

ẢNH HƯỞNG CỦA MẬT ĐỘ ĐẾN SINH TRƯỞNG, ĐỘ ĐỒNG ĐỀU, TỶ LỆ SỐNG VÀ HIỆU QUẢ SỬ DỤNG THỨC ĂN CỦA CÁ MÚ LAI (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus coioides* ♀) GIAI ĐOẠN GIỐNG NUÔI TRONG LỒNG BIỂN

EFFECTS OF STOCKING DENSITY ON GROWTH, SIZE UNIFORMITY, SURVIVAL AND FEED UTILIZATION OF JUVENILE HYBRID GROUPE (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *Epinephelus coioides* ♀) REARED IN SEA CAGES

**Đinh Thị Hải Yến¹, Vũ Quyết Thành¹, Trần Đức Diễn¹,
Nguyễn Thị Hải Thanh¹, Nguyễn Thị Thúy^{2*}**

1. Chi nhánh Ven biển, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

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

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thúy, Email: thuynguyen@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/08/2026; Ngày phản biện thông qua: 28/08/2026; Ngày duyệt đăng: 30/09/2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu xác định mật độ nuôi phù hợp cho cá mú lai (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. coioides* ♀) giai đoạn giống nuôi lồng biển - vấn đề hiện còn rất ít thông tin. Thí nghiệm 60 ngày tại Vịnh Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với bốn mật độ (25, 30, 35 và 45 con/m³), 4 lần lặp (16 giai lưới 8 m³). Cá ban đầu 12,23 ± 0,72 g/con, được cho ăn thức ăn viên công nghiệp (46% protein thô) đến no biểu kiến, 3 lần/ngày, không phân cỡ trong suốt thí nghiệm. Sinh trưởng cá thể giảm tuyến tính theo mật độ ($P < 0,001$): khối lượng cuối ở 25–35 con/m³ (74,91–83,18 g/con) không khác biệt nhưng cao hơn có ý nghĩa so với 45 con/m³ (56,22 g/con). Ngược lại, tỷ lệ sống, hệ số biến thiên khối lượng (CV_w), hệ số tiêu tốn thức ăn (FCR) và sinh khối thu hoạch biến động phi tuyến theo mật độ (thành phần bậc hai, $P \leq 0,006$), với các điểm tối ưu hội tụ trong khoảng 29–35 con/m³. Mật độ 30 con/m³ cho tỷ lệ sống cao nhất (85,63%), đàn cá đồng đều nhất ($CV_w = 18,02\%$) và FCR thấp nhất (2,18); mật độ 35 con/m³ cho sinh khối cao nhất (2,16 kg/m³). Đáng chú ý, mật độ thấp nhất (25 con/m³) không tối ưu: tỷ lệ sống thấp hơn và phân hóa kích cỡ cao hơn 30 con/m³ ($P < 0,05$). CV_w tương quan nghịch chặt với tỷ lệ sống, gợi ý phân hóa kích cỡ là cơ chế trung gian gây hao hụt. Mật độ 45 con/m³ kém nhất ở mọi chỉ tiêu (67,50%; 28,47%; 2,81), cần thêm 64,8% thức ăn và gấp 2,15 lần số cá giống cho mỗi kg cá sản xuất nhưng không tăng sinh khối trên đơn vị thể tích. Khuyến nghị nuôi ở mật độ 30–35 con/m³: chọn ≈30 con/m³ khi ưu tiên tỷ lệ sống, độ đồng đều và hiệu quả sử dụng thức ăn, ≈35 con/m³ khi thể tích lồng là yếu tố giới hạn.

Từ khóa: Cá mú lai, *Epinephelus lanceolatus* × *E. coioides*, mật độ nuôi, nuôi lồng biển, độ đồng đều kích cỡ, hiệu quả sử dụng thức ăn.

ABSTRACT

This study determined the appropriate stocking density for juvenile hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. coioides* ♀) reared in marine cages, for which information remains scarce. A 60-day trial in Nha Trang Bay, Khanh Hoa province, followed a completely randomised design with four stocking densities (25, 30, 35 and 45 fish/m³) and four replicates each (16 net hapas of 8 m³). Fish (initial weight 12.23 ± 0.72 g) were fed a commercial pellet diet (46% crude protein) to apparent satiation three times daily and were not graded throughout the trial. Individual growth declined linearly with density ($P < 0.001$): final weight at 25–35 fish/m³ (74.91–83.18 g/fish) did not differ among densities but was significantly higher than at 45 fish/m³ (56.22 g/fish). In contrast, survival, coefficient of variation in body weight (CV_w), feed conversion ratio (FCR) and harvested biomass responded non-linearly to density (significant quadratic component, $P \leq 0.006$), with optima converging within 29–35 fish/m³. The 30 fish/m³ treatment achieved the highest survival (85.63%), the most uniform

population ($CV_w = 18.02\%$) and the lowest FCR (2.18), whereas 35 fish/ m^3 yielded the highest biomass (2.16 kg/ m^3). Notably, the lowest density (25 fish/ m^3) was not optimal, showing lower survival and greater size heterogeneity than 30 fish/ m^3 ($P < 0.05$). CV_w was strongly negatively correlated with survival, suggesting that size divergence mediates mortality. The highest density (45 fish/ m^3) performed worst for all traits (67.50%; 28.47%; 2.81), requiring 64.8% more feed and 2.15 times as many juveniles per kg of fish produced without any gain in biomass per unit volume. Stocking at 30–35 fish/ m^3 is therefore recommended: ≈ 30 fish/ m^3 when survival, size uniformity and feed efficiency are prioritised, and ≈ 35 fish/ m^3 when cage volume is limiting.

Keywords: Hybrid grouper, *Epinephelus lanceolatus* $\times$ *E. coioides*, stocking density, marine cage culture, size uniformity, feed utilisation.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nuôi cá biển trong lồng là một trong những lĩnh vực có tốc độ tăng trưởng nhanh, đóng vai trò quan trọng trong việc mở rộng nguồn cung thực phẩm thủy sản toàn cầu [1, 2]. Trong nhóm cá biển có giá trị cao, cá mú (họ Serranidae, phân họ Epinephelinae) là đối tượng chủ lực ở khu vực Đông Nam Á nhờ giá bán cao và thị trường tiêu thụ ổn định [3]. Tuy nhiên, hầu hết các loài cá mú thuần có nhược điểm là sinh trưởng chậm, phân hóa kích cỡ mạnh và mắc cảm với dịch bệnh, làm tăng chi phí và rủi ro sản xuất [4].

Để khắc phục các hạn chế trên, lai xa giữa các loài trong giống *Epinephelus* đã được ứng dụng rộng rãi. Con lai giữa cá mú nghệ (*E. lanceolatus*) ♂ và cá mú đen (*E. coioides*) ♀ thể hiện ưu thế lai về tốc độ sinh trưởng, khả năng sử dụng thức ăn viên công nghiệp và sức chống chịu với điều kiện nuôi so với các loài bố mẹ [5, 6]. Tại Việt Nam, cá mú lai đã bước đầu được sản xuất giống nhân tạo và đưa vào nuôi thương phẩm trong lồng biển tại Khánh Hòa và một số tỉnh ven biển. Tuy vậy, quy trình kỹ thuật nuôi, đặc biệt là ở giai đoạn giống mới chuyển từ hệ thống ương trong bờ ra lồng biển, phần lớn vẫn dựa vào kinh nghiệm chuyển đổi từ các loài cá mú thuần [7].

Mật độ nuôi là một trong những yếu tố kỹ thuật có ảnh hưởng mạnh nhất đến hiệu quả nuôi cá biển, vì nó đồng thời chi phối cạnh tranh thức ăn, quan hệ xã hội trong đàn, mức độ căng thẳng và điều kiện không gian hạn chế trong lồng [8, 9]. Ở nhiều loài cá biển, mật độ

vượt ngưỡng thích hợp làm giảm tốc độ sinh trưởng, tăng hệ số tiêu tốn thức ăn và giảm tỷ lệ sống thông qua căng thẳng đám đông mãn tính và cạnh tranh dinh dưỡng [10, 11]. Đáng lưu ý, mối quan hệ giữa mật độ và hiệu quả nuôi không nhất thiết là đơn điệu: ở các loài có tính lãnh thổ và thứ bậc xã hội rõ, mật độ quá thấp có thể tạo điều kiện cho cá trội thiết lập và bảo vệ vùng bắt mồi, làm gia tăng phân hóa kích cỡ, trong khi mật độ trung gian có thể giúp giảm tính hung dữ và giúp đàn cá tiếp cận thức ăn đồng đều hơn [12, 13].

Đặc điểm này có ý nghĩa đặc biệt với cá mú, bởi phân hóa kích cỡ trong đàn là tiền đề trực tiếp của hiện tượng ăn lẫn nhau - nguyên nhân hao hụt chủ yếu ở giai đoạn giống, phụ thuộc chặt vào tỷ lệ chênh lệch kích cỡ giữa các cá thể [14, 15]. Do đó, ở cá mú giống, mật độ nuôi không chỉ tác động đến sinh trưởng mà còn tác động đến tỷ lệ sống một cách gián tiếp thông qua độ đồng đều của đàn cá - một cơ chế thường bị bỏ qua khi chỉ đánh giá các chỉ tiêu sinh trưởng trung bình.

