

Nguồn gốc phát sinh và phân bố cá bản địa ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận

Hoàng Đức Huy^{1,2,*}, Phạm Mạnh Hùng^{1,2}, Trần Trọng Ngân^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Các loài cá bản địa ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận đã được khảo sát để tìm hiểu phân bố, nguồn gốc, quan hệ phát sinh và phân bố nguồn gốc từ năm 2010 đến 2020. Mỗi quan hệ tiến hóa, phát sinh loài được phân tích đối với các loài cá bản địa và suy luận yếu tố giới hạn trong phân bố môi trường sống. Các gene sử dụng bao gồm một số gene tiêu biểu từ bộ gene ty thể và gene nhân như COI, Cyto b, 16S rRNA, ATPase 6-8, RAG1. Diễn giải về nguồn gốc, thời gian phát sinh và xác định tính đặc hữu các loài cá được tích hợp từ kết quả phân tích nghiên cứu này và điều chỉnh dựa trên dữ liệu về phát sinh các bộ cá toàn cầu. Từ 861 mẫu cá được thu thập từ 19 vị trí thu mẫu đã xác định được 243 loài cá tự nhiên bản địa, thuộc 166 giống, 79 họ, 28 bộ. Ba loài cá được xác định lại danh pháp chính xác. Khu hệ cá khảo sát được phân thành năm nhóm có nguồn gốc khác nhau: 156 loài chia sẻ với sông Mê Kông trong đó 42% số loài cùng chia sẻ với khu hệ cá Sundaland, một loài chia sẻ với sông Hồng, và 81 loài có nguồn gốc từ vùng biển Ấn Độ - Tây Thái Bình Dương. Số loài đặc hữu là 5, chiếm khoảng 3% khu hệ cá nguyên sinh nước ngọt sông Sài Gòn - Đồng Nai và các sông phụ cận. Hệ cá sông Sài Gòn - Đồng Nai và các sông phụ cận chia sẻ hầu hết các loài cá nguyên sinh nước ngọt (khoảng 96%) với sông Mê Kông và hình thành một phần của Châu thổ Mê Kông cổ trong kỷ Đệ Tứ. Khu vực sinh thái nước ngọt Châu thổ Mê Kông được đề nghị mở rộng bao gồm các sông Phan, sông Lũy và sông Dinh ở duyên hải Nam Trung bộ.

Từ khoá: cá bản địa, hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai, phân bố địa lý, sự đặc hữu, vùng sinh thái nước ngọt Châu thổ Mê Kông

¹Khoa Sinh học và Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Hoàng Đức Huy, Khoa Sinh học và Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: hdhuy@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 01-9-2021
- Ngày chấp nhận: 25-01-2022
- Ngày đăng: 28-02-2022

DOI: 10.32508/stdjns.v6i1.1120



Check for updates

Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



MỞ ĐẦU

Sông Đồng Nai bắt nguồn từ thung lũng nhỏ ở phía bắc núi Liang Biang thuộc vùng cao nguyên Lâm Đồng, chạy dài theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, gặp dòng sông Bé bắt nguồn từ dãy cuối cùng Nam Trường Sơn tại dưới thác Trị An (nay là đập). Sau đó, dòng Đồng Nai hợp lưu với sông Sài Gòn tại Nhà Bè và đổ ra cửa biển Cần Giuộc, thành phố Hồ Chí Minh. Khu hệ cá ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và lưu vực Vàm Cỏ phụ cận đã được Freyhof và cs.¹ (2000) khảo sát với 107 loài được ghi nhận và không có loài đặc hữu nào. Trước đó Mai Đình Yên và cs.² (1992) cũng đã ghi nhận 130 loài cá nước ngọt và lợ ở hệ thống sông này; tuy nhiên việc xác định loài vẫn còn chưa chắc chắn. Phát triển bền vững có nhiều lợi ích chung, trong đó việc quản lý bền vững nguồn nước và sự phong phú của đa dạng sinh học là một giải pháp hiệu quả về chi phí đầu tư dựa trên tự nhiên sẵn có. Nhu cầu tiếp tục thăm dò và đánh giá bảo tồn khu hệ cá ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai là cần thiết vì các mối đe dọa đối với tài nguyên đa dạng sinh học nước ngọt ngày càng lớn do thay đổi dòng chảy và chuyển hướng nước, tăng lượng phù sa, các

loài du nhập, đánh bắt quá mức và mất môi trường sống. Hiện nay, 17 loài cá nước ngọt dễ tổn thương đến nguy cấp ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai đã được đưa vào Danh lục Đỏ của IUCN (2021), tuy nhiên còn những loài giá trị phổ biến như cá Ngát *Plocheilichthys canius* ở Châu thổ Mê Kông hay cá Chia vôi *Proteracanthus sarissophorus* sống giới hạn ở vùng cửa sông Cần Giuộc vẫn chưa được xem xét. Đây rõ ràng là một đánh giá chưa đầy đủ về các loài cá nước ngọt bị đe dọa của Việt Nam.

Các loài cá sinh sống nơi sông suối bắt nguồn từ phía Nam Trường Sơn ra đến Biển Đông ít được biết đến về nguồn gốc, quan hệ phát sinh và phân bố. Trong khi đó, cá Vây tia Actinopterygii tạo thành nhóm lớn nhất và đa dạng nhất trong số động vật có xương sống. Bộ dữ liệu khổng lồ cho tất cả các dòng cá Vây tia chính đã được Hughes và cs.³ (2018) chứng thực sự phân loại phát sinh loài và được đề xuất gần đây. Địa lý sinh vật nước ngọt ở khu vực sinh thái nước ngọt Mekong Delta theo Abell và cs.⁴ (2008) bao gồm các hệ sinh vật sông Sài Gòn - Đồng Nai. Trước đó, khu vực Đông Nam Á với các vùng sinh thái nước ngọt được xác định bằng cách tiếp cận từ cấp độ gene tới

Trích dẫn bài báo này: Hoàng DH, Phạm MH, Trần TN. Nguồn gốc phát sinh và phân bố cá bản địa ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 6(1):1915-1932.

sinh thái, sử dụng cả dữ liệu thực địa và đánh giá của chuyên gia^{4,5}. Tuy nhiên, cho đến hiện nay, vẫn chưa có khảo sát nào về khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận có tương quan gì đến vùng sinh thái nước ngọt của sông Mê Kông.

Từ năm 2010 đến 2020, phòng thí nghiệm Động vật học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã khảo sát sự phân bố các loài cá nước ngọt tại 19 địa điểm ở miền Đông Nam Bộ và Nam Tây Nguyên. Nghiên cứu được thiết kế để ghi lại sự đa dạng, phá hệ phát sinh loài, nguồn gốc và phân bố của các loài cá nước ngọt, xác định các đơn vị phân loại mới, ghi lại phạm vi mở rộng vùng sinh thái nước ngọt, cung cấp dữ liệu cơ bản để theo dõi sức khỏe hệ sinh thái nước ngọt và đánh giá giá trị bảo tồn và đa dạng sinh học của các vùng hiện chưa được bảo vệ.

PHẠM VI VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phạm vi nghiên cứu

Khảo sát khu hệ cá được tiến hành tại các phụ lưu suối và sông chính thuộc các hệ thống sông Vàm Cỏ (phụ cận với sông Sài Gòn), sông Sài Gòn, sông Bé, sông Đồng Nai, ba sông Phan, sông Lũy và sông Dinh (phụ cận với sông Đồng Nai) thuộc các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Phước, Bình Dương, Tây Ninh, Long An, Thành phố Hồ Chí Minh, Bình Thuận và Ninh Thuận trong khoảng thời gian từ tháng 11 năm 2010 đến tháng 10 năm 2020 (xem Hình 1, Bảng 1).

Phương pháp nghiên cứu

Vị trí khảo sát được lựa chọn bằng cách xem xét địa hình, khí hậu, thủy văn của khu vực thông qua các tài liệu, bản đồ và kết hợp với khảo sát thực địa (Hình 1). Sau đó, thu mẫu bằng cách tham gia đánh cá cùng ngư dân, sử dụng các loại ngư cụ thông thường (lưới kéo, chài, vợt) tùy theo lưu vực khảo sát. Mẫu vật thu thập được đeo nhãn có ghi rõ thời gian, địa điểm thu mẫu, sau đó được định hình để đưa về phòng thí nghiệm phân tích.

Các thông tin về điều kiện lý hóa của nước, đặc điểm các sinh cảnh của cá đều được ghi nhận lại. Ngoài ra, tiến hành phỏng vấn thêm dân địa phương để ghi nhận một số thông tin khác về các loài cá và khảo sát nhu cầu đánh bắt. Các loài cá được định danh, cập nhật danh pháp và xác định phân bố theo các công trình công bố gần đây nhất. Cá bản địa Mê Kông dựa theo Kottelat (2001, 2013), Praxaysombath và cs. (2020), Rainboth (1996), Rainboth và cs. (2012), So và cs. (2018); Kottelat (2013), Nguyễn Văn Hào (2001,

2005)⁷⁻¹⁵; cá Đuối Myliobatiformes dựa theo Deynat & Fermon (2001)¹⁶; các loài bộ cá Chép Cypriniformes dựa theo Šlechtová và cs. (2021), Ciccotto & Page (2020), Page và cs. (2020), Freyhof & Herder (2001), Kottelat (2020), Serov và cs. (2006), Šlechtová và cs. (2006), Sholihah và cs. (2020)¹⁷⁻²⁴; các loài bộ cá Da trơn Siluriformes dựa theo Jiang và cs. (2012), Ng (2002, 2003, 2004), Ng & Freyhof (2003, 2008), Ng & Kottelat. (2000, 2008, 2013, 2017, 2021)²⁵⁻³⁵; Lươn và các loài họ cá Lóc Channidae dựa theo Matsumoto và cs. (2010), Rüber và cs. (2020)^{36,37} các loài cá bóng và cá nước lợ cửa sông dựa theo Trần Đức Định và cs. (2013), Prokofiev (2016), Voronina và cs. (2016)³⁸⁻⁴⁰. Các mẫu cá chưa định loại được loài bằng hình thái thì phân tích DNA (gene COI) để xác định.

