

ĐẶC TÍNH ÂM PHẢN HỒI CỦA CÁ NỤC SÒ (*DECAPTERUS MARUADSI*), CÁ BẠC MÁ (*RASTRELLIGER KANAGURTA*) VÀ CÁ NGÂN (*ATULE MATE*) DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐÁP TUYẾN TẦN SỐ

Vũ Việt Hà

Viện Nghiên cứu Hải sản, Hải Phòng

(Bài nhận ngày 01 tháng 10 năm 2009, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 17 tháng 03 năm 2010)

TÓM TẮT: Số liệu thủy âm đa tần số thu thập bằng phương pháp nhốt cá trong lồng ở Cát Bà năm 2005 được sử dụng để phân tích đặc tính âm phản hồi theo tần số của cá Nục sò, cá Bạc má và cá Ngân. Tổng số 168 chuỗi tín hiệu của cá Ngân, 291 của cá Nục và 53 của cá Bạc má đã được cô lập và sử dụng để xác định đáp tuyến tần số. Kết quả nghiên cứu cho thấy đáp tuyến tần số của cá Nục sò, cá Bạc má và cá Ngân khác nhau hoàn toàn (Post Hoc Tukey Test, $p < 0,001$). Sử dụng phương pháp phân tích phương trình biệt thức với các biến độc lập là đáp tuyến tần số ở 38 kHz, 120 kHz, 200 kHz và tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz cho phép phân biệt tín hiệu thủy âm của từng loài cá với độ chính xác 87%. Đáp tuyến tần số ở 38 kHz, 120 kHz và tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz là các biến độc lập quan trọng sử dụng để phân biệt tín hiệu âm phản hồi của các loài cá. Kết quả nghiên cứu mở ra một hướng mới trong việc áp dụng phương pháp thủy âm đánh giá nguồn lợi cá nhỏ ở biển Việt Nam.

Từ khóa: đặc tính âm phản hồi, chuỗi tín hiệu âm, đáp tuyến tần số, phương trình hàm biệt thức.

1. MỞ ĐẦU

Phương pháp thủy âm đã và đang được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu phân bố và ước tính trữ lượng các loài cá (Simmonds & MacLennan, 2005), nó được xem là phương pháp đánh giá nguồn lợi có độ chính xác khá cao, rút ngắn được thời gian điều tra và cung cấp nhanh các thông tin về hiện trạng nguồn lợi trong vùng biển nghiên cứu (Jennings et al., 2001). Nguyên lý của phương pháp dựa được trên quan hệ tuyến tính giữa năng lượng âm phản hồi và mật độ phân bố của cá trong khối nước (Foote, 1983; Gunderson, 1993). Tuy nhiên, phương pháp này cũng tồn tại những hạn chế nhất định do tín hiệu âm phản hồi thu được bị pha trộn của rất nhiều loài sinh vật, gây khó khăn cho việc xác định tín hiệu của từng loài riêng biệt (Simmonds & MacLennan, 2005). Do đó, khi thực hiện các chuyến điều tra biển bằng phương pháp thủy âm, việc đánh lưới để kiểm tra tín hiệu thu được là rất cần thiết để làm cơ sở để phân tách năng lượng âm phản hồi của từng loài riêng biệt. Ở các vùng biển nhiệt đới có khu hệ cá đa loài, việc đánh lưới kiểm tra tín hiệu đòi hỏi phải được thực hiện nhiều lần và thường xuyên để có được những thông tin chính xác nhất về thành phần loài hiện thị dưới dạng tín hiệu trên các bản ghi tích phân âm. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, vì nhiều lý do khác nhau việc đánh lưới kiểm

tra tín hiệu rất khó thậm chí không thể thực hiện được, gây khó khăn cho việc phân tích tín hiệu thủy âm.

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, kỹ thuật tổng hợp dữ liệu tích phân âm của nhiều tần số khác nhau cho phép xác định chính xác tín hiệu thủy âm của từng loài cá riêng biệt (Simmonds & MacLennan, 2005) mà không cần phải đánh lưới kiểm tra tín hiệu nhiều. Phương pháp thủy âm đa tần số (acoustic multi frequency methods) gần đây đã có những bước tiến đáng kể và được áp dụng rất thành công trong việc phân tách tín hiệu của các loài sinh vật biển. Phương pháp này đã được sử dụng để phân tách tín hiệu của các loài cá từ tín hiệu của các loài động vật phù du (McKelvey et al., 2006), giữa các loài cá (Jech & Michaels, 2006) hoặc giữa các tín hiệu của các loài cá không có bóng bơi, các loài cá có bóng bơi và các loài động vật phù du (Kloser et al., 2002; Korneliussen et al., 2002). Fernandes và Stewards (Fernandes & Stewart, 2004) đã sử dụng phương pháp thủy âm đa tần số bằng cách so sánh thể tích âm phản hồi ở từng tần số khác nhau để phân tách tín hiệu của một số loài cá chình biển (*Ammodytes spp.*) và cá Thu biển Bắc (*Scomber scombrus*). Phương pháp thủy âm đa tần số thậm chí còn được sử dụng để ước tính trữ lượng và phân bố của các loài động vật phù du theo các kích thước khác nhau (Pieper et al., 1990). Những thuận lợi, ưu điểm và hạn

chế của phương pháp áp dụng trong nghiên cứu nghề cá cũng được thảo luận cần nhắc nhằm giảm tối đa chi phí điều tra khảo sát và đảm bảo tính chính xác cao nhất của kết quả thu được (Jech & Micheals, 2006).

Phân tích đáp tuyến tần số là phương pháp tổng hợp tín hiệu âm phản hồi của loài sinh vật ở các tần số khác nhau. Phương pháp này đang được phát triển và áp dụng rộng rãi để phân tách tín hiệu của các loài cá ở vùng biển ôn đới (Korneliussen et al., 2003; Korneliussen & Ona, 2004). Ở Việt Nam, phương pháp thủy âm đã được áp dụng trong điều tra nguồn lợi cá nổi nhỏ từ năm 1979 trên tàu nghiên cứu Biển Đông (1500 CV). Năm 2003, Viện Nghiên cứu Hải sản thực hiện đề tài nghiên cứu trữ lượng và khả năng khai thác cá nổi nhỏ trên toàn vùng biển Việt Nam sử dụng phương pháp thủy âm (N. V. Nghĩa 2007), tuy nhiên đề tài chỉ dừng lại ở việc đánh giá trữ lượng và lập bản đồ phân bố, các nghiên cứu sâu hơn chưa thực hiện được.