Mặc dù ảnh hưởng của mật độ nuôi đã được nghiên cứu ở một số loài cá mú thuần [16, 17] và bước đầu ở cá mú lai nuôi trong bể hoặc hệ thống tuần hoàn [6, 18], thông tin định lượng đối với cá mú lai *E. lanceolatus* ♂ $\times$ *E. coioides* ♀ nuôi trong lồng biển vẫn còn rất hạn chế. Đặc biệt, hầu như chưa có nghiên cứu nào đánh giá đồng thời sinh trưởng, độ đồng đều đàn cá, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn trong điều kiện nuôi lồng thực tế - nơi cá không được phân cỡ và thức ăn dư không thể thu hồi.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định ảnh hưởng của bốn mật độ nuôi (25, 30, 35 và 45 con/m³) đến các chỉ tiêu nêu trên ở cá mú lai giai đoạn giống nuôi trong lồng biển, từ đó đề xuất khoảng mật độ nuôi phù hợp làm cơ sở hoàn thiện quy trình nuôi thương phẩm đối tượng này tại Khánh Hòa.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

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

Thí nghiệm được thực hiện trong 60 ngày, từ tháng 9 đến tháng 11 năm 2025, tại Trạm Nghiên cứu Biển Đầm Báy, Vịnh Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Đối tượng nghiên cứu là cá mú lai giống - con lai giữa cá mú nghệ (*Epinephelus lanceolatus*) ♂ và cá mú đen (*E. coioides*) ♀ - có chiều dài toàn thân $8,12 \pm 0,37$ cm và khối lượng thân $12,23 \pm 0,72$ g/con (Mean $\pm$ SE, n = 4 giai). Thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện ánh sáng tự nhiên (khoảng 12,5–13,0 giờ sáng/ngày).

Nghiên cứu được thực hiện theo các quy định hiện hành về chăm sóc và sử dụng động vật thủy sản thí nghiệm. Mọi thao tác cân đo đều được thực hiện dưới trạng thái gây mê nhằm giảm thiểu căng thẳng cho cá.

2. Nguồn cá và thuần hóa

Cá giống được sản xuất nhân tạo tại Trạm Nghiên cứu thử nghiệm biển Đầm Báy, Chi nhánh Ven biển, đảo Hòn Tre, phường Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Cá được vận chuyển hờ từ trạm ra bè nuôi (khoảng 700 m) và được thuần hóa với điều kiện nuôi lồng trong 2 tuần. Trong thời gian thuần hóa, cá được cho ăn cùng loại thức ăn công nghiệp sử dụng trong thí nghiệm với tần suất 3 lần/ngày nhằm loại trừ ảnh hưởng của tiền sử dinh dưỡng và bảo đảm cá đã quen hoàn toàn với thức ăn viên trước khi bố trí thí nghiệm. Sau thuần hóa, các cá thể khỏe mạnh, kích cỡ đồng đều, không dị hình và không có dấu vết thương tổn được tuyển chọn

để bố trí thí nghiệm.

3. Hệ thống thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành trong các giai đoạn lưới ($2 \times 2 \times 2$ m; thể tích 8 m³; mắt lưới 1–2 cm) đặt trong lồng nuôi trên biển ($4 \times 4 \times 2$ m; 32 m³; mỗi lồng chứa 4 giai). Tổng cộng 16 giai đặt trong 4 lồng được sử dụng; các lồng được neo liền kề trong cùng một hệ bè, ở cùng độ sâu và cùng chế độ dòng chảy, do đó các giai được xem là đồng nhất về điều kiện môi trường. Giai lưới được vệ sinh (chải sạch sinh vật bám) 7 ngày/lần và không thay lưới trong suốt thí nghiệm.

4. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm gồm 4 nghiệm thức mật độ (25, 30, 35 và 45 con/m³), mỗi nghiệm thức lặp lại 4 lần, tổng 16 giai (Bảng 1). Mười sáu giai được bố trí trong 4 lồng (4 giai/lồng); trong mỗi lồng, bốn nghiệm thức được gán vào bốn giai bằng phương pháp rút thăm ngẫu nhiên, sao cho mỗi nghiệm thức xuất hiện đúng một lần trong mỗi lồng (Lồng I: NT2-NT4-NT1-NT3;

Lồng II: NT1-NT3-NT4-NT2; Lồng III: NT4-NT2-NT3-NT1; Lồng IV: NT3-NT1-NT2-NT4). Cách gán này bảo đảm nghiệm thức không bị lẫn với lồng: không có nghiệm thức nào tập trung toàn bộ hoặc phần lớn số lần lặp vào một lồng riêng biệt. Do bốn lồng được neo liền kề trong cùng một hệ bè, ở cùng độ sâu, cùng chế độ dòng chảy và không khác biệt về các yếu tố môi trường đo được (Bảng 2), lồng được xem là đồng nhất và không được đưa vào mô hình dưới dạng yếu tố khối; số liệu được phân tích theo bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD). Cách phân tích mang tính thận trọng vì biến động giữa các lồng (nếu có) được giữ lại trong phương sai số thay vì được tách riêng, do đó không làm tăng khả năng kết luận có khác biệt giữa các nghiệm thức. Giai là đơn vị thí nghiệm độc lập và giá trị trung bình của mỗi giai (n = 4/nghiệm thức) là đơn vị phân tích thống kê.

Các mức mật độ được lựa chọn trên cơ sở khảo sát thực tiễn: 25–35 con/m³ là dải mật độ phổ biến đang được các hộ nuôi cá mú tại Khánh Hòa áp dụng ở giai đoạn giống, còn 45 con/m³ đại diện cho mức mật độ cao mà người nuôi thường đẩy lên nhằm tối đa hóa số cá trên

một đơn vị thể tích lồng [7]. Cá không được phân cỡ trong suốt 60 ngày thí nghiệm nhằm phản ánh đúng điều kiện sản xuất phổ biến và cho phép đánh giá tác động thực của mật độ nuôi lên mức phân hóa kích cỡ và hao hụt của đàn cá.

Bảng 1. Bố trí nghiệm thức mật độ nuôi

Nghiệm thức	Mật độ nuôi (con/m ³)	Số cá/giai (con)	Mật độ sinh khối ban đầu (kg/m ³)
NT1	25	200	0,31
NT2	30	240	0,37
NT3	35	280	0,43
NT4	45	360	0,55

Ghi chú: Thể tích mỗi giai 8 m³. Mật độ sinh khối ban đầu được tính từ khối lượng thân ban đầu 12,23 g/con. Mật độ được duy trì trong suốt quá trình thí nghiệm; không tiến hành phân cỡ, san thưa hay chuyển lồng.

5. Thức ăn và chế độ cho ăn

Nghiên cứu sử dụng thức ăn viên công nghiệp hỗn hợp dành cho cá mú (Công ty TNHH Uni-President, Việt Nam) có hàm lượng protein thô 46%, lipid thô 10%, tro 17% và ẩm 11% (theo công bố của nhà sản xuất), cỡ hạt 2,0–6,7 mm. Cỡ viên được tăng dần theo cỡ cá (2,0–2,2 mm trong 20 ngày đầu; 4,3–4,7 mm trong 20 ngày tiếp theo; 6,3–6,7 mm trong 20 ngày cuối), áp dụng đồng thời và giống nhau cho tất cả các nghiệm thức. Toàn bộ thí nghiệm sử dụng cùng một lô sản xuất, được bảo quản khô, thoáng và tránh ánh sáng trực tiếp.

Thức ăn được định kỳ bổ sung chế phẩm dinh dưỡng Prevensa Oli-Mos (MSD – Merck Sharp & Dohme, Mỹ) chứa beta-glucan và vitamin E nhằm tăng cường sức đề kháng và hỗ trợ đường ruột cho cá, với liều 5 g/kg thức ăn, 3 ngày/lần theo khuyến cáo của nhà sản xuất. Chế phẩm được áp dụng đồng nhất cho tất cả các nghiệm thức nên không tạo ra khác biệt giữa các nghiệm thức. Tuy vậy, kết quả của nghiên cứu cần được hiểu là gắn với quy trình có bổ sung chế phẩm này.

Cá được cho ăn đến mức no biểu kiến ở từng bữa, chia làm 3 lần/ngày (07:00, 11:00

và 16:00), thống nhất ở tất cả các nghiệm thức [19, 20]: Để hạn chế sai lệch chủ quan giữa người quan sát, việc nhận định điểm ngừng cho ăn (no biểu kiến) trong suốt thí nghiệm được thực hiện bởi cùng một nhóm kỹ thuật viên cố định, phân công luân phiên ngẫu nhiên giữa các giai ở mỗi bữa ăn theo một quy trình thao tác chuẩn thống nhất (tốc độ rải thức ăn, thời gian quan sát 10–15 phút), áp dụng đồng nhất cho toàn bộ 16 giai. Lượng thức ăn dự kiến hằng ngày được ước tính ban đầu tương đương 5–7% khối lượng thân và được rà soát 2 tuần/lần theo sinh khối ước tính của từng giai, song lượng cấp thực tế ở mỗi bữa do tập tính bắt mồi của cá quyết định: thức ăn được rải chậm thành nhiều đợt nhỏ và ngừng cấp khi cá giảm rõ hoặc ngừng bắt mồi (thường sau 10–15 phút). Do đó, tổng lượng thức ăn cấp trong ngày là biến đáp ứng chứ không phải biến kiểm soát; các nghiệm thức chỉ khác nhau về mật độ nuôi. Khối lượng thức ăn cấp cho từng giai ở mỗi bữa được cân và ghi chép hằng ngày.

Trong hệ thống lồng lưới, thức ăn không được cá thu nhận không thể thu hồi; do đó FI, FR, FCR và PER trong nghiên cứu này là các giá trị biểu kiến, tính trên lượng thức ăn cấp. Quy trình cho ăn thủ công, rải chậm và quan

sát trực tiếp được áp dụng thống nhất ở mọi nghiệm thức nhằm hạn chế thất thoát và bảo đảm khả năng so sánh giữa các nghiệm thức.

