Genetic parameters for growth and survival traits of Portuguese oyster (*Crassostrea angulata*) in tropical monsoon conditions at Long Son, Vung Tau

Luan T. Nguyen[1,2*], Anh M. T. Nguyen[1], Suong T. Nguyen[2], Tri N. Nguyen[2], & Sang V. Nguyen[1]

[1]National Breeding Center for Southern Marine Aquaculture, Research Institute for Aquaculture No.2, Ho Chi Minh City, Vietnam

[2]Faculty of Fisheries, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: September 03, 2025
Revised: October 09, 2025
Accepted: October 31, 2025

Keywords

Crassostrea angulata
Genetic correlation
Heritability
Selection response
Survival rate

***Corresponding author**

Nguyen Thanh Luan
Email:
ntluan@vafis.vn

ABSTRACT

This study aimed to estimate genetic parameters for growth and survival traits in the Portuguese oyster (*Crassostrea angulata*) G1 breeding generation reared under monsoon tropical conditions at Long Son, Vung Tau. A total of 8,000 individuals from 80 families (44 full-sib and 36 half-sib) were evaluated for growth over 183 - 207 days. Genetic parameters were estimated using an individual linear mixed model implemented in ASReml 4.2. Heritability was moderate to high for growth traits (0.183 - 0.607) and moderate for survival (0.276). Strong positive genetic correlations (0.70 - 0.91) were observed among growth traits (body weight, shell height, shell length, and shell width), while weak negative correlations (-0.11 to -0.09; $P > 0.05$) were found between growth and survival. The mean estimated breeding value (EBV) of the selected group was 10.36 g for body weight, with selection responses of 19.83% for body weight and 35.27% for survival rate when traits were selected separately. These results demonstrate the clear potential for genetic improvement of Portuguese oyster traits under tropical monsoon conditions. The study also recommends expanding growth evaluations across multiple farming environments in southern Vietnam to estimate genotype × environment interactions, thereby supporting the development of a sustainable breeding program for *C. angulata* in the future.

Cited as: Nguyen, L. T., Nguyen, A. M. T., Nguyen, S. T., Nguyen, T. N., & Nguyen, S. V. (2026). Genetic parameters for growth and survival traits of Portuguese oyster (*Crassostrea angulata*) in tropical monsoon conditions at Long Son, Vung Tau. *The Journal of Agriculture and Development* 25(5), 89-101.

Thông số di truyền tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống của hàu sữa (*Crassostrea angulata*) chọn giống trong điều kiện nhiệt đới gió mùa ở Long Sơn, Vũng Tàu

Nguyễn Thành Luân[1,2*], Nguyễn Thị Mai Anh[1], Nguyễn Thảo Sương[2], Nguyễn Như Trí[2] & Nguyễn Văn Sáng[1]

[1]Trung Tâm Quốc Gia Giống Hải Sản Nam Bộ, Viện Nghiên Cứu Nuôi Trồng Thủy Sản II, TP. Hồ Chí Minh

[2]Khoa Thủy Sản, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 03/09/2025
Ngày chỉnh sửa: 09/10/2025
Ngày chấp nhận: 31/10/2025

Từ khóa

Crassostrea angulata
Hệ số di truyền
Hiệu quả chọn lọc
Tương quan di truyền
Tỷ lệ sống

***Tác giả liên hệ**

Nguyễn Thành Luân
Email:
ntluan@vafis.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm ước tính các thông số di truyền cho tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống của hàu sữa (*Crassostrea angulata*) chọn giống thế hệ G1 nuôi trong điều kiện nhiệt đới gió mùa tại Long Sơn, Vũng Tàu. Tổng cộng 8.000 con từ 80 gia đình (44 gia đình cùng cha cùng mẹ và 36 gia đình cùng cha khác mẹ) được nuôi đánh giá sinh trưởng trong 183 - 207 ngày. Các thông số di truyền được ước tính bằng mô hình tuyến tính cá thể hỗn hợp sử dụng phần mềm ASReml 4.2. Hệ số di truyền ở mức trung bình đến cao cho các tính trạng sinh trưởng (0,183 - 0,607) và trung bình cho tỷ lệ sống (0,276). Tương quan di truyền dương cao (0,70 - 0,91) giữa các tính trạng sinh trưởng (khối lượng thân, chiều cao vỏ, chiều dài vỏ và chiều rộng vỏ) và nghịch thấp (-0,11 đến -0,09; $P > 0,05$) giữa các tính trạng sinh trưởng với tỷ lệ sống. Giá trị chọn giống ước tính trung bình của nhóm chọn lọc là 10,36 g cho khối lượng thân, với hiệu quả chọn lọc đạt 19,83% cho khối lượng thân và 35,27% cho tỷ lệ sống khi chọn lọc riêng rẽ được áp dụng cho từng tính trạng. Kết quả này khẳng định tiềm năng cải thiện di truyền rõ rệt các tính trạng của hàu sữa trong điều kiện nhiệt đới gió mùa. Nghiên cứu cũng đề xuất mở rộng đánh giá sinh trưởng tại nhiều môi trường nuôi khác ở Nam Bộ để ước tính tương tác kiểu gen × môi trường, hướng đến xây dựng chương trình chọn giống hàu sữa bền vững trong tương lai.

1. Đặt Vấn Đề

Nuôi nhuyễn thể là một trong những ngành tăng trưởng nhanh nhất của thủy sản thế giới, ước chiếm khoảng 20% tổng sản lượng nuôi trồng thủy sản và hơn 50% sản lượng nuôi nhuyễn thể toàn cầu (FAO, 2024). Trong đó, hàu *Crassostrea angulata* (hàu sữa) đã nổi lên như loài chủ lực ở các hệ thống nuôi cận nhiệt đới và nhiệt đới tại châu Á, đặc biệt ở Trung Quốc, Đài Loan và Việt Nam, nhờ tốc độ sinh trưởng nhanh và tỷ lệ sống cao (Le & ctv., 2023; Yu & ctv., 2023; Sun & ctv., 2024). Chúng là loài rộng nhiệt, tối ưu trong khoảng 22 - 28°C, thích nghi tốt với nhiệt độ nước biển ấm (Moreira & ctv., 2018; Tan & ctv., 2020) và rộng muối, thích hợp nhất từ 23 - 32‰

(Vu & ctv., 2020). Ở Việt Nam, loài này hiện là đối tượng nuôi quan trọng dọc duyên hải phía Bắc và miền Trung, đồng thời đang được đưa vào sản xuất ở các tỉnh phía Nam, sản lượng đạt khoảng hơn 50.000 tấn, đóng góp đáng kể cho sinh kế ven biển (Le & ctv., 2023).