Cá Nục sò (*Decapterus maruadsi*) (Fischer & Whitehead, 1974), cá Bạc má (*Rastrelliger kanagurta*) (Collette & Nauen, 1983) và cá Ngân (*Atule mate*) (Carpenter & Niem, 1999) là những loài cá nổi nhỏ chiếm ưu thế trong quần đàn cá nổi nhỏ ở biển Việt Nam. Nghiên cứu của N.V. Nghĩa (2007) cho thấy các loài cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân chiếm tỉ lệ khá cao trong sản lượng đánh bắt của các mẻ lưới kéo đáy và lưới kéo trung tầng ở cả mùa gió Đông Bắc và mùa gió Tây Nam (tỉ lệ sản lượng trung bình đánh bắt bằng lưới kéo đáy của cá Ngân: 1,4-15,9%; cá Nục sò: 1,0-13,9% và cá Bạc má: 1,8-8,2%). Áp dụng phương pháp thủy âm kết hợp với lưới kéo đáy và lưới kéo trung tầng đánh giá nguồn lợi các loài cá này đã được thực hiện, tuy nhiên có rất nhiều hạn chế trong việc triển khai thực hiện đặc biệt là phân tích tín hiệu tích phân âm do các loài cá ở biển nhiệt đới không phân bố tập trung thành các đàn lớn mà phân bố rải rác thành các đàn cá nhỏ, phạm vi phân bố rộng và một số loài cá thường có xu hướng hợp đàn cùng nhau. Trong trường hợp này, việc phân tách năng lượng âm phản hồi cho từng loài cá rất khó thực hiện. Phương pháp thủy âm đa tần số với tiếp cận bằng phân tích đáp tuyến tần số là phương pháp hỗ trợ cho việc phân tích dữ liệu tích phân âm dựa trên những đặc trưng phản hồi âm của các loài cá ở các tần số khác nhau. Phân tích đáp tuyến tần

số được xem là phương pháp tối ưu (Korneliussen et al., 2003; Anon 2005; Johnsen et al., 2009) để xác định tín hiệu thủy âm của các loài cá giúp giảm thiểu sai số khi phân tích và đánh giá trữ lượng nguồn lợi.

Với nguồn số liệu thủy âm đa tần số thu thập được qua thí nghiệm xác định cường độ âm phản hồi của một số loài cá nổi nhỏ ở biển Việt Nam năm 2005, đặc trưng phản hồi âm theo tần số của các loài cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân sẽ được phân tích tạo cơ sở khoa học cho việc phân tích số liệu thủy âm, đánh giá trữ lượng nguồn lợi cá biển.

2. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tài liệu

Tài liệu nghiên cứu được thu thập qua thí nghiệm đo hệ số phản hồi âm của cá bị nhốt trong lồng do đề tài “Nghiên cứu trữ lượng và khả năng khai thác các loài cá nổi nhỏ chủ yếu là cá Nục, cá Trích, cá Bạc má ở biển Việt Nam” thực hiện năm 2005 ở đảo Cát Bà (Hải Phòng). Đối tượng được lựa chọn làm thí nghiệm là các loài: cá Nục (*Decapterus maruadsi*), cá Ngân (*Atule mate*) và cá Bạc má (*Rastrelliger kanagurta*).

2.2. Phương pháp

2.2.1. Bố trí thí nghiệm

+ Trang thiết bị và mẫu thí nghiệm:

Thí nghiệm được thực hiện trên bè nổi đặt tại cửa Tùng Gấu, Cát Bà. Bè thí nghiệm được thiết kế gồm các bộ phận chính là: lồng lưu giữ cá sống, lồng thí nghiệm, phòng đặt thiết bị thủy âm và các phòng chức năng khác (mô phỏng ở hình 1). Độ sâu nơi đặt lồng thí nghiệm là 12 m

Lồng thí nghiệm có kích thước 4x4x10m được làm bằng các khung sắt vuông, xung quanh được bao bọc bằng lưới sợi đơn, kích thước mắt lưới 2a=10 mm, tạo vách ngăn giữa khu vực thí nghiệm với môi trường bên ngoài. Đáy lồng được lắp 8 ròng rọc cho phép kéo lồng thí nghiệm lên và thả xuống sau mỗi lần thí nghiệm.

Lồng lưu giữ cá được thiết kế với kích thước 1,5x2x2m, làm bằng lưới nylon sợi đơn, kích thước mắt lưới 2a=10 mm. Các lồng giữ cá được sử dụng để lưu giữ cá sống phục vụ các thí nghiệm.

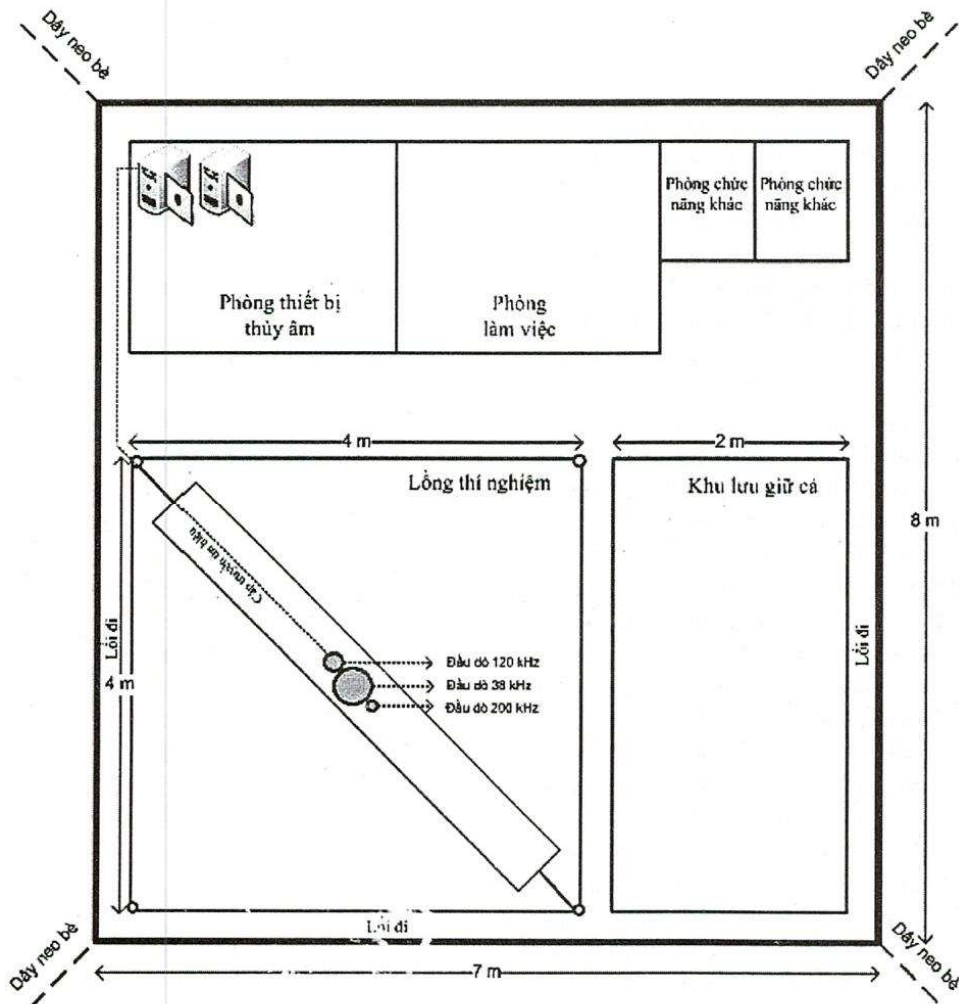
Mẫu cá sống được thu thập trên các tàu đánh lưới vây hoặc vó mảnh ở các ngư trường xung quanh khu vực Cát Bà. Cá đánh bắt được giữ sống và vận chuyển về lồng lưu giữ tại bè thí nghiệm.