6. Chăm sóc và quản lý chất lượng nước

Hằng ngày cá được theo dõi hoạt động và sức khỏe; cá chết hoặc yếu được thu vớt và loại bỏ khỏi giai. Khi kết thúc thí nghiệm, toàn bộ cá trong từng giai được đếm và cân để xác định tỷ lệ sống và sinh khối thu hoạch; hao hụt của từng giai được xác định bằng hiệu số giữa số cá thả và số cá đếm được khi kết thúc thí nghiệm.

Các yếu tố môi trường nước được theo dõi định kỳ 2 lần/ngày (07:00 và 15:00) đối với nhiệt độ, pH và oxy hòa tan; 3 ngày/lần đối với độ mặn, hàm lượng ammonia tổng số (TAN), độ trong và lưu tốc nước, đo ở độ sâu 0,5 m

tại tâm mỗi lồng. Nhiệt độ, pH, oxy hòa tan và độ mặn được đo bằng thiết bị đo đa chỉ tiêu Hanna HI98194 (Hanna Instruments, USA); TAN được xác định bằng Hanna HI96715 (Hanna Instruments, USA); độ trong đo bằng đĩa Secchi; lưu tốc nước đo bằng máy Lutron YK-2004FC (Lutron, Đài Loan). Sự khác biệt giữa các lồng đối với từng yếu tố môi trường được kiểm định bằng phân tích phương sai một yếu tố (lồng là yếu tố phân loại, $\alpha = 0,05$) trên số liệu quan trắc theo thời gian. Kết quả cho thấy tất cả các yếu tố đều nằm trong phạm vi thích hợp với cá mú và không khác biệt có ý nghĩa giữa các lồng ($P > 0,05$ với mọi yếu tố). Bảng 2 trình bày giá trị trung bình và khoảng dao động chung của toàn hệ thống thí nghiệm.

Bảng 2. Các yếu tố môi trường nước trong quá trình thí nghiệm

Yếu tố	Trung bình $\pm$ SD	Khoảng dao động
Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$)	$28,2 \pm 1,18$	25,8 – 30,5
Độ mặn (‰)	$32,7 \pm 1,15$	30,0 – 35,0
pH	$7,9 \pm 0,15$	7,6 – 8,1
Oxy hòa tan (mg/L)	$5,5 \pm 0,22$	5,0 – 6,0
TAN (mg/L)	$0,24 \pm 0,09$	0,10 – 0,52
Độ trong (cm)	$58,0 \pm 8,5$	40,0 – 78,0
Lưu tốc nước (m/giây)	$0,51 \pm 0,06$	0,38 – 0,66

Ghi chú: Không phát hiện khác biệt có ý nghĩa giữa 4 lồng đối với từng yếu tố (one-way ANOVA, $P > 0,05$; số liệu kiểm định không trình bày do không phải là biến đáp ứng chính của nghiên cứu).

7. Thu thập và tính toán số liệu

Trước mỗi lần cân đo, cá được ngừng cho ăn 24 giờ và được gây mê bằng 2-phenoxyethanol ở nồng độ 500 mg/L. Chiều dài toàn thân (TL) được đo bằng thước đo cá (chính xác 1 mm) và khối lượng thân (BW) được cân bằng cân điện tử (chính xác 0,1 g). Lúc bắt đầu thí nghiệm, 30 cá thể/giai được đo ngẫu nhiên nhằm xác nhận sự đồng nhất về kích cỡ giữa các nghiệm thức trước khi bố trí (Bảng 3, L_1 , W_1); số liệu cá thể ở thời điểm này chỉ được lưu trữ ở dạng giá trị tổng hợp (Mean $\pm$ SE) cho mục đích kiểm định đồng nhất ban đầu, không được lưu trữ đầy đủ

ở dạng cá thể để tính hệ số biến thiên riêng cho từng giai. Lúc kết thúc, toàn bộ cá trong mỗi giai được đếm và cân tổng khối lượng, đồng thời 50 cá thể/giai được đo chiều dài và khối lượng cá thể để tính hệ số biến thiên và hệ số điều kiện ở thời điểm thu hoạch.

Các chỉ tiêu được tính theo các công thức sau ($t = 60$ ngày; W tính theo khối lượng tươi; thức ăn tính theo dạng nguyên trạng):

Tốc độ sinh trưởng đặc trưng theo chiều dài: $\text{SGR}_L (\%/ \text{ngày}) = (\ln L_2 - \ln L_1) / t \times 100$

Tốc độ sinh trưởng đặc trưng theo khối

lượng: $SGR_w (\%/ngày) = (\ln W_2 - \ln W_1)/t \times 100$

Tăng chiều dài: $LG (cm) = L_2 - L_1$; Tăng khối lượng: $WG (g/con) = W_2 - W_1$

Hệ số biến thiên hay hệ số phân đàn chiều dài và khối lượng (tính từ số liệu cá thể trong từng giai): $CV_L (\%) = (SD_L / Mean_L) \times 100$; $CV_w (\%) = (SD_w / Mean_w) \times 100$

Hệ số điều kiện: $K (g/cm^3) = 100 \times W/L^3$

Sinh khối thu hoạch:

$BM (kg/m^3) = (W_2 \times N_2)/(1.000 \times V)$

Tỷ lệ sống: $SR (\%) = (N_2/N_1) \times 100$

Lượng thức ăn sử dụng: $FI (g/con) = TF / [(N_1 + N_2)/2]$, trong đó TF là tổng khối lượng thức ăn cấp cho giai trong toàn kỳ (g).

Tỷ lệ cho ăn hằng ngày: $FR (\%BW/ngày) = FI/[t \times (W_1 + W_2)/2] \times 100$

Hệ số tiêu tốn thức ăn biểu kiến: $FCR = FI/WG$

Hiệu quả sử dụng protein: $PER = WG/(FI \times P)$, với $P = 0,46$ là tỷ lệ protein thô trong thức ăn.

Do cá chết không được cân, FCR được tính trên tăng khối lượng của số cá còn lại đến cuối thí nghiệm, trong khi lượng thức ăn đã tiêu tốn cho những cá thể bị hao hụt vẫn được tính vào tổng lượng thức ăn cấp. Cách tính này mang tính thận trọng (thiên về đánh giá FCR cao hơn thực tế) và được áp dụng thống nhất cho mọi thí nghiệm thức. Số cá bình quân trong kỳ được lấy bằng $(N_1 + N_2)/2$, tương ứng giả định hao hụt phân bố đều theo thời gian.

Để đánh giá hiệu quả ở mức quần đàn, hệ số tiêu tốn thức ăn quần đàn (eFCR) được tính bằng tỷ số giữa tổng lượng thức ăn cấp cho giai và mức tăng sinh khối thực của giai $[(N_2 \times W_2) - (N_1 \times W_1)]$; số cá giống cần cho 1 kg cá sản xuất được tính bằng N_1 chia cho mức tăng sinh khối thực (kg). Chi phí thức ăn cho mỗi kg cá tăng thêm được ước tính từ eFCR và giá thức ăn thực tế (34.500 đồng/kg).

8. Xử lý thống kê

Số liệu được kiểm tra phân phối chuẩn (Shapiro-Wilk) và đồng nhất phương sai (Levene): Kết quả cho thấy tất cả các biến đáp ứng đều thỏa mãn giả định phân phối chuẩn và đồng nhất phương sai (Shapiro-Wilk và Levene, $P > 0,05$), ngoại trừ tỷ lệ sống (SR) có phương sai chưa đồng nhất giữa các thí nghiệm thức trước chuyển đổi (Levene, $P < 0,05$); do đó SR được chuyển đổi arcsine căn bậc hai trước khi phân tích ANOVA và đạt đồng nhất phương sai sau chuyển đổi ($P > 0,05$). Tỷ lệ sống được chuyển đổi arcsine căn bậc hai trước phân tích và được trình bày ở dạng gốc (%); phân tích trên số liệu chưa chuyển đổi cho kết luận tương tự. Ảnh hưởng của mật độ nuôi được đánh giá bằng phân tích phương sai một yếu tố (one-way ANOVA). Khi ANOVA có ý nghĩa, phép kiểm định Tukey HSD được dùng để so sánh giữa các thí nghiệm thức ở mức $P < 0,05$. Đơn vị phân tích là giá trị trung bình của mỗi giai ($n = 4$). Lồng không được đưa vào mô hình dưới dạng yếu tố khối (xem Mục II.4). Kết quả được trình bày dưới dạng $Mean \pm SE$.

Do các mức mật độ trong thí nghiệm không cách đều nhau (25, 30, 35 và 45 con/ m^3), không thể sử dụng bộ hệ số contrast đa thức trực giao chuẩn. Vì vậy, dạng đáp ứng theo mật độ được phân rã thành thành phần tuyến tính và thành phần bậc hai bằng các contrast trực giao được xây dựng trực tiếp trên giá trị mật độ thực (trực giao hóa Gram-Schmidt), và được kiểm định trên nền phương sai sai số của mô hình ANOVA ($F_{1,12}$). Khi thành phần bậc hai có ý nghĩa ($P < 0,05$), quan hệ giữa mật độ nuôi (x , con/ m^3) và chỉ tiêu đáp ứng (y) được mô tả bằng hồi quy đa thức bậc hai ($y = a + bx + cx^2$) và giá trị mật độ tối ưu được xác định tại điểm cực trị ($x_{opt} = -b/2c$). Khi thành phần bậc hai không có ý nghĩa, mô hình được rút về dạng tuyến tính ($y = a + bx$). Các mô hình hồi quy được ước lượng trên số liệu của từng giai ($n = 16$).