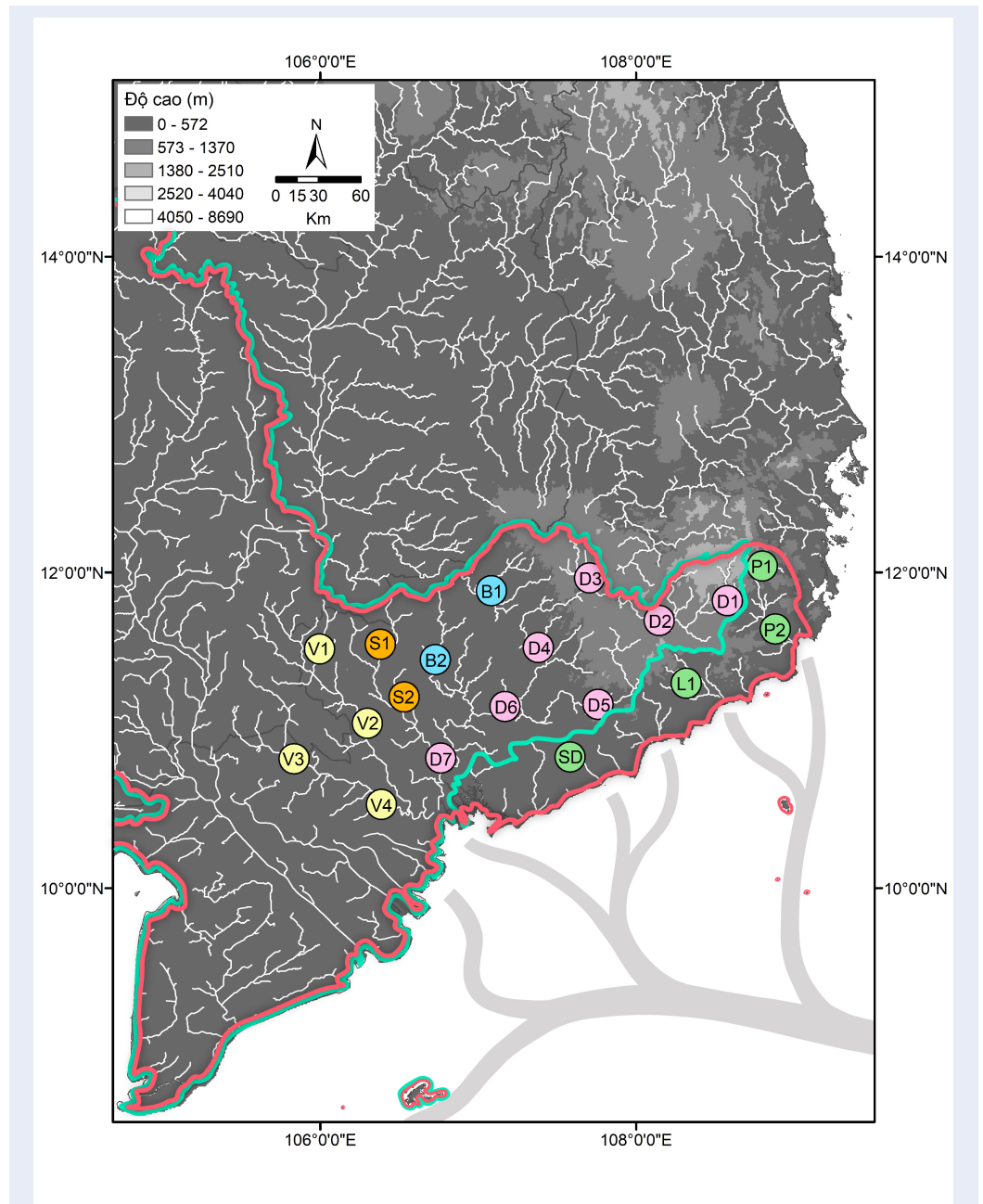
Thiết lập mối quan hệ phát sinh loài của các loài cá là một bước quan trọng để giải thích sự đa dạng của chúng. Mối quan hệ tiến hóa, phát sinh loài được phân tích đối với các loài cá bản địa và suy luận yếu tố giới hạn trong phân bố môi trường sống. Các gene sử dụng bao gồm một số gene tiêu biểu từ bộ gene ty thể và gene nhân như COI, *Cyto b*, 16S rRNA, ATPase 6-8, RAG1.

Diễn giải về nguồn gốc, thời gian phát sinh và xác định tính đặc hữu các loài cá được tích hợp từ kết quả phân tích nghiên cứu này và điều chỉnh dựa trên các kết quả về phát sinh của các bộ cá Vây tia toàn cầu theo Betancur và cs. (2017), Hughes và cs. (2018)^{3,41}; phá hệ sinh các họ của bộ cá Chép Cypriniformes của Yang và cs. (2012, 2015), Stout và cs. (2016), Tang và cs. (2013), Zheng và cs. (2019)⁴²⁻⁴⁵; phá hệ và thời gian phát sinh của các họ của bộ cá Da trơn Siluriformes của Kappas và cs. (2016)⁴⁶; phá hệ sinh của họ cá Ưc Ariidae của Raul và cs. (2017)⁴⁷; phá hệ sinh của bộ cá Rô đồng Anabantiformes của Rüber và cs. (2006, 2020)^{37,48}; bộ cá Bóng Gobiiformes của Jeon và cs. (2021)⁴⁹.

Các mẫu cá trong nghiên cứu sau khi được chụp hình và lấy mẫu vây để phân tích di truyền đều được thả lại môi trường tự nhiên của chúng. Các mẫu vây sau khi phân tích được lưu giữ tại Phòng thí nghiệm Động vật thuộc Bộ môn Sinh thái và Sinh học Tiến hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nghiên cứu đã ghi nhận và xác định được 243 loài cá tự nhiên bản địa, thuộc 166 giống, 79 họ, 28 bộ từ 861 mẫu cá thu được tại các sông suối thuộc hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và phụ cận. Trong đó, bộ cá Chép Cypriniformes 89 loài (36%), Siluriformes 41 loài (17,3%).



Hình 1: Vị trí 19 điểm thu mẫu trên các lưu vực thuộc sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận. Khu vực sinh thái nước ngọt Mekong Delta giới hạn đường xanh theo Abell R. và cs. 2008⁴, đường đỏ là đề xuất của nghiên cứu này; Hệ thống hạ lưu sông Mê Kông cổ màu xám (phác họa theo Voris 2000⁶).

Bảng 1: Vị trí khảo sát và số mẫu cá thu được ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận

Vị trí khảo sát (số lượng mẫu cá)	Tọa độ
Sông Vàm Cỏ (45)	V1: 105°58'14.1396"E, 11°28'42.1596"N; V2: 106°16'47.7273"E, 11°1'34.6082"N; V3: 105°55'22.8184"E, 10°46'9.4738"N; V4: 106°24'47.4267"E, 10°32'27.1321"N;
Sông Sài Gòn (155)	S1: 106°25'4.5588"E, 11°29'33.5559"N; S2: 106°35'38.4472"E, 11°7'34.3827"N;
Sông Bé (42)	B1: 107°5'20.1876"E, 11°52'24.1255"N; B2: 106°43'21.0144"E, 11°24'8.0457"N;
Sông Đồng Nai (494)	D1: 108°34'42.5409"E, 11°48'24.2758"N; D2: 108°13'0.4999"E, 11°40'7.4443"N; D3: 107°39'1.7777"E, 11°53'49.7861"N; D4: 107°26'10.8323"E, 11°30'59.2165"N; D5: 107°40'44.5704"E, 11°8'25.7791"N; D6: 107°16'11.2081"E, 11°10'8.5718"N; D7: 106°46'12.3356"E, 10°43'18.1526"N;
Sông Phan (93)	P1: 108°45'50.6936"E, 11°57'49.6357"N; P2: 108°54'7.525"E, 11°36'41.8589"N;
Sông Lũy (22)	L1: 108°18'16.5609"E, 11°14'42.623"N
Sông Dinh (10)	SD: 107°38'44.6456"E, 10°48'43.6629"N;

Xác định loài và danh pháp

Hiện nay, loài cá Mè vinh theo Eschmeyer's Catalog of Fishes sử dụng tên *Barbonymus gonionotus*, mặc dù đã được Yang và cs. (2015) chứng minh đây thuộc giống *Hypsibarbus* và không liên quan đến giống *Barbonymus* trong phả hệ sinh⁴². Trong khảo sát này, chúng tôi đồng ý với nhận định của Yang và cs. (2015) vì kiểm tra hình thái của cá Mè vinh phù hợp với giống *Hypsibarbus* về màu sắc các bờ vây đen trong những dạng lưới trên thân và hàng vây từ gốc vây lưng đến đường bên là năm vây. *Hypsibarbus gonionotus* có số tia vây phân nhánh ở vây hậu môn là 6, khác với các loài còn lại của *Hypsibarbus* là 5, dẫn đến tỷ lệ độ dài gốc vây hậu môn trên chiều dài đầu 90% ở *H. gonionotus* so với 60% ở các loài *Hypsibarbus* và đây là đặc điểm đã phân loại *H. gonionotus* trước đây chung giống với các loài của *Barbonymus* theo Rainboth (1996). Do vậy trong khảo sát này, chúng tôi chính thức sử dụng tên giống loài cá Mè vinh là *Hypsibarbus gonionotus*. Trong tu chính hình thái giống *Hypsibarbus* của Rainboth (1996) xác định loài cá Mè vinh có bản rộng hình thoi ở sông La Ngà – phụ lưu sông Đồng Nai từ mẫu vật được thu thập năm 1935 là *Hypsibarbus suvatti* với mẫu chuẩn ở sông Mae Khlong, Thái Lan⁵⁰. Trong nghiên cứu này, chúng tôi kiểm tra gene và hình thái *Hypsibarbus suvatti* ở Mae Khlong, *H. lagleri* ở sông Mê Kông và mẫu vật tương tự hình thái ở sông Đồng Nai cho thấy, loài ở sông Đồng Nai là *H. lagleri*, mặc dù số đo đếm hình thái thì khớp với *H. suvatti*. Thực tế, hai loài *H. lagleri* và *H. suvatti* rất giống nhau về hình thái, chỉ lệch nhau một vây với số vây từ trên đường bên đến gốc vây lưng là 5 vây ở *H. lagleri* và 4 vây ở *H. suvatti*. Trong phân

tích gene cũng cho thấy đây là hai loài gần nhau nhất và sự lệch nhau một vây có thể là biến dị sai khác ở những quần thể khác nhau.

Loài cá Lòng tong đuôi vàng *Rasbora aurotaenia* Tirant đã được mô tả vào năm 1885 từ mẫu chuẩn ở sông Sài Gòn, được chúng tôi phân tích gene COI từ mẫu vật cùng địa điểm đã xác định cùng loài về gene và hình thái với cá Lòng tong đuôi vàng *Rasbora dusonensis* (Bleeker, 1850) phân bố rộng ở Sundaland²³. Như vậy theo nguyên tắc danh pháp đặt tên trước *Rasbora aurotaenia* là đồng vật (junior synonym) của *Rasbora dusonensis*. Các loài Lòng tong *Rasbora* cỡ lớn sinh sống ở sông Sài Gòn - Đồng Nai hay nhầm lẫn về tên khoa học trong các tư liệu vì hình thái của chúng tương tự, ngoại trừ loài *Rasbora paviana* có sọc đen dọc thân và kết thúc ở gốc đuôi một chấm tròn rõ. Trong khảo sát này kết hợp phân tích gen và so sánh với các loài *Rasbora* ở Sundaland²³, chúng tôi nhận định chẩn loại nhanh với mẫu vật còn tươi ở thực địa của ba loài để nhầm lẫn được trình bày chi tiết theo sau. Ba loài *R. dusonensis*, *R. tornieri* và *R. sumatrana* dọc thân thường có sọc vàng ánh kim song song với sọc sậm đen có thể chuyển thành sọc bạc tùy theo điều kiện môi trường nước trong hay đục phù sa. Lòng tong *Rasbora dusonensis* thường có kích cỡ lớn nhất trong các loài Lòng tong với đuôi màu vàng tươi viền đen ở bờ xa vây đuôi. Loài Lòng tong *Rasbora tornieri* kích cỡ nhỏ hơn loài *R. dusonensis* với vây đuôi màu cam đậm với viền đen mỏng ở bờ xa vây đuôi. Loài *R. sumatra* với đuôi không màu với viền đen mỏng ở bờ xa vây đuôi.

