

Determination of transducer types and frequencies in gonadal ultrasound of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878)

Hoa P. Nguyen¹, Van T. B. Nguyen², Trong T. Tran¹, Linh N. T. Bui³, & Hien T. T. Nguyen^{3*}

¹Faculty of Fisheries, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

²College of Agriculture, Bac Lieu University, Bac Lieu, Vietnam

³The Faculty of Animal Science and Veterinary Medicine, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

Research Paper

Received: April 24, 2023

Revised: December 01, 2023

Accepted: December 13, 2023

Keywords

Frequency

Pangasianodon hypophthalmus

Probe

Striped catfish

Ultrasound image

* Corresponding author

Nguyen Thi Thanh Hien

Email:

vet.thanhvien@gmail.com

ABSTRACT

Ultrasound images can be utilized as a non-invasive method for the sex determination of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) for future breeding in a reproductive program. Striped catfish of various sizes were examined for gonads using an ultrasound machine. The results showed that for striped catfish less than 3 kg, a micro convex probe (5.0 MHz frequency), convex probe (3.5 - 5.0 MHz frequency), and linear probe (5.0 MHz frequency) could be used to examine gonads in ventral fish position. In a comprehensive examination of both ovaries, convex and micro convex probes gave high-potential ultrasound images but could not identify their testis. In the case of sizeable striped catfish over 3 kg, using the convex probe (3.5 - 5.0 MHz frequency) and micro convex (5.0 MHz frequency) resulted in the best ultrasound images of ovaries. When the fish were at the stage of sexual maturity, it was possible to distinguish between the ovaries and the testis on ultrasound images.

Cited as: Nguyen, H. P., Nguyen, V. T. B., Tran, T. T., Bui, L. N. T., & Nguyen, H. T. T. (2024). Determination of transducer types and frequencies in gonadal ultrasound of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878). *The Journal of Agriculture and Development* 23(4), 30-43.

Xác định loại đầu dò và tần số trong siêu âm tuyến sinh dục cá tra *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878)

Nguyễn Phú Hòa¹, Nguyễn Thị Bích Vân², Trần Thanh Trọng¹, Bùi Ngọc Thúy Linh³
& Nguyễn Thị Thanh Hiền^{3*}

¹Khoa Thủy Sản, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

²Khoa Nông Nghiệp, Trường Đại Học Bạc Liêu, Bạc Liêu

³Khoa Chăn Nuôi Thú Y, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 24/04/2023

Ngày chỉnh sửa: 01/12/2023

Ngày chấp nhận: 13/12/2023

Từ khóa

Cá tra

Đầu dò

Hình ảnh siêu âm

Pangasianodon hypophthalmus

Tần số

* Tác giả liên hệ

Nguyễn Thị Thanh Hiền

Email:

vet.thanhhiem@gmail.com

TÓM TẮT

Kỹ thuật siêu âm chẩn đoán hình ảnh được sử dụng như một phương pháp không xâm lấn để xác định giới tính của cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) trong quá trình sản xuất giống nhân tạo. Cá tra với nhiều kích cỡ khác nhau đã được kiểm tra tuyến sinh dục bằng máy siêu âm. Kết quả cho thấy đối với cá tra nhỏ hơn 3 kg, sử dụng đầu dò micro convex (tần số 5,0 MHz), đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và đầu dò linear (tần số 5,0 MHz) đều có thể sử dụng để khảo sát tuyến sinh dục ở vị trí mặt bụng cá. Siêu âm vị trí mặt bên cá chỉ nên sử dụng đầu dò convex và micro convex để khảo sát toàn diện cả 2 buồng trứng nhưng không xác định được buồng tinh của cá. Trường hợp cá tra lớn trên 3 kg, sử dụng đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và micro convex (tần số 5,0 MHz) cho hình ảnh siêu âm tốt nhất. Khi cá ở giai đoạn thành thục sinh dục, có thể phân biệt buồng trứng và buồng tinh trên hình ảnh siêu âm.

1. Đặt Vấn Đề

Để góp phần làm giảm áp lực của việc đánh bắt cũng như bảo vệ một số loài cá có giá trị kinh tế đang có nguy cơ tuyệt chủng thì việc tạo ra những con giống nhân tạo phục vụ cho nuôi trồng thủy sản là vấn đề đang được các nhà nuôi cá quan tâm. Việc lựa chọn cá đực và cá cái cho nuôi vỗ cũng như xác định sự thành thục của buồng tinh và buồng trứng là yếu tố quan trọng cho sự thành công của việc sản xuất giống cá. Các biện pháp thăm dò và xác định giới tính vẫn còn mang tính xâm lấn, chưa đáp ứng được phúc lợi động vật.

Hiện nay, việc ứng dụng kỹ thuật tiên tiến trong sản xuất giống nhằm đảm bảo phúc lợi động vật đã được nhiều nước quan tâm. Hai mươi cá trê Phi cái (*Clarias gariepinus*) đã được chụp cắt lớp sử dụng máy siêu âm SIUI CTS-5000 có trang bị đầu cực dò đường cong loại biến tần 3,5/5,0 MHz. Các hình ảnh siêu âm được sử dụng làm công cụ chẩn đoán quyết định về giống (Achionye-Nzeh & Jimoh, 2010). Tình trạng bất thường của tuyến sinh dục loài cá này được nhận dạng qua hình ảnh siêu âm. Tình trạng bất thường này không thể phát hiện bằng phương pháp quan sát đơn giản thông thường sử

dụng các đặc tính giới tính thứ cấp. Ngoài ra, các kết quả nghiên cứu cho thấy tính hữu ích thực tế của phương pháp siêu âm đối với việc kiểm tra sự phát triển tuyến sinh dục của cá bơn chưa trưởng thành, không xâm lấn và theo thời gian thực (Matsubara & ctv., 1999). Kỹ thuật siêu âm hình ảnh phục vụ sinh sản nhiều đối tượng thủy sản có giá trị cao được các tác giả đề cập thêm như Novelo & Tiersch (2012; 2016), Hliwa & ctv. (2014), Naeve & ctv. (2019). Điều này cho thấy siêu âm là một trong các phương pháp hữu hiệu để đánh giá khả năng sinh sản cho cá bơn vì nó sẽ cho phép các chủ trại xác định đực, cái và sự phát triển của tuyến sinh dục cá tra. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam chưa thấy công trình nghiên cứu khoa học nào công bố về vấn đề ứng dụng hình ảnh siêu âm cho việc sản xuất giống cá tra.

