

NGHIÊN CỨU MỐI TƯƠNG QUAN GIỮA MỨC ĐỘ LÊN CẠN VÀ ĐẶC ĐIỂM DI CHUYỂN BẰNG VÂY NGỰC CỦA NHÓM CÁ THỜI LÒI (HỌ PHỤ OXUDERCINEA)

Nguyễn Minh Tài¹, Nguyễn Văn Lâm², Trần Xuân Lợi^{1*}

¹Trường Thủy sản, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Sau Đại học, Trường Đại học Cần Thơ

*Tác giả liên hệ: txloi@ctu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15.01.2024

Ngày chấp nhận đăng: 12.04.2024

TÓM TẮT

Nhóm cá thời lòi mang đặc điểm lưỡng cư và thường được sử dụng để nghiên cứu sự tiến hóa lên cạn của động vật có xương sống. Nghiên cứu này nhằm xác định mối tương quan giữa mức độ lên cạn và đặc điểm di chuyển sử dụng vây ngực, cũng như các chỉ tiêu hình thái vây ngực ở 3 loài cá thời lòi và 1 loài cá bống. Tập tính di chuyển được quay phim, phân tích về đặc điểm, tần suất sử dụng vây ngực và mức độ lưỡng cư. Tỷ lệ mở của vây ngực và tỷ lệ khối cơ ngoài và khối cơ trong cũng được thu thập. Kết quả cho thấy mức độ lên cạn tăng dần ở 3 loài cá thời lòi: *Oxuderces nexipinnis*, *Scartelaos histophorus* và *Periophthalmodon septemradiatus*. Loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus* sử dụng vây ngực để trườn trong nước, trườn trên cạn và trườn giữa nước - trên cạn nhưng loài *O. nexipinnis* sử dụng vây ngực trườn trong nước là chủ yếu. Hai loài này đều sử dụng vây ngực để trượt trong nước (lần đầu tiên ghi nhận ở nhóm cá thời lòi). Ở loài *Pn. septemradiatus*, vây ngực chủ yếu để trườn trên cạn (57,73%) và giữ ẩm (30,08%). Tỷ lệ sử dụng vây ngực để trườn trên cạn cao hơn ở những loài có mức độ lên cạn cao hơn. Độ mở của vây ngực và tỷ lệ khối cơ ngoài và khối cơ trong có sự khác biệt và có mối tương quan với mức độ lên cạn ở 3 loài cá thời lòi.

Từ khóa: Tập tính lưỡng cư, môi trường sống, nhóm cá thời lòi.

Correlation between the Level of Amphibious Lifestyle and Moving Characteristics with the Pectoral During Water-to-Terrestrial Transition of Mudskippers (Oxudercinea subfamily)

ABSTRACT

Showing amphibious features, mudskippers have been used as model species to gain understanding of the water-to-land transition of vertebrates. This study aimed to elucidate the relationship between terrestrial degrees and the utilization of pectoral fin-based locomotion and their morphology as well. The locomotor behavior, the aspect ratio of the fin, and the muscle ratio of three mudskippers and one goby were investigated. Results show that terrestrialization gradually increased in mudskippers, from *Oxuderces nexipinnis* to *Scartelaos histophorus* and *Periophthalmodon septemradiatus*. *Oxuderces nexipinnis* and *S. histophorus* used the pectoral fins for crutching in aquatic, semi-aquatic, and terrestrial environments. They also employed the pectoral fins for waterskiing which is first reported for mudskippers in this study. In *Pn. septemradiatus*, the pectoral fins were mainly used for crutching on land (57.73%) and moistening (30.08%). The time proportion of crutching in terrestrial environment was high in species with higher terrestrialization. The aspect ratio of the pectoral fin and muscle ratio was correlated with terrestrial degrees.

Keywords: Locomotion, pectoral fins, terrestriality, mudskippers.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình tiến hóa lên cạn của động vật có xương sống, các đặc điểm sinh học như: di

chuyển, dinh dưỡng, sinh sản, hô hấp và các giác quan cũng thay đổi theo để thích nghi với điều kiện trên cạn (Clark, 2002). Quá trình thay đổi này được các nhà khoa học tìm hiểu qua các

Nghiên cứu mối tương quan giữa mức độ lên cạn và đặc điểm di chuyển bằng vây ngực của nhóm cá thòi lòi (họ phụ Oxudercinea)

hóa thạch. Tuy nhiên, bằng chứng từ các hóa thạch còn manh mún và không thể hiện được các khía cạnh về sinh học và tập tính (Clack, 2009). Do đó, các loài cá có tập tính lưỡng cư thường được sử dụng trong tìm hiểu về quá trình tiến hóa vì chúng có những điểm tương đồng về môi trường sống với các loài đã tiến hóa lên cạn.

Họ phụ cá thòi lòi (Oxudercinea) thuộc họ Gobiidae, phân bố ở các bãi bồi và rừng ngập mặn ven biển (Parenti & Jaafar, 2017). Chúng mang đặc điểm của các loài lưỡng cư như hô hấp qua da và hầu họng (Ishimatsu, 2017), mắt có thể chuyển động và nhìn rõ trên cạn (Kuciel & cs., 2017), giao tiếp bằng âm thanh (Polgar & cs., 2011), đẻ và ấp trứng trên không khí ở trong hang (Martin & Ishimatsu, 2017) và di chuyển linh hoạt trên cạn (Pace, 2017). Chúng bao gồm các loài có mức độ lưỡng cư khác nhau. Các loài thuộc giống *Parapocryptes*, *Oxuderces*, *Apocryptodon*, *Apocryptes*, *Pseudapocryptes* và *Zappa* có mức độ lên cạn thấp. Các loài thuộc giống *Boleophthalmus* và *Scartelaos* có mức độ lên cạn trung bình. Các loài thuộc giống *Periophthalmus* và *Periophthalmodon* có mức độ lên cạn cao. Do đó, nhóm cá thòi lòi thường được sử dụng trong các nghiên cứu về quá trình tiến hóa lên cạn của động vật có xương sống (Clayton, 1993).