Mối liên hệ giữa độ đồng đều đàn cá và tỷ lệ sống được đánh giá bằng hệ số tương quan Pearson trên số liệu của 16 giai. Do cả hai chỉ tiêu đều chịu ảnh hưởng của mật độ nuôi, tương quan này được diễn giải như bằng chứng hỗ trợ giả thuyết, không phải bằng chứng nhân quả. Các phân tích được thực hiện trên SPSS 26.0 và R 4.3.2.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả

1.1. Sinh trưởng và sinh khối

Cá ban đầu ở các nghiệm thức đồng nhất về chiều dài và khối lượng ($P > 0,05$; Bảng 3). Sau 60 ngày nuôi, cá mú lai đạt khối lượng 56,22–83,18 g/con, tương ứng mức tăng 4,6–6,8 lần so với ban đầu.

Mật độ nuôi ảnh hưởng rõ rệt đến sinh trưởng của cá ($P \leq 0,002$ với tất cả các chỉ tiêu sinh trưởng). Cá nuôi ở mật độ 25, 30 và 35 con/m³ có chiều dài cuối (14,93–15,68 cm), khối lượng cuối (74,91 - 83,18 g/con), tăng khối lượng (62,68 - 70,95 g/con) và tốc độ sinh trưởng đặc trưng (3,02 - 3,19 %/ngày) không khác biệt có

ý nghĩa thống kê, nhưng đều cao hơn có ý nghĩa so với cá nuôi ở mật độ 45 con/m³ (13,82 cm; 56,22 g/con; 43,99 g/con; 2,54 %/ngày) (Tukey HSD, $P < 0,05$). So với mật độ 30 con/m³, cá nuôi ở 45 con/m³ có khối lượng cuối thấp hơn 28,5% và SGR_w thấp hơn 18,1%.

Phân rã dạng đáp ứng cho thấy các chỉ tiêu sinh trưởng giảm theo xu hướng tuyến tính trong khoảng mật độ nghiên cứu (thành phần tuyến tính $P < 0,001$), trong khi thành phần bậc hai không có ý nghĩa (W_2 : $P = 0,280$; SGR_w: $P = 0,171$) (Bảng 6).

Khác với các chỉ tiêu sinh trưởng cá thể, sinh khối thu hoạch (BM) biến động phi tuyến theo mật độ nuôi (thành phần bậc hai $P = 0,002$; thành phần tuyến tính $P = 0,984$): BM tăng từ 1,65 kg/m³ ở mật độ 25 con/m³ lên cực đại 2,16 kg/m³ ở 35 con/m³, sau đó giảm xuống 1,72 kg/m³ ở 45 con/m³ ($P = 0,014$). Do hao hụt tích lũy khác nhau giữa các nghiệm thức, mật độ cá thực tế cuối kỳ chỉ còn 19,9; 25,7; 28,8 và 30,4 con/m³ tương ứng với các nghiệm thức 25, 30, 35 và 45 con/m³ (Bảng 3).

Bảng 3. Các chỉ tiêu sinh trưởng và sinh khối của cá mú lai theo mật độ nuôi sau 60 ngày

Chỉ tiêu	25 con/m ³	30 con/m ³	35 con/m ³	45 con/m ³	P
L₁ (cm)	8,12 ± 0,37	8,12 ± 0,37	8,12 ± 0,37	8,12 ± 0,37	> 0,05
W₁ (g/con)	12,23 ± 0,72	12,23 ± 0,72	12,23 ± 0,72	12,23 ± 0,72	> 0,05
L₂ (cm)	15,68 ± 0,29 ^b	15,41 ± 0,27 ^b	14,93 ± 0,23 ^b	13,82 ± 0,24 ^a	0,002
W₂ (g/con)	83,18 ± 3,96 ^b	78,66 ± 3,29 ^b	74,91 ± 3,77 ^b	56,22 ± 3,34 ^a	< 0,001
LG (cm)	7,56 ± 0,29 ^b	7,29 ± 0,27 ^b	6,81 ± 0,23 ^b	5,70 ± 0,24 ^a	0,002
WG (g/con)	70,95 ± 3,96 ^b	66,43 ± 3,29 ^b	62,68 ± 3,77 ^b	43,99 ± 3,34 ^a	< 0,001
SGR_L (%/ngày)	1,10 ± 0,03 ^b	1,07 ± 0,03 ^b	1,01 ± 0,03 ^b	0,89 ± 0,03 ^a	0,002
SGR_w (%/ngày)	3,19 ± 0,08 ^b	3,10 ± 0,07 ^b	3,02 ± 0,08 ^b	2,54 ± 0,10 ^a	< 0,001
BM (kg/m³)	1,65 ± 0,05 ^a	2,02 ± 0,09 ^{ab}	2,16 ± 0,12 ^b	1,72 ± 0,14 ^a	0,014
Mật độ cuối (con/m³)*	19,9	25,7	28,8	30,4	—

Ghi chú: L₁, L₂ - chiều dài toàn thân ban đầu và kết thúc; W₁, W₂ - khối lượng thân ban đầu và kết thúc; LG, WG - mức tăng chiều dài và tăng khối lượng; SGR_L, SGR_w - tốc độ sinh trưởng đặc trưng theo chiều dài và khối lượng; BM - sinh khối cá thu hoạch. Số liệu trình bày dưới dạng Mean ± SE ($n = 4$ giai/nghiệm thức). Trong cùng một hàng, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện khác biệt có ý nghĩa thống kê (Tukey HSD, $P < 0,05$). (*) Tính từ số cá còn lại cuối thí nghiệm, không phân tích thống kê.

1.2. Độ đồng đều, hệ số điều kiện và tỷ lệ sống

Mật độ nuôi ảnh hưởng có ý nghĩa đến độ đồng đều của đàn cá ($P < 0,001$; Bảng 4). Đáp ứng của hệ số biến thiên có dạng chữ U: CV_w đạt giá trị thấp nhất ở mật độ 30 con/m³ (18,02%), thấp hơn có ý nghĩa so với cả mật độ 25 con/m³ (23,11%) và 35 con/m³ (24,08%), trong khi mật độ 45 con/m³ cho CV_w cao nhất (28,47%) ($P < 0,05$). Xu hướng tương tự được ghi nhận với CV_L (7,26% ở 30 con/m³ so với 13,96% ở 45 con/m³). Cả thành phần tuyến tính ($P < 0,001$) và thành phần bậc hai ($P = 0,006$) của CV_w theo mật độ đều có ý nghĩa thống kê, khẳng định dạng đáp ứng phi tuyến.

Hệ số điều kiện K dao động trong khoảng hẹp (2,12–2,25 g/cm³); mặc dù ANOVA phát hiện khác biệt ($P = 0,024$), sai khác chỉ xuất hiện giữa nghiệm thức 35 con/m³ (cao nhất)

và 45 con/m³ (thấp nhất), còn các nghiệm thức khác không khác biệt, cho thấy thể trạng cá được duy trì tương đối ổn định ở mọi mật độ.

Tỷ lệ sống biến động phi tuyến rõ rệt theo mật độ nuôi ($P < 0,001$; thành phần bậc hai $P < 0,001$), đạt cao nhất ở mật độ 30 con/m³ (85,63%), tiếp theo là 35 con/m³ (82,23%) và 25 con/m³ (79,50%), và thấp nhất ở 45 con/m³ (67,50%). Đáng lưu ý, tỷ lệ sống ở mật độ thấp nhất (25 con/m³) thấp hơn có ý nghĩa so với 30 con/m³ ($P < 0,05$), tức mật độ thấp nhất không cho tỷ lệ sống cao nhất.

Hệ số biến thiên khối lượng (CV_w) có tương quan nghịch chặt với tỷ lệ sống trên 16 giai thí nghiệm ($r = -0,792$; $P < 0,001$): các giai có đàn cá phân hóa kích cỡ mạnh cũng là các giai có hao hụt cao nhất.

Bảng 4. Độ đồng đều, hệ số điều kiện và tỷ lệ sống của cá mú lai theo mật độ nuôi sau 60 ngày

Chỉ tiêu	25 con/m ³	30 con/m ³	35 con/m ³	45 con/m ³	P
CV_L (%)	9,08 ± 0,46 ^{ab}	7,26 ± 0,63 ^a	10,05 ± 0,40 ^b	13,96 ± 0,75 ^c	< 0,001
CV_w (%)	23,11 ± 0,81 ^b	18,02 ± 1,20 ^a	24,08 ± 0,61 ^b	28,47 ± 1,10 ^c	< 0,001
K (g/cm ³)	2,16 ± 0,02 ^{ab}	2,15 ± 0,04 ^{ab}	2,25 ± 0,01 ^b	2,12 ± 0,03 ^a	0,024
SR (%)	79,50 ± 1,29 ^b	85,63 ± 0,88 ^c	82,23 ± 1,06 ^{bc}	67,50 ± 1,47 ^a	< 0,001

Ghi chú: CV_L , CV_w - hệ số biến thiên chiều dài và khối lượng; K - hệ số điều kiện; SR - tỷ lệ sống cuối thí nghiệm. Số liệu trình bày dưới dạng Mean ± SE ($n = 4$ giai/nghiệm thức). Trong cùng một hàng, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện khác biệt có ý nghĩa thống kê (Tukey HSD, $P < 0,05$).

