt $141,0-157,8 \text{ g/con}$. So với các kết quả nuôi cá trê vàng của các tác giả khác (Kwei Lin, 1990; Coniza & cs., 2003; Phạm, 2014) thì nuôi cá trê vàng trong RAS tăng trưởng nhanh hơn so với nuôi ở ao đất và trong lồng. Theo Kwei Lin (1990) sau 5 tháng nuôi khối lượng cá trê vàng đạt từ $96-130 \text{ g/con}$. Trong nghiên cứu của Phạm

(2014) thì khi nuôi ở ao đất sau 150 ngày cá đạt 140,6 g/con; Coniza & cs. (2003) thả nuôi trê vàng trong lồng với mật độ 10 con/m², sau 120 ngày cho ăn thức ăn 34% đạm, năng suất chỉ đạt 0,71 kg/m².

Điều này cho thấy rằng các thông số về mật độ nuôi và số lần cho ăn được xác định ở hai nghiên cứu của Nguyễn và cs. (2018, 2019) là phù hợp với điều kiện của mô hình nuôi hiện tại.

Bảng 6. Khối lượng, tỉ lệ sống, năng suất và FCR của cá nuôi trong RAS

Các chỉ tiêu theo dõi	Bể nuôi 1	Bể nuôi 2	Bể nuôi 3	Bể nuôi 4
Số lượng cá thả (con)	728	870	830	718
Khối lượng ban đầu (g/con)	11,0	31,6	75,5	110,4
Tổng ngày nuôi (đạt khối lượng thu hoạch)	120	120	120	120
Khối lượng thu hoạch (g/con)	157,8	147,4	141,0	152,0
Tỉ lệ sống (%)	73,74	88,30	84,20	84,30
Năng suất (kg/m ³)	100,7	141,8	119,3	113,8
FCR	1,10	1,02	1,29	1,17

3.3.3. Hiệu quả sử dụng nước

Bảng 7. Lượng nước sử dụng trung bình để sản xuất ra 1 kg cá trê thương phẩm trong một chu kỳ nuôi (120 ngày)

	120 ngày nuôi
Lượng nước hệ thống nuôi (m ³)	5,2
Lượng nước bổ sung thay thế (m ³)	90,4
Lượng nước sử dụng (m ³ /kg cá)	0,20

Kết quả nghiên cứu cho thấy sau 120 ngày nuôi, lượng nước sử dụng cho toàn hệ thống là 95,6 m³ cho 4 đợt thu hoạch (Bảng 7). Qua đó, để sản xuất ra 1 kg cá thương phẩm cần sử dụng 0,20 m³ nước. So với mô hình nuôi truyền thống trong ao đất của Coniza & cs. (2008), cá trê vàng được nuôi với mật độ 10 con/m², sau 120 ngày nuôi đạt năng suất 770 kg/1.000 m². Trong 2 tháng đầu thay 30-50% nước/tuần, từ tháng thứ 3 đến khi thu hoạch thay 50-70% nước 2 lần/tuần. Như vậy có thể tính được lượng nước cần để sản xuất ra 1kg cá trê vàng khi nuôi trong ao đất là rất cao, dao động từ 15,78-23,09 m³ nước. Từ đó cho thấy, mô hình nuôi cá trê vàng trong RAS có khả năng tiết kiệm nước rất cao, phù hợp với tình trạng biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn đang xảy ra, cần tiết kiệm nước trong NTTS ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long hiện nay.

4. Kết luận

Cá trê vàng nuôi trong RAS đạt khối lượng 141,0-157,8 g/con, tỉ lệ sống 73,74-88,30%, năng suất đạt 100,7-141,8 kg/m³ và FCR là 1,02-1,29 sau 120 ngày nuôi.

Khối lượng (y) của cá theo ngày nuôi (x) được thể hiện bằng phương trình $y = 1,2397x - 3,4465$ ($R^2 = 0,9697$) với tốc độ tăng trưởng tương đối 2,05%/ngày.

Bể lọc sinh học xử lý được 32,50% lượng TSS, 3,42% lượng COD, 6,49% lượng PO₄³⁻ và bể bèo xử lý được 24,07% lượng TSS, 0,37% lượng COD, 17,55% lượng NO₃⁻, 5,34% lượng PO₄³⁻, 12,82% lượng TN của hệ thống nuôi.

Lượng nước sử dụng để sản xuất 1 kg cá trê vàng trong RAS là 0,2 m³ nước.

