

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG BỘT ẤU TRÙNG RUỒI LÍNH ĐEN (*Hermetia illucens*) THAY THẾ BỘT CÁ ĐÈN TĂNG TRƯỞNG, HOẠT TÍNH ENZYME TIÊU HÓA, ENZYME CHUYỂN HÓA VÀ TRẠNG THÁI OXY HÓA CỦA CÁ HỒNG MỸ (*Sciaenops ocellatus*) GIAI ĐOẠN GIỐNG

EFFECTS OF BLACK SOLDIER FLY (*Hermetia illucens*) LARVAE MEAL AS A FISH MEAL REPLACEMENT ON GROWTH, DIGESTIVE ENZYMES, METABOLIC ENZYMES, AND OXIDATIVE STATUS OF JUVENILE RED DRUM (*Sciaenops ocellatus*)

Phạm Thị Khanh¹, Nguyễn Thị Anh Thu^{2*}, Lê Thành Cường¹, Nguyễn Việt Vương³

1. Khoa Nuôi trồng Thủy sản, Trường Thủy sản và Khoa học sự sống, Trường Đại học Nha Trang

2. Khoa Công nghệ sinh học, Trường Thủy sản và Khoa học sự sống, Trường Đại học Nha Trang

3. Trại cá giống Thôn Lương Sơn, xã Vĩnh Lương, Nha Trang, Khánh Hòa

Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Anh Thu, Email: thunta@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 07/12/2025; Ngày phân biện thông qua: 18/12/2025; Ngày duyệt đăng: 25/03/2026

TÓM TẮT

Cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*) là loài cá biển có giá trị kinh tế cao, được nuôi phổ biến tại nhiều quốc gia và đang được phát triển mạnh ở Việt Nam nhờ tốc độ tăng trưởng nhanh, chất lượng thịt tốt và nhu cầu thị trường ổn định. Tuy nhiên, chi phí thức ăn, đặc biệt là sự phụ thuộc vào bột cá, vẫn là thách thức lớn đối với tính bền vững của nghề nuôi loài cá này. Bột ấu trùng ruồi lính đen (*Hermetia illucens*, RLD) được xem là nguồn protein thay thế tiềm năng, thân thiện với môi trường và có giá trị dinh dưỡng cao. Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc thay thế một phần protein bột cá bằng bột RLD đến sinh trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, hoạt tính enzyme tiêu hóa, enzyme chuyển hóa và trạng thái oxy hóa của cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*) giai đoạn giống (3–5 cm). Thí nghiệm được bố trí trong 56 ngày với năm nghiệm thức (AT0, AT2, AT7, AT12 và AT17), tương ứng các mức thay thế protein bột cá bằng RLD là 0, 2, 7, 12 và 17%, mỗi nghiệm thức gồm 3 bể. Kết quả cho thấy các chỉ tiêu sinh trưởng (chiều dài, khối lượng, SGRL, SGR) và tỷ lệ sống không khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$), cho thấy cá dung nạp tốt RLD. Hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR) cải thiện rõ ở AT17 ($p < 0,05$). Hoạt tính enzyme tiêu hóa amylase không bị ảnh hưởng, trong khi protease và lipase tăng ở các nghiệm thức RLD mức 2–12% và giảm ở AT17. Các enzyme chuyển hóa gan (ALT, AST, ALP) duy trì ổn định ở AT0–AT12 nhưng tăng ở AT17. Đồng thời, các nghiệm thức AT7–AT12 ghi nhận hàm lượng MDA thấp và hoạt tính enzyme chống oxy hóa (SOD, CAT, GPx) cao hơn, phản ánh khả năng kiểm soát stress oxy hóa tốt hơn. Nhìn chung, mức thay thế RLD 7–12% được xem là phù hợp và an toàn cho cá hồng Mỹ giai đoạn giống.

Từ khóa: cá hồng Mỹ; enzyme tiêu hóa; Ruồi lính đen; thay thế bột cá; tăng trưởng.

ABSTRACT

Cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*) is a marine fish species of high economic value, widely cultured in many countries and increasingly developed in Vietnam due to its rapid growth rate, good flesh quality, and stable market demand. However, feed costs—particularly the heavy reliance on fish meal—remain a major challenge to the sustainability of red drum aquaculture. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal (BSFL) has been recognized as a promising alternative protein source, offering high nutritional value while being environmentally friendly. This study evaluated the effects of partially replacing fish meal protein with BSFL larvae meal on growth performance, feed utilization efficiency, digestive enzyme activity, metabolic enzymes, and oxidative status of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*, 3–5 cm). The experiment was conducted for 56 days with five dietary treatments (AT0, AT2, AT7, AT12, and AT17), corresponding to 0, 2, 7, 12, and 17% replacement of fish meal protein by BSFL larvae meal, with three replicate tanks per treatment. The results showed

no significant differences in growth parameters (body length, body weight, SGRL, SGR) or survival rate among treatments ($p > 0.05$), indicating good tolerance of BSF larvae meal by the fish. Feed conversion ratio (FCR) was significantly improved in AT17 ($p < 0.05$). Digestive amylase activity was not affected by BSF inclusion, whereas protease and lipase activities increased at BSF levels of 2–12% and declined at AT17. Serum metabolic enzymes (ALT, AST, and ALP) remained stable in AT0–AT12 but increased in AT17. In addition, fish fed AT7–AT12 diets exhibited lower malondialdehyde (MDA) levels and higher antioxidant enzyme activities (SOD, CAT, GPx), indicating improved control of oxidative stress. Overall, a BSF larvae meal replacement level of 7–12% is considered appropriate and safe for juvenile red drum.

Key words: red drum; digestive enzymes; black soldier fly; fish meal replacement; growth performance.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cá hồng Mỹ (*S. ocellatus*) là loài cá biển có giá trị kinh tế cao, tăng trưởng nhanh, thích nghi tốt với điều kiện nuôi và được xem là đối tượng nuôi tiềm năng tại Việt Nam. Tương tự nhiều loài cá biển ăn thịt khác, cá hồng Mỹ có nhu cầu protein cao và phụ thuộc đáng kể vào bột cá – nguồn protein có độ tiêu hóa cao, giàu axit amin thiết yếu và dễ hấp thu (Hardy & Tacon, 2002). Tuy nhiên, nguồn cung bột cá toàn cầu đang suy giảm trong khi nhu cầu cho ngành thức ăn thủy sản ngày càng tăng, làm giá bột cá tăng và ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế của nuôi thâm canh (FAO, 2009; Hussain et al., 2024). Thức ăn hiện chiếm khoảng 60–70% tổng chi phí sản xuất trong nuôi cá biển, do đó việc tìm kiếm nguồn protein thay thế bền vững là yêu cầu cấp thiết (Radhakrishnan et al., 2020).

