

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG

TRẦN VĂN DŨNG

NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN MÀU SẮC CÁ KHOANG CỒ
NEMO (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830) TRONG ĐIỀU KIỆN
NUÔI NHÓT

Ngành đào tạo: Nuôi trồng Thủy sản

Mã số: 9620301

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

KHÁNH HÒA – 2025

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG

TRẦN VĂN DŨNG

NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN MÀU SẮC CÁ KHOANG CỔ
NEMO (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830) TRONG ĐIỀU KIỆN
NUÔI NHÓT

Ngành đào tạo: Nuôi trồng Thủy sản

Mã số: 9620301

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS. TS. PHẠM QUỐC HÙNG

2. PGS. TS. HỨA THÁI NHÂN

KHÁNH HÒA – 2025

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Nha Trang

**Hướng dẫn khoa học: 1. GS. TS. Phạm Quốc Hùng
2. PGS. TS. Hứa Thái Nhân**

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Văn Huy - Trường Đại học Nông Lâm Huế

Phản biện 2: PGS.TS. Đinh Thế Nhân - Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh

Phản biện 3: GS.TS. Đoàn Như Hải – Viện Hải dương học Nha Trang

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá Luận án cấp Trường, họp tại Trường Đại học Nha Trang vào lúc ngày tháng năm 2025.

Có thể tìm hiểu kết quả của luận án tại: Thư viện Quốc gia và Thư viện Trường Đại học Nha Trang.

MỞ ĐẦU

Nghề nuôi cá cảnh biển, đặc biệt là cá khoang cổ nemo, đang thu hút sự quan tâm ngày càng lớn của người nuôi, các nhà nghiên cứu và bảo tồn. Tuy nhiên, một thách thức lớn là màu sắc của cá nuôi thường kém hơn so với nguồn cá khai thác từ tự nhiên. Điều này không chỉ ảnh hưởng đến giá trị, khả năng tiêu thụ của nguồn cá sản xuất mà còn gia tăng áp lực khai thác lên nguồn lợi cá rạn tự nhiên bất chấp một số thành công bước đầu trong sản xuất giống nhóm cá khoang cổ. Các nghiên cứu cải thiện màu sắc cá thông qua bổ sung carotenoids và thay đổi môi trường nuôi đã đạt được kết quả tích cực. Tuy nhiên, ở Việt Nam, việc ứng dụng các nguồn carotenoids tự nhiên và chiết xuất dưới dạng tinh chế vẫn còn hạn chế. Bên cạnh đó, các yếu tố môi trường như màu sắc và độ mặn cũng chưa được nghiên cứu đầy đủ. Xuất phát từ những lý do trên, đề tài "*Nghiên cứu cải thiện màu sắc của cá khoang cổ nemo, (Amphiprion ocellaris Cuvier, 1830) trong điều kiện nuôi nhốt*" được thực hiện nhằm nâng cao chất lượng cá nuôi, giảm áp lực khai thác và bảo vệ hệ sinh thái rạn san hô.

Mục tiêu của đề tài: Cải thiện màu sắc của cá khoang cổ nemo trong điều kiện nuôi nhốt, đạt chất lượng tương đương hoặc vượt trội hơn nguồn cá khai thác tự nhiên, bằng cách kết hợp các giải pháp tối ưu hóa môi trường nuôi (màu bể và độ mặn) và chế độ bổ sung sắc tố có nguồn gốc tự nhiên (nguồn, hàm lượng và thời gian bổ sung).

Nội dung của đề tài: Để đạt được mục tiêu nêu trên, đề tài tập trung vào 3 nội dung nghiên cứu chính sau đây:

1. Ảnh hưởng của môi trường nuôi (màu bể và độ mặn) lên màu sắc cá khoang cổ nemo.
2. Ảnh hưởng của chế độ bổ sung carotenoids (nguồn, hàm lượng và thời gian) lên màu sắc cá khoang cổ nemo.
3. Đánh giá hiệu quả kết hợp các yếu tố môi trường nuôi và chế độ bổ sung carotenoids thích hợp nhằm cải thiện màu sắc cá khoang cổ nemo sản xuất nhân tạo.

Ý nghĩa của đề tài:

Kết quả của đề tài sẽ cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng để nâng cao chất lượng, giá trị của cá khoang cổ nemo nuôi, qua đó, thúc đẩy sự phát triển bền vững của nghề nuôi cá cảnh biển, đồng thời góp phần bảo tồn nguồn lợi tự nhiên và hệ sinh thái rạn san hô.

CHƯƠNG 1 – TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về nghề nuôi cá cảnh biển

Nghề nuôi cá cảnh biển có lịch sử lâu đời, phát triển mạnh mẽ vào thế kỷ 20 nhờ tiến bộ công nghệ và kỹ thuật nuôi. Ít nhất 338 loài cá cảnh thuộc 37 họ đã được ghi nhận, trong đó chỉ một phần nhỏ thường xuyên xuất hiện trên thị trường và nhiều loài đang đứng trước nguy cơ tuyệt chủng do khai thác quá mức. Thương mại cá cảnh biển toàn cầu đạt hàng tỷ USD mỗi năm, chủ yếu từ khai thác tự nhiên ở vùng nhiệt đới. Việt Nam có tiềm năng lớn để phát triển ngành này, nhưng đang gặp thách thức về sản xuất giống và chi phí cao. Tuy nhiên, những tiến bộ gần đây trong công nghệ di truyền, lai tạo và sinh học phân tử mở ra cơ hội mới. Để phát triển bền vững, cần ưu tiên sử dụng loài bản địa, áp dụng thực hành nuôi tốt, tăng cường nghiên cứu thị trường, và có sự chung tay của các bên liên quan.

1.2. Tổng quan về cá khoang cổ nemo

Cá khoang cổ (Amphiprion) là loài cá cảnh biển phổ biến, gồm 30 loài, trong đó có cá khoang cổ nemo. Chúng sống cộng sinh với hải quỳ ở rạn san hô vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới. Ở Việt Nam, cá khoang cổ đang bị suy giảm do khai thác quá mức. Cá khoang cổ đẻ trứng dính, có vòng đời bao gồm ấu trùng sống trôi nổi, cá non định cư và cá trưởng thành tham gia sinh sản. Chúng là loài ăn tạp, trong nuôi nhân tạo cần kết hợp nhiều loại thức ăn và bổ sung dinh dưỡng. Cá khoang cổ là loài lưỡng tính, có tập tính chăm sóc trứng và sức sinh sản thấp. Nghiên cứu sản xuất giống đã đạt những tiến bộ, tuy nhiên vẫn còn nhiều thách thức, đặc biệt về chất lượng cá giống.

1.3. Chất lượng cá cảnh và các yếu tố ảnh hưởng

Chất lượng cá cảnh được đánh giá dựa trên nhiều tiêu chí như ngoại hình, màu sắc, sức khỏe, hành vi, di truyền, nguồn gốc, tuổi, kích thước, giá trị thẩm mỹ và sự quý hiếm. Yếu tố di truyền và công tác chọn giống đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra các dòng cá có đặc tính mong muốn, khả năng thích nghi tốt và sức đề kháng cao. Bên cạnh đó, yếu tố môi trường, kỹ thuật nuôi, dinh dưỡng và sức khỏe cũng tác động lớn đến chất lượng cá cảnh. Việc tạo môi trường sống tối ưu, áp dụng kỹ thuật nuôi trồng tiên tiến, quản lý tốt dịch bệnh, cung cấp chế độ dinh dưỡng cân đối và sử dụng chế phẩm sinh học góp phần nâng cao chất lượng và giá trị của cá cảnh.

1.4. Màu sắc của cá cảnh và các yếu tố ảnh hưởng

1.4.1. Sự đa dạng màu sắc và vai trò ở cá

Màu sắc cá rất đa dạng, có ba chức năng cơ bản: điều chỉnh nhiệt, giao tiếp cùng loài và khác loài. Màu sắc của cá được tạo nên bởi sáu loại tế bào sắc tố, sự kết hợp của sắc tố sinh học và sắc tố cấu trúc. Nhiều yếu tố như di truyền, môi trường, giới tính và giai đoạn phát triển ảnh hưởng đến sự thay đổi màu sắc ở cá theo cơ chế hình thái hoặc sinh lý. Thay đổi màu sắc theo hình thái ở cá là sự tăng giảm số lượng, mật độ, hình dạng và phân bố của các tế bào sắc tố trên da do các kích thích lâu dài, được kiểm soát bởi cơ chế thần kinh và phân tử. Thay đổi màu sắc theo sinh lý ở cá liên quan đến sự di chuyển, phân bố và sắp xếp lại các tế bào/tinh thể sắc tố do các kích thích ngắn hạn, chịu sự kiểm soát tổng hợp của nhiều yếu tố vật lý, hóa học, thần kinh và nội tiết.

1.4.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến màu sắc cá cảnh

Thức ăn và dinh dưỡng bổ sung: Trong điều kiện nuôi, việc bổ sung các nguồn carotenoids tự nhiên và tổng hợp vào thức ăn đã cải thiện đáng kể màu sắc ở nhiều loài cá. Tuy nhiên, hiểu biết về cơ chế tiêu hóa, hấp thu và chuyển hóa của carotenoids ở cá còn hạn chế. Việt Nam có nguồn carotenoids đa dạng từ thực vật, động vật và vi sinh vật. Các nghiên cứu bổ sung carotenoids từ thực vật vào thức ăn cá cảnh cho thấy sự cải thiện màu sắc, sức đề kháng và khả năng chống chịu. Bổ sung dưới dạng tinh chất là một hướng triển vọng nhưng cần nghiên cứu thêm.

Môi trường, sinh thái: Màu sắc của cá phản ánh nhiều khía cạnh sinh lý và tập tính, bao gồm màu tĩnh và màu động. Cá có khả năng thích nghi với sự thay đổi ánh sáng và màu sắc môi trường. Nghiên cứu về tác động của màu sắc bề lên cá cho thấy ảnh hưởng đến màu sắc, sinh trưởng, tỷ lệ sống, hành vi và sức khỏe. Ánh sáng cũng có ảnh hưởng đến hoạt động sống của cá thông qua tác động lên tế bào sắc tố. Ngụy trang, bắt chước, sinh sản, chuyển đổi giới tính và tương tác xã hội cũng ảnh hưởng đến màu sắc của nhiều loài cá.

Di truyền và chọn giống: Di truyền màu sắc ở cá có cơ chế phức tạp, liên quan đến nhiều gen chức năng. Việc ứng dụng các kỹ thuật omics và đánh dấu phân tử (MAS) đã giúp xác định cơ sở di truyền và cải thiện màu sắc ở một số loài cá. Tuy nhiên, để chủ động tạo được các màu sắc mong muốn, cần làm rõ cơ chế tạo màu, ảnh hưởng của nguồn sắc tố từ thức ăn, cơ sở lý thuyết của các kỹ thuật cải thiện màu sắc, và các yếu tố điều khiển hoạt động của tế bào sắc tố. Trong thời gian chờ đợi, các giải pháp cải thiện màu sắc dựa trên bổ sung dinh dưỡng và thay đổi môi trường vẫn được coi là hướng tiếp cận tích cực và hiệu quả.

CHƯƠNG 2 – VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thời gian, địa điểm và đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện từ 1/2021 – 12/2023. Các thí nghiệm ương nuôi được thực hiện tại Trại sản xuất giống cá cảnh biển Vĩnh Hòa, Nha Trang, Khánh Hòa. Các phân tích chuyên sâu được thực hiện tại Trung tâm Thí nghiệm – Thực hành, Trường Đại học Nha Trang. Nghiên cứu được thực hiện trên cá khoang cổ nemo (*Amphiprion ocellaris*) hay còn gọi là cá hề giả, giai đoạn giống.

2.2. Nội dung nghiên cứu

Nội dung 1: Ảnh hưởng của môi trường nuôi (màu bể - TN1; độ mặn - TN2) lên cá khoang cổ nemo.

Nội dung 2: Ảnh hưởng của chế độ bổ sung carotenoids vào thức ăn lên cá khoang cổ nemo, bao gồm: nguồn (thực vật - TN3, động vật - TN4), hàm lượng (ớt chuông – TN5, vỏ tôm – TN6), và thời gian bổ sung (vỏ tôm – TN7).

Nội dung 3: Đánh giá hiệu quả kết hợp các yếu tố môi trường và chế độ bổ sung carotenoids thích hợp (TN8) cải thiện màu sắc cá khoang cổ nemo.

2.3. Vật liệu nghiên cứu

2.3.1. Nguồn cá thí nghiệm

Cá khoang cổ nemo được sản xuất tại trại. Cá đưa vào thí nghiệm có chiều dài 3,0 – 3,5 cm và khối lượng từ 0,5 – 0,9 g/con. Cá đảm bảo khỏe mạnh, vận động linh hoạt, màu sắc tự nhiên, và kích cỡ đồng đều. Cá được thích nghi 3 – 5 ngày để quen với hệ thống bể nuôi trước khi tính thời gian thí nghiệm.

2.3.2. Nguồn nước và xử lý nước

Nguồn nước sử dụng cho thí nghiệm là nước biển tự nhiên, được xử lý theo quy trình phổ biến, hiện hành với chlorine và trung hòa bằng natri thiosulfate.

2.3.3. Hệ thống bể thí nghiệm

Bể thí nghiệm là các bể kính, thể tích khoảng 65 lít (55 × 35 × 38 cm). Mỗi hệ thống gồm 18 bể kết nối với bể lọc sinh học tuần hoàn đặt ở trung tâm có thể tích 500 lít. Bể nuôi và bể lọc được cung cấp oxy trong suốt thời gian thí nghiệm. Lưu lượng nước tuần hoàn khoảng 3.500 – 3.700%/bể/ngày. Hệ thống bể thí nghiệm được đặt dưới mái che, với chu kỳ chiếu sáng tự nhiên 12 giờ sáng : 12 giờ tối để ổn định các yếu tố môi trường, kết hợp với ánh sáng đèn tuýp LED vào thời điểm ánh sáng yếu hoặc khi cần.

2.3.4. Chuẩn bị nguồn carotenoids

Nguyên liệu thô gồm bí ngô, ớt chuông, cà rốt, gấc, trứng gà, vỏ tôm thẻ chân trắng, copepoda và trứng ốc bươu vàng. Dầu đậu nành được dùng làm dung môi chiết gấc, còn 96% cho các nguyên liệu còn lại. Quy trình chiết xuất được thực hiện theo Tran

et al. (2022) với một số sửa đổi nhỏ, sử dụng tỷ lệ dung môi : nguyên liệu là 3,5 : 1,0 (v/w), đồng nhất hóa bằng máy xay, chiết xuất có hỗ trợ vi sóng trong tổng thời gian 180 giây, lặp lại ba chu kỳ. Hàm lượng carotenoids tổng số ($\mu\text{g/g}$ nguyên liệu tươi) thu được: bí ngô 71,7; ớt chuông 102,6; cà rốt 88,4; gấc 463,0; lòng đỏ trứng gà 23,7; vỏ tôm 52,6; copepoda 113,3 và trứng ốc bươu vàng 81,4. Astaxanthin tổng hợp (10%) cũng được sử dụng để so sánh hiệu quả với các sắc tố tự nhiên. Các nguồn carotenoids này được đưa vào khẩu phần ăn thử nghiệm cho cá.