2. Vật Liệu và Phương Pháp Nghiên Cứu

Máy siêu âm (Mindray, Z60Vet, Trung Quốc), chế độ siêu âm B-mode realtime với ba loại đầu dò convex (tần số 2,0; 3,5; 4,5; 5,0 MHz), linear (tần số 5,0; 7,5; 8,5; 10,0 MHz) và micro convex (tần số 5,0; 6,5; 7,5; 8,5 MHz) được sử dụng trong nghiên cứu này.

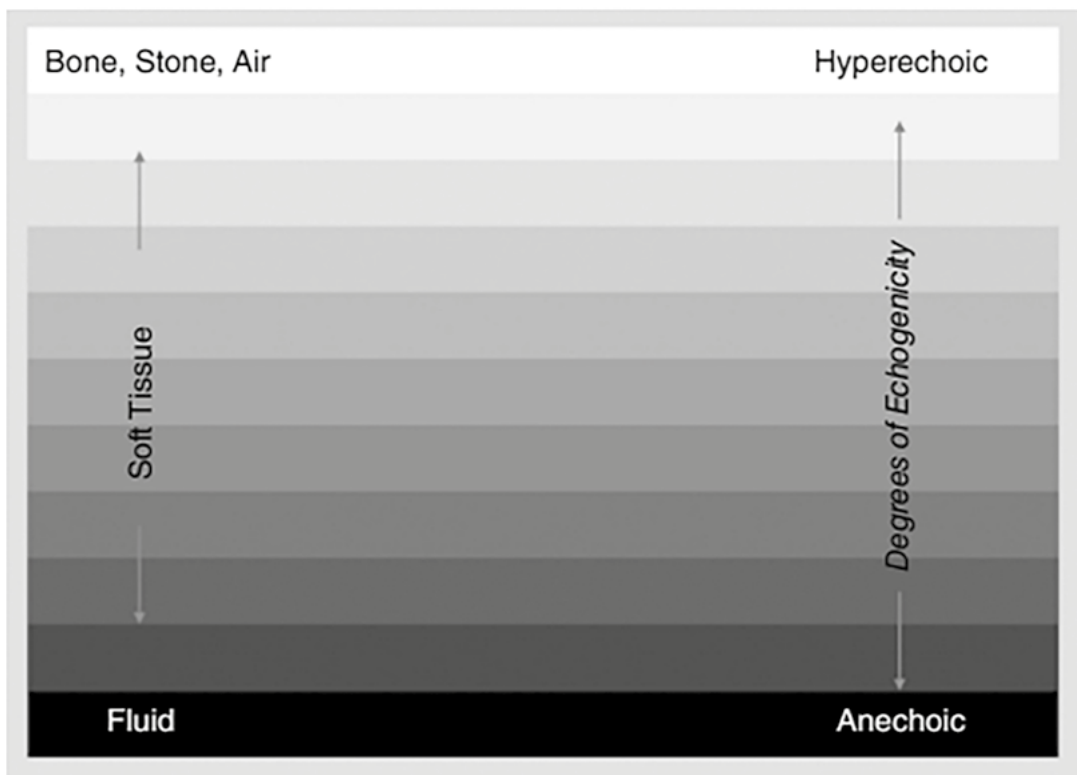
Cá tra (> 1 kg/con) được thu từ các trại sản xuất giống được đưa về trại thực nghiệm Khoa Thủy Sản, Trường Đại học Nông Lâm TP.HCM để tiến hành xác định tần số đầu dò. Cá được chuẩn bị thích nghi với môi trường bể composit 1.000 L. Tiến hành gây mê cá bằng thuốc mê AQUI-S® (Bayer, Việt Nam), chứa 50% Iso-eugenol chiết xuất từ thực vật, liều lượng 25 mL cho 1 m³ nước trong 3 phút. Sau khi cá đã có dấu hiệu mê (mất thăng bằng, các vây duỗi thẳng, ngừng bơi, mất phản xạ với các kích thích, hô hấp chậm), lấy cá ra cân khối lượng của cá, ghi nhận số liệu.

Mỗi loại đầu dò được sử dụng để siêu âm cá, kết quả hình ảnh tốt nhất của loại đầu dò được xác định và sử dụng để tiếp tục nghiên cứu tần số. Mỗi tần số được sử dụng để thăm dò tuyến sinh dục của 10 cá thể. Kết quả siêu âm của loại đầu dò cho hình ảnh đạt chất lượng tốt nhất được chọn cho nội dung kế tiếp: 20 cá tra được siêu âm ngẫu nhiên để xác định giới tính.

Chỉ tiêu theo dõi: vị trí siêu âm (mặt bên hay mặt bụng hay cả hai), hình ảnh trên màn hình biểu thị cho cấu trúc tuyến sinh dục đực và cái, độ sáng của hình ảnh đại diện cho mức độ phản âm theo thang màu xám của Lisciandro (2021) (Hình 2).



Hình 1. Vị trí siêu âm mặt bụng (A) và mặt bên (B).



Hình 2. Sự khác biệt của sóng siêu âm trong thang màu xám chế độ B của các mô khác nhau (Lisciandro, 2021).

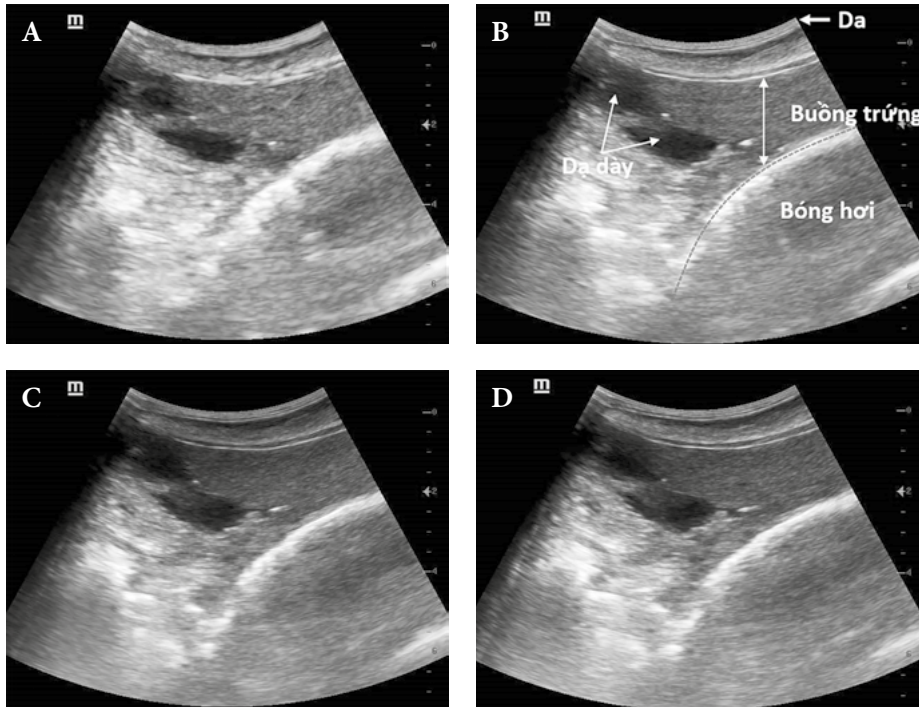
3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Khảo sát loại đầu dò, tần số của đầu dò để siêu âm tuyến sinh dục cá tra nhỏ dưới 3 kg