Trong số các đặc điểm sinh học, việc di chuyển thành thực trên cạn giúp cá thòi lòi tìm thức ăn, tránh kẻ thù, sinh sản và tham gia các hoạt động khác trên cạn (Pace, 2017). Các bộ phận như đuôi, vây bụng và vây ngực là cơ quan chính giúp chúng di chuyển trên cạn. Tuy nhiên, việc nghiên cứu quá trình thay đổi của các bộ phận này ở các loài có mức độ lưỡng cư khác nhau còn hạn chế, đặc biệt là vây ngực. Bên cạnh đó, mức độ lên cạn của từng loài ít được định lượng cụ thể. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định: i) mức độ lên cạn, ii) sự thay đổi đặc điểm di chuyển bằng vây ngực của nhóm cá thòi lòi ở các mức độ lên cạn khác nhau thông qua nghiên cứu tập tính di chuyển của 3 loài: *Oxuderces nexipinnis*, *Scartelaos histophorus* và *Periophthalmodon septemradiatus*. Đặc điểm sử dụng vây ngực của

3 loài này cũng được so sánh với 1 loài cá bống không lên cạn (*Oxyeleotris urophthalmus*). Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng trong phát triển nuôi cảnh và hoạt động bảo tồn những loài này trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thời gian và địa điểm

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 08 đến tháng 12/2023 ở bãi bồi Mỏ Ó (9°26'19.7" N; 106°10'53.8" E) thuộc xã Trung Bình, huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng và sông Bình Thủy (10°2' 58.311" N; 105° 43' 25.5822" E) ở xã Long Xuyên, quận Bình Thủy, Thành phố Cần Thơ. Mẫu cá và hình ảnh video được phân tích ở Trường Thủy sản, Đại học Cần Thơ. Sông Bình Thủy là một nhánh của sông Hậu, chịu tác động của dòng chảy từ thượng nguồn sông Mê Kông (Nguyễn Trường Thành & cs., 2022) và là nơi phân bố của loài *Pn septemradiatus*. Bãi bồi Mỏ Ó nằm ở cửa sông Hậu chịu tác động bởi dòng chảy từ sông Mê Kông, chế độ thủy triều biển Đông và cả dòng chảy dọc bờ (Phạm Trọng Thịnh, 2010) và là nơi phân bố của 3 loài còn lại.

2.2. Đối tượng nghiên cứu

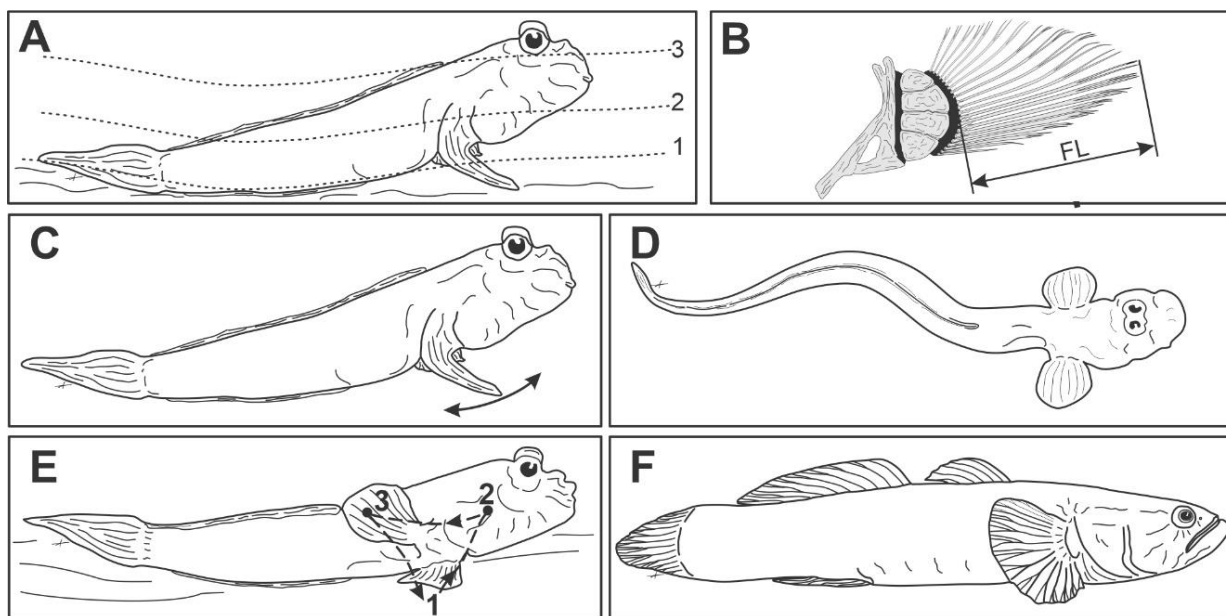
Nghiên cứu thực hiện trên 4 đối tượng gồm 3 loài cá thòi lòi (*Oxuderces nexipinnis*, *Scartelaos histophorus* và *Periophthalmodon septemradiatus*) và 1 loài cá bống dừ (*Oxyeleotris urophthalmus*) làm đối chứng. Cả 4 loài đều ở giai đoạn thành thực với kích cỡ 77-91mm SL ở loài *O. nexipinnis*, 78-102mm ở loài *S. histophorus*, 70-82mm ở loài *Pn. septemradiatus* và 98-125mm ở loài *O. urophthalmus*. Trong đó, loài *Oxuderces nexipinnis* đại diện cho nhóm cá ít lên cạn, loài *Scartelaos histophorus* đại diện cho nhóm cá lên cạn vừa và loài *Periophthalmodon septemradiatus* đại diện cho nhóm cá lên cạn cao (Tran & cs., 2021). Loài *Oxyeleotris urophthalmus* đại diện cho nhóm cá thông thường chưa phát triển tập tính lưỡng cư (Thacker, 2012). Việc xác định loài ở hiện trường dựa vào mô tả của Takita & cs. (1999). Cá cũng được thu về phòng thí nghiệm và xác định loài dựa vào tài liệu của Tran & cs. (2013).