Nhiều nguồn protein thay thế đã được nghiên cứu, bao gồm protein thực vật, phụ phẩm động vật và protein từ côn trùng. Trong đó, ấu trùng ruồi lính đen (*Hermetia illucens*, BSFL) được đánh giá là nguồn nguyên liệu triển vọng nhờ hàm lượng protein cao (40–50%), lipid (15–30%) và thành phần axit amin tương đối cân đối, đặc biệt là lysine và methionine – hai axit amin thường thiếu hụt trong protein thực vật (Makkar et al., 2014). Lipid của BSFL chứa hàm lượng cao axit lauric (C12:0), một axit béo chuỗi trung bình có hoạt tính kháng khuẩn và tiềm năng điều hòa hệ vi sinh đường ruột (Ottoboni et al., 2018; Priyadarshana et al., 2022; Rawski et al., 2025). Ngoài ra, BSFL

được xem là nguyên liệu an toàn sinh học, ít nguy cơ tích lũy độc tố và không phải vật chủ truyền bệnh (Lu et al., 2022). Một ưu điểm khác của BSFL là khả năng sinh trưởng trên phế phụ phẩm nông nghiệp và rác thải thực phẩm, góp phần giảm áp lực môi trường và phù hợp với mô hình kinh tế tuần hoàn (Van Huis, 2021; Fu et al., 2024).

Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy BSFL có thể thay thế khoảng 20–50% bột cá trong khẩu phần của nhiều loài cá và giáp xác như cá hồi, cá rô phi, cá chẽm và tôm mà không ảnh hưởng tiêu cực đến tăng trưởng, FCR hoặc sức khỏe vật nuôi (Nairuti et al., 2022; Oteri et al., 2021; Speranza et al., 2025). Một số nghiên cứu còn ghi nhận sự cải thiện đáp ứng miễn dịch và khả năng chống chịu stress khi sử dụng BSFL ở mức bổ sung phù hợp (Abdel-Latif et al., 2021; Tippayadara et al. 2021). Tuy nhiên, mức thay thế tối ưu vẫn phụ thuộc vào loài, giai đoạn phát triển và đặc điểm khẩu phần (Mohan et al., 2022).

Đối với cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*), nghiên cứu gần đây của Paredes et al. (2025) đã đánh giá ảnh hưởng của BSFL đến tăng trưởng, đặc điểm mô học và cấu trúc hệ vi sinh đường ruột. Tuy nhiên, nghiên cứu này chủ yếu nhằm xác định mức thay thế tối đa và khả năng ứng dụng BSFL ở quy mô sản xuất, tập trung vào các chỉ tiêu tăng trưởng, FCR, thành phần acid béo và mô học, trong khi chưa làm rõ các cơ chế sinh lý như hoạt tính enzyme tiêu hóa ở giai đoạn cá giống nhỏ.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về BSFL

trong thức ăn thủy sản chủ yếu được thực hiện trên một số loài như cá chêm (Nguyễn Phúc Cẩm Tú và cộng sự, 2023), cá rô phi đỏ (Huỳnh Thị Diễm Khanh và Trịnh Thị Lan, 2019) và cá lóc (Nguyễn Phú Hòa và Nguyễn Văn Dũng, 2016). Phần lớn các thí nghiệm sử dụng mức thay thế bột cá khá cao (25–100%) và tập trung vào giai đoạn cá tăng trưởng hoặc cá thương phẩm. Trong khi đó, ở giai đoạn cá giống, khi hệ tiêu hóa và enzyme chuyển hóa vẫn đang hoàn thiện, cá thường nhạy cảm hơn với sự thay đổi khẩu phần. Vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn dải mức thay thế thấp hơn (2–17%) nhằm xác định mức bổ sung BSFL tối ưu và an toàn cho cá hồng Mỹ giai đoạn giống.

Bên cạnh các chỉ tiêu tăng trưởng và hiệu quả sử dụng thức ăn, hoạt tính enzyme tiêu hóa (protease, amylase và lipase) cũng được đánh giá nhằm làm rõ khả năng chuyển hóa dinh dưỡng khi thay đổi nguồn protein khẩu phần. Một số nghiên cứu cho thấy BSFL có thể duy trì hoặc cải thiện hoạt tính enzyme tiêu hóa nhờ hàm lượng lipid giàu axit lauric và các peptide hoạt tính sinh học giúp ổn định môi trường ruột (Bruni et al., 2018; Oteri et al., 2021).

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của việc thay thế protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (*Hermetia illucens*) ở các mức 2%, 7%, 12% và 17% trong khẩu phần đến sinh trưởng, tỷ lệ sống, hiệu quả sử dụng thức ăn, hoạt tính enzyme tiêu hóa, enzyme chuyển hóa và trạng thái chống oxy hóa của cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*) giai đoạn giống. Dải mức 2–17% được thiết kế theo thang tăng dần nhằm phù hợp với đặc điểm sinh lý của cá giống và cho phép xác định ngưỡng đáp ứng sinh lý trước khi xem xét các mức thay thế cao hơn. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển khẩu phần sử dụng nguồn protein thay thế bền vững, góp phần giảm phụ thuộc vào bột cá và nâng cao hiệu quả kinh tế trong nuôi cá biển.

II. ĐỐI TƯỢNG, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Đối tượng, địa điểm và thời gian nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành từ tháng 11/2024 đến tháng 10/2025 tại Trại cá Vĩnh Lương (Khánh Hòa) và các phân tích mẫu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Bệnh học Thủy sản, Viện Nuôi trồng Thủy sản – Trường Đại học Nha Trang. Đối tượng thí nghiệm là cá hồng Mỹ (*S. ocellatus*) giai đoạn giống, có chiều dài 3–5 cm, được ương tại Trại cá Vĩnh Lương. Cá được thuần dưỡng trong bể composite trong 7 ngày trước khi bố trí vào các nghiệm thức nhằm đảm bảo sức khỏe ổn định và thích nghi với điều kiện thí nghiệm.

Nguồn bột ấu trùng ruồi lính đen (*H. illucens*) được cung cấp bởi Công ty TNHH Entobel (Việt Nam). Nguyên liệu được sử dụng trực tiếp trong công thức phối trộn thức ăn theo các mức thay thế phần trăm protein bột cá.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Chuẩn bị thức ăn

Thức ăn thí nghiệm được thiết kế gồm năm nghiệm thức với các mức thay thế protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (*H. illucens*; RLĐ) lần lượt là 0%, 2%, 7%, 12% và 17%, tương ứng với các nghiệm thức AT0, AT2, AT7, AT12 và AT17. Các công thức thức ăn được xây dựng nhằm đảm bảo sự khác biệt chủ yếu đến từ mức thay thế protein bột cá, trong khi các thành phần dinh dưỡng cơ bản khác được kiểm soát ở mức tương đương giữa các nghiệm thức. Thành phần phối trộn chi tiết của từng công thức thức ăn được trình bày trong Bảng 1.

Các nguyên liệu thô được cân chính xác theo từng công thức, sau đó phối trộn đồng đều bằng máy trộn trục xoắn. Hỗn hợp nguyên liệu sau khi trộn được ép viên bằng máy ép thức ăn dạng sợi, tiếp theo được sấy ở nhiệt độ 50–55°C cho đến khi độ ẩm của thức ăn giảm xuống dưới 10%. Thức ăn sau sấy được làm nguội ở điều kiện phòng, đóng gói trong túi

kin và bảo quản ở 4°C trong suốt thời gian thí nghiệm nhằm hạn chế quá trình oxy hóa lipid và biến tính protein.