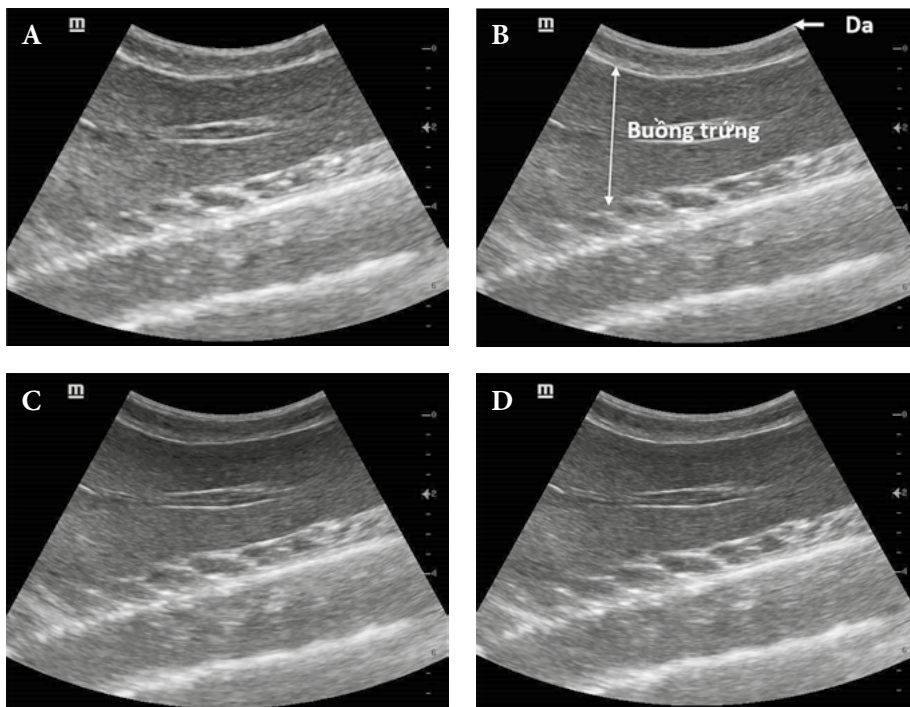
Tiến hành siêu âm tại các vị trí ở mặt bụng và mặt bên của cá tra (Hình 1). Kết quả hình ảnh siêu âm thu được khi dùng 3 loại đầu dò: convex (Hình 3 & 4), linear (Hình 5 & 6), micro convex (Hình 7 & 8).

Hình 3 và 4 cho thấy, hình ảnh siêu âm bằng đầu dò convex với các tần số 2,0 MHz, 3,5 MHz,

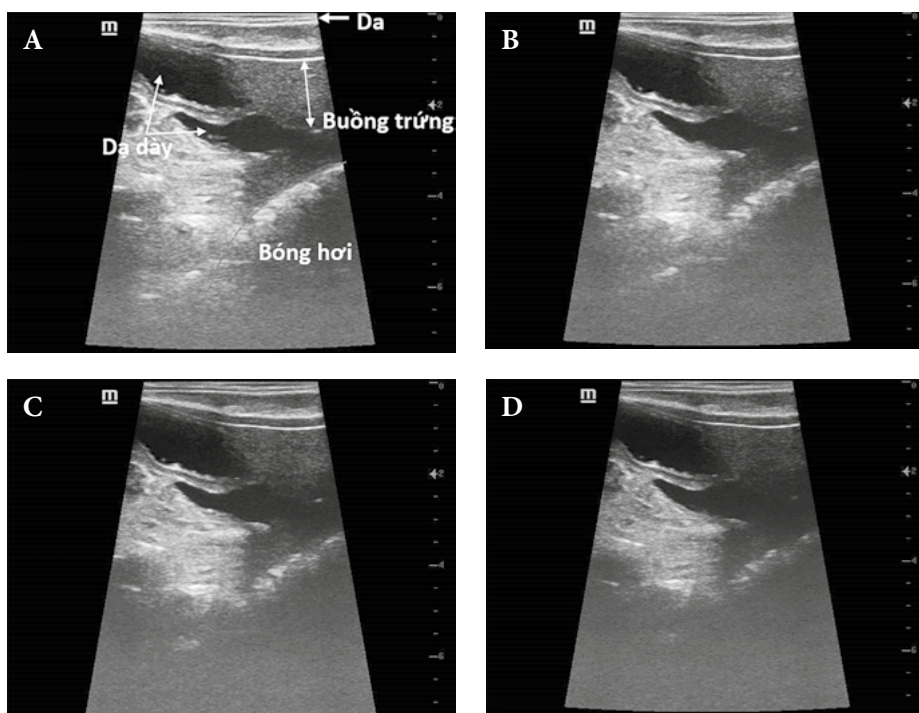
4,5 MHz và 5,0 MHz đều có độ tương phản hình ảnh giữa màu trắng và đen tốt. Tuy nhiên, khi dựa vào sự khác biệt của sóng siêu âm trong thang màu xám (Hình 4) so sánh về độ rõ nét phân biệt được các mô khác nhau thì các tần số 3,5 MHz, 4,5 MHz và 5,0 MHz cho kết quả rõ hơn tần số 2,0 MHz. Ở tần số 3,5 - 5,0 MHz có thể phân biệt được rõ ranh giới của các lớp mô khác nhau trong cơ thể. Vậy ở nhóm cá tra nhỏ dưới 3 kg có thể dùng đầu dò convex với tần số 3,5 - 5,0 MHz để siêu âm tuyến sinh dục cá.