2.3.5. Chuẩn bị thức ăn thí nghiệm

Thức ăn nền được xây dựng dựa trên nhu cầu dinh dưỡng cho ương cá biển, với hàm lượng protein và lipid thô lần lượt là 55% và 12% (Bảng 2.1).

Bảng 2.1: Công thức và thành phần nguyên liệu thức ăn thí nghiệm (g/kg)

Thành phần	Khối lượng (g/kg)	Tỷ lệ (%)
Bột cá (Peru) (g)	425,0	42,50
Bột cá (Vietnam) (g)	136,0	13,60
Bột mực (g)	140,0	14,00
Bột đậu nành (g)	75,0	7,50
Bột gluten ngô (g)	85,0	8,50
Bột mỳ (g)	34,0	3,40
Dầu cá (g)	25,7	2,57
Dầu đậu nành (g)	30,0	3,00
Vitamin tổng hợp ¹ (g)	10,0	1,00
Lysine (g)	8,0	0,80
Methionine (g)	6,0	0,60
Monocalcium phosphate (g)	6,0	0,60
Guar gum powder (g)	5,0	0,50
Sodium alginate (g)	4,3	0,43
Khoáng tổng hợp ² (g)	10,0	1,00
Carotenoids bổ sung (g)	0	0
Thành phần sinh hóa cơ bản		
Protein thô (%)	55,00	
Lipid thô (%)	12,01	
Tro (%)	11,09	
Độ ẩm (%)	10,04	
Carotenoids (g)	0,04	

Quy trình sản xuất thức ăn bao gồm cân nguyên liệu thô, nghiền mịn, trộn đều, nấu ở 90 - 95°C trong 20 phút, đùn ép qua khuôn 3,0 mm, sấy khô ở 60°C trong 8 giờ, nghiền và sàng qua rây có kích thước mắt 0,8 - 1,0 mm. Hỗn hợp dầu chứa carotenoids và vitamin tổng hợp được nhỏ đều lên bề mặt viên thức ăn theo từng nghiệm thức thí nghiệm. Hàm lượng bổ sung dao động từ 0 – 1.500 mg/kg thức ăn. Thức ăn được chia vào các túi zip nhỏ, bảo quản ở nhiệt độ $\leq 4^\circ\text{C}$. Thành phần sinh hóa và hàm lượng carotenoids tổng số của thức ăn thành phẩm được phân tích theo AOAC (2006).

2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Ảnh hưởng của môi trường nuôi lên cá khoang cổ nemo

2.4.1.1. Ảnh hưởng của màu sắc bể nuôi (TN1)

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD) với 6 nghiệm thức màu bể: trắng, trong suốt (đối chứng, ĐC), xanh dương, cam, tím và đen. Bể được chuẩn bị bằng cách dán giấy decal màu lên 5 mặt. Cá khoang cổ nemo giống ($3,30 \pm 0,02$ cm và $0,65 \pm 0,02$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Thí nghiệm kéo dài 60 ngày với 3 lần lặp cho mỗi nghiệm thức. Cá được cho ăn thức ăn công nghiệp NRD.

2.4.1.2. Ảnh hưởng của độ mặn (TN2)

Thí nghiệm được bố trí với 6 nghiệm thức độ mặn: 9‰, 15‰, 21‰, 27‰, 33‰ (ĐC) và 39‰. Các mức độ mặn thấp hay cao hơn độ mặn nước biển 33‰ được tạo ra bằng cách pha nước máy hoặc muối hạt với tỷ lệ thích hợp. Cá giống ($3,25 \pm 0,08$ cm và $0,67 \pm 0,05$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần trong 60 ngày.

2.4.2. Ảnh hưởng của chế độ bổ sung carotenoids vào thức ăn lên cá khoang cổ nemo

2.4.2.1. Ảnh hưởng của một số nguồn carotenoids thực vật (TN3)

Thí nghiệm được bố trí với 6 nghiệm thức: bí đỏ, gấc, ớt chuông, cà rốt, astaxanthin tổng hợp và đối chứng - không bổ sung sắc tố. Hàm lượng carotenoids ở các nghiệm thức bổ sung được chuẩn hóa ở mức 250 mg/kg. Cá giống ($3,21 \pm 0,03$ cm và $0,61 \pm 0,02$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Thí nghiệm được thực hiện với 3 lần lặp trong 75 ngày.

2.4.2.2. Ảnh hưởng của một số nguồn carotenoids động vật (TN4)

Thí nghiệm được bố trí với 6 nghiệm thức: trứng gà, copepoda, vỏ tôm, trứng ốc bươu vàng, astaxanthin tổng hợp và đối chứng. Cá giống ($3,14 \pm 0,02$ cm và $0,54 \pm 0,02$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Thí nghiệm được thực hiện với 3 lần lặp trong 75 ngày.

2.4.2.3. Ảnh hưởng của hàm lượng carotenoids từ ớt chuông (TN5)

Thí nghiệm được thiết kế với 5 hàm lượng carotenoids từ ớt chuông bổ sung vào thức ăn (300, 600, 900, 1.200 và 1.500 mg/kg) và đối chứng. Cá giống ($3,40 \pm 0,04$ cm và $0,72 \pm 0,02$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần trong 75 ngày.

2.4.2.4. Ảnh hưởng của hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm (TN6)

Thí nghiệm được thiết kế với 5 hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm bổ sung vào thức ăn (200, 400, 600, 800 và 1.000 mg/kg) và đối chứng. Cá giống ($3,00 \pm 0,05$ cm và $0,58 \pm 0,03$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần trong 75 ngày.

2.4.2.5. Ảnh hưởng của thời gian bổ sung carotenoids từ vỏ tôm (TN7)

Thí nghiệm được thiết kế với 5 khoảng thời gian bổ sung carotenoids khác nhau (15, 30, 45, 60 và 75 ngày). Nguồn và hàm lượng carotenoids sử dụng là kết quả tốt nhất từ Thí nghiệm 5 và 6. Cá giống ($3,20 \pm 0,02$ cm và $0,62 \pm 0,04$ g) được nuôi với mật độ 15 con/bể. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần trong 75 ngày.

2.4.3. Đánh giá hiệu quả kết hợp môi trường và bổ sung carotenoids cải thiện màu sắc cá khoang cổ nemo (TN8)

Thí nghiệm tổng hợp các chỉ tiêu tối ưu từ Thí nghiệm 1-7 để nuôi cá, gồm hai nghiệm thức: ứng dụng (điều chỉnh môi trường và bổ sung dinh dưỡng) và đối chứng (nuôi trong điều kiện sản xuất bình thường). Cá được nuôi ở quy mô 500 lít với mật độ 300 con/bể. Mỗi nghiệm thức được lặp lại 7 lần, tương ứng với các đợt sản xuất khác nhau. Vào thời điểm kết thúc, 30 con từ mỗi bể được thu ngẫu nhiên để xác định các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn. Hiệu quả cải thiện màu sắc của cá sản xuất nhân tạo cũng được so sánh với cá khai thác từ tự nhiên thông qua các chỉ tiêu màu sắc da và hàm lượng carotenoids tích lũy. Mẫu cá tự nhiên được thu 7 lần trong năm và vào cùng thời điểm kết thúc thí nghiệm để tăng độ chính xác.

2.5. Chăm sóc, quản lý, thu thập và đánh giá kết quả thí nghiệm

2.5.1. Chăm sóc, quản lý

Cá được cho ăn 4 lần/ngày, lượng thức ăn được điều chỉnh theo nhu cầu ăn của cá. Thức ăn thừa được thu gom, sấy khô để tính toán hiệu quả sử dụng thức ăn.

2.5.2. Thu thập và đánh giá kết quả

Phương pháp thu mẫu cá: Vào thời điểm kết thúc thí nghiệm, toàn bộ cá được bỏ đói trong 24 giờ, và gây mê bằng EGME 500 ppm trong 5 – 10 giây. Việc đo lường được áp dụng với toàn bộ số cá còn sống tại thời điểm kết thúc thí nghiệm, bao gồm các chỉ tiêu chiều dài, khối lượng và màu sắc da, công thức tính cụ thể như sau:

2.5.2.1. Màu sắc da cá

Màu sắc da cá được xác định bằng máy đo màu CR-400 Chroma Meter. Cá được đo ở hai bên thân, tại vị trí giữa vây lưng mềm và vây hậu môn, mỗi vị trí đo ba lần. Máy đo được thiết lập ở chế độ đo L^* , a^* , b^* , sử dụng đèn chiếu sáng D65 gắn với ống chiếu sáng bằng thủy tinh. Phương pháp đo và cài đặt tuân theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Các chỉ số đo lường màu sắc được sử dụng để đánh giá kết quả thí nghiệm gồm: L^* để đo độ sáng - tối (0 – 100), a^* để đo các sắc tố màu xanh lá (a^-) tới đỏ (a^+), b^* để đo các sắc tố màu xanh dương (b^-) tới vàng (b^+), C^*_{ab} để đo độ bão hòa màu (0 - 100), h^*_{ab} để đo màu sắc cụ thể của đối tượng (0 - 360°), ΔE^*_{ab} để đo lường sự khác biệt màu sắc giữa nhóm xử lý và đối chứng. Các giá trị của C^*_{ab} , h^*_{ab} và ΔE^*_{ab} được tính dựa trên chỉ số L^* , a^* và b^* . Riêng thí nghiệm 8, màu sắc của cá được đánh giá cảm quan theo thang đo Clownfish Exercise bởi 5 học viên đã qua đào tạo. Đánh giá được thực hiện trên 30 mẫu cá ngay sau khi đo chiều dài và khối lượng. Điểm trung bình của mỗi nhóm (ĐC, ứng dụng và tự nhiên) được sử dụng để so sánh.

2.5.2.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Hàm lượng carotenoids tổng số trong da, cơ, toàn thân cá và thức ăn được xác định bằng máy đo quang phổ UV-Vis theo phương pháp của Ramamoorthy và García-

Romero với một số điều chỉnh. Các mẫu gồm da (0,25 g), cơ thịt (0,25 g), toàn thân (1-2 g) và thức ăn (1 g) được nghiền trong axeton có chứa natri sunphat khan, lọc 3 lần và ly tâm ở 10.000 vòng/phút, 4°C trong 15 phút. Độ hấp thụ được đo bằng máy đo quang phổ và kết quả được biểu thị bằng microgam trên gam ($\mu\text{g/g}$).

$$\text{Hàm lượng carotenoids tổng số } (\mu\text{g/g}) = A \times V \times D \times 10^4 / (W \times E_{1\text{cm}}^{1\%})$$

Trong đó: A là độ hấp thụ; V là tổng thể tích của dịch chiết (mL); D là tỷ lệ pha loãng; W là khối lượng của mẫu (g); và $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ là hệ số quy đổi, 2.100 (dung môi đầu ăn = 2.100, bước sóng hấp thụ 450 nm hoặc 480 nm, tương ứng với carotenoids tổng số hoặc astaxanthin).

2.5.2.3. Các chỉ tiêu đánh giá tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Sinh trưởng và tỷ lệ sống:

- + Tốc độ tăng trưởng CD đặc trưng: SGR_L (%/ngày) = $[(\text{Ln}L_2 - \text{Ln}L_1) / t] \times 100$
- + Tốc độ tăng trưởng KL đặc trưng: SGR_W (%/ngày) = $[(\text{Ln}W_2 - \text{Ln}W_1) / t] \times 100$
- + Hệ số phân đàn: CV (%) = $\text{SD} / \text{Mean} \times 100$
- + Hệ số điều kiện: CF (g/cm^3) = $100 \times W/L^3$
- + Tỷ lệ sống: SR (%) = $[N_2 / N_1] \times 100$

Hiệu quả sử dụng thức ăn:

- + Lượng thức ăn tiêu thụ: FI (g/con) = $[\text{FC} - \text{FL}] / N$
- + Hệ số chuyển hóa thức ăn: FCR = $\text{FI} / [W_2 - W_1]$
- + Tỷ lệ hiệu quả sử dụng protein thức ăn: PER = $[W_2 - W_1] / (\text{FI} \times P)$

2.5.2.4. Thành phần sinh hóa và hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá

Thành phần sinh hóa cơ thể cá: Sau khi gây mê, đo chiều dài và khối lượng, 4-5 con cá từ mỗi bể được thu ngẫu nhiên, bảo quản trong tủ đông trước khi nghiền thành bột mịn để phân tích các chỉ tiêu sinh hóa gần đúng theo quy trình của AOAC (2006).

Hoạt tính của các enzyme tiêu hóa của cá: Tương tự thu mẫu phân tích sinh hóa, 4-6 con cá từ mỗi bể được thu ngẫu nhiên. Các cơ quan tiêu hóa của cá được tách, rửa sạch, đông lạnh trong nitơ lỏng và bảo quản ở -80°C. Mô đông lạnh được nghiền thành bột mịn, đồng nhất hóa trong đệm phosphate lạnh và ly tâm để thu nhận dịch nổi chứa protein hòa tan. Hoạt độ enzyme protease, lipase và amylase được xác định lần lượt bằng phương pháp Anson cải tiến, phương pháp chuẩn độ liên tục pH-stat và phương pháp sử dụng thuốc thử DNS. Hoạt độ riêng được biểu thị dưới dạng U/mg protein.

2.6. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được tính toán trên phần mềm Microsoft Excel 2021, sau đó được kiểm tra tính đồng nhất phương sai và phân phối chuẩn. Phương pháp phân tích phương sai một yếu tố (one-way ANOVA) trên SPSS 26.0 được sử dụng để phân tích kết quả. Kiểm định Duncan được sử dụng cho TN1-7 và kiểm định Independent-Samples T-Test cho TN8 để xác định sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$). Kết quả được trình bày dưới dạng Mean \pm SE.