Bột ấu trùng ruồi lính đen sử dụng trong nghiên cứu được phân tích thành phần dinh dưỡng cơ bản theo phương pháp ngẫu nhiên.

Kết quả phân tích cho thấy bột RLD có hàm lượng protein thô đạt 57%, lipid 12%, xơ thô 8%, tro 13% và độ ẩm 5%. Các thông số này được sử dụng làm cơ sở cho việc xây dựng và điều chỉnh tỷ lệ phối trộn trong các công thức thức ăn thí nghiệm.

Bảng 1: Thành phần nguyên liệu của thức ăn có bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen (RLD)

| Nguyên liệu | Protein % | Lipid % | Tro % | Độ ẩm % |
|---------------------|-----------|---------|-------|---------|
| Bột cá Peru | 63 | 8,2 | 20 | ~10 |
| Bột cá Việt Nam | 55 | 7,5 | 22 | 11 |
| Bột mực | 55 | 12 | 7.5 | 7 |
| Bột đậu nành | 40 | 1,8 | 6 | 9 |
| Cám gạo | 5 | 1,2 | 3.5 | 8 |
| Bột mì | 8 | 1,5 | 1.2 | 11 |
| Gluten mì | 55 | 1,7 | 1.5 | 5 |
| Bột RLD | 57 | 13 | 12 | 5 |
| Dầu mực | 0 | 100 | 0 | |
| Dầu Đậu nành | 0 | 100 | 0 | |
| Chất bổ sung | | | | |

2.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí theo mô hình hoàn toàn ngẫu nhiên với 5 nghiệm thức (AT0–AT17), mỗi nghiệm thức lặp lại ba lần (n = 3). Cá hồng Mỹ giống được thả vào các bể composite thể tích 200 L với mật độ 80 con/bể (tương đương 0,4 con/L). Tất cả bể được đặt trong khu vực có mái che nhằm hạn chế tác động từ ánh sáng trực tiếp và biến động nhiệt.

Mỗi bể được sục khí liên tục bằng bốn đầu khí đá nhằm duy trì hàm lượng oxy hòa tan ổn định. Nước cấp là nước biển được lọc thô và khử trùng bằng chlorine trước khi sử dụng. Nước trong bể được thay 50% mỗi ngày để ổn định chất lượng nước và hạn chế tích tụ chất thải.

Cá được cho ăn hai lần mỗi ngày (07:00 và 17:00) với khẩu phần bằng 4% khối lượng thân. Khẩu phần được điều chỉnh hàng tuần theo sinh khối thực tế. Thức ăn dư sau 2 giờ được thu lại, sấy khô và cân nhằm xác định

chính xác lượng thức ăn tiêu thụ.

Thời gian thí nghiệm kéo dài 56 ngày. Cá được cân đo định kỳ tại các tuần 0 và 8. Kết thúc thí nghiệm, toàn bộ cá được cân đo sinh trưởng, thu mẫu ruột để phân tích hoạt tính enzyme tiêu hóa và thu mẫu gan để phân tích enzyme chuyển hóa.

2.3. Theo dõi và quản lý môi trường nước

Các chỉ tiêu môi trường nước được giám sát thường xuyên và duy trì trong khoảng phù hợp cho cá hồng Mỹ, bao gồm: nhiệt độ 28–30°C; pH 8,0–8,4; oxy hòa tan (DO) > 5 mg/L; độ mặn 25–32‰; tổng amoni (TAN, NH₃/NH₄⁺) duy trì ở mức thấp (< 0,25 mg/L); nitrit (NO₂⁻) < 0,1 mg/L; và độ kiềm 120–180 mg CaCO₃/L.

Nhiệt độ, pH và DO được đo hằng ngày bằng máy đa chỉ tiêu YSI Pro Plus (Hoa Kỳ). Độ mặn được xác định bằng khúc xạ kế ATAGO (Nhật Bản). TAN, nitrit và độ kiềm được phân tích hàng tuần bằng bộ test SERA (Đức). Toàn bộ dữ liệu môi trường được lưu trữ để đối chiếu

và đánh giá tác động đến sinh trưởng – sinh lý của cá.

3. Các chỉ tiêu theo dõi

3.1. Thu thập mẫu và đánh giá sinh trưởng

Trước khi thu mẫu, cá được nhịn ăn 24 giờ và gây mê nhẹ bằng dung dịch gây mê nhằm giảm stress trong quá trình thao tác. Các chỉ tiêu sinh trưởng được ghi nhận vào đầu và cuối thí nghiệm, bao gồm chiều dài toàn thân (TL, mm) và khối lượng cơ thể (BW, g), được đo

$$\text{Khối lượng tăng tuyệt đối (WG, g/con)} = W_2 - W_1$$

$$\text{Chiều dài tăng tuyệt đối (LG, cm/con)} = L_2 - L_1$$

$$\text{Tốc độ tăng trưởng khối lượng đặc trưng (SGR, \%/ngày)} = [(\ln W_2 - \ln W_1) / t] \times 100$$

$$\text{Tốc độ tăng trưởng chiều dài đặc trưng (SGRL, \%/ngày)} = [(\ln L_2 - \ln L_1) / t] \times 100$$

$$\text{Chỉ số gan (HSI, \%)} = (LW / W_2) \times 100$$

$$\text{Chỉ số nội tạng (VSI, \%)} = (VW / W_2) \times 100$$

$$\text{Tỷ lệ sống (SR, \%)} = (N_2 / N_1) \times 100$$

$$\text{Hệ số chuyển hóa thức ăn (FCR)} = FI / WG$$

Trong đó, W_1 và W_2 là khối lượng trung bình cá tại thời điểm đầu và cuối thí nghiệm (g); L_1 và L_2 là chiều dài trung bình cá (mm); N_1 và N_2 là số lượng cá ban đầu và cuối kỳ; t là thời gian thí nghiệm (ngày); FI : Lượng thức ăn cá ăn vào (g/con); LW : khối lượng gan (g/con); VW : khối lượng nội tạng (g/con)

3.2. Phân tích hoạt tính enzyme tiêu hóa

Ruột cá được thu vào cuối thí nghiệm, rửa bằng dung dịch NaCl 0,9% lạnh để loại bỏ thức ăn còn lại, sau đó thấm khô và bảo quản ở -20°C cho đến khi phân tích.

Trước khi phân tích, mẫu ruột được rửa đông trên đá lạnh và đông nhất trong dung dịch đệm phosphate (0,1 M; pH 6,9) theo tỷ lệ 1:9 (khối lượng/thể tích). Hỗn hợp được ly tâm ở 4°C (4.200 vòng/phút trong 30 phút) và phần dịch nổi được sử dụng để xác định hoạt tính enzyme tiêu hóa.

Hoạt tính amylase được xác định theo phương pháp của Bernfeld (1951), sử dụng cơ chất là dung dịch tinh bột 1%. Mẫu enzyme (100 μL) phản ứng với 100 μL tinh bột, ủ ở 25°C , sau đó thêm 200 μL thuốc thử DNS, đun

bằng thước kỹ thuật (độ chính xác 1 mm) và cân điện tử (VNS LED-A, độ chính xác 0,01 g).

