

ƯỚC LƯỢNG NGUỒN DINH DƯỠNG (C và N) CHO TĂNG TRƯỞNG CỦA TÔM THẺ XANH *Litopenaeus stylirostris* VÀ CÁ DÌA *Siganus lineatus* TRONG NUÔI GHÉP SỬ DỤNG CÁC ĐỒNG VỊ BỀN CARBON ($\delta^{13}C$) VÀ NI TƠ ($\delta^{15}N$)

ESTIMATING NUTRIENT SOURCES (C and N) FOR THE GROWTH OF BLUE SHRIMP *Litopenaeus stylirostris* AND GOLDFINED RABBITFISH *Siganus lineatus* IN A POLYCULTURE USING STABLE ISOTOPE OF CARBON ($\delta^{13}C$) AND NITROGEN ($\delta^{15}N$)

Lương Công Trung

Viện Nuôi trồng thủy sản, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Lương Công Trung (email: trunglc@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 06/04/2021; Ngày phản biện thông qua: 28/05/2021; Ngày duyệt đăng: 29/06/2021

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được tiến hành nhằm (1) xác định tăng trưởng của tôm thẻ xanh và cá dìa và (2) ước lượng sự đóng góp dinh dưỡng (carbon và nitơ) của các nguồn thức ăn cho tăng trưởng của tôm thẻ xanh và cá dìa trong hệ thống nuôi ghép tôm-cá dìa. Thí nghiệm được thực hiện 12 tuần, trong 12 bể composite tròn, ngoài trời (1,7 m², thể tích nước 1275 L). Tôm (2,9 g/con) được thả ngẫu nhiên ở mật độ 15 con.m⁻², không có cá (đối chứng), với cá dìa (25,5 g/con) ở mật độ thấp 1,2 con.m⁻² (LDRB) và mật độ cao 2,4 con.m⁻² (HDRB). Kết quả cho thấy thả ghép cá dìa không ảnh hưởng đến tăng trưởng của tôm thẻ xanh. Kết thúc thí nghiệm, năng suất tôm và cá dìa kết hợp tăng 48,8% ở LDRB và 106,2 % ở HDRB so với năng suất tôm ở đối chứng, đồng thời hệ số thức ăn giảm tương ứng 32,8% và 51,5% ở LDRB và HDRB. Thức ăn viên là nguồn nitơ chính và hệ thức ăn tự nhiên là nguồn thứ hai cho cả tôm thẻ xanh và cá dìa. Trong khi đó, hệ thức ăn tự nhiên là nguồn carbon chính và thức ăn viên là nguồn thứ cấp cho cả hai loài. Thức ăn viên đóng góp 70 - 85% nitơ và 29 - 40% carbon cho tăng trưởng của tôm thẻ xanh và phần còn lại lấy từ hệ thức ăn tự nhiên.

Từ khóa: Nuôi ghép, tôm thẻ xanh, cá dìa, sản xuất kết hợp, đồng vị bền

ABSTRACT

This study was conducted to (1) determine the growth of blue shrimp and rabbitfish and (2) estimate the nutritional contribution (carbon and nitrogen) of the feed sources to the growth of shrimp and fish in the shrimp-fish polyculture system. The experiment was carried out for 12 weeks, in 12 circular composite outdoor tanks (1.7 m², 1275 L water volume). Shrimp (2.9 g) were randomly stocked at density of 15 shrimp.m⁻² without rabbitfish (control), with rabbitfish (25.5 g) at low density (1.2 fish.m⁻²) (LDRB) and high density (2.4 fish.m⁻²) (HDRB). The results showed that adding of rabbitfish did not affect the growth of blue shrimp. At the end of the experiment, the yield of shrimp and rabbitfish combined increased 48.8% in LDRB and 106.2% in HDRB compared to the yield of shrimp in the control, and the feed conversion ratio decreased by 32.8% and 51.5% in LDRB and HDRB, respectively. The pellet feed is the primary source of nitrogen and the natural biota is the second source for both shrimp and rabbitfish. Meanwhile, the natural biota is the main carbon source and pellet feed is the secondary source for both species. The pellets contribute 70 - 85% nitrogen and 29 - 40% carbon to shrimp growth and the remainder is derived from the natural biota.

Keywords: Polyculture, blue shrimp, goldlined rabbitfish, integrated production, stable isotope

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giảm tác động xấu đến môi trường từ các hoạt động nuôi trồng thủy sản và duy trì chất lượng môi trường tốt trong ao nuôi là những vấn đề then chốt để đảm bảo tính bền vững

của nghề nuôi thủy sản (Troell et al., 2003). Phương pháp khả thi đã được áp dụng rộng rãi là nuôi ghép và nuôi kết hợp (Casalduero, 2001). Trong ao nuôi ghép, các loài động vật nuôi phân bố ở các tầng nước khác nhau và có

tập tính ăn khác nhau, do đó có thể tận dụng thức ăn có sẵn trong ao hiệu quả hơn nuôi đơn (Yuan et al., 2010). Những lợi ích của việc nuôi ghép như đã được xác định bao gồm giảm thiểu tác động sinh thái và cải thiện năng suất và chất lượng môi trường nước trong hệ thống nuôi (Yuan et al., 2010; Bosma và Verdegem, 2011).

Nuôi ghép tôm với các loài thủy sản khác, như cá măng (*Chanos chanos*), cá dôi (*Mugil cephalus*, *Liza tade*, *L. parsia*) (Biswas et al., 2012), cá rô phi (*Oreochromis niloticus*, *Oreochromis sp.*) (Yuan et al., 2010), nhuyễn thể (Martínez-Córdova và Matínez-Porchas, 2006), hải sâm (*Holothuria scabra*) (Bell et al., 2007), rong biển (*Kappaphycus alvarezii*) (Lombardi et al., 2006), cá rô phi và nhuyễn thể (Tian et al., 2001) đã được thực hiện với mục đích tăng tổng sản lượng và kiểm soát chất lượng nước. Mặt khác, hoạt tính kháng khuẩn chống lại vi khuẩn phát sáng và vi khuẩn gram âm được tìm thấy trong chất nhầy của một số loài cá như cá mú, cá rô phi, cá măng, cá chêm và cá dĩa (Tendencia, 2006 a, b). Sự hiện diện của các loài này ức chế phát triển của vi khuẩn phát sáng và ảnh hưởng tốt đến tỷ lệ sống của tôm (Tendencia, 2006b). Trong số những loài này, cá dĩa là loài ăn thực vật, có thể là loài thích hợp để nuôi ghép với tôm (Tendencia, 2006a).

Trong hệ thống nuôi ghép, chỉ sự kết hợp thích hợp giữa các loài nuôi khác nhau về sinh thái với mật độ nuôi phù hợp sẽ sử dụng hiệu quả các nguồn thức ăn sẵn có, tối đa hóa các mối quan hệ hỗ trợ giữa cá - cá và môi trường - cá và giảm thiểu các mối quan hệ đối kháng (Milstein, 1992; Bosma và Verdegem, 2011). Tương tác hỗ trợ giữa các loài nuôi có thể được giải thích trên cơ sở hai quá trình liên quan với nhau: tăng nguồn thức ăn và cải thiện điều kiện môi trường. Tương tác đối kháng xảy ra khi tổ hợp loài không tương thích và tỷ lệ thả giống không cân bằng. Việc thả chung các loài cá có tính ăn khác nhau cho phép sử dụng hiệu quả hơn nguồn thức ăn trong ao, bằng cách phân bổ áp lực kiếm ăn giữa các tầng sinh thái cùng với mức độ ăn khác nhau giữa các loài, đồng thời tận dụng chất thải của loài này làm thức ăn cho loài khác (Milstein, 1992; Yuan et al., 2010). Tuy nhiên, sự cạnh tranh giữa các loài

khác nhau về mặt sinh thái xảy ra ở mật độ nuôi cao khiến nguồn thức ăn sẵn có bị cạn kiệt hoặc môi trường bị ảnh hưởng bất lợi (Milstein, 1992). Nuôi ghép có thể cải thiện khả năng thu hồi chất dinh dưỡng trong ao miễn là tầng ăn của các loài khác nhau chỉ chồng lên nhau một phần và sự đối kháng giữa các loài rất ít (Bosma và Verdegem, 2011). Lý tưởng nhất là các loài đồng nuôi chiếm các tầng ăn khác nhau và có tập tính ăn khác nhau hoặc bổ sung cho nhau, do đó có thể sử dụng thức ăn có sẵn trong ao hiệu quả hơn nuôi đơn (Yuan et al., 2010).