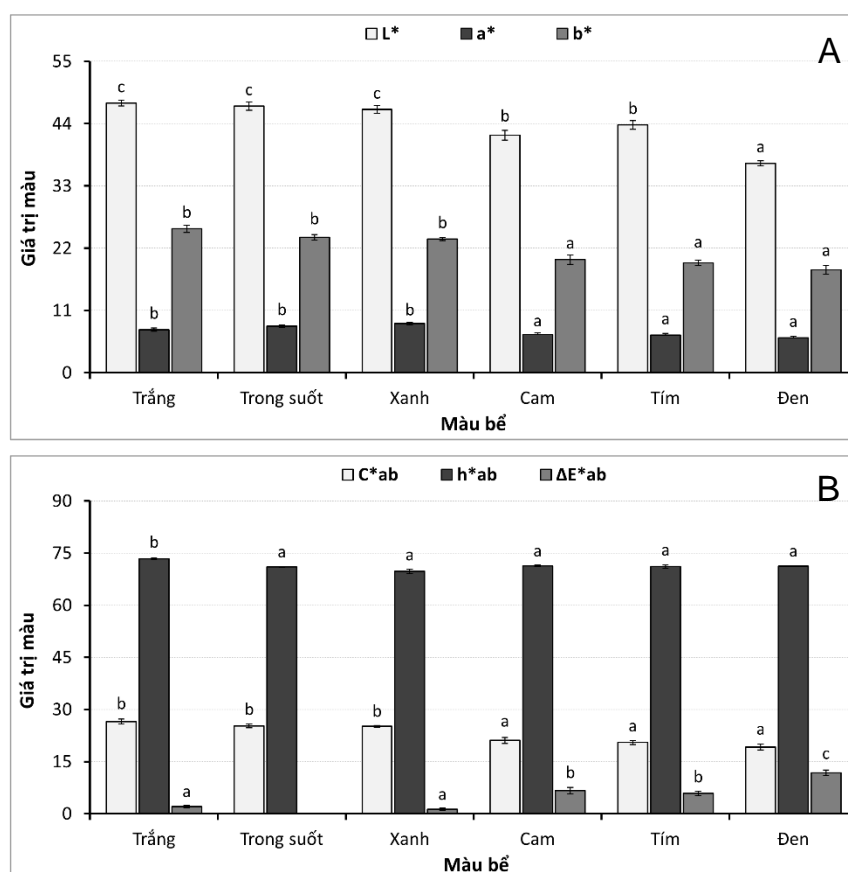
CHƯƠNG 3 – KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của môi trường nuôi lên cá khoang cổ nemo

3.1.1. Ảnh hưởng của màu sắc bể nuôi

3.1.1.1. Màu sắc da cá

Cá nuôi trong bể xanh và trong có độ sáng (L^*) và độ đỏ (a^*) cao nhất, đồng thời có màu sắc thiên về hướng đỏ cam. Ngược lại, cá nuôi trong bể đen có màu sắc kém nhất. Do đó, màu xanh và trong được xác định là phù hợp nhất cho nuôi cá khoang cổ nemo (Hình 3.1).

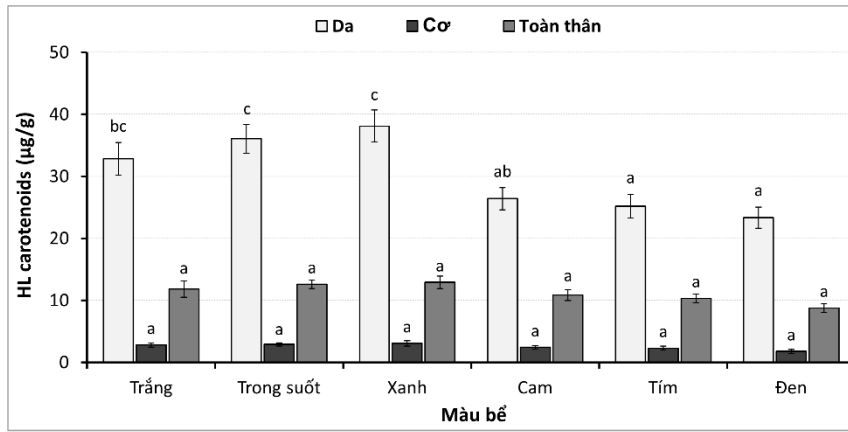


Hình 3.1: Các chỉ số màu sắc da của cá được nuôi ở các bể có màu sắc khác nhau

Các giá trị được trình bày dưới dạng trung bình \pm sai số chuẩn ($n = 3$). Các cột với các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

3.1.1.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Màu sắc bể nuôi ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá khoang cổ nemo. Cá nuôi trong bể xanh và trong có hàm lượng carotenoids trong da cao nhất, vượt trội hơn 54,6 - 63,4% so với bể đen. Không có sự khác biệt đáng kể về hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ và toàn thân cá giữa các nghiệm thức thí nghiệm. Kết quả cho thấy bể màu xanh và trong có lợi cho sự tích lũy carotenoids ở cá khoang cổ nemo (Hình 3.2).



Hình 3.2: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) ở các màu bể khác nhau

3.1.1.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Kết quả cho thấy cá nuôi trong bể màu trắng và xanh đạt tốc độ tăng trưởng chiều dài và khối lượng đặc trưng (SGR_L , SGR_W) cao nhất. Cá nuôi trong bể màu xanh có hệ số phân đàn khối lượng thấp nhất. Hệ số điều kiện cao nhất ở bể màu trắng. Tuy nhiên, màu sắc bể nuôi không ảnh hưởng đáng kể đến hệ số CV_L và tỷ lệ sống của cá (Bảng 3.1).

Bảng 3.1: Tăng trưởng và tỷ lệ sống của cá được nuôi ở các bể có màu sắc khác nhau

Chỉ tiêu	Màu bể					
	Trắng	Trong	Xanh	Cam	Tím	Đen
L_1 (cm)	3,30 ± 0,02	3,30 ± 0,02	3,30 ± 0,02	3,30 ± 0,02	3,30 ± 0,02	3,30 ± 0,02
W_1 (g)	0,65 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,65 ± 0,02
L_2 (cm)	3,94 ± 0,02 ^b	3,77 ± 0,02 ^a	3,93 ± 0,02 ^b	3,84 ± 0,04 ^a	3,85 ± 0,03 ^a	3,81 ± 0,03 ^a
W_2 (g)	1,25 ± 0,01 ^c	1,04 ± 0,01 ^a	1,23 ± 0,02 ^c	1,13 ± 0,04 ^b	1,16 ± 0,01 ^b	1,10 ± 0,03 ^{ab}
SGR_L (%/ngày)	0,29 ± 0,01 ^b	0,22 ± 0,01 ^a	0,29 ± 0,01 ^b	0,25 ± 0,02 ^a	0,25 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,01 ^a
SGR_W (%/ngày)	1,09 ± 0,02 ^c	0,79 ± 0,02 ^a	1,07 ± 0,03 ^c	0,92 ± 0,05 ^b	0,96 ± 0,02 ^b	0,87 ± 0,04 ^{ab}
CV_L (%)	8,11 ± 0,43	7,02 ± 0,19	7,12 ± 0,37	8,67 ± 0,47	8,60 ± 0,51	6,78 ± 0,89
CV_W (%)	23,3 ± 0,99 ^{bc}	21,2 ± 0,83 ^{ab}	19,0 ± 0,79 ^a	25,8 ± 1,94 ^c	25,6 ± 1,64 ^c	20,9 ± 1,12 ^{ab}
CF (g/cm ³)	2,05 ± 0,02 ^c	1,96 ± 0,01 ^a	2,03 ± 0,01 ^{bc}	1,99 ± 0,02 ^{ab}	2,03 ± 0,03 ^{bc}	1,99 ± 0,01 ^{ab}
SR (%)	95,5 ± 2,23	97,8 ± 2,23	95,5 ± 2,23	91,1 ± 2,20	95,5 ± 2,23	95,5 ± 2,23

Số liệu được trình bày dưới dạng Mean ± SE (n = 3). Các giá trị trung bình mang ký tự chữ cái khác nhau trong cùng hàng thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p < 0,05).

Cá nuôi trong bể màu trắng và xanh đạt kết quả tốt nhất với hệ số FCR giảm 17,4 – 19,4% và PER tăng 19,8 – 23,1% so với bể kém nhất - màu trong suốt (Bảng 3.2).

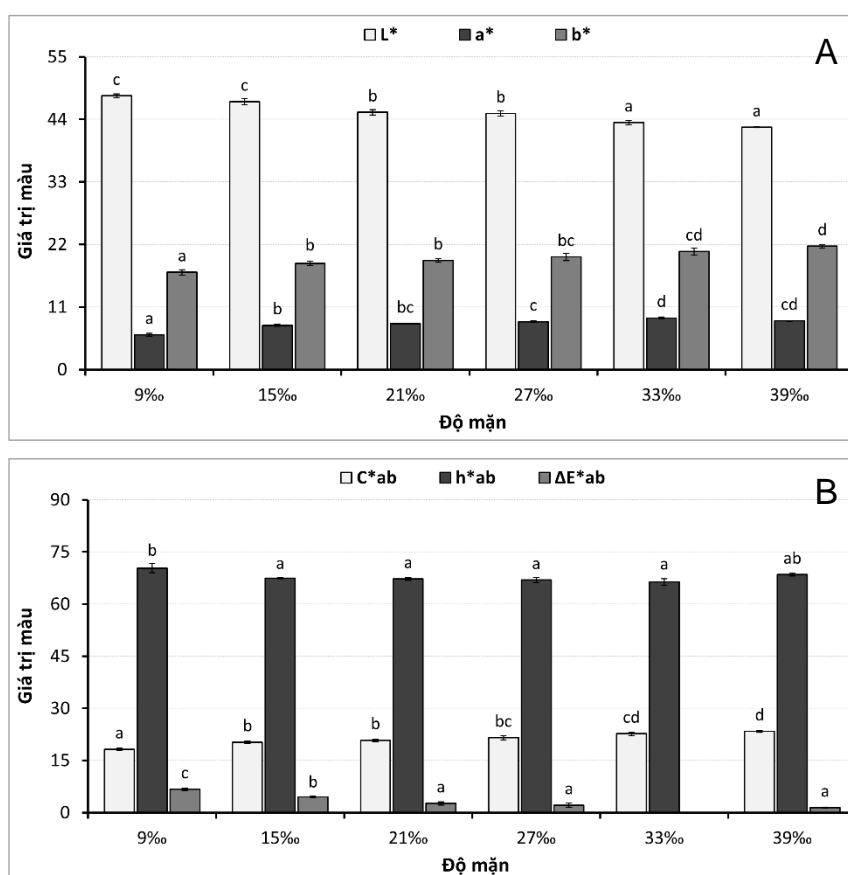
Bảng 3.2: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá được nuôi ở các bể có màu sắc khác nhau

Chỉ tiêu	Màu bể					
	Trắng	Trong	Xanh	Cam	Tím	Đen
FI (g/con)	0,98 ± 0,03 ^b	0,79 ± 0,03 ^a	0,97 ± 0,02 ^b	0,90 ± 0,05 ^{ab}	0,95 ± 0,04 ^b	0,89 ± 0,04 ^{ab}
FCR	1,62 ± 0,02 ^a	2,01 ± 0,02 ^c	1,66 ± 0,05 ^a	1,89 ± 0,04 ^b	1,88 ± 0,02 ^b	1,99 ± 0,04 ^c
PER	1,12 ± 0,02 ^c	0,91 ± 0,01 ^a	1,09 ± 0,03 ^c	0,96 ± 0,01 ^{ab}	0,97 ± 0,01 ^b	0,92 ± 0,02 ^{ab}

3.1.2. Ảnh hưởng của độ mặn lên cá khoang cổ nemo

3.1.2.1. Màu sắc da cá

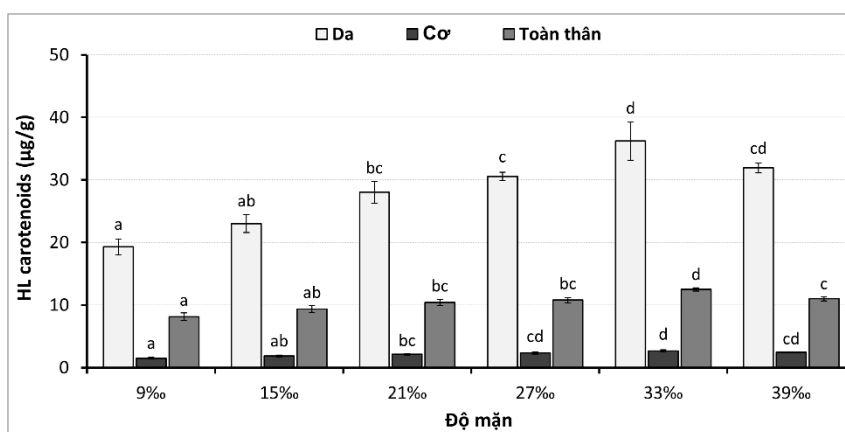
Độ đỏ (a^*) cao nhất ở 33‰, thấp nhất ở 9‰, chênh lệch 48,6%. Độ vàng (b^*) và độ bão hòa (C^*_{ab}) cao nhất ở 39‰, thấp nhất ở 9‰. Độ sáng (L^*) và tông màu (h^*_{ab}) cao nhất ở 9‰, thấp nhất ở 33‰. Sự khác biệt màu sắc so với đối chứng 33‰ (ΔE^*_{ab}) tăng khi giảm độ mặn, cao nhất ở 9‰. Không khác biệt màu sắc da giữa 33‰ và 39‰. Độ mặn 33 - 39‰ giúp cá đạt màu sắc da tối ưu (cam đậm, rực rỡ, có chiều sâu) so với độ mặn thấp (sáng nhưng vàng nhạt). Độ mặn 33 - 39‰ phù hợp với cá khoang cổ nemo (Hình 3.3).



Hình 3.3: Các chỉ số màu sắc da của cá được nuôi ở các mức độ mặn khác nhau

3.1.2.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Từ 9-33‰, hàm lượng carotenoids tích lũy trên da, cơ và toàn thân cá tăng tuyến tính theo độ mặn. Ở 33‰, hàm lượng carotenoids tích lũy cao nhất, tăng 87,6% trên da, 80,5% trong cơ và 53,6% toàn thân so với 9‰. Độ mặn 33-39‰ được xác định là phù hợp cho quá trình tích lũy carotenoids trong cơ thể cá khoang cổ nemo (Hình 3.4).



Hình 3.4: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) ở các độ mặn

3.1.2.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Cá nuôi ở độ mặn 33‰ đạt SGR_L và SGR_W lớn nhất, cao hơn 50% và 80% so với độ mặn 9‰. Không có khác biệt đáng kể về SGR_L ở 33 và 39‰, về SGR_W ở 27, 33 và 39‰. Hệ số CV_L thấp nhất ở 39‰ và cao nhất ở 15-33‰. CF và SR tốt hơn ở độ mặn cao (15-39‰) so với 9‰. Độ mặn tối ưu là 33‰, cá phát triển tốt trong khoảng 27-39‰ (Bảng 3.3).