Sau khi cân đo, cá được giải phẫu để thu mẫu mô. Ruột được tách ra để phân tích hoạt tính enzyme tiêu hóa, trong khi gan được thu để phân tích các chỉ tiêu stress oxy hóa và enzyme chuyển hóa. Mẫu mô được rửa nhẹ bằng dung dịch NaCl 0,9% lạnh, thấm khô bằng giấy lọc và bảo quản ở -20°C cho đến khi tiến hành phân tích.

sôi trong 5 phút, làm nguội và đo mật độ quang ở bước sóng 540 nm bằng máy quang phổ (UV-Vis, Cary 50).

Hoạt tính protease được xác định theo phương pháp Anson cải tiến (1938), sử dụng casein làm cơ chất. Một đơn vị hoạt tính được tính là lượng enzyme thủy phân tạo ra 1 μmol tyrosine/phút ở 30°C , pH 7,6.

Hoạt tính lipase được xác định theo phương pháp của Tambekar et al. (2013) với cơ chất là nhũ tương dầu olive 20% trong 2% gum arabic. Phản ứng gồm 4 mL cơ chất, 3,2 mL đệm Tris-HCl (pH 7,2) và 0,8 mL dịch enzyme. Sau 30 phút ủ ở nhiệt độ phòng, phản ứng được dừng bằng 16 mL acetone và chuẩn độ với NaOH 0,05 N đến pH = 9. Một đơn vị hoạt tính lipase được định nghĩa là lượng enzyme cần thiết để giải phóng 1 μmol acid béo/phút.

Hoạt tính enzyme được chuẩn hóa theo hàm lượng protein tổng số và biểu thị dưới dạng U/mg protein.

3.3. Phân tích hoạt tính enzyme chuyển hóa

Gan cá được thu vào cuối thí nghiệm, rửa

bằng NaCl 0,9% lạnh, thấm khô và bảo quản ở -20°C . Trước khi phân tích, mẫu gan được đồng nhất trong đệm phosphate lạnh 0,1 M; pH 7,4) theo tỷ lệ 1:9 (w/v), sau đó ly tâm ở 4°C (4.200 vòng/phút, 30 phút). Phần dịch nổi được sử dụng để phân tích các enzyme ALT, AST và ALP.

Hoạt tính các enzyme chuyển hóa của gan gồm alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST) và alkaline phosphatase (ALP) được xác định bằng phương pháp so màu động học theo hướng dẫn của nhà sản xuất, sử dụng các bộ kit thương mại: ALT (GPT) Activity Assay Kit (Elabscience; E-BC-K235-M), AST (GOT) Activity Assay Kit (Elabscience; E-BC-K236-M) và ALP Activity Assay Kit (Elabscience; E-BC-K091-M). Hoạt tính enzyme được tính toán dựa trên sự thay đổi độ hấp thụ quang học ở bước sóng đặc trưng và được biểu thị dưới dạng U/mg protein.

3.4. Xác định protein tổng số và các chỉ tiêu stress oxy hóa

Hàm lượng protein tổng số được xác định bằng Total Protein Assay Kit (Elabscience, Trung Quốc; E-BC-K318-M).

Hàm lượng malondialdehyde (MDA) được xác định bằng MDA Colorimetric Assay Kit (Elabscience; E-BC-K028-M).

Hoạt tính các enzyme chống oxy hóa gồm superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) và glutathione peroxidase (GPx) được xác định lần lượt bằng SOD Activity Assay Kit (Hydroxylamine Method) (Elabscience; E-BC-K019-M), và Glutathione Peroxidase (GSH-Px) Activity Assay Kit (Elabscience; E-BC-K019-M).

Kết quả được chuẩn hóa theo hàm lượng protein và biểu thị dưới dạng U/mg protein.

3.5. Phân tích protein tổng số, stress oxy hóa và hoạt tính enzyme chống oxy hóa ở gan cá

4. Xử lý và phân tích số liệu

Dữ liệu được xử lý bằng Microsoft Excel 2021 và SPSS 26.0. Kết quả được trình bày

dưới dạng mean \pm SD hoặc mean \pm SE tùy mục đích. Phân tích phương sai một chiều (One-way ANOVA) được sử dụng để đánh giá sự khác biệt giữa các nghiệm thức. Khi ANOVA cho kết quả có ý nghĩa ($P < 0,05$), kiểm định Tukey HSD được thực hiện nhằm xác định cặp nghiệm thức khác biệt.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Sinh trưởng, tình trạng cơ thể và tỷ lệ sống của cá hồng Mỹ

Kết quả theo dõi trong 56 ngày thí nghiệm cho thấy các thông số sinh trưởng và tình trạng cơ thể của cá hồng Mỹ được duy trì ổn định ở tất cả các nghiệm thức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen (Bảng 2). Chiều dài (L_1) và khối lượng ban đầu (W_1) của cá hoàn toàn không có sự khác biệt đáng kể giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$), cho thấy phân bố cá đồng nhất và chất lượng đàn cá đầu vào tương đồng trước khi bố trí thí nghiệm.

Tại thời điểm kết thúc thí nghiệm, chiều dài toàn thân (L_2) của cá dao động trong khoảng 15,8–16,7 cm, trong khi khối lượng cơ thể (W_2) đạt 40,2–49,5 g. Không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$) đối với hai chỉ tiêu này, mặc dù cá ở nghiệm thức AT17 (17% RLĐ) có xu hướng đạt giá trị trung bình cao hơn so với đối chứng AT0. Các chỉ tiêu tăng trưởng tuyệt đối, bao gồm khối lượng tăng (WG), cũng như các chỉ tiêu tăng trưởng tương đối như SGRL và SGR, không khác biệt đáng kể giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$). Những kết quả này cho thấy việc thay thế protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen ở mức từ 2–17% không làm suy giảm khả năng tăng trưởng của cá Hồng Mỹ trong giai đoạn giống.

Bên cạnh sinh trưởng, tình trạng cơ thể của cá được đánh giá thông qua khối lượng gan (HSW) và các chỉ số sinh lý như VSI và HSI. Khối lượng gan và chỉ số HSI ở nghiệm thức AT7 thấp hơn có ý nghĩa so với các nghiệm thức AT0, AT12 và AT17 ($p < 0,05$), trong khi

AT12 và AT17 có giá trị tương đương hoặc cao hơn đối chứng. Điều này cho thấy mức bổ sung RLĐ trung gian (AT7) có thể ảnh hưởng đến quá trình tích lũy dự trữ ở gan, trong khi các mức thay thế cao hơn không gây tác động bất lợi. Chỉ số VSI dao động trong khoảng 14,4–20,5%, với AT12 cao hơn AT7 ($p < 0,05$), còn lại không ghi nhận sự khác biệt giữa các nghiệm thức. Nhìn chung, các chỉ số này phản ánh sự ổn định về cấu trúc cơ thể và phân bố mô dự trữ nội tạng của cá trong suốt thời gian thí nghiệm.

