



DOI:10.22144/ctujos.2026.072

ẢNH HƯỞNG CỦA CHU KỲ TẮT SỤC KHÍ ĐẾN BIẾN ĐỘNG HÀM LƯỢNG OXY, TĂNG TRƯỞNG VÀ TỶ LỆ SỐNG CỦA LƯƠN ĐỒNG (*Monopterus albus*) TRONG HỆ THỐNG TUẦN HOÀN

Nguyễn Văn Triều^{1*}, Nguyễn Chí Đức² và Võ Hoàng Liêm Đức Tâm¹

¹Trường Thủy sản, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

²Công ty TNHH MTV thực phẩm Vĩnh Phước, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nvtrieu@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 20/11/2025

Sửa bài (Revised): 20/12/2025

Duyệt đăng (Accepted): 19/03/2026

Title: Effect of aeration-off cycles on dissolved oxygen fluctuation, growth performance, and survival of rice field eel (*Monopterus albus*) in a recirculating aquaculture system

Author(s): Nguyen Van Trieu^{1*}, Nguyen Chi Duc² and Vo Hoang Liem Duc Tam¹

Affiliation(s): ¹College of Aquaculture and Fisheries, Can Tho University, Viet Nam; ²Vinh Phuoc Food Company Limited, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của các chu kỳ tắt sục khí khác nhau ở bể lọc sinh học trong hệ thống tuần hoàn lên chất lượng nước, tăng trưởng và tỷ lệ sống của lươn đồng. Thí nghiệm được tiến hành với ba nghiệm thức (NT): NT1, sục khí liên tục 24 giờ; NT2, sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ; NT3, sục khí 2 giờ – nghỉ 2 giờ; mỗi NT lặp lại ba lần. Kết quả thí nghiệm cho thấy NT2 mang lại hiệu quả tối ưu, đảm bảo oxy cho hoạt động của vi sinh vật và giảm chi phí vận hành. Thực nghiệm nuôi ứng dụng NT2, mật độ 350 con/m² (10,02±0,01 g/con). Sau 8 tháng nuôi, lươn đạt khối lượng 210,46±7,44 g/con, tỷ lệ sống 74,8±4,7% và năng suất 137,9±13,6 kg/m³. Lợi nhuận khá cao 3,47 triệu đồng/m³, tỷ suất lợi nhuận 26,7%. Việc áp dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ giúp giảm 50% chi phí điện, chỉ còn 8,1% tổng chi phí (không áp dụng 15,1%). Các yếu tố môi trường ổn định không gây ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng và hiệu suất nuôi, qua đó nâng cao hiệu quả sản xuất.

Từ khóa: Chu kỳ sục khí, hệ thống tuần hoàn (RAS), lươn đồng (*Monopterus albus*)

ABSTRACT

This study assessed the effects of different aeration-off cycles in the biofilter of a recirculating aquaculture system (RAS) on water quality, growth, and survival of Asian swamp eel. Three treatments were applied: continuous aeration (T1), 1 h on–1 h off (T2), and 2 h on–2 h off (T3), each with three replicates. T2 provided the best performance by maintaining sufficient oxygen for microbial activity while reducing operating costs. In the grow-out trial using T2 at a stocking density of 350 ind./m² (10.02±0.01 g/ind.). After eight months of culture, eels reached an average body weight of 210.46±7.44 g/ind, with 74.8±4.7% survival and 137.9±13.6 kg/m³ yield. Economic analysis showed a profit of 3.47 million VND/m³ and a 26.7% profit margin. The application of a 1 hour on - 1 hour off aeration regime reduced electricity costs by 50%, accounting for only 8.1% of total production costs, compared with 15.1% in the non-applied system. Environmental parameters remained stable and did not exert negative effects on growth performance or culture efficiency, thereby improving overall production efficiency.

Keywords: Asian swamp eel (*Monopterus albus*), aeration cycle, recirculating aquaculture system (RAS)

1. GIỚI THIỆU

Lươn đồng (*Monopterus albus*) là loài thủy sản nước ngọt phân bố rộng tại các thủy vực nội địa, có giá trị kinh tế và dinh dưỡng cao nhờ chứa hàm lượng lớn protein, lipid, khoáng chất, vitamin và các nguyên tố vi lượng. Tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nơi có hệ sinh thái thủy vực đa dạng và giàu tiềm năng nuôi trồng thủy sản, nghề nuôi lươn đang phát triển mạnh ở nhiều địa phương như An Giang, Đồng Tháp, Cần Thơ, Hậu Giang, Vĩnh Long và Tây Ninh (Nghĩa, 2010). Các mô hình nuôi lươn phổ biến hiện nay gồm nuôi không bùn trong bể xi măng, bể lót bạt, thùng nhựa,... trong đó bể lót bạt được áp dụng rộng rãi nhất (Nhân và ctv., 2020). Nuôi trồng thủy sản nói chung và nuôi lươn nói riêng đã trở thành ngành kinh tế mũi nhọn, đóng góp đáng kể vào sự phát triển kinh tế - xã hội của ĐBSCL và cả nước (Triều và ctv., 2024). Hiện nay, diện tích nuôi lươn tại ĐBSCL không ngừng được mở rộng, kéo theo nhu cầu sử dụng nước ngày càng tăng; việc xây dựng mô hình nuôi vừa đảm bảo hiệu quả kinh tế vừa giảm thiểu ô nhiễm môi trường đòi hỏi áp dụng các tiến bộ kỹ thuật, đặc biệt trong khâu xử lý và tái sử dụng nước. Một trong những xu hướng tiềm năng là ứng dụng hệ thống nuôi tuần hoàn (Recirculating Aquaculture System (RAS)), cho phép tái sử dụng nước cấp, giảm xả thải và duy trì chất lượng môi trường nuôi ổn định. Trong RAS, hệ thống sục khí liên tục đóng vai trò then chốt, tạo điều kiện cho vi sinh vật phân giải amoniac (NH_3) thành nitrat (NO_3^-) ít độc, góp phần duy trì môi trường sống an toàn cho vật nuôi. Tuy nhiên, việc duy trì sục khí liên tục cho bể lọc sinh học làm gia tăng đáng kể chi phí điện năng. Từ thực tiễn trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của các chu kỳ tắt sục khí đến hàm lượng oxy hòa tan, tăng trưởng và tỷ lệ sống của lươn đồng. Kết quả nghiên cứu góp phần xác định chu kỳ tắt sục khí tối ưu, vừa duy trì hiệu quả nuôi, vừa giảm chi phí vận hành hệ thống.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Lươn đồng (*Monopterus albus*) được nuôi trong hệ thống tuần hoàn (RAS) từ lươn giống ($10,02 \pm 0,01$ g/con) đến lươn thương phẩm ($210,46 \pm 7,44$ g/con).