Quy trình nuôi cá trê vàng trong RAS có thể được ứng dụng ở quy mô nông hộ nhỏ trong các khu vực đô thị. Dựa trên các thông số cơ sở đã có được, có thể tính toán để xây dựng RAS nuôi cá trê vàng kết hợp xử lý chất thải ở các quy mô trang trại.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài mã số SPD2024.01.22.

Tài liệu tham khảo

- Antoniou, P., Hamilton, J., Koopman, B., Jain, R., Holloway, B., Lyberatos, G., & Svoronos, S. A. (1990). Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. *Water Research* 24(1), 97-101. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(90\)90070-M](https://doi.org/10.1016/0043-1354(90)90070-M).
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) & WEF (Water Environment Federation). (1995). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 19th ed. Washington DC: Amer Public Health Assn.
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264(1), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>.
- Boyd, C. E. (1990). *Water Quality for Pond Aquaculture*. Alabama: Birmingham Publishing Company.

- Boyd, C. E., & Queiroz, J. F. (2001). Nitrogen, phosphorus loads vary by system-USEPA should consider system variables in setting new effluent rules. *The Global Aquaculture Advocate*, 4(6), 84-86.
- Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J-P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquaculture Engineering*, 34(3), 179-197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>.
- Coniza, E. B., Catacutan, M. R., & Tan-Fermin, J. D. (2003). Growth and yield of Asian catfish *Clarias macrocephalus* (Gunther) fed different grow-out diets. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 55(1), 53-60. <https://doi.org/10.46989/001c.20336>
- Coniza, E. B., Catacutan, M. R., & Tan-Fermin, J. D. (2008). *Growth-out culture of the Asian catfish Clarias macrocephalus (Gunther)*. Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>.
- De la Torre, J. R., Walker, C. B., Ingalls, A. E., Könneke, M. and Stahl D. A. (2008). Cultivation of a thermophilic ammonia oxidizing archaeon synthesizing crenarchaeol. *Environmental Microbiology* 10(1), 810-818. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01506.x>.
- De Schryver, P., Crab, R., Defroidt, T., Boon, N., & Verstrete, W. (2008). The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4), 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>.
- Đỗ, T. T. H., & Nguyễn, N. V. T. (2010). *Một số vấn đề về sinh lí cá và giáp xác*. Thành phố Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Nông Nghiệp.
- Đoàn, B. N. (2008). *Đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng của mô hình nuôi thâm canh cá trê vàng lai tại xã Giai Xuân, huyện Phong Điền, thành phố Cần Thơ*. Luận văn Thạc sĩ ngành Khoa học môi trường, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam, 2008.
- Eding, E.H., van Weerd, J.H. (1999). Grundlagen Aufbau und Management von Kreislaufanlagen. In: Bohl, M. (Ed.), *Zucht und Produktion von Süßwasserfischen, second ed.*, (436-491). DLG-Verlag: Frankfurt, München.
- Ekasari, J. (2009). Bioflocs technology: theory and application in intensive aquaculture system. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 8(2), 117-226. <https://doi.org/10.19027/jai.8.117-126>.
- Haug, R. T., & Mc.Carty, P. L. (1972). Nitrification with submerged filters. *Journal Water Pollution Control Federation*, 44(11), 2086 - 2102.
- Haylor, G. S. (1989). The case study for the African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822, Clariidae: a comparison of the relative merits of Tilapiine fishes, especially *Oreochromis niloticus* (L.) and *C. gariepinus* Burchell, for African aquaculture. *Aquaculture and Fisheries Management*, 20, 279-285.
- Junier, P., Molina V., Dorador, C., Hadas, O., Kim, O. K., Junier, T. & Witzel, K. P., & Imhoff, J. F. (2010). Phylogenetic and functional marker genes to study ammonia-oxidizing microorganisms (AOM) in the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 425-440. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2228-9>
- Könneke, M., Bernhard, A. E., de la Torre, J. R., Walker, C. B., Waterbury, J. B., & Stahl, D. A. (2005). Isolation of an autotrophic ammonia-oxidizing marine archaeon. *Nature*, 437, 543-546. <https://doi.org/10.1038/nature03911>
- Kwei Lin, C. (1990). Integrated culture of walking catfish (*Clarias macrocephalus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Proceeding of the second Asian Fisheries Forum, Tokyo, April 1-2, 1989*(209-212). Phillipines: Asian Fisheries Society, Manila.
- Loveless, J. E., & Painter, H. A. (1968). The influence of metal ion concentrations and pH value on the growth of a Nitrosomonas strain isolated from activated sludge. *Journal Society for General Microbiology*, 52(1), 1-14. <https://doi.org/10.1099/00221287-52-1-1>
- Masser, P. M., Rakocy, J., & Losordo, T. M. (1999). Recirculating aquaculture tank production