Sự phát triển nhanh của nghề nuôi hàu phát sinh những thách thức cần giải quyết, nổi bật là nguy cơ lai tạo cận huyết dẫn tới thoái hóa giống do nguồn vật liệu di truyền hạn chế và sự thiếu vắng quần thể tự nhiên phân bố ở Việt Nam. Con giống hoàn toàn phụ thuộc vào sản xuất giống nhân tạo hoặc nhập từ nước ngoài, làm tăng rủi ro nhiễm bệnh và suy giảm đa dạng di truyền, có thể dẫn tới giảm tăng trưởng, kích thước nhỏ và sức chống chịu kém (Le & ctv., 2023). Vùng nhiệt đới gió mùa Nam Bộ có nhiệt độ ổn định 25 - 30°C, khác biệt rõ so với miền Bắc cận nhiệt đới 19 - 35°C, nơi các nỗ lực thử nghiệm chọn giống hàu sữa từ năm 2017 (Vu & ctv., 2020) đã kết thúc mà chưa phát triển được sản phẩm thương mại. Vì vậy, sự cấp thiết cần một chương trình chọn giống hàu sữa phù hợp với điều kiện nhiệt đới ở miền Nam.

Thông số di truyền là cơ sở khoa học đánh giá tiềm năng cải thiện di truyền của loài trong chọn giống (Falconer & Mackay, 1996; Gjedrem & Baranski, 2009). Với hàu *C. angulata*, hệ số di truyền h^2 cho các tính trạng sinh trưởng được ghi nhận 0,19 - 0,43 qua ba thế hệ ở miền Bắc Việt Nam và Trung Quốc (Vu & ctv., 2020; Han & ctv., 2022). Ở hàu *C. gigas*, hệ số di truyền (h^2) cho các tính trạng sinh trưởng (khối lượng - W, chiều cao vỏ - SH, chiều dài vỏ - SL, chiều rộng vỏ - SW) là từ thấp tới cao (0,15 - 0,77) (Le & ctv., 2023; Jiang & ctv., 2024; Vu & ctv., 2025). Giá trị này cho tỷ lệ sống (Sur) là từ thấp đến trung bình (0,10 - 0,40) (Evans & Langdon, 2006; Dégremont & ctv., 2007; Chi & ctv., 2022). Tương quan di truyền (r_g) giữa các tính trạng sinh trưởng là thuận và giá trị tương quan cao (0,79 - 0,90), trong khi giữa sinh trưởng với tỷ lệ sống ở mức nghịch và giá trị tương quan thấp (-0,21 tới 0,38) (de Melo & ctv., 2016; Allen & ctv., 2021; Chi & ctv., 2022). Hiệu quả chọn lọc (R) cho sinh trưởng hàu thường đạt trung bình đến cao, vượt 10% mỗi thế hệ (Gjedrem & Rye, 2018; Le & ctv., 2023) và 17,4% sau ba thế hệ chọn lọc hàu *C. angulata* ở miền Bắc Việt Nam (Vu & ctv., 2020).

Nghiên cứu này nhằm ước tính các thông số di truyền cho các tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống, làm cơ sở đề xuất phương án chọn lọc quần đàn bố mẹ G1 và chiến lược chọn giống dài hạn phục vụ nghề nuôi hàu sữa trong điều kiện nhiệt đới Nam Bộ.

2. Đối Tượng và Phương Pháp Nghiên Cứu

2.1. Sản xuất gia đình thế hệ G1

Trong tháng 6 năm 2023, tổng cộng 1.000 cá thể hàu bố mẹ thuộc quần đàn G0, được hình từ bốn nguồn vật liệu ban đầu có đa dạng di truyền cao và sạch virus OsHV-1 thu thập tại các vùng cận nhiệt đới và nhiệt đới (Nguyen & ctv., 2025), đã được nuôi vỗ tại Trung tâm Quốc gia Giống Hải sản Nam Bộ - Viện Nghiên cứu Nuôi trồng thủy sản II (RIA2) (tọa độ 10.35°N, 107.09°E). Số lượng hàu bố mẹ tham gia sản xuất thành công gia đình thế hệ G1 là 124 con (44 đực và 80 cái). Khối lượng và chiều cao vỏ trung bình hàu bố mẹ là 88,36 g và 85,33 mm.

Sản xuất gia đình G1 được thực hiện theo phương pháp phối thứ bậc tránh cận huyết dựa trên phả hệ để tạo ra gia đình cùng cha cùng mẹ (full-sib) và cùng cha khác mẹ (half-sib) (Gjedrem, 2005) bằng kỹ thuật thụ tinh nhân tạo. Hàu bố mẹ thành thục được giải phẫu vỏ

lấy tuyến sinh dục. Tinh của một con đực được phân chia trộn đều nhẹ nhàng với trứng của hai con cái trong từng xô 5L riêng biệt, chứa nước biển độ mặn 30‰, ở nhiệt độ 27 - 29°C. Sau 3 phút, trứng thụ tinh được lọc qua vợt 200 µm để loại bỏ cặn trước khi chuyển vào bể ấp composite 500 L chứa nước biển sạch. Ưu tiên ghép phối hàu bố mẹ G0 từ các phép lai sinh trưởng nhanh, khác huyết thống để sản xuất các gia đình G1. Số lượng gia đình G1 sản xuất thành công tới kích thước đánh dấu cho nuôi tăng trưởng là 80 gia đình (44 full-sib và 36 half-sib).

2.2. Ương nuôi ấu trùng và giống bám

Ấu trùng chữ D xuất hiện sau 20 giờ ấp, được lọc qua vợt 50 µm và chuyển sang các bể ương 500 L, chứa nước biển sạch với mật độ ương 10 ấu trùng/L (Helm, 2004; Nguyen & ctv., 2024). Các gia đình được ghi chép thông tin gia đình đầy đủ để truy xuất phả hệ.

Ấu trùng được cho ăn 2 lần/ngày bằng hỗn hợp vi tảo gồm *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros* sp. và *Skeletonema* sp., với mật độ 30.000 - 80.000 tế bào/mL tùy giai đoạn phát triển (ấu trùng trôi nổi). Từ ngày nuôi thứ 18 (giống bám), mật độ tảo tăng lên từ 160.000 - 200.000 tế bào/mL và bổ sung theo nhu cầu thực tế tới khi đạt kích cỡ đánh dấu. Tảo được bổ sung thông qua thay nước 20 - 30% thể tích bể hàng ngày. Chất lượng nước được duy trì ở nhiệt độ 27 - 29°C, độ mặn 30‰ và pH 7,5 - 8,5, oxy hòa tan (DO) > 5,0. Cứ 3 - 5 ngày, ấu trùng được chuyển sang bể mới bằng các cỡ vợt lọc có kích thước mắt lưới phù hợp (70 - 200 µm). Ấu trùng chân bò xuất hiện sau 18 ngày nuôi, 10 giá thể nhựa mềm (30 × 20 cm) được đưa vào bể ương cho hàu giống bám vào. Con giống bám được ương thêm khoảng 7 - 10 ngày đến khi đạt kích cỡ 5 mm thì chuyển tất cả các gia đình vào bể nuôi tuần hoàn 20 m^3 để tiếp tục ương lên kích cỡ giống 3 cm, thời gian ương 30 ngày.