Kỹ thuật phân tích đồng vị bền cung cấp một công cụ hữu ích để nghiên cứu chuỗi thức ăn tự nhiên trong các hệ sinh thái trên cạn và dưới nước. Đồng vị bền carbon (δC^{13}) được sử dụng để làm sáng tỏ nguồn và các đường chuyển chất hữu cơ đến sinh vật tiêu thụ và đồng vị bền nitơ (δN^{15}) được sử dụng để làm rõ vị trí bậc dinh dưỡng của sinh vật trong chuỗi thức ăn (Yokoyama et al., 2002). Dấu vết đồng vị trong sinh vật tiêu thụ phản ánh các dấu vết đồng vị của vật chất được đồng hóa và đưa ra sự tích hợp của việc kiếm ăn theo thời gian (Peterson và Fry, 1987). Trong nuôi trồng thủy sản, phân tích đồng vị bền ngày càng được sử dụng rộng rãi để xác định những đóng góp tương đối của thức ăn (quần xã sinh vật) tự nhiên và thức ăn bổ sung đối với dinh dưỡng của động vật nuôi (Anderson et al., 1987; Lochmann và Philipps, 1996). Anderson et al. (1987) ước tính sự đóng góp của hệ sinh vật trong ao và thức ăn bổ sung vào nguồn carbon tăng trưởng của tôm thẻ chân trắng (1,5 g), được nuôi trong đăng lưới (20 con/m²) đặt trực tiếp trên lớp bùn đáy ao, bằng cách sử dụng thức ăn với các tỷ lệ δC^{13} khác nhau. Các tác giả ghi nhận rằng thức ăn bổ sung cung cấp 23 đến 47% carbon tăng trưởng cho tôm và 53 đến 77% carbon tăng trưởng của tôm từ quần thể sinh vật trong ao.

Trong thí nghiệm này, cá dĩa *Siganus lineatus* được thả ghép vào bể nuôi tôm thẻ xanh *Litopenaeus stylirostris* nhằm đánh giá tăng trưởng của tôm và cá dĩa khi thả nuôi ghép trong hệ thống nuôi thâm canh, xác định nguồn dinh dưỡng carbon và –nitơ đồng thời ước lượng sự đóng góp tương đối của các nguồn dinh dưỡng tiềm năng đến tăng trưởng của tôm và cá dĩa.

Việc xác định và ước lượng dựa trên phân tích các đồng vị bền (δC^{13} và δN^{15}) của thức ăn viên, chất hữu cơ hạt (POM), chất hữu cơ trầm tích (SOM) (các nguồn thức ăn tiềm năng); của tôm và cá dĩa (sinh vật tiêu thụ). Kết quả nghiên cứu giúp tối ưu hóa việc xác định tỷ lệ thả giống giữa các loài nuôi ghép và quản lý cho ăn.

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

1. Đối tượng và vật liệu nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: tôm thẻ xanh *L. stylirostris* và cá dĩa *S. lineatus* giai đoạn nuôi thương phẩm. Tôm được sản xuất trong trại giống và ương nuôi trong ao đất đến cỡ > 2,5 g. Cá dĩa được sản xuất trong trại giống và ương nuôi trong bể có kích cỡ > 24 g. Tôm và cá giống thí nghiệm được chọn ngẫu nhiên, kích cỡ đồng đều, trạng thái cơ thể tốt, hoạt động mạnh, cơ thể toàn vẹn, không bị trầy xước, không biểu hiện dấu hiệu bệnh.

- Địa điểm: Thí nghiệm được tiến hành tại Trạm Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản Saint-Vincent, New Caledonia (21°58'S, 165°57'E).

2. Hệ thống thí nghiệm

Hệ thống bao gồm 12 bể (mesocosm) composit tròn, đặt ngoài trời, thể tích 1600 L (1,7 m² và cao 109,5 cm). Bùn đất trầm tích (dạng sét, cát, chất lắng đọng, hàm lượng hữu cơ 1,2%) lấy từ ao đất nuôi tôm gần khu vực thí nghiệm được trộn đều và rải đều trong tất cả bể một lớp dày 20 cm. Bể được trang bị ống đứng thoát nước ở giữa và đá bọt sục khí hình cầu, đường kính 4 cm treo cách tâm đáy bể 10 cm. Bể được cấp đầy nước biển, sau khi bơm qua ao lắng và lọc cát, 1 tuần trước khi thí nghiệm. Nước được thay hàng ngày qua van cấp nước vào và ra liên tục, khoảng 10% lượng nước trong bể và mực nước duy trì ở 75 cm với thể tích 1275 L. Bể được sục khí liên tục trong quá trình thí nghiệm.

3. Bố trí thí nghiệm

Tôm giống (2,9 ± 1,1 g) được chọn và thả ngẫu nhiên vào các bể thí nghiệm với mật độ 15 con/m² (26 con/bể). Sau 4 tuần, cá dĩa (25,5 ± 2,9 g, 11,2 ± 0,4 cm) được thả vào bể nuôi tôm ở mật độ 1,2 con/m² (2 con/bể) (thí nghiệm thức (NT): LDRB) và mật độ 2,4 con/m² (4 con/bể) (NT: HDRB). Bốn bể chỉ nuôi tôm được sử

dụng làm đối chứng. Tất cả các thí nghiệm thức được phân bố ngẫu nhiên giữa các bể với 4 lần lặp cho mỗi thí nghiệm thức. Tôm trong tất cả các bể được cho ăn như nhau bằng thức ăn viên công nghiệp (35-40% protein, SICA), 2 lần mỗi ngày vào 8:00 giờ và 16:00 giờ, với tỷ lệ cho ăn 3 – 4,5% sinh khối tôm/ngày trong quá trình thí nghiệm. Lượng thức ăn được điều chỉnh bằng cách sử dụng sàng cho ăn (Ø: 30 cm) đặt trong các bể đối chứng theo định kỳ 7 ngày. Mức tiêu thụ thức ăn trong sàng được quan sát chặt chẽ để xác định và điều chỉnh khẩu phần thức ăn (Salame, 1993). Lượng thức ăn tương tự như ở các bể đối chứng được áp dụng cho tất cả các bể nuôi ghép. Cá dĩa không được cho ăn bổ sung sau khi thả vào bể thí nghiệm. Thí nghiệm kéo dài 12 tuần tính từ khi thả giống tôm.

4. Xác định các thông số tăng trưởng

Vào lúc thả giống, 30 mẫu tôm được lấy ngẫu nhiên và cân từng cá thể bằng cân điện tử chính xác đến 0,1 g. Tất cả cá lúc thả và thu hoạch cũng như tất cả tôm thu hoạch trong mỗi bể được đếm và cân riêng từng cá thể chính xác đến 0,1 g và tổng chiều dài cơ thể cá (TL) được đo chính xác đến 0,1 cm bằng thước kỹ thuật. Tăng trưởng của tôm và cá được đánh giá khi thu hoạch, gồm tỷ lệ sống (SR), tốc độ tăng trưởng tuyệt đối (DWG), tốc độ tăng trưởng đặc trưng (SGR) và năng suất.