2.3. Phân tích tập tính di chuyển bằng vây ngực

Nghiên cứu quay phim đặc điểm di chuyển của loài *O. nexipinnis* (20 cá thể), loài *S. histophorus* (15 cá thể) và loài *Pn. septemradiatus* (22 cá thể). Các điều kiện đảm bảo cho phân tích tập tính như: tập tính không bị ảnh hưởng bởi hoạt động quan sát và quan sát hết chuỗi hành động của mỗi loài được thực hiện theo hướng dẫn của Bateson & Martin (2021). Mỗi cá thể được ghi ít nhất 3 phút liên tục thể hiện tập tính di chuyển. Thời điểm quay phim là lúc triều thấp, khi bãi bồi xuất hiện và cá bắt đầu thể hiện các tập tính của chúng. Để đảm bảo hoạt động quay phim không ảnh hưởng đến tập tính của cá, sau khi xác định vị trí quay, lắp đặt máy quay, nhóm nghiên cứu chờ khoảng 15' để mọi hoạt động của cá trở lại bình

thường mới tiến hành quay. Trong quá trình quay, tránh chuyển động làm ảnh hưởng đến tập tính của cá. Chỉ những đoạn phim mà hoạt động của cá không bị tác động bởi hoạt động quay phim mới được sử dụng phân tích. Đối với loài *O. urophthalmus*, tập tính bơi sử dụng vây ngực được quay phim trong bể kính. Những hoạt động này nhằm xác định và tính thời gian ở dưới nước, trên cạn và giữa nước và trên cạn của từng loài.

Tùy vào mức nước so với cơ thể cá, nghiên cứu xác định cá ở trên cạn (TC - khi mức nước xung quanh đường số 1 hoặc ở trên cạn hoàn toàn), ở giữa nước và trên cạn (NC - khi mức nước xung quanh đường số 2) hay trong nước (TN - khi mức nước xung quanh đường số 3 hoặc ngập hoàn toàn) (Hình 1a). Tổng thời gian của mỗi hình thức được ghi nhận bằng phần mềm Kinovea và tính tỉ lệ phần trăm.



Ghi chú: Ở hình A, đường chấm thể hiện mức nước so với cơ thể cá. Tùy vào mức ngập nước của cơ thể mà xác định cá ở trên cạn (xung quanh 1 hoặc lên cạn hoàn toàn), giữa nước và cạn (xung quanh 2) và trong nước (xung quanh 3 hoặc ngập hoàn toàn). Ở hình E, các vị trí 1, 2 và 3 thể hiện quỹ đạo di chuyển của vây ngực khi giữ ẩm cơ thể. Giữ ẩm là khi cá dùng vây ngực tiếp xúc với mặt bùn ẩm (vị trí 1) di chuyển lên vùng má (vị trí 2) và vùng sau thân (vị trí 3) để làm tăng độ ẩm của các vùng này. Hình A, C, E là hình vẽ của loài *Pn. septemradiatus* (nhìn từ phía bên). Hình D là hình vẽ của loài *S. histophorus* (nhìn từ trên). Hình F là hình vẽ của loài *Oxyeleotris urophthalmus* (nhìn từ bên). FL: chiều dài tia vây ngực. Mũi tên ở C và E chỉ hướng di chuyển của vây ngực.

Hình 1. Phương pháp xác định mức độ lên cạn (A), cấu trúc vây ngực (B) và việc sử dụng vây ngực để trườn (C), trượt trong nước (D), giữ ẩm (E) và bơi trong nước (F)

Nghiên cứu mối tương quan giữa mức độ lên cạn và đặc điểm di chuyển bằng vây ngực của nhóm cá thòi lòi (họ phụ Oxudercineae)

Tập tính sử dụng vây ngực cũng được phân chia thành 5 hình thức chính. Cá trườn khi sử dụng vây ngực di chuyển theo quỹ đạo trước - sau để tạo lực đẩy về phía trước (Hình 1C), gồm: trườn trong nước (TnTN - khi cá sử dụng vây ngực trườn trong điều kiện TN), trườn giữa nước và cạn (TnNC - khi cá sử dụng vây ngực để trườn trong điều kiện NC), trườn trên cạn (TnTC - khi cá sử dụng vây ngực để trườn trong điều kiện TC). Ngoài ra, khi vây ngực được mở rộng và giữ vị trí cố định tạo lực nâng, khi đó cá dùng đuôi tạo lực đẩy để trượt trong môi trường nước được định nghĩa là trượt trong nước (TtTN - Hình 1D). Hình thức sử dụng vây ngực di chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2 để giữ ấm cho phần má và di chuyển về vị trí 3 để giữ ấm cho phần thân (Hình 1E) được định nghĩa là giữ ấm (GA). Ở loài *O. urophthalmus* sử dụng vây ngực để bơi trong nước (BTN - Hình 1F). Thời gian sử dụng vây ngực ở các hình thức trên được ghi nhận và tính tỉ lệ phần trăm.