Hệ thống máy thủy âm đa tần SIMRAD EK60 gồm các đầu dò tần số 38, 120 và 200 kHz được sử dụng để thực hiện các thí nghiệm. Các đầu dò thủy âm được lắp đặt trên giá đỡ và thả nổi trên mặt ở vị trí trung tâm của lồng thí nghiệm. Các đầu dò được nối với hệ thống thu nhận và chuyển đổi tín hiệu bằng cáp quang, ở đó tín hiệu được khuếch đại và truyền về máy tính qua hệ thống mạng LAN. Trước khi tiến hành thí nghiệm, thiết bị thủy âm được hiệu chỉnh theo hướng dẫn của Foote et al. (1987) nhằm giảm thiểu sai số do sự trôi dạt tín hiệu và đảm bảo cho máy dò thủy âm hoạt động ổn định. Các tham số cài đặt cho máy thủy âm và

kết quả hiệu chỉnh thiết bị được trình bày ở bảng 1.

+ Tiến hành thí nghiệm:

Cá sau khi bị bắt được vận chuyển về nuôi nhốt trong lồng lưu giữ tại bè thí nghiệm, tại đây cá được lưu giữ khoảng 1-2 ngày để hồi phục trở lại trạng thái bình thường sau khi bị bắt và vận chuyển từ ngư trường về lồng lưu giữ. Khi tiến hành thí nghiệm, cá được chuyển từ lồng lưu giữ sang lồng thí nghiệm. Thí nghiệm được thực hiện trong khoảng 2-3 giờ. Mỗi lần thí nghiệm được thực hiện với số lượng cá từ 5-20 cá thể. Kết thúc thí nghiệm, lồng thí nghiệm được kéo lên và toàn bộ số cá dùng trong thí nghiệm được phân tích sinh học, gồm đo chiều dài, cân khối lượng, xác định độ chín muối tuyến sinh dục và một số tham số sinh học khác.



Hình 1. Mô phỏng bè thí nghiệm xác định cường độ âm phản hồi của cá [1]

Bảng 1. Các thông số cài đặt và hiệu chỉnh thiết bị trong thí nghiệm xác định cường độ âm phản hồi của cá nục, cá bạc má và cá ngán ở Cát Bà, tháng 7/2005

Thông số		Giá trị		
Tần số	Frequency (kHz)	38	120	200
Hệ số hấp thụ	Absorption coefficient (dB/km)	5,82	43,41	
Khoảng xung	Pulse duration (ms)	1,024	1,024	1,024
Công suất	Power (w)	1000	250	120
Hệ số phản hồi âm chuyên đổi	TS transducer gain (dB)	-	-25,33	-
		21,47		25,32
Hệ số hiệu chỉnh diện tích âm phản hồi	sA Correction (dB)	-0,61	-0,38	-0,23
Góc phát – thu tín hiệu	Two-way beam angle (dB)	-15,5	-20,8	-20,7
Độ nhạy của đầu dò theo chiều dọc	Angle sensitivity alongships (o)	-12,5	-21,0	-23,0
Độ nhạy của đầu dò theo chiều ngang	Angle sensitivity athwartships (o)	-12,5	-21,0	-23,0
Góc nhận tín hiệu chuẩn theo chiều dọc	Angle offset alongships (o)	0,28	-0,1	0,0
Góc nhận tín hiệu chuẩn theo chiều ngang	Angle Offset athwartships (o)	-0,05	-0,05	0,01
Độ rộng góc quét theo chiều dọc	3 dB Beamwidth alongships (o)	11,83	7,04	6,65
Độ rộng góc quét theo chiều ngang	3 dB Beamwidth athwartships (o)	11,91	7,1	6,7
Băng thông	Bandwidth (kHz)	2,43	3,03	3,09
Quả cầu hiệu chỉnh	Calibration sphere	Cu-60	WC-38,1	WC-38,1

2.2.2. Phương pháp phân tích số liệu

+ Đặc tính âm phản hồi theo tần số

Đặc tính phản hồi âm của loài sinh vật đối với các tần số khác nhau được mô tả thông qua đại lượng đáp tuyến tần số. Đây là đại lượng vật lý biểu thị mối tương quan giữa tiết diện âm phản hồi tại một tần số bất kỳ so với tổng tiết diện âm phản hồi của tất cả các tần số sử dụng (Anon 2006). Đáp tuyến tần số đặc trưng cho loài (Martin et al., 1996; Korneliussen & Ona, 2003). Trong cùng một loài, đáp tuyến tần số biến thiên theo các tần số sóng âm.