$SR (\%) = \text{Số lượng thu hoạch} / \text{Số lượng thả} * 100$

$DWG (g/d) = (W_f - W_i) (g) / \text{Thời gian (ngày)}$

$SGR (\%/d) = (Ln W_f - Ln W_i) * 100 / \text{Thời gian (ngày)}$

$\text{Năng suất (g/m}^2\text{)} = \text{sinh khối thu hoạch (g)} / \text{diện tích bể nuôi (m}^2\text{)}$

trong đó W_i : khối lượng trung bình ban đầu (g), W_f : khối lượng trung bình cuối (g)

Hệ số thức ăn cho tôm:

$FCRs = \text{Tổng lượng thức ăn sử dụng (khô, g)} / \text{tăng trọng của tôm (tươi, g)}$

Hệ số thức ăn tổng thể:

$FCRs_f = \text{Tổng lượng thức ăn sử dụng (khô, g)} / \text{tổng tăng trọng tôm và cá (tươi, g)}$

5. Xác định một số yếu tố môi trường

Nhiệt độ nước và hàm lượng oxy hòa tan (DO) được đo hai lần mỗi ngày (07:30 giờ và 15:00 giờ) ở độ sâu giữa bể bằng máy đo

OxyGuard (Handy Polaris, Birkerød, Đan Mạch). Độ mặn, độ đục và pH được đo 3 lần/tuần (lúc 8:00 giờ) bằng khúc xạ kế (Cond 3210, Welheim, Đức); máy đo độ đục (TN-100, Eutech Instruments, Singapore) và máy đo pH (pH 197i, Welheim, Đức), theo thứ tự tương ứng. Vào ngày trước khi thả cá và mỗi tuần một lần sau đó, mẫu nước (2 L) được thu thập trong tất cả các bể (lúc 8:00 giờ) ở độ sâu trung bình và được lọc qua giấy lọc GF/C Whatman (Ø 47 mm, nung trước ở 450°C, 4 giờ). Nước lọc dùng phân tích hàm lượng amoni tổng số (TAN) ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$) (Koroleff, 1976), photpho hoạt hóa (SRP) (Murphy và Riley, 1962). Nitrit và nitrat ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) (Wood et al., 1967) và tổng lượng nitơ hòa tan (TDN) (Raimbault et al., 1999) được ước tính 2 tuần/lần. Nitơ hữu cơ hòa tan (DON) được biểu thị bằng sự sai khác giữa tổng lượng nitơ hòa tan và tổng lượng nitơ vô cơ hòa tan [$(\text{NH}_4 + \text{NH}_3) + (\text{NO}_2 + \text{NO}_3)$]. Chlorophyll a (Chl-a) được phân tích bằng phương pháp fluorometric (Holm-Hansen et al. (1965).

6. Phân tích đồng vị bền C và N

Các đồng vị bền C và N trong thức ăn viên, chất hữu cơ hạt (Particulate Organic Matter, POM) và chất hữu cơ trầm tích (Sediment Organic Matter, SOM) được phân tích khi bắt đầu thí nghiệm, sau một tháng và một ngày trước khi kết thúc thí nghiệm. POM được lọc từ mẫu nước (trên giấy lọc Whatman GF/F Ø 47mm, nung trước ở 350°C, 4 giờ) một ngày trước khi thả tôm và thả cá (1,5 L) và khi kết thúc thí nghiệm (0,5 L). Giấy lọc sau đó được sấy khô ở 60°C trong 24 giờ và bảo quản trong điều kiện tối cho đến khi phân tích các đồng vị bền C và N. Chất đáy được thu từ lõi sâu 1cm sử dụng ống xy-ranh 50 ml ở ba điểm khác nhau và sau đó trộn lẫn nhau để tạo mẫu phân tích SOM cho mỗi bể. Các mẫu SOM được đông lạnh cho đến khi phân tích. Khi thả giống, 3 mẫu (con) tôm và 3 mẫu cá được lấy ngẫu nhiên và khi thu hoạch 1 mẫu tôm và 1 mẫu cá/mỗi bể được lấy ngẫu nhiên; các mẫu được đông lạnh (- 20°C) cho đến khi phân tích. Các mẫu POM và SOM được chia thành hai mẫu phụ. Một mẫu được axit hóa bằng dung dịch HCl 1% và được sấy khô ở 60°C trong 24 giờ để phân tích đồng vị carbon (Jacob et al., 2005). Mẫu còn lại không bị axit hóa dùng để phân tích đồng vị

nitơ. Mô cơ của các mẫu tôm và cá được làm sạch, đông khô và nghiền thành bột mịn. Trên mỗi mẫu, lấy 3 mẫu nhỏ (1 mg) phân tích và tính giá trị trung bình. Tỷ lệ $\text{C}^{13}/\text{C}^{12}$ và $\text{N}^{15}/\text{N}^{14}$ trong mẫu được phân tích bằng phương pháp khối phổ tỷ lệ đồng vị dòng liên tục. Máy đo phổ (máy phân tích đồng vị bền vững ANCA-NT 20-20 của Europa Scientific với mô-đun chuẩn bị rắn/lỏng ANCA_NT; Europa Scientific, Crewe, U.K.) được vận hành ở chế độ đồng vị kép. Độ chính xác phân tích là 0,2 ‰ đối với cả C và N, ước tính từ chất chuẩn được phân tích cùng với các mẫu. Các chất chuẩn nội là 1mg leucine được hiệu chỉnh dựa trên ‘Europa flour’ và tiêu chuẩn IAEA N1 và N2 (Scrimgeour và Robinson, 2003). Tỷ lệ đồng vị được biểu thị bằng phần nghìn hoặc phần nghìn (‰) sai khác so với chuẩn đã cho, và được tính theo công thức:

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{Mẫu}}/R_{\text{chuẩn}}) - 1] * 1000$$

trong đó X là C^{13} hoặc N^{15} ; R là tỷ lệ tương ứng, $\text{C}^{13}/\text{C}^{12}$ hoặc $\text{N}^{15}/\text{N}^{14}$ và δ là số đo của đồng vị nặng đến nhẹ trong mẫu. Tham chiếu tiêu chuẩn quốc tế đối với carbon là Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) và N_2 khí quyển đối với nitơ.

Hệ số phân đoạn được tính toán theo phương trình: $\Delta d = \delta t - \delta d$ (Hobson và Clark, 1992), trong đó δt là dấu vết đồng vị của mô cơ tôm/cá và δd của là dấu vết đồng vị của nguồn thức ăn.

Sự đóng góp tương đối của thức ăn tự nhiên và thức ăn viên đối với carbon tăng trưởng của động vật được xác định theo phương trình của Anderson et al. (1987).

$W_p/W_f = (\delta f - \delta g)/(\delta g - \delta p)$, trong đó W_p là khối lượng thu được do hệ thức ăn tự nhiên, W_f là khối lượng thu được từ thức ăn viên; δp, δf và δg lần lượt là các giá trị δC^{13} của hệ sinh vật ao, thức ăn và sự tăng trưởng. δg được tính từ phương trình:

$\delta g = (W_t \delta t - W_i \delta i)/W_g$ trong đó δt, δi là các giá trị δC^{13} của mô động vật cuối và đầu. W_t , W_i và W_g là khối lượng trung bình thu hoạch, khối lượng ban đầu và khối lượng gia tăng.

Tỷ lệ của một loại thức ăn cụ thể đóng góp vào nitơ tăng trưởng của động vật được tính toán bằng cách sử dụng “mô hình phối hợp” theo Tiunov (2007).

$X = (\delta t - \delta B)/(\delta A - \delta B)$ trong đó δt, δA và δB lần lượt là dấu vết đồng vị δN^{15} của mô

động vật và nguồn thức ăn A và B. X là tỷ lệ nguồn thức ăn A trong khẩu phần.

7. Phân tích thống kê

Tất cả dữ liệu được kiểm tra phân bố chuẩn (kiểm định Kolmogorov-Smirnov) và tính đồng nhất của phương sai (HOV, kiểm định Brown Forsythe), và được phân tích thống kê bằng one-way ANOVA với phần mềm IBM SPSS phiên bản 16.0; sự khác biệt có thể có giữa các dữ liệu được kiểm định bằng Duncan's multiple range tests. Dữ liệu phần trăm được biến đổi arcsine trước khi phân tích thống kê và dữ liệu không chuyển đổi được trình bày trong bảng. So sánh thống kê dữ liệu giữa các nghiệm thức được thực hiện cho các giá trị trung bình tổng thể. Kiểm định phi tham số (Kruskal-Wallis, H test) và Tamhane's T2 (Post-hoc, one-way ANOVA) được sử dụng khi dữ liệu phân bố không chuẩn hoặc các phương sai không đồng nhất.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

1. Các yếu tố môi trường trong hệ thống thí nghiệm

Giá trị trung bình và xu hướng biến thiên theo thời gian (không được hiển thị) về nhiệt độ, DO, độ mặn và pH tương tự nhau đối với tất cả các nghiệm thức. Độ mặn và pH lần lượt dao động từ 36 đến 36,1 và từ 8,1 đến 8,2. Nhìn chung, các yếu tố môi trường dao động trong phạm vi thích hợp cho sự phát triển của tôm và cá địa (Bảng 1). Độ đục trung bình và Chl - a không khác biệt có ý nghĩa ($P > 0,05$) giữa các nghiệm thức (Bảng 1). Ngoại trừ SRP, nồng độ chất dinh dưỡng (TDN, TAN, DON) tương tự ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 1). Nồng độ SRP trung bình cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) ở nghiệm thức LDRB so với ở nghiệm thức HDRB và đối chứng.