2.4. Phân tích hình thái vây ngực

Mẫu cá được thu và xử lý qua nước đá. Vây ngực được chụp ảnh để so sánh hình thái giữa các loài. Chiều dài vây ngực (FL) và diện tích vây ngực (FA) được đo bằng phần mềm imageJ. Tỉ lệ mở của vây ngực (ARF) được tính bằng công thức $ARF = FL^2/FA$ (Wainwright & cs., 2002). Mẫu cá sau đó được bảo quản bằng formalin 10% trong 1 tuần. Khối cơ bên ngoài (CN) và bên trong (CT) được tách ra và cân khối lượng để tính tỉ lệ cơ $MR = CN/CT$.

2.5. Phân tích số liệu

Phân tích phương sai một nhân tố và phép thử Tukey được sử dụng để xác định sự khác biệt của các chỉ tiêu ARF và MR giữa 4 loài với mức tin cậy 95%. Phần mềm RStudio được sử dụng cho các thống kê.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm di chuyển bằng vây ngực

Nghiên cứu xác định được 6 hình thức sử dụng vây ngực ở các đối tượng nghiên cứu (Bảng 1). Nhìn chung, vây ngực được sử dụng

trong di chuyển chậm, trừ trường hợp giữ ấm (cá không di chuyển). Ở các trường hợp TnTN, TnNC và TnTC, vây ngực tạo lực đẩy chính để đưa cơ thể tiến về phía trước. Ở nhóm cá thòi lòi, đa số chúng không có bóng hơi (trừ loài *Boleophthalmus boddarti*, *B. pectinirostris*, *O. nexipinnis* và *S. histophorus* có bóng hơi rất nhỏ) nên khối lượng riêng của chúng lớn hơn so với nước (Zander, 2012; Ishimatsu, 2017). Do đó, mặc dù trong môi trường nước, cơ thể của chúng vẫn có xu hướng chìm xuống và vây ngực được sử dụng để nâng cơ thể lên và đẩy về phía trước. Trường hợp này bắt gặp ở cả 3 loài cá thòi lòi. Khi ở môi trường giữa nước và cạn, hoặc ở trên cạn, trọng lực đặt lên cá lớn hơn so với trong nước. Lúc này, vây ngực sẽ chịu lực lớn hơn so với trong môi trường nước. Do đó, hình thái vây ngực của chúng cũng có thể thay đổi theo, tương tự như ở loài *Polypterus senegalus* được nuôi trên cạn (Standen & cs., 2014). Trường hợp sử dụng vây ngực để trượt chỉ xảy ra trong môi trường nước và bắt gặp ở hai loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus*. Lúc này vây ngực đóng vai trò tạo lực nâng giúp phần đầu nổi trên mặt nước trong quá trình di chuyển. Hình thức di chuyển này chỉ quan sát được khi chúng di chuyển qua các vũng nước sâu hơn chiều cao thân của cá. Hình thức di chuyển này giúp cá giữ vị trí đầu và mắt ở trên mặt nước và có thể đóng vai trò để quan sát kẻ thù trong quá trình di chuyển (Polgar, 2017). Đây là hình thức di chuyển lần đầu tiên ghi nhận trong nghiên cứu này.

Vây ngực được sử dụng để giữ ấm khi cá ở hoàn toàn trên cạn. Hình thức sử dụng vây ngực này chỉ quan sát được ở loài *Pn. septemradiatus* (ít khi di chuyển xuống nước). Hầu hết các loài cá thòi lòi đều có khả năng hô hấp qua da (Ishimatsu, 2017). Để hô hấp, da phải luôn được giữ ẩm. Do đó, chúng thường có tập tính lăn mình để làm ướt cơ thể (Sayer, 2005). Chưa có nghiên cứu về đặc điểm hô hấp ở loài *Pn. septemradiatus*. Đặc biệt, loài này được xem như loài lên cạn nhiều nhất trong các loài cá thòi lòi (Mai & cs., 2019), do đó hình thức trao đổi oxy qua không khí có thể đóng vai trò chính trong hô hấp. Tần suất sử dụng vây ngực để giữ ẩm tăng lên khi cá ở nơi có ánh nắng trực tiếp.

Bảng 1. Mô tả các đặc điểm di chuyển sử dụng vây ngực

Tập tính (viết tắt)	Mô tả	Loài
Trườn trong nước (TnTN)	Cá nằm trong nước (Hình 1A) và di chuyển vây ngực theo hướng trước - sau để đẩy cơ thể về phía trước (Hình 1C).	<i>O. nexipinnis</i> , <i>S. histophorus</i>
Trườn giữa nước - cạn (TnNC)	Cá nằm giữa môi trường nước và trên cạn (Hình 1A) và di chuyển vây ngực theo hướng trước - sau để đẩy cơ thể về phía trước (Hình 1C)	<i>O. nexipinnis</i> , <i>S. histophorus</i> , <i>Pn. septemradiatus</i>
Trườn trên cạn (TnTC)	Cá nằm trên cạn (Hình 1A) và di chuyển vây ngực theo hướng trước-sau để đẩy cơ thể về phía trước (Hình 1C)	<i>O. nexipinnis</i> , <i>S. histophorus</i> , <i>Pn. septemradiatus</i>
Trượt trong nước (TtTN)	Cá ở trong nước (Hình 1A), mở rộng vây ngực và giữ cố định (các tia vây ở phần dưới được kéo về phía trước và lên trên, cao hơn các tia vây giữa và trên), phần nửa sau của thân uốn lượn theo chiều ngang để tạo lực đẩy. Vây ngực lúc này có vai trò như "cánh" để nâng phần đầu khỏi mặt nước (Hình 1D).	<i>O. nexipinnis</i> , <i>S. histophorus</i>
Giữ ấm (GA)	Cá ở trên cạn và di chuyển vây ngực theo quỹ đạo lần lượt là 1, 2 và 3 (Hình 1E). Ở vị trí số 2 và 3, vây ngực dừng lại một lúc để làm ấm phần má và phần sau thân.	<i>Pn. septemradiatus</i>
Bơi trong nước (BTN)	Cá di chuyển vây ngực như các loài cá thông thường để bơi về phía trước, bơi lùi, chuyển hướng, giảm tốc độ (Hình 1F). Chỉ quan sát được ở loài <i>O. urophthalmus</i> .	<i>O. urophthalmus</i>