Bảng 3.3: Tăng trưởng và tỷ lệ sống của cá được nuôi ở các mức độ mặn

Chỉ tiêu	Độ mặn					
	9‰	15‰	21‰	27‰	33‰	39‰
L ₁ (cm)	3,25 ± 0,08	3,25 ± 0,08	3,25 ± 0,08	3,25 ± 0,08	3,25 ± 0,08	3,25 ± 0,08
W ₁ (g)	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,05
L ₂ (cm)	3,71 ± 0,02 ^a	3,79 ± 0,01 ^b	3,83 ± 0,02 ^b	3,90 ± 0,02 ^c	3,97 ± 0,01 ^d	3,93 ± 0,03 ^{cd}
W ₂ (g)	0,93 ± 0,02 ^a	1,05 ± 0,02 ^b	1,07 ± 0,03 ^b	1,13 ± 0,02 ^{bc}	1,22 ± 0,03 ^c	1,16 ± 0,04 ^c
SGR _L (%/ngày)	0,22 ± 0,01 ^a	0,26 ± 0,01 ^b	0,27 ± 0,01 ^b	0,30 ± 0,01 ^c	0,33 ± 0,01 ^d	0,32 ± 0,01 ^{cd}
SGR _W (%/ngày)	0,55 ± 0,04 ^a	0,75 ± 0,03 ^b	0,78 ± 0,04 ^b	0,87 ± 0,02 ^{bc}	0,99 ± 0,05 ^c	0,92 ± 0,06 ^c
CV _L (%)	5,19 ± 0,46 ^b	7,31 ± 0,75 ^c	7,21 ± 0,05 ^c	6,84 ± 0,38 ^c	7,49 ± 0,66 ^c	3,67 ± 0,02 ^a
CV _W (%)	19,1 ± 1,62	25,0 ± 3,00	23,5 ± 1,33	22,5 ± 1,67	24,4 ± 1,75	21,4 ± 1,20
CF (g/cm ³)	1,83 ± 0,02 ^a	1,92 ± 0,01 ^b	1,90 ± 0,03 ^b	1,91 ± 0,02 ^b	1,95 ± 0,03 ^b	1,92 ± 0,03 ^b
SR (%)	75,1 ± 6,24 ^a	93,3 ± 3,84 ^b	97,8 ± 2,23 ^b	97,8 ± 2,23 ^b	100 ± 0,00 ^b	97,8 ± 2,23 ^b

Hệ số FCR và PER tốt nhất ở độ mặn 33‰ và kém nhất ở 9‰: FCR giảm 16,3% trong khi PER tăng 63,3% so với độ mặn 9‰. Xét về hiệu quả sử dụng thức ăn, phạm vi độ mặn 27-39‰ được xác định là phù hợp cho cá, đặc biệt là 33‰ (Bảng 3.4).

Bảng 3.4: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá được nuôi ở các mức độ mặn

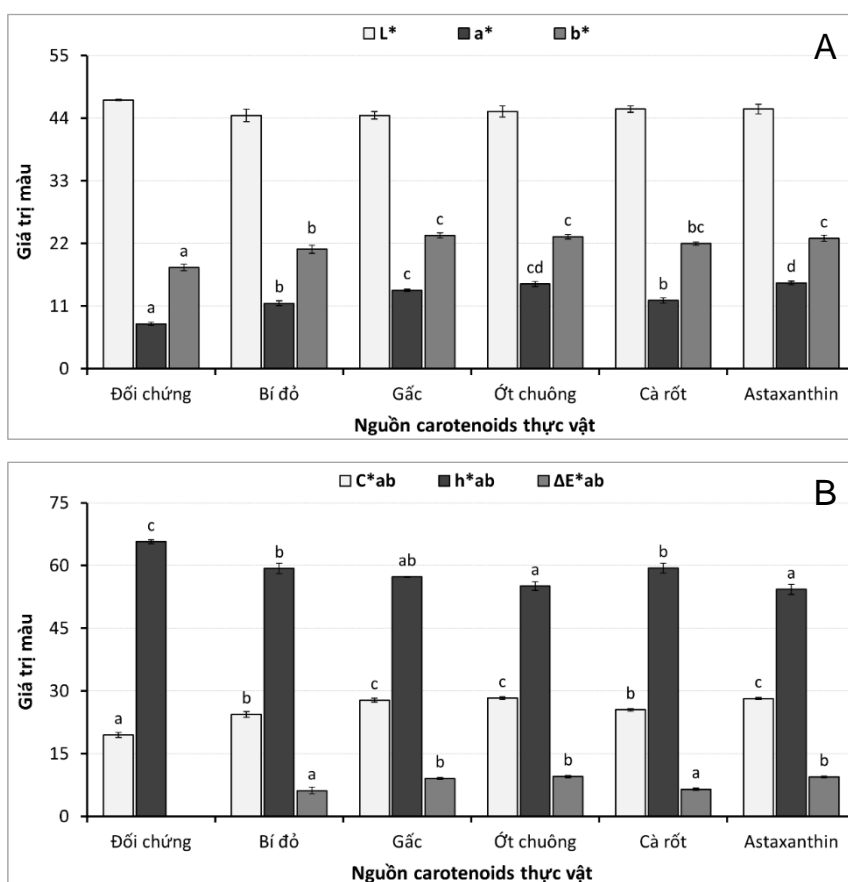
Chỉ tiêu	Độ mặn					
	9‰	15‰	21‰	27‰	33‰	39‰
FI (g/con)	0,95 ± 0,05 ^a	1,09 ± 0,02 ^b	1,15 ± 0,03 ^{bc}	1,17 ± 0,03 ^{bc}	1,25 ± 0,05 ^c	1,27 ± 0,04 ^c
FCR	2,09 ± 0,08 ^d	2,00 ± 0,02 ^{cd}	1,97 ± 0,04 ^{bcd}	1,81 ± 0,02 ^{ab}	1,75 ± 0,08 ^a	1,87 ± 0,04 ^{abc}
PER	0,49 ± 0,03 ^a	0,63 ± 0,02 ^b	0,64 ± 0,03 ^b	0,71 ± 0,02 ^{bc}	0,80 ± 0,05 ^c	0,71 ± 0,04 ^{bc}

3.2. Ảnh hưởng của chế độ bổ sung carotenoids vào thức ăn lên cá khoang cổ nemo

3.2.1. Ảnh hưởng của một số nguồn carotenoids thực vật

3.2.1.1. Màu sắc da cá

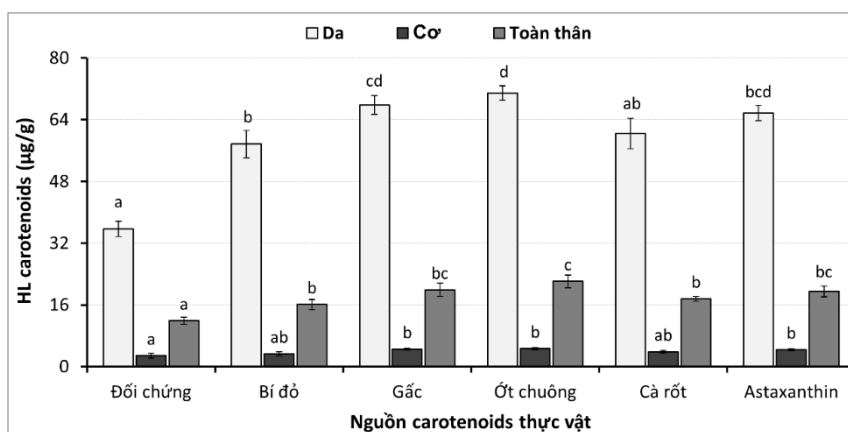
Độ đỏ (a^*) và độ vàng (b^*) của da cá ở các nhóm bổ sung astaxanthin, ớt chuông và gấc đạt giá trị cao nhất, trong khi nhóm đối chứng có giá trị thấp nhất. Tương tự, các chỉ số độ bão hòa màu (C^*_{ab}) và chênh lệch màu (ΔE^*_{ab}) cũng cho thấy sự vượt trội của việc bổ sung astaxanthin, ớt chuông và gấc so với các nhóm còn lại và đối chứng (Hình 3.5).



Hình 3.5: Các chỉ số màu sắc da của cá nuôi với các nguồn carotenoids thực vật

3.2.1.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Bổ sung các nguồn carotenoids vào thức ăn làm tăng đáng kể hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá, bao gồm da, cơ và toàn thân, so với nhóm đối chứng. Không có sự khác biệt về hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá giữa các nhóm bổ sung ớt chuông, gấc và astaxanthin cho thấy ba nguồn kể trên là hiệu quả trong việc tăng cường màu sắc ở cá khoang cổ nemo (Hình 3.6).



Hình 3.6: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) được nuôi với các nguồn carotenoids thực vật

3.2.1.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Bổ sung carotenoids từ gấc và ớt chuông vào thức ăn giúp cải thiện đáng kể SGR_L và SGR_w của cá, với mức tăng tương ứng 34,5 – 41,4% và 39,0 – 42,7% so với đối chứng. Hơn nữa, cá ở nhóm bổ sung này có sự đồng đều về kích cỡ hơn, thể hiện qua hệ số phân đàn khối lượng thấp hơn so với các nhóm còn lại (Bảng 3.5).

Bảng 3.5: Tăng trưởng và TLS của cá nuôi với các nguồn carotenoids thực vật

Chỉ tiêu	Nguồn carotenoids bổ sung					
	Đối chứng	Bí đỏ	Gấc	Ớt chuông	Cà rốt	Astaxanthin
L ₁ (cm)	3,21 ± 0,03	3,21 ± 0,03	3,21 ± 0,03	3,21 ± 0,03	3,21 ± 0,03	3,21 ± 0,03
W ₁ (g)	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,02	0,61 ± 0,02
L ₂ (cm)	4,00 ± 0,02 ^a	4,17 ± 0,02 ^b	4,35 ± 0,03 ^c	4,30 ± 0,03 ^c	4,20 ± 0,04 ^b	4,12 ± 0,04 ^b
W ₂ (g)	1,13 ± 0,04 ^a	1,31 ± 0,05 ^{bc}	1,47 ± 0,03 ^d	1,44 ± 0,02 ^{cd}	1,33 ± 0,05 ^{bc}	1,27 ± 0,04 ^b
SGR _L (%/ngày)	0,29 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,01 ^b	0,41 ± 0,01 ^c	0,39 ± 0,01 ^c	0,36 ± 0,01 ^b	0,33 ± 0,01 ^b
SGR _w (%/ngày)	0,82 ± 0,05 ^a	1,02 ± 0,05 ^{bc}	1,17 ± 0,03 ^d	1,14 ± 0,03 ^{cd}	1,04 ± 0,05 ^{bc}	0,98 ± 0,04 ^b
CV _L (%)	12,4 ± 0,54	11,3 ± 0,42	9,91 ± 0,73	10,0 ± 0,76	11,3 ± 0,54	11,5 ± 0,90
CV _w (%)	40,3 ± 0,63 ^b	34,5 ± 1,44 ^{ab}	29,0 ± 1,91 ^a	29,2 ± 2,58 ^a	35,4 ± 1,93 ^b	35,2 ± 1,83 ^b
CF (g/cm ³)	1,76 ± 0,03	1,80 ± 0,04	1,78 ± 0,01	1,81 ± 0,01	1,80 ± 0,01	1,81 ± 0,02
SR (%)	93,3 ± 3,85	95,6 ± 2,22	97,8 ± 2,22	97,8 ± 2,22	95,6 ± 2,22	95,6 ± 2,22

Bổ sung carotenoids từ gấc và ớt chuông đã cải thiện đáng kể hiệu quả sử dụng thức ăn của cá. Các giá trị tốt nhất về FCR và PER đạt được ở nhóm bổ sung gấc (Bảng 3.6).

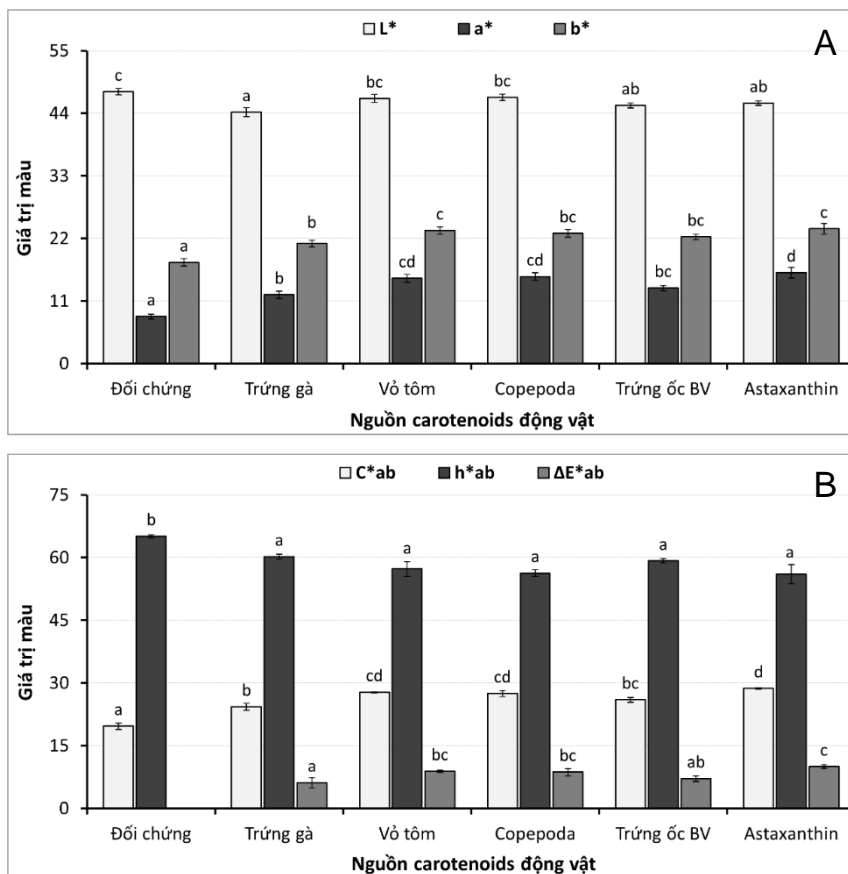
Bảng 3.6: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá nuôi với các nguồn carotenoids thực vật

Chỉ tiêu	Nguồn carotenoids bổ sung					
	Đối chứng	Bí đỏ	Gấc	Ớt chuông	Cà rốt	Astaxanthin
FI (g/con)	1,09 ± 0,07	1,23 ± 0,06	1,29 ± 0,09	1,40 ± 0,05	1,30 ± 0,11	1,22 ± 0,06
FCR	2,11 ± 0,05 ^c	1,78 ± 0,09 ^b	1,50 ± 0,07 ^a	1,70 ± 0,06 ^{ab}	1,80 ± 0,06 ^b	1,86 ± 0,06 ^b
PER	0,86 ± 0,02 ^a	1,03 ± 0,05 ^b	1,22 ± 0,06 ^c	1,07 ± 0,04 ^b	1,01 ± 0,04 ^b	0,98 ± 0,03 ^{ab}