Bảng 1: Các thông số môi trường trong hệ thống thí nghiệm

	Nghiệm thức		
	Đối chứng	LDRB	HDRB
T (07:30) (°C)	23,0 ± 0,3 (18,5 - 28,2)	23,1 ± 0,1 (18,9 - 28,0)	23,0 ± 0,2 (18,0 - 28,1)
T (15:00) (°C)	27,4 ± 0,3 (22,4 - 31,7)	27,3 ± 0,1 (22,5 - 31,4)	27,3 ± 0,4 (22,1 - 32,8)
DO (07:30) (mg.L ⁻¹)	5,8 ± 0,3 (3,1 - 7,6)	5,6 ± 0,2 (2,4 - 7,6)	5,6 ± 0,1 (2,9 - 7,4)
DO (15:00) (mg.L ⁻¹)	10,4 ± 0,7 (6,4 - 15,3)	10,3 ± 0,1 (6,3 - 15,0)	10,6 ± 0,2 (7,1 - 16,1)
pH (n = 24)	8,2 ± 0,0	8,1 ± 0,0	8,1 ± 0,0
Độ mặn (n = 24)	36,5 ± 0,1	36,4 ± 0,1	36,5 ± 0,1
Độ đục (NTU) (n = 24)	6,6 ± 1,3 ^a	7,1 ± 1,7 ^a	8,7 ± 2,3 ^a
Chlorophyll a (µg.L ⁻¹) (n = 9)	28,5 ± 15,3 ^a	18,3 ± 4,3 ^a	20,7 ± 4,5 ^a
TAN (µM) (n = 9)	0,96 ± 0,70 ^a	1,84 ± 1,35 ^a	1,83 ± 1,05 ^a
SRP (µM) (n = 9)	0,16 ± 0,07 ^b	0,26 ± 0,04 ^a	0,17 ± 0,03 ^b
TDN (µM) (n = 5)	21,45 ± 2,1 ^a	26,08 ± 4,27 ^a	26,41 ± 5,07 ^a
(NO ₂ +NO ₃)-N (µM) (n = 5)	0,20 ± 0,04 ^a	0,19 ± 0,06 ^a	0,25 ± 0,08 ^a
DON (µM) (n = 5)	20,55 ± 2,15 ^a	23,65 ± 1,94 ^a	23,06 ± 3,40 ^a

Giá trị trong ngoặc là thấp nhất - cao nhất. Số liệu biểu diễn giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn.
Giá trị trung bình trong cùng hàng có chữ cái trên khác nhau là sai khác có ý nghĩa ($P < 0,05$).

Nhiệt độ sinh trưởng thích hợp cho tôm thẻ xanh (*L. Stylirostris*) khoảng 20 – 30°C và nhiệt độ tối ưu ở 28°C (Bondad-Reantaso et al., 2005). Díaz et al. (2004) nhấn mạnh rằng sự sốc nhiệt đối với tôm sẽ tăng lên khi nhiệt độ giảm hoặc tăng xa nhiệt độ tối ưu, 28°C. Wabete et al.. (2008) ghi nhận giới hạn thấp của nhiệt độ đối với tôm thẻ xanh là 20 - 22°C, và ở nhiệt độ này tôm có thể bị sốc nhiệt. Trong thí nghiệm này, nhiệt độ nước dao động trên nửa dưới của khoảng nhiệt độ thích hợp đối với tôm thẻ xanh, thậm chí nhiệt độ buổi sáng vào các tuần đầu thí nghiệm còn thấp hơn giới hạn thấp của khoảng nhiệt độ thích hợp. Điều này có thể ảnh hưởng xấu đến tốc độ tăng trưởng, tỷ lệ sống và tỷ lệ chuyển đổi thức ăn của tôm thí nghiệm (Wyban et al., 1995). pH nước thay đổi trong khoảng nhỏ và thích hợp (8,1- 8,2) đối với sức khỏe và sự tăng trưởng của tôm và cá ở tất cả các nghiệm thức (Lemonnier et al, 2004). Trong quá trình thí nghiệm, hàm lượng DO dao động trong phạm vi thích hợp đối với nhu cầu của tôm

thẻ xanh và cá địa, và cũng có thể cung cấp cho các quá trình sinh hóa trong tất cả các bể nuôi (Boyd, 1998; Lazur, 2007).

2. Sự tăng trưởng của tôm và cá địa

Khối lượng trung bình cuối của tôm, tỷ lệ sống (SR), tốc độ tăng trưởng tuyệt đối (DWG), tốc độ tăng trưởng đặc trưng (SGR) và năng suất khác biệt không có ý nghĩa ($P > 0,05$) giữa các nghiệm thức. Sự khác biệt về SR của tôm và năng suất giữa các lần lặp của mỗi nghiệm thức giảm từ nghiệm thức (NT) đối chứng sang HDRB. Cá địa đạt tỷ lệ sống 100% trong các nghiệm thức nuôi ghép. Khối lượng trung bình cuối của cá địa, DWG và SGR tương tự nhau giữa LDRB và HDRB (Bảng 2). Năng suất cá địa cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) ở nghiệm thức HDRB so với LDRB. Tổng năng suất tôm và cá địa ở nghiệm thức HDRB cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với nghiệm thức LDRB và tổng năng suất ở các nghiệm thức nuôi ghép lớn hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với năng suất tôm ở nghiệm thức đối chứng (Bảng 2).

Bảng 2: Tăng trưởng của tôm và cá địa ở nuôi đơn và nuôi ghép với mật độ cá địa khác nhau

	Nghiệm thức		
	Đối chứng	LDRB	HDRB
Tôm			
Khối lượng cuối (g)	14,0 ± 0,33 ^a	13,4 ± 0,43 ^a	13,9 ± 0,73 ^a
DWG (g.d ⁻¹)	0,13 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^a
SGR (%.d ⁻¹)	1,89 ± 0,03 ^a	1,83 ± 0,04 ^a	1,88 ± 0,06 ^a
SR (%)	66,3 ± 10,3 ^a	71,2 ± 6,6 ^a	80,8 ± 3,5 ^a
Năng suất (g.m ⁻² .84d ⁻¹)	143,2 ± 12,3 ^a	145,4 ± 12,4 ^a	170,3 ± 13,5 ^a
FCRs	2,5 ± 0,3 ^a	2,4 ± 0,3 ^a	2,2 ± 0,4 ^a
Cá			
Khối lượng cuối (g)		57,5 ± 11,4 ^a	53,1 ± 6,5 ^a
DWG (g.d ⁻¹)		0,58 ± 0,11 ^a	0,50 ± 0,04 ^a
SGR (%.d ⁻¹)		1,44 ± 0,20 ^a	1,33 ± 0,07 ^a
Năng suất (g.m ⁻² .55d ⁻¹)		67,7 ± 6,75 ^a	125,0 ± 7,69 ^b
Tôm + cá			
Năng suất (g.m ⁻²)	143,2 ± 12,3 ^a	213,1 ± 17,2 ^b	295,3 ± 12,2 ^c
FCRs ^f	2,5 ± 0,3 ^a	1,7 ± 0,2 ^b	1,2 ± 0,2 ^c

Số liệu biểu diễn giá trị trung bình ± sai số chuẩn.
Giá trị trung bình trong cùng hàng có chữ cái trên khác nhau là sai khác có ý nghĩa ($P < 0,05$).

Hệ số thức ăn của tôm (FCRs) khác biệt không có ý nghĩa ($P > 0,05$) giữa các nghiệm thức. Tuy nhiên, hệ số thức ăn tổng thể tính cả tôm và cá (FCRs_f) sai khác có ý nghĩa ($P < 0,05$) giữa các nghiệm thức, trong đó thấp nhất ở HDRB và cao nhất ở đối chứng (Bảng 2).