Ở loài *O. urophthalmus*, vây ngực được sử dụng như các loài cá thông thường như bơi tới, bơi thụt lùi, chuyển hướng và giảm tốc độ bơi (Drucker & cs., 2006). Các hình thức bơi sử dụng vây ngực có tốc độ chậm so với sử dụng phần sau của thân. Nghiên cứu chưa ghi nhận loài này sử dụng vây ngực để trườn hoặc trượt như ở các loài cá thòi lòi. Có thể loài *O. urophthalmus* sống chủ yếu dưới nước nên chúng không sử dụng vây ngực để trườn hoặc trượt như các loài cá thòi lòi. Cho cá ở điều kiện nước ngập 1/2 thân, cá di chuyển khó khăn, không sử dụng vây ngực để trườn mà sử dụng phần sau thân để di chuyển.

3.2. Mức độ lên cạn và tỉ lệ thời gian sử dụng vây ngực của cá thòi lòi

Qua khảo sát, mức độ lưỡng cư của các loài cá thòi lòi tăng dần từ loài *O. nexipinnis* đến loài *S. histophorus* và *Pn. septemradiatus*. Loài *O. nexipinnis* sử dụng phần lớn thời gian (88,36%) thời gian ở trong nước (63,66%) hoặc giữa nước và trên cạn (24,7%). Thời gian lên cạn (11,64%) chủ yếu để di chuyển từ vùng nước này sang vùng nước khác hoặc cạo nhanh lớp tảo bằng miệng trên cạn rồi nhanh chóng trở lại nước. Loài *S. histophorus* có thời gian lên cạn ở mức trung bình (43,3%) (Hình 2). Loài này lên cạn khá thuận thực, chúng dường như có thể lên

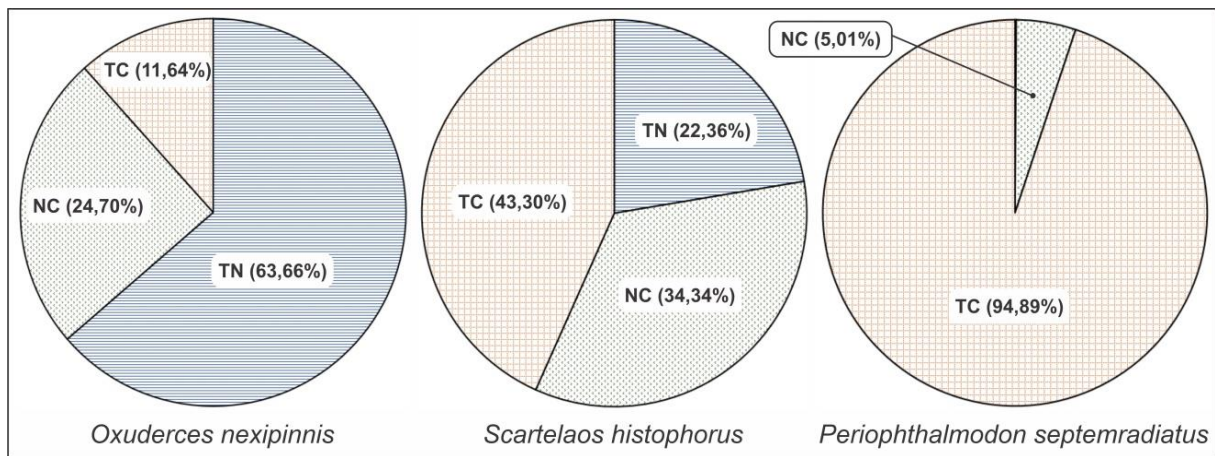
cạn tùy ý. Một số cá thể quan sát được ở trên cạn phần lớn thời gian để ăn, một số khác dành nhiều thời gian ở trong nước. Loài *Pn. septemradiatus* dành phần lớn thời gian ở trên cạn (94,89%). Chúng không có hình thức bơi trong nước (TN) như hai loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus* (Hình 2). Qua quan sát tại hiện trường, khi có tác động của con người, loài *Pn. septemradiatus* có xu hướng di chuyển lên cạn vào các bụi rậm để ẩn trốn (thay vì di chuyển xuống nước như hai loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus*). Điều này cho thấy loài *Pn. septemradiatus* có khả năng di chuyển trên cạn tốt hơn ở dưới nước. Đặc điểm này phù hợp với nhận định của Mai & cs. (2019) là loài này ít khi xuống nước. Ở loài *O. urophthalmus*, chưa có nghiên cứu ghi nhận được khả năng sống lưỡng cư của loài này. Khả năng lên cạn phụ thuộc vào nhiều yếu tố: khả năng hô hấp trên không khí, khả năng di chuyển trên cạn, khả năng nhìn trên cạn (Clayton, 1993).

Về đặc điểm sử dụng vây ngực, nghiên cứu xác định được 5 hình thức sử dụng vây ngực ở nhóm cá thòi lòi gồm: trườn trong nước, trườn trên cạn, trườn giữa nước và trên cạn, trượt trong nước và giữ ấm. Tập tính sử dụng vây ngực có sự tương đồng giữa hai loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus*. Chúng đều sử dụng vây ngực để TnTN, TnNC, TnTC và TtTN.