2.3. Đánh dấu cá thể

Hàu giống 80 gia đình G1 kích cỡ 3 cm được tách khỏi giá thể nhựa thành hàu đơn. Mỗi cá thể được gắn mã số nhựa 4 × 8 mm (ID cá thể) ngoài vỏ bằng keo chuyên dụng để truy xuất phả hệ (Evans & ctv., 2016). Khối lượng thân và kích thước vỏ từng cá thể hàu được cân và đo tại thời điểm thả nuôi đánh giá sinh trưởng. Tổng số lượng hàu thế hệ G1 từ 80 gia đình được đánh dấu thả nuôi là 8.000 con, 100 con/gia đình.

2.4. Nuôi đánh giá tăng trưởng thế hệ G1

Thí nghiệm đánh giá sinh trưởng của 80 gia đình hàu *C. angulata* thế hệ G1 được tiến hành tại vùng cửa sông Long Sơn, Bà Rịa - Vũng Tàu (10,26°B; 107,06°Đ), nay thuộc TP. Hồ Chí Minh. Địa điểm này có đặc trưng khí hậu nhiệt đới gió mùa ổn định, với nhiệt độ 28 - 31°C, độ mặn cao 28 - 33‰ và được quy hoạch là vùng nuôi hàu lớn nhất miền Nam, đồng thời đứng thứ ba cả nước về diện tích nuôi. Thời gian thí nghiệm là 183 - 207 ngày tùy theo gia đình, từ tháng 9/2023 đến tháng 3/2024.

Phương pháp nuôi được áp dụng là nuôi hàu đơn treo rổ trên bè (In & ctv., 2017), diện tích 200 m^2. Tại thời điểm thả nuôi, khối lượng (TagW, g), chiều cao vỏ (TagSH, mm), chiều dài vỏ (TagSL, mm) và chiều rộng vỏ (TagSW, mm) trung bình con giống G1 lần lượt là 2,28 ± 1,99 g; 26,49 ± 7,77 mm; 19,67 ± 5,74 mm và 8,96 ± 3,64 mm. Mỗi cá thể từ một gia đình được thả chung trong một túi lưới (50 × 50 cm, mắt lưới 1 cm), nhằm đảm bảo điều kiện nuôi đồng nhất và giảm thiểu ảnh hưởng ngẫu nhiên của môi trường đến sinh trưởng của gia đình. Túi lưới sau đó được cố định trong rổ nhựa phủ kín lưới trên miệng (25 × 60 × 60 cm, có lỗ ~3 cm) và treo lên bè để đảm bảo an toàn và lưu thông dòng chảy tốt. Túi lưới được duy trì trong 3 tháng đầu, sau đó, loại bỏ

khi hàu đạt kích cỡ vỏ khoảng 5 cm và nuôi trực tiếp hàu trong rổ cho đến khi thu hoạch. Định kỳ 5 - 7 ngày, túi lưới và rổ được vệ sinh để loại bỏ mảng bám, duy trì điều kiện tối ưu cho sinh trưởng của hàu. Thời gian nuôi đánh giá sinh trưởng là 6 tháng.

2.5. Thu thập số liệu

Các chỉ tiêu chất lượng nước gồm nhiệt độ nước (°C), độ mặn (‰), pH, DO (mg/L), NO_2^- (mg/L) và NH_4^+ (mg/L) được thu thập 01 tuần/lần. Ngoài ra, hàm lượng thực vật phù du bao gồm hàm lượng Chlorophyll-*a* (µg/L), thành phần tảo (loài/L), mật độ tảo (tế bào/L) và chất hữu cơ (TSS) tại địa điểm nuôi được thu thập 01 lần/tháng.

Các số liệu sinh trưởng được thu thập cho đánh giá tính trạng bao gồm thời gian ương từ khi sinh sản tới khi thả nuôi đánh giá sinh trưởng (NurseAge, ngày); thời gian nuôi đánh giá sinh trưởng từ khi thả nuôi tới khi thu hoạch (GrowAge, ngày); mã số (ID) và khối lượng từng cá thể hàu bố mẹ G0 của các gia đình G1. Tại thời điểm thả nuôi đánh giá sinh trưởng, thu thập số liệu từng cá thể bao gồm: Mã số cá thể (ID), khối lượng thân (TagW), chiều cao vỏ (TagSH), chiều dài vỏ (TagSL) và chiều rộng vỏ (TagSW). Kết thúc giai đoạn nuôi sinh trưởng, thu thập số liệu bao gồm: ID, khối lượng thân (W), chiều cao vỏ (SH), chiều dài vỏ (SL) và chiều rộng vỏ (SW) từng cá thể hàu còn sống và tỷ lệ sống (Sur) từng gia đình. Các cá thể hàu sống và chết đến thu hoạch ghi nhận lần lượt là 1 và 0 cho ước tính các thông số di truyền của tỷ lệ sống thế hệ G1. Khối lượng thân và kích thước vỏ các giai đoạn được thu thập lần lượt sử dụng cân (± 0,1 g) và thước kẹp (± 0,1 mm) điện tử.

2.6. Xử lý số liệu

Các thông số di truyền được ước tính bằng mô hình tuyến tính cá thể hỗn hợp sử dụng phần mềm ASRemL V4.2 (Gilmour & ctv., 2021). Dữ liệu phả hệ cho xử lý số liệu được truy xuất đến bố mẹ G0. Các ảnh hưởng cố định đưa vào mô hình toán gồm khối lượng hàu mẹ (g) và hàu bố (g), ID, TagW, TagSH, TagSL TagSW, NurseAge, GrowAge, ước tính tương ứng với từng tính trạng sinh trưởng (W, SH, SL, SW) và tỷ lệ sống khi thu hoạch. Những yếu tố ảnh hưởng không có ý nghĩa thống kê ($P > 0,05$) trong mô hình toán được loại bỏ trước khi phân tích chính thức.