3.2.2. Ảnh hưởng của một số nguồn carotenoids động vật

3.2.2.1. Màu sắc da cá

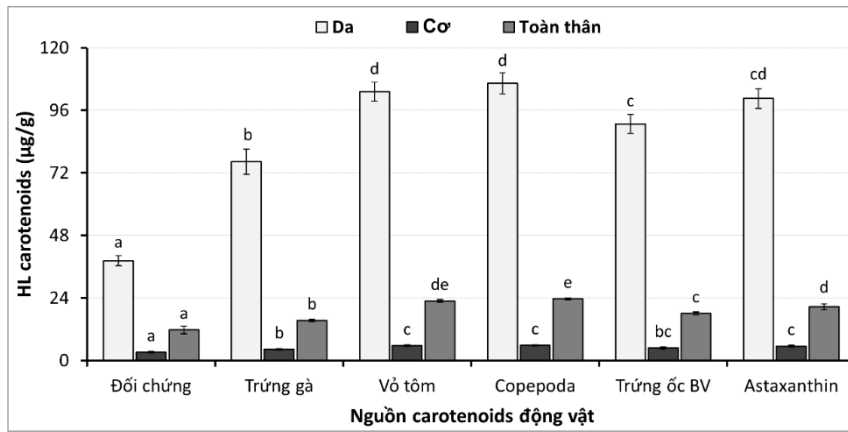
Việc bổ sung carotenoids từ các nguồn astaxanthin tổng hợp, vỏ tôm và Copepoda đã làm giảm độ sáng (L^*), tăng cường độ đỏ (a^*), độ vàng (b^*), độ bão hòa màu (C^*_{ab}) và sự khác biệt màu sắc tổng thể (ΔE^*_{ab}), đồng thời giảm tông màu (h^*_{ab}) của da cá so với nhóm đối chứng. Kết quả này cho thấy hiệu quả của việc bổ sung các nguồn carotenoids trong việc tăng cường màu sắc, giúp da cá đỏ đậm và rực rỡ hơn (Hình 3.7).



Hình 3.7: Các chỉ số màu sắc da cá được nuôi với các nguồn carotenoids động vật

3.2.2.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trên da, cơ và toàn thân cá tăng đáng kể ở các nhóm bổ sung carotenoids, đặc biệt là từ Copepoda, vỏ tôm và astaxanthin tổng hợp, so với nhóm đối chứng. Kết quả này phù hợp với hiệu quả tăng cường các chỉ tiêu màu sắc quan sát được trên da cá, cho thấy tác dụng tích lũy carotenoids mạnh mẽ trong cơ thể cá khi được bổ sung các nguồn này vào thức ăn (Hình 3.8).



Hình 3.8: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) được nuôi với các nguồn carotenoids động vật

3.2.2.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Việc bổ sung carotenoids, đặc biệt từ vỏ tôm và Copepoda, vào chế độ ăn đã cải thiện đáng kể các chỉ số SGR_L và SGR_w của cá so với nhóm đối chứng và nhóm bổ sung astaxanthin TH. Tuy nhiên, CF và SR không khác biệt giữa các nghiệm thức (Bảng 3.7).

Bảng 3.7: Tăng trưởng và tỷ lệ sống của cá nuôi với các nguồn carotenoids động vật

Chỉ tiêu	Nguồn carotenoids bổ sung					
	Đối chứng	Trứng gà	Vỏ tôm	Copepoda	Trứng OBV	Astaxanthin
L ₁ (cm)	3,14 ± 0,02	3,14 ± 0,02	3,14 ± 0,02	3,14 ± 0,02	3,14 ± 0,02	3,14 ± 0,02
W ₁ (g)	0,54 ± 0,02	0,54 ± 0,02	0,54 ± 0,02	0,54 ± 0,02	0,54 ± 0,02	0,54 ± 0,02
L ₂ (cm)	3,92 ± 0,03 ^a	4,07 ± 0,02 ^b	4,23 ± 0,02 ^{cd}	4,27 ± 0,01 ^d	4,17 ± 0,03 ^c	4,04 ± 0,04 ^b
W ₂ (g)	1,08 ± 0,02 ^a	1,20 ± 0,03 ^{bc}	1,33 ± 0,03 ^d	1,36 ± 0,01 ^d	1,25 ± 0,02 ^c	1,17 ± 0,02 ^b
SGR _L (%/ngày)	0,30 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,01 ^b	0,40 ± 0,01 ^{cd}	0,41 ± 0,01 ^d	0,38 ± 0,01 ^c	0,33 ± 0,01 ^b
SGR _w (%/ngày)	0,92 ± 0,03 ^a	1,06 ± 0,03 ^{bc}	1,20 ± 0,03 ^d	1,24 ± 0,01 ^d	1,12 ± 0,02 ^c	1,03 ± 0,02 ^b
CV _L (%)	12,7 ± 0,48	11,1 ± 0,59	9,46 ± 1,03	9,73 ± 0,64	11,2 ± 0,55	11,4 ± 1,12
CV _w (%)	39,9 ± 0,33 ^b	34,4 ± 1,40 ^{ab}	29,0 ± 1,94 ^a	29,2 ± 2,44 ^a	35,3 ± 1,89 ^b	35,1 ± 1,75 ^b
CF (g/cm ³)	1,78 ± 0,01	1,78 ± 0,02	1,76 ± 0,02	1,76 ± 0,01	1,73 ± 0,01	1,78 ± 0,03
SR (%)	95,6 ± 2,22	95,6 ± 2,22	97,8 ± 2,22	97,8 ± 2,22	95,6 ± 2,22	95,6 ± 2,22

Cá được cho ăn thức ăn bổ sung carotenoids từ vỏ tôm và Copepoda đạt hệ số FCR thấp nhất và PER cao nhất, trong khi kết quả thấp nhất thuộc về đối chứng và astaxanthin tổng hợp (Bảng 3.8).

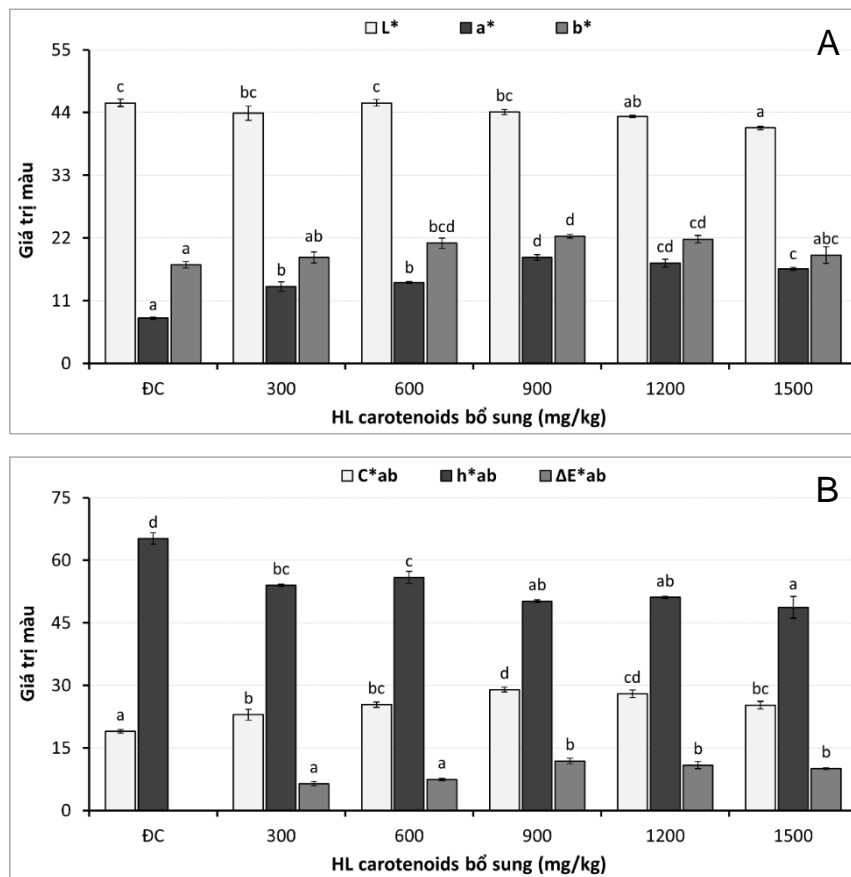
Bảng 3.8: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá nuôi với các nguồn carotenoids động vật

Chỉ tiêu	Nguồn carotenoids bổ sung					
	Đối chứng	Trứng gà	Vỏ tôm	Copepoda	Trứng OBV	Astaxanthin
FI (g/con)	1,05 ± 0,05 ^a	1,17 ± 0,05 ^{ab}	1,20 ± 0,05 ^{abc}	1,32 ± 0,08 ^{bc}	1,36 ± 0,03 ^c	1,21 ± 0,03 ^{abc}
FCR	1,95 ± 0,08 ^c	1,80 ± 0,15 ^{bc}	1,51 ± 0,01 ^a	1,60 ± 0,08 ^{ab}	1,91 ± 0,01 ^c	1,93 ± 0,10 ^c
PER	0,94 ± 0,04 ^a	1,03 ± 0,09 ^{ab}	1,20 ± 0,01 ^c	1,14 ± 0,05 ^{bc}	0,96 ± 0,01 ^a	0,95 ± 0,05 ^a

3.2.3. Ảnh hưởng của hàm lượng carotenoids từ ớt chuông

3.2.3.1. Màu sắc da cá

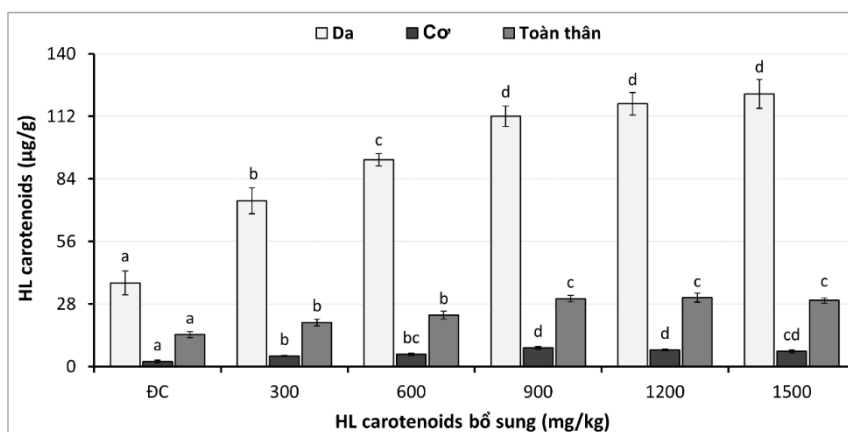
Độ đỏ (a^*), độ vàng (b^*) và độ bão hòa màu sắc (C^*_{ab}) tăng lên, trong khi độ sáng (L) và tông màu (h^*_{ab}) giảm xuống ở mức bổ sung 900 mg/kg thức ăn. Sự khác biệt tổng thể về màu sắc da cá so với đối chứng (ΔE^*_{ab}) cũng thể hiện rõ rệt hơn ở nhóm bổ sung 900 mg/kg. Tăng hàm lượng bổ sung lên trên 900 mg/kg không mang lại lợi ích thêm, cho thấy mức này là phù hợp nhất với nhu cầu của cá khoang cổ nemo (Hình 3.9).



Hình 3.9: Các chỉ số màu sắc da cá được nuôi với các HL carotenoids từ ớt chuông

3.2.3.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Việc bổ sung carotenoids từ ớt chuông vào thức ăn đã làm tăng đáng kể sự tích lũy carotenoids tổng số trên da, trong cơ và toàn thân cá khoang cổ nemo so với đối chứng. Mức độ tích lũy carotenoids tăng tuyến tính với hàm lượng carotenoids bổ sung, đạt giá trị cao nhất ở mức 900 - 1.500 mg/kg thức ăn. Tuy nhiên, việc bổ sung carotenoids ở mức > 900 mg/kg không cải thiện thêm sự tích lũy carotenoids trong cơ thể cá, cho thấy mức bổ sung 900 mg/kg thức ăn là phù hợp với nhu cầu của loài cá này (Hình 3.10).



Hình 3.10: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) nuôi với các hàm lượng carotenoids bổ sung từ ớt chuông

3.2.3.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Việc bổ sung carotenoids từ ớt chuông vào thức ăn ở mức ≥ 900 mg/kg đã cải thiện đáng kể SGR_L và SGR_w của cá so với các mức bổ sung thấp hơn và đối chứng. Mức bổ sung từ 900 mg/kg thức ăn được xác định là phù hợp với cá khoang cỏ nemo (Bảng 3.9).

Bảng 3.9: Tăng trưởng và TLS của cá nuôi với các HL carotenoids từ ớt chuông

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Đối chứng	300	600	900	1.200	1.500
L ₁ (cm)	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,04	3,40 ± 0,04
W ₁ (g)	0,72 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,72 ± 0,02
L ₂ (cm)	4,02 ± 0,04 ^a	4,05 ± 0,02 ^a	4,07 ± 0,06 ^a	4,26 ± 0,03 ^b	4,21 ± 0,02 ^b	4,31 ± 0,06 ^b
W ₂ (g)	1,22 ± 0,02 ^a	1,23 ± 0,01 ^a	1,27 ± 0,03 ^a	1,44 ± 0,03 ^b	1,41 ± 0,05 ^b	1,46 ± 0,06 ^b
SGR _L (%/ngày)	0,22 ± 0,01 ^a	0,23 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,02 ^{ab}	0,30 ± 0,01 ^c	0,28 ± 0,01 ^{bc}	0,31 ± 0,02 ^c
SGR _w (%/ngày)	0,70 ± 0,02 ^a	0,72 ± 0,02 ^a	0,76 ± 0,03 ^a	0,93 ± 0,03 ^b	0,89 ± 0,04 ^b	0,94 ± 0,06 ^b
CV _L (%)	12,2 ± 0,96	8,86 ± 0,87	9,66 ± 0,23	9,53 ± 0,22	9,88 ± 1,14	10,4 ± 0,90
CV _w (%)	31,7 ± 1,8	25,7 ± 1,75	26,3 ± 1,03	27,3 ± 0,57	30,7 ± 3,16	32,1 ± 1,66
CF (g/cm ³)	1,88 ± 0,03	1,90 ± 0,01	1,90 ± 0,04	1,88 ± 0,02	1,87 ± 0,03	1,81 ± 0,01
SR (%)	95,3 ± 2,33	95,3 ± 2,33	97,7 ± 2,33	97,7 ± 2,33	95,3 ± 2,33	97,7 ± 2,33

Việc bổ sung carotenoids từ ớt chuông vào thức ăn ở mức ≥ 900 mg/kg đã tăng cường lượng thức ăn ăn vào (FI) và hiệu quả sử dụng thức ăn (FCR và PER) của cá. Mức bổ sung 900 mg/kg được xác định là phù hợp (Bảng 3.10).