Khi phân tích tín hiệu thủy âm đa tần số, các tín hiệu phản hồi của cá được phóng đại tới độ phân giải cao nhất bằng phần mềm chuyên dụng Large Scale Survey System, LSSS (Korneliussen et al, 2006), sau đó đánh dấu khoanh vùng và cô lập với các tín hiệu khác. Tín hiệu được đánh dấu theo từng chuỗi âm phản hồi (echotrace) từ điểm bắt đầu gặp tín hiệu tới khi kết thúc chuỗi tín hiệu. Quá trình phân tích cô lập tín hiệu được thực hiện ở tần số cao nhất (200 kHz) sau đó chồng lớp sang các tần số thấp hơn (120 kHz và 38 kHz) để đảm bảo tín hiệu âm phản hồi khi đã trích rút được ghi lại ở tất cả các tần số. Các thông số cơ bản khi trích rút từ các bản ghi tích phân âm gồm: chuỗi tín hiệu âm phản hồi (echotrace), tiết diện âm phản hồi của từng tín hiệu trong chuỗi âm tín hiệu, độ sâu bắt gặp tín hiệu, thứ tự của tín hiệu trong chuỗi tín hiệu và thời gian ghi được tín hiệu. Các thông số này được trích

rút riêng rẽ cho các tần số khác nhau và được lưu dưới dạng dữ liệu trao đổi. Đáp tuyến tần số trung bình cho loài được tính từ các chuỗi tín hiệu âm phản hồi theo công thức (Korneliussen & Ona, 2003):

$$r(f) = \frac{\sigma_i(f)}{\sum_{i=1}^{n=3} \sigma_i(f)} \quad (1)$$

Trong đó $r(f)$ là đáp tuyến tần số, $\sigma_i(f)$ là tiết diện âm phản hồi của loài ở tần số f .

+ Phân tách tín hiệu âm phản hồi của các loài cá

Đáp tuyến tần số đặc trưng cho loài và được sử dụng để phân biệt tín hiệu âm phản hồi của các loài cá (Reid, 2000; Korneliussen & Ona, 2003; Johnsen et al., 2009). Phương pháp phân tích hàm biệt thức (Discriminant Function Analysis, DFA) là phương pháp phân tích đa biến được sử dụng để xác định tham số chính dùng để phân tách giữa các nhóm đối tượng trong một tổng thể (Klecka, 1980). Ở đây, nhóm đối tượng là các loài cá, đáp tuyến tần số của các loài cá ở các tần số 38 kHz (r_{38}), 120 kHz (r_{120}), 200 kHz (r_{200}) và tiết diện âm phản hồi của cá ở tần số 38 kHz (σ_{38}) là các biến độc lập. Hàm biệt thức có dạng (Klecka, 1980):

$$L = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_ix_i + b_nx_n + c \quad (2)$$

Trong đó b_i là các hệ số phân tách giữa các loài và x_i là các biến dùng để phân tách và c là hằng số.

Đáp tuyến tần số khi đưa vào phân tích hàm biệt thức được chuẩn hóa bằng cách logarit cơ số 10 (Johnsen, 2009). Phân tích hàm biệt thức gồm 2 bước chính là kiểm định mức ý nghĩa của mô hình và phân nhóm các biến độc lập (Klecka, 1980). Bước 1 được thực hiện dựa trên phân bố Fisher kiểm tra mức độ đồng nhất của biến số theo giá trị Wilks lambda. Bước 2 được thực hiện khi kết quả kiểm định ở bước 1 có ý nghĩa thống kê, từ đó các nhóm biến số sẽ được phân lập dựa trên khoảng cách Mahalanobis. Phương trình biệt thức sử dụng để phân tách tín hiệu giữa các loài được xác định khi các bước phân tích 1 và 2 có ý nghĩa thống kê, từ đó các tham số cơ bản sử dụng để phân tách tín hiệu thủy âm của đàn cá theo phương pháp đa tần số sẽ được xác định.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đặc tính phản hồi âm

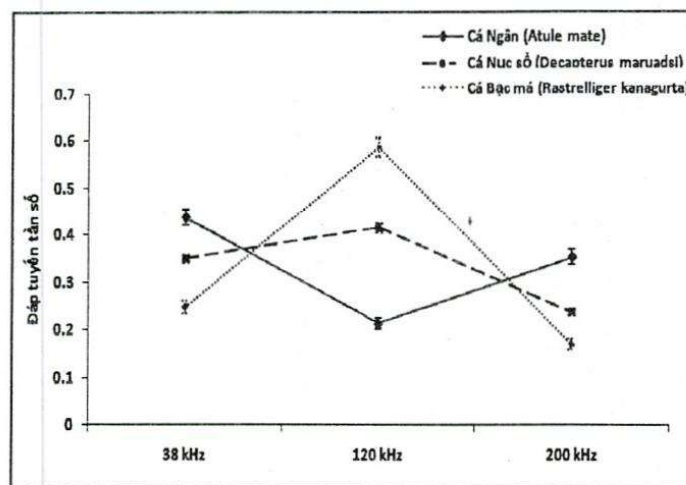
Đặc tính phản hồi âm của cá ở các tần số sóng âm khác nhau được mô tả thông qua đại lượng đáp tuyến tần số. Đáp tuyến tần số trung bình của cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân được trình bày ở hình 2 và phụ lục 1. Kết quả phân

tích cho thấy đáp tuyến tần số biến động rất lớn trong cùng một loài và khác nhau giữa các loài.

Đối với cá Nục và cá Bạc má, đáp tuyến tần số cao nhất ở tần số 120 kHz, thấp hơn ở tần số 38 kHz và thấp nhất ở tần số 200 kHz. Biên độ dao động đáp tuyến tần số của cá Nục thấp hơn so với của cá Bạc má thể hiện ở đáp tuyến tần số ở 120 kHz của cá Bạc má cao hơn so với của cá Nục. Tuy nhiên đáp tuyến tần số ở 38 kHz và 200 kHz của cá Bạc má thấp hơn so với của cá Ngân.

Đáp tuyến tần số của cá Ngân biến đổi theo chiều nghịch, giảm với biên độ lớn từ tần số 38 kHz đến tần số 120 kHz sau đó tăng dần. Đáp tuyến tần số trung bình của cá Ngân ở tần số 38 kHz và 200 kHz cao hơn so với của cá Nục và cá Bạc má. Đáp tuyến tần số trung bình của cá Ngân ở tần số 120 kHz thấp nhất.

So sánh đáp tuyến tần số trung bình của các loài cá ở tần số bất kỳ cho thấy sự khác nhau có ý nghĩa với độ tin cậy 95% (Post Hoc Tukey Test, $p < 0,005$). Ở cùng một loài, đáp tuyến tần số ở các tần số khác nhau thì khác nhau (Post Hoc Tukey Test, $p < 0,005$). Như vậy có thể nói đáp tuyến tần số là đại lượng đặc trưng cho loài. Các loài cá khác nhau có đáp tuyến tần số khác nhau do đó có thể sử dụng đáp tuyến tần số để phân biệt các loài cá trong bản ghi tích phân âm.