Phương sai di truyền và hệ số di truyền

Đối với tính trạng sinh trưởng (W, SH, SL và SW), các ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) tương ứng là TagW, TagSH, TagSL và TagSW ($P < 0,05$). GrowAge có ảnh hưởng ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) lên cả 4 tính trạng sinh trưởng lúc thu hoạch nên được giữ lại trong mô hình toán (1). Các phương sai thành phần của W, SH, SL và SW được ước tính theo mô hình toán:

$$y_{ij} = \mu + \beta_1 \times TagX_i + \times GrowAge_i + ID_i + Dam_j + e_{ij} \quad (1)$$

trong đó, y_{ij} là ước tính tuyến tính W, SH, SL và SW của cá thể i khi thu hoạch, µ là trung bình W, SH, SL, SW của quần đàn, β_1 là hệ số hồi quy của hiệp biến $TagX_i$ (bao gồm $TagW_i$, $TagSH_i$, $TagSL_i$ và $TagSW_i$); β_2 là hệ số hồi quy của hiệp biến $GrowAge_i$, ID_i là ảnh hưởng ngẫu nhiên di truyền công gộp của cá thể i, Dam_j là ảnh hưởng ngẫu nhiên của hàu mẹ (môi trường ương nuôi riêng rẽ - c^2) đến thả nuôi và e_{ij} là ảnh hưởng sai số ngẫu nhiên.

Phương sai thành phần các ảnh hưởng ngẫu nhiên này gồm σ_A^2 là phương sai di truyền cộng gộp, σ_C^2 là phương sai môi trường ương nuôi riêng rẽ đến thả nuôi đánh giá sinh trưởng, σ_E^2

là phương sai sai số ngẫu nhiên. Phương sai kiểu hình (σ_P^2) được ước tính theo công thức: $\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_E^2$. Hệ số di truyền ($h^2$) được ước tính theo công thức: $h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_E^2}$. Ảnh hưởng của môi trường ương riêng rẽ (c^2) được ước tính theo công thức: $c^2 = \frac{\sigma_C^2}{\sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_E^2}$.

Đối với tỷ lệ sống (Sur), chỉ có ảnh hưởng cố định TagW là có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) nên được giữ lại trong mô hình. Các phương sai thành phần của Sur được ước tính theo mô hình toán:

$$y_{ij} = \mu + \beta_1 \times TagW + ID_i + Dam_j + e_{ij} \quad (2)$$

trong đó, y_{ij} là ước tính tuyến tính của tỷ lệ sống cá thể i khi thu hoạch, β_1 là hệ số hồi quy của hiệp biến TagW, các ảnh hưởng ngẫu nhiên còn lại như Mô hình (1). Hệ số di truyền và ảnh hưởng của môi trường ương riêng rẽ (c^2) của tỷ lệ sống được ước tính như cho khối lượng thân.

Tương quan di truyền giữa các tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống

Tương quan di truyền (r_g) của các tính trạng sinh trưởng (W, SH, SL và SW) và Sur tại lúc thu hoạch được ước tính dựa trên các phương sai thành phần từ Mô hình (1) và (2), nhưng phân tích 2 biến (Bi-variate) theo công thức: $r_g = \frac{\sigma_{12}}{\sqrt{\sigma_1^2} \times \sqrt{\sigma_1^2}}$ .Trong đó, là hiệp phương sai di truyền cộng gộp của hai tính trạng, σ_1^2 và σ_2^2 lần lượt là phương sai của truyền cộng gộp của từng tính trạng W, SH, SL, SW và Sur (Falconer & Mackay, 1996).

Hiệu quả chọn lọc ước tính (R)

Chọn lọc 1.000 cá thể hàu bố mẹ quần đàn G1 có EBV khối lượng thân cao nhất và EBV tỷ lệ sống dương thuộc các gia đình có EBV cao nhất từ 80 gia đình sau thu hoạch nuôi đánh giá sinh trưởng. Hiệu quả chọn lọc khối lượng thân và tỷ lệ sống được tính theo công thức (Gjedrem, 2005): , trong đó: $R = i \times h^2 \times \sigma_p$ là hiệu quả chọn lọc ước tính; i là cường độ chọn lọc, được tra bảng theo tỷ lệ chọn lọc p (%) (Phụ lục A, trang 335, Gjedrem, 2005); h^2 là hệ số di truyền ước tính của khối lượng thân và tỷ lệ sống; σ_p ($\sqrt{\sigma_P^2}$) là độ lệch chuẩn của giá trị đo đạc khối lượng thân và tỷ lệ sống của G1. Hiệu quả chọn lọc khối lượng thân và tỷ lệ sống được ước tính độc lập dựa trên giả định chọn lọc từng tính trạng riêng rẽ, nhằm đánh giá tiềm năng cải thiện di truyền cụ thể cho từng tính trạng.

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Sinh trưởng và tỷ lệ sống tại môi trường nuôi đánh giá

Các chỉ tiêu chất lượng nước, thành phần thực vật phù du và vật chất hữu cơ tại địa điểm nuôi là ổn định và phù hợp cho sinh trưởng của hàu sữa (Bảng 1), giúp hàu duy trì hoạt động lọc và trao đổi chất hiệu quả.

Sinh trưởng và tỷ lệ sống của 80 gia đình hàu sữa (*C. angulata*) thế hệ G1 được ghi nhận ở mức cao và ổn định sau 183 - 207 ngày nuôi (Bảng 2). Khối lượng trung bình đạt 52,21 ± 18,79 g, với hệ số biến thiên (CV) 35,99%, phản ánh sự khác biệt rõ rệt giữa các gia đình trong quần đàn. Các tính trạng kích thước vỏ duy trì đồng đều hơn, với SH, SL và SW lần lượt đạt 67,82 ± 14,8 mm (CV = 21,82%), 44,95 ± 9,37 mm (CV = 20,84%) và SW 27,78 ± 5,98 mm (CV = 21,52%). Tỷ lệ sống trung bình đạt 51,55 ± 17,06% (CV = 33,10%), thể hiện sự biến động giữa các gia đình trong quần đàn. So sánh với các nghiên cứu trước đây ở miền Bắc Việt Nam và Trung Quốc, nơi khối lượng thân và tỷ lệ sống chỉ đạt 14,05 - 55,74 g

và 40,0 - 54,5% sau 9 - 12 tháng nuôi (Vu & ctv., 2020; Han & ctv., 2022), kết quả hiện tại vượt trội với khối lượng thân và tỷ lệ sống cao hơn trong thời gian nuôi ngắn hơn (hơn 6 tháng). Sự khác biệt này khẳng định sự phù hợp của môi trường nuôi Long Sơn tạo điều kiện thuận lợi cho trao đổi chất và hấp thu dinh dưỡng, giúp rút ngắn chu kỳ sản xuất, nâng cao năng suất và duy trì sức sống quần đàn. Kết quả nhấn mạnh tiềm năng xây dựng chương trình chọn giống hàu sữa sinh trưởng nhanh trong điều kiện nhiệt đới.