Việc phân loại một phần các khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai vẫn còn chưa được giải quyết, vì nhiều loài đã

được thu thập trong khảo sát này vẫn chưa được mô tả chính thức trong các tài liệu khoa học. Sự phân loại của một số nhóm vẫn chưa rõ ràng, với số lượng lớn các loài hình thái làm cho không thấy được sự đa dạng loài về kiểu gene. Điều này có thể hiểu được đối với các loài cá nhỏ và ít có dấu hiệu đặc điểm khác biệt rõ ràng thường ít thu hút sự chú ý của khoa học hơn và có thể khó phân tích như Chạch rắn *Pangio* aff. *ablonga*, Vây bằng Trung bộ *Annamia* aff. *normani* a*, *Annamia* aff. *normani* b*, Xâm *Opsarius* aff. *koratensis**, nhưng một số loài có kích thước lớn và phổ biến vẫn còn gặp vấn đề phân loại như cá Lịch sông *Ophisternon* aff. *bengales*, Trê trắng *Clarias* aff. *batrachus*, Chạch sông *Mastacembelus* aff. *armatus*, Lóc đen *Channa* aff. *striata*. Quan hệ phát sinh giữa các loài Chạch *Schistura* spp. vẫn còn chưa rõ và có thể thay đổi trong tương lai. Một số lớn các loài đã được nghiên cứu này xác định dưới đây.

Phả hệ phát sinh loài

Cá Sụn phát sinh từ biển cách đây 470 triệu năm (Ma), gần cuối kỷ Ordovicia trong đó có bộ cá Đuối bóng Myliobatiformes với đại diện cá Đuối bóng mũi nhọn *Fluvitrygon oxyrhynchus*. Trong chuyến khảo sát năm 2015 chúng tôi đã xác định loài này thường sinh sống ở vùng nước ngọt và lợ trên nền cát đáy sông Đồng Nai, dưới chân đập Trị An. Trước đó Sauvage đã mô tả loài Đuối bóng mũi nhọn này đầu tiên từ sông Sài Gòn năm 1878¹⁶.

Phân thứ lớp cá Xương thật Teleostei có bộ xương calci nên phát triển mạnh mẽ thành nhóm cá có số lượng đông đảo và phân bố rộng nhất thế giới. Chúng phân bố từ cửa sông đến các dòng suối trên núi cao và phát triển mạnh ngay cả trong môi trường sống thiếu oxygen, tạm thời và nước chảy xiết (xem Hình 2).

Cuối kỷ Permi (250 Ma), phân thứ lớp cá Xương thật Teleostei tiến hóa ra hai nhóm chị em là Elopomorpha và Osteoglossocephalai. Đặc điểm phát sinh hai nhóm này có thể là sự khác biệt về giai đoạn ấu trùng leptocephalus⁴¹. Nhóm Elopomorpha có hai giai đoạn phát triển, ấu trùng ở biển, trưởng thành ở sông, gồm có bộ cá Cháo biển Elopiformes (2 loài) và cá Chình Anguilliformes (3).

Nhóm Osteoglossocephalai không còn trải qua giai đoạn ấu trùng; điều này giúp tăng khả năng sống sót của cá con và trở thành một nhóm đa dạng. Đầu kỷ Tam điệp (Trias, 240 Ma), nhóm Osteoglossocephalai tiến hóa ra hai nhóm họ hàng gần là Osteoglossomorpha và Clupeocephala. Osteoglossomorpha là một nhóm còn nguyên thủy có bộ cá Thát lát Osteoglossiformes (3)⁴¹. Vây và vây của nhóm này kém phát triển do đó khả năng di chuyển hạn chế với đại diện hiện nay ở khu hệ nghiên cứu là cá Thát lát.

Những loài Clupeocephala có vây, vây phát triển hơn có thể thích nghi được trong nhiều kiểu môi trường khác nhau thì tiến hóa thành hai nhóm Otomorpha và Percomorphaceae, gồm hầu hết các bộ cá Xương hiện nay.

Nhóm Otomorpha là các loài cá có bóng bơi kéo dài ra phía trước vào hộp sọ (otophysic) giúp truyền âm thanh tần số thấp đến tai, gồm bộ cá Trích Clupeiformes (4), bộ cá Măng sữa Gonorynchiformes (1) sống ở biển đi vào nước ngọt và hai bộ: cá Chép Cypriniformes (85), cá Da trơn Siluriformes (41), là các nhóm nước ngọt quen thuộc; tất cả chúng tạo thành một dòng rất đa dạng gồm nhiều loài được gọi là Ostariophysa (có bốn đốt sống phía trước biển đổi và phát triển hỗ trợ một chuỗi xương nhỏ nổi bóng bơi với tai).

Bộ cá Chép Cypriniformes và bộ cá Da trơn Siluriformes là hai trong ba bộ cá nước ngọt có số lượng loài nhiều nhất so với tất cả các bộ cá nước ngọt khác trên thế giới. Theo nghiên cứu từ các dữ liệu sinh học phân tử của Stout và cs. (2016), các bộ cá này đã khởi sinh ở khối Toàn địa Pangaea, sau đó đã tách ra và phát sinh loài mạnh mẽ từ đại Trung sinh Mesozoic trở về sau, kéo dài từ 65,5–51 Ma. Theo Hughes và cs.³ (2018), nguồn gốc của tất cả các dòng cá chính đã hình thành trước khi kết thúc kỷ Phấn trắng và các dòng cá nước ngọt bao gồm các nhóm cá ở Việt Nam có nguồn gốc tương đối gần đây từ các dòng cá biển xa xưa.

Nhóm Dạng Vược Percomorphaceae gồm các nhánh tiến hóa (clade) chiếm lĩnh môi trường sống đáy biển sâu như Batrachoidiaria [một số ít vào đáy nông của sông sinh sống như bộ Mang ếch Batrachoidiformes (1)], ra biển khơi như Pelagiaria [bộ cá Thu ngữ Scombriformes (1)], xuống sống gần đáy biển nông như Syngnatharia [bộ cá Hâm dính hay Ngựa xương Syngnathiformes (3)], thích ứng những lưu vực có triều cường thay đổi độ mặn như Gobiaria [bộ cá Bống Gobiiformes (22)], nhánh tiến hóa có cơ quan hô hấp phụ sống ở vùng nước ngọt tĩnh và đầm lầy ít oxy như Anabantaria [bộ Mang liến Synbranchiformes (8), và bộ Rô đồng Anabantiformes (15)], nhánh tiến hóa có số lượng ít đốt sống như Carangaria [Polynemidae (1), Toxotidae (1), Centropomidae (1), Pleuronectiformes (7)].

Cuối cùng, nhóm cá thực sự chiếm ưu thế liên quan tới rạn san hô đa dạng hóa từ cách đây ~ 100 Ma. Đây là nhánh tiến hóa đẻ trứng dính nền đáy Ovalentaria gồm có: phát sinh từ những vùng nước ngọt ven biển là các bộ cá Nhái Beloniformes (6), cá Chép răng Cyprinodontiformes (1), và cá Suốt Atheriniformes (1); phát sinh từ biển là họ cá Sơn Ambassidae (Order-level incertae sedis) (3), bộ cá Đồi Mugiliformes (3), và cá Da nhảy hay Mào gà Blenniiformes (1).

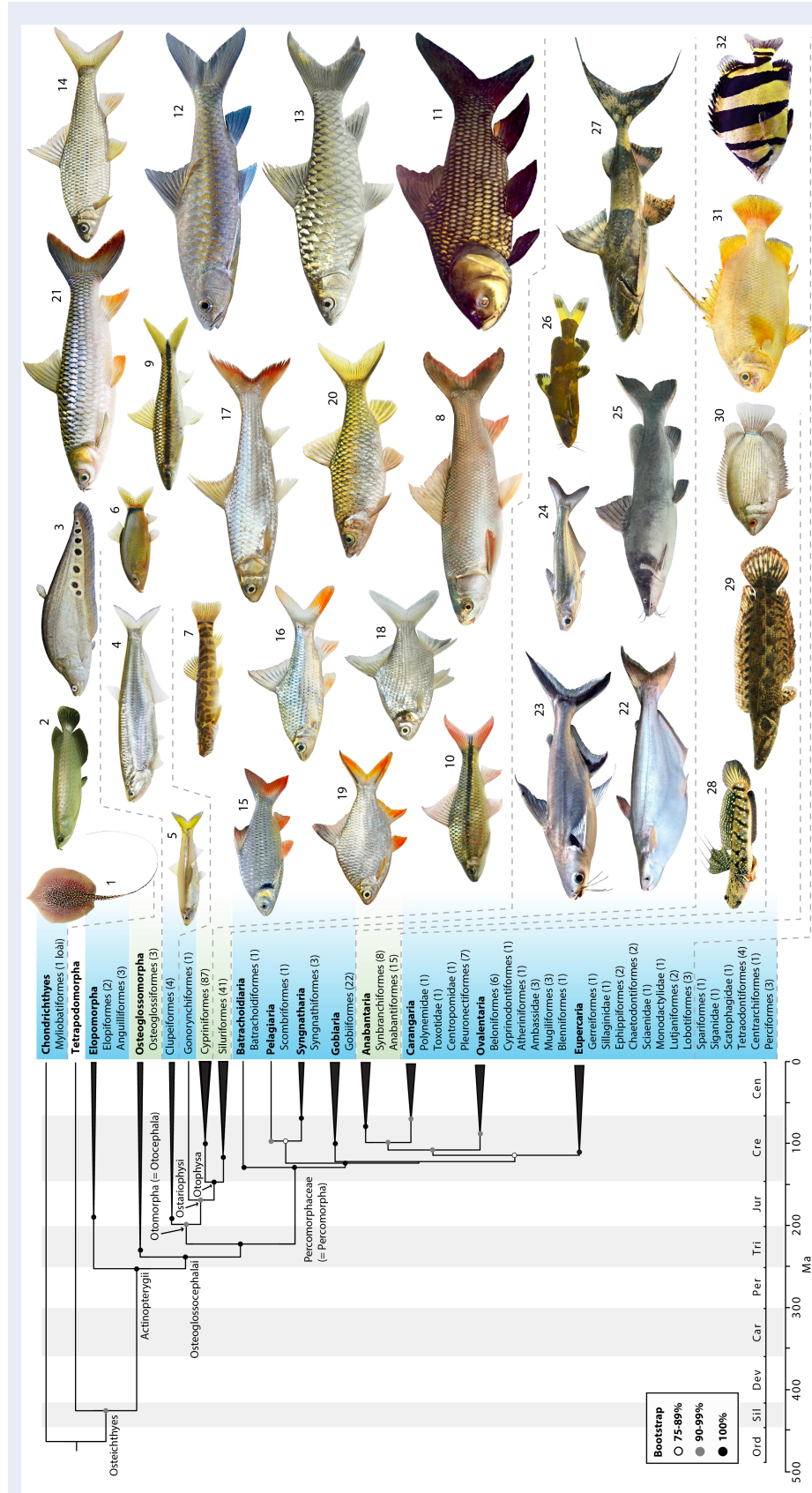
Và nhánh tiến hóa đẻ trứng trôi nổi Eupercaria (cá Móm Gerreiformes (1) cá Đục Sillaginidae (Order-level incertae sedis) (1), cá Kỳ sĩ hay Tai tượng biển Ehippiiformes (2), cá Bướm Chaetodontiformes (2), cá Đù Sciaenidae (1), cá Nhắt vi hay Chim trắng mắt to Monodactylidae (Order-level incertae sedis) (1), cá Hồng Lutjaniformes (2), cá Hường vện Lobotiformes (3), cá Tráp Spariformes (1), cá Dia Siganidae (Order-level incertae sedis) (1), cá Nâu Scatophagidae (Order-level incertae sedis) (1), cá Nóc Tetraodontiformes (4), cá Căng Centrarchiformes (1), cá Vược Perciformes (3).