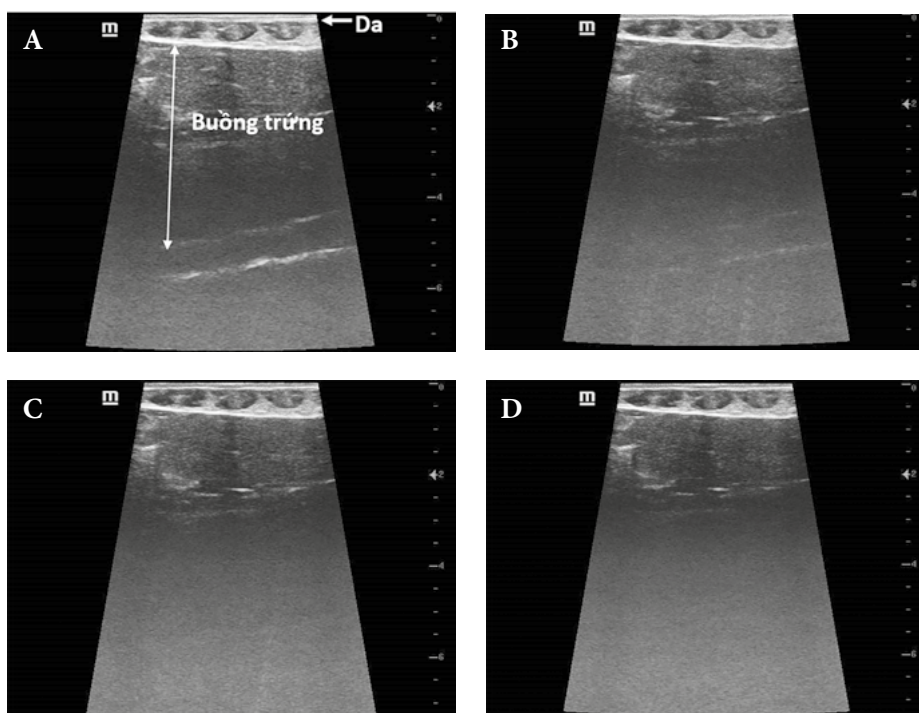
Hình 3. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò convex trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 2,0 MHz (A), 3,5 MHz (B), 4,5 MHz (C), 5,0 MHz (D).



Hình 4. Hình ảnh siêu âm mặt bên với đầu dò convex trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 2,0 MHz (A), 3,5 MHz (B), 4,5 MHz (C), 5,0 MHz (D).



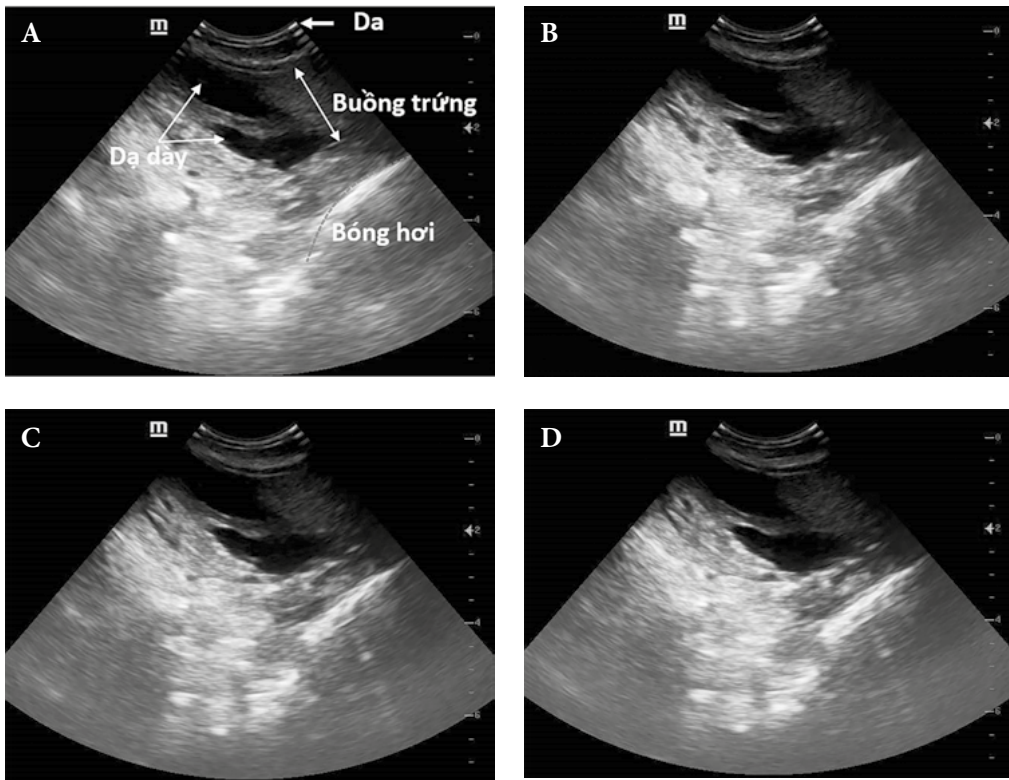
Hình 5. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò linear trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 7,5 MHz (B), 8,5 MHz (C), 10,0 MHz (D).



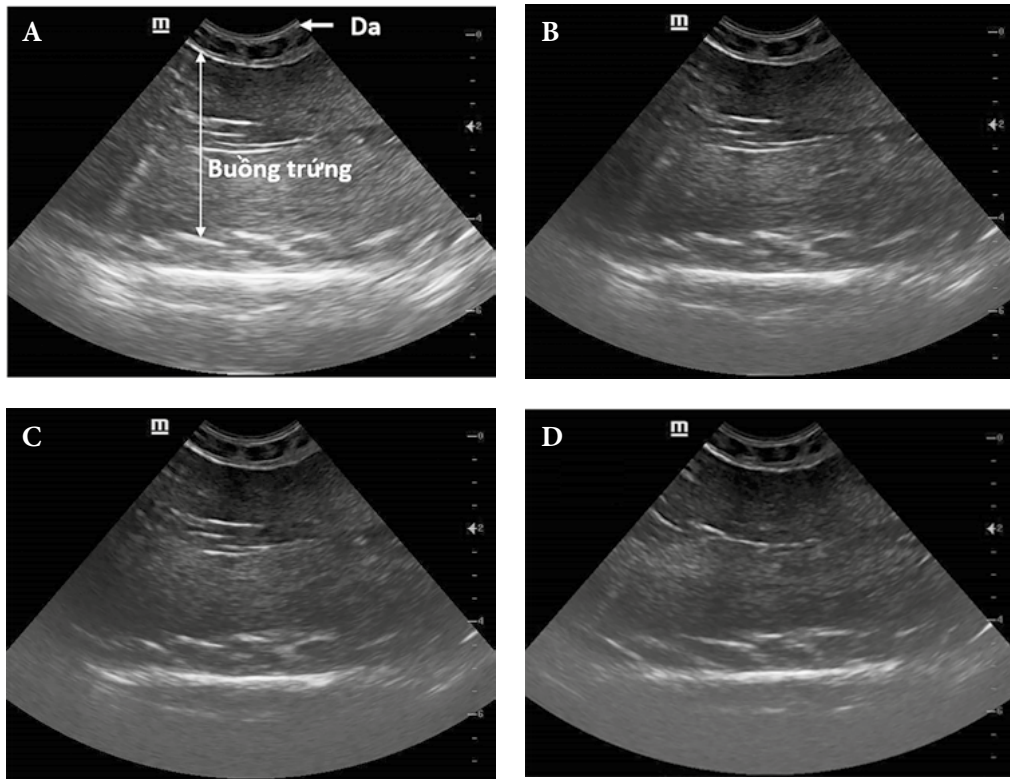
Hình 6. Hình ảnh siêu âm mặt bên với đầu dò linear trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 7,5 MHz (B), 8,5 MHz (C), 10,0 MHz (D).