1.3. Hiệu quả sử dụng thức ăn

Lượng thức ăn sử dụng (FI, g/con) không khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ($P = 0,092$), song phân tích xu hướng cho thấy FI giảm tuyến tính theo mật độ nuôi ($P = 0,019$; thành phần bậc hai $P = 0,955$): từ 162,0 g/con ở mật độ 25 con/m³ xuống 123,5 g/con ở 45 con/m³ (Bảng 5). Tỷ lệ cho ăn hằng ngày (FR, %BW/ngày) dao động trong khoảng hẹp 5,31–5,99% và không khác biệt giữa các nghiệm thức ($P = 0,083$), với xu hướng tăng tuyến tính ở mức tiệm cận ý nghĩa ($P = 0,060$). Như vậy, cá nuôi ở mật độ cao ăn ít hơn về lượng tuyệt đối trên mỗi cá thể nhưng không ăn ít hơn khi

tính tương đối theo khối lượng thân.

Hệ số tiêu tốn thức ăn khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức ($P < 0,001$): FCR ở các mật độ 25, 30 và 35 con/m³ không khác biệt (2,18–2,34), trong khi mật độ 45 con/m³ có FCR cao nhất (2,81), tăng 28,9% so với mật độ 30 con/m³. Hiệu quả sử dụng protein biến động theo chiều ngược lại, cao nhất ở 30 con/m³ (1,00) và thấp nhất ở 45 con/m³ (0,78) ($P < 0,001$). Đáp ứng của FCR theo mật độ có cả thành phần tuyến tính ($P < 0,001$) và thành phần bậc hai ($P < 0,001$) có ý nghĩa, với giá trị cực tiểu ước tính ở 29,2 con/m³ (Bảng 6).

Bảng 5. Hiệu quả sử dụng thức ăn biểu kiến của cá mú lai giống theo mật độ nuôi sau 60 ngày

Chỉ tiêu	25 con/m ³	30 con/m ³	35 con/m ³	45 con/m ³	P (anova)	P (tuyến tính)
FI (g/con)	162,0 ± 8,19	145,0 ± 9,35	147,3 ± 11,10	123,5 ± 9,72	0,092	0,019
FR (%BW/ngày)	5,65 ± 0,08	5,31 ± 0,17	5,60 ± 0,19	5,99 ± 0,19	0,083	0,060
FCR	2,29 ± 0,03 ^a	2,18 ± 0,05 ^a	2,34 ± 0,04 ^a	2,81 ± 0,04 ^b	< 0,001	< 0,001
PER	0,95 ± 0,01 ^b	1,00 ± 0,02 ^b	0,93 ± 0,02 ^b	0,78 ± 0,01 ^a	< 0,001	< 0,001

Ghi chú: FI - lượng thức ăn sử dụng; FR - tỷ lệ cho ăn hằng ngày; FCR - hệ số tiêu tốn thức ăn biểu kiến; PER - hiệu quả sử dụng protein biểu kiến. Số liệu trình bày dưới dạng Mean ± SE (n = 4 giai/nghiem thức). Trong cùng một hàng, các giá trị mang chữ cái khác nhau thể hiện khác biệt có ý nghĩa thống kê (Tukey HSD, P < 0,05).

1.4. Dạng đáp ứng theo mật độ nuôi và mật độ nuôi phù hợp

Phân tích hồi quy trên số liệu của 16 giai (Bảng 6) cho thấy hai nhóm đáp ứng khác biệt về bản chất. Nhóm thứ nhất gồm các chỉ tiêu sinh trưởng cá thể (W_2 , SGR_w) giảm tuyến tính theo mật độ nuôi, không có điểm tối ưu nội tại trong khoảng mật độ nghiên cứu. Theo mô hình tuyến tính, mỗi đơn vị tăng mật độ (1 con/m³) làm giảm W_2 1,36 g/con và SGR_w 0,033 %/ngày. Nhóm thứ hai gồm SR, FCR, CV_w và BM có thành phần bậc hai có ý nghĩa (P ≤ 0,006), tức đáp ứng phi tuyến với điểm tối ưu nội tại: SR cực đại ở 31,7 con/m³, FCR cực tiểu ở 29,2 con/m³, CV_w cực

tiểu ở 30,2 con/m³ và BM cực đại ở 35,3 con/m³.

Như vậy, các điểm tối ưu của bốn chỉ tiêu đáp ứng phi tuyến hội tụ trong khoảng 29–35 con/m³, trong đó các chỉ tiêu liên quan đến chất lượng đàn cá (tỷ lệ sống, độ đồng đều, FCR) đạt tối ưu ở cận dưới (29–32 con/m³), còn chỉ tiêu sản lượng trên đơn vị thể tích (BM) đạt tối ưu ở cận trên (≈35 con/m³). Cần lưu ý mô hình bậc hai này chỉ giải thích được 60,1% biến động của CV_w và 57,6% biến động của BM, do đó các giá trị tối ưu của hai chỉ tiêu này mang tính tham khảo. Ngược lại, mô hình cho tỷ lệ sống và FCR có mức giải thích cao (cùng có R² = 0,897; Bảng 6).

Bảng 6. Hồi quy đáp ứng của các chỉ tiêu chính theo mật độ nuôi ở cá mú lai giống (n = 16 giai)

Chỉ tiêu (y)	Mô hình chọn	Phương trình (x = mật độ, con/m ³)	P (bậc 1)	P (bậc 2)	R ²	Mật độ tối ưu (con/m ³)
W_2 (g/con)	Tuyến tính	$y = 119,02 - 1,356x$	< 0,001	0,280	0,698	Không có điểm tối ưu
SGR_w (%/ngày)	Tuyến tính	$y = 4,077 - 0,0331x$	< 0,001	0,171	0,703	Không có điểm tối ưu
SR (%)	Bậc hai	$y = -12,78 + 6,1309x - 0,09669x^2$	< 0,001	< 0,001	0,897	31,7 (cực đại)
CV_w (%)	Bậc hai	$y = 53,68 - 2,1626x + 0,03579x^2$	< 0,001	0,006	0,601	30,2 (cực tiểu)
FCR	Bậc hai	$y = 4,218 - 0,1364x + 0,00234x^2$	< 0,001	< 0,001	0,897	29,2 (cực tiểu)
BM (kg/m ³)	Bậc hai	$y = -3,775 + 0,3357x - 0,00475x^2$	0,984	0,002	0,576	35,3 (cực đại)

Ghi chú: P (bậc 1) và P (bậc 2) là mức ý nghĩa của thành phần tuyến tính và thành phần bậc hai, được phân rã bằng contrast trực giao xây dựng trên các mức mật độ không cách đều và kiểm định trên phương sai sai số của mô hình ANOVA ($F_{1,12}$). Mô hình bậc hai được lựa chọn khi thành phần bậc hai có ý nghĩa (P < 0,05); mật độ tối ưu được xác định tại điểm cực trị (−b/2c). R² là hệ số xác định của mô hình được chọn, tính trên số liệu của từng giai.

1.5. Chỉ tiêu hiệu quả ở mức quần đàn

Do hao hụt khác nhau giữa các nghiệm thức, hiệu quả kỹ thuật ở mức quần đàn phân hóa mạnh hơn nhiều so với hiệu quả ở mức cá thể (Bảng 7). Mức tăng sinh khối thực đạt cao nhất ở các mật độ 30 và 35 con/m³ (1,65–1,73 kg/m³) và thấp nhất ở 45 con/m³ (1,16 kg/m³).

Hệ số tiêu tốn thức ăn quần đàn (eFCR) ở mật độ 45 con/m³ (4,02) cao hơn 64,8% so với mật độ 30 con/m³ (2,44), tương ứng chi phí thức ăn cho mỗi kg cá tăng thêm cao hơn khoảng 54.500 đồng. Đồng thời, để sản xuất được 1 kg cá, nghiệm thức 45 con/m³ cần 38,9 con giống, gấp 2,15 lần so với nghiệm thức 30 con/m³ (18,1 con).

Bảng 7. Một số chỉ tiêu hiệu quả ở mức quần đàn của cá mú lai giống theo mật độ nuôi

Chỉ tiêu	25 con/m ³	30 con/m ³	35 con/m ³	45 con/m ³
Tổng thức ăn cấp (kg/giai)	29,1	32,3	37,6	37,2
Tăng sinh khối thực (kg/m ³)	1,35	1,65	1,73	1,16
eFCR	2,70	2,44	2,72	4,02
Chi phí thức ăn (1.000 đồng/kg cá tăng thêm)	93,2	84,2	93,8	138,7
Số cá giống cần cho 1 kg cá sản xuất (con)	18,6	18,1	20,3	38,9

Ghi chú: Các chỉ tiêu được tính từ giá trị trung bình của từng nghiệm thức nên không phân tích thống kê. eFCR - hệ số tiêu tốn thức ăn quần đàn (tổng thức ăn cấp/mức tăng sinh khối thực của giai). Chi phí thức ăn được tính theo giá mua thực tế 34.500 đồng/kg tại thời điểm nghiên cứu. Chi phí con giống không được quy đổi thành tiền do cá mú lai mới bước đầu được sản xuất tại Việt Nam, chưa có mức giá thị trường ổn định.

2. Thảo luận

2.1. Sinh trưởng và cơ sở của đáp ứng theo mật độ nuôi

Cá mú lai trong nghiên cứu này tăng từ 12,23 g/con lên 56,22–83,18 g/con sau 60 ngày, tương ứng SGR_w 2,54–3,19 %/ngày. Mức sinh trưởng này nằm ở phần trên của dải giá trị thường được công bố cho cá mú giống nuôi lồng, phù hợp với các ghi nhận về ưu thế lai của con lai giữa các loài trong giống *Epinephelus* [5, 6], và cho thấy con lai *E. lanceolatus* ♂ × *E. coioides* ♀ thích nghi tốt với điều kiện nuôi lồng biển tại Khánh Hòa cũng như với thức ăn viên công nghiệp.