Hiệu quả sử dụng thức ăn, được đánh giá thông qua hệ số chuyển hóa thức ăn (FCR), có sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$). Cá ở nghiệm thức AT17 ghi nhận giá trị FCR thấp nhất, trong khi AT7 có FCR cao nhất. Các nghiệm thức AT0 và AT12 cho giá trị FCR trung gian và không khác biệt có ý nghĩa so với nhau. Sự cải thiện FCR tại AT17, trong bối cảnh các chỉ tiêu tăng trưởng không suy

giảm, cho thấy việc bổ sung RLĐ ở mức 17% có thể nâng cao hiệu quả sử dụng thức ăn của cá hồng Mỹ mà không ảnh hưởng tiêu cực đến sinh trưởng và tình trạng sinh lý.

Tỷ lệ sống đạt 100% ở tất cả các nghiệm thức, bao gồm cả đối chứng và các mức thay thế RLĐ, cho thấy cá dung nạp tốt nguồn protein từ bột ấu trùng ruồi lính đen. Không ghi nhận dấu hiệu stress, bệnh lý hay tử vong trong suốt quá trình nuôi, phản ánh điều kiện môi trường, chất lượng thức ăn và quy trình chăm sóc được duy trì ổn định và phù hợp.

Tổng hợp các kết quả cho thấy việc thay thế protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen đến mức 17% không làm suy giảm sinh trưởng, tình trạng cơ thể hay sức khỏe của cá hồng Mỹ giai đoạn giống, đồng thời có thể cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn. Điều này khẳng định tiềm năng ứng dụng an toàn của bột RLĐ như một nguồn protein thay thế trong khẩu phần nuôi cá hồng Mỹ ở quy mô thực nghiệm.

Bảng 2: Ảnh hưởng của khẩu phần bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen (*H. illucens*) đến tăng trưởng, các chỉ tiêu sinh lý và hiệu quả sử dụng thức ăn của cá hồng Mỹ (*S. ocellatus*) (mean ± SD; n = 6)

| Thông số | AT0 | AT2 | AT7 | AT12 | AT17 |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| L₁ (cm) | 6,7 ± 0,40 | 6,7 ± 0,40 | 6,7 ± 0,40 | 6,7 ± 0,40 | 6,7 ± 0,40 |
| W₁ (g) | 3,43 ± 0,99 | 3,43 ± 0,99 | 3,43 ± 0,99 | 3,43 ± 0,99 | 3,43 ± 0,99 |
| L₂ (cm) | 16,1 ± 0,18 | 15,9 ± 0,54 | 15,8 ± 0,72 | 16,0 ± 0,35 | 16,7 ± 1,00 |
| W₂ (g) | 43,9 ± 0,66 | 41,8 ± 3,59 | 40,2 ± 5,99 | 44,2 ± 1,95 | 49,5 ± 8,61 |
| WG (g) | 40,0 ± 0,17 | 38,4 ± 0,48 | 36,8 ± 0,27 | 40,8 ± 0,04 | 46,1 ± 0,48 |
| HSW (g) | 1,10 ± 0,11 ^b | 1,00 ± 0,13 ^{ab} | 0,84 ± 0,03 ^a | 1,20 ± 0,03 ^b | 1,16 ± 0,00 ^b |
| SGRL (%/ngày) | 1,5 ± 0,12 | 1,4 ± 0,16 | 1,4 ± 0,18 | 1,5 ± 0,14 | 1,51 ± 0,00 |
| SGR (%/ngày) | 4,25 ± 0,07 | 4,20 ± 0,19 | 4,10 ± 0,31 | 4,20 ± 0,12 | 4,40 ± 0,25 |
| VSI (%) | 18,4 ± 0,87 ^{ab} | 18,1 ± 2,43 ^{ab} | 14,4 ± 1,01 ^a | 20,5 ± 0,88 ^b | 18,5 ± 1,78 ^b |
| HSI (%) | 6,8 ± 0,64 ^b | 6,4 ± 0,58 ^{ab} | 5,33 ± 0,08 ^a | 7,5 ± 0,40 ^b | 7,0 ± 0,41 ^b |
| FCR | 1,63 ± 0,01 ^b | 1,72 ± 0,06 ^{bc} | 1,80 ± 0,11 ^c | 1,68 ± 0,03 ^b | 1,48 ± 0,06 ^a |
| SR (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Ghi chú: Giá trị được trình bày dưới dạng trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$). Các chỉ tiêu không kèm chữ cái không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

2. Hoạt tính enzyme tiêu hóa

Hoạt tính các enzyme tiêu hóa amylase, protease và lipase của ruột cá hồng Mỹ sau 56 ngày thí nghiệm được trình bày trong Bảng 3. Kết quả cho thấy hoạt tính amylase không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$), với giá trị dao động từ $18,4 \pm 1,2$ đến $21,0 \pm 1,5$ U/mg protein. Điều này cho thấy việc thay thế một phần protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (RLĐ) không ảnh hưởng đáng kể đến khả năng thủy phân tinh bột của cá.

Hoạt tính protease có xu hướng tăng dần ở các nghiệm thức RLĐ mức 2–12%, trong đó AT12 đạt giá trị cao nhất ($47,5 \pm 1,6$ U/mg protein) và cao hơn có ý nghĩa so với AT0 và AT17 ($p < 0,05$). Tuy nhiên, nghiệm thức AT17 không khác biệt so với đối chứng, phản ánh rằng mức RLĐ

cao có thể làm giảm lợi ích quan sát được ở mức RLĐ vừa phải.

Hoạt tính lipase cũng cho thấy xu hướng tương tự: tăng nhẹ từ AT2 đến AT12 và đạt giá trị cao nhất ở AT12 ($17,4 \pm 1,2$ U/mg protein), trước khi giảm trở lại ở AT17 ($15,1 \pm 1,3$ U/mg protein). Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê được ghi nhận giữa AT12 và các nghiệm thức AT0 và AT17 ($p < 0,05$).

Nhìn chung, bổ sung RLĐ ở mức 2–12% giúp duy trì hoặc cải thiện nhẹ hoạt tính protease và lipase, trong khi mức 17% làm giảm giá trị về mức tương đương đối chứng. Kết quả cho thấy mức RLĐ thấp đến trung bình hỗ trợ quá trình tiêu hóa và chuyển hóa dinh dưỡng, còn mức quá cao có thể không mang lại lợi ích thêm.

Bảng 3. Hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá hồng Mỹ (*S. ocellatus*) sau 56 ngày thí nghiệm với các mức thay thế bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (mean \pm SD, n = 6)

| Nghiệm thức | Amylase (U/mg protein) | Protease (U/mg protein) | Lipase (U/mg protein) |
|-------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| AT0 | $18,4 \pm 1,2$ | $42,6 \pm 2,1^a$ | $15,2 \pm 1,0^a$ |
| AT2 | $19,1 \pm 1,0$ | $44,8 \pm 2,5^{ab}$ | $16,0 \pm 0,9^{ab}$ |
| AT7 | $20,3 \pm 1,4$ | $46,2 \pm 1,8^{ab}$ | $16,8 \pm 1,1^{ab}$ |
| AT12 | $21,0 \pm 1,5$ | $47,5 \pm 1,6^b$ | $17,4 \pm 1,2^b$ |
| AT17 | $18,7 \pm 1,1$ | $43,1 \pm 2,0^a$ | $15,1 \pm 1,3^a$ |

Ghi chú: Các giá trị được trình bày dưới dạng trung bình \pm SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Các chỉ tiêu không kèm chữ cái không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức.