2.2. Thời gian và địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 07/2024 đến tháng 4/2025. Địa điểm triển khai thí nghiệm khảo sát biến động hàm lượng oxy hòa tan ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống RAS được thực

hiện tại trại sản xuất giống Phú Thứ, phường Cái Răng, thành phố Cần Thơ. Địa điểm triển khai thực nghiệm nuôi lươn thương phẩm ứng dụng chu kỳ tắt sục khí hiệu quả trong hệ thống RAS được thực hiện tại phường Thường Lạc và phường Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Khảo sát biến động hàm lượng oxy hòa tan ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống tuần hoàn

➤ Chuẩn bị hệ thống thí nghiệm

Hệ thống tuần hoàn được thiết kế bao gồm hai thành phần chính: bể lọc tuần hoàn (lọc giá thể chuyển động (Moving bed biofilm reactor)) và bể nuôi. Bể lọc tuần hoàn được cấu tạo bởi 5 ngăn chức năng, bao gồm: (i) ngăn thu nước - cặn (thể tích 500 lít), (ii) ba ngăn lắng (ngăn lắng 1, 2 và 3, mỗi ngăn có thể tích 500 lít, sử dụng giá thể là lưới lan và xốp Jimax) nhằm loại bỏ chất thải rắn (phân lươn và vật chất lơ lửng) và (iii) ngăn lọc sinh học để chuyển hóa TAN thành nitrate. Nước từ bể nuôi chảy về ngăn thu cặn, sau đó chuyển qua ngăn lắng 1 bằng máy bơm chìm (150 W). Nước tiếp tục chảy qua ngăn lắng 2 và 3 nhờ sự chênh lệch cột nước, trước khi đi vào ngăn lọc sinh học. Ngăn lọc sinh học có thể tích 2.000 L (1,3 m x 1,3 m x 1,2 m), chứa 800 L giá thể nhựa Kaldnes (diện tích bề mặt 750 – 800 m^2/m^3). Một máy sục khí (1 HP) được lắp đặt nhằm khuấy đảo giá thể, cung cấp oxy hòa tan, đồng thời làm giảm hàm lượng CO_2 trong nước. Mực nước trong ngăn lọc sinh học được duy trì cao hơn so với bể nuôi từ 0,5 đến 0,8 m để đảm bảo sự lưu thông nước. Nước sau khi được xử lý qua hệ thống lọc được cấp lại vào bể nuôi. Nước được tuần hoàn liên tục trong suốt vụ nuôi.

Bể nuôi được chế tạo bằng vật liệu composite, bố trí thành cụm 3 bể, diện tích 6 $\text{m}^2/\text{bể}$ (2 m x 3 m x 0,5 m). Mỗi bể có hệ thống cấp thoát nước đối xứng ở hai đầu; ống cấp nước có đường kính 27 mm, trong khi ống thoát (90 mm) đặt ở đáy và nối trực tiếp với ngăn thu chất thải rắn. Phía trên hệ thống nuôi được che phủ bằng mái tôn nhằm hạn chế ánh sáng trực tiếp và ổn định nhiệt độ nước trong quá trình nuôi. Trước khi tiến hành khảo sát sự biến động của oxy, hệ thống cần được khởi động và vận hành ổn định (pH từ 7 đến 8, oxy hòa tan > 5mg/L, TAN và $\text{N-NO}_2^- < 0,8$ mg/L) trong ít nhất ba tuần. Trong giai đoạn này, nước được cấp đầy vào bể lọc và tiến hành sục khí nhằm tạo điều kiện cho giá thể hạt nhựa chuyển động liên tục, giúp hình thành môi trường thuận lợi cho vi sinh vật phát triển. Dinh dưỡng được bổ sung bằng cách bón 15 gam NH_4Cl và 7,5 gam

NaNO₂ cho mỗi mét khối thể tích nước, nhằm thúc đẩy sự phát triển của vi khuẩn nitrate hóa. Độ pH của nước được duy trì ổn định trong khoảng từ 7 đến 8. Sau 5 - 7 ngày, hàm lượng TAN và N-NO₂⁻ được kiểm tra, nếu cả hai đều ở mức thấp (dưới 0,8 mg/L), hóa chất được bổ sung thêm với liều lượng như ban đầu và việc kiểm tra tiếp tục được lặp lại sau mỗi 24 giờ. Hệ thống lọc được xem là sẵn sàng hoạt động khi hàm lượng TAN và N-NO₂⁻ vẫn duy trì ở mức thấp dưới 0,8 mg/L trong vòng 24 giờ sau khi bổ sung dinh dưỡng.

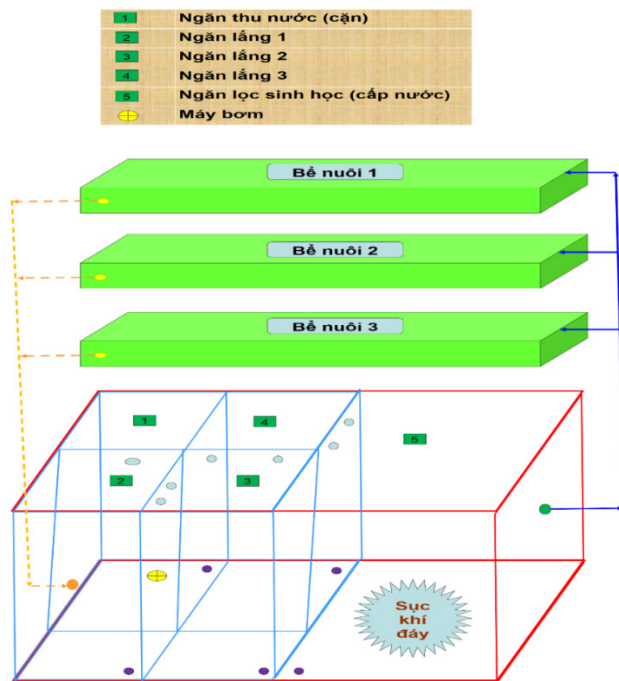
➤ *Bố trí thí nghiệm*

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 nghiệm thức (NT) khác nhau về chế độ sục khí, mỗi nghiệm thức lặp lại 3 lần. Cụ thể: nghiệm thức 1 (NT1), sục khí liên tục 24 giờ; nghiệm thức 2 (NT2), sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ; nghiệm thức 3 (NT3), sục khí 2 giờ – nghỉ 2 giờ. Thí nghiệm được

tiến hành trong thời gian 24 giờ cho mỗi nghiệm thức, tại thời điểm chưa thả lươn giống nhằm loại trừ ảnh hưởng của yếu tố sinh học đến các chỉ tiêu theo dõi.