Bảng 1. Chất lượng nước và thành phần thực vật phù du tại địa điểm nuôi

Chỉ tiêu	Trung bình	Hệ số biến thiên (CV, %)
Nhiệt độ (°C)	29,47 ± 0,67[1]	2,26
Độ mặn (‰)	31,6 ± 1,24	3,93
pH	7,98 ± 0,08	0,97
DO (ppm)	6,31 ± 0,11	1,74
NO_2^-	KPH	KPH
NH_4^+	KPH	KPH
TSS (mg/L)	31,26 ± 20,02	64,06
Chlorophyll-*a* (µg/L)	16,93 ± 9,62	56,85
Thành phần tảo (loài)	10,64 ± 3,14	29,51
Mật độ tảo (tế bào/L)	1.377,27 ± 2.549,55	185,12

[1]*Trung bình ± độ lệch chuẩn*

DO: oxy hòa tan; TSS: chất hữu cơ; KPH: không phát hiện.

Bảng 2. Sinh trưởng và tỷ lệ sống trung bình các gia đình hàu sữa G1

Tính trạng	TB ± SD[1]	Hệ số biến thiên (%)
Khối lượng (g)	52,21 ± 18,79	35,99
Chiều cao vỏ (mm)	67,82 ± 14,80	21,82
Chiều dài vỏ (mm)	44,95 ± 9,37	20,84
Chiều rộng vỏ (mm)	27,78 ± 5,98	21,52
Tỷ lệ sống (%)	51,55 ± 17,06	33,10

[1]*Trung bình ± độ lệch chuẩn.*

3.2. Phương sai thành phần và hệ số di truyền

Các phương sai thành phần (σ_A^2, σ_C^2, σ_E^2 và σ_P^2), hệ số di truyền (h^2) và ảnh hưởng môi trường nuôi riêng rẽ (c^2) đều khác 0 có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) (Bảng 3). Phương sai di truyền cộng gộp (σ_A^2) khác biệt rõ giữa các tính trạng, cao nhất ở khối lượng (143,98) và chiều cao vỏ (131,86), cho thấy tiềm năng cải thiện lớn thông qua chọn lọc. Ngược lại, chiều dài (16,61) và chiều rộng vỏ (6,99) có σ_A^2 thấp, phản ánh đóng góp di truyền hạn chế. Đặc biệt, tỷ lệ sống có σ_A^2 rất thấp (0,072), chứng tỏ chủ yếu chịu ảnh hưởng môi trường hơn là di truyền cộng gộp. Kết quả này khẳng định khối lượng thân và chiều cao vỏ nên là tiêu chí chính trong chọn giống, trong khi tỷ lệ sống cần được quản lý bằng chiến lược bổ trợ như chọn lọc đa môi trường hoặc chỉ số chọn lọc kết hợp. Hệ số c^2 thấp cho W (0,011), SH (0,066) và Sur (0,026), nhưng trung bình cho SL (0,109)

và SW (0,171), cho thấy giai đoạn ương có ảnh hưởng không lớn đến biểu hiện kiểu hình, từ đó nâng cao độ tin cậy của giá trị chọn giống ước tính (EBV). Kết quả này là thấp hơn đáng kể so với nghiên cứu tại miền Bắc Việt Nam (Vu & ctv., 2020), nơi c^2 cao hơn (0,04 - 0,24) và làm giảm độ chính xác EBV. Như vậy, môi trường nuôi đánh giá sinh trưởng là yếu tố chi phối chính đến biểu hiện kiểu hình, từ đó tạo thuận lợi cho việc tập trung nguồn lực vào giai đoạn nuôi này để chọn lọc, thay vì phải kiểm soát chặt chẽ giai đoạn ương.

Bảng 3. Phương sai thành phần và hệ số di truyền các tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống hàu *C. angulata* thế hệ G1

Tính trạng	$1\sigma^2_A$	$2\sigma^2_C$	$3\sigma^2_E$	$4\sigma^2_P$	[5]h^2	[6]c^2
Khối lượng	143,98	3,58	166,14	313,69	0,459 ± 0,117[7]	0,011 ± 0,039
Chiều cao vỏ	131,86	14,41	70,88	217,16	0,607 ± 0,165	0,066 ± 0,067
Chiều dài vỏ	16,61	9,89	64,35	90,84	0,183 ± 0,074	0,109 ± 0,039
Chiều rộng vỏ	6,99	6,37	23,85	37,21	0,188 ± 0,082	0,171 ± 0,047
Tỷ lệ sống	0,072	0,003	0,182	0,261	0,276 ± 0,092	0,026 ± 0,035

[1]Phương sai di truyền cộng gộp; [2]Phương sai ảnh hưởng môi trường nuôi riêng rẽ; [3]Phương sai môi trường; [4]Phương sai kiểu hình; [5]Hệ số di truyền; [6]Ảnh hưởng môi trường nuôi riêng rẽ; [7]trung bình ± sai số chuẩn.

Hệ số di truyền là ở mức cao cho khối lượng thân (0,459 ± 0,117) và chiều cao vỏ (0,607 ± 0,165), trung bình cho tỷ lệ sống (0,276 ± 0,092) và thấp cho chiều dài vỏ (0,183 ± 0,074) và chiều rộng vỏ (0,188 ± 0,082) (Bourdon, 2014), khẳng định tiềm năng cải thiện nhanh các tính trạng sinh trưởng, đặc biệt cho W và SH trên hàu *C. angulata* trong điều kiện nhiệt đới Nam Bộ. Các giá trị này cao hơn so với công bố ở miền Bắc Việt Nam và Trung Quốc với h^2 = 0,19 - 0,43 (Vu & ctv., 2020; Han & ctv., 2022), nhiều khả năng nhờ nhiệt độ ổn định (25 - 30°C) và nguồn dinh dưỡng dồi dào làm giảm σ^2_E và σ^2_A tăng . Hệ số di truyền cũng tương đồng hoặc cao hơn trên hàu *C. gigas* (0,25 - 0,86) (Le & ctv., 2023; Jiang & ctv., 2024) và *C. virginica* (0,40 - 0,60) (McCarty & ctv., 2020). So sánh này nhấn mạnh lợi thế của điều kiện nhiệt đới trong việc duy trì h^2 cao, qua đó nâng cao hiệu quả chọn lọc cho các tính trạng sinh trưởng.