Hiệu suất tăng trưởng của tôm, bao gồm khối lượng trung bình cuối, DWG, SGR và SR khác biệt không ý nghĩa ($P > 0,05$) giữa các nghiệm thức nuôi ghép và đối chứng, cho thấy rằng sự hiện diện của cá địa không ảnh hưởng xấu đến tăng trưởng của tôm. Vấn đề ở nuôi ghép tôm với các loài cá là sự cạnh tranh thức ăn, do cá bơi nhanh hơn và có thể nhanh chóng chiếm lấy thức ăn và gián tiếp làm chậm sự tăng trưởng của tôm (García-Pérez et al., 2000; Yuan et al., 2010). Cá địa là loài ăn thực vật và sống theo đàn (Lam, 1974), ít biểu hiện hành vi cạnh tranh (Saoud et al., 2008) ngay cả khi được nuôi ở mật độ cao (Luong, 2018). Trong điều kiện nuôi nhốt, cá địa trở thành động vật ăn tạp cơ hội và có thể ăn nhiều loại thức ăn như thực vật thủy sinh, cá hoặc nhuyễn thể băm nhỏ, thức ăn chế biến và thức ăn viên (Lam, 1974). Tendencia et al. (2006a) cho rằng cá địa tiêu thụ thức ăn thừa, và do đó ngăn chặn sự suy thoái của môi trường trong hệ thống nuôi tôm. Trong nghiên cứu này, kết quả cho thấy cá địa đã ăn thức ăn viên cung cấp cho tôm và sự cạnh tranh thức ăn giữa 2 loài trong các nghiệm thức nuôi ghép chưa đến mức gây tác động xấu đến sự tăng trưởng và tỷ lệ sống của tôm. Tăng trưởng của tôm trong nghiên cứu này tương tự với kết quả được ghi nhận đối với tôm thẻ xanh được nuôi trong ao đất (0,14 - 0,16 g.d⁻¹; Lemonnier và Faninoz, 2006), nhưng thấp hơn so với tôm thẻ xanh được nuôi trong bể tuần hoàn (0,17 - 0,33 g.d⁻¹; Kumaraguru vasagam et al., 2009). Nhiệt độ thấp (Bảng 1) có thể là một trong những lý do có thể khiến tôm tăng trưởng chậm.

Sự biến động về tỷ lệ hao hụt của tôm quan sát được ở giữa các lần lặp của các nghiệm thức nuôi ghép thấp hơn ở nghiệm thức nuôi tôm đơn, có lẽ rằng hoạt động sống của cá địa đã có tác động nhất định đến sự ổn định của điều kiện môi trường và hoạt động sống của tôm. Tuy nhiên, giả thuyết này vẫn chưa được kiểm định chặt chẽ và cần được xác minh trong các thí nghiệm

tiếp theo. Tôm chết được quan sát, đặc biệt vào cuối thí nghiệm, khi mức độ phì dưỡng của hệ sinh thái cao nhất như đã xuất hiện trong các ao sản xuất (Lemonnier et al., 2006). Các thông số chất lượng nước tương tự nhau giữa các nghiệm thức và biến động trong phạm vi không có khả năng gây chết tôm (Bảng 1). Nồng độ TAN thấp hơn nhiều so với mức an toàn của amoni được khuyến nghị để nuôi tôm he, 4,26 mg.L⁻¹ (304,3 µM) TAN và 0,08 mg.L⁻¹ (5,7 µM) NH₃-N (Chen et al., 1990); hoặc đối với ao nuôi thương phẩm, NH₃-N < 0,15 mg.L⁻¹ (10,7 µM) (Lazur, 2007). Nồng độ (NO₂ + NO₃)-N cũng ở mức an toàn của nitrit để nuôi tôm he, 10,6 mg.L⁻¹ (757,1 µM) (Chen et al., 1990); hoặc đối với ao nuôi thương phẩm, 4,5 mg.L⁻¹ (321,4 µM) (Lazur, 2007).

Tăng trưởng của cá địa (DWG: 0,50 - 0,58 g.d⁻¹, SGR: 1,33 - 1,44%.d⁻¹) đã được cải thiện đáng kể so với kết quả nuôi đơn trong thí nghiệm của Luong (2018) (DWG: 0,08 - 0,11 g.d⁻¹, SGR: 0,98 - 1,16%.d⁻¹), có thể do nhiệt độ nước cao hơn, 22,5 - 26,4°C, trong nghiên cứu này so với thí nghiệm trước, 19,7 - 23,0°C. Cá địa là loài rộng nhiệt và chịu được sự thay đổi lớn của nhiệt độ (Lam, 1974). Khoảng nhiệt độ nước thích hợp để nuôi cá địa là 27 - 32°C (Duray, 1998; Saoud et al., 2008), và nhiệt độ tối ưu là 27°C, nhưng chúng ngừng ăn ở 14 và 36°C (Saoud et al., 2008). Kết quả thí nghiệm cho thấy cá địa (*Siganus lineatus*) có thể thích nghi với nhiệt độ thấp (khoảng 20°C, Bảng 1) và tốc độ tăng trưởng có thể nhanh chóng cải thiện khi nhiệt độ tăng trong phạm vi thích hợp.

Việc thả nuôi ghép cá địa vào bể nuôi tôm làm tăng tổng năng suất đáng kể so với nuôi tôm đơn, lần lượt là 48,8% và 106,2% ở nghiệm thức LDRB và HDRB so với năng suất tôm ở nghiệm thức đối chứng. Ngoài chi phí cá giống, các chi phí sản xuất khác không tăng thêm, cho thấy việc nuôi ghép các loài này có thể mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn. Hơn nữa, nuôi ghép cá địa làm giảm đáng kể FCR tổng thể lần lượt là 32,8% và 51,5% ở nghiệm thức LDRB và HDRB so với đối chứng, góp phần làm tăng lợi ích sản xuất và ngăn ngừa sự suy thoái môi trường do thức ăn thừa gây ra.

3. Xác định và ước lượng các nguồn dinh dưỡng C và N cho tăng trưởng của tôm và cá dìa

Cùng loại thức ăn viên được sử dụng cung cấp cho hệ thống nuôi trong suốt thí nghiệm, do đó giá trị các đồng vị δC^{13} , trung bình $-20,89 \pm 0,17 \text{ ‰}$ và δN^{15} , $12,31 \pm 0,34 \text{ ‰}$ tương tự nhau giữa các lần phân tích.

Vào đầu thí nghiệm, giá trị δC^{13} của chất hữu cơ hạt (POM) và chất hữu cơ trầm tích (SOM) khác biệt nhau có ý nghĩa ($P < 0,05$) và đều cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với thức ăn viên. Kết thúc thí nghiệm, giá trị δC^{13} của POM giảm ở tất cả các nghiệm thức, tuy nhiên, giá trị cuối thấp hơn không có ý nghĩa ($P > 0,05$) so với giá trị đầu và trở nên tương tự với giá trị δC^{13} của thức ăn viên ($P > 0,05$). Tương tự,

giá trị δC^{13} cuối của SOM giảm so với giá trị đầu ($P > 0,05$) ở mọi nghiệm thức (Bảng 3), tuy nhiên vẫn khác biệt có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với δC^{13} của thức ăn viên.

Giá trị δN^{15} đầu của POM và SOM khác biệt nhau có ý nghĩa ($P < 0,05$) và đều thấp hơn ($P < 0,05$) so với thức ăn viên. Trong quá trình thí nghiệm, giá trị POM δN^{15} tăng lên có ý nghĩa ($P < 0,05$) ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 3). Giá trị δN^{15} cuối của SOM cũng cao hơn giá trị đầu ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 4), nhưng chỉ ở nghiệm thức LDRB, sự tăng lên của SOM δN^{15} là có ý nghĩa ($P < 0,05$) (Bảng 3). Mặc dù giá trị δN^{15} của POM và SOM tăng lên trong thời gian thí nghiệm ở tất cả các nghiệm thức, giá trị cuối vẫn thấp hơn ý nghĩa ($P < 0,05$) so với giá trị δN^{15} của thức ăn viên.