Một số mô hình phân bố trong môi trường nước ngọt

Theo Saitoh và cs. (2006), nguồn gốc tổ tiên các loài cá dạng Chép Cypriniform ở phía Đông Nam lục địa Âu - Á là vị trí Nam Á ngày nay và phát tán trực tiếp đến các lục vực phụ cận mà sông Sài Gòn - Đồng Nai là một trong số đó⁵¹. Trong việc xác định niên đại theo sinh học phân tử, thời gian phân kỳ tương đối giữa các dòng bộ cá Chép Cypriniformes là độc lập có ý nghĩa địa chất hoặc sinh thái. Tổ tiên các loài ăn tảo bảm gyriinocheilid, botiid, chạch đá cobitid, chạch suối nemacheilid xuất hiện từ ~ 102,8–105,9 Ma từ khu vực Nam Á cho thấy khả năng sự va chạm tiểu lục địa Ấn Độ với Âu - Á dẫn đến sự mở rộng phạm vi các loài này về phía Đông Nam bao gồm lưu vực Sài Gòn - Đồng Nai. Phả hệ ở Hình 3A cho thấy trong khi nhiều nhánh cyprinid bên trong ngắn và đặt đều dọc theo cây, nhánh cơ bản của cây A là họ cá May Gyriinocheilidae lại dài bất thường. Các loài trong nhóm này thường là loài ăn mồi ở tầng đáy với cơ thể lớn hơn các nhóm khác. Chúng gặm thức ăn từ đáy bằng miệng hướng dưới, sử dụng các cấu trúc của phế quản và hầu họng để giữ lại thức ăn và tổng các chất cận ra khỏi lỗ mang của chúng. Gyriinocheilid có thể không sống cùng nơi với các loài cá chép cyprinids trong một thời gian dài. Các loài chạch đá như cá heo botiid, chạch suối cobitid, bảm đá gastromyzonid, vây bằng balitorid và chạch đá nemacheilid có thân hình dần nhỏ hơn, nhưng cũng là động vật ăn đáy. Gyriinocheilid và các loài chạch đá đại diện cho các hậu duệ từ các nhóm cá dạng chép ở gốc phát sinh trong khảo sát của chúng tôi (Hình 3A). Do đó, cách giải thích ngắn gọn nhất về lối sống của tổ tiên chung cypriniform là một loài kiếm ăn dưới đáy⁵¹. Ngược lại, họ cá Chép Cyprinidae có miệng hướng dưới, thân dày và lớn. Các loài họ này ăn tạp cả thực vật và động vật và thường sinh sống ở tầng đáy đến tầng giữa trong cột nước của dòng chảy sông suối hoặc ao hồ. Họ cá Lòng tong Danionidae có các phân họ chủ yếu là các

loài cá nổi có thân dẹp màu bạc và miệng trước hoặc hướng lên. Do đó, sự ra đời của các dòng trong phân họ của Danionidae có thể đi kèm với sự di chuyển lên cột nước và tạo thành một lối sống liên quan đến việc kiếm ăn ở tầng giữa và bề mặt. Sự cạnh tranh có thể được coi là động lực loại bỏ tất cả trừ một số lượng nhỏ các nhóm kiếm ăn dưới đáy của mỗi dòng họ cá Chép Cyprinidae có cơ thể lớn. Những con chạch đá thân nhỏ có thể đã thoát khỏi cuộc cạnh tranh này. Các loài cyprinid thuộc dòng họ Cyprinidae ngày nay có thể là những loài sống sót sau cuộc cạnh tranh khốc liệt giả định này⁵¹.

Theo các ước tính từ nghiên cứu sinh học phân tử và hồ sơ hóa thạch thì thời điểm bộ cá Da trơn Siluriformes bắt đầu xuất hiện vào kỷ Phấn trắng Sớm, trong khoảng 135 Ma, khi Châu Phi - Nam Mỹ chưa tách rời nhau. Theo Kappas và cs. (2016), tại gốc cây tiến hóa tồn tại hai phân bộ Loricarioidei và Diplomystoidei có phân bố ở Trung và Nam Mỹ, do đó Nam Mỹ là nguồn gốc phát tích của bộ cá Da trơn⁴⁶. Sau hai phân bộ gốc, phân bộ cá Nheo Siluroidei - một nhóm đơn phát sinh - bắt đầu xuất hiện ~ 97 Ma, sau khi Châu Phi - Nam Mỹ đã tách rời nhau. Tổ tiên chung của Siluroidei phân tách nhau từ ~ 81,72 Ma, có khả năng là nhờ việc phát tán từ Châu Phi sang Châu Á thông qua những hành lang nông trên vùng biển cổ nội lục Tethys. Nguyên thủy cá Da trơn là các loài sống đáy, phát triển bốn cặp râu để thăm dò trong môi trường tối, xương đầu và tia đầu tiên của vây ngực hóa cứng và sắc nhọn để chống đỡ và chạm và không vây để dễ luồn rúc thích nghi theo nền đáy. Do vậy, tổ tiên các họ cá Da trơn đã phát sinh nội địa (intra-continental) khá sớm cho đến cuối kỷ Phấn trắng ~ 66 Ma khi có sự nổi tiếp theo sau các sự kiện tách rời của các châu lục Nam Mỹ - Phi Châu ~ 86–101 Ma^{46,52}. Còn sự đa dạng hóa về các giống loài của bộ cá Da trơn Siluriformes khởi điểm xảy ra sau khi Ấn Độ va chạm Âu - Á vào đầu đại Tân sinh ~ 50 Ma. Sinh thái của các họ cá chính cũng hình thành theo đó. Trong đầm lầy, hàm lượng ion thấp và ít oxygen nên họ cá Trê Clariidae đã phát triển cấu trúc mê lộ (labyrinth) bên trong để giữ ẩm cho hô hấp khi môi trường nước cạn và râu phát triển để thăm dò khi sống rúc trong đáy bùn. Phả hệ ở Hình 3B cho thấy họ cá Trê Clariidae nằm ở gốc cây tiến hóa, là nhóm cá Da trơn phát sinh đầu tiên trong tất cả các nhóm hiện nay ở lưu vực sông Sài Gòn - Đồng Nai. Sau đó, các loài lên sống nổi ở tầng nước giữa và gần mặt, khi đó các cặp râu thăm dò môi trường tiêu giảm kích cỡ, tia đơn vây ngực hóa mềm, hàm phát triển, miệng hướng trên để săn mồi như ở họ cá Nheo Siluridae. Các loài sống đáy ở hạ lưu sông lớn ra tới cửa sông và biển có họ cá Úc Ariidae sống đáy và cá Ngát Plotodidae sống hang. Các loài



Hình 2. Phả hệ sinh về nguồn gốc và phát sinh các bộ cá ở sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận với số loài ghi nhận sau mỗi bộ cá (kết hợp dữ liệu gene từ nghiên cứu này với Hughes và cs. 2018³). Màu xanh ngọc là các bộ cá nước ngọt, màu xanh lá là các bộ cá nước lợ có nguồn gốc từ nước mặn. Các loài cá đại diện: 1. *Fluvitrygon oxyrhynchus*, 2. *Scoropages formosus*, 3. *Chitala ornata*, 4. *Septipinna crocodilus*, 5. *Clupeoides borneensis*, 6. *Yasuhikotakia morleti*, 7. *Schistura dalatensis*, 8. *Cirrhinus microlepis*, 9. *Crossocheilus atrilimes*, 10. *Osteochilys waandersii*, 11. *Catlocarpio siamensis*, 12. *Neolissochilus stracheyi*⁵, 13. *Tor tambra*, 14. *Onychostoma meridionale*, 15. *Systemus rubripinnis*, 16. *Cyclocheilichthys armatus*, 17. *Albulichthys albulooides*, 18. *Puntiplites proctozystron*, 19. *Barbonymus schwanenfeldii*, 20. *Poropuntius normani*, 21. *Leptobarbus rubripinna*, 22. *Pangasius mekongensis*, 23. *Pangasius larnaudii*⁶, 24. *Pseudolais pleurotaenia*⁷, 25. *Hemibarbus wyckii*, 26. *Pseudomystus siamensis*, 27. *Bagarius lica*, 28. *Boleophthalmus boddarti*, 29. *Channa lucius*, 30. *Helostoma temminckii*, 31. *Proteracanthus sarissophorus*, 32. *Datnioides pulcher*. (* từ Cheilinus Photography; * từ Mekong River Commission).

sống nổi tiêu giảm kích cỡ râu thăm dò, chiếm lĩnh trong cột nước các sông lớn ở Nam Á và Đông Nam Á như họ cá Tra Pangasiidae. Các họ lần lượt sống tầng đáy các sông lớn phát triển các cặp râu thăm dò ở họ cá Lăng Bagridae, di chuyển lên tầng mặt trung lưu sông, giảm kích cỡ râu thăm dò như ở họ cá Sát Aillidae. Đối với các họ di chuyển thích nghi với nền đá ghềnh thác của sông lớn theo độ cao vào suối nhờ phát triển giác bám ở ngực và bờ trước vây ngực và giảm chiều cao lưng bụng phía đầu, các cặp râu thăm dò biến đổi và tiêu giảm để hỗ trợ khả năng sống bám nền đáy như họ cá Chiên Sisoridae. Ở suối, các loài kéo dài thân như họ cá Chiên bệt Amplycipitidae, và tiêu giảm luôn bóng bơi ở họ Akysidae.

Theo Britz và cs. (2020), dựa vào các ước tính phân tử và hồ sơ hóa thạch thì thời điểm tổ tiên của hai bộ cá Mang liến Synbranchiformes và cá Rô Anabantiformes có thể đã xuất hiện ở siêu lục địa Gondwana vào kỷ Jura muộn, trong ~ 162 Ma, khi Châu Phi - Nam Mỹ chưa tách rời nhau⁵⁵. Phả hệ ở Hình 3C cho thấy tại gốc cây tiến hóa, những họ của bộ cá Mang liến sống đáy, vây và vây tiêu giảm đã phát sinh trong nội lục Gondwana từ rất sớm trong ~ 147–135 Ma. Từ các loài của họ Chạch sông Mastacembellidae và Chạch giun Chaudhuriidae sống trên nền đáy bùn ở các đầm lầy, sông suối nên tiêu giảm vây và vây. Đến các loài họ Lươn Synbranchidae thì chuyển sống chui rúc hẳn vào bùn nên tiêu giảm mắt, vây và tiêu biến vây, nhưng lại phát triển hệ thống khứu giác nhạy bén. Một số rất ít loài họ Indostomidae thì giảm kích thước cơ thể, mắt phát triển, có vây và vây sống nổi trong tầng nước giữa ở các đầm lầy nước đứng.