Hệ số di truyền ước tính cho tỷ lệ sống là 0,28 ± 0,08 ở mức trung bình (Bourdon, 2014), cho thấy tiềm năng cải thiện di truyền thông qua chọn lọc. Kết quả này cao hơn so với hàu *C. angulata* được công bố ở vùng cận nhiệt đới (0,11 - 0,27) (Han & ctv., 2022; Le & ctv., 2025; Vu & ctv., 2025). Sự khác biệt này có thể do môi trường nhiệt đới ổn định ở Long Sơn (nhiệt độ 25 - 30°C, độ mặn 28 - 33‰), tăng biểu hiện di truyền cộng gộp. Giá trị này cũng nằm trong khoảng đã báo cáo cho hàu *C. gigas* (0,10 - 0,39) (Ernande & ctv., 2003; Evans & Langdon, 2006; Chi & ctv., 2022). Tương tự, nó gần với khoảng ghi nhận ở *C. virginica* (0,25 - 0,59) (Proestou & ctv., 2016; McCarty & ctv., 2020; Allen & ctv., 2021). Khác với các loài này, nơi tỷ lệ sống chủ yếu gắn với kháng bệnh, hệ số di truyền ở nghiên cứu này phản ánh tiềm năng cải thiện tỷ lệ sống tổng thể nhờ nhiệt độ ổn định và độ mặn tối ưu, giúp giảm biến động môi trường và duy trì tỷ lệ sống đàn nuôi.

Như vậy, chương trình chọn giống nên định hướng chiến lược chọn lọc tập trung vào tính trạng khối lượng thân do có hệ số di truyền cao

và phương sai di truyền lớn nhất, kết hợp giới hạn tỷ lệ sống dương và chiều cao vỏ cũng có thể được ưu tiên nếu nhu cầu thị trường lớn, đồng thời khai thác tương quan di truyền để cải thiện dần chiều dài, chiều rộng và tỷ lệ sống để đảm bảo chương trình chọn giống hiệu quả và bền vững.

3.3. Tương quan di truyền giữa các tính trạng khảo sát

Tương quan di truyền giữa các tính trạng sinh trưởng (W, SH, SL, SW) của hàu *C. angulata* G1 trong điều kiện nhiệt đới gió mùa đạt mức trung bình đến cao (0,50 - 0,91), khả năng cải thiện đồng thời nhiều tính trạng sinh trưởng thông qua chọn lọc một tính trạng. Riêng tương quan di truyền (r_g) giữa khối lượng thân và các tính trạng kích thước vỏ đều cao (0,79-0,91), khẳng định sự gắn kết chặt chẽ về mặt di truyền và giữa tính trạng sinh trưởng trọng tâm là khối lượng thân với các tính trạng còn lại (Bảng 4). So sánh cho thấy giá trị này vượt trội so với kết quả trên hàu *C. angulata* ở miền Bắc Việt Nam (0,23 - 0,71) (Vu & ctv., 2020) và Trung Quốc (0,67) (Han & ctv., 2022). Ngoài ra, giá trị này cũng cao hơn so với tương quan giữa khối lượng thân với chiều rộng vỏ và chiều cao vỏ hàu *C. gigas* ở thế hệ G2 (0,52 - 0,84) (Chi & ctv., 2021; 2022) ở Trung Quốc và *C. virginica* (-0,38 đến -0,50) ở Mỹ (Allen & ctv., 2021). Kết quả khẳng định quần đàn hàu sữa G1 chọn lọc trong điều kiện nhiệt đới gió mùa Long Sơn có nền tảng di truyền tốt, cho phép cải thiện nhanh và đồng bộ hơn so với các quần đàn ở vùng cận nhiệt đới và ôn đới, nơi biến động nhiệt độ theo mùa lớn và áp lực bệnh thường làm suy giảm các mối liên kết di truyền giữa các tính trạng này.

Ngược lại, tương quan di truyền giữa tỷ lệ sống (Sur) với W, SH, SL và SW ở mức nghịch thấp và không có ý nghĩa thống kê (-0,11 đến -0,09; $P > 0,05$). Kết quả này khẳng định chọn lọc sinh trưởng nhanh không làm suy giảm tỷ lệ sống, có xu hướng tương đồng với kết quả trên hàu *C. angulata* ở miền Bắc (-0,056 đến 0,189) (Le & ctv., 2025), chặt chẽ hơn trên loài hàu có quan hệ gần gũi *C. gigas* (-0,31 đến -0,12) (Chi & ctv., 2022) và thấp hơn trên hàu *C. virginica* (0,21 - 0,59) (Allen & ctv., 2021) trong điều kiện cận nhiệt đới và ôn đới. Kết quả khẳng định sự phù hợp của điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa ở Long Sơn, Vũng Tàu cho chọn giống hàu sữa. Đây cũng là cơ sở khoa học và thực tiễn để áp dụng chiến lược chọn lọc cải thiện sinh trưởng với cường độ chọn lọc cao mà không làm suy giảm sức sống ở các thế hệ chọn giống tiếp theo.

Bảng 4. Tương quan di truyền (r_g, trên đường chéo) và kiểu hình (r_p, dưới đường chéo) giữa các tính trạng sinh trưởng và tỷ lệ sống hàu *C. angulata* thế hệ G1

Tính trạng[1]	Khối lượng	Chiều cao vỏ	Chiều dài vỏ	Chiều rộng vỏ	Tỷ lệ sống
Khối lượng	KQĐ	0,80 ± 0,08	0,81 ± 0,10	0,79 ± 0,13	-0,10 ± 0,13
Chiều cao vỏ	0,75 ± 0,02[2]	-	0,91 ± 0,08	0,50 ± 0,20	-0,11 ± 0,13
Chiều dài vỏ	0,54 ± 0,02	0,55 ± 0,02	-	0,70 ± 0,16	-0,09 ± 0,13
Chiều rộng vỏ	0,60 ± 0,02	0,49 ± 0,03	0,52 ± 0,02	-	-0,10 ± 0,13
Tỷ lệ sống	-0,02 ± 0,03	-0,03 ± 0,04	-0,01 ± 0,03	-0,02 ± 0,03	-

[1]*Trung bình ± sai số chuẩn.*

KQĐ: không quy định.