Bảng 3: Giá trị các đồng vị bền (δC^{13} , δN^{15}) trong chất hữu cơ hạt (POM), chất hữu cơ trầm tích (SOM), tôm và cá dìa vào đầu và cuối thí nghiệm

	Ban đầu	Kết thúc		
		Đối chứng	LDRB	HDRB
POM $\delta^{13}C$	$-19,35 \pm 1,30^a$	$-19,61 \pm 0,51^a$	$-20,68 \pm 1,66^a$	$-19,91 \pm 2,25^a$
$\delta^{15}N$	$5,67 \pm 1,45^a$	$10,64 \pm 0,37^b$	$9,89 \pm 1,84^b$	$9,69 \pm 0,56^b$
SOM $\delta^{13}C$	$-17,70 \pm 0,57^a$	$-18,28 \pm 0,32^a$	$-17,98 \pm 0,45^a$	$-18,14 \pm 0,30^a$
$\delta^{15}N$	$6,99 \pm 1,39^a$	$7,67 \pm 0,00^{ab}$	$9,89 \pm 0,02^b$	$7,09 \pm 1,23^a$
Shrimp $\delta^{13}C$	$-13,37 \pm 0,09^a$	$-17,86 \pm 0,27^b$	$-17,81 \pm 0,78^b$	$-18,01 \pm 0,15^b$
$\delta^{15}N$	$10,11 \pm 0,11^a$	$11,87 \pm 0,45^b$	$11,95 \pm 0,18^b$	$11,53 \pm 0,41^b$
Rabbitfish $\delta^{13}C$	$-18,60 \pm 0,18^a$		$-17,79 \pm 0,51^b$	$-18,06 \pm 0,21^b$
$\delta^{15}N$	$13,49 \pm 0,35^a$		$13,49 \pm 0,26^a$	$13,26 \pm 0,25^a$

Các giá trị là trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn, diễn tả ở đơn vị ‰.

Giá trị trung bình trong cùng hàng có chữ cái trên khác nhau là sai khác có ý nghĩa ($P < 0,05$).

Khi thả giống, giá trị δC^{13} của tôm cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với giá trị δC^{13} của thức ăn viên, POM và SOM. Qua thời gian thí nghiệm, giá trị δC^{13} của tôm giảm đáng kể ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 3), trở nên khác biệt không có ý nghĩa ($P > 0,05$) so với giá trị δC^{13} cuối của SOM, nhưng vẫn cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với δC^{13} cuối của POM và thức ăn viên. Giá trị δC^{13} đầu của cá dìa cao hơn δC^{13} của thức ăn viên ($P < 0,05$) và của POM ($P > 0,05$), nhưng thấp hơn có ý nghĩa so với δC^{13} của SOM ($P < 0,05$) và tôm ($P < 0,05$), khi thả cá. Trong quá trình thí nghiệm, giá trị δC^{13} của

cá dìa tăng lên ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 3) và kết thúc thí nghiệm, giá trị δC^{13} của cá dìa khác biệt không ý nghĩa ($P > 0,05$) so với giá trị δC^{13} của tôm và SOM.

Lúc thả giống, giá trị δN^{15} của tôm thấp hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với δN^{15} của thức ăn viên và cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với giá trị δN^{15} đầu của POM và SOM. Qua thời gian thí nghiệm, giá trị δN^{15} của tôm tăng lên có ý nghĩa ở tất cả các nghiệm thức (Bảng 3). Ngoại trừ ở nghiệm thức HDRB, giá trị δN^{15} cuối của tôm khác biệt không có ý nghĩa ($P > 0,05$) so với δN^{15} của thức ăn viên. Giá trị δN^{15} đầu của

cá địa cao hơn có ý nghĩa ($P < 0,05$) so với giá trị δN^{15} của thức ăn viên, POM và SOM khi thả giống. Trong thời gian thí nghiệm, giá trị δN^{15} của cá địa gần như không thay đổi (Bảng 3).

Phân đoạn $\Delta \delta N^{15}$ POM-thức ăn viên thay đổi từ - 6,64 ‰ thành -1,67 - -2,63 ‰ (-2,24 ‰) và ΔC^{13} của POM-thức ăn viên giảm từ 1,54 ‰ lúc đầu xuống 0,21 - 1,28 ‰ (0,82 ‰) vào cuối thí nghiệm trong các nghiệm thức. Sự gia tăng các giá trị δN^{15} của POM trong suốt thí nghiệm và sự tương tự về giá trị δC^{13} giữa POM và thức ăn viên vào cuối thí nghiệm cho thấy rằng các biến thể đồng vị của POM có thể bị ảnh hưởng bởi các đồng vị của thức ăn viên. $\Delta \delta C^{13}$ của SOM-thức ăn viên giảm từ 3,19 ‰ lúc đầu xuống 2,61 - 2,91 ‰ (2,76 ‰) và $\Delta \delta N^{15}$ SOM-thức ăn viên thay đổi từ -5,32 ‰ lúc đầu thành -2,42 - -5,22 ‰ (-4,09 ‰) khi kết thúc thí nghiệm. Kết quả này cho thấy ảnh hưởng thấp của thức ăn viên lên các dấu vết đồng vị δC^{13} và δN^{15} của SOM.

Khi thu hoạch, $\Delta \delta C^{13}$ tôm-thức ăn viên từ 2,9 đến 3,1 ‰ (3,0 ‰), cao hơn $\Delta \delta C^{13}$ tôm-SOM, 0,12 - 0,42 ‰ (0,24 ‰), và $\Delta \delta C^{13}$ tôm-POM,

1,8 - 2,8 ‰ (2,17 ‰). Theo DeNiro và Epstein (1978), carbon mô động vật có xu hướng được làm giàu δC^{13} khoảng 1 ‰ (0,6 - 2,7 ‰) liên quan thức ăn. Kết quả phân tích qua hệ số phân đoạn ΔC^{13} cho thấy thức ăn viên không phải là nguồn C chính cho tăng trưởng của tôm, và SOM có thể là nguồn C thiết yếu cho tôm. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, đã ghi nhận rằng quần thể sinh vật tự nhiên, bao gồm SOM, là nguồn C chính cho sự phát triển của tôm (Anderson et al., 1987; Nunes et al., 1997; Burford et al., 2004). Tính toán sự đóng góp tương đối của các nguồn thức ăn tiềm năng đối với tăng trưởng C của tôm, SOM được chọn làm nguồn C chính bên cạnh thức ăn viên như một nguồn thứ cấp. Kết quả cho thấy thức ăn viên đóng góp 28,8 - 39,9% vào tăng trưởng C của tôm (Bảng 4), và phần còn lại là do hệ thức ăn (sinh vật) tự nhiên, 60,1-71,2%. Điều này cũng tương tự với kết quả của các nghiên cứu khác, cho thấy hệ sinh vật tự nhiên trong ao đóng góp 53 - 77% nhu cầu C cho sự tăng trưởng của tôm thẻ chân trắng (Anderson et al., 1987; Nunes et al., 1997).

Bảng 4: Tỷ lệ phần trăm đóng góp của C thức ăn vào khối lượng tăng trưởng của tôm

	đt (‰)	Wg (g)	đg (‰)	Wp/Wf	% đóng góp của thức ăn viên
LDRB	-17,81	10,5	-19,04	1,74	36,4
HDRB	-18,61	11,0	-19,23	1,51	39,9
Control	-17,86	11,1	-19,03	2,48	28,8

Dấu vết đồng vị bền của động vật tiêu thụ phản ánh các đồng vị của vật liệu thức ăn được đồng hóa và cung cấp sự tích hợp của thức ăn theo thời gian (Peterson và Fry, 1997; Jardin et al., 2003). Nitơ động vật tiêu thụ có xu hướng được làm giàu δN^{15} , trung bình 3,4 ‰ (- 0,5 - 9,2 ‰) liên quan thức ăn (DeNiro và Epstein, 1981; Minagawa và Wada, 1984). Khi thu hoạch, $\Delta \delta N^{15}$ tôm-thức ăn viên từ -0,78 đến - 0,36 ‰ (-0,53 ‰), $\Delta \delta N^{15}$ tôm-POM khoảng 1,23 - 2,06 ‰ (1,71 ‰) và ΔN^{15} tôm-SOM là 2,06 - 4,44 ‰ (3,56 ‰). Những dữ liệu này cho thấy thức ăn viên là một nguồn nitơ quan trọng và POM đại diện

như một nguồn nitơ thứ hai cho sinh trưởng của tôm. Mô hình phối hợp được sử dụng để xác định sự đóng góp tương đối của các nguồn thức ăn tiềm năng, thức ăn viên và POM, đối với sự tăng trưởng của tôm. Kết quả cho thấy thức ăn viên đóng góp 70 - 85% nitơ cho sự tăng trưởng của tôm (Bảng 5), và do đó đóng góp của hệ thức ăn tự nhiên (POM) là 15 - 30%. Kết quả này tương tự với một nghiên cứu trước đó, ghi nhận rằng 31% nhu cầu nitơ đối với tôm thẻ chân trắng (3,5 g), được nuôi trong bể 1200 L (mesocosms) ngoài trời, không thay nước (50 con.m⁻²), lấy từ hệ sinh thái ao nuôi (Epp et al., 2002).