Sinh trưởng cá thể giảm tuyến tính theo mật độ nuôi, phù hợp với quy luật chung ở cá biển nuôi lồng [8, 10]; xu hướng tương tự đã được ghi nhận ở cá chim vây vàng giai đoạn giống [21]. Tuy nhiên, điểm cần nhấn mạnh là mức giảm này không đồng đều về mặt sinh học: trong khoảng 25–35 con/m³, khác biệt về

khối lượng cuối (74,91–83,18 g/con) không đạt ý nghĩa thống kê, trong khi ở 45 con/m³ khối lượng cuối giảm đột ngột 28,5% so với 30 con/m³. Điều này cho thấy cá mú lai có khả năng chịu đựng khá tốt trong dải mật độ trung bình, và tác động ức chế chỉ trở nên rõ rệt khi mật độ vượt một ngưỡng nhất định - trong nghiên cứu này nằm giữa 35 và 45 con/m³.

Một điểm quan trọng đối với việc giải thích cơ chế là các yếu tố môi trường nước duy trì trong phạm vi thuận lợi trong suốt thí nghiệm (oxy hòa tan 5,0–6,0 mg/L; TAN ≤0,52 mg/L; lưu tốc 0,38–0,66 m/giây; Bảng 2) và không khác biệt giữa các lồng. Đáng lưu ý, lưu tốc nước tại khu vực nghiên cứu tương đối cao (0,38–0,66 m/giây) là một điều kiện thuận lợi của Trại Đầm Báy, hỗ trợ trao đổi nước và oxy hòa tan hiệu quả ngay cả ở mật độ sinh khối cao nhất. Do đó, khoảng mật độ khuyến nghị trong nghiên cứu này cần được hiểu là áp dụng trong điều kiện lưu tốc tương tự. Với sinh khối tối đa chỉ khoảng 2,2 kg/m³ và chế độ trao

đổi nước liên tục của hệ thống lồng biển, khả năng suy giảm chất lượng nước do mật độ là rất thấp. Do đó, sự suy giảm sinh trưởng ở mật độ cao trong nghiên cứu này khó có thể quy cho nguyên nhân môi trường, mà nhiều khả năng liên quan đến các cơ chế hành vi - sinh lý: cạnh tranh thức ăn gia tăng, tần suất tương tác xã hội cao, và căng thẳng đám đông mãn tính làm chuyển hướng năng lượng từ tăng trưởng sang duy trì và ứng phó căng thẳng [6, 9, 11]. Kết quả FR không giảm (thậm chí có xu hướng tăng nhẹ) ở mật độ cao trong khi sinh trưởng giảm rõ (mục 1.3) là bằng chứng gián tiếp ủng hộ giải thích này: cá ở mật độ cao không thiếu cơ hội bắt mồi tương đối, nhưng chuyển hóa thức ăn thành sinh khối kém hiệu quả hơn.

2.2. Độ đồng đều đàn cá, thể trạng và tỷ lệ sống

Phát hiện đáng chú ý nhất của nghiên cứu là tỷ lệ sống và độ đồng đều đàn cá không đạt tối ưu ở mật độ thấp nhất, mà ở mật độ trung gian. Cụ thể, mật độ 25 con/m³ cho tỷ lệ sống thấp hơn (79,50% so với 85,63%) và CV_w cao hơn (23,11% so với 18,02%) so với mật độ 30 con/m³ ($P < 0,05$), dù cá ở 25 con/m³ sinh trưởng nhanh nhất. Cả CV_w và tỷ lệ sống đều có thành phần bậc hai có ý nghĩa với điểm tối ưu hội tụ quanh 30–32 con/m³ (Bảng 6). Kiểu đáp ứng tối ưu ở mật độ trung gian này cũng từng được ghi nhận khi ương một số loài cá biển ở trong nước [22].

Dạng đáp ứng phi tuyến này có thể được giải thích bằng đặc điểm tập tính của cá mú. Là loài sống đáy, ẩn trú và có tính lãnh thổ, cá mú dễ hình thành thứ bậc xã hội trong đàn; ở mật độ thấp, không gian dư thừa cho phép các cá thể trội thiết lập và bảo vệ vùng bắt mồi ưu thế, dẫn đến phân phối thức ăn không đồng đều và làm gia tăng phân hóa kích cỡ trong đàn [12, 13, 23]. Khi mật độ tăng lên mức trung gian, tần suất gặp gỡ cao làm giảm khả năng duy trì lãnh thổ và giảm tính hung dữ của các cá

thể trội, đồng thời hiệu ứng kích thích bắt mồi xã hội giúp đàn cá tiếp cận thức ăn đồng đều hơn - kết quả là CV thấp nhất và tỷ lệ sống cao nhất [13, 22]. Ở mật độ quá cao (45 con/m³), cạnh tranh thức ăn và căng thẳng đám đông trở thành yếu tố chi phối, làm cả sinh trưởng, độ đồng đều và tỷ lệ sống đều xấu đi.

Mối liên hệ giữa phân hóa kích cỡ và hao hụt được thể hiện qua tương quan nghịch chặt giữa CV_w và tỷ lệ sống trên 16 giai thí nghiệm ($r = -0,792$; mục 1.2). Quy luật tương tự cũng được ghi nhận ở cá hồng Mỹ giai đoạn giống khi thay đổi chế độ cho ăn, trong đó đàn cá đồng đều hơn đi kèm tỷ lệ sống cao hơn [24]. Ở cá mú giống, hiện tượng ăn lẫn nhau phụ thuộc trực tiếp vào tỷ lệ chênh lệch kích cỡ giữa cá thể lớn và cá thể nhỏ trong đàn, và việc phân cỡ định kỳ được xem là biện pháp cơ bản để hạn chế hao hụt [14, 15, 25]. Trong nghiên cứu này, cá không được phân cỡ nhằm phản ánh điều kiện sản xuất phổ biến. Do đó, khoảng mật độ giúp duy trì đàn cá đồng đều nhất (30 con/m³) đồng thời là khoảng mật độ cho tỷ lệ sống cao nhất là một kết quả nhất quán về mặt logic sinh học. Tuy vậy, cần nhấn mạnh rằng do cả CV_w và tỷ lệ sống đều chịu ảnh hưởng của mật độ nuôi, và do nghiên cứu không ghi nhận riêng nguyên nhân từng trường hợp hao hụt, tương quan này chỉ là bằng chứng hỗ trợ giả thuyết rằng sự phân hóa kích cỡ có thể là một trong những nguyên nhân gây hao hụt, chưa phải bằng chứng nhân quả.

Hệ số điều kiện duy trì trong khoảng hẹp 2,12–2,25 g/cm³ ở mọi mật độ, cho thấy cá không bị suy giảm thể trạng rõ rệt kể cả ở mật độ cao nhất. Điều này gợi ý rằng ảnh hưởng của mật độ trong khoảng nghiên cứu tác động chủ yếu lên tốc độ tích lũy sinh khối và cấu trúc kích cỡ của đàn, chứ không phải lên tình trạng dinh dưỡng của từng cá thể sống sót - một quan sát nhất quán với việc chất lượng nước không bị suy giảm. Ở chiều ngược lại, điều kiện ương

nuôi không phù hợp kéo dài có thể tác động tiêu cực đến chất lượng đàn cá giống, như đã được ghi nhận qua tỷ lệ dị hình ở các trại sản xuất giống cá biển tại Khánh Hòa [26].

2.3. Hiệu quả sử dụng thức ăn

Hệ số tiêu tốn thức ăn trong nghiên cứu này (2,18–2,81) cao hơn các giá trị thường được công bố cho cá mú nuôi trong hệ thống bể hoặc tuần hoàn [17]. Sự khác biệt này chủ yếu mang tính phương pháp và cần được cân nhắc kỹ lưỡng: (i) trong hệ thống lồng lưới, phần thức ăn không được cá thu nhận trôi ra khỏi giai và không thể thu hồi, nên toàn bộ lượng thức ăn cấp, bao gồm cả phần thất thoát, đều được tính vào FCR; (ii) FCR được tính trên tăng khối lượng của số cá còn sống, trong khi thức ăn đã tiêu tốn cho các cá thể bị hao hụt vẫn được tính vào tử số. Vì vậy, các giá trị FCR ở đây chỉ nên dùng để so sánh giữa các nghiệm thức trong cùng nghiên cứu, không nên đối chiếu trực tiếp với các nghiên cứu trong hệ thống kín.

Điều quan trọng là cả hai nguồn sai lệch trên đều tác động theo hướng an toàn đối với kết luận chính. Ở mật độ thấp, số cá tranh môi trong cùng một thể tích ít hơn nên xác suất thức ăn trôi khỏi giai mà không được thu nhận có xu hướng cao hơn, tức FCR ở mật độ thấp có khả năng bị đánh giá xấu hơn thực tế. Do đó, việc FCR ở mật độ 45 con/m³ vẫn cao hơn rõ rệt (2,81 so với 2,18–2,34) là một kết luận có cơ sở, không phải hệ quả của sai lệch phương pháp.