➤ *Phương pháp thu số liệu*

Hàm lượng oxy hòa tan (DO) được xác định tại ngăn lọc sinh học bằng máy đo HANNA vào lúc 7 giờ sáng và 14 giờ chiều để đánh giá sự biến động DO ở nghiệm thức 1. Đối với nghiệm thức 2 và nghiệm thức 3, DO được đo tại bốn thời điểm: trước khi tắt sục khí, giữa giai đoạn tắt sục khí, trước khi mở sục khí và giữa giai đoạn sục khí hoạt động. Các yếu tố môi trường khác như nhiệt độ và pH được đo bằng máy HANNA. Hàm lượng TAN và N-NO₂⁻ được xác định bằng bộ test nhanh SERA. Các chỉ tiêu này được theo dõi định kỳ 2 lần/ngày vào lúc 7 giờ và 14 giờ.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống RAS thí nghiệm

2.3.2. *Thực nghiệm nuôi lươn thương phẩm ứng dụng chu kỳ tắt sục khí hiệu quả trong hệ thống RAS*

➤ *Chuẩn bị hệ thống nuôi*

Dựa trên kết quả khảo sát sự biến động nồng độ oxy hòa tan ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống tuần hoàn (mục 2.3.1), thực nghiệm được thực hiện với chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ (NT2). Đây là chu kỳ sục khí được đánh giá là hiệu

quả trong hệ thống RAS thông qua các kết quả khảo sát. Công tắc hẹn giờ bật/tắt tự động KG316T-II hiệu Timer xuất xứ từ Trung Quốc đã được sử dụng, cài đặt chu kỳ bật 1 giờ – tắt 1 giờ cho máy sục khí. Thực nghiệm được thực hiện tại ba hộ nuôi lươn ở phường Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. Hệ thống thực nghiệm nuôi lươn, bao gồm diện tích, cấu trúc và các thành phần cấu tạo hệ thống, cũng như công tác chuẩn bị và lắp đặt, được thực hiện tương tự như ở thí nghiệm 1.

Thả giống, chăm sóc quản lý hệ thống nuôi

Lươn được thả nuôi với mật độ 350 con/m². Lươn giống khỏe mạnh, không nhiễm bệnh, tương đối đồng cỡ, màu sắc sáng đã được chọn; lươn có khối lượng trung bình 10,02±0,01 g/con, được cung cấp từ Hội quán Bình Lý, phường Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. Lươn được cho ăn thức ăn công nghiệp (41 - 44% đạm) kích cỡ từ 1 đến 4 mm, số lần cho ăn là 2 lần/ngày (sáng 7h - 8h, chiều 15 - 17h). Kích cỡ viên thức ăn và khẩu phần cho ăn được điều chỉnh theo sự tăng trưởng của lươn. Thức ăn được rải vào khung nhựa được đặt ở vị trí cố định trong bể nuôi. Việc kiểm tra các yếu tố thủy lý, hóa môi trường nước được thực hiện định kỳ để kịp thời xử lý. Khả năng bơi lội và tình trạng bắt mồi của lươn đã được quan sát để điều chỉnh lượng thức ăn cho phù hợp. Định kỳ 5 - 7 ngày, việc xả cặn các ngăn lắng (8 - 10% lượng nước của hệ thống) được tiến hành và sau đó cấp bù lượng nước hao hụt. Thời gian nuôi lươn là 8 tháng.

➤ *Phương pháp thu số liệu*

Các chỉ tiêu môi trường nước đầu vào và đầu ra được thu mẫu và phân tích theo các phương pháp quy định trong QCVN 62-MT:2016/BTNMT (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2016). Các yếu tố môi trường nước trong hệ thống nuôi, bao gồm nhiệt độ, pH, oxy hòa tan (DO), TAN và N-NO₂⁻, được thu mẫu (tại bể nuôi) và phân tích định kỳ 1 tháng/lần. Nhiệt độ được đo trực tiếp bằng nhiệt kế, pH được xác định theo phương pháp SMEWW 4500-H⁺ (APHA et al., 2023), DO được phân tích theo phương pháp iod (TCVN 7324:2004), TAN được xác định bằng phương pháp quang phổ (TCVN 6179-1:1996) và N-NO₂⁻ được phân tích theo quy trình CFT-WI04-31, tương đương phương pháp so màu chuẩn APHA. Tăng trưởng của lươn nuôi định kỳ mỗi tháng thu một lần, vớt được dùng để vớt ngẫu nhiên 30 con/bể để thu số liệu từng con (cân khối lượng của lươn), việc phân tích và tính khối lượng trung bình cho từng bể lươn đã được tiến hành. Khi thu hoạch, lươn của mỗi bể được cân tổng khối lượng, đếm số lươn còn lại và cân ngẫu nhiên 30 con/bể để tính khối lượng trung bình, sinh khối và tỷ lệ sống của lươn. Tỷ lệ sống = (số lươn thu mẫu/số lươn thả) * 100. Tốc độ tăng trưởng tương đối (%/ngày): $SGRW = 100 * (lnW_f - lnW_i)/t$. Tốc độ tăng trưởng tuyệt đối gam/ngày): $DWG = (W_f - W_i)/t$. Hệ số tiêu tốn thức ăn: $FCR = \text{Khối lượng thức ăn tiêu hao}/(W_f - W_i)$ (Trong đó: W_f là khối lượng trung bình của lươn khi thu hoạch (g), W_i là khối lượng trung bình ban đầu của lươn khi thả nuôi (g)). Việc phân tích hiệu quả tài chính của mô hình

được thực hiện dựa trên các thông số thu được của quá trình thực nghiệm, hiệu quả tài chính mạng lại từ thực nghiệm thông qua các giá trị sau: tổng chi phí xây dựng mô hình bao gồm chi phí cố định và chi phí biến động (chi phí cố định gồm chi phí xây dựng hoặc mua bể nuôi, bể lọc, giá thể lọc; chi phí biến động: thức ăn, thuốc hóa chất, giá thể dây nylon, ống nhựa, công lao động, điện, ...); tổng thu nhập của mô hình nuôi = khối lượng lươn thu hoạch (kg) x giá bán 1 kg; lợi nhuận mang lại từ mô hình nuôi = tổng thu - tổng chi; tỉ suất lợi nhuận (%) = (lợi nhuận/tổng chi) * 100.