Bảng 5: Tỷ lệ phần trăm đóng góp của N thức ăn vào khối lượng tăng trưởng của tôm

	δt (‰)	δ_A (‰)	δ_B (‰)	$(\delta t - \delta_B) / (\delta_A - \delta_B)$	% đóng góp của thức ăn viên
LDRB	11,95	12,31	9,89	0,85	85
HDRB	11,53	12,31	9,69	0,70	70
Control	11,87	12,31	10,64	0,73	73

Sự giống nhau về giá trị δC^{13} của tôm và cá địa ở các nghiệm thức nuôi ghép khi thu hoạch cho thấy rằng tôm và cá địa có thể có cùng nguồn C cho sự tăng trưởng của chúng. $\Delta \delta C^{13}$ cá địa-SOM từ 0,07 đến 0,19 ‰ (0,13 ‰) và $\Delta \delta C^{13}$ cá địa-POM, 1,85 - 2,89 ‰ (2,37 ‰), nằm trong phạm vi mối quan hệ δC^{13} giữa sinh vật tiêu thụ và thức ăn, 0,6 - 2,7 ‰ (DeNiro và Epstein, 1978). Trong khi đó, $\Delta \delta C^{13}$ cá địa-thức ăn viên khoảng 2,83 - 3,10 ‰ (2,96 ‰), nằm ngoài phạm vi quan hệ sinh vật tiêu thụ-thức ăn. Kết quả này cho thấy SOM là nguồn C quan trọng và POM có thể là nguồn C thứ cấp cho sự phát triển của cá địa.

Đồng vị bền δN^{15} được bài tiết với lượng thấp hơn so với đồng vị δN^{14} , do đó sinh vật trở nên giàu δN^{15} hơn so với thức ăn của chúng (Peterson và Fry, 1987). $\Delta \delta^{15}N$ cá địa-thức ăn viên không thay đổi qua thời gian thí nghiệm và δN^{15} cá địa được làm giàu khoảng 0,95 - 1,17 ‰ (1,06 ‰) quan hệ với thức ăn viên khi thu hoạch. Trong khi đó, $\Delta \delta^{15}N$ cá địa-POM là 3,59 ‰ và $\Delta \delta^{15}N$ cá địa-SOM dao động 3,59 - 6,18 ‰ (4,88 ‰). Kết quả này cho thấy thức ăn viên là nguồn nitơ chính và POM và SOM có thể là những nguồn khác cho sự phát triển của cá địa. Tuy vậy, sự đóng góp tương đối của nguồn thức ăn tiềm năng đối với tăng trưởng của cá địa trong thí nghiệm này không tính được theo phương trình của Anderson et al. (1987) hay Tiunov (2007).

Mặc dù trong nuôi nhốt cá địa trở thành loài ăn tạp cơ hội, tập tính kiếm ăn ưa thích của cá địa là ăn rong và tảo đáy khi nguồn thức ăn này có sẵn. Trong thời gian thí nghiệm, qua quan sát thường thấy rằng cá địa ăn tảo sợi bám trên thành bể nuôi. Hơn nữa, tảo sợi được tìm thấy ở các bể đối chứng phong phú hơn so với ở nghiệm thức nuôi ghép, phát hiện qua vệ

sinh thành bể hàng tuần. Có khả năng sinh vật bám (periphyton) và tảo sợi là nguồn thức ăn tiềm năng cho cá địa, và do đó là các nguồn carbon và nitơ khác cho sự tăng trưởng của cá địa. Việc thiếu dữ liệu về các giá trị δC^{13} và δN^{15} của sinh vật bám và tảo sợi chưa cho phép kết luận và ước tính đóng góp có thể có của các nguồn này đối với sự tăng trưởng của cá địa. Nghiên cứu cần được tiến hành để xác nhận giả thuyết này.

IV. Kết luận và kiến nghị

Thả ghép cá địa (25,5 g/con) vào hệ thống nuôi tôm thẻ xanh (2,9g/con, 15 con/m²) ở mật độ 1,2 -2,4 con/m² không ảnh hưởng đến tăng trưởng và năng suất tôm thẻ xanh. Cá địa có khả năng thích nghi và tăng trưởng tốt trong bể nuôi tôm, không làm thay đổi môi trường và góp phần làm tăng năng suất và hiệu quả của hệ thống nuôi tôm. Tổng sản lượng nuôi ghép tăng 48,8% và 106,2%, đồng thời hệ số thức ăn giảm 32,8% và 51,5% ở các nghiệm thức nuôi ghép so với nuôi tôm đơn. Cả tôm thẻ xanh và cá địa có cùng nguồn dinh dưỡng N và C cho tăng trưởng từ thức ăn viên và hệ thức ăn tự nhiên. Thức ăn viên là nguồn cung cấp N chính và là nguồn C thứ cấp cho tôm và cá địa. Hệ thức ăn tự nhiên là nguồn C chính và là nguồn N thứ cấp cho tăng trưởng của cả 2 loài. Thức ăn viên đóng góp 28,8 - 39,9% C và 70-85 % N cho tăng trưởng của tôm, phần tăng trưởng C và N còn lại từ hệ thức ăn tự nhiên.

Nuôi ghép tôm thẻ xanh-cá địa có tính khả thi cao cả về kỹ thuật và sinh học. Cần nghiên cứu thêm các tổ hợp nuôi với mật độ tôm và cá địa khác nhau và thả giống cùng lúc, đồng thời nghiên cứu các giá thể nhân tạo phù hợp đặt vào hệ thống nuôi để thúc đẩy sự phát triển của sinh vật bám, tảo sợi, có thể làm nguồn thức ăn tự nhiên cho động vật nuôi.

Lời cảm tạ

Chúng tôi rất cảm ơn các nhân viên kỹ thuật phòng thí nghiệm ở IFREMER, IRD (LAMA) và Đại học New Caledonia đã giúp đỡ trong việc phân tích mẫu. Nghiên cứu này được tài trợ từ Hiệp định C.486-10 thuộc tỉnh Nam, New Caledonia và được

thực hiện tại Trạm Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản IFREMER Saint-Vincent và Đại học New Caledonia. Tôi chân thành cảm ơn GS Yves Letourneur, TS Hugues và TS Sebastein Hochard đã có nhiều giúp đỡ và đưa ra các thảo luận quý giá trong quá trình thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anderson, R. K., Parker, P.L., Lawrence, A., 1987. A $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ tracer study of the utilization of presented feed by a commercially important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system. Journal of the World Aquaculture Society 18 (3), 148 – 155.
2. Bell, J.D., Agudo, N.N., Purcell, S.W., Blazer, P., Simutoga, M., Pham, D., Delle Patrona, L., 2007. Grow-out of sandfish *Holothuria scabra* in ponds shows that co-culture with shrimp *Litopenaeus stylirostris* is not viable. Aquaculture 273, 509 – 519.
3. Biswas, G., Raja, R.A., De, D., Sundaray, J.K., Ghoshal, T.K., Anand, S., Kumar, S., Panigrahi, A., Thirunavukkarasu, A.R., Ponniah, A.G., 2012. Evaluation of productions and economic returns from two brackishwater polyculture systems in tide-fed ponds. Journal of Applied Ichthyology 28, 116 – 122.
4. Bondad-Reantaso, M.G., Lovell, E.R., Arthur, J.R., Hurwood, D., Mather, P.B., 2005. Pathogen and ecological risk analysis for the introduction of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris*, from Brunei Darussalam to Fiji. A consultancy report prepared for the Secretariat of the Pacific Community, Noumea Cedex, and New Caledonia.
5. Bosma, R.H., Verdegem, M.C.J., 2011. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. Livestock Science 139, 58 – 68.
6. Boyd, C.E., 1998. Water quality for pond aquaculture. Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University, Alabama 36849 USA, 37 pp.
7. Burford, M.A., Preston, N.P., Truong, H.M., Tran, T.T.H., Bunn S.E., Fry, V.M., 2004. Dominant sources of dietary carbon and nitrogen for shrimp reared in extensive rice-shrimp ponds. Aquaculture Research 35, 194 – 203.
8. Casalduero, G.F., 2001. Integrated systems: "Environmentally clean" aquaculture. Proceedings of the seminar of the CIHEAM network on technology of aquaculture in the Mediterranean (TECAM), jointly organized by CIHEAM and FAO, Zaragoza (Spain), 17-21 January 2000, 139 – 145.
9. Chen, J-C., Liu, P-C. and Lei, S-C., 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. Aquaculture 89, 127 – 137.
10. De Niro, M.J., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta 42, 495 – 506.
11. De Niro, M.J., Epstein, S., 1981. Influence of the diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta 45, 341 – 351.
12. Díaz, F., Re-Araujo, A., Sierra, E., Díaz Iglesias, E., 2004. Effects of temperature and salinity fluctuation on the oxygen consumption, ammonium excretion and osmoregulation of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. Journal of Shellfish Research 23, 903 – 910.