Bộ cá Rô Anabantiformes phát sinh muộn hơn cũng ở siêu lục địa Gondwana, chính xác có thể ở vị trí Châu Phi ngày nay vào kỷ Phấn trắng sớm ~ 131 Ma. Bộ Anabantiformes di chuyển vào các tầng nước sống nổi cùng khoảng thời gian đa dạng hóa các họ của bộ Synbranchiformes, khi tất cả các bộ cá này dường như cùng sống trong những đầm lầy nước đứng bên trong nội lục ở vị trí Châu Phi ngày nay. Các họ phát sinh đầu tiên di chuyển vào sông suối và qua lại với đầm lầy, chúng phân chia chiếm lĩnh môi trường nước chảy ở họ Rô sông Pristolepidae và nước đứng ở họ Sặt vện Nandidae vào ~ 122 Ma. Trong môi trường đầm lầy hàm lượng ion thấp và ít oxygen, các họ cá Rô đã phát triển cấu trúc mê lộ (labyrinth) ở góc trên của mang để giữ oxy cho hô hấp và trong môi trường nước đứng phần lớn các họ của bộ cá Rô đã hình thành tập tính chăm sóc con non (ấp trứng trong miệng, làm tổ). Các họ cá Lóc Channidae, họ cá Rô tia Osphronemidae, cá Mùi Helostomidae và cá Rô đồng Anabantiidae lần lượt phát sinh khi siêu lục địa Gondwana bắt đầu phân rã và Madagascar - Ấn Độ tách khỏi Châu

Phi vào kỷ Jura muộn / kỷ Phấn trắng sớm ~ 165–121 Ma⁵⁵. Khi Madagascar - Ấn Độ bắt đầu phân rã và Ấn Độ di chuyển theo hướng Đông Bắc va chạm với lục địa Âu Á sau đó vào ~ 50 Ma thì các họ cá này đã bắt đầu đa dạng giống loài và phân tán ra khắp Nam, Đông và Đông Nam Á⁴⁸.

Đặc điểm khu hệ cá nội địa Sài Gòn - Đồng Nai và mối quan hệ với các khu hệ cá Sông Mê Kông và Sundaland

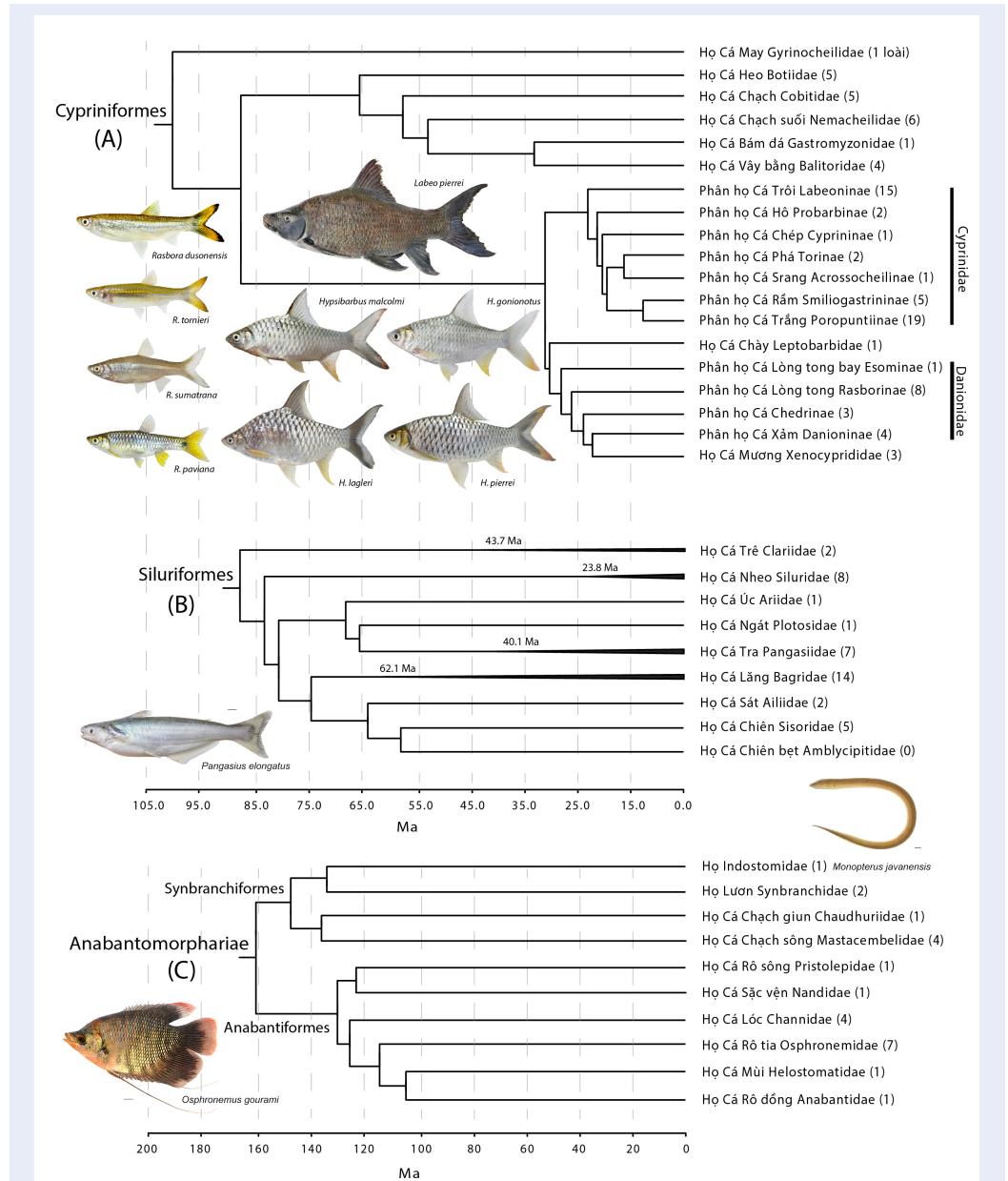
Phân loại Sinh thái các loài cá

Cá ở vùng nước nội địa sông Sài Gòn - Đồng Nai đã khảo sát được phân loại theo cấp họ dựa vào lịch sử sinh thái và tiến hoá của chúng theo Berra (2001)⁵⁶:

- Nguyên sinh (Primary) cá có lịch sử tiến hoá lâu đời trong nước ngọt. Gồm các họ cá thuộc các bộ Osteoglossiformes, Cypriniformes, Siluriformes, Synbranchiformes, và Anabantiformes.
- Thứ sinh (Secondary) một số loài có khả năng chịu mặn. Gồm các bộ Clupeiformes, Belontiiformes, và họ Ambassidae.
- Ngoại sinh (Peripheral) loài từ các họ ở biển nhưng có một khoảng thời gian hoặc sống hoàn toàn ở trong nước ngọt. Gồm các họ cá và các bộ Myliobatiformes, Elopiformes, Anguilliformes, Gonorynchiformes, Batrachoidiformes, Scombriformes, Synnathiformes, Gobiiformes, Polynemidae, Toxotidae, Centropomidae, Pleuronectiformes, Atheriniformes, Mugiliformes, Blenniformes, Gerreiformes, Sillaginidae, Ehippiformes, Chaetodontiformes, Sciaenidae, Monodactylidae, Lutjaniformes, Lobotiformes, Spariformes, Siganidae, Scatophagidae, Tetraodontiformes, Centrarchiformes và Perciformes.

Sự phân bố của các loài nguyên sinh phản ánh các kết nối sông trong quá khứ và hiện tại, trong khi các loài thứ sinh và ngoại sinh thì phản ánh sự phân tán từ biển (Hình 2).

Nhóm chia sẻ và nguồn gốc từ sông Mê Kông có 159 loài: bộ cá Lươn xương hay Thát lát Osteoglossiformes [ba loài, họ cá Lươn xương Osteoglossidae (*Scleropages formosus**), họ cá Thát lát Notopteridae (*Notopterus notopterus**, *Chitala ornata*)], bộ cá Chép Cypriniformes [86 loài gồm có họ cá May Gyriinocheilidae (*Gyriinocheilus aymonieri*), họ cá Heo Botiidae (năm loài, *Yasuhikotakia morleti**, *Y. eos*, *Syncrossus beauforti**, *S. helodes*, *Ambastaia nigrolineata*), họ cá Chạch Cobitidae (năm loài, *Acanthopsoisides gracilentus*, *Acanthopsis rungthipae*, *Lepidocephalichthys hasselti**, *Pangio* aff. *ablonga*, *P.*



Hình 3: Phả hệ phát sinh họ của bốn bộ cá nội địa đa dạng nhất ở sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận, số loài cá được ghi chú sau mỗi họ: (A) bộ cá Chép Cypriniformes, (B) bộ cá Da trơn Siluriformes, (C) bộ cá Mang liến Synbranchiformes và bộ cá Rò đồng Anabantiformes (kết hợp dữ liệu gen từ nghiên cứu này với Wang và cs. 2016⁵³, Kappas và cs. 2016⁴⁶ và The Fish Tree of Life⁵⁴, Rüber và cs. 2006⁴⁸).

myersii), họ cá Chạch đá Nemacheilidae (bảy loài, *Nemacheilus zonatus*, *N. masyae**, *N. longistriatus*, *N. platiceps*, *Schistura dalatensis**, *S. namboensis**, *S. yersini**), họ cá Vây bằng Balitoridae (bốn loài, *Hemimyzon papilio*, *Homalopteroides smithi*, *Homaloptera confuzona*, *Balitoropsis zollingeri**), họ cá Chép Cyprinidae (44 loài, *Cirrhinus microlepis*, *Labeo pierrei*, *L. chrysophekadion**, *Ceratogarra cambodgensis**, *Garra cyrano*, *Cirrhinus prosemion*, *Lobocheilus rhabdoura**, *Henicorhynchus entmema*, *Crossocheilus atrilimes*, *Cr. reticulatus*, *Labiobarbus leptocheilus**, *Osteochilus melanopleura**, *O. vittatus**, *O. microcephalus**, *O. waandersii**, *Catlocarpio siamensis*, *Probarbus jullieni**, *Onychostoma meridionale*, *Tor tambra**, *Neolissochilus stracheyi**, *Barbodes aurotaenia**, *Hampala macrolepidota**, *Puntigrus partipentazona**, *Puntius brevis**, *Systemus rubripinnis**, *Cyclocheilichthys apogon**, *C. armatus**, *C. repasson**, *Cyclocheilus enoplos*, *Albulichthys albuloides**, *Cosmochilus harmandi*, *Puntioplites falcifer*, *P. proctozystron*, *Barbonymus schwanenfeldii**, *B. altus**, *Scaphognathops stejneri*, *Poropuntius normani**, *P. deauratus*, *Hypsibarbus gonionotus**, *H. malcolmi**, *H. lagleri*, *H. pierrei*, *Mystacoleucus atridorsalis*, *M. obtusirostris**), họ cá Chày Leptobarbidae (một loài, *Leptobarbus rubripinna**), họ cá Lòng tong Danionidae (16 loài, *Esomus metallicus**, *Rasboradaniconius**, *R. dusonensis**, *R. tornieri**, *R. sumatrana**, *R. trilineata**, *R. rubrodorsalis*, *R. borapetensis**, *R. paviana**, *Luciosoma bleekeri*, *Opsarius* aff. *koratensis*, *Op. pulchellus*, *Danio albolineatus*, *Devario leptos*, *De. gibber*, *Laubuca siamensis**), họ cá Mương Xenocyprididae (ba loài, *Oxygaster pointoni*, *Paralaubuca riveroi*, *P. typus*), bộ cá Da trơn Siluriformes [41 loài, họ cá Trê Clariidae (hai loài, *Clarias* aff. *batrachus*, *Clarias macrocephalus*), họ cá Nheo Siluridae (tám loài, *Wallago micropogon*, *Ompok siluroides*, *Wallago attu**, *Belodontichthys truncatus*, *Phalacrotonotus apogon**, *Ph. bleekeri*, *Kryptopterus cheveyi*, *Kr. geminus*), họ cá Ngát Plotosidae (*Plotosus canius*+), họ cá Úc Ariidae (*Arius maculatus*+), họ cá Tra Pangasiidae (bảy loài, *Pangasius bocourti*, *P. krempfi*, *P. mekongensis*, *P. lar-naudi*, *P. elongatus*, *P. macronema*, *Pseudolais pleurotaenia*), họ cá Lăng Bagridae (14 loài, *Bagrichthys majusculus**, *Hemibagrus spilopterus*, *H. wyckii*, *H. wyckioides*, *Mystus gulio*, *M. velifer**, *M. albolineatus*, *M. singlarigan**, *M. bocourti*, *M. mysticetus*, *M. rhegma*, *M. multiradiatus*, *M. atrifasciatus*, *Pseudomystus siamensis*), họ cá Sát Ailiidae (hai loài, *Laides longibarbis*, *Clupisoma sinensis*), họ cá Chiên Sisoridae (năm loài, *Amblyceps serratum*, *Bagarius lica**, *Glyptothorax lampris*, *G. porrectus*, *G. longinema*), họ cá Chiên không bóng bơi Akysidae (*Akysis clavulus**), bộ cá