Các hình ảnh siêu âm bằng đầu dò linear tần số 5,0 MHz đến tần số 10,0 MHz đều có độ tương phản tốt. Độ phân giải của hình ảnh đều rõ nét, phân biệt rõ ràng các lớp mô khác nhau trong cơ thể. Tuy nhiên, ở tần số 5,0 MHz có thể thấy rõ được màng bao bên ngoài của buồng trứng (Hình 5 A), các tần số còn lại bị tối và không thấy rõ được màng bao này. Khi siêu âm vị trí mặt bên của cá tra (Hình 6), hình ảnh siêu âm chỉ rõ được phần mô gần đầu dò, phần mô ở trường khảo sát phía xa bị mờ và tối hơn, không đáp ứng được

chiều sâu cơ quan cần khảo sát. Trong Hình 6 A, ở tần số 5,0 MHz ta thấy được ranh giới khu vực 2 buồng trứng của cá, nhưng phần buồng trứng phía xa bị mờ và khá tối, không rõ ràng. Hình 6 B, C & D không thấy được buồng trứng phía xa đầu dò. Đây cũng là nhược điểm của đầu dò linear khi khảo sát về độ sâu của cơ quan. Vậy ở nhóm cá tra nhỏ dưới 3 kg có thể dùng đầu dò linear với tần số 5,0 MHz để siêu âm tuyến sinh dục ở mặt bụng của cá. Khi siêu âm mặt bên của cá thì không nên sử dụng đầu dò linear.



Hình 7. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò micro convex trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 6,5 MHz (B), 7,5 MHz (C), 8,5 MHz (D).



Hình 8. Hình ảnh siêu âm mật bên với đầu dò micro convex trên cá tra cái 2,2 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 6,5 MHz (B), 7,5 MHz (C), 8,5 MHz (D).

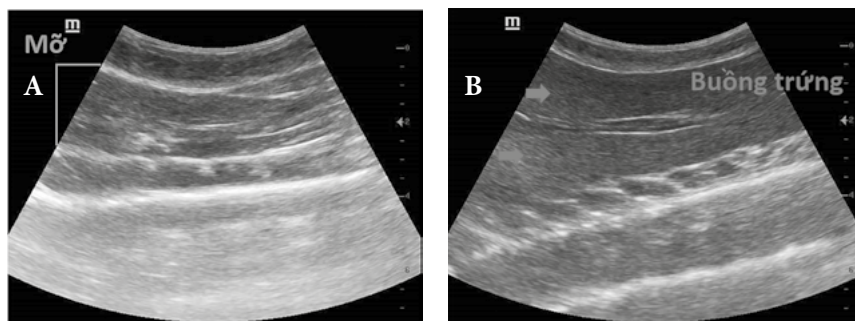
Hình ảnh siêu âm bằng đầu dò micro convex tần số 5,0 MHz đến tần số 8,5 MHz đều có độ tương phản hình ảnh tốt, độ phân giải rõ nét, phân biệt rõ ràng các lớp mô khác nhau trong cơ thể (Hình 7 & 8). Vậy ở nhóm cá tra nhỏ dưới 3 kg có thể dùng đầu dò micro convex với tần số 5,0 - 8,5 MHz để siêu âm tuyến sinh dục cá.

Kết quả nghiên cứu về loại đầu dò, tần số của đầu dò giống với kết quả nghiên cứu của một số tác giả khác. Blythe & ctv. (1994) sử dụng đầu dò linear tần số 5,0 MHz để xác định giới tính và tình trạng thành thực của cá vược sọc (*Morone saxatilis*) có khối lượng trung bình 2,5 kg. Đầu

dò linear tần số 5,0 MHz cũng được sử dụng để kiểm tra giới tính của cá tuyết *Maccullochella peelii peelii* (Newman & ctv., 2008) và kiểm tra buồng trứng cá da trơn *Ictalurus punctatus* (Guitreau & ctv., 2012). Cả hai đầu dò convex 3,5/5,0 MHz và linear 6,0/8,0 MHz đều có hiệu quả như nhau trong việc xác định giới tính của cá vược sọc (Jennings & ctv., 2005). Đầu dò convex với tần số 3,5 hay 5,0 MHz và đầu dò linear với tần số 7,5 MHz được sử dụng trong nghiên cứu hình thái tuyến sinh dục của cá hồi vân cái chuyển giới tính khối lượng từ 802 g đến 1644 g (Hliwa & ctv., 2014).

Trong nghiên cứu này, tổng cộng 10 cá tra trọng lượng dưới 3 kg được siêu âm ngẫu nhiên để xác định giới tính. Trong đó có 6 cá cái có buồng trứng phát triển, 4 cá có tuyến sinh dục chưa phát triển nên không nhận định được đực cái. Ở cá tra dưới 3 kg có thể siêu âm thấy

được buồng trứng nhưng rất khó để nhận ra được buồng tinh. Cá tra đực chưa thành thực buồng tinh rất nhỏ, lượng mỡ trong xoang bụng nhiều nên sẽ che buồng tinh, rất khó để quan sát (Hình 9).