13. Duray, M.N., and Southeast Asian Fisheries Development Center, 1998. Biology and culture of siganids. (Rev. ed.). Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
14. Epp, M.A., Ziemann, D.A., Schell, D.M., 2002. Carbon and nitrogen dynamics in zero-water exchange shrimp culture as indicated by stable isotope tracers. *Aquaculture Research* 33, 839 – 846.
15. García-Pérez, A., Alston, D.E., Cortés-Maldonado, R., 2000. Growth, survival, yield, and size distributions of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and tilapia *Oreochromis niloticus* in polyculture and monoculture system in Puerto Rico. *Journal of the World Aquaculture Society* 31 (3), 446 – 451.
16. Hobson, K.A., Clark, R.G., 1992. Assessing avian diets using stable isotopes II: Factors influencing diet-tissue fractionation. *The Condor* 94, 189 – 197.
17. Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holms, P.E., Strickland, J.D.H., 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *Journal du conseil International pour l'exploitation de la mer* 30, 3 – 15.
18. Jacob, U., Mintenbeck, K., Brey, T., Knust, R., Beyer, K., 2005. Stable isotope food web studies: a case for standardized sample treatment. *Marine Ecology Progress Series* 287, 251 – 253.
19. Jardine, T.D., McGeachy, S.A., Paton, C.M., Savoie, M., Cunjak, R.A., 2003. Stable isotopes in aquatic systems: Sample preparation, analysis, and interpretation. *Canadian Manuscript Reports of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39pp.
20. Koroleff, F., 1976. Determination of ammonia. In: *Methods in Seawater Analysis* (ed. by K. Grasshof), pp. 126 – 133. Verlag Chemie Weinheim, RFA.
21. Kumaraguru vasagam, K.P., Suresh, A.V., Chamberlain, G.W., 2009. Growth performance of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* in self-cleaning microcosm tanks. *Aquaculture* 290, 236 – 242.
22. Lam, T.J., 1974. Siganids: their biology and mariculture potential. *Aquaculture* 3, 325 – 354.
23. Lazur, A., 2007. Growout pond and water quality management. *Joint Institute of Food Safety and Applied Nutrition, University of Maryland*, 17 pp.
24. Lemonnier, H., Bernard, E., Boglio, E., Goarant, C., Cochard, J.-C., 2004. Influence of sediment characteristics on shrimp physiology: pH as principal effect. *Aquaculture* 240, 297 – 312.
25. Lemonnier, H., Farinoz, S., 2006. Effect of water exchange on effluent and sediment characteristics and on partial nitrogen budget in semi-intensive shrimp ponds in New Caledonia. *Aquaculture Research* 37, 938 – 948.
26. Lemonnier, H., Herbland, A., Salery, L., Soulard, B., 2006. “Summer syndrome” in *Litopenaeus stylirostris* in grow out ponds in New Caledonia: Zootechnical and environmental factors. *Aquaculture* 261, 1039 – 1047.
27. Lochmann, R., Philipps, H., 1996. Stable isotopeic evaluation of the relative assimilation of natural and artificial foods by golden shiners *Notemigonus crysoleucas* in ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 27 (2), 168 – 177.
28. Lombardi, J.V., de Marques, H.L.A., Pereira, R.T.L., Barreto, O.J.S., de Paula, E.J., 2006. Cage polyculture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* and the Philippines seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Aquaculture* 258, 412 – 415.
29. Luong Cong Trung, 2018. Effect of stocking density on performance of goldlined rabbitfish *Siganus lineatus* and the environment quality in a closed culture system. *Journal of fisheries science and technology, Nha Trang University*, 4 – 2018, 102-108.
30. Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., 2006. Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *crassostrea gigas* and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. *Aquaculture* 258, 321 – 326.
31. Milstein, A., 1992. Ecological aspects of fish species interactions in polyculture ponds. *Hydrobiologia* 231, 177 – 186.

32. Minagawa, M., Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1135 – 1140.
33. Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A single solution method for the determination of soluble phosphate in sea water. *Journal of the Marine Biology Association of the United Kingdom* 37, 9 – 14.
34. Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Goddard, S., 1997. Food ingestion and assimilation by the Southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. *Aquaculture* 149, 121 – 136.
35. Peterson, B.J., Fry B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Reviews of Ecological Systematics* 18, 293 – 320.
36. Raimbault, P., Pouvesle, W., Diaz, F., Garcia, N., Sempéré, R., 1999. Wet-oxidation and automated colorimetry for simultaneous determination of organic carbon, nitrogen and phosphorus dissolved in sea water. *Marine Chemistry* 66, 161 – 169.
37. Salame, M., 1993. Feeding trays in penaeid shrimp ponds. *Aquaculture Magazine* 19 (4), 59 – 63.
38. Saoud, I.P., Ghanawi, J., Lebbos, N., 2008. Effects of stocking density on the survival, growth, size variation and condition index of juvenile rabbitfish *Siganus rivulatus*. *Aquaculture International* 16, 109 – 116.
39. Scrimgeour, C.M., Robinson, D., 2003. Stable isotope analysis and applications. In: Smith, K.A., Cresser, M.S. (Eds.), *Soil and Environmental Analysis: Modern Instrumental Techniques*. Marcel Dekker Inc., 381 – 431.
40. Tendencia, E. A., dela Pena, M.R., Choresca Jr, C.H., 2006a. Presence of snapper, seabass, and siganid inhibits growth of luminous bacteria in a simulated shrimp culture system. *Aquaculture* 260, 54 – 60.
41. Tendencia, E.A., Fermin, A.C., dela Pena, M.R., Choresca Jr, C.H., 2006b. Effect of *Epinephelus coioides*, *Chanos chanos*, and GIFT tilapia in polyculture with *Penaeus monodon* on the growth of the luminous bacteria *Vibrio harveyi*. *Aquaculture* 253, 48 – 56.
42. Tian, X., Li, D., Dong, S., Yan, X., Qi, Z., Liu, G., Lu, J., 2001. An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. *Aquaculture* 202, 57 – 71.
43. Tiunov, A.V., 2007. Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil ecological studies. *Biology Bulletin* 34 (4), 395 – 407.
44. Troell, M., Halling, C., Neori, A., Chopin, T., Buschmann, A.H., Kautsky, N., Yarish, C., 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* 226, 69 – 90.
45. Wabete, N., Chim, L., Lemaire P., Massabuau J.-C., 2008. Life on the edge: physiological problems in penaeid prawns *Litopenaeus stylirostris*, living on the low side of their thermopreferendum. *Marine Biology* 154, 404 – 412.
46. Wood, E.D., Armstrong, F.A.J., Richards F.A., 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrite. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 47, 23 – 31.
47. Wyban, J., Wash, W.A., Godin, D.M., 1995. Temperature effect on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp *Panaeus vannamei*. *Aquaculture* 138, 267 – 279.
48. Yokohama, H., Higano, J., Adachi, K., Ishihi, Y., Yamada, Y., Pichitkul, P., 2002. Evaluation of shrimp polyculture system in Thailand based on stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Fisheries Science* 68, 745 – 750.
49. Yuan, D., Yi, Y., Yakupitiyage, A., Firzimmers, K., Diana, J.S., 2010. Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis spp.*) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture* 298, 226 – 238.