Mang liến Synbranchiformes [tám loài, Lươn Synbranchidae (hai loài, *Monopterus javanensis**, *Ophisternon* aff. *bengales**), họ Indostomidae (*Indostomus spinosus*), họ cá Chạch sông Mastacembelidae (bốn loài, *Mastacembelus* aff. *armatus*, *M. favus**, *M. erythrotaenia**, *Macrognathus siamensis*), họ Chạch giun Chaudhuriidae (*Chaudhuria caudata*)], bộ cá Rô Anabantiformes [15 loài, họ cá Sắt vện Nandidae (*Nandus oxyrhynchus*), họ cá Rô sông Pristolepidae (*Pristolepis fasciata**), họ cá Lóc Channidae (bốn loài, *Channa micropeltes**, *Ch. Lucius**, *Ch. aff. striata**, *Ch. limbata**), họ cá Rô tia Osphronemidae (bảy loài, *Osphronemus gourami**, *Trichopodus pectoralis**, *T. trichopterus**, *T. microlepis*, *Trichopsis vittatus*, *Tr. pumila*, *Betta prima*), họ cá Mùi Helostomatidae (*Helostoma temmincki**), họ cá Rô đồng Anabantiidae (*Anabas testudineus**), bộ cá Nhái Beloniformes [sáu loài, họ cá Sóc Adrianichthyidae (*Oryzias hau-giangensis*), họ cá Nhái Belonidae (hai loài, *Strongylura strongylura* +, *Xenentodon canceloides**), họ cá Lìm kìm Hemiramphidae (ba loài, *Zenarchopterus buffonis*, *Dermogenys siamensis*, *Hyporhamphus limbatus*)]. Nhóm đặc hữu có nguồn gốc phát sinh từ Mê Kông có ba loài (dấu †), hai họ thứ sinh có hai loài (dấu +), loài có xuất hiện ở Sundaland có dấu *.

Nhóm chia sẻ và nguồn gốc từ sông Hồng có ba loài: bộ cá Chép Cypriniformes [ba loài, họ cá Chạch Cobitidae (một loài *Misgurnus anguillicaudatus*), họ cá Bám đá Gastromyzonidae (hai loài, *Annamia* aff. *normani* a*, *Annamia* aff. *normani* d*)]. Hai loài đặc hữu có nguồn gốc phát sinh từ sông Hồng (dấu †)

Nhóm ngoại sinh từ biển sinh sống chủ yếu vùng cửa sông nước lợ, một số ít đi sâu vào nước ngọt và còn lại là các loài ở biển ghé thăm vào vùng nước lợ. Nhóm cá này phần lớn có phân bố rộng khắp vùng sinh thái Ấn Độ - Tây Thái Bình dương gồm ít nhất 81 loài tiêu biểu được bắt gặp thuộc các bộ Đuối Myliobatiformes [họ cá Đuối Dasyatidae (*Fluviatrygon oxyrhynchus**)], bộ cá Cháo biển Elopiformes [hai loài, họ Elopidae (*Elops hawaiiensis*) và Megalopidae (*Megalops cyprinoides*)], bộ cá Chình Anguilliformes [ba loài, họ Chình Anguillidae (*Anguillia marmorata*), họ cá Chình rắn Ophichthidae (*Ophichthus rutidoderma*, *Pisodonophis boro*)], bộ cá Trích Clupeiformes [bốn loài, họ cá Trống Engraulidae (*Septipinna crocodilus*), họ cá Trích Clupeidae (ba loài, *Clupeoides borneensis**, *Anodontostoma chacunda*, *Sundasalanx praecox**)], bộ cá Măng sữa Gonorhyncoformes [họ Chanidae (*Chanos chanos*)], bộ cá Hàm ếch Batrachoidiformes [họ cá Mang ếch Batrachoididae (*Allenbatrachus grunniens*)], bộ cá Hàm dính hay Ngựa xương Syngathiformes [ba loài, họ cá Phèn

Mullidae (*Upeneus tragula*), họ cá Đàn lia Callionymidae (*Callionymus curvicornis*), họ cá Hàm dính hay Ngựa xương Syngnathidae (*Doryichthys boaja*), bộ cá Thu ngừ Scombriformes [họ cá Bạc má Scombridae (cá Thu sông *Scomberomorus sinensis*)], họ cá Nhụ Polynemidae (cá Phèn vàng *Polynemus melanochir*), họ cá Mang rổ Toxotidae (*Toxotes chatareus*), họ cá Chêm Centropomidae (*Lates calcarifer*), bộ cá Bơn Pleuronectiformes [bảy loài, họ Paralichthyidae (*Pseudorhombus arsius*)], họ cá Lưỡi trâu Cynoglossidae (bốn loài, *Cynoglossus abbreviatus*, *Cyn. quadrilineatus*, *Cyn. cynoglossus*, *Cyn. feldmanni*), họ cá Lưỡi mè Soleidae (hai loài, *Brachirus harmandi*, *Br. orientalis*), bộ cá Chép răng Cyprinodontiformes [họ cá Bạc đầu Aplocheilidae (*Aplocheilus panchax**)], bộ cá Suốt Atheriniformes [họ Atherinidae (*Hypoatherina valenciennei*)], họ cá Sơn Ambassidae (bốn loài, *Ambassis kopsii*, *A. vachellii*, *Parambassis siamensis*+, *P. wolffi*+*), bộ cá Đồi Mugiliformes [ba loài, họ Mugilidae (*Chelon subviridis*, *Paramugil parmatius*, *Moolgarda cunnesius*)], bộ cá Da nhầy hay Mào gà Blenniiformes [họ cá Da nhầy Blenniidae (*Phenablennius heyligeri*)], họ cá Đục Sillaginidae (*Sillago sihama*), bộ cá Kỳ sĩ hay Tai tượng biển Ehippiiformes [hai loài, họ cá Hiên Drepaneidae (*Drepane punctate*)], họ Ehippiidae (cá Chia vôi vàng *Proteracanthus sarissophorus**)], bộ cá Bướm Chaetodontiformes [họ cá Liệt Leiognathidae (ít nhất hai loài, *Leiognathus equula*, *Nuquequula gerreoides*)], họ cá Dù Sciaenidae (cá Sù bạc *Boesemania microlepis*), họ cá Nhất vi hay Chim trắng mắt to Monodactylidae (*Monodactylus argenteus*), bộ cá Hồng Lutjaniformes [hai loài, họ cá Sạo Haemulidae (*Pomadasy maculatus*), họ cá Hồng Lutjanidae (*Lutjanus russellii*)], bộ Lobotiformes [họ cá Hường vện Datnioididae (*Datnioides pulcher*+, *Datnioides polota**)], bộ cá Tráp Spariformes [họ Sparidae (*Acanthopagrus pacificus*)], họ cá Dìa Siganidae (*Siganus fuscescens*), họ cá Nâu Scatophagidae (*Scatophagus argus*), bộ cá Nóc Tetraodontiformes [họ Tetraodontidae (bốn loài, *Carinotetraodon lorteti**, *Pao leiurus*+, *Dichomyctere ocellatus*, *D. nigroviridis*)], bộ cá Thái dương Centrarchiformes [họ cá Căng Theraponidae (*Therapon jarbua*)], bộ cá Vược Perciformes [ba loài, họ cá Mú Serranidae (*Epinephelus coioides*), họ cá Chai Platycephalidae (*Platycephalus indicus*, *Sorsogona turbeculata*)]. Riêng bộ cá Bống Gobiiformes phổ biến, có khả năng thích nghi cả nước ngọt và mặn với ít nhất 23 loài tiêu biểu ở vùng sinh thái Ấn Độ - Tây Thái Bình dương được bắt gặp, trong số đó có một loài sống thuần trong nước ngọt trên suối (bống mắt *Papuliogobius ocellatus*) [ít nhất 23 loài, họ cá Bống đen Eleotridae (ít nhất một loài *Eleotris fusca*), họ cá

Bống cau Butidae (ít nhất năm loài *Bostrychus sinensis*, *Butis butis*, *Butis amboinensis*, *Butis koilomatodon*, *Oxyleotris marmorata**)], họ cá Bống thòi lòi Oxudercidae (ít nhất 12 loài *Periophthalmodon semptemradiatus*, *Trypauchen vagina*, *Pseudapocryptes elongates*, *Parapocryptes serperaster*, *Boleophthalmus boddarti*, *Caragobius urolepis*, *Stenogobius mekongensis*, *Redigobius chrysosoma*, *Brachygobius doriae**, *Stigmatogobius pleurostigma*, *Mugilogobius chulae*, *Papuligobius ocellatus*), và họ cá Bống trắng Gobiidae (ít nhất năm loài *Glossogobius aureus*, *Gl. giuris*, *Favonigobius aliciae*, *Acentrogobius canius*, *A. nebulosus*)]. Trong nhóm cá nước lợ có sáu loài (dấu +) sống thuần nước ngọt. Trong khu hệ cá sông Sài Gòn - Đồng Nai và phụ cận, một số họ cá nước ngọt nguyên sinh có phân bố châu Phi - châu Á (ví dụ: họ cá Mơn Osteoglossidae, họ cá Thắt lát Notopteridae, họ cá Chép Cyprinidae (cá Trôi và Sút mũi Labeoninae, cá Ngựa xám Torinae, cá Bụng lưỡi hái Smiliogastroninae, họ cá Chedrinae), họ cá Trê Clariidae, họ cá Mang liến Synbranchidae, họ cá Chạch sông Mastacembelidae, họ cá Lóc Channidae, họ cá Rô đồng Anabantidae, và họ thứ sinh cá Bạc đầu Aplocheilidae)⁵⁷. Đáng chú ý, hầu hết chúng đều có sự đa dạng kiểu nhân (karyotype) nổi bật, là kết quả của hàng triệu năm dòng gen giới hạn giữa các nhánh cá Châu Phi và Châu Á⁵⁸.