3.4. Hiệu quả chọn lọc (R)

Hiệu quả chọn lọc (R) của quần đàn hàu sữa thế hệ G1 được ghi nhận ở mức cao, đạt 19,83% đối với khối lượng thân và 35,27% đối với tỷ lệ sống khi áp dụng chọn lọc riêng rẽ với tỷ lệ chọn lọc 24,24% và cường độ chọn lọc i = 1,271 (Bảng 5). Giá trị giống trung bình (EBV) khối lượng thân quần đàn trước chọn lọc là 0,61 g và sau chọn lọc là 10,36 g. Kết quả này vượt trội so với kết quả trên hàu *C. angulata*, Vu & ctv. (2020) ghi nhận hiệu quả chọn lọc cho khối lượng thân chỉ tăng 17,4% sau ba thế hệ và tỷ lệ sống hầu như không cải thiện ở miền Bắc Việt Nam và Han & ctv. (2022) báo cáo hiệu quả chọn lọc cho khối lượng thân đạt 10 - 15% sau một thế hệ trên hàu *C. angulata* tại Trung Quốc. Trên hàu *C. gigas* tại Pháp, Mỹ và Trung Quốc, hiệu quả chọn lọc cho khối lượng thân phổ biến 5,8 - 15,2% (Langdon & ctv., 2003; Dégremont & ctv., 2007; Chi & ctv., 2021). Ở hàu *C. virginica*, hiệu quả chọn lọc cho khối lượng thân và tỷ lệ sống thường 10 - 20% (Proestou & ctv., 2016; Allen & ctv., 2021). Đặc biệt, hiệu quả chọn lọc cho tỷ lệ sống trong nghiên cứu này vượt trội ngay từ G1 (35,27%), trong khi ở các loài và vùng khí hậu khác đạt 10 - 39,6% sau nhiều thế hệ chọn giống. Các kết quả này khẳng định rằng việc chọn lọc dựa trên EBV khối lượng thân cao nhất kết hợp giới hạn EBV tỷ lệ sống dương là chiến lược chọn lọc rất phù hợp, không chỉ đạt được hiệu quả chọn lọc vượt trội mà còn giúp cân bằng giữa sinh trưởng và tỷ lệ sống. Điều này phản ánh lợi thế của điều kiện nuôi trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa Long Sơn, khi biểu hiện rõ rệt biến dị di truyền cộng gộp và rút ngắn chu kỳ nuôi (6 tháng), qua đó khẳng định tiềm năng chọn giống đạt được đồng thời hai mục tiêu sinh trưởng nhanh và duy trì sức sống ổn định của quần đàn chọn giống.

Bảng 5. Hiệu quả chọn lọc ước tính (R) cho khối lượng và tỷ lệ sống hàu *C. angulata* thế hệ G1

Tính trạng	TB[1]	h^2	p (%)	i	σ_p	[2]R	R (%)
Khối lượng (g)	52,21	0,46	24,24	1,271	17,71	10,36	19,83
Tỷ lệ sống (%)	51,55	0,28	24,24	1,271	51,09	18,18	35,27

[1]Trung bình theo tính trạng của quần đàn trước chọn lọc; [2]hiệu quả chọn lọc theo đơn vị tính trạng.

4. Kết Luận

Nghiên cứu này khẳng định tiềm năng cải thiện di truyền đáng kể của hàu sữa (*C. angulata*) trong điều kiện nhiệt đới gió mùa tại Long Sơn, Vũng Tàu, với hệ số di truyền cao cho khối lượng thân (0,46) và chiều cao vỏ (0,61). Các tính trạng sinh trưởng có tương quan di truyền chặt chẽ với nhau (0,79 - 0,91) và nghịch thấp với tỷ lệ sống, cho phép chọn lọc sinh trưởng nhanh đồng thời các tính trạng sinh trưởng mà không làm suy giảm sức sống. Hiệu quả chọn lọc ước tính riêng rẽ từng tính trạng đạt 19,83% cho khối lượng thân và 35,27% cho tỷ lệ sống, minh chứng tính khả thi của mục tiêu chọn giống sinh trưởng nhanh. Các kết quả này không chỉ cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho phát triển chương trình chọn giống hàu sữa bền vững tại Nam Bộ, mà còn định hướng cho các chiến lược tiếp theo như mở rộng khảo nghiệm đa môi trường và tích hợp thêm các tính trạng chất lượng, cũng như ứng dụng công nghệ di truyền phân tử nhằm quản lý và duy trì tiềm năng di truyền lâu dài.

Lời Cam Đoan

Chúng tôi cam kết bài báo này là công trình nghiên cứu gốc, chưa từng công bố ở nơi khác và không gửi đồng thời đến tạp chí khác. Tất cả các tác giả đều đồng thuận về nội dung và đã đồng

ý xuất bản trong Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển. Nghiên cứu tuân thủ đầy đủ quy định về đạo đức nghiên cứu và quyền tác giả.

Lời Cảm Ơn

Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí thực hiện nghiên cứu. Xin gửi lời cảm ơn đến Ban Lãnh đạo Viện Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản II, Trung tâm Quốc gia Giống Hải sản Nam Bộ, các đồng nghiệp, thành viên đề tài và các đơn vị phối hợp đã cung cấp cơ sở vật chất, hỗ trợ kỹ thuật và đóng góp chuyên môn quý báu, góp phần quan trọng vào sự thành công của nghiên cứu này.

Tài Liệu Tham Khảo (References)

Allen, S. K. J., Small, J. M., & Kube, P. D. (2021). Genetic parameters for *Crassostrea virginica* and their application to family-based breeding in the mid-Atlantic, USA. *Aquaculture* 538, 736578. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736578.

Bourdon, R. M. (2014). *Understanding animal breeding* (2nd ed., 513). Harlow, UK: Pearson Education Limited.

Chi, Y., Jiang, G., Liang, Y., Xu, C., & Li, Q. (2022). Selective breeding for summer survival in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): Genetic parameters and response to selection. *Aquaculture* 556, 738271. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738271.

Chi, Y., Li, Q., Liu, S., & Kong, L. (2021). Genetic parameters of growth and survival in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture Research* 52(1), 282-290. https://doi.org/10.1111/are.14891.

Dégremont, L., Ernande, B., Bédier, E., & Boudry, P. (2007). Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). I. Estimation of genetic parameters for survival and growth. *Aquaculture* 262(1), 41-53. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.025.

de Melo, C. M. R., Durland, E., & Langdon, C. (2016). Improvements in desirable traits of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a result of five generations of selection on the West Coast, USA. *Aquaculture* 460, 105-115. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.017.

Ernande, B., Clobert, J., McCombie, H., & Boudry, P. (2003). Genetic polymorphism and trade-offs in the early life-history strategy of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795): a quantitative genetic study. *Journal of Evolutionary Biology* 16(3), 399-414. https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2003.00543.x.

Evans, O., Hick, P., & Whittington, R. J. (2016). Comparison of two external tagging methods used for the identification of individual adult Pacific oysters, *Crassostrea gigas*. *Journal of Shellfish Research* 35(4), 837-840. https://doi.org/10.2983/035.035.0411.

Evans, S., & Langdon, C. (2006). Direct and indirect responses to selection on individual body weight in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture* 261(2), 546-555. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.037.

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to quantitative genetics* (4th ed.). Harlow, UK: Addison Wesley Longman.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024 - Blue Transformation in action*. Rome, Italy: FAO. https://doi.org/10.4060/cd0683en.