2.3.3. *Phương pháp xử lý số liệu*

Các số liệu được thu trong quá trình thí nghiệm và thực nghiệm được xử lý, phân tích thống kê bằng phần mềm Excel 2016 và SPSS 20.0. Việc so sánh giá trị trung bình giữa hai nghiệm thức được kiểm định bằng T-test, giữa ba nghiệm thức bằng ANOVA một nhân tố với phép thử Duncan, ở mức ý nghĩa $p < 0,05$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát biến động hàm lượng oxy hòa tan ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống tuần hoàn

3.1.1. Biến động hàm lượng oxy hòa tan ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống tuần hoàn

Trong thí nghiệm khảo sát sự biến động hàm lượng oxy hòa tan (DO) ở các chu kỳ tắt sục khí khác nhau trong hệ thống RAS, kết quả cho thấy hàm lượng oxy hòa tan trong hệ thống lọc có sự thay đổi đáng kể (Bảng 1). Ở nghiệm thức 1 (sục khí liên tục 24 giờ), hàm lượng oxy hòa tan ổn định từ 6,96±0,73 mg/L buổi sáng đến 7,30±0,49 mg/L buổi chiều, đảm bảo điều kiện tối ưu cho hoạt động của vi khuẩn hiếu khí. Trong khi đó, ở nghiệm thức 2 và 3, trước khi tắt sục khí, hàm lượng oxy lần lượt đạt 6,53±0,12 mg/L và 6,85±0,14 mg/L. Nhìn chung, oxy trong hệ thống luôn duy trì trên 4 mg/L, đảm bảo điều kiện thuận lợi cho quá trình nitrate hóa (Timmons & Ebeling, 2010). Ở nghiệm thức 2 (sục khí 1 giờ - nghỉ 1 giờ), oxy giảm từ 6,53±0,12 xuống 2,89±1,06 mg/L giữa chu kỳ tắt và còn 1,81±0,32 mg/L trước khi bật lại. Khi sục khí được khởi động, nồng độ oxy nhanh chóng phục hồi (6,61±0,62 mg/L) gần mức bão hòa. Oxy là yếu tố then chốt quyết định tốc độ nitrate hóa, vì vi khuẩn *Nitrosomonas* và *Nitrobacter* là nhóm hiếu khí bắt buộc. Quá trình nitrate hóa vẫn có thể diễn ra ở mức oxy 2 mg/L (Timmons & Ebeling, 2010). Ở nghiệm thức 3 (sục khí 2 giờ - nghỉ 2 giờ), hàm lượng oxy

giảm mạnh hơn so với nghiệm thứ 2 ($P < 0,05$), từ $6,85 \pm 0,14$ mg/L xuống $2,28 \pm 0,25$ mg/L giữa chu kỳ tắt và còn $0,72 \pm 0,53$ mg/L trước khi bật lại. Khi sục khí được mở, hàm lượng oxy phục hồi lên $6,67 \pm 0,45$

mg/L. Tuy nhiên, nồng độ oxy giảm sâu ($0,72 \pm 0,53$ mg/L) có thể ức chế hoạt động nitrat hóa và làm tăng NO_2^- , gây ảnh hưởng đến sinh vật nuôi (Qin et al., 2023).

Bảng 1. Biến động hàm lượng oxy ở các nghiệm thức (Đơn vị tính: mg/L)

Nghiệm thức	Sáng (7h)	Chiều (14h)	Trước khi tắt	Giữa chu kỳ tắt	Trước khi bật	Giữa chu kỳ bật
NT1	$6,96 \pm 0,73$	$7,30 \pm 0,49$	-	-	-	-
NT2	-	-	$6,53 \pm 0,12^a$	$2,89 \pm 1,06^b$	$1,81 \pm 0,32^b$	$6,61 \pm 0,62^a$
NT3	-	-	$6,85 \pm 0,14^a$	$2,28 \pm 0,25^a$	$0,72 \pm 0,53^b$	$6,67 \pm 0,45^a$

Các số liệu trong cùng một cột theo sau bởi các chữ cái giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).

Về mặt năng lượng, nghiệm thức 1 sử dụng máy sục khí công suất 520 W, tiêu thụ trung bình 12,48 kWh/ngày. Trong khi đó, nghiệm thức 2 và 3 chỉ vận hành 12 giờ/ngày, mức tiêu thụ điện giảm còn 6,24 kWh/ngày, giúp tiết kiệm 50% chi phí điện năng. Tổng hợp kết quả cho thấy nghiệm thức 2 đạt hiệu quả tối ưu, vừa duy trì nồng độ oxy đảm bảo hoạt động của vi sinh vật trong bể lọc sinh học, vừa giảm chi phí vận hành, phù hợp để áp dụng trong hệ thống RAS vào thực tiễn sản xuất.

3.1.2. Các yếu tố môi trường nước

Nhiệt độ, pH, oxy và các hợp chất nitơ là những yếu tố then chốt quyết định chất lượng nước và hiệu quả vận hành của hệ thống tuần hoàn. Sự biến động của các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe

sinh vật nuôi và hoạt động của hệ vi sinh trong bể lọc. Kết quả thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 2 cho thấy, nhiệt độ ở ba nghiệm thức dao động từ $27,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ đến $28,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, nằm trong khoảng tối ưu cho hoạt động của vi khuẩn *Nitrosomonas* và *Nitrobacter* ($25 - 30^\circ\text{C}$), giúp quá trình nitrate hóa diễn ra hiệu quả (Timmons & Ebeling, 2010). Giá trị pH dao động từ $7,0 \pm 0,5$ đến $7,5 \pm 1,0$, phù hợp với yêu cầu sinh trưởng của cả hai nhóm vi khuẩn hiếu khí (Tchobanoglous et al., 2003). Trong đó, nghiệm thức 2 có pH thấp hơn ($P < 0,05$) so với nghiệm thức 1 và 3, cho thấy quá trình nitrate hóa ở nghiệm thức 2 diễn ra mạnh hơn, làm giải phóng nhiều ion H^+ , từ đó làm tăng tính axit và dẫn đến sự suy giảm pH của môi trường nước.