Hình 2. Đáp tuyến tần số trung bình \pm sai số chuẩn của cá Nục sỏ, cá Bạc má và cá Ngân theo các tần số khác nhau

3.2. Phân tách tín hiệu âm phản hồi của các loài cá

Tổng số 512 tín hiệu âm phản hồi thu được trong quá trình phân tích các bản ghi tích phân

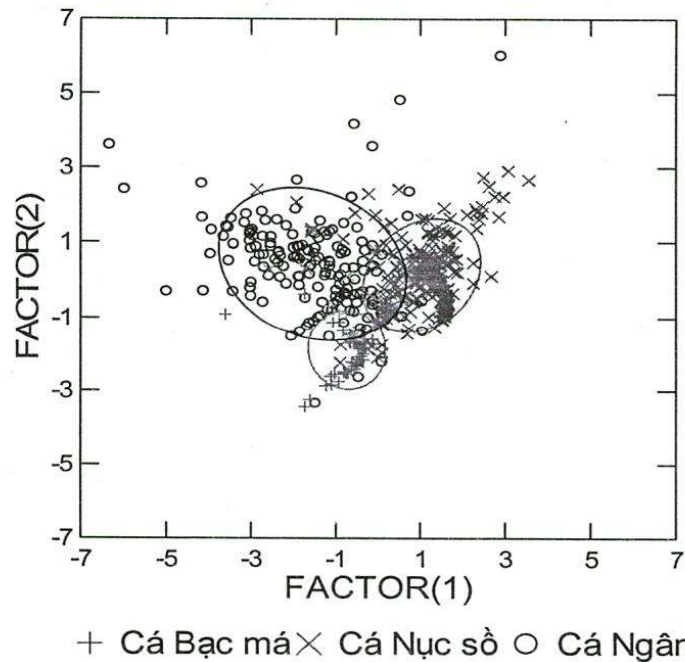
âm, trong đó 168 chuỗi tín hiệu của cá Ngân, 291 của cá Nục và 53 của cá Bạc má (Bảng 2). Kích thước trung bình (chiều dài đến chẽ vây đuôi) của cá Nục sử dụng trong thí nghiệm là

10,4 cm; cá Ngân là 9,1 cm và cá Bạc má là 11,0 cm. Sử dụng phương pháp phân tích phương trình biệt thức, các tín hiệu của các loài cá khác nhau đã được phân tách thành công. Tính trung bình, 87% số chuỗi tín hiệu âm đã được phân biệt chính xác (Bảng 2), trong đó chuỗi tín hiệu âm của cá Nục được phân tách thành công nhất với tỉ lệ chính xác đạt 93%,

tiếp theo là cá Bạc má (85% chính xác). Chuỗi tín hiệu âm phản hồi của cá Ngân thường bị lẫn với các chuỗi tín hiệu của cá Nục. Trong số 168 chuỗi tín hiệu của cá Ngân thì có 31 chuỗi tín hiệu bị lẫn với cá Nục và 7 chuỗi tín hiệu bị lẫn với cá Bạc má. Tỉ lệ phân biệt chính xác của cá Ngân với cá Nục và cá Bạc má trong mô hình là 77% (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả phân tách các tín hiệu (Echotraces) của cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân bằng phương pháp phân tích phương trình biệt thức

	Cá Ngân	Cá Nục	Cá Bạc má	Tỉ lệ phân tách chính xác (%)	Tổng số echotrace
Cá Ngân	130	31	7	77	168
Cá Nục	9	271	11	93	291
Cá Bạc má	7	1	45	85	53
Chung	146	303	63	87	512



Hình 3. Đồ thị phân bố các điểm chính tắc (canonical scores) của cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân xác định bằng phương pháp phân tích phương trình biệt thức (Discriminant Function Analysis). Các tọa độ điểm trung tâm là: cá Nục (1,03; 0,11), cá Ngân (-1,55; 0,41) và cá Bạc má (-0,73; -1,89).

Kết quả kiểm định thống kê theo phân bố Fisher cho thấy các tín hiệu được phân tách bằng phương pháp phân tích phương trình biệt thức có ý nghĩa thống kê ($F = 110,4; p < 0,0001$). Giá trị Wilks's Lambda = 0,28 chứng tỏ sự phân bố của các điểm chính tắc khá đồng nhất so với điểm trung tâm (Wilks's Lambda dao động từ 0 đến 1, Wilks's Lambda càng nhỏ độ chụm càng cao). Mô hình phân tích phương

trình biệt thức cũng cho thấy tất cả các biến độc lập (σ_{38} , R38, R120 và R200) đều đóng vai trò quan trọng trong việc phân tách các tín hiệu, trong đó σ_{38} và R120 là các biến quan trọng nhất sử dụng để phân tách giữa các loài cá Ngân, cá Nục và cá Bạc má.

Hình 3 mô tả phân bố các điểm chính tắc xác định bằng phương pháp phân tích phương

trình biệt thức đối với cá Nục sò, cá Ngân và cá Bạc má, các tọa độ trung tâm tương ứng là (1,03; 0,11), (-1,55; 0,41) và (-0,73; -1,89. Kết quả phân tích thống kê cũng cho thấy khoảng cách trung tâm của cá Ngân và cá Bạc má gần nhất ($F=59,3$) tiếp đến là cá Nục và cá Bạc má ($F=78,9$) và cuối cùng là cá Ngân và cá Nục ($F=177,8$). Như vậy, các điểm chính tắc quan sát được của các loài phân bố xen kẽ nhau tại một số vị trí chính là những điểm gây nhầm lẫn khi phân biệt tín hiệu âm phản hồi của các loài.