Cơ chế làm FCR xấu đi ở mật độ cao được làm rõ khi xem xét đồng thời FI và FR. Lượng thức ăn tuyệt đối trên mỗi cá thể giảm tuyến tính theo mật độ ($P = 0,019$), phù hợp với cạnh tranh thức ăn gia tăng [19]. Tuy nhiên, tỷ lệ cho ăn hằng ngày tính theo khối lượng thân lại không giảm mà có xu hướng tăng nhẹ (5,31% ở 30 con/m³ so với 5,99% ở 45 con/m³; $P = 0,060$). Nghĩa là, cá ở mật độ cao vẫn thu nhận thức ăn ở mức tương đối cao so với khối lượng

cơ thể nhưng chuyển hóa thành sinh khối kém hơn - phù hợp với giả thuyết chi phí năng lượng cho hoạt động và ứng phó căng thẳng tăng lên ở mật độ cao [6, 9]. Cần lưu ý rằng PER trong nghiên cứu này là hàm nghịch đảo của FCR ($PER = 1/(FCR \times 0,46)$) vì hàm lượng protein thức ăn không đổi giữa các nghiệm thức, do đó PER không cung cấp thông tin độc lập mà chỉ trình bày kết quả trên thang quy đổi theo protein để thuận tiện so sánh với các nghiên cứu khác.

2.4. Ý nghĩa kỹ thuật và kinh tế

Khi tổng hợp các chỉ tiêu, kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng mật độ 30–35 con/m³ (tương ứng 0,37–0,43 kg/m³ sinh khối ban đầu) là khoảng phù hợp cho nuôi cá mú lai giống trong lồng biển. Bên trong khoảng này, người nuôi có thể lựa chọn theo ưu tiên: mật độ khoảng 30 con/m³ cho tỷ lệ sống cao nhất, đàn cá đồng đều nhất và FCR thấp nhất, phù hợp khi mục tiêu là sản xuất cá giống lớn chất lượng cao để chuyển sang giai đoạn nuôi thương phẩm hoặc để bán giống. Mật độ khoảng 35 con/m³ cho sinh khối trên đơn vị thể tích cao nhất, phù hợp khi thể tích lồng là yếu tố giới hạn. Khoảng mật độ này cũng cần được xem xét cùng với chế độ cho ăn, vì hai yếu tố kỹ thuật này tác động đồng thời lên kết quả ương cá mú giống [27].

Ngược lại, việc tăng mật độ lên 45 con/m³ không mang lại lợi ích nào: sinh khối thu hoạch (1,72 kg/m³) thậm chí thấp hơn so với 35 con/m³ (2,16 kg/m³), trong khi chi phí gia tăng ở cả hai đầu vào chính. Ước tính ở mức trung bình nghiệm thức (Bảng 7), để sản xuất 1 kg cá, nghiệm thức 45 con/m³ tiêu tốn thức ăn nhiều hơn 64,8% (eFCR 4,02 so với 2,44, tương ứng khoảng 138.700 đồng so với 84.200 đồng chi phí thức ăn) và cần số cá giống gấp 2,15 lần so với nghiệm thức 30 con/m³. Ngoài ra, đàn cá phân hóa kích cỡ mạnh hơn (CV_w 28,47%) sẽ làm tăng chi phí phân cỡ và giảm giá trị thương phẩm ở các giai đoạn sau. Do cá mú lai mới

bước đầu được sản xuất tại Việt Nam và chưa có mức giá con giống, giá cá thương phẩm ổn định, các ước tính trên chỉ được trình bày ở dạng chỉ tiêu kỹ thuật - kinh tế bộ phận và cần được kiểm chứng bằng phân tích hiệu quả kinh tế đầy đủ ở quy mô sản xuất trong các nghiên cứu tiếp theo.

Một hàm ý thực tiễn khác đến từ diễn biến mật độ trong kỳ nuôi: do hao hụt cao, mật độ thực tế ở nghiệm thức 45 con/m³ giảm từ 45 xuống 30,4 con/m³ vào cuối thí nghiệm, tức đàn cá đã tự san thưa thông qua hao hụt để tiến về vùng mật độ tối ưu, nhưng bằng cái giá là mất 32,5% số cá thả. Đây là lập luận trực quan để khuyến nghị người nuôi không thả dày rồi trông chờ vào hao hụt tự nhiên, mà nên thả ở mật độ phù hợp ngay từ đầu.

2.5. Hạn chế của nghiên cứu

Mặc dù nghiên cứu đã xác định được khoảng mật độ thích hợp cho ương nuôi cá mú lai giai đoạn chuyển tiếp từ đất liền ra biển, một số hạn chế cần được thừa nhận. *Thứ nhất*, các mức mật độ không cách đều nhau (25, 30, 35, 45 con/m³), thiếu mức 40 con/m³, nên vùng chuyển tiếp 35–45 con/m³ chưa được lấy mẫu; giá trị tối ưu từ mô hình bậc hai (29,2–35,3 con/m³) cần hiểu như một khoảng, do đó kết luận được phát biểu ở dạng khoảng 30–35 con/m³. *Thứ hai*, do thể tích giai cố định (8 m³), mật độ đồng biến hoàn toàn với kích cỡ đàn cá trong mỗi đơn vị thí nghiệm; ảnh hưởng của mật độ và kích cỡ đàn không thể tách rời, nên các diễn giải về tập tính cần được hiểu trong giới hạn này. *Thứ ba*, nghiên cứu chỉ ghi nhận tổng hao hụt cuối kỳ, không theo ngày và không phân định nguyên nhân, nên giả thuyết về vai trò của hiện tượng ăn lẫn nhau chỉ dựa trên tương quan giữa CVW và tỷ lệ sống, chưa được kiểm chứng trực tiếp. Việc này cũng buộc dùng số cá bình quân $(N_1+N_2)/2$ khi tính FI, giả định hao hụt phân bố đều; nếu hao hụt tập trung ở giai đoạn sau, FI ở mật độ cao có thể bị đánh

giá thấp hơn thực tế. *Thứ tư*, do số liệu cá thể lúc bắt đầu chỉ được lưu ở dạng tổng hợp (Mục 7) phục vụ kiểm định đồng nhất ban đầu, hệ số biến thiên tại $t = 0$ (CV_{w0} , CV_{L0}) không được tính riêng cho từng giai, nên nghiên cứu chỉ so sánh được mức phân hóa kích cỡ cuối kỳ mà chưa định lượng được mức gia tăng (ΔCV) trong suốt quá trình nuôi. Tuy nhiên, do cá được lấy từ một mẻ giống duy nhất đã tuyển chọn đồng đều, khối lượng/chiều dài ban đầu không khác biệt giữa các nghiệm thức ($P > 0,05$; Bảng 3), và các giai được phân bố hoàn toàn ngẫu nhiên, sự khác biệt CV rõ rệt quan sát được ở cuối kỳ (18,02–28,47%) nhiều khả năng phản ánh phân hóa phát sinh do mật độ hơn là khác biệt sẵn có. Các nghiên cứu tiếp theo nên lưu đầy đủ số liệu cá thể từ thời điểm thả để tính trực tiếp ΔCV . *Thứ năm*, yếu tố môi trường được đo tại tâm lồng chứ không trong từng giai, nên không loại trừ hoàn toàn khả năng tồn tại vi môi trường khác biệt ở các giai mật độ cao. Tuy nhiên, với lưu tốc nước 0,38–0,66 m/giây và sinh khối tối đa ~2,2 kg/m³, khả năng này được đánh giá thấp. *Thứ sáu*, các giai đặt liền kề trong cùng lồng với mắt lưới tương đối lớn (1–2 cm) cho phép cá ở các giai kề cận nhận biết nhau qua tín hiệu thị giác/hóa học, có thể làm giảm phần nào sự khác biệt thực giữa các nghiệm thức hoặc tạo thêm biến động không kiểm soát. Nghiên cứu hiện tại chưa tách bạch được ảnh hưởng này; thiết kế tiếp theo có thể đặt các mức mật độ ở các lồng cách xa nhau hơn để kiểm chứng. *Cuối cùng*, nghiên cứu thực hiện trong 60 ngày với cỡ cá 12–83 g, trong một mùa vụ (tháng 9–11, nhiệt độ 25,8–30,5°C); kết quả cần được kiểm chứng cho cỡ cá lớn hơn, thời gian nuôi dài hơn và điều kiện mùa vụ khác.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Mật độ nuôi ảnh hưởng có ý nghĩa đến hiệu quả nuôi cá mú lai giai đoạn giống trong lồng

biển theo hai dạng đáp ứng khác nhau: sinh trưởng cá thể giảm tuyến tính theo mật độ, trong khi tỷ lệ sống, độ đồng đều, hệ số tiêu tốn thức ăn và sinh khối thu hoạch biến động phi tuyến với các điểm tối ưu hội tụ trong khoảng 29–35 con/m³. Mật độ 30 con/m³ cho tỷ lệ sống cao nhất (85,63%), đàn cá đồng đều nhất ($CV_w = 18,02\%$) và FCR thấp nhất (2,18). Mật độ 35 con/m³ cho sinh khối thu hoạch cao nhất (2,16 kg/m³). Đáng lưu ý, mật độ thấp nhất (25 con/m³) không cho kết quả tốt nhất, với tỷ lệ sống thấp hơn và mức phân hóa kích cỡ cao hơn so với 30 con/m³. Ở mật độ 45 con/m³, tất cả các chỉ tiêu đều kém nhất: W_2 giảm 28,5%, FCR tăng 28,9% và SR giảm 18,1 điểm phần trăm so với mật độ 30 con/m³; đồng thời cần nhiều hơn 64,8% lượng thức ăn và gấp 2,15 lần số cá giống cho mỗi kg cá sản xuất, trong khi sinh khối trên đơn vị thể tích lồng không tăng.

Trên cơ sở đó, mật độ 30–35 con/m³ (tương ứng 0,37–0,43 kg/m³ sinh khối ban đầu) được xác định là phù hợp cho nuôi cá mú lai giai đoạn giống (12–83 g/con) trong lồng biển tại Khánh Hòa.