Nghiên cứu mối tương quan giữa mức độ lên cạn và đặc điểm di chuyển bằng vây ngực của nhóm cá thòi lòi (họ phụ Oxudercinea)

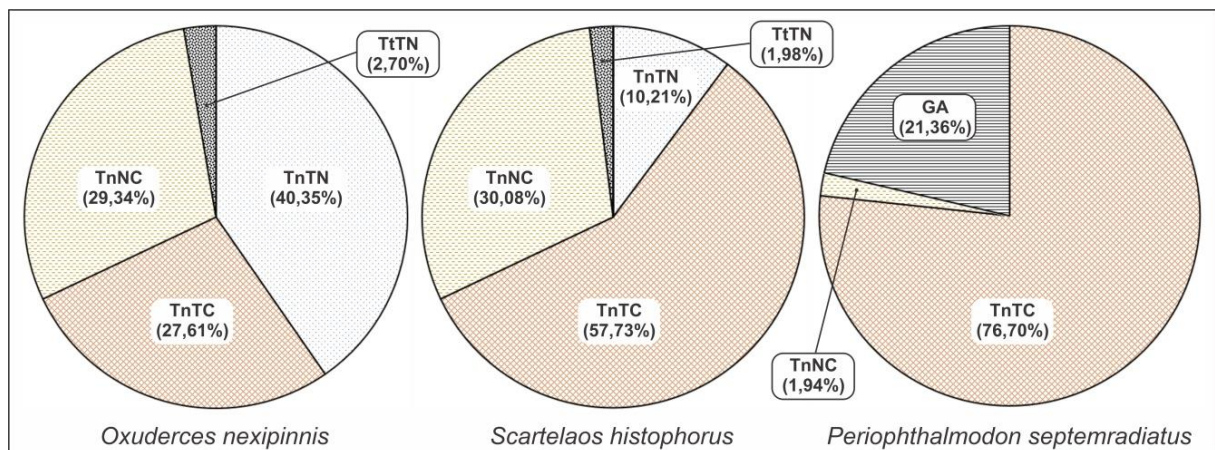
Tuy nhiên, loài *O. nexipinnis* sử dụng vây ngực để TnTN (40,35%) nhiều hơn so với loài *S. histophorus* (10,21%), trong khi loài *S. histophorus* dành nhiều thời gian để TnTC (57,73%) hơn so với loài *O. nexipinnis* (27,61%). Ở loài *Pn. septemradiatus*, vây ngực chủ yếu dành cho hoạt động TnTC (Hình 3). Hoạt động TnNC chủ yếu diễn ra khi chúng di chuyển từ mô đất này sang mô đất khác. Hình thức sử dụng vây ngực để GA chỉ ghi nhận ở loài này. Điều này có thể do loài này dành chủ yếu thời gian trên cạn nên dễ bị mất nước. Hoạt động GA để làm ẩm phần má và thân sau, hỗ trợ hoạt

động hô hấp trên cạn (Sayer, 2005). Ở hai loài cá thòi lòi *O. nexipinnis* và *S. histophorus* không có hình thức GA có thể do chúng dành nhiều thời gian tiếp xúc với nước (Hình 2) nên chúng không cần phải giữ ẩm. Hình thức sử dụng vây ngực để bơi trong nước và trườn trên cạn được Pace (2017) mô tả ở loài *Periophthalmus argentilineatus*. Khi di chuyển trên cạn loài *Ps. argentilineatus* sử dụng vây ngực tương tự như hình thức TnTC trong nghiên cứu này. Nhưng khi bơi trong nước, cá sử dụng vây ngực để tạo lực đẩy tương tự như các loài cá thông thường.



Ghi chú: Dữ liệu dựa trên hình ảnh quay phim tại hiện trường với N = 20 ở loài *O. nexipinnis*, N = 15 ở loài *S. histophorus* và N = 22 ở loài *Pn. septemradiatus* (Mỗi cá thể quay ít nhất 3 phút); TC: Trên cạn; TN: Trong nước; NC: Giữa trong nước và trên cạn.

Hình 2. Tỷ lệ mức độ lên cạn của các loài cá



Chú thích: TnTN: Trườn trong nước; TnNC: Trườn giữa nước và cạn; TnTC: Trườn trên cạn; TtTN: Trượt trong nước; GA: Giữ ẩm.

Hình 3. Tỷ lệ thời gian sử dụng vây ngực ở 3 loài cá thòi lòi

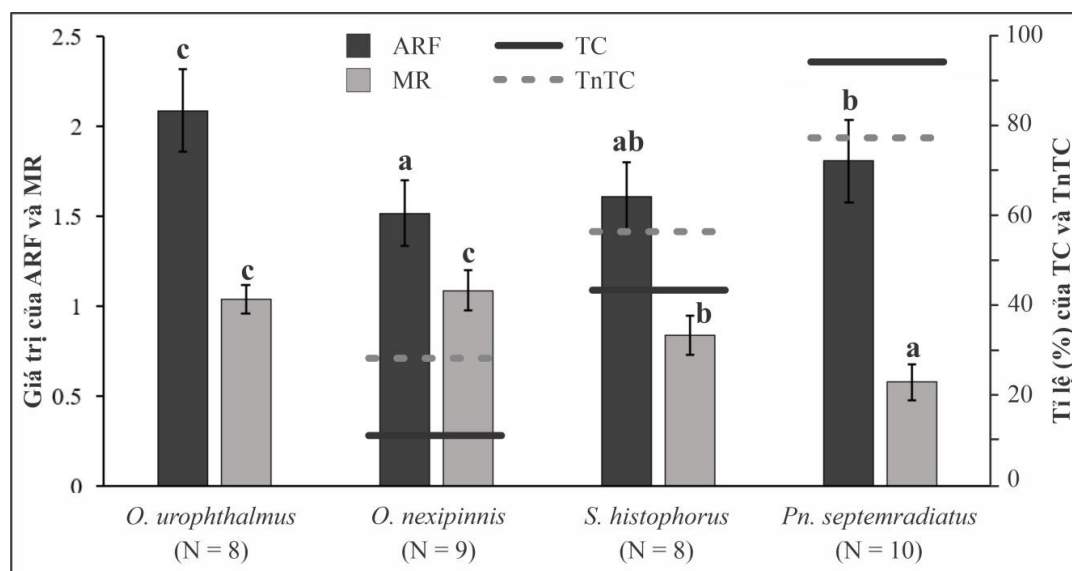
Ở loài đối chứng *O. urophthalmus*, vây ngực chỉ sử dụng để bơi trong nước như các loài cá thông thường (Drucker & cs., 2006). Các hình thức sử dụng vây ngực để TtTN hay TnTN không quan sát được ở loài này.