4. THẢO LUẬN

Khi máy thủy âm hoạt động, tất cả các sinh vật phân bố trong khối nước, gồm cá và các sinh vật ngoài cá sẽ được ghi lại dưới dạng các bản ghi tích phân âm, bao gồm vị trí của tín hiệu đàn, độ lớn của đàn, hình dạng đàn và tiết diện âm phản hồi của đàn (Reid, 2000). Khả năng phản hồi âm của cá đặc trưng cho loài, trong cùng một loài khả năng phản hồi âm của cá phụ thuộc vào tần số (Simmonds & MacLennan, 2005). Cá có bóng bơi có khả năng phản hồi âm tốt hơn so với cá không có bóng bơi và các sinh vật khác như động thực vật phù du hoặc các vật thể trôi lơ lửng trong nước (Foote, 1980). Việc phân tích các bản ghi tích phân âm đòi hỏi người phân tích phải có những kiến thức cơ bản về đặc trưng phản hồi âm của cá cũng như thành phần loài cá ở vùng biển nghiên cứu. Đối với các loài cá có tập tính hợp đàn đơn loài, việc phân tích, cô lập tín hiệu cho đàn cá được thực hiện dễ dàng hơn. Ngược lại, khi các loài cá phân bố cùng nhau tạo thành đàn cá đa loài thì việc phân tích, xác định tín hiệu âm phản hồi cho từng loài trở nên phức tạp và trong nhiều trường hợp không thể thực hiện được.

Sử dụng lưới kéo đáy hoặc lưới kéo trung tầng để kiểm tra tín hiệu được ghi lại dưới dạng tích phân âm là phương pháp phân tích truyền thống (Gunderson, 1993; Simmonds & MacLennan, 2005), tuy nhiên phương pháp này cũng tồn tại những hạn chế nhất định do tính chọn lọc của ngư cụ (Engås & Godø, 1989; Engås & Soldal, 1992) và tập tính tránh vật dử của cá (Aglen, 1994). Những năm gần đây, phương pháp thủy âm đa tần số được áp dụng để phân tích hình ảnh tích phân âm, tiếp cận bằng phương pháp so sánh đáp tuyến tần số của các loài cho phép xác định tương đối chính xác tín hiệu của từng loài hoặc nhóm loài (Horne,

2000; Korneliussen & Ona, 2002; Korneliussen & Ona 2003), tuy nhiên việc kết hợp đánh lưới kiểm tra tín hiệu là không thể thiếu.

Trong nghiên cứu này, đáp tuyến tần số được xác định từ tiết diện âm phản hồi (σ_{bs} , (MacLennan et al., 2002)) ở các tần số 38 kHz, 120 kHz và 200 kHz cho từng chuỗi tín hiệu được ghi lại. Phương pháp này được áp dụng trong phân tích tín hiệu âm phản hồi của các tín hiệu đơn lẻ bằng các thí nghiệm cô lập đối tượng nghiên cứu (phương pháp *ex situ*). Đó là phương pháp xác định đáp tuyến tần số thực nghiệm (Anon 2005) cho phép xác định chính xác đáp tuyến tần số của loài. Một tiếp cận khác trong nghiên cứu xác định đáp tuyến tần số của cá là sử dụng diện tích âm phản hồi (s_A , (MacLennan et al., 2002)) của đàn cá thu được trong quá trình điều tra (phương pháp *in situ*). Phương pháp này dễ bị sai số hệ thống do việc phân tách tín hiệu đàn cá có thể tồn tại những tín hiệu nhiễu của những đối tượng khác.

Cá Nục, cá Ngân và cá Bạc má là những loài cá có tập tính tụ đàn, phân bố chủ yếu ở vùng biển ven bờ, mật độ phân bố cao ở tầng mặt (Fischer & Whitehead, 1974; Collette & Nauen, 1983; Carpentier & Niem, 1999). Quan sát tập tính phân bố của cá trong quá trình thí nghiệm cho thấy, cả ba loài cá trên đều phân bố tập trung ở tầng nước 3-4m cách mặt, rất ít khi cá bơi xuống sâu hơn. Trong khi đó, ở môi trường tự nhiên, các loài cá này phân bố chủ yếu ở độ sâu 40-50m nước, thậm chí trên 100m nước (Fischer & Whitehead, 1974; Collette & Nauen, B. B. Collette & C. E. Nauen 1983; Carpenter & Niem, 1999). Như vậy có thể do điều kiện bị nuôi nhốt trong lồng, tập tính tự nhiên của cá đã bị ảnh hưởng. Mặt khác, kích thước cá sử dụng trong thí nghiệm khá nhỏ (cá Nục sò: 10,4 cm; cá Ngân: 9,1 cm và cá Bạc má: 11,0 cm) so với kích thước của cá trong quần đàn khai thác ở biển Việt Nam (N. V. Nghĩa 2007), như vậy có thể tập tính phân bố của các loài cá ở giai đoạn còn non có sự khác biệt nhất định so với cá trưởng thành.

Cá Nục sò, cá Ngân và cá Bạc má là những loài cá có bóng bơi hờ, thể tích bóng bơi thay đổi phụ thuộc vào độ sâu phân bố của cá. Trong quá trình thí nghiệm cá chỉ phân bố tập trung ở độ sâu 3-4m nước, làm cho cường độ phản hồi âm có thể cao hơn so với thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện tự nhiên do hệ số phản hồi âm của các loài cá có bóng bơi hờ

phụ thuộc vào độ sâu. Cường độ phản hồi âm của cá còn phụ thuộc vào góc bơi của cá (Nakken & Olsen, 1977). Ban ngày cá thường tập trung thành đàn và bơi theo phương nằm ngang, ngược lại khi đêm xuống cá có xu hướng phân bố phân tán và bơi theo phương xiên. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh cường độ phản hồi âm của cá cao nhất khi cá bơi theo phương nằm ngang (Love, 1971; Love, 1977; Nakken & Olsen, 1977). Foote đã chứng minh rằng cường độ âm phản hồi của cá đo được đối với các thí nghiệm ban ngày cao hơn 2-3 dB so với kết quả thí nghiệm vào ban đêm (Foote, 1987). Trong nghiên cứu này, toàn bộ thí nghiệm xác định cường độ âm phản hồi của cá Nục sò, cá Bạc má và cá Ngân đều được thực hiện vào ban ngày, cường độ phản hồi âm của cá thu được có thể tồn tại những sai số nhất định. Tuy nhiên tham số sử dụng để phân tách tín hiệu âm phản hồi của các loài là đáp tuyến tần số, do đó việc cường độ âm phản hồi âm cao hay thấp cũng ít ảnh hưởng đến đáp tuyến tần số.