- systems: management of recirculating systems. *SRAC Publication 452*.
- Naylor, S., Brisson, J., Labelle, M. A., Drizo, A., & Comeau, Y. (2003). Treatment of freshwater fish farm effluent using constructed wetlands: the role of plants and substrate. *Water Science & Technology*, 48(5), 215-222. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0324>.
- Ngô, T. L. (2007). Nuôi trồng một số đối tượng thủy hải sản có giá trị kinh tế. Trong: Nguyễn, V.T, Nguyễn, T. H. M, Nguyễn, T. B., Nguyễn, X. L., & Đỗ, V. K.. *Bách khoa thủy sản*, (370-371). Việt Nam: Nhà xuất bản Nông Nghiệp Hà Nội.
- Nguyễn, T. H. N, Huỳnh, T. K. H., & Phạm, T. L. (2018). Ảnh hưởng của mật độ nuôi lên chất lượng nước, tăng trưởng và tỉ lệ sống của cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) trong hệ thống tuần hoàn. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 54(Số chuyên đề: Thủy sản) (1), 108-114. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2018.016>.
- Nguyễn, T. H. N., Trương, Q. P., & Phạm, T. L. (2019). Ảnh hưởng của phương thức cho ăn lên chất lượng nước, sinh trưởng và tỉ lệ sống của cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*). *Tạp chí Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Nha Trang*, số 4, 88-96.
- Nguyễn, T. H. N., Trương, Q. P., & Phạm, T. L. (2020). Cân bằng vật chất dinh dưỡng trong hệ thống tuần hoàn nuôi cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 56(Số chuyên đề: Thủy sản) (2), 21-28. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2020.034>.
- Nguyễn, T. H. N., Trương, Q. P., & Phạm, T. L. (2021). Hiệu quả xử lý nước thải nuôi cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) thâm canh bằng hệ thống thực vật thủy sinh. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 57(Số chuyên đề: Thủy sản), 1-9. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2021.057>.
- Nguyễn, T. H. N., Trương, Q. P., & Phạm, T. L. (2022). Khả năng xử lý nước của bèo tai tượng (*Pistia stratiotes*) trong hệ thống tuần hoàn nuôi cá trê vàng. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Nông nghiệp, Trường Đại học Nông Lâm Huế*, 6(1), 2769-2778. <https://doi.org/10.46826/huaf-jasat.v6n1y2022.826>
- Peteri, A., Horvath, L., Radich, F., & Pupanne, B. F. (1989). Breeding of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Halaszat*, 82, 86-91.
- Phạm, H. T. (2014). *Hiện trạng nuôi cá trê lai (Clarias macrocephalus x Clarias gariepinus) và thực nghiệm nuôi cá trê vàng (C. macrocephalus Gunther, 1864) trong ao đất ở tỉnh Vĩnh Long*. Luận văn tốt nghiệp cao học ngành Nuôi trồng thủy sản, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam.
- Srithong, C., Musig, Y., Areechon, N., & Taparhudee, W. (2015). Water Quality and Growth Performance of Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) Comparisons in Two Type of Water Recirculating System and a Water Exchange System. *Journal of Fisheries and Environment*, 39(3), 57-69. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFE/article/view/80523>.
- Tal, Y., Schreier, H. J., Sowers, K. R., Stubblefield, J. D., Place, A. R., & Zohar, Y. (2009). Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. *Aquaculture*, 286(1-2), 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.043>.
- Water Pollution Control Federation. (1983). *Nutrient control*. Manual of practice No. FD-7. Washington, D.C.
- Yakubu, A. F., Nwogu, N. A, Nwogu, N. A., Olaji, E. D., Ajiboye, O. O., Apochi, J. O., Adams, T. E., Obule, E. E., & Eke, M. (2014). A comparative study on growth performance and survival rate of *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 and *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840 under water recirculation system. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(1), 30-33. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20140301.16>
- Zidni, I., Herawati, T., Liviawaty, E. (2013). Pengaruh padat tebar terhadap pertumbuhan benih lele sangkuriang *Clarias gariepinus* dalam sistem akuaponik. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 4(4), 315-324.
- Zohar, Y., Tal, Y., Schreier, H. J., Steven, C., Stubblefield, J., & Place, A. (2005). *Commercially feasible urban recirculated aquaculture: addressing the marine sector*. In: Costa-Pierce, B. (Ed.), *Urban Aquaculture*. Cambridge, MA: CABI Publishing.