3. Hoạt tính enzyme chuyển hóa

Hoạt độ các enzyme chuyển hóa của gan cá hồng Mỹ thể hiện sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức (Bảng 4). Đối với alanine aminotransferase (ALT), nghiệm thức AT17 ghi nhận giá trị cao hơn có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại ($p < 0,05$), trong khi không có sự khác biệt đáng kể giữa AT0, AT2, AT7 và AT12 ($p > 0,05$). Hoạt độ aspartate aminotransferase (AST) có xu hướng giảm ở nghiệm thức AT7 và đạt giá trị cao nhất ở AT17; trong đó AT17 khác biệt có ý nghĩa so với các nghiệm thức AT0–AT12 ($p < 0,05$), còn AT7 cho

giá trị thấp hơn AT0 và AT12 ($p < 0,05$). Đối với alkaline phosphatase (ALP), nghiệm thức AT7 ghi nhận hoạt độ thấp nhất, trong khi AT17 có giá trị cao nhất và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức còn lại ($p < 0,05$). Nhìn chung, các enzyme chuyển hóa của gan (ALT, AST và ALP) duy trì ở mức ổn định tại các nghiệm thức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen từ 0–12%, trong khi tăng rõ rệt ở nghiệm thức AT17. Kết quả này cho thấy mức bổ sung RLĐ cao có thể làm hoạt động enzyme gan, phản ánh sự gia tăng nhu cầu chuyển hóa hoặc áp lực sinh lý đối với gan.

Bảng 4: Hoạt độ các enzyme chuyển hóa (ALT, AST và ALP) của gan cá hồng Mỹ (*S. ocellatus*) ở các nghiệm thức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen

| Nghiệm thức | ALT (U/mg protein) | AST (U/mg protein) | ALP (U/mg protein) |
|-------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| AT0 | 22,7 ± 3,0 ^a | 33,2 ± 3,4 ^b | 80,6 ± 7,7 ^b |
| AT2 | 23,2 ± 1,7 ^a | 30,4 ± 1,8 ^{ab} | 82,6 ± 4,8 ^b |
| AT7 | 22,2 ± 1,1 ^a | 29,9 ± 1,5 ^a | 74,3 ± 2,7 ^a |
| AT12 | 22,9 ± 0,9 ^a | 31,9 ± 1,0 ^b | 78,4 ± 3,2 ^b |
| AT17 | 28,5 ± 1,6 ^b | 38,5 ± 1,8 ^c | 95,8 ± 3,3 ^c |

Ghi chú: Các giá trị được trình bày dưới dạng trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Các chỉ tiêu không kèm chữ cái không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức.

4. Hoạt tính enzyme chống oxy hóa và tình trạng stress oxy hóa trong gan cá hồng Mỹ

Hàm lượng protein tổng số trong dịch nghiên cứu gan dao động từ 7,0 đến 7,5 mg/mL và có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$). Trong đó, nghiệm thức AT17 ghi nhận giá trị protein tổng số thấp hơn so với AT2 và AT7, trong khi các nghiệm thức còn lại cho giá trị trung gian. Hàm lượng malondialdehyde (MDA), chỉ thị của stress oxy hóa, biến động rõ rệt giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$), với giá trị thấp nhất được ghi nhận ở AT7 và AT12, và cao nhất ở AT17.

Hoạt tính các enzyme chống oxy hóa cho thấy sự đáp ứng khác biệt theo mức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen. Hoạt tính superoxide dismutase (SOD) đạt giá trị cao nhất ở nghiệm

thức AT7, cao hơn có ý nghĩa so với AT0 và AT17 ($p < 0,05$), trong khi AT2 và AT12 không khác biệt đáng kể so với AT7. Hoạt tính catalase (CAT) tăng đáng kể ở các nghiệm thức AT7 và AT12, với AT12 cho giá trị cao nhất và khác biệt có ý nghĩa so với AT0 và AT17 ($p < 0,05$). Đối với glutathione peroxidase (GPx), nghiệm thức AT12 ghi nhận hoạt tính cao hơn có ý nghĩa so với AT17 ($p < 0,05$), trong khi các nghiệm thức AT0, AT2 và AT7 không ghi nhận sự khác biệt rõ rệt. Nhìn chung, các nghiệm thức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen ở mức trung bình (AT7–AT12) góp phần tăng cường hệ thống chống oxy hóa và làm giảm stress oxy hóa ở gan cá hồng Mỹ, trong khi mức bổ sung cao (AT17) làm suy giảm đáp ứng chống oxy hóa và gia tăng các dấu hiệu stress oxy hóa.

Bảng 5. Hàm lượng protein và các chỉ tiêu stress oxy hóa trong gan của cá hồng Mỹ ở các nghiệm thức bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen

| Nghiệm thức | Protein tổng số (mg/mL) | MDA (nmol/mg protein) | SOD (U/mg protein) | CAT (U/mg protein) | GPx (U/mg protein) |
|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| AT0 | 7,3 ± 0,3 ^{ab} | 2,2 ± 0,3 ^b | 74,1 ± 9,5 ^a | 41,9 ± 6,9 ^a | 68,9 ± 8,0 ^{ab} |
| AT2 | 7,5 ± 0,4 ^b | 1,8 ± 0,7 ^{ab} | 88,0 ± 6,6 ^b | 54,0 ± 2,4 ^b | 72,1 ± 3,4 ^{ab} |
| AT7 | 7,4 ± 0,3 ^b | 1,8 ± 0,3 ^a | 102,6 ± 12,3 ^c | 60,4 ± 9,1 ^{bc} | 71,8 ± 6,4 ^{ab} |
| AT12 | 7,3 ± 0,3 ^{ab} | 1,7 ± 0,4 ^a | 89,9 ± 6,1 ^b | 61,1 ± 2,6 ^c | 86,7 ± 11,3 ^b |
| AT17 | 7,0 ± 0,2 ^a | 2,9 ± 0,4 ^c | 77,2 ± 14,3 ^{ab} | 44,8 ± 12,9 ^a | 62,2 ± 14,9 ^a |

Ghi chú: Các giá trị được trình bày dưới dạng trung bình ± SD. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Các chỉ tiêu không kèm chữ cái không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức.

5. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc thay thế một phần protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (*H. illucens*) không gây ảnh hưởng bất lợi đến sinh trưởng, tình trạng cơ thể và tỷ lệ sống của cá hồng Mỹ trong giai đoạn giống. Sự ổn định của các chỉ tiêu chiều dài, khối lượng, tốc độ tăng trưởng đặc trưng (SGRL, SGR) và tỷ lệ sống ở tất cả các nghiệm thức cho thấy cá có khả năng dung nạp tốt nguồn protein từ RLĐ, ngay cả ở mức thay thế cao (17%). Kết quả này phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây trên cá biển và cá nước ngọt, trong đó RLĐ được ghi nhận là nguồn protein thay thế hiệu quả cho bột cá khi được sử dụng ở mức hợp lý (Tippayadara et al., 2021; Nguyễn Phúc Cẩm Tú et al., 2023; Paredes et al., 2025).