Bảng 2. Các yếu tố môi trường trong thí nghiệm

Nghiệm thức	Nhiệt độ ($^\circ\text{C}$)	pH	TAN (mg/L)	N- NO_2^- (mg/L)
NT1	$28,1 \pm 0,5^a$	$7,5 \pm 1,0^b$	$0,7 \pm 0,3^b$	$0,75 \pm 0,3^b$
NT2	$27,5 \pm 0,5^a$	$7,0 \pm 0,5^a$	$1,0 \pm 0,5^c$	$0,5 \pm 0,0^a$
NT3	$27,5 \pm 1,0^a$	$7,5 \pm 0,5^b$	$0,5 \pm 0,5^a$	$0,75 \pm 0,35^b$

Các số liệu trong cùng một cột theo sau bởi các chữ cái giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).

Sự khác biệt này có thể ảnh hưởng đến dạng tồn tại của NH_3 trong nước, vì ở pH thấp thì việc cân bằng $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3^-$ chuyển dịch về phía ion NH_4^+ ít độc hơn, giúp giảm khả năng gây độc cho sinh vật. Hàm lượng TAN trong hệ thống nằm trong khoảng $0,5 \pm 0,5$ đến $1,0 \pm 0,5$ mg/L, cung cấp đủ cơ chất cho vi khuẩn *Nitrosomonas* hoạt động; trong đó, nghiệm thức 2 đạt giá trị cao nhất ($P < 0,05$) nhưng vẫn an toàn cho vật nuôi do pH và nhiệt độ ổn định giữ cho NH_3 ở mức thấp dưới ngưỡng gây độc (Hargreaves, 1998). Hàm lượng N- NO_2^- dao động từ 0,5 đến 0,75 mg/L, đều nằm trong giới hạn an toàn ($< 1,0$ mg/L), trong đó nghiệm thức 2 có giá trị thấp nhất ($P < 0,05$), phản ánh hiệu quả hoạt động của vi khuẩn *Nitrobacter*. Theo Hargreaves (1998), mức N- NO_2^- lý tưởng trong hệ thống RAS nên duy trì dưới 0,5 mg/L để tránh gây độc cho cá. Tổng thể, cả ba

nghiệm thức đều duy trì điều kiện môi trường thích hợp, song nghiệm thức 2 thể hiện sự cân bằng tốt nhất giữa các yếu tố sinh hóa và hiệu quả vận hành. Cụ thể, quá trình nitrate hóa diễn ra hiệu quả, làm hạn chế sự tích lũy N- NO_2^- , phù hợp để áp dụng cho nuôi lươn trong hệ thống RAS.

3.2. Kết quả thực nghiệm nuôi lươn thương phẩm ứng dụng chu kỳ tắt sục khí hiệu quả trong hệ thống RAS

3.2.1. Biến động các yếu tố thủy lý hóa trong hệ thống nuôi lươn

Kết quả phân tích các chỉ tiêu môi trường nước cho thấy hầu hết các thông số đều có sự biến động giữa đầu vào và đầu ra của hệ thống nuôi. Giá trị pH giảm nhẹ từ 7,1 xuống 6,9, nằm trong giới hạn thích hợp cho sinh trưởng của thủy sinh vật và hoạt động

của vi sinh vật trong hệ thống lọc sinh học (Tchobanoglous et al., 2003). Hàm lượng BOD₅ và COD ở đầu ra tăng so với đầu vào (từ 3,8 lên 6,0 mg/L và từ 7,1 lên 15,5 mg/L), phản ánh sự tích lũy chất hữu cơ phát sinh trong quá trình nuôi. Tổng chất rắn lơ lửng và tổng nitơ cũng tăng ở đầu ra, cho thấy sự tích tụ của chất thải rắn và các hợp chất nitơ, chủ yếu từ phân và thức ăn dư thừa (Son, 2017). Tuy nhiên, hàm lượng coliform ở cả đầu vào và đầu ra đều rất thấp (<3 MPN/100 mL), chứng tỏ nguồn

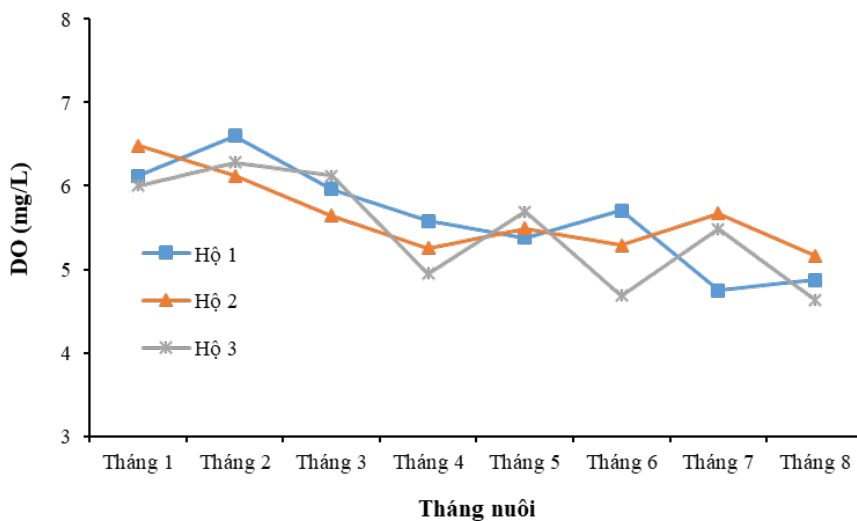
nước và hệ thống tuần hoàn đảm bảo an toàn vệ sinh, hạn chế ô nhiễm vi sinh vật. Nhìn chung, các chỉ tiêu đều nằm trong giới hạn cho phép đối với nước nuôi trồng thủy sản theo QCVN 62-MT:2016/BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Bộ tài nguyên và môi trường, 2016), cho thấy khi ứng dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ hệ thống hoạt động ổn định và hiệu quả trong việc duy trì chất lượng nước phù hợp cho sinh trưởng của vật nuôi.