Trong nghiên cứu nguồn lợi bằng phương pháp thủy âm, tần số 38 kHz được lựa chọn để đánh giá trữ lượng do ở tần số này tín hiệu nhiều thấp nhất so với các tần số cao hơn hoặc thấp hơn (Gunderson, 1993). Sử dụng đáp tuyến tần số cùng với tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz trong phương pháp phân tích phương trình biệt thức sẽ tăng độ chính xác của kết quả phân tách tín hiệu (Anon 2005; Gorska et al., N. Gorska et al. 2007; Johnsen et al., 2009). Ở đây, các biến độc lập gồm R38, R120, R200 và σ_{38} được sử dụng trong phương trình phân tích biệt thức đã phân tách thành công tín hiệu của các loài với độ chính xác 87%. Trong đó tín hiệu của cá Nục được phân tách với độ chính xác cao nhất, đạt 93%. Các loài cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân có kích thước trung bình tương đương nhau, hình dạng cũng tương đối giống nhau, cùng có bóng bơi hờ và phân bố chủ yếu ở tầng mặt (Fischer & Whitehead, 1974; Collette & Nauen, 1983; Carpenter & Niem, 1999). Do đó khi phân biệt tín hiệu của từng loài có thể tồn tại những sai số nhất định trong khoảng cho phép. Horn (Horne, 2000)

cho rằng việc áp dụng phương pháp phân tích phương trình biệt thức cho phép phân biệt tín hiệu của các loài hoặc nhóm loài cá biển với độ chính xác dao động trong khoảng 41-96%. Đáp tuyến tần số ở 38 kHz và 120 kHz cùng với tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz là những biến độc lập quan trọng nhất được sử dụng trong mô hình phân tách giữa cá Nục sò, cá Bạc má và cá Ngân phù hợp với lý thuyết do sai số hệ thống ở tần số 38 kHz là thấp nhất.

Đáp tuyến tần số được ứng dụng để xác định tín hiệu âm phản hồi của các loài cá biển từ năm 2001 (Anon 2005) và đã được sử dụng để phân biệt tín hiệu âm phản hồi của rất nhiều đối tượng, bao gồm cá nỏ, cá đáy, cá có bóng bơi và cá không có bóng bơi (Gorska et al., 2005; McKelvey & Christopher, 2006; Gorska et al., 2007; Vu, 2008), thậm chí còn được áp dụng để xác định tín hiệu âm phản hồi của loài cá Chình cát (Johnsen et al., 2009) theo các nhóm tuổi với độ chính xác dao động trong khoảng 74-93%. Kết quả nghiên cứu đặc tính âm phản hồi theo tần số của cá Nục sò, cá Ngân và cá Bạc má cho thấy việc ứng dụng đáp tuyến tần số để phân biệt tín hiệu âm phản hồi của các loài cá hoàn toàn có thể thực hiện được ở Việt Nam.

5. KẾT LUẬN

Đặc trưng phản hồi âm của cá Nục, cá Bạc má và cá Ngân khác nhau (Post Hoc Tukey test, $p < 0,001$) và phụ thuộc vào tần số sóng âm do đó có thể sử dụng đặc trưng phản hồi âm theo tần số để phân biệt tín hiệu của các loài cá.

Áp dụng phương pháp phân tích phương trình biệt thức sử dụng đáp tuyến tần số R38, R120, R200 và tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz là các biến độc lập cho phép phân biệt tín hiệu âm phản hồi của các loài cá với độ chính xác trung bình đạt 87%.

Đáp tuyến tần số ở 38 kHz, 120 kHz và tiết diện âm phản hồi ở tần số 38 kHz là các biến độc lập đóng vai trò chủ đạo trong việc phân biệt tín hiệu âm phản hồi của cá Nục sò, cá Bạc má và cá Ngân.

ACOUSTIC PROPERTIES OF INDIAN MACKEREL (*RASTRELLIGER KANAGURTA*), YELLOWTAIL SCAD (*ATULE MATE*) AND JAPANESE SCAD (*DECAPTERUS MARUADSI*) BASED ON FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS

Vu Viet Ha

Research Institute for Marine Fisheries, Hai Phong

ABSTRACT: Multi-frequency acoustic data collected during *ex situ* target strength measurements in Catba Island, Vietnam was used to calculate frequency response for Japanese scad, Indian mackerel and Yellowtail scad. Total of 168 echotraces of Yellowtail scad, 291 of Japanese scad and 53 of Indian mackerel were generated for frequency response analysis. Results indicated significantly different in $r(f)$ of three species (Post Hoc Tukey Test, $p < 0,001$). A discriminant function analysis used frequency response at 38, 120 and 200 kHz and backscattering cross section at 38 kHz as independent variable was able to differentiate between species. Approximately of 87% echotraces of these species was classified correctly. Frequency responses at 38 kHz, 120 kHz and backscattering cross section at 38 kHz were the most important independent variables. This study revealed that Japanese scad, Yellowtail scad and Indian mackerel could be identified acoustically; a finding may be important for acoustic surveys for small pelagic fish in Vietnam.

Keywords: acoustic properties, echotrace, frequency response, discriminant function analysis.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Việt Nghĩa. Báo cáo tổng kết đề tài "Nghiên cứu trữ lượng và khả năng khai thác các loài cá nổi nhỏ chủ yếu là cá Nục, cá Trích, cá Bạc má ở biển Việt Nam". Hải Phòng, Viện Nghiên cứu Hải sản.(2007).
- [2]. Aglen A. Sources of Error in Acoustic Estimation of Fish Abundance. in Fernö, A. and S. Olsen (eds.). Marine Fish Behaviour in Capture and Abundance Estimation, Fishing News Books, Oxford: 107-133,(1994).
- [3]. Anon, Species Identification Methods From Acoustic Multi-frequency Information. Final Report of SAFAMI Project funded by European Commission's; Fifth Framework Programme and Quality of Life and Management of Living Resources Programme. (2005).
- [4]. Anon, Species identification methods from acoustic multi-frequency information (SAFAMI). Final Report EU contract Q5RS-2001-02054. 486 pages.(2006).
- [5]. Carpenter K. E. & Niem V. H., Eds. *FAO species identification guide for fisheries purpose*. The living marine resources of the Western Central Pacific. Bony fish part 2 (Mugilidae to Carangidae). Volume 4. ROME, FAO.(1999).
- [6]. Collette B. B. & Nauen C. E. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. Rome, FAO Fisheries Synopsis.(1983).
- [7]. Engås A. & Godø O. R. Escape of fish under the fishing line of a Norwegian sampling trawl and its influence on survey results. J. Con. Int. Explor. Mer 45(269-276).(1989).
- [8]. Engås A. & Soldal A. V. Diurnal variation in bottom trawl catch rate of cod and haddock and their influence on abundance indices. ICES Journal of Marine Science 49: 89-95.(1992).
- [9]. Fernandes G. P. & Stewart M. Determining the quality of a multifrequency acoustic identification algorithm. ICES CM2004: R:11, 11 pp. (2004).
- [10]. Fischer W. & Whitehead P. J. P., Eds. *FAO species identification sheets for fisheries purpose*. Eastern Indian Ocean (fishing area 57) and Western Central Pacific (fishing area 71). Volume 1. ROME, FAO.(1974).