Mặc dù sinh trưởng không khác biệt đáng kể, hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR) lại cho thấy sự cải thiện rõ rệt ở nghiệm thức AT17. Việc FCR giảm trong khi sinh trưởng được duy trì cho thấy hiệu quả sử dụng thức ăn được nâng cao khi bổ sung RLĐ ở mức cao. Điều này có thể liên quan đến đặc điểm thành phần dinh dưỡng của RLĐ, bao gồm hàm lượng lipid tương đối cao và sự hiện diện của các hợp chất sinh học có khả năng cải thiện khả năng hấp thu và chuyển đổi hóa năng lượng (Makkar et al., 2014; Lu et al., 2022). Các nghiên cứu gần đây cũng ghi nhận rằng RLĐ có thể cải thiện tính ngon miệng và hiệu quả sử dụng thức ăn ở cá biển, ngay cả khi sinh trưởng không thay đổi đáng kể (Oteri et al., 2021; Paredes et al., 2025). Mặc dù các chỉ tiêu sinh trưởng không khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR) lại cải thiện rõ rệt ở nghiệm thức AT17. Việc FCR giảm trong khi tốc độ tăng trưởng được duy trì cho thấy cá hồng Mỹ có khả năng điều chỉnh sinh lý và chuyển hóa dinh dưỡng hiệu quả khi

protein bột cá được thay thế một phần bằng bột ấu trùng ruồi lính đen. Sự cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn này có thể liên quan đến đặc điểm thành phần dinh dưỡng của RLĐ, đặc biệt là hàm lượng lipid tương đối cao và giá trị năng lượng dễ sử dụng, giúp tăng hiệu quả chuyển hóa năng lượng của khẩu phần (Makkar et al., 2014; Lu et al., 2022; Oteri et al., 2021). Tuy nhiên, việc FCR cải thiện mà không đi kèm sự gia tăng rõ rệt về sinh trưởng cho thấy phần năng lượng bổ sung có thể được phân bổ nhiều hơn cho các quá trình duy trì chuyển hóa và thích nghi sinh lý thay vì tích lũy sinh khối (Radhakrishnan et al., 2020).

Hoạt tính enzyme tiêu hóa cung cấp thêm bằng chứng cho cơ chế thích nghi dinh dưỡng của cá khi sử dụng RLĐ. Việc hoạt tính amylase không thay đổi giữa các nghiệm thức cho thấy khả năng tiêu hóa carbohydrate của cá không bị ảnh hưởng bởi sự thay thế protein bột cá. Trong khi đó, sự gia tăng hoạt tính protease và lipase ở các nghiệm thức RLĐ mức thấp đến trung bình (AT2–AT12) phản ánh khả năng tăng cường tiêu hóa protein và lipid, phù hợp với thành phần dinh dưỡng đặc trưng của RLĐ (Lu et al., 2022; Mohan et al., 2022). Tuy nhiên, ở nghiệm thức AT17, hoạt tính các enzyme này giảm về mức tương đương đối chứng, cho thấy hiệu quả sinh lý quan sát được ở mức RLĐ trung gian không tiếp tục gia tăng khi mức thay thế quá cao. Hiện tượng này đã được đề cập trong các nghiên cứu trước, trong đó hàm lượng chitin cao và sự mất cân đối acid amin có thể hạn chế khả năng tiêu hóa khi RLĐ chiếm tỷ lệ lớn trong khẩu phần (Ottoboni et al., 2018; Nairuti et al., 2022).

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc bổ sung bột ấu trùng ruồi lính đen (*H. illucens*) ảnh hưởng đáng kể đến trạng thái oxy hóa và đáp ứng chống oxy hóa của gan cá hồng

Mỹ theo mức thay thế protein bột cá. Ở các nghiệm thức sử dụng RLĐ mức trung bình (AT7–AT12), hàm lượng MDA giảm, trong khi hoạt tính các enzyme chống oxy hóa chủ chốt (SOD, CAT và GPx) được duy trì hoặc tăng lên, phản ánh khả năng kiểm soát stress oxy hóa tốt hơn. Xu hướng này phù hợp với báo cáo của Abdel-Latif et al. (2021) trên cá chêm châu Âu, cho thấy RLĐ có khả năng cải thiện năng lực chống oxy hóa của cá nuôi. Các thành phần hoạt tính sinh học trong RLĐ, bao gồm protein chất lượng cao, lipid và chitin, được cho là có vai trò trong việc điều hòa đáp ứng oxy hóa–khử và hỗ trợ thích nghi sinh lý (Makkar et al., 2014; Lu et al., 2022). Ngược lại, ở mức thay thế cao (AT17), hàm lượng MDA tăng kèm theo sự suy giảm hoạt tính enzyme chống oxy hóa, cho thấy sự gia tăng stress oxy hóa, có thể liên quan đến áp lực chuyển hóa gan và sự mất cân đối dinh dưỡng khi tỷ lệ RLĐ quá cao (Ottoboni et al., 2018; Mohan et al., 2022).

Sự gia tăng hoạt tính protease và lipase ở các nghiệm thức RLĐ mức thấp đến trung bình phản ánh cơ chế thích nghi của hệ tiêu hóa nhằm tối ưu hóa việc phân giải protein và lipid đặc trưng của RLĐ. Ngược lại, khi mức RLĐ quá cao, hàm lượng chitin và sự thay đổi cân đối acid amin có thể làm giảm hiệu quả kích hoạt enzyme tiêu hóa, dẫn đến việc hoạt tính enzyme không tiếp tục tăng. Đồng thời, sự gia tăng hoạt độ ALT, AST và ALP ở nghiệm thức AT17 gợi ý rằng gan phải tăng cường hoạt động chuyển hóa và giải độc để thích nghi với khẩu phần giàu RLĐ, từ đó làm gia tăng áp lực sinh lý lên cơ quan này.

Tổng hợp các kết quả cho thấy bột ấu trùng ruồi lính đen có thể được sử dụng an toàn để thay thế protein bột cá trong khẩu phần cá hồng Mỹ giai đoạn giống, đặc biệt ở mức thấp đến trung bình (2–12%), nơi sinh trưởng được duy trì ổn định, enzyme tiêu

hóa được cải thiện và các chỉ số sinh lý gan không bị ảnh hưởng bất lợi. Mức thay thế cao (17%) giúp cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn nhưng đồng thời làm gia tăng hoạt động enzyme gan, cho thấy cần cân nhắc và tối ưu hóa thêm khi áp dụng ở quy mô sản xuất.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy việc thay thế một phần protein bột cá bằng bột ấu trùng ruồi lính đen (*Hermetia illucens*) trong khẩu phần cá hồng Mỹ giai đoạn giống không làm suy giảm sinh trưởng, tình trạng cơ thể và tỷ lệ sống. Các mức bổ sung RLĐ từ 2–12% giúp duy trì hoặc cải thiện hoạt tính enzyme tiêu hóa, tăng cường đáp ứng chống oxy hóa và không gây biến đổi bất lợi về enzyme gan. Mức bổ sung 17% RLĐ cải thiện hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR) nhưng đồng thời làm gia tăng hoạt động enzyme gan và stress oxy hóa, cho thấy dấu hiệu gia tăng áp lực chuyển hóa. Nhìn chung, RLĐ có tiềm năng cao như một nguồn protein thay thế bền vững cho bột cá trong khẩu phần cá hồng Mỹ, đặc biệt ở mức thay thế trung bình.