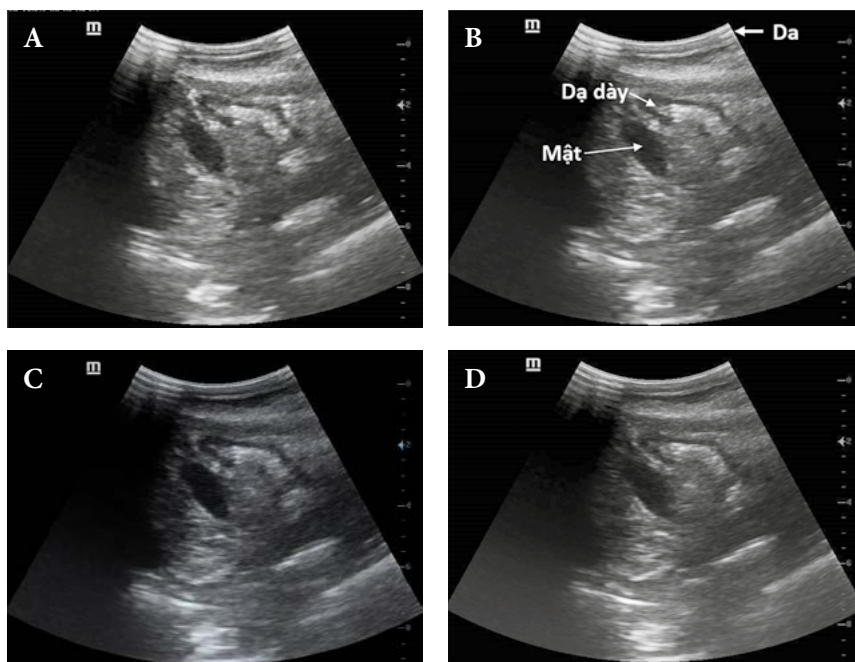


Hình 9. Hình ảnh siêu âm buồng tinh cá tra đực 2,2 kg (A) và buồng trứng cá tra cái 2,2 kg (B) với đầu dò convex, tần số 5,0 MHz.

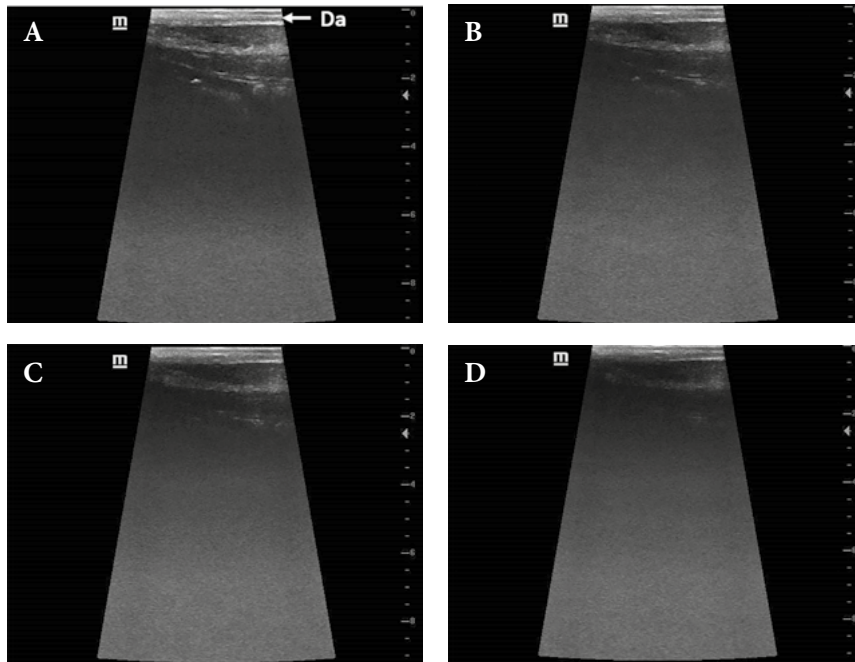
3.2. Khảo sát loại đầu dò, tần số của đầu dò để siêu âm tuyến sinh dục nhóm cá tra lớn trên 3 kg và cá thành thực sinh dục

Hình ảnh siêu âm bằng đầu dò convex với các tần số 2,0 MHz, 3,5 MHz, 4,5 MHz và 5,0 MHz ở vị trí mặt bụng cá đều có độ tương phản

phản hình ảnh tốt (Hình 10). Độ trở âm của các cấu trúc mô khác nhau, phân biệt được rõ ràng theo thang màu xám của Lisciandro (2021). Tuy nhiên, các tần số 3,5 MHz, 4,5 MHz và 5,0 MHz cho hình ảnh siêu âm rõ nét hơn so với tần số 2,0 MHz.



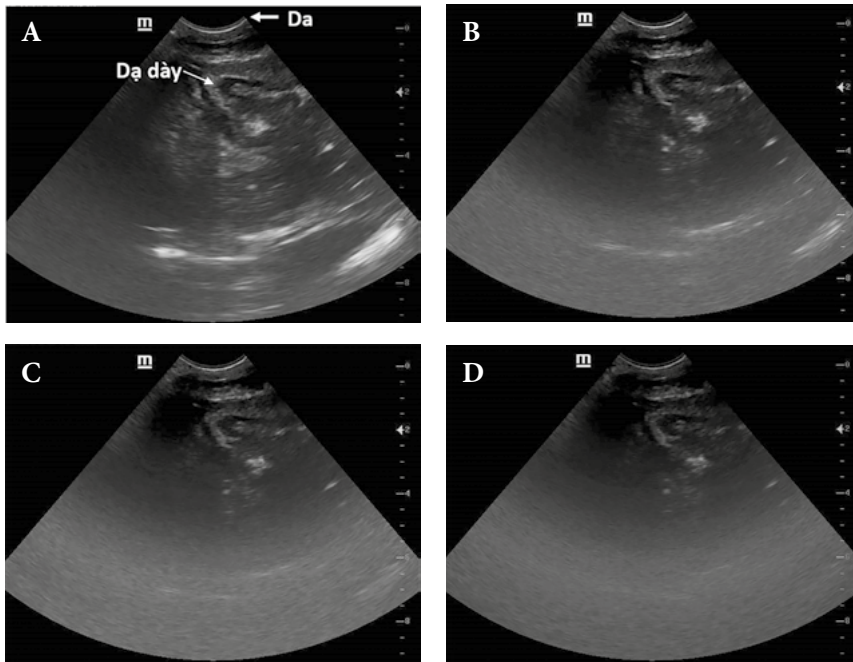
Hình 10. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò convex trên cá tra cái 8,9 kg với các tần số 2,0 MHz (A), 3,5 MHz (B), 4,5 MHz (C), 5,0 MHz (D).



Hình 11. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò linear trên cá tra cái 8,9 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 7,5 MHz (B), 8,5 MHz (C), 10,0 MHz (D).

Siêu âm bằng đầu dò linear với các tần số 5,0 - 10,0 MHz ở vị trí mặt bên cá không thể khảo sát được các cơ quan bên trong cá tra (Hình 11). Vì lớp da cá tra lớn khá dày nên đầu dò linear không thể xuyên thấu xa được, ta chỉ nhìn được

các lớp phản âm sáng và tối trong da của cá. Vậy ở nhóm cá tra lớn trên 3 kg và cá thành thực sinh dục không dùng đầu dò linear tần số 5,0 - 10,0 MHz để siêu âm tuyến sinh dục cá.