Gilmour, A. R., Gogel, B. J., Cullis, B. R., Welham, S. J., & Thompson, R. (2021). *ASReml user guide release 4.2 functional specification*. Hemel Hempstead, UK: VSN International Ltd.

Gjedrem, T. (Ed.). (2005). *Selection and breeding programs in aquaculture* (1st ed.). Dordrecht, Netherlands: Springer Nature.

Gjedrem, T., & Baranski, M. (2009). The success of selective breeding in aquaculture. In Gjedrem, T., & Baranski, M. (Eds.), *Selective breeding in aquaculture: An introduction* (1st ed., 13-23). Dordrecht Netherlands: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2773-3_3.

Gjedrem, T., & Rye, M. (2018). Selection response in fish and shellfish: a review. *Reviews in Aquaculture* 10(1), 168-179. https://doi.org/10.1111/raq.12154.

Han, Z., Guo, X., Lu, Z., Song, Y., Chen, R., Han, X., Yu, S., Tu, K., Liu, L., & Que, H. (2022). Heritability estimates for gonadal development traits and their genetic correlations with growth and heat tolerance traits in the Fujian Oyster *Crassostrea angulata*. *Frontiers in Marine Science* 9, 986441. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.986441.

Helm, M. M., Bourne, N., & Lovatelli, A. (2004). *The hatchery culture of bivalves: A practical manual*. Retrieved September 7, 2025, from https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y5720e.

In, V. V., Sang, V. V., O'Connor, W., Van, P. T., Dove, M., Knibb, W., & Nguyen, N. H. (2017). Are strain genetic effect and heterosis expression altered with culture system and rearing environment in the Portuguese oyster (*Crassostrea angulata*)? *Aquaculture Research* 48(8), 4058-4069. https://doi.org/10.1111/are.13227.

Jiang, K., Chen, C., Jiang, G., Chi, Y., Xu, C., Kong, L., Liu, S., & Li, Q. (2024). Genetic improvement of oysters: current status, challenges, and prospects. *Reviews in Aquaculture* 16(2), 796-817. https://doi.org/10.1111/raq.12868.

Langdon, C., Evans, F., Jacobson, D., & Blouin, M. (2003). Yields of cultured Pacific oysters *Crassostrea gigas* Thunberg improved after one generation of selection. *Aquaculture* 220(1-4), 227-244. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00621-X.

Le, T. N. P., Boudry, P., O'Connor, W., Potts, R. W., Gheyas, A. A., Htoo, H., Nguyen, T. T. A., Geist, J., Vu, I. V., La, T. T., Cao, G. T., Do, H. M., Khanh, T. D., Dam, A. T., Nguyen, A. M., Aini, S., & Van Vu, S. (2025). Genetic parameters for shell growth and survival in Portuguese oyster (*Crassostrea angulata*) larvae, juveniles, and adults. *Aquaculture International* 33(3), 188. https://doi.org/10.1007/s10499-024-01306-0.

Le, T. N. P., Vu, S. V., Ugalde, S. C., Subramanian, S., Gilmour, A., Dove, M., Vu, I. V., Geist, J., Tran, T. N. T., Gondro, C., Cao, G. T., Le, T. T., Nguyen, T. M., Ngo, T. K. N., Vu, T. T. H., Premachandra, H. K. A., Knibb, W., & O'Connor, W. (2023). The genetics and breeding of the Portuguese oyster, *Crassostrea angulata*: lessons, experiences, and challenges in Vietnam. *Frontiers in Marine Science* 10, 1161009. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1161009.

McCarty, A. J., McFarland, K., Small, J., Allen, J. S. K., & Plough, L. V. (2020). Heritability of acute low salinity survival in the Eastern oyster (*Crassostrea virginica*). *Aquaculture* 529, 735649. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735649.

Moreira, A., Figueira, E., Libralato, G., Soares, A. M., Guida, M., & Freitas, R. (2018). Comparative sensitivity of *Crassostrea angulata* and *Crassostrea gigas* embryo-larval development to As under varying salinity and temperature. *Marine Environmental Research* 140, 135-144. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.06.003.

Nguyen, T. L., Nguyen, T. M. A., Nguyen, T. S., Nguyen T. N., Nguyen N. T., & Nguyen V. S. (2024). Effects of nutrition on growth and survival of oyster larvae *Crassostrea angulata* for selective breeding program. *Vietnam Journal of Science and Technology B* 66(11), 42-48. https://doi.org/10.31276/VJST.66(11).42-48.

Proestou, D. A., Vinyard, B. T., Corbett, R. J., Piesz, J., Allen, J. S. K., Small, J. M., Li, C., Liu, M., DeBrosse, G., Guo, X., Rawson, P., & Gomez-Chiarri, M. (2016). Performance

of selectively-bred lines of eastern oyster, *Crassostrea virginica*, across eastern US estuaries. *Aquaculture* 464, 17-27. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.012.

Sun, Y., Zhang, C., Liu, F., Zhang, H., Du, H., Zhang, Y., & Zheng, H. (2024). Effects of different aquaculture patterns on growth, survival and yield of diploid and triploid Portuguese oysters (*Crassostrea angulata*). *Aquaculture* 579, 740264. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740264.

Tan, K., Liu, H., Ye, T., Ma, H., Li, S., & Zheng, H. (2020). Growth, survival and lipid composition of *Crassostrea gigas*, *C. angulata* and their reciprocal hybrids cultured in southern China. *Aquaculture* 516, 734524. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734524.

Vu, S. V., Knibb, W., Nguyen, N. T., Vu, I. V., O'connor, W., Dove, M., & Nguyen, N. H. (2020). First breeding program of the Portuguese oyster *Crassostrea angulata* demonstrated significant selection response in traits of economic importance. *Aquaculture* 518, 734664. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734664.

Vu, V. I., Boudry, P., Vengatesen, T., Gheyas, A., Khanh, T. D., Nguyen, T. M., Htoo, H., Kim, H. W., Kundu S., Minh, T. T. N., Trung, D. T. T., Nguyen, T. T. A., Thuy, L. T., O'Connor, W., Luu, G. T. H., Pham, N. H., Tiep, N. K., & Vu, V. S. (2025). Genetic parameters for whole weight and survival rate of the Portuguese oyster, *Crassostrea angulata*, at different harvest stages after six generations of selection. *Aquaculture International* 33(3), 1-12. https://doi.org/10.1007/s10499-025-01925-w.

Yu, Z. (2023). Bottom culture is a promising strategy for final grow-out of the Portuguese oyster *Crassostrea angulata*. *Aquacultural Engineering* 103, 102365. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102365.