KIẾN NGHỊ

Dựa trên các kết quả thu được, mức thay thế RLĐ từ 7–12% protein bột cá được khuyến nghị sử dụng trong khẩu phần cá hồng Mỹ giai đoạn giống nhằm đảm bảo hiệu quả sinh trưởng, tối ưu hóa tiêu hóa và duy trì trạng thái sinh lý gan ổn định. Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung đánh giá ảnh hưởng dài hạn, tối ưu hóa xử lý chitin, và kết hợp RLĐ với phụ gia sinh học nhằm nâng cao hơn nữa hiệu quả sử dụng và tính an toàn khi áp dụng ở quy mô sản xuất.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này là một phần của đề tài TR2025 - 13 – 20 được thực hiện với nguồn kinh phí từ Trường Đại học Nha Trang. Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Nha Trang đã tài trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- Abdel-Latif, H. M. R., Abdel-Tawwab, M., Khalil, R. H., Metwally, A. A., Shakweer, M. S., Ghetas, H. A., & Khallaf, M. A. (2021). *Black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal in diets of European seabass: Effects on antioxidative capacity, non-specific immunity, transcriptomic responses, and resistance to the challenge with Vibrio alginolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 111, 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.01.013>
- Bruni, L., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., & Parisi, G. (2018). *Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed with Hermetia illucens (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source*. *Aquaculture*, 487, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.006>
- FAO. (2010). *Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 541.
- Fu, C., Cheema, W. A., Mobashar, M., Shah, A. A., & Alqahtani, M. M. (2024). *Insects as sustainable feed: Enhancing animal nutrition and reducing livestock environmental impression*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1–11. <https://doi.org/10.1111/jpn.14055>
- Hardy, R. W., & Tacon, A. G. J. (2002). *Fish meal: Historical uses, production trends and future outlook for sustainable supplies*. *Responsible Marine Aquaculture* (pp. 311–325). <https://doi.org/10.1079/9780851996042.0311>
- Hussain, S. M., Bano, A. A., Ali, S., Rizwan, M., Adrees, M., Zahoor, A. F., Sarker, P. K., Hussain, M., Arsalan, M. Z.-u.-H., Yong, J. W. H., & Naeem, A. (2024). *Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability*. *Heliyon*, 10(4), e26573. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26573>
- Huỳnh Thị Diễm Khanh, Trịnh Thị Lan (2019), Sử dụng bột dế, bột ấu trùng ruồi lính đen thay thế một phần bột cá trong thức ăn viên của cá rô phi đỏ (*Oreochromis sp.*). *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, Số (3), 69-74
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., & Paengkoum, P. (2022). *Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review*. *Insects*, 13(9), 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). *State-of-the-art on use of insects as animal feed*. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Mohan, K., Rajan, D. K., Muralisankar, T., Ganesan, A. R., Sathishkumar, P., & Revathi, N. (2022). *Use of black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs*. *Aquaculture*, 553, Article 738095. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738095>
- Nairuti, R.N., Musyoka, S.N., Yegon, M.J., Opiyo, M.A. (2022). *Utilization of Black Soldier Fly (Hermetia illucens Linnaeus) Larvae as a Protein Source for Fish Feed – a Review*. *Aquaculture Studies*, 22(2), AQUAST697. <http://doi.org/10.4194/AQUAST697>
- Nguyễn Phú Hòa và Nguyễn Văn Dũng (2016). *Sử dụng nhộng ruồi lính đen (Hermetia illucens) trong thức ăn cho cá lóc Bông (Chanamicropeltes)*. *Tạp Chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 14(4), 590–597. <https://vie.vjas.vn/index.php/vjasvn/article/view/269>
- Nguyễn Phúc Cẩm Tú, Nguyễn Ngọc Hà, và Đinh Thế Nhân (2023), *Ảnh hưởng của việc bổ sung nhộng ruồi lính đen trong thức ăn lên tăng trưởng và độ tiêu hóa protein của cá chẽm (Lates calcarifer Bloch, 1790)*,

Tap chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, Số 2. <https://doi.org/10.53818/jfst.02.2023.53>

Oteri, M., Di Rosa, A., Lo Presti, V., Giarratana, F., Toscano, G., & Chiofalo, B. (2021). *Black soldier fly larvae meal as alternative to fish meal for aquaculture feed*. Sustainability, 13, 5447. <https://doi.org/10.3390/su13105447>

Ottoboni, M., Spranghers, T., Pinotti, L., Baldi, A., De Jaeghere, W., & Eeckhout, M. (2018). Inclusion of *Hermetia Illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimisation and impact on *in vitro* digestibility. *Italian Journal of Animal Science*, 17(2), 418–427. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1372698>

Paredes, J. F., Riche, M., Bradshaw, D., Mejri, S., Chin, L. S., Perez, J., Popa, R., Romano, N., & Wills, P. S. (2025). *Evaluation of the effect of black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal in the diet of red drum (Sciaenops ocellatus) juveniles on production performance and feed palatability*. Frontiers in Aquaculture, 4, Article 1619878. <https://doi.org/10.3389/faqc.2025.1619878>

Priyadarshana, M. K. C., Walpita, C. N., Ruwandeepika, H. A. D., & Sumith, M. P. (2022). *Effects of black soldier fly, Hermetia illucens (Linnaeus, 1758), larvae incorporated feed on histomorphology, gut microbiota and blood chemistry of cultured fishes: A review*. Asian Fisheries Science, 35(3), Article 005. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2022.35.3.005>

Radhakrishnan, G., Shivkumar, Mannur, V. S., Yashwanth, B. S., Pinto, N., Pradeep, A., & Prathik, M. R. (2020). *Dietary protein requirement for maintenance, growth, and reproduction in fish: A review*. Journal of Entomology and Zoology Studies, 8(4), 208–215. <https://www.entomoljournal.com/archives/2020/vol8issue4/PartD/8-3-296-984.pdf>

Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Mikołajczak, Z., Kierończyk, B., Skrzypczak, P., Szymkowiak, P., & Józefiak, D. (2025). *Black soldier fly meal as a gastrointestinal tract microbiota remodelling factor: A new natural and sustainable source of prebiotic substances for fish?* Aquaculture Research. <https://doi.org/10.1155/are/8852384>

Tippayadara, N., Dawood, M. A. O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S. H., Doan, H. V., & Paolucci, M. (2021). *Replacement of fish meal by black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal: Effects on growth, haematology, and skin mucus immunity of Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. Animals, 11(1), Article 193. <https://doi.org/10.3390/ani11010193>

Van Huis, A. (2021). *Prospects of insects as food and feed*. Organic Agriculture, 11, 301–308. <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00290-5>