- [11].Foote K. G. *Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths.* The Journal of the Acoustical Society of America 67(6): 2084-2089.(1980).
- [12].Foote K. G. *Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems.* Journal of Acoustical Society of America 73(6): 1932-1940.(1983).
- [13].Foote K. G. *Fish target strengths for use in echo integrator surveys.* Journal of the Acoustical Society of America 82(3): 981-987.(1987).
- [14].Foote K. G., Knudsen K. P., Vestnes G., MacLennan D. N. & Simmonds E. J. *Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide.* ICES Cooperation Research Report 144(-): 69 pp.(1987).
- [15].Gorska N., Korneliussen R. J. & Ona E. *Acoustic backscatter by schools of adult Atlantic mackerel.* ICES Journal of Marine Science 64(6): 1145-1151.(2007).
- [16].Gorska N., Ona E. & Korneliussen R. *Acoustic backscattering by Atlantic mackerel as being representative of fish that lack a swimbladder. Backscattering by individual fish.* ICES Journal of Marine Science 62(5): 984-995.(2005).
- [17].Gunderson D. R. *Survey of Fisheries Resources.* New York, John Wiley and Sons, Inc.(1993).
- [18].Horne J. K. *Acoustic approaches to remote species identification: a review.* Fisheries oceanography 9(4): 356-371. (2000).
- [19].Jech J. M. & Michaels W. *LA multifrequency method to classify and evaluate fisheries acoustics data.* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63: 2225-2235. (2006).
- [20].Jennings S., Kaiser S. J. & Reynolds J. D. *Marine Fisheries Ecology.* Oxford, England, Blackwell Publishing. (2001).
- [21].Johnsen E., Pedersen R. & Ona E. *Size-dependent frequency response of sandeel schools.* ICES J. Mar. Sci. 66(6): 1100-1105. (2009).
- [22].Klecka W. R. *Discriminant Analysis,* Sage Public Inc.(1980).
- [23].Kloser R. J., Ryan T., Sakov P., Williams A. & Koslow J. A. *Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies.* Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 1065-1077.(2002).
- [24].Korneliussen R. J., E. O., Eliassen I. K., Heggenlund Y., Patel R., Godø O. R., Giertsen C., Patel D., Nornes E. H., Bekkvik T., Knudsen K. P. & Lien G. *The Large Scale Survey System - LSSS, a new post processing system for multi frequency echo sounder data.* ICES WGFASST Report 2006. (2006).
- [25].Korneliussen R. J. & Ona E. *An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data.* ICES Journal of Marine Science 59(2): 293-313. (2002).
- [26].Korneliussen R. J. & Ona E. *Synthetic echograms generated from the relative frequency response.* ICES Journal of Marine Science 60(3): 636-640.(2003).
- [27].Korneliussen R. J. & Ona E. *Verified acoustic identification of Atlantic mackerel.* ICES CM2004. R:20: 14pp. (2004).
- [28].Love R. H. *Dorsal-Aspect Target Strength of an Individual Fish.* The Journal of the Acoustical Society of America 49(3B): 816-823.(1971).
- [29].Love R. H. *Target strength of an individual fish at any aspect.* The Journal of the Acoustical Society of America 62(6): 1397-1403.(1977).
- [30].MacLennan D. N., Fernandes P. G. & Dalen J. *A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics.* ICES Journal of Marine Science 59(2): 365-369.(2002).
- [31].Martin L. V., Stanton T. K., Wiebe P. H. & Lynch J. F. *Acoustic classification of zooplankton.* ICES Journal of Marine Science 53(2): 217-224. (1996).
- [32].McKelvey D., R. & Christopher D. W. *Discriminant Classification of Fish and Zooplankton Backscattering at 38 and 120 kHz.* Transactions of the American Fisheries Society 135: 488-499.(2006).

- [33]. Nakken O. & Olsen K. *Target strength measurements of fish*. Rappports et Procés-Verbaux Réunion Conseil international de l'Exploration de la Mer 170: 52-69. (1977).
- [34]. Pieper R. E., Holliday D. V. & Kleppel G. S. *Quantitative zooplankton distributions from multifrequency acoustics*. Journal of Plankton Research 12: 433-441. (1990).
- [35]. Reid D. G. *Echo trace classification*. ICES Co-operative Research Report No 238: 115 - 482. (2000).
- [36]. Simmonds E. J. & MacLennan D. N. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*. Second edition. Oxford, England, Blackwell Publishing. (2005).
- [37]. Vu H. V. *Separating Blue whiting (Micromesistius poutassou Risso, 1826) from Myctophid target using multifrequency methods*. Department of Biology, University of Bergen, Norway. Master: 97 pages. (2008).

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Thống kê mô tả giá trị trung bình, sai tiêu chuẩn và khoảng tin cậy 95% của đáp tuyến tần số đối với cá Ngừ, cá Bạc má và cá Ngừ

Loài	Tần số	Trung bình	Sai số	-95%	+95%	N
Cá Ngừ	38 kHz	0.44	0.01	0.41	0.46	168
	120kHz	0.21	0.01	0.19	0.23	168
	200kHz	0.35	0.01	0.33	0.37	168
Cá Bạc má	38 kHz	0.25	0.02	0.21	0.29	53
	120kHz	0.59	0.02	0.55	0.62	53
	200kHz	0.17	0.02	0.13	0.21	53
Cá Ngừ	38 kHz	0.35	0.01	0.33	0.37	291
	120kHz	0.41	0.01	0.40	0.43	291
	200kHz	0.24	0.01	0.22	0.25	291

Phụ lục 2. Các giá trị của phương trình biệt thức sử dụng để phân tách giữa các loài cá

Biến độc lập	Cá Ngừ	Cá Ngừ sò	Cá Bạc má
σ_{38}	1032.8	16835.1	-3442.5
LOG_R38	-40.2	-40.5	-39.0
LOG_R120	-52.2	-36.3	-43.4
LOG_R200	-41.3	-32.7	-44.0
c	-41.4	-32.9	-38.1