3.3. Môi tương quan giữa hình thái vây ngực và mức độ lên cạn ở cá thòi lòi

Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự khác biệt về độ mở của vây ngực (ARF) ở các loài cá ($F = 12.57, P < 0,05$) với giá trị giao động từ $1,52 \pm 0,18$ đến $2,09 \pm 0,23$. Chỉ số ARF lớn nhất ở loài *O. urophthalmus* và nhỏ nhất ở loài *O. nexipinnis* (Hình 4). Chỉ số ARF trong nghiên cứu này tương đối nhỏ so với nghiên cứu của Wainwright & cs. (2022) ở 143 loài với chỉ số mở của vây ngực trung bình là 3,0. Điều này có thể do hầu hết cá trong nghiên cứu đó dùng vây ngực để bơi trong nước. Chỉ số càng nhỏ, độ mở rộng của vây ngực càng lớn và thường được sử dụng để tạo lực khi bơi trong nước (Wainwright & cs., 2022). Ở nhóm cá thòi lòi, chỉ số ARF tăng dần từ loài có mức độ lưỡng cư thấp (*O. nexipinnis*) đến loài có mức độ lưỡng cư cao (*Pn. septemradiatus*). Tuy nhiên, khi so sánh với loài *O. urophthalmus*, chỉ số này không giải

thích được cho mức độ lưỡng cư. Có thể loài *O. urophthalmus* sống chủ yếu ở nền đáy (Thacker, 2012), ít di chuyển và vây ngực có thể ít được sử dụng để bơi trong nước nên chỉ số ARF lớn. Các nghiên cứu quan sát tập tính di chuyển của loài này trong điều kiện tự nhiên có thể giải thích được sự khác biệt chỉ số này.

Chỉ số MR thể hiện tỉ lệ khối cơ bên ngoài và bên trong. Chỉ số càng nhỏ tức khối cơ bên trong càng lớn, phục vụ cho việc di chuyển trên cạn (kéo cơ thể về phía trước). Chỉ số MR có sự khác biệt giữa các loài và tương quan với mức độ lưỡng cư của các loài. Chỉ số MR ở hai loài *O. urophthalmus* ($1,04 \pm 0,08$) và *O. nexipinnis* ($1,09 \pm 0,11$) không có sự khác biệt và gần bằng 1. Điều này có nghĩa là khối cơ bên ngoài và bên trong tương đương nhau. Vây ngực ở hai loài này có thể ít chịu lực trong quá trình trườn tới do đó khối cơ bên trong không phát triển lớn hơn khối cơ bên ngoài. Trong khi đó, chỉ số MR ở loài *S. histophorus* ($0,84 \pm 0,11$) và *Pn. septemradiatus* ($0,58 \pm 0,1$) nhỏ hơn 1. Đặc biệt ở loài *Pn. septemradiatus*, khối cơ bên trong gần gấp đôi khối lượng khối cơ bên ngoài. Điều này phù hợp với việc sử dụng vây ngực thường xuyên để trườn trên cạn của hai loài cá này (Hình 3).



Ghi chú: Phân tích phương sai và phép thử Tukey được áp dụng cho ARF và MR. Dữ liệu với các ký tự khác nhau của ARF và MR thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$). N thể hiện số cá thể quan sát.

Hình 4. Tỉ lệ mở của vây ngực (trung bình ± độ lệch chuẩn) (ARF), tỉ lệ giữa khối cơ trong và khối cơ ngoài (MR), mức độ lên cạn (TC) và mức độ sử dụng vây ngực để trườn trên cạn (TnTC)

Nghiên cứu mối tương quan giữa mức độ lên cạn và đặc điểm di chuyển bằng vây ngực của nhóm cá thòi lòi (họ phụ Oxudercineae)

Có mối tương quan giữa mức độ lên cạn (TC), sử dụng vây ngực trườn trên cạn (TnTC) với tỉ lệ cơ (MR) và độ mở của vây ngực (ARF) (trừ trường hợp ARF ở loài *O. urophthalmus*) (Hình 4). Điều này cho thấy, càng lên cạn, vây ngực sử dụng cho mục đích chịu lực và trườn tới thay vì tạo lực đẩy để bơi trong nước. Khối cơ bên trong cũng phát triển hơn ở loài lên cạn để phục vụ cho mục đích trườn.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Mức độ lên cạn tăng dần trong nhóm cá thòi lòi từ ít lên cạn (TC = 11,64%) ở loài *O. nexipinnis* đến lên cạn vừa (43,30%) ở loài *S. histophorus* và lên cạn nhiều (94,89%) ở loài *Pn. septemradiatus*. Từ đó, việc di chuyển bằng vây ngực cũng thay đổi từ trượt trong nước, trườn trong nước, trườn giữa nước - cạn ở hai loài *O. nexipinnis* và *S. histophorus* đến trườn trên cạn ở loài *Pn. septemradiatus*. Hình thức trượt trong nước (TtTN) lần đầu được mô tả trong nghiên cứu này. Loài đối chứng (*O. urophthalmus*) chỉ sử dụng vây ngực để bơi trong nước như các loài cá thông thường. Độ mở vây ngực và tỉ lệ giữa khối cơ ngoài - trong cũng có mối tương quan với mức độ lên cạn và việc sử dụng vây ngực trên cạn. Nghiên cứu chỉ ra sự thay đổi tập tính sử dụng vây ngực, sự thay đổi hình dáng vây ngực, tỉ lệ khối cơ ngoài - trong của nhóm cá thòi lòi ở các mức độ lên cạn khác nhau. So sánh đặc điểm hình thái cơ - xương vây ngực giữa các loài này trong những nghiên cứu tiếp theo có thể làm rõ được mối tương quan giữa hình thái và chức năng của chúng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: T2023-174. Nhóm tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn đến Khoa Quản lý và Kinh tế Thủy sản tạo điều kiện sử dụng các trang thiết bị trong quá trình thực hiện đề tài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bateson M. & Martin P. (2021). *Measuring behavior: An introductory guide* (4th ed.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Clack J.A. (2002). *Gaining ground: The origin and evolution of tetrapods* (1st ed.). Indiana University Press, Bloomington, Indiana, US.