Khu hệ cá nước ngọt ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai được khảo sát cho thấy chủ yếu là các loài cá otophysan gồm hai bộ cá Chép Cypriniformes và cá Da trơn Siluriformes với 127 loài (52%) trong số 242 loài (Hình 2). Sự thống trị này của nhóm cá otophysan gần tương đương ở sông Mê Kông với khoảng 657 loài (60%) trong số khoảng 1100 loài¹¹. Nhóm cá otophysan có những đặc điểm giúp thích nghi với môi trường sông suối, thường xuyên đục, nhiều sóng xoáy, có biến động hóa học và nhiệt độ⁵⁹. Trong đó có cấu trúc xương Weberia (một chuỗi xương kết nối bóng bơi với tai trong) giúp chúng có thính giác nhạy bén, đặc biệt hữu ích khi ở trong môi trường nước đục hoặc vào ban đêm. Những loài cá này là nhóm thống trị trên tất cả các lục địa ngoại trừ Australia và Nam Cực⁶⁰. Ngược lại, vùng ven biển có các nhóm cá nonotophysan, cá dạng Vược (Percomorpha), dựa vào thị giác và các dấu hiệu thị giác để kiếm ăn, tương tác trong loài và tránh động vật săn mồi.

Đa dạng các loài cá và sự đặc hữu

Sự đa dạng cá bản địa ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai (28 bộ, 78 họ, 165 giống, 242 loài) so với các hệ cá nội địa duyên hải Bắc Trường Sơn (23 bộ, 61 họ, 118 giống, 157 loài) và Nam Trường Sơn (25 bộ, 57 họ, 116 giống, 139 loài) là cao nhất trong các hệ cá

của các lưu vực sông nội địa Việt Nam^{61,62}. Hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai cũng là hệ thống sông nội địa dài nhất Việt Nam bắt nguồn từ cao nguyên Langbiang có nhiều sự đa dạng sinh cảnh thủy vực nên hình thành sự đa dạng loài cá cao nhất. Trong đó 162 loài (khoảng 67%) được ghi nhận là cá nước ngọt nguyên sinh trong khi các loài cá nước ngọt ngoại sinh có nguồn gốc chủ yếu từ các họ biển và vùng cửa sông 80 loài (khoảng 33%). Tỷ lệ này gần tương đương với ở hệ cá sông Mê Kông là 60% cá nước ngọt nguyên sinh và 40% nước lợ ngoại sinh¹¹. Một số loài cửa sông chưa được khảo sát này ghi nhận vì chúng rất có thể được tìm thấy trong hệ thống sông vào một thời điểm nào đó không trùng với thời gian khảo sát này. Năm loài đặc hữu nước ngọt nguyên sinh ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai được ghi nhận (khoảng 3%) trên tổng 162 loài nước ngọt nguyên sinh của khu hệ. Tính đặc hữu ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai là kết quả sự hình thành loài của các đại diện hai họ cá Chạch đá Nemacheilidae và cá Bám đá Gastromyzonidae chuyên biệt sống và có xu hướng bị cô lập trong các phụ lưu sông ở vùng cao Nam Trường Sơn. Các loài chuyên biệt có phân bố hạn chế trong các sinh cảnh vùng cao này có nguy cơ tuyệt chủng đặc biệt khi môi trường sống bị thay đổi nghiêm trọng.

Tỷ lệ cao của các loài có nguồn gốc từ biển có 80 loài có thể được giải thích bởi khu vực cửa sông rộng lớn và sự đa dạng cao của các loài cá liên quan đến khu vực nước nông rộng lớn được gọi là Thềm Sunda ở Biển Đông. Một số con sông lớn đổ vào khu vực này ở vịnh Thái Lan đã cho phép nhiều loài sinh vật thích nghi với môi trường cửa sông. Một số loài trong số này sau đó đã định cư xa hơn ở thượng nguồn trong vùng nước ngọt. Ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai, việc định cư hóa dễ dàng hơn vì không có rào cản tự nhiên dọc khoảng 114 km từ chân đập (trước đó là thác) Trị An đến cửa sông.

Sự kết nối quá khứ của sông Sài Gòn - Đồng Nai và các sông phụ cận với sông Mê Kông

Đặc điểm của cá ở hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận là sự hiện diện 156 loài (khoảng 96%) trên tổng số 162 loài nước ngọt nguyên sinh chia sẻ với sông Mê Kông. Số loài này đã đến hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai từ khi nào và theo đường nào khi hệ thống sông này hoàn toàn độc lập với sông Mê Kông? Có hai hệ thống nền sông cổ cao hơn 100 m và 40 m được tìm thấy dọc theo tả ngạn sông Mê Kông hiện đại từ phía Nam Lào, đến Đông Bắc Campuchia cho đến khúc cua vuông góc về phía Nam Kratié, tại đó cả hai nền sông đều tiếp tục đi về phía Nam vào Việt Nam và đổ nước vào Sông Bé⁶³. Thông tin này

chỉ ra rằng, trước đây có một con sông lớn chảy qua khu vực này và sông Mê Kông ở Đông Campuchia và Nam Lào có thể đã sử dụng tuyến đường này trước khi có những dòng dung nham bao phủ phần lớn miền Đông Nam Campuchia trong thế Pleistocen (~ 1,8 Ma)¹¹.

Trong kỷ Đệ tứ (~ 5 kya–1,8 Ma), khi dòng chảy Mê Kông kéo dài về phía Nam, vượt qua Memot và Snuol ở Campuchia và từ đó đi vào Việt Nam trong một khu vực là một phần của lưu vực sông Sài Gòn và sông Bé ngày nay. Thêm sông Mê Kông cũ có lớp phù sa cổ được tìm thấy ở gần Biên Hòa cho biết dòng sông đã hiện diện ~ 0,8 Ma dựa trên thông tin gần đây nhất về Sự kiện Tác động Australasian (the Australasian Impact Event). Tuổi của nền sông này có thể bắt đầu từ thế Pleistocen sớm hoặc Pliocen (2,58 Ma)⁶⁴. Như vậy, trước thế Pleistocen, sông Mê Kông đã chảy qua Kratie, Campuchia và rẽ hướng Đông vào Việt Nam ở khu vực giữa sông Bé và sông Sài Gòn ngày nay và cuối cùng đổ về Biển Đông. Khi có Sự kiện Tác động Australasia làm cho một số khu vực Đông Dương đứt gãy, nứt và nghiêng dẫn đến hoạt động phun trào nham thạch núi lửa trong thế Pliocen và Pleistocen. Một loạt các dòng dung nham có tác động lớn nhất đến đường đi của sông Mê Kông bắt đầu từ Kompong Cham và kéo dài theo dòng về phía Đông Nam, bao gồm các dòng chảy tại Suong, Memot, Hón Quán và có thể cả Xuân Lộc. Các dòng chảy dung nham lớn tại Snuol và Lộc Ninh và các dòng chảy nhỏ khác cũng có thể tham gia. Hoạt động núi lửa này liên quan đến quá trình kiến tạo mở rộng và một số dòng chảy dọc theo các đường đứt gãy. Mối liên quan của những dòng chảy này với các con đường hiện tại và trước đây của sông Mê Kông là rất rõ ràng. Sau các đợt phun trào cuối cùng ~ 0,65 Ma, sông Mê Kông ở khu vực Kompong Cham bị chắn dòng bởi dung nham, nên được chuyển hướng thẳng về phía Tây, để rồi đi qua giữa Kompong Cham và các cánh đồng dung nham Suong, nơi nó tiếp cận và hợp nhất với Tonlé Sap ở phía Tây Campuchia¹¹. Khúc cuối của sông Mê Kông cổ bỏ lại nối với các dòng còn lại từ cao nguyên Langbiang và những phụ lưu sót lại ở cao nguyên Haut Chhlong (Sông Bé) hợp lại thành hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai. Một phần của khu hệ cá Mê Kông đã được sông Sài Gòn - Đồng Nai bắt giữ từ đó, tồn tại và sinh sống đến ngày nay.

Một lòng sông bỏ hoang thứ ba được chỉ ra trên bản đồ khi vào Việt Nam và sau đó biến mất vào Đồng Tháp Mười ở tỉnh Long An ở thượng nguồn Mộc Hóa, và gần Sông Vàm Cỏ Tây của hệ thống sông Sài Gòn. Lòng sông này được cho là khá lớn^{65,66}. Khu vực thượng nguồn của lòng sông bị bỏ hoang này là vùng đồng bằng ngập lũ. Nếu đây là một trong những dòng

chảy cổ xưa của sông Mê Kông thì khá phù hợp. Vì dòng chảy này gần sông Sài Gòn và sông Cửu Long, nên những con sông này có thể có chung các dòng chảy trong quá khứ. Sông Vàm Cỏ Đông có thể vẫn nối với sông Mê Kông khi lũ lụt. Ngày nay, với những con kênh nối đồng bằng, các hệ cá của chúng rất giống nhau, nếu không muốn nói là gần như nhau. Các dữ liệu khác cũng cho thấy cá Lóc đen, *Channa aff. striata*⁶⁷, rắn bùn sông Mê Kông, *Enhydryis subtaeniata*⁶⁸ và một số sinh vật khác^{10,69,70} phát tán từ Chao Phraya đến hạ lưu sông Mê Kông xảy ra trong một sự kiện phát tán duy nhất cách đây 190 ngàn năm (kya). Một trường hợp tương tự là cá Hồng nhàu *Poropuntius normani* xuất hiện ở thượng nguồn sông Sông Bé - Đồng Nai đến những sông ngắn ở Tây Nam Campuchia và Đông Nam Thái Lan⁷¹. Ở Việt Nam, loài này xuất hiện ở thượng nguồn hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và hai phụ lưu sông ngắn phụ cận là sông Phan, Ninh Thuận và sông Lũy, Bình Thuận. Có thể sông Phan và sông Dinh là những phụ lưu của dòng sông Mê Kông cổ khi theo đường Sài Gòn - Đồng Nai đổ ra thềm cửa biển Cần Giờ ngày nay và sau thời kỳ băng hà cuối cùng khi nước biển dâng lên làm các tập đoàn cá Chạch suối *Schistura namboensis*, *Esomus metallicus*, *Rasbora paviana*, *Ceratogarra cambodgiensis*, *Osteochilus vittatus*, *Barbodes rhombeus*, *Systemus rubripinnis*, *Cyclocheilichthys apogon*, *Poropuntius normani*, *Hemibagrus spilopterus*, *Pseudomystus siamensis*, *Akysis clavulus*, *Xenentodon canciloides*, *Betta prima* và vài loài phổ biến khác rút lên trên thượng nguồn của những sông này ngày nay. Hoặc có thể, có nhiều dòng chảy dung nham gần đây đã làm đập ngăn các con sông, tách rời đầu nguồn các dòng chảy thành những dòng sông riêng biệt như sông Dinh, sông Lũy và sông Pha. Đồng thời có những nối kết rời tách dòng giữa sông Dinh về phía Bắc với sông Cái, Khánh Hòa và tới sông Ba, Phú Yên trong một loạt các phun trào và kiến tạo có niên đại từ Pliocen và Pleistocen⁶³. Giả thiết này phù hợp với các dòng *Annamia* aff. *normani* phân bố từ sông Ba, sông Cái và sông Đá Mài - sông Dinh và dòng *Annamia* aff. *normani* phân bố từ sông Krông Nô - Srepok với thượng nguồn sông Đồng Nai (dữ liệu chưa công bố). Tuy nhiên, với sự hiểu biết về địa mạo và kiến tạo về vùng này của chúng ta còn hạn chế, nên chưa thể xác định được (các) suối nào hoặc một phần của (các) dòng suối có liên quan đã kết nối bắt dòng với nhau. Tất cả các loài này đều là cư dân của vùng thượng nguồn các con sông vừa kể.