Bảng 3. Kết quả phân tích các chỉ tiêu môi trường nước đầu vào, đầu ra trong hệ thống nuôi lươn

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Đầu vào	Đầu ra
1	pH		7,1±0,2	6,9±0,1
2	BOD ₅	Mg/L	3,8±0,6	6,0±3,8
3	COD	Mg/L	7,1±0,5	15,5±11,6
4	Tổng chất rắn lơ lửng	Mg/L	<10	18,5±14,7
5	Tổng Nitơ	Mg/L	0,52±0,03	2,10±1,70
6	Tổng Coliform	MPN/100mL	< 3	< 3

Giá trị DO trong nước ở các điểm thực nghiệm dao động từ 4,6 đến 6,6 mg/L trong suốt 8 tháng nuôi (Hình 2 và Bảng 4). Trong giai đoạn đầu (tháng 1 – 3), hàm lượng DO duy trì ở mức cao (5,6 – 6,6 mg/L), cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, khả năng sục khí và trao đổi khí tốt. Tuy nhiên, từ tháng 4 trở đi, hàm lượng DO có xu hướng giảm dần, đặc biệt ở tháng 7 – 8, DO giảm xuống còn 4,6 – 5,2 mg/L. Sự giảm này có thể liên quan đến sự gia tăng sinh khối lươn trong bể, làm tăng nhu cầu oxy cho hô hấp, đồng thời lượng chất thải hữu cơ tích tụ nhiều hơn khiến vi sinh vật dị dưỡng tiêu thụ thêm oxy cho quá trình phân hủy. Kết quả này tương tự với nghiên cứu của Liêm và ctv. (2021) khi ghi nhận hàm lượng DO trong hệ thống RAS giảm dần theo

thời gian nuôi lươn, đặc biệt ở giai đoạn cuối vụ. Tại thời điểm trước khi bật lại sục khí, bể lọc sinh học ghi nhận hàm lượng DO thấp (≈2 mg/L); tuy nhiên, DO trong bể nuôi vẫn được duy trì ở mức an toàn (> 4 mg/L), phù hợp cho lươn đồng sinh trưởng và phát triển. Theo Hồng và My (2022) lươn có thể sống trong điều kiện oxy thấp hơn 2 mg/L. Điều này chứng tỏ hệ thống tuần hoàn và chế độ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ vẫn đảm bảo cung cấp đủ oxy cho vật nuôi trong suốt chu kỳ sản xuất. Nhìn chung, sự biến động hàm lượng DO phản ánh rõ quy luật tiêu thụ oxy tăng dần theo thời gian nuôi, song vẫn nằm trong giới hạn an toàn, cho thấy hiệu quả của hệ thống tuần hoàn trong việc duy trì chất lượng nước ổn định.



Hình 2. Biến động hàm lượng oxy hòa tan trong 8 tháng nuôi

Kết quả được trình bày ở Bảng 4 cho thấy các chỉ tiêu môi trường nước trong hệ thống nuôi lươn tuần hoàn ứng dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ đều nằm trong giới hạn thích hợp cho sự sinh trưởng của lươn đồng. Nhiệt độ nước ổn định trong khoảng 28,5 – 28,7°C (trung bình 28,6°C), phù hợp với khoảng nhiệt độ tối ưu 26 – 30°C được ghi nhận khi nuôi lươn thương phẩm trong hệ thống tuần hoàn (Son, 2017; Liêm và ctv., 2021). Giá trị pH dao động 7,3 – 7,4, thể hiện môi trường nước trung tính đến hơi kiềm, thuận lợi cho hoạt động trao đổi chất của lươn cũng như cho quá trình nitrate hóa diễn ra hiệu quả trong hệ thống lọc sinh học (Hochheimer & Wheaton, 1998). Hàm lượng TAN trung bình

0,24±0,3 mg/L và N-NO₂⁻ là 0,42±0,39 mg/L đều nằm trong giới hạn an toàn (Boyd, 1990). So sánh với nghiên cứu của Son (2017), giá trị TAN dao động từ 0,85 đến 4,21 mg/L và N-NO₂⁻ từ 2,31 đến 4,50 mg/L, cho thấy kết quả ghi nhận thấp hơn, chứng tỏ hiệu quả của hệ thống lọc sinh học trong việc chuyển hóa các hợp chất nitơ, dù chu kỳ sục khí gián đoạn. Nhìn chung, các thông số môi trường giữa ba hệ nuôi không có sự khác biệt đáng kể, chứng tỏ hệ thống RAS hoạt động ổn định, đảm bảo cân bằng khí – dinh dưỡng trong nước, đồng thời cho thấy việc áp dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ không ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng môi trường nuôi.

Bảng 4. Các chỉ tiêu môi trường nước trong hệ thống nuôi ứng dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ

TT	Chỉ Tiêu	Hệ 1	Hệ 2	Hệ 3	Trung bình
1	Nhiệt độ (°C)	28,7±0,5	28,5±0,6	28,7±0,6	28,6±0,4
2	pH	7,4±0,7	7,3±0,5	7,3±0,6	7,3±0,1
3	DO (mg/L)	5,6±0,6	5,6±0,4	5,5±0,6	5,6±0,5
4	TAN (mg/L)	0,17±0,3	0,18±0,3	0,38±0,3	0,24±0,3
5	N-NO ₂ (mg/L)	0,38±0,41	0,38±0,41	0,51±0,43	0,42±0,39

3.2.2. Tăng trưởng, tỷ lệ sống, năng suất và FCR của lươn nuôi

Sau 8 tháng nuôi, khối lượng trung bình của lươn đạt 210,46±7,44 g/con, với tốc độ tăng trưởng tuyệt đối và tương đối lần lượt là 0,84±0,03 g/ngày và 1,27±0,01%/ngày. Kết quả cho thấy tăng trưởng của lươn trong mô hình vượt trội so với mô hình nuôi lươn trong bùn (170,5 – 186,1 g/con; Long và ctv., 2018), hay mô hình nuôi lươn không bùn (135,3 – 186,8 g/con; Hiệu, 2016) và mô hình nuôi lươn tuần hoàn có khối lượng dao động từ 160 đến 185 g/con, tốc độ tăng trưởng tuyệt đối từ 0,53 đến 0,61 g/ngày và tương đối từ 0,52 đến 0,72%/ngày (Liêm và ctv., 2021). Điều này cho thấy hệ thống tuần hoàn được áp dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ trong nghiên cứu vẫn đảm bảo duy trì chất lượng nước ổn định, cung cấp đủ oxy và giảm stress, tạo điều kiện

thuận lợi cho lươn tăng trưởng nhanh. Tỷ lệ sống trung bình đạt 74,8±4,7%, cao hơn so với mô hình nuôi lươn không bùn (56,2 – 60,9%) tại An Giang (Thư và ctv., 2019), nhưng thấp hơn so với mô hình nuôi lươn tuần hoàn (88 – 90,7%) tại Cần Thơ, với kích cỡ lươn giống 30 g/con (Liêm và ctv., 2021). Năng suất bình quân đạt 137,9±13,6 kg/m³, cao hơn đáng kể so với mô hình truyền thống từ 18,2 đến 22,6 kg/m³ (Long và ctv., 2018; Thư và ctv., 2019) cũng như mô hình nuôi lươn tuần hoàn ở mật độ 300 con/m² (82,8 – 85,0 kg/m³) và 200 con/m² (49,8 – 52,4 kg/m³) của Liêm và ctv. (2021). Sự chênh lệch này cho thấy tốc độ tăng trưởng nhanh và khả năng thích nghi tốt của lươn trong điều kiện nuôi thử nghiệm, đồng thời khẳng định hiệu quả của việc điều chỉnh chu kỳ sục khí nhằm tối ưu hóa chất lượng môi trường nước và hiệu quả sản xuất.