Clack J.A. (2009). The fin to limb transition: new data, interpretations, and hypotheses from Paleontology and developmental biology. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 37: 163-179. DOI: 10.1146/annurev.earth.36.031207.124146.

Clayton D.A. (1993). Mudskippers. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 31: 507-577.

Drucker E.G., Walker J.A. & Westneat M.W. (2006). Mechanics of pectoral fin swimming in fishes. *In: Shadwick R.E. & Lauder G.V. (Eds.). Fish biomechanics*. Elsevier Academic Press. pp. 369-424.

Ishimatsu A. (2017). Respiratory and circulatory adaptations. *In: Jaafar Z. & Murdy E. O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 111-136.

Kuciel M., Zuwala K., Lauriano E. R., Polgar G., Malavasi S. & Zacccone G. (2017). Structure and function of sensory organs. *In: Jaafar Z. & Murdy E. O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 137-166.

Mai V.H., Tran X.L., Dinh M.Q., Tran D.D., Murata M., Sagara H., Yamada A., Shirai K. & Ishimatsu A. (2019). Land invasion by the mudskipper, *Periophthalmodon septemradiatus*, in fresh and saline waters of the Mekong River. *Scientific Reports*. 9: 14227. DOI: 10.1038/s41598-019-50799-5.

Martin K.L.M. & Ishimatsu A. (2017). Review of reproductive strategies. *In: Jaafar Z. & Murdy E. O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 209-236.

Nguyễn Trường Thành, Kim Lavane, Huỳnh Vương Thu Minh, Nguyễn Võ Châu Ngân & Trần Văn Tý (2022). Lọc cát chìm - Phương pháp tiếp cận mới để cung cấp nước nông thôn. *Kỷ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc Trái đất, Mỏ, Môi trường bền vững lần thứ V*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.

Pace C. (2017). Aquatic and terrestrial locomotion. *In: Jaafar Z. & Murdy E. O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 195-208.

Parenti L.R. & Jaafar Z. (2017). The natural distribution of mudskippers. *In: Jaafar Z. & Murdy E. O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 37-68.

Polgar G. (2017). Emergent pattern in spatio-temporal ecology. *In: Jaafar Z. & Murdy E.O. (Eds.). Fishes out of water: Biology and ecology of mudskippers*. CRC Press. pp. 301-326.

- Polgar G. & Lim R. (2011). Mudskippers: Human use, ecotoxicology and biomonitoring of mangrove and other soft bottom intertidal ecosystems. *In: Metras J. N. (Ed.). Mangroves: Ecology, biology and taxonomy.* New York: Nova Science. pp. 51-86.
- Sayer M.D.J. (2005). Adaptation of amphibious fish for surviving life out of water. *Fish and Fisheries.* 6: 186-211. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2005.00193.x.
- Standen E.M., Du T.Y. & Larsson H.C.E. (2014). Developmental plasticity and the origin of tetrapods. *Nature.* 513: 54-58. doi: 10.1038/nature13708
- Takita T., Agusnimar & Ali A.B. (1999). Distribution and habitat requirements of oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae) along the Straits of Malacca. *Ichthyological Research.* 46: 131-138. doi: 10.1007/BF02675431
- Thacker C. (2012). Systematics of Butidae and Eleotridae. *In: Patzner R.A., Tassell J.L.V., Kovacic M. & Kapoor B.G. (Eds.). The biology of gobies.* Science Publishers. pp. 79-86.
- Tran D.D., Shibukawa K., Nguyen T.P., Ha P. H., Tran X.L., Mai V. H. & Utsugi K. (2013). *Fishes of the Mekong Delta, Vietnam (1st ed.).* Can Tho University Publishing House.
- Phạm Trọng Thịnh (2010). *Rừng ngập mặn ở Sóc Trăng 1965-2007.* Deutsche Gesellschaft für, Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Tran X.L., Maekawa Y., Soyano K. & Ishimatsu A. (2021). Morphological comparison of the feeding apparatus in herbivorous, omnivorous and carnivorous mudskippers (Gobiidae: Oxudercinae). *Zoomorphology.* 140: 387-404. doi: 10.1007/s00435-021-00530-8
- Wainwright P.C., Bellwood D.R. & Westneat M.W. (2002). Ecomorphology of locomotion in labrid fishes. *Environmental Biology of Fishes.* 65: 47-62. doi: 10.1023/A:1019671131001
- Zander C.D. (2012). Morphological adaptation to special environments of gobies. *In: Patzner R.A., Tassell J.L.V., Kovacic M. & Kapoor B.G. (Eds.). The biology of gobies.* Science Publishers. pp. 345-366.