Bảng 3.10: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá nuôi với các HL carotenoids từ ớt chuông

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Đối chứng	300	600	900	1.200	1.500
FI (g/con)	1,01 ± 0,03 ^a	0,97 ± 0,01 ^a	1,07 ± 0,04 ^a	1,24 ± 0,07 ^b	1,26 ± 0,06 ^b	1,32 ± 0,08 ^b
FCR	2,02 ± 0,03 ^d	1,88 ± 0,03 ^{bc}	1,96 ± 0,04 ^{cd}	1,72 ± 0,02 ^a	1,85 ± 0,05 ^{bc}	1,79 ± 0,05 ^{ab}
PER	0,90 ± 0,01 ^a	0,97 ± 0,02 ^{bc}	0,93 ± 0,02 ^{ab}	1,06 ± 0,01 ^d	0,98 ± 0,03 ^{bc}	1,02 ± 0,03 ^{cd}

3.2.3.4. Thành phần sinh hóa và hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá

Hàm lượng carotenoids bổ sung từ ớt chuông vào thức ăn ảnh hưởng đáng kể đến thành phần protein và lipid trong cơ thể cá khoang cổ nemo, trong khi không tác động đến độ ẩm và hàm lượng tro. Cá được bổ sung carotenoids từ 600 mg/kg thức ăn trở lên có hàm lượng protein cao hơn (17,7 – 18,5%) so với nhóm đối chứng (16,2%), trong khi hàm lượng lipid lại thấp hơn ở nhóm bổ sung 900 và 1.500 mg/kg thức ăn (5,28 – 5,40%) so với nhóm đối chứng và bổ sung 300 mg/kg thức ăn (6,51 – 6,62%). Hàm lượng protein và lipid cơ thể cá biến đổi trái ngược nhau, với protein tăng và lipid giảm khi tăng hàm lượng carotenoids bổ sung (Bảng 3.11).

Bảng 3.11: Thành phần sinh hóa cơ thể cá (%ww) nuôi với các hàm lượng carotenoids bổ sung từ ớt chuông

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	0 (ĐC)	300	600	900	1.200	1.500
Moiture (%)	72,7 ± 0,30	72,3 ± 0,40	71,9 ± 0,20	71,9 ± 0,48	71,8 ± 0,25	71,9 ± 0,44
Protein (%)	16,2 ± 0,64 ^a	16,9 ± 0,33 ^{ab}	17,7 ± 0,46 ^{bc}	18,4 ± 0,33 ^c	18,1 ± 0,29 ^{bc}	18,5 ± 0,29 ^c
Lipid (%)	6,62 ± 0,29 ^b	6,51 ± 0,31 ^b	6,10 ± 0,33 ^{ab}	5,40 ± 0,33 ^a	5,73 ± 0,23 ^{ab}	5,28 ± 0,26 ^a
Tro (%)	4,13 ± 0,19	4,14 ± 0,21	4,17 ± 0,18	3,95 ± 0,32	4,11 ± 0,13	4,09 ± 0,20

Bổ sung carotenoids từ ớt chuông vào thức ăn cải thiện hoạt tính của các enzyme tiêu hóa trong cơ quan tiêu hóa của cá khoang cổ nemo. Hoạt tính enzyme protease và lipase tăng lên tuyến tính với hàm lượng carotenoids bổ sung, với mức bổ sung từ 900 mg/kg thức ăn trở lên cho hoạt tính protease cao hơn đáng kể (2,70 – 2,82 U/mg) so với mức 300 mg/kg và đối chứng (1,57 – 1,82 U/mg), trong khi hoạt tính lipase cao hơn ở mức bổ sung từ 600 mg/kg so với 0 - 300 mg/kg thức ăn. Tuy hoạt tính amylase cũng tăng tuyến tính với hàm lượng carotenoids bổ sung, nhưng không có sự khác biệt đáng kể giữa các nhóm (Bảng 3.12).

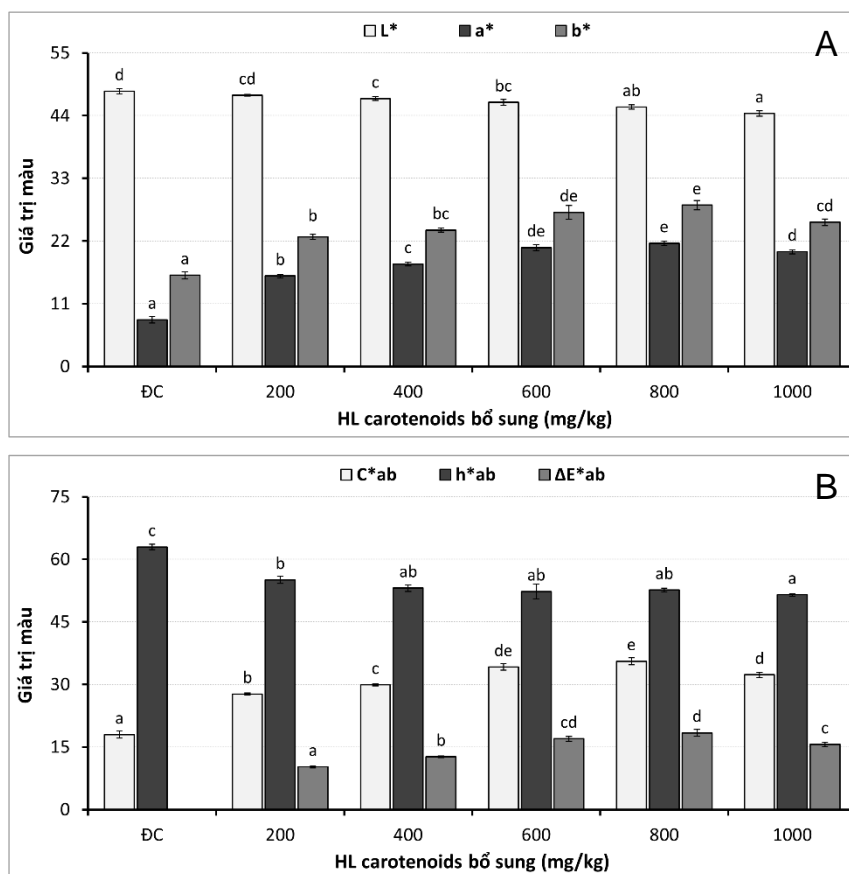
Bảng 3.12: Hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá (U/mg) nuôi với các hàm lượng carotenoids bổ sung từ ớt chuông

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	0 (ĐC)	300	600	900	1.200	1.500
Amylase	9,82 ± 1,73	11,5 ± 1,61	12,0 ± 1,91	13,5 ± 1,74	13,0 ± 1,89	13,6 ± 1,17
Protease	1,57 ± 0,31 ^a	1,82 ± 0,15 ^{ab}	2,50 ± 0,27 ^{bc}	2,76 ± 0,22 ^c	2,70 ± 0,26 ^c	2,82 ± 0,25 ^c
Lipase	2,96 ± 0,62 ^a	3,55 ± 0,33 ^a	4,98 ± 0,43 ^b	5,40 ± 0,36 ^b	5,22 ± 0,37 ^b	5,59 ± 0,36 ^b

3.2.4. Ảnh hưởng của hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm

3.2.4.1. Màu sắc da cá

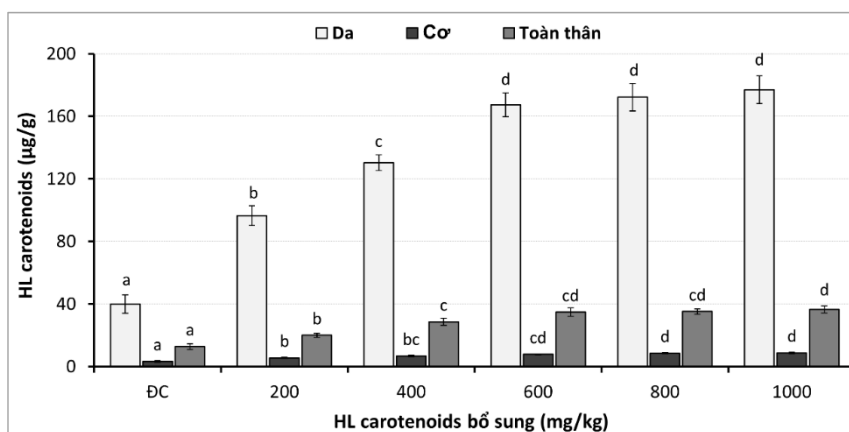
Bổ sung carotenoids vào thức ăn cải thiện đáng kể màu sắc da cá. Mức bổ sung 600-800 mg/kg cho kết quả tốt nhất về các chỉ số a^* , b^* , C^*_{ab} và ΔE^*_{ab} . Tuy nhiên, hàm lượng carotenoids quá cao (800-1000 mg/kg) có thể làm da cá tối màu hơn (Hình 3.11).



Hình 3.11: Các chỉ số màu sắc da của cá nuôi với các HL carotenoids từ vỏ tôm

3.2.4.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá khoang cổ nemo tăng tuyến tính với lượng carotenoids bổ sung, đạt cao nhất ở mức 600-1.000 mg/kg thức ăn. Kết quả cho thấy mức bổ sung từ 600 mg/kg thức ăn là thích hợp để tăng cường hàm lượng carotenoids tổng số trong cơ thể cá khoang cổ nemo (Hình 3.12).



Hình 3.12: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (μg/g) nuôi với các hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm

3.2.4.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Cá được cho ăn carotenoids bổ sung ở mức 600 và 800 mg/kg đạt SGR_L và SGR_w cao nhất, với mức tăng từ 37,9 - 42,7% so với ĐC. Không có sự khác biệt về tốc độ tăng trưởng giữa các mức bổ sung từ 600 - 1000 mg/kg thức ăn. Mức bổ sung từ 600 - 800 mg/kg thức ăn được xác định là phù hợp (Bảng 3.13).

Bảng 3.13: Tăng trưởng và TLS của cá nuôi với các HL carotenoids từ vỏ tôm

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Control	200	400	600	800	1.000
L ₁ (cm)	3,00 ± 0,05	3,00 ± 0,05	3,00 ± 0,05	3,00 ± 0,05	3,00 ± 0,05	3,00 ± 0,05
W ₁ (g)	0,58 ± 0,03	0,58 ± 0,03	0,58 ± 0,03	0,58 ± 0,03	0,58 ± 0,03	0,58 ± 0,03
L ₂ (cm)	3,74 ± 0,02 ^a	3,85 ± 0,01 ^b	3,95 ± 0,01 ^c	4,05 ± 0,02 ^d	4,07 ± 0,03 ^d	4,03 ± 0,04 ^{cd}
W ₂ (g)	1,02 ± 0,02 ^a	1,10 ± 0,01 ^b	1,20 ± 0,02 ^c	1,28 ± 0,02 ^d	1,29 ± 0,02 ^d	1,27 ± 0,04 ^{cd}
SGR _L (%/ngày)	0,29 ± 0,01 ^a	0,33 ± 0,01 ^b	0,37 ± 0,01 ^c	0,40 ± 0,01 ^d	0,41 ± 0,01 ^d	0,39 ± 0,02 ^{cd}
SGR _w (%/ngày)	0,75 ± 0,03 ^a	0,85 ± 0,02 ^b	0,97 ± 0,03 ^c	1,05 ± 0,02 ^{cd}	1,07 ± 0,02 ^d	1,04 ± 0,04 ^{cd}
CV _L (%)	11,3 ± 0,67	10,3 ± 0,33	9,33 ± 0,88	8,33 ± 0,88	9,33 ± 0,88	10,7 ± 0,88
CV _w (%)	35,3 ± 1,76 ^b	33,0 ± 1,16 ^b	30,3 ± 2,91 ^{ab}	25,7 ± 0,33 ^a	27,0 ± 0,58 ^a	34,3 ± 2,33 ^b
CF (g/cm ³)	1,95 ± 0,01	1,91 ± 0,03	1,95 ± 0,02	1,92 ± 0,01	1,92 ± 0,01	1,94 ± 0,01
SR (%)	91,1 ± 2,22	95,6 ± 2,22	95,6 ± 2,22	97,8 ± 2,22	97,8 ± 2,22	95,6 ± 2,22

Cá được cho ăn carotenoids bổ sung ở mức 600 mg/kg đạt kết quả tốt nhất, với FCR giảm 21,2% và PER tăng 27,2% so với đối chứng. Không có sự khác biệt đáng kể về các chỉ tiêu này giữa các mức bổ sung từ 600 - 1.000 mg/kg thức ăn cho thấy mức bổ sung 600 mg/kg là phù hợp với cá khoang cổ nemo (Bảng 3.14).

Bảng 3.14: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá nuôi với các HL carotenoids từ vỏ tôm

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Đối chứng	200	400	600	800	1000
FI (g/con)	0,87 ± 0,03	0,97 ± 0,07	1,12 ± 0,09	1,09 ± 0,05	1,17 ± 0,07	1,14 ± 0,08
FCR	1,99 ± 0,08 ^c	1,87 ± 0,09 ^c	1,81 ± 0,08 ^{bc}	1,55 ± 0,04 ^a	1,65 ± 0,05 ^{ab}	1,66 ± 0,03 ^{ab}
PER	0,92 ± 0,04 ^a	0,98 ± 0,05 ^{ab}	1,01 ± 0,05 ^{abc}	1,17 ± 0,03 ^d	1,10 ± 0,04 ^{cd}	1,09 ± 0,02 ^{bcd}

3.2.4.4. Thành phần sinh hóa và hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá

Hàm lượng carotenoids bổ sung ảnh hưởng đến thành phần protein và lipid thô trong cơ thể cá khoang cổ nemo, nhưng không tác động đến hàm lượng tro và độ ẩm. Hàm lượng protein thô tăng tuyến tính với mức tăng của carotenoids bổ sung, đạt cao nhất ở các mức ≥ 600 mg/kg thức ăn (19,7 – 19,9%) và thấp nhất ở nghiệm thức đối chứng (16,4%). Ngược lại, hàm lượng lipid thô giảm tuyến tính với sự gia tăng hàm lượng carotenoids bổ sung, cao nhất ở nghiệm thức đối chứng (7,88%) và thấp nhất ở mức bổ sung 1.000 mg/kg thức ăn (5,13%). Tuy nhiên, không có sự khác biệt đáng kể về hàm lượng protein và lipid thô ở các mức bổ sung 600 – 1.000 mg/kg thức ăn (Bảng 3.15).