Bảng 5. Khối lượng, tốc độ tăng trưởng tuyệt đối và tương đối, tỷ lệ sống, năng suất và FCR của lươn

Chỉ tiêu	Hệ 1	Hệ 2	Hệ 3	Trung bình
W ₀ (g)	10,03±0,01	10,01±0,02	10,02±0,01	10,02±0,01
W _{240 ngày} (g)	207,21±4,19	218,97±6,92	205,20±2,14	210,46±7,44
DWG _{1-240 ngày} (g/ngày)	0,82±0,02	0,87±0,03	0,81±0,01	0,84±0,03
SGRW _{1-240 ngày} (%/ngày)	1,26±0,01	1,29±0,01	1,26±0,01	1,27±0,01
Tỷ lệ sống (%)	73,3±1,5	80,0±1,0	71,0±1,0	74,8±4,7
Năng suất (kg/m ³)	133,0±5,5	153,2±3,8	127,5±3,1	137,9±13,6
FCR	1,22±0,01	1,20±0,01	1,24±0,03	1,22±0,02

Hệ số chuyển hóa thức ăn (FCR) đạt 1,22±0,02, phản ánh khả năng sử dụng thức ăn hiệu quả của lươn trong điều kiện nước được tái sử dụng và kiểm

soát tốt, tương đương với các nghiên cứu trước đây FCR dao động từ 1,20 đến 1,52 (Liêm và ctv., 2021; Triều và ctv., 2024). Nhìn chung, hệ thống tuần hoàn

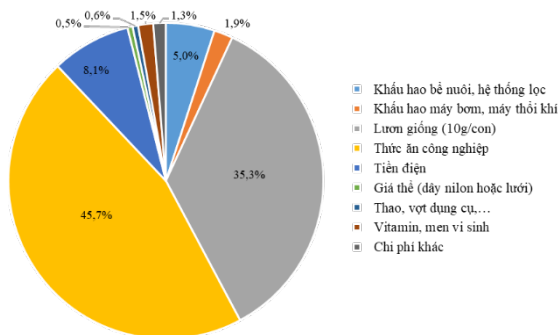
áp dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ đã chứng minh hiệu quả rõ rệt trong việc duy trì môi trường nước ổn định, thúc đẩy tăng trưởng, giảm chi phí thức ăn và nâng cao năng suất, góp phần hướng tới mô hình nuôi bền vững và thân thiện với môi trường.

3.2.3. Hiệu quả tài chính mang lại từ mô hình

Tổng chi phí cho một vụ nuôi lươn là 92,92 triệu đồng, trong đó con giống và thức ăn chiếm tỷ trọng lớn nhất, lần lượt 35,3% và 45,7%. Chi phí điện năng chiếm khoảng 7,6 – 8,7% (trung bình 8,1%) tổng chi phí sản xuất (giá điện 3.197 đồng/kWh). Hệ thống lọc sinh học sử dụng máy sục khí 750 W tiêu thụ 18 kWh/ngày khi hoạt động liên tục, nhưng khi áp dụng chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ, mức tiêu thụ giảm còn 9 kWh/ngày, giúp tiết kiệm 50% chi phí điện năng, làm tỷ trọng chi phí điện trong tổng chi phí sản xuất giảm xuống còn 8,1%, so với 15,1% ở mô hình không áp dụng.

Chi phí điện trong mô hình này tương đương với mô hình truyền thống (7,8%), do các hộ nuôi vẫn phải bơm thay nước 3 – 4 lần/ngày (Long, 2015; Thư và ctv., 2019). Hệ thống tuần hoàn được làm từ vật liệu composite có độ bền cao, được nhà sản xuất bảo hành lên đến 10 năm, do đó chi phí khấu hao cho một vụ nuôi lươn chỉ chiếm 5% tổng chi phí, trong khi mô hình thay nước truyền thống là 22% (Trang, 2024). Chi phí thuốc và hóa chất giảm mạnh, chỉ 1,5% so với 9,1% (Trang, 2024), nhờ môi trường nước ổn định, hạn chế phát sinh bệnh. Tổng doanh thu trung bình đạt 117,91 triệu đồng, lợi

nhuận bình quân 24,99 triệu đồng/vụ (2,78 triệu đồng/m³), với tỷ suất lợi nhuận 26,7%. Lợi nhuận thu được khá cao so với mô hình nuôi lươn truyền thống theo chuẩn VietGAP tại An Giang từ 0,94 đến 1,06 triệu đồng/m³ (Long, 2015), tương đương so với mô hình nuôi lươn tuần hoàn (1,88 – 2,86 triệu đồng/m³) của Liêm và ctv. (2021), song tỷ suất lợi nhuận thấp hơn (40,5 – 53,2%). Như vậy, mặc dù tổng chi phí có tăng do giá điện, con giống và thức ăn tăng, nhưng chi phí điện năng thực tế tương đương mô hình truyền thống, trong khi mô hình tuần hoàn giúp duy trì hàm lượng oxy ổn định, lươn nuôi tăng trưởng vượt trội, nâng cao tỷ lệ sống và năng suất, giảm chi phí sử dụng thuốc và hóa chất, tạo ra sản phẩm an toàn vệ sinh thực phẩm, mang lại hiệu quả tài chính cao, phù hợp ứng dụng trong sản xuất, góp phần thực hiện mục tiêu phát triển nông nghiệp xanh – kinh tế tuần hoàn – thích ứng với biến đổi khí hậu.