2. Kiến nghị

Áp dụng mật độ 30–35 con/m³ cho nuôi cá mú lai giống trong lồng biển – chọn cận dưới (≈ 30 con/m³) khi ưu tiên tỷ lệ sống, độ đồng đều và hiệu quả sử dụng thức ăn, cận trên (≈ 35 con/m³) khi thể tích lồng là yếu tố giới hạn - và không thả ở mức 45 con/m³ vì làm giảm rõ

hiệu quả kỹ thuật mà không tăng sản lượng. Khuyến nghị này được đưa ra trong điều kiện lưu tốc nước tương đối cao (0,38–0,66 m/giây) tại khu vực nghiên cứu; ở các vùng nuôi có lưu tốc thấp hơn, ngưỡng mật độ phù hợp có thể cần được điều chỉnh giảm để bảo đảm trao đổi nước và oxy hòa tan đầy đủ trong lồng.

Các nghiên cứu tiếp theo nên bố trí các mức mật độ dày hơn trong khoảng 30–45 con/m³ để xác định chính xác ngưỡng chuyển tiếp. Đồng thời, cần tiến hành ghi chép hao hụt theo ngày và nguyên nhân hao hụt, xác định hệ số biến thiên ban đầu cùng phân bố tần số kích cỡ, kết hợp đánh giá chế độ phân cỡ định kỳ và hiệu quả kinh tế ở quy mô sản xuất nhằm kiểm chứng cơ chế đã được đề xuất và mở rộng kết quả cho các cỡ cá và mùa vụ khác.

LỜI CẢM ƠN:

Bài báo là một phần nội dung của Nhiệm vụ khoa học và công nghệ mã số VB.N1.09/25 “*Xây dựng quy trình nuôi thương phẩm cá mú lai (*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. coioides* ♀) trong lồng biển tại Khánh Hòa*”, do Chi nhánh Ven biển, Trung tâm Nhiệt đới Việt – Nga chủ trì và ThS. Đinh Thị Hải Yến làm chủ nhiệm. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trạm Nghiên cứu Biển Đầm Báy, Chi nhánh Ven biển - Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga, Bộ Quốc phòng Việt Nam đã hỗ trợ kinh phí, cơ sở vật chất và các điều kiện khác để hoàn thiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] FAO, *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.
- [2] Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E. and Troell, M., “A 20-year retrospective review of global aquaculture,” *Nature*, vol. 591, no. 7851, pp. 551–563, 2021.
- [3] Au, H. L., Tan, Z. K., Lim, K. G., Tan, M. K., Teo, K. T. K., Rayner, A., et al., “A technical overview of feeding management in *Epinephelinae* groupers grow-out farming,” *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 2407–2416, 2023.
- [4] Shapawi, R., Abdullah, F. C., Senoo, S. and Mustafa, S., “Nutrition, growth and resilience of tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) × giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*) hybrid – a review,” *Reviews in*

- Aquaculture*, vol. 11, no. 4, pp. 1285–1296, 2019.
- [5] Kiriyakit, A., Gallardo, W. G. and Bart, A. N., “Successful hybridization of groupers (*Epinephelus coioides* × *Epinephelus lanceolatus*) using cryopreserved sperm,” *Aquaculture*, vol. 320, no. 1-2, pp. 106–112, 2011.
- [6] Shao, T., Chen, X., Zhai, D., Wang, T., Long, X. and Liu, Z., “Evaluation of the effects of different stocking densities on growth and stress responses of juvenile hybrid grouper ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus* in recirculating aquaculture systems,” *Journal of Fish Biology*, vol. 95, no. 4, pp. 1022–1029, 2019.
- [7] Van Dung, T., Hung, P. Q. and Thong, N. T., “Marine finfish farming in Viet Nam: current status and directions,” *Journal of Fisheries Science and Technology*, no. 3, pp. 104–110, 2016.
- [8] Li, L., Shen, Y., Yang, W., Xu, X. and Li, J., “Effect of different stocking densities on fish growth performance: A meta-analysis,” *Aquaculture*, vol. 544, Art. no. 737152, 2021.
- [9] Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M. and Gadd, D., “The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout,” *Journal of Fish Biology*, vol. 61, no. 3, pp. 493–531, 2002.
- [10] Imlani, A. H., Tahliluddin, A. B., Sarri, J. H. and Imlani, M. H., “Growth and survival rates and feed utilization of orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* cultured at different stocking densities in floating net cage,” *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, vol. 5, no. 2, pp. 47–53, 2022.
- [11] Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L. and Vergara, J. M., “High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles,” *Fish Physiology and Biochemistry*, vol. 20, no. 1, pp. 53–60, 1999.
- [12] Trần Thị Lê Trang và Trần Văn Dũng, “Ảnh hưởng của mật độ nuôi lên tốc độ sinh trưởng và tỉ lệ sống của cá khoang cổ cam trưởng thành *Amphiprion percula* (Lacépède, 1802),” *Tạp chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh*, no. 47(81), pp. 98–105, 2013.
- [13] Song, W., Jiang, Q., He, Y., Ma, B., Tang, Y. and Zhao, J., “Crowding-induced physiological stress, not aggression, makes high stocking density more worthy of attention in aquaculture,” *Aquaculture*, 743700, 2026.
- [14] Hseu, J. R., “Effects of size difference and stocking density on cannibalism rate of juvenile grouper *Epinephelus coioides*,” *Fisheries Science*, vol. 68, no. 6, pp. 1384–1386, 2002.
- [15] Takeshita, A. and Soyano, K., “Effects of fish size and size-grading on cannibalistic mortality in hatchery-reared orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* juveniles,” *Fisheries Science*, vol. 75, no. 5, pp. 1253–1258, 2009.
- [16] Teng, S. K. and Chua, T. E., “Effect of stocking density on the growth of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, cultured in floating net-cages,” *Aquaculture*, vol. 15, no. 3, pp. 273–287, 1978.
- [17] Samad, A. P. A., Hua, N. F. and Chou, L. M., “Effects of stocking density on growth and feed utilization of grouper (*Epinephelus coioides*) reared in recirculation and flow-through water system,” *African Journal of Agricultural Research*, vol. 9, no. 9, pp. 812–822, 2014.
- [18] Doan, X. D. and Huong, H. K., “The impact of stocking density on the growth performance and survival rates of hybrid grouper juveniles (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) reared in composite tanks,” *International Journal of Aquatic Biology*, vol. 13, no. 5, pp. 9–17, 2025.
- [19] Trần Quang Đại, Đoàn Xuân Nam, Trần Thị Lê Trang, Ngô Văn Mạnh, Vũ Trọng Đại, Nguyễn Văn Hữu, Trần Văn Dũng, “Ảnh hưởng của khẩu phần cho ăn lên sinh trưởng, tỷ lệ sống và hiệu quả sử dụng thức ăn của cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus* Linnaeus, 1766) giai đoạn giống,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên*, 232(01): 278-287 vol. 232, no. 1, pp. 278-287, 2026.

- [20] Ngô Văn Mạnh, Ngô Chí Dũng, Trần Văn Dũng, Lê Minh Hoàng, “Ảnh hưởng của tần suất cho ăn lên kết quả ương cá khế vằn (*Gnathanodon speciosus* Forsskal, 1775) giai đoạn giống,” *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, no. 2, pp. 77–86, 2023.
- [21] Ngô Văn Mạnh, Trần Văn Dũng, Lại Văn Hùng, “Ảnh hưởng của mật độ ương lên sinh trưởng, tỷ lệ sống của cá chim vây vàng (*Trachinotus blochii*) giai đoạn giống,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, no. 15, pp. 55–59, 2014.
- [22] Ngô Văn Mạnh, Lại Văn Hùng, Hoàng Thị Thanh, “Ảnh hưởng của mật độ ương đến sinh trưởng, tỷ lệ sống của cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus* Linnaeus, 1766) từ giai đoạn ấu trùng lên cá giống,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Bản B*, vol. 59, no. 10, pp. 33–36, 2017.
- [23] Sabate, F. S., Sakakura, Y., Shiozaki, M. and Hagiwara, A., “Onset and development of aggressive behavior in the early life stages of the seven-band grouper *Epinephelus septemfasciatus*,” *Aquaculture*, vol. 290, no. 1–2, pp. 97–103, 2009.
- [24] Trần Quang Đại, Phan Trọng Phú, Đoàn Xuân Nam, Nguyễn Đắc Kiên, Đặng Trung Thành, Trần Văn Dũng, “Tối ưu hóa tần suất cho ăn nhằm cải thiện sinh trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn và độ đồng đều của cá hồng Mỹ (*Sciaenops ocellatus*) giai đoạn giống,” *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, no. 2, pp. 62–74, 2026.
- [25] Boo, M. S. and Lee, C. H., “Preventive Management of Cannibalism by Size-Grading in Juvenile Red-Spotted Grouper (*Epinephelus akaara*),” *Aquaculture, Fish and Fisheries*, vol. 6, no. 2, 2026.
- [26] Ngô Văn Mạnh, Hoàng Thị Thanh, Trần Văn Dũng, “Tỷ lệ dị hình ở một số loài cá biển trong các trại sản xuất giống tại Khánh Hòa,” *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, no. 4, pp. 139–153, 2024.
- [27] Nguyễn Anh Hiếu, Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Hữu Ninh, Phạm Quốc Hùng, “Ảnh hưởng của khẩu phần và tần suất cho ăn đến kết quả ương giống cá song da báo *Plectropomus leopardus*,” *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, no. 4, pp. 48–58, 2024.