Hình 12. Hình ảnh siêu âm mặt bụng với đầu dò micro convex trên cá tra cái 8,9 kg với các tần số 5,0 MHz (A), 6,5 MHz (B), 7,5 MHz (C), 8,5 MHz (D).

Hình ảnh siêu âm bằng đầu dò micro convex tần số 5,0 MHz có độ phân giải rõ nét, phân biệt rõ ràng các lớp mô khác nhau trong cơ thể (Hình 12 A). Hình ảnh siêu âm ở các tần số 6,5 MHz, 7,5 MHz và 8,5 MHz bị tối hơn, không nhìn rõ ràng các lớp mô của cơ thể (Hình 12 B, C & D). Vậy ở nhóm cá tra lớn trên 3 kg và cá thành thực sinh dục có thể dùng đầu dò micro convex tần số 5,0 MHz để siêu âm tuyến sinh dục cá.

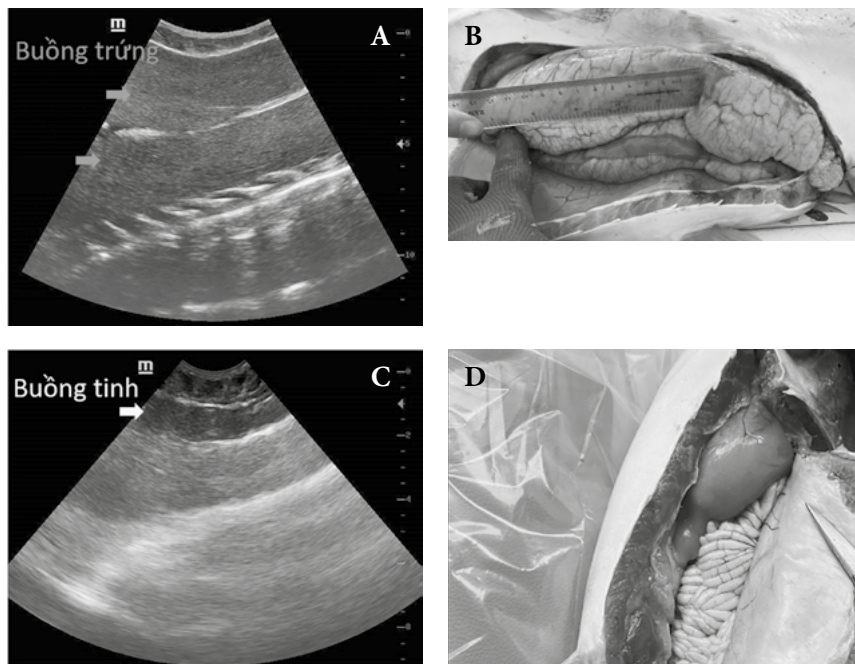
Theo Mattoon (2020), nguyên lý cơ bản trong việc lựa chọn đầu dò là luôn sử dụng tần số cao nhất cho phép với khả năng thâm nhập thích hợp đến độ sâu mong muốn. Điều này liên quan đến việc chọn đầu dò thích hợp và việc sử dụng đúng khả năng tần số của nó. Ở nhóm cá tra nhỏ dưới 3 kg, lớp da cơ vùng bụng mỏng, các tuyến sinh dục ở vị trí gần, kích thước buồng trứng nhỏ nên sử dụng đầu dò micro convex (tần số 5,0 MHz), đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và đầu dò linear (tần số 5,0 MHz) để khảo sát tuyến sinh dục ở vị trí mặt bụng cá. Siêu âm vị trí mặt bên cá chỉ nên sử dụng đầu dò

convex và micro convex để khảo sát toàn diện cả 2 buồng trứng. Ở nhóm cá tra lớn trên 3 kg, khảo sát tuyến sinh dục ở vị trí mặt bụng hay mặt bên nên sử dụng đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và micro convex (tần số 5,0 MHz) cho hình ảnh siêu âm tốt. Đầu dò linear không phù hợp để khảo sát cá tra lớn.

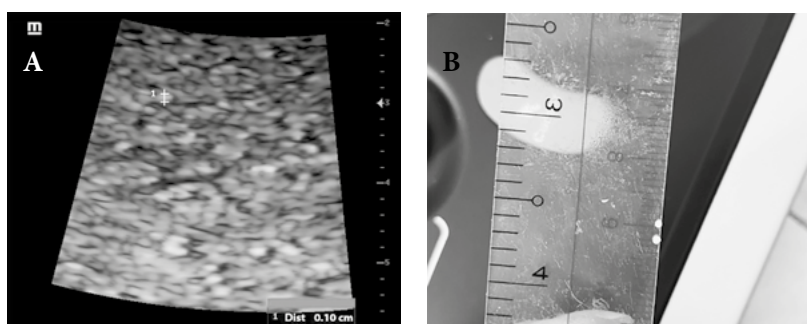
Kết quả nghiên cứu về loại đầu dò, tần số của đầu dò giống với kết quả nghiên cứu của một số tác giả khác. Brook (2001) sử dụng đầu dò đầu dò convex với tần số 5,0 MHz để siêu âm cơ quan sinh dục của cá *Tursiops truncatus aduncas* có khối lượng trên 96 kg; đầu dò convex với tần số 3,5 - 5,0 MHz có hiệu quả trong việc xác định giới tính cá trê Phi *Clarias gariepinus* (Achionye-Nzeh & Jimoh, 2010). Tuy nhiên, kết quả này khác về loại đầu dò, tần số của đầu dò với nghiên cứu của Moghim & ctv. (2002). Moghim & ctv. (2002) sử dụng đầu dò linear với tần số từ 5,0 - 7,5 MHz, chế độ siêu âm B-mode Realtime, siêu âm cá tằm *Acipenser stellatus* đực từ 4,5 kg - 13 kg, cá cái từ 4,5 kg - 16 kg.

Trong nghiên cứu này, tổng cộng 10 cá tra trọng lượng trên 3 kg được siêu âm ngẫu nhiên để xác định giới tính, trong đó xác định được 3 đực, 7 cái. Trong các mẫu cá siêu âm, có thể phân biệt được buồng trứng và buồng tinh trên hình ảnh siêu âm. Đối sánh với kết quả giải phẫu học sau khi siêu âm các cá này, tuyến sinh dục của cá đạt đến giai đoạn IV hoặc V. Lúc này, buồng trứng chứa nhiều tế bào trứng ở giai đoạn IV hoặc V, trên hình ảnh siêu âm, các tế bào trứng phản âm màu trắng khá đồng đều. Vị trí mũi tên

đỏ là khu vực trứng cá tra được nhìn thấy trên máy siêu âm (Hình 13 A). Hình ảnh siêu âm phóng to các tế bào trứng của cá tra (Hình 14) cho thấy kích thước đo trên máy siêu âm tương đương với kích thước tế bào trứng thực tế lấy mẫu, bằng 1 mm. Buồng tinh thường có màu tối hơn khi siêu âm vì hàm lượng nước cao. Vị trí mũi tên vàng là khu vực buồng tinh cá tra được nhìn thấy trên máy siêu âm (Hình 13 C). Kết quả này giống với kết quả của Martin-Robichaud & ctv. (2001) trong việc xác định giới tính cá bơn.