Hình 2. Tỷ lệ (%) các chi phí của mô hình

Bảng 6. Hiệu quả tài chính của mô hình nuôi lươn trong hệ thống tuần hoàn (Đơn vị tính: triệu đồng)

Hạng mục	Hộ 1	Hộ 2	Hộ 3	Trung bình
I. Tổng chi	92,35	96,78	89,62	92,92±3,62
Khấu hao bể nuôi, hệ thống lọc	4,64	4,54	4,74	4,64±0,10
Khấu hao máy bơm, máy thổi khí	1,80	1,78	1,83	1,80±0,03
Lươn giống (10g/con)	32,76	32,76	32,76	32,76±0,00
Thức ăn công nghiệp	41,22	46,35	39,95	42,50±3,39
Điện	8,01	7,83	6,84	7,56±0,63
Giá thể (dây nilon hoặc lưới)	0,42	0,49	0,56	0,49±0,07
Thảo, vợt dụng cụ,...	0,60	0,55	0,45	0,53±0,08
Vitamin, men vi sinh	1,70	1,10	1,50	1,43±0,31
Chi phí khác	1,20	1,40	1,00	1,20±0,20
II. Tổng thu	112,99	132,41	108,32	117,91±12,77
Lươn thương phẩm	112,99	132,41	108,32	117,91±12,77
III. Tổng lợi nhuận	20,64	35,62	18,70	24,99±9,26
Lợi nhuận cho 1 m ³	2,87	4,95	2,60	3,47±1,29
IV. Tỷ suất lợi nhuận (%)	22,3	36,8	20,9	26,7±8,8

4. KẾT LUẬN

Chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ mang lại hiệu quả tối ưu. Chế độ này giúp tiết kiệm khoảng 50% điện năng so với sục khí liên tục, qua đó giảm chi phí vận hành nhưng vẫn duy trì đủ oxy cho hoạt động của vi sinh vật trong bể lọc sinh học.

Kết quả thực nghiệm sau 8 tháng nuôi, lươn đạt khối lượng trung bình $210,46 \pm 7,44$ g/con, tỷ lệ sống $74,8 \pm 4,7\%$, năng suất đạt $137,9 \pm 13,6$ kg/m³, lợi nhuận khá cao 3,47 triệu đồng/m³, với tỷ suất lợi nhuận 26,7%. Chu kỳ sục khí 1 giờ – nghỉ 1 giờ không ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng và hiệu

suất nuôi, đồng thời giúp tiết kiệm năng lượng vận hành và duy trì hiệu quả sản xuất ổn định.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo được thực hiện trong khuôn khổ của Dự án “Ứng dụng công nghệ tuần hoàn trong ương giống và nuôi lươn đồng (*Monopterus albus*) thương phẩm quy mô nông hộ tại thành phố Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp”. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ Đồng Tháp đã tạo mọi điều kiện hỗ trợ về mặt thủ tục pháp lý và kinh phí thực hiện dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- APHA, AWWA, & WEF. (2023). 4500-H⁺ pH. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.). APHA Press. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.082>
- Boyd, C. E. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Birmingham Publishing Co.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2016). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về môi trường: QCVN 62 – MT: 2016/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải chăn nuôi. https://vbpl.vn/FileData/TW/Lists/vbpq/Attachments/125622/VanBanGoc_04-2016-tt-btnmt.pdf
- Hargreaves, J. A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166, 181–212. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00298-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00298-1)
- Hochheimer, J. N., & Wheaton, F. (1998). Biological filters: Trickling and RBC design. In *Proceedings of the Second International Conference on Recirculating Aquaculture* (pp. 291–318). <https://web.deu.edu.tr/atiksu/ana52/trirbcdes.pdf>
- Hồng, P. T. T., & My, L. T. T. (2022). Thử nghiệm ương lươn đồng (*Monopterus albus*) giai đoạn bột lên giống bằng thức ăn công nghiệp. *Tạp chí Khoa học Đại học Cửu Long*, 26, 65–74.
- Hiệu, N. T. (2016). *Phát triển kỹ thuật sản xuất giống và nuôi thương phẩm lươn đồng (Monopterus albus, Zwiw 1793) tại huyện Vĩnh Thạnh, Thành phố Cần Thơ* (Báo cáo tổng kết dự án). Huyện Vĩnh Thạnh, Thành phố Cần Thơ.
- Liêm, P. T., Phương, N. T., Tâm, B. M., Lan, L. M., & Hiệu, N. T. (2021). *Ứng dụng công nghệ tuần hoàn nước nuôi thâm canh lươn đồng (Monopterus albus) tại thành phố Cần Thơ* (Báo cáo tổng kết dự án). Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Cần Thơ.
- Long, D. N., Lan, L. M., Phong, N. T., Tâm, V. H. Đ. L., Dũng, T. V., & Minh, V. M. (2018). *Xây dựng mô hình sản xuất thủy sản hiệu quả thích ứng với điều kiện biến đổi khí hậu & nước biển dâng ở tỉnh Trà Vinh* (Báo cáo tổng kết đề tài). Ban điều phối dự án AMD tỉnh Trà Vinh.
- Long, N. T. (2015). Khía cạnh tài chính và kỹ thuật của mô hình nuôi lươn (*Monopterus albus*) ở tỉnh An Giang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 7, 89–95.
- Nghĩa, N. T. (2010). *Nghiên cứu tuổi thành thục và thử nghiệm sinh sản lươn đồng (Monopterus albus, Zwiw 1793)* (Luận văn thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.
- Nhân, H. T., Đức, P. M., & Long, D. N. (2020). Ảnh hưởng của hàm lượng protein lên chất lượng nước, tăng trưởng của lươn *Monopterus albus* (Zwiw, 1793) và cải thìa (*Brassica chinensis*) trong mô hình aquaponic. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 56(1a), 143–152. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2020.015>
- Qin, J. G., Xu, W. X., & Wang, L. (2023). *The impact of oxygen concentration on the structure of microbial communities in aquaculture systems: Implications for water quality management*. *Aquaculture Research*, 54(6), 1235–1247.
- Sơn, L. P. (2017). *Nghiên cứu thử nghiệm nuôi lươn đồng (Monopterus albus) trong hệ thống tuần hoàn* (Báo cáo tổng kết đề tài). Trường Đại học Trà Vinh.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Thur, N. M., Huy, N. H., Hiền, H. V., & Lan, L. M. (2019). Đánh giá hiệu quả kỹ thuật và tài chính của mô hình nuôi lươn ở tỉnh An Giang. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, 4, 126–131.
- Timmons, M.B. and J.M. Ebeling, 2007. *Recirculating Aquaculture*. NRAC Publication No. 01-007. Cayuga Aqua Ventures, New York, USA. 975 pp.

Trang, L. T. H. (2024). Phân tích hiệu quả tài chính của nghề nuôi lươn (*Monopterus albus*) tại khu vực Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 13(9), 37–47.
<https://doi.org/10.52714/dthu.13.9.2024.1368>

Triều, N. V., Liêm, P. T., Tâm, V. H. L. Đ., Nhân, T. N. H., & Trang, T. T. T. (2024). *Chuyển giao mô hình nuôi lươn đồng (Monopterus albus) ứng dụng công nghệ tuần hoàn nước tại Lũ đoàn 950 (Báo cáo tổng kết đề tài)*. Trường Đại học Cần Thơ.