Bảng 3.15: Thành phần sinh hóa cơ thể của cá (%khối lượng ướt) nuôi với các hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Đối chứng	200	400	600	800	1000
Moiture (%)	69,9 ± 0,85	69,2 ± 0,42	69,2 ± 0,57	68,4 ± 0,37	68,6 ± 0,67	68,8 ± 0,20
Protein (%)	16,4 ± 0,46 ^a	17,5 ± 0,30 ^b	18,4 ± 0,20 ^b	19,7 ± 0,24 ^c	19,7 ± 0,31 ^c	19,9 ± 0,32 ^c
Lipid (%)	7,88 ± 0,36 ^d	6,70 ± 0,16 ^c	5,86 ± 0,20 ^b	5,45 ± 0,13 ^{ab}	5,33 ± 0,10 ^{ab}	5,13 ± 0,12 ^a
Tro (%)	5,84 ± 0,28	6,32 ± 0,34	6,34 ± 0,27	6,40 ± 0,21	6,28 ± 0,20	6,14 ± 0,16

Bổ sung carotenoids vào thức ăn cải thiện tích cực hoạt tính enzyme tiêu hóa protease và lipase trong cơ quan tiêu hóa của cá khoang cổ nemo, với xu hướng tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng carotenoids bổ sung. Hoạt tính protease và lipase ở các mức bổ sung 600 – 1.000 mg/kg thức ăn cao hơn so với mức 200 mg/kg và đối chứng, lần lượt là 2,31 – 2,43 U/mg so với 1,31 – 1,79 U/mg (protease) và 6,51 – 6,72 U/mg so với 2,95 – 4,55 U/mg (lipase). Không có sự khác biệt đáng kể về hoạt tính của hai enzyme này ở các mức bổ sung 400 – 1.000 mg/kg thức ăn, cho thấy mức 400 mg/kg có thể đã phù hợp để tăng cường hoạt tính enzyme tiêu hóa ở cá khoang cổ nemo. Tuy nhiên, hoạt tính enzyme amylase không khác biệt giữa các nghiệm thức (Bảng 3.16).

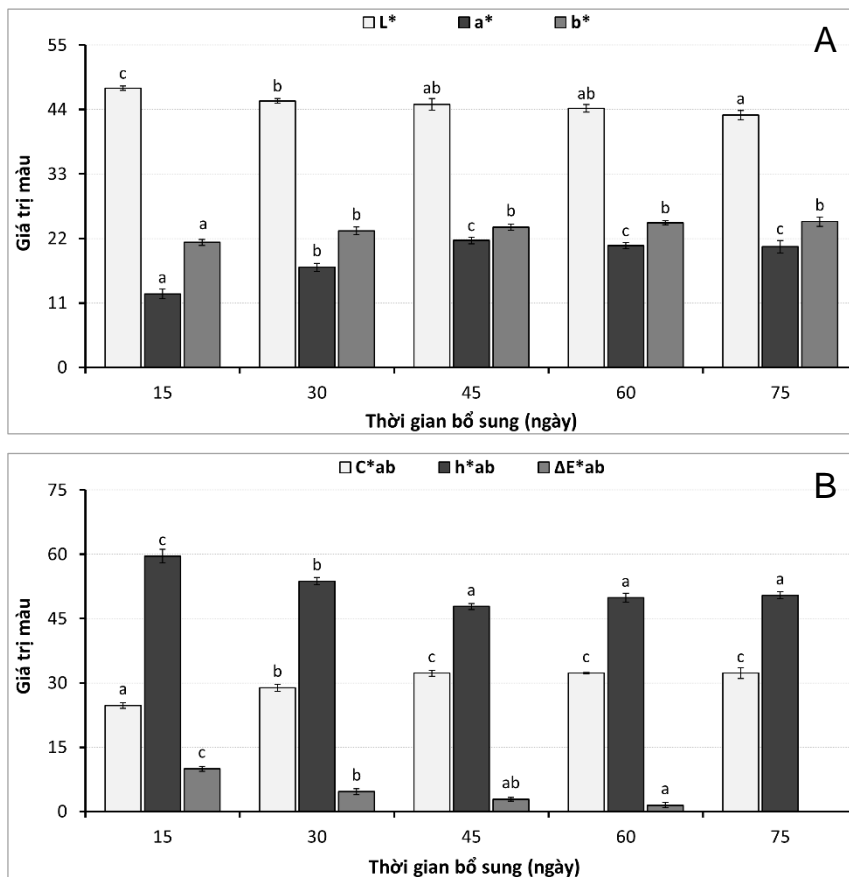
Bảng 3.16: Hoạt tính enzyme tiêu hóa của cá (U/mg) nuôi với các hàm lượng carotenoids từ vỏ tôm

Chỉ tiêu	Hàm lượng carotenoids bổ sung (mg/kg)					
	Đối chứng	200	400	600	800	1000
Amylase	10,4 ± 1,12	11,4 ± 0,39	12,5 ± 1,00	13,7 ± 0,39	13,9 ± 0,69	12,9 ± 0,89
Protease	1,31 ± 0,16 ^a	1,79 ± 0,12 ^b	2,19 ± 0,09 ^{bc}	2,43 ± 0,13 ^c	2,51 ± 0,20 ^c	2,31 ± 0,10 ^c
Lipase	2,95 ± 0,27 ^a	4,55 ± 0,58 ^b	5,87 ± 0,41 ^c	6,70 ± 0,24 ^c	6,72 ± 0,27 ^c	6,51 ± 0,54 ^c

3.2.5. Ảnh hưởng của thời gian bổ sung carotenoids từ vỏ tôm

3.2.5.1. Màu sắc da cá

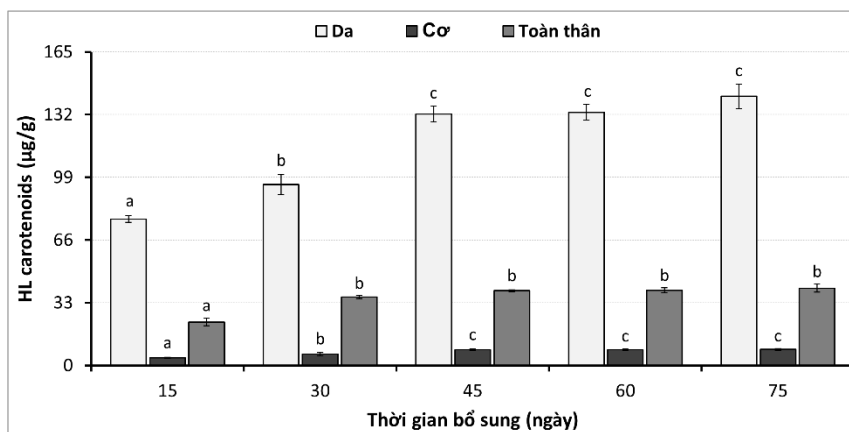
Độ đỏ (a*), độ vàng (b*) và độ bão hòa màu sắc (C*_{ab}) đạt giá trị cao nhất ở các nghiệm thức bổ sung từ 45-75 ngày. Tuy nhiên, độ sáng màu da lại có xu hướng giảm tuyến tính khi kéo dài thời gian bổ sung. Không có sự khác biệt về hiệu quả cải thiện màu sắc giữa các nhóm 45 - 75 ngày cho thấy thời gian bổ sung từ 45 ngày là phù hợp (Hình 3.13).



Hình 3.13: Các chỉ số màu sắc da của cá nuôi với các thời gian bổ sung carotenoids

3.2.5.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trên da, cơ và toàn thân cá tăng tuyến tính với thời gian bổ sung carotenoids. Chế độ bổ sung 75 ngày đạt kết quả cao nhất, tăng hơn từ 78,2 – 109,2% so với nhóm 15 ngày. Không có sự khác biệt về hàm lượng carotenoids tích lũy trên da, cơ và toàn thân cá ở các chế độ bổ sung 45 - 75 ngày. Việc tăng thời gian bổ sung carotenoids lên hơn 45 ngày không mang lại sự cải thiện thêm về hàm lượng sắc tố tích lũy. Thời gian bổ sung carotenoids 45 ngày được xác định là phù hợp (Hình 3.14).



Hình 3.14: Hàm lượng carotenoids tích lũy trong cơ thể cá (µg/g) nuôi với thời gian bổ sung carotenoids khác nhau

3.2.5.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Cá được cho ăn carotenoids bổ sung trong 60 ngày đạt SGR_w cao hơn so với nhóm bổ sung 15 ngày. Không có sự khác biệt về chỉ tiêu này giữa các nhóm bổ sung 45 – 75 ngày. Khoảng thời gian bổ sung carotenoids 45 ngày được xác định là phù hợp cho cá khoang cổ nemo (Bảng 3.17).

Bảng 3.17: Tăng trưởng và TLS của cá nuôi với các thời gian bổ sung carotenoids

Chỉ tiêu	Thời gian bổ sung (ngày)				
	15	30	45	60	75
L₁ (cm)	3,20 ± 0,02	3,20 ± 0,02	3,20 ± 0,02	3,20 ± 0,02	3,20 ± 0,02
W₁ (g)	0,62 ± 0,04	0,62 ± 0,04	0,62 ± 0,04	0,62 ± 0,04	0,62 ± 0,04
L₂ (cm)	4,15 ± 0,03	4,21 ± 0,03	4,22 ± 0,01	4,27 ± 0,03	4,23 ± 0,02
W₂ (g)	1,31 ± 0,02	1,37 ± 0,03	1,39 ± 0,01	1,41 ± 0,02	1,38 ± 0,02
SGR_L (%/ngày)	0,35 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,37 ± 0,01
SGR_w (%/ngày)	1,00 ± 0,02 ^a	1,06 ± 0,03 ^{ab}	1,07 ± 0,01 ^b	1,10 ± 0,02 ^b	1,07 ± 0,02 ^b
CV_L (%)	19,5 ± 0,33 ^d	11,9 ± 0,43 ^b	8,93 ± 0,44 ^a	14,3 ± 0,54 ^c	21,7 ± 0,41 ^e
CV_w (%)	35,3 ± 1,55	30,6 ± 0,60	28,2 ± 0,70	31,7 ± 1,27	32,1 ± 2,30
CF (g/cm³)	1,84 ± 0,01	1,84 ± 0,03	1,84 ± 0,01	1,82 ± 0,01	1,83 ± 0,01
SR (%)	97,8 ± 2,22	97,8 ± 2,22	95,6 ± 2,22	93,3 ± 3,85	95,6 ± 4,44

Cá được cho ăn ở chế độ bổ sung 45 ngày trở lên đạt các chỉ tiêu FCR và PER tốt hơn so với nhóm bổ sung 15 - 30 ngày. Không có sự khác biệt về hai chỉ tiêu này giữa các chế độ bổ sung 45, 60 và 75 ngày. Do đó, chế độ bổ sung 45 ngày được xác định là phù hợp xét về hiệu quả sử dụng thức ăn (Bảng 3.18).

Bảng 3.18: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá nuôi với các thời gian bổ sung carotenoids

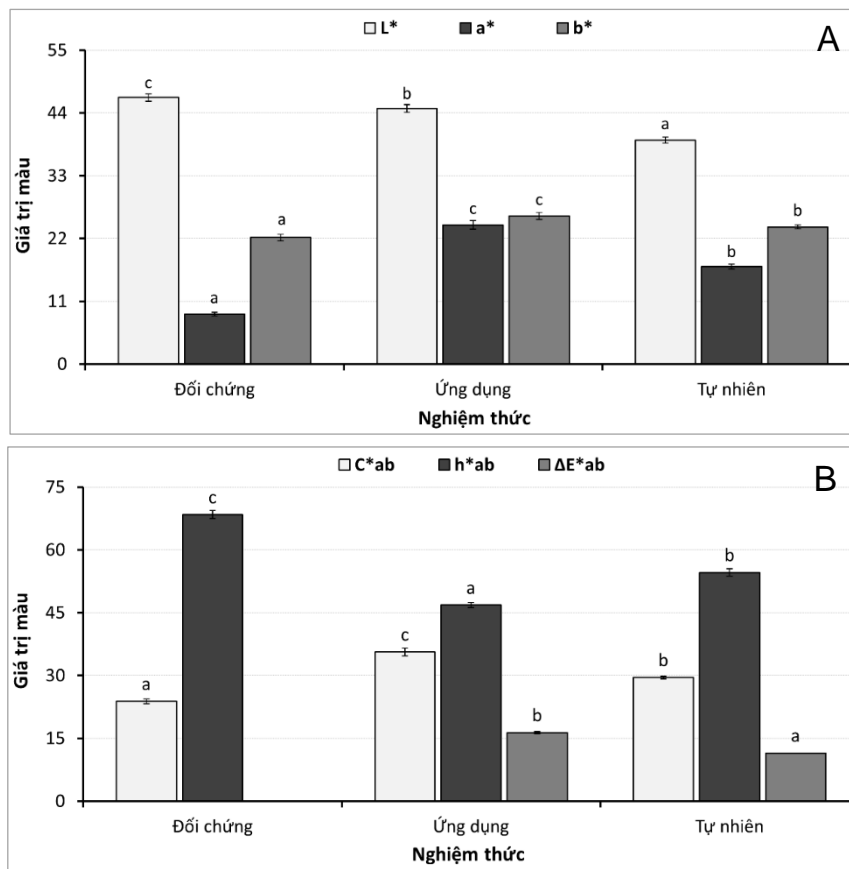
Chỉ tiêu	Thời gian bổ sung (ngày)				
	15	30	45	60	75
FI (g/con)	1,35 ± 0,03	1,41 ± 0,05	1,24 ± 0,06	1,28 ± 0,07	1,25 ± 0,04
FCR	1,95 ± 0,06 ^b	1,88 ± 0,03 ^b	1,62 ± 0,08 ^a	1,60 ± 0,04 ^a	1,64 ± 0,03 ^a
PER	0,94 ± 0,03 ^a	0,97 ± 0,02 ^a	1,13 ± 0,06 ^b	1,14 ± 0,03 ^b	1,11 ± 0,02 ^b

3.3. Đánh giá hiệu quả kết môi trường và bổ sung carotenoids cải thiện màu sắc cá khoang cổ nemo

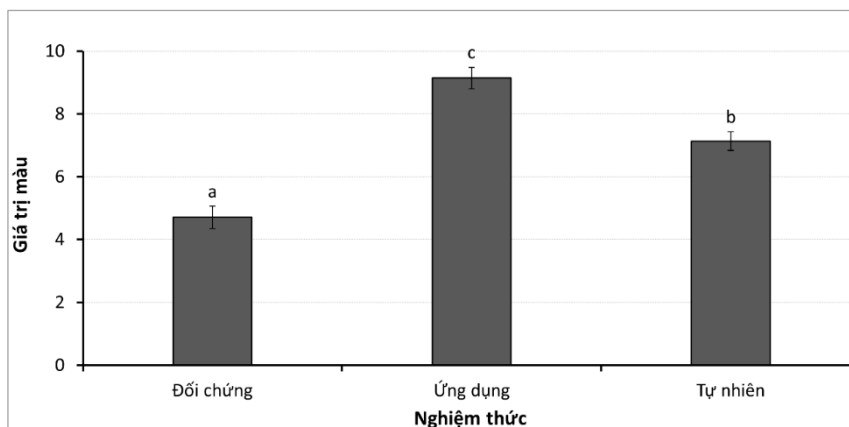
3.3.1. Màu sắc da cá

Kết quả cho thấy cá ở nhóm ứng dụng có độ đỏ màu da (a^{*}), độ vàng màu da (b^{*}), độ bão hòa màu da (C^{*}_{ab}), điểm số theo thang đo màu Clownfish Exercise cao nhất và tông màu (h^{*}_{ab}) thấp nhất, cho thấy màu sắc đỏ đậm, sắc nét và có chiều sâu hơn. Ngược lại, cá ở nhóm đối chứng có xu hướng vàng/nhợt nhạt, trong khi cá tự nhiên có màu

thiên về hướng vàng cam và tối màu hơn. Giá trị ΔE^*_{ab} của cá ở nhóm ứng dụng cũng cao hơn đáng kể so với nhóm tự nhiên ($p < 0,05$) (Hình 3.15, 3.16 và 3.17).