Hình 13. Hình ảnh siêu âm buồng trứng cá tra cái 7,6 kg (đầu dò convex, 5,0 MHz) (A); Hình giải phẫu buồng trứng giai đoạn IV (B); Hình ảnh siêu âm buồng tinh cá tra đực 4,4 kg (đầu dò micro convex, 5,0 MHz) (C); Hình giải phẫu buồng tinh giai đoạn IV (D).



Hình 14. Hình ảnh siêu âm phóng to các tế bào trứng của cá tra với đầu dò convex tần số 5,0 MHz (A) và kích thước thực tế các tế bào trứng cá tra (B), bằng 1 mm.

4. Kết Luận

Nghiên cứu đã xác định được loại đầu dò và tần số siêu âm tuyến sinh dục cá tra. Đối với cá tra nhỏ hơn 3 kg, sử dụng đầu dò micro convex (tần số 5,0 MHz), đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và đầu dò linear (tần số 5,0 MHz) để khảo sát tuyến sinh dục ở vị trí mặt bụng cá. Siêu âm vị trí mặt bên cá chỉ nên sử dụng đầu dò convex và micro convex để khảo sát toàn diện cả 2 buồng trứng nhưng không xác định được buồng tinh của cá. Trường hợp cá tra lớn trên 3 kg, sử dụng đầu dò convex (tần số 3,5 - 5,0 MHz) và micro convex (tần số 5,0 MHz) cho hình ảnh siêu âm tốt nhất. Khi cá có tuyến sinh dục phát triển đến các giai đoạn IV hay V, buồng trứng và buồng tinh có thể phân biệt rõ ràng trên hình ảnh siêu âm.

Lời Cam Đoan

Chúng tôi cam đoan nghiên cứu do nhóm tác giả thực hiện và không có bất kỳ mâu thuẫn nào giữa các tác giả.

Lời Cảm Ơn

Nghiên cứu này là một phần của đề tài được thực hiện bởi sự tài trợ kinh phí của Bộ Giáo dục và Đào tạo, có mã số B2022-NLS-03. Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo và Trường Đại học Nông Lâm TP.HCM đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này. Máy siêu âm Mindray của nghiên cứu này được tài trợ bởi Công ty Cổ phần GreenFeed Việt Nam.

Tài Liệu Tham Khảo (References)

Achionye-Nzeh, C. G., & Jimoh, K. O. (2010). Ultrasound evaluation of the gonads in catfish *Clarias gariepinus* (Teugels): An initial experience in Africa. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 2(4), 343-347.

Blythe, B., Helfrich, L. A., Beal, W. E., Bosworth, B., & Libey, G. S. (1994). Determination of sex and maturational status of striped bass (*Morone saxatilis*) using ultrasonic imaging. *Aquaculture* 125(1-2), 175-184. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90294-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90294-1).

Brook, F. M. (2001). Ultrasonographic imaging of the reproductive organs of the female bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus aduncas*. *Reproduction* 121(3), 419-428. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1210419>.

Guitreau, A. M., Eilts, B. E., Novelo, N. D., & Tiersch, T. R. (2012). Fish handling and ultrasound procedures for viewing the ovary of submersed, nonanesthetized, unrestrained channel catfish. *North American Journal of Aquaculture* 74(2), 182-187. <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.655852>.

Hliwa, P., Bah, M., Kuźmiński, H., Dobosz, S., & Ciereszko, A. (2014). Ultrasound evaluation of the gonadal structure in sex-reversed rainbow trout females. *Aquaculture International* 22(1), 89-96. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9646-5>.

Jennings, C. A., Will, T. A., & Reinert, T. R. (2005). Efficacy of a high- and low-frequency ultrasonic probe for measuring ovary volume and estimating fecundity of striped bass *Morone saxatilis* in the Savannah River Estuary. *Fisheries Research* 76(3), 445-453. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.07.016>.

Lisciandro, G. R. (2021). *Point-of-care ultrasound techniques for the small animal practitioner* (2nd ed.). New Jersey, USA: Wiley-Blackwell.

Martin-Robichaud, D. J., & Rommens, M. (2001). Assessment of sex and evaluation of ovarian maturation of fish using ultrasonography. *Aquaculture Research* 32(2), 113-120. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00538.x>.

Matsubara, T., Watanabe, K., Yamanome, T., & Kayaba, T. (1999). Application of ultrasonography to non-invasive sexing based on the sexual dimorphism in gonads of immature barfin flounder *Verasper*

- moseri. *Fisheries Science* 65(2), 244-247. <https://doi.org/10.2331/fishsci.65.244>.
- Mattoon, J. S., Sellon, R., & Berry, C. (2020). *Small animal diagnostic ultrasound* (4th ed.). Philadelphia, USA: Elsevier.
- Moghim, M., Vajhi, A. R., Veshkini, A., & Masoudifard, M. (2002). Determination of sex and maturity in *Acipenser stellatus* by using ultrasonography. *Journal of Applied Ichthyology* 18(2002), 325-328. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00423.x>.
- Naeve, I., Mommens, M., Arukwe, A., Virtanen, J., Hoque, E., & Kjørsvik, E. (2019). Ultrasound as a noninvasive tool for monitoring reproductive physiology in male atlantic salmon (*Salmo salar*). *Physiological Reports* 7(13), e14167. <https://doi.org/10.14814/phy2.14167>.
- Newman, D. M., Jones, P. L., & Ingram, B. A. (2008). Sexing accuracy and indicators of maturation status in captive Murray cod *Maccullochella peelii peelii* using non-invasive ultrasonic imagery. *Aquaculture* 279(1-4), 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.032>.
- Novelo, N. D., & Tiersch, T. R. (2016). Development and evaluation of an ultrasound imaging reproductive index based on the ovarian cycle of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 47(4), 526-537. <https://doi.org/10.1111/jwas.12291>.
- Novelo, N. D., & Tiersch, T. R. (2012). A review of the use of ultrasonography in fish reproduction. *North American Journal of Aquaculture* 74(2), 169-181. <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.672370>.