Hình 3.15: Các chỉ số màu sắc da của cá khoang cổ nemo ở các nhóm đối chứng, ứng dụng và tự nhiên: (A) L^* , a^* , b^* và (B) C^*_{ab} , h^*_{ab} , ΔE^*_{ab}



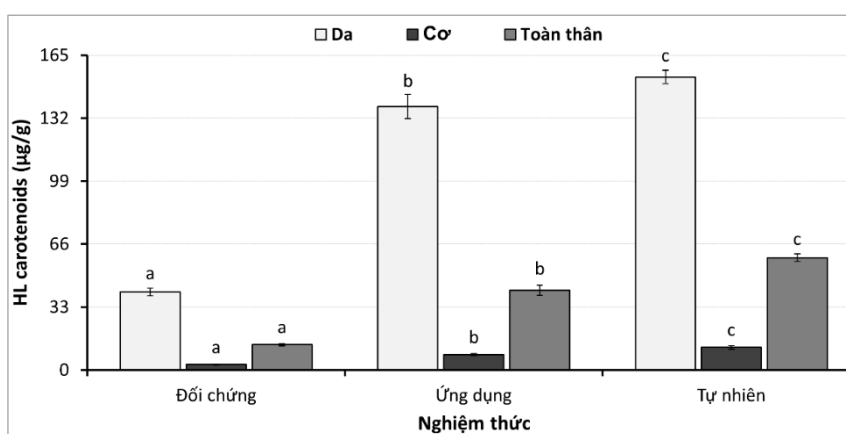
Hình 3.16: Màu sắc da theo thang đo màu Clownfish Exercise của cá khoang cổ nemo ở các nhóm đối chứng, ứng dụng và tự nhiên



Hình 3.17: Hình thái cá khoang cổ nemo ở các nhóm đối chứng (giữa), ứng dụng (trái) và tự nhiên (phải)

3.3.2. Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá

Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong da, cơ và toàn thân cá đạt cao nhất ở nhóm tự nhiên, tiếp theo là nhóm ứng dụng và thấp nhất ở nhóm đối chứng ($p < 0,05$). Cụ thể, hàm lượng carotenoids tích lũy trên da cá ở nhóm tự nhiên cao hơn nhóm ứng dụng và đối chứng lần lượt là 11,2% và 275,7% (Hình 3.18).



Hình 3.18: Hàm lượng carotenoids tổng số tích lũy trong cơ thể cá khoang cổ nemo (µg/g) ở nhóm đối chứng, ứng dụng và tự nhiên

3.3.3. Các chỉ tiêu tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn

Việc ứng dụng các thông số tối ưu vào thực tiễn nuôi cá đã cải thiện đáng kể tỷ lệ tăng trưởng chiều dài và khối lượng đặc trưng của cá (SGR_L và SGR_W) so với đối

chúng, với mức tăng lần lượt là 22,9% và 25,7%. Mặt khác, các chỉ tiêu như CV_L, CV_w, CF và SR không có sự khác biệt giữa hai nhóm thí nghiệm, cho thấy việc ứng dụng các thông số tối ưu không ảnh hưởng tiêu cực đến cá thí nghiệm (Bảng 3.19).

Bảng 3.19: Tăng trưởng và tỷ lệ sống của cá ở nhóm ứng dụng và đối chứng

Chỉ tiêu	Đối chứng	Ứng dụng	F; Sig.	Mức tăng (%)
L ₁ (cm)	3,17 ± 0,02	3,17 ± 0,02	-	
W ₁ (g)	0,59 ± 0,03	0,59 ± 0,03	-	
L ₂ (cm)	3,71 ± 0,01 ^a	3,85 ± 0,02 ^b	3,37; 0,00	3,77
W ₂ (g)	0,95 ± 0,01 ^a	1,07 ± 0,01 ^b	4,41; 0,00	12,6
SGR _L (%/ngày)	0,35 ± 0,01 ^a	0,43 ± 0,01 ^b	2,75; 0,00	22,9
SGR _w (%/ngày)	1,05 ± 0,04 ^a	1,32 ± 0,02 ^b	6,03; 0,00	25,7
CV _L (%)	11,5 ± 0,41	10,4 ± 1,04	0,16; 0,79	-
CV _w (%)	28,8 ± 1,19	26,4 ± 1,64	1,36; 0,27	-
CF (g/cm ³)	1,85 ± 0,03	1,88 ± 0,01	9,64; 0,22	-
SR (%)	97,1 ± 1,35	99,0 ± 0,96	5,33; 0,27	-

Lượng thức ăn sử dụng (FI) của cá ở nhóm ứng dụng cao hơn so với nhóm đối chứng, với mức tăng là 16,2%. Các chỉ tiêu đánh giá hiệu quả sử dụng thức ăn như FCR và PER cũng đạt được tốt hơn ở nhóm ứng dụng so với nhóm đối chứng, với mức độ cải thiện tương ứng là 14,6% và 16,8%. Việc ứng dụng kết quả nghiên cứu vào sản xuất đã cải thiện hiệu quả sử dụng thức ăn của cá (Bảng 3.20).

Bảng 3.20: Hiệu quả sử dụng thức ăn của cá ở nhóm ứng dụng và đối chứng

Chỉ tiêu	Đối chứng	Ứng dụng	F; Sig.	Mức tăng (%)
FI (g/con)	0,68 ± 0,03 ^a	0,79 ± 0,02 ^b	0,98; 0,00	16,2
FCR	1,92 ± 0,03 ^b	1,64 ± 0,01 ^a	5,78; 0,00	-14,6 [#]
PER	0,95 ± 0,02 ^a	1,11 ± 0,01 ^b	2,84; 0,00	16,8

CHƯƠNG 4 - KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Môi trường nuôi (màu bể và độ mặn) có ảnh hưởng đáng kể đến màu sắc và tăng trưởng của cá khoang cổ nemo. Màu sắc đạt được tốt nhất khi cá được nuôi trong bể xanh và trong suốt với độ mặn 33‰. Ngược lại, bể màu đen và độ mặn thấp (9‰) làm giảm chất lượng màu sắc của cá, với các biểu hiện da tối sạm và nhợt nhạt.

Bổ sung carotenoids từ nguồn thực vật (gấc, ớt chuông) và động vật (vỏ tôm, copepoda) cải thiện đáng kể màu sắc, tăng trưởng và hiệu quả sử dụng thức ăn của cá khoang cổ nemo. Ớt chuông và vỏ tôm được xác định là nguồn bổ sung tốt nhất, với mức bổ sung khuyến nghị lần lượt là 900 mg/kg thức ăn và 600 mg/kg thức ăn. Thời gian bổ sung carotenoids từ vỏ tôm trong 45 thay vì 75 ngày được xác định là đủ hiệu quả trong việc tăng cường màu sắc của cá khoang cổ nemo.

Khi ứng dụng kết hợp các thông số môi trường (bể màu xanh, độ mặn 33‰) và chế độ bổ sung carotenoids vào thức ăn (từ vỏ tôm, hàm lượng 600 mg/kg thức ăn, trong 45 ngày) vào thực tiễn sản xuất, cá cho thấy kết quả vượt trội về các chỉ tiêu màu sắc da, hàm lượng sắc tố tích lũy, các chỉ tiêu tăng trưởng và hiệu quả sử dụng thức ăn so với nhóm đối chứng. Khi so sánh với nguồn cá khai thác từ tự nhiên, mặc dù hàm lượng carotenoids tích lũy thấp hơn đáng kể nhưng các chỉ tiêu đánh giá màu sắc da thể hiện sự vượt trội, cá thể hiện màu da đỏ đậm, sâu và sắc nét hơn. Điều này đã cho thấy tính hiệu quả của việc áp dụng giải pháp kết hợp vào thực tiễn sản xuất nhằm nâng cao chất lượng màu sắc của nguồn cá khoang cổ nemo sản xuất nhân tạo.

Các kết quả thu được trong nghiên cứu này đóng vai trò to lớn và ý nghĩa quan trọng đối với nghề nuôi cá cảnh nói chung và cá khoang cổ nemo nói riêng, hỗ trợ cải thiện năng suất, chất lượng và giá trị thương mại của sản phẩm, đồng thời, đóng góp vào việc giảm áp lực khai thác lên nguồn lợi cá rạn tự nhiên.

4.2. Kiến nghị

Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung làm rõ vai trò và các cơ chế hoạt động của carotenoids, đặc biệt là các thành phần cụ thể, trong cơ thể cá khoang cổ nemo bao gồm: khả năng tiếp cận sinh học, sinh khả dụng, hấp thu, chuyển hóa và tích lũy sinh học. Điều này sẽ giúp giải thích các kết quả thu được trong nghiên cứu hiện tại, đồng thời, tối ưu hóa hiệu quả bổ sung của nguồn sắc tố này vào thức ăn cho cá khoang cổ nemo.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu sâu hơn về mối tương tác phức tạp giữa các yếu tố môi trường và dinh dưỡng bổ sung, thay vì đơn yếu tố như trong nghiên cứu hiện tại, cũng cần được thực hiện nhằm cung cấp cái nhìn tổng thể và toàn diện hơn, qua đó giúp xây dựng chiến lược hiệu quả, bền vững trong cải thiện màu sắc của cá khoang cổ nemo.

TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Đề tài luận án: Nghiên cứu cải thiện màu sắc cá khoang cổ nemo (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830) trong điều kiện nuôi nhốt.

Ngành: Nuôi trồng Thủy sản

Mã số: 9620301

Nghiên cứu sinh: Trần Văn Dũng

Khóa: 2020

Người hướng dẫn: 1. GS. TS. Phạm Quốc Hùng
2. PGS. TS. Hứa Thái Nhân

Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Nha Trang

Nội dung:

Luận án có những đóng góp mới quan trọng về khoa học và thực tiễn trong lĩnh vực nuôi cá cảnh nói chung và cá khoang cổ nemo nói riêng, cụ thể:

1. Chứng minh màu bể xanh dương và độ mặn 33‰ là điều kiện lý tưởng giúp cải thiện vượt trội màu sắc cá, đồng thời nâng cao sinh trưởng và hiệu quả sử dụng thức ăn.
2. Xác định bổ sung vỏ tôm 600 mg/kg trong 45 ngày cho màu sắc cá đẹp nhất, song song cải thiện sinh trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, thành phần sinh hóa cơ thể và hoạt tính enzyme tiêu hóa.
3. Ứng dụng thành công các giải pháp kỹ thuật tối ưu vào thực tiễn sản xuất. Kết quả cho thấy cá khoang cổ nemo sản xuất có màu sắc vượt trội so với cá đối chứng và cá tự nhiên, thể hiện ở màu cam đỏ đậm, sâu, tươi sáng, sắc nét và hài hòa. Điều này nâng cao giá trị thương mại, sức cạnh tranh của sản phẩm trên thị trường.
4. Đóng góp quan trọng nâng cao chất lượng cá khoang cổ nemo nhân tạo, đáp ứng thị hiếu khách hàng, thúc đẩy phát triển bền vững nghề nuôi và giảm áp lực khai thác tự nhiên.

Các kết quả nghiên cứu, đặc biệt về màu sắc, có giá trị khoa học và ý nghĩa thực tiễn sâu sắc. Đây là những đóng góp mới, lần đầu công bố ở Việt Nam, bổ sung bằng chứng khoa học quý báu cho các nghiên cứu trên thế giới, góp phần hoàn thiện quy trình sản xuất cá khoang cổ nemo chất lượng cao.

Người hướng dẫn

Nghiên cứu sinh



GS. TS. Phạm Quốc Hùng

PGS. TS. Hứa Thái Nhân

Trần Văn Dũng

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. **Trần Văn Dũng**, Nguyễn Hữu Khang, Trần Thị Lê Trang, Hứa Thái Nhân, Phạm Quốc Hùng, 2023. Ảnh hưởng của màu sắc bề nuôi lên tăng trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn của cá khoang cổ nemo (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Thái Nguyên*, số 228(13): 95-103.
2. **Trần Văn Dũng**, Nguyễn Hữu Khang, Lương Thị Hậu, Hứa Thái Nhân, Phạm Quốc Hùng, 2023. Ảnh hưởng của màu bề nuôi lên màu sắc da và hàm lượng carotenoid tích lũy ở cá khoang cổ nemo (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830). *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang*, số 3/2023, trang 101-112.
3. **Dung V. Tran**, Thanh T. Dang, Hau T. Luong, Nhan. T. Hua, Hung Q. Pham, 2024. Natural carotenoids extracted from red bell pepper for enhancement of growth and coloration of false clownfish, *Amphiprion ocellaris*. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - Bioflux*, 17(2): 542-554.
4. **Dung Van Tran**, Hau Thi Luong, Khanh Thi Pham, Thanh Trung Dang, Nhan Thai Hua, Hung Quoc Pham, 2024. Plant-based carotenoid supplementation: Growth, feed utilization efficiency, and coloration in false clownfish (*Amphiprion ocellaris*). *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, 76(1): 1 - 12.
5. **Dung Van Tran**, Trang Le Thi Tran, Nam Xuan Doan, Thanh Trung Dang, Nhan Thai Hua, Hung Quoc Pham, 2025. Comparative impact of synthetic and natural animal-derived carotenoids on growth, feed utilization, and pigment enhancement in *Amphiprion ocellaris*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 28(1): 10 – 20.