Một số mô hình phân bố liên quan Sundaland

Trong các loài cá di chuyển qua từ sông Mê Kông, khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực lân cận cùng

với hệ cá sông Mê Kông hiện tại chia sẻ với hệ cá của khu vực rộng lớn của quần đảo Sunda (Sundaland, bao gồm Bán đảo Malaysia, và các đảo Borneo, Sumatra và Tây Java). Mô hình phân bố này cho thấy có 77 loài khảo sát bắt gặp (có dấu *) trong đó có 65 loài nước ngọt nguyên sinh chiếm khoảng 42% trên 156 loài cá nước ngọt nguyên sinh của khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực lân cận chia sẻ với sông Mê Kông. Những kiểu phân bố này có thể được giải thích bằng sự phát tán kỷ Đệ Tứ: Mô hình phân bố này có lẽ là do các kết nối các lưu vực sông trước đây trên Thềm Sunda trong quá trình băng hà thế Pleistocen (xem Hình 1). Trong thời gian cực đại băng hà, những con cá này có lẽ đã phân bố liên tục trên Thềm Sunda. Sự phân bố này đã bị chia cắt do mực nước biển ngày càng tăng. Sự vắng mặt của những loài chia sẻ với sông Mê Kông và Chao Phraya, nhưng không xuất hiện ở các đảo Sunda có thể là do điều kiện sinh thái không thuận lợi hoặc chúng đã thiết lập sự cư trú từ các sự kiện phát tán trước đó⁵.

Sự phân bố của các giống loài Đông Dương hiện diện ở Bán đảo Thái - Malaysia và chưa được biết đến ở các đảo Sunda (*Esomus*, *Raiamas*, *Probarbus*, *Hypsi-barbus*, *Akysis*, *Amblyceps*, *Chaudhuri*, *Indostomus*, *Mastacembelus favus*). Thực tế là những loài này chủ yếu được biết đến từ phần phía Bắc của Bán đảo Malaysia, một số ít xuất hiện đến đảo Sumatra hay tới tận Java và đạt được những khoảng cách khác nhau về phía Nam dường như đã phân tán từ phía Bắc xuống thay vì là do rào cản cách ly (xem Hình 1b). Các giống loài không có mặt ở đảo Borneo (*Yasuhikotakia*, *Danio*, *Neolissochilus*, *Poropuntius*, *Akysis*) nhưng xuất hiện ở Bán đảo Thái - Malaysia, Đông Dương và các lưu vực Salween và Irrawaddy có thể được xem là kết quả của sự phát tán trước đó.

Cá Rống còn gọi là cá Mơn ở vùng Đồng Nai, *Scleropages formosus* thuộc một trong những nhóm cá cổ xưa nhất còn tồn tại của phân thứ lớp cá Xương phổ biến hiện nay⁷². Loài cá này xuất hiện trên các quần đảo Sunda, Bán đảo Malaysia, Đông Nam Thái Lan, Nam Campuchia, và ở trung lưu sông Đồng Nai. Theo Cioffi và cs. (2019), phả hệ phát sinh loài cá Rống Nam Mỹ *Osteoglossum* và cá Rống *Scleropages* được hiệu chỉnh theo thời gian cho thấy, chúng đã phân kỳ ~ 50 Ma, vào thời điểm phân tách cuối cùng của các lục địa Australia và Nam Mỹ (cùng với Nam Cực)⁷³. Loài cá Rống *S. formosus* Đông Nam Á và các loài *Scleropages* của Australia phân kỳ tách loài ~ 35,5 Ma, về cơ bản là sau sự kết nối trên đất liền gần đây nhất giữa Australia và Đông Nam Á thông qua sự di chuyển của mảng kiến tạo Ấn Độ. Như vậy sự phát tán của cá Rống *S. formosus* trong một hệ thống lưu vực sông kết nối rộng lớn khắp Thềm Sunda từ hệ thống sông

Siam cổ lên tới sông Đồng Nai đã được thiết lập từ rất lâu, ngược chiều phát tán của các loài cá còn lại là từ sông Mê Kông qua sông Đồng Nai. Điều này cho thấy lịch sử hình thành khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai đã diễn ra đồng thời cùng với lịch sử hình thành khu hệ cá sông Mê Kông và Thềm Sunda. Trong kỷ Đệ tứ, dao động mực nước biển đã làm thay đổi đường bờ biển, với vùng triều rút xuống 120 m dưới mức hiện tại^{6,74}. Do vậy, vào thời điểm đó, phần lớn Thềm Sunda bao gồm các thung lũng sông ở vùng đất thấp liền kết thành mạng lưới hệ thống sông Siam cổ xưa rộng khắp trao đổi các sinh vật thủy sinh nước ngọt. Người ta đã đưa ra giả thuyết rằng, trong thế Pleistocen, sông Mê Kông đã đổ ra vịnh Thái Lan gần Kam-pot⁷⁵, làm cho mối liên hệ kết nối rất có thể xảy ra. Tất cả các loài Lòng tong *Rasbora* spp. sống tầng mặt và tụ tập ven kênh rạch và các sông lớn được tiến hóa từ các loài Lòng tong sinh sống trong các đầm lầy than bùn trong các vùng rừng ngập nước ở Sundaland. Khi tiến ra môi trường mới ven sông lớn rộng mở hơn, chúng dễ dàng phát tán trên một vùng phân bố rộng lớn mà các hệ sông trước đây từng kết nối với nhau. Vì vậy, các loài Lòng tong có mặt ở sông Sài Gòn - Đồng Nai đều có vùng phân bố khá rộng đến Chao Phraya và vùng Sundaland ngoại trừ đảo Java²³.

Khảo sát này đã xác định 18 loài cá bản địa Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận được IUCN 2021 đánh giá là nguy cấp và dễ tổn thương cần được bảo vệ. Đó là các loài CR (3 loài): *Catlocarpio siamensis*, *Probarbus jullieni*, *Datnioides pulcher*; EN (3 loài): *Fluivtrigon oxyrhynchus*, *Scleropages formosus*, *Poropuntius deauratus*; VU (9 loài): *Ambastaia nigrolineata*, *Labeo pierrei*, *Cirrhinus microlepis*, *Hypsibarbus lagleri*, *Oxygaster pointoni*, *Wallago attu*, *Pangasius krempfi*, *Mystus bocourti*, *Bagarius lica*; NT (3 loài): *Syncrossus beauforti*, *Clarias macrocephalus*, *Indostomus spinosus*.

KẾT LUẬN

Khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực phụ cận có thể được nhóm lại thành năm đơn vị có nguồn gốc riêng biệt: từ Mê Kông, từ Sundaland, từ sông Hồng, nhóm nguyên sinh đặc hữu và nhóm ngoại sinh từ Ấn Độ - Thái Bình Dương. Khảo sát này cho thấy khu hệ cá Sài Gòn - Đồng Nai và các lưu vực sông Vàm Cỏ, sông Phan, sông Lũy, và sông Dinh chia sẻ toàn bộ hệ cá với sông Mê Kông với 243 loài cá bản địa, do đó được phân vào vùng sinh thái nước ngọt Châu thổ Mê Kông theo Abell và cs. (2008). Có tám loài cá cần những nghiên cứu tu chỉnh để xác định loài. Nếu có những nghiên cứu sâu hơn với một loạt các kiểu phân bố và lịch sử đời sống kết hợp các bộ dữ liệu phân bố, di truyền và kiểu hình sẽ cho phép kiểm

tra các giả thuyết liên quan đến các quá trình đã định hình sự phân bố các loài cá hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai với các sông trong khu vực Đông Dương và Sundaland.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số GEN2019-18-01 và Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia NAFOSTED, mã số 106.06-2017.40. Sự giúp đỡ ngoại và nội nghiệp từ các thành viên nhóm nghiên cứu Tiến hóa Đa dạng Sinh học, Phòng thí nghiệm Động vật, Bộ môn Sinh thái và Sinh học Tiến hóa, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh. Sự góp ý và hiệu đính của Phân biện và Ban Biên tập Tạp chí để bài báo tăng giá trị nội dung và hình thức.

ĐẠO ĐỨC TRONG NGHIÊN CỨU TRÊN ĐỘNG VẬT

Các mẫu cá trong nghiên cứu sau khi được chụp hình và lấy mẫu vây để phân tích di truyền đều được thả lại môi trường tự nhiên của chúng.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

16S rRNA: 16S ribosomal RNA
ATPase 6-8: mitochondrial ATP synthase 6-8
COI: mitochondrial cytochrome oxidase subunit 1
CR: cực kỳ nguy cấp (Critically Endangered)
cs.: cộng sự
Cyto b: Cytochrome b
DNA: Deoxyribonucleic acid
EN: nguy cấp (Endangered)
kya: một ngàn năm về trước (kilo, thousand years ago)
Ma: một triệu năm về trước (million year ago)
NT: sắp bị đe dọa (Near Threatened)
RAG1: Recombination Activating 1
VU: sắp nguy cấp (Vulnerable)
~: khoảng

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả đồng ý không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến các kết quả đã công bố.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Tác giả Hoàng Đức Huy, Phạm Mạnh Hùng, Trần Trọng Ngân: tra cứu và tổng hợp tài liệu, thực nghiệm, phân tích và trình bày kết quả. Tác giả Phạm Mạnh Hùng: xử lý và trình bày hình ảnh. Tác giả Hoàng Đức Huy: viết bản thảo. Tác giả Trần Trọng Ngân: kiểm tra cấu trúc, sửa và hoàn chỉnh bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Freyhof J, Serov D V, Nga NT. A preliminary checklist of the freshwater fishes of the River Dong Nai, South Vietnam. *Bonner zoologische Beiträge*. 2000;49:93-9;
- Mai ĐY. Định loại các loài cá nước ngọt Nam Bộ, Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật Hà Nội; 1992;
- Hughes LC, Ortí G, Huang Y, Sun Y, Baldwin CC, Arcila A, et al. Comprehensive phylogeny of ray-finned fishes (Actinopterygii) based on transcriptomic and genomic data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018;115(24):6249-54; Available from: <https://doi.org/10.1073/pnas.1719358115>.
- Abell R, Thieme ML, Revenga C, Bryer M, Kottelat M, Bogutskaya N, et al. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*. 2008;58(5):403-14; Available from: <https://doi.org/10.1641/B580507>.
- Kottelat M. Zoogeography of the fishes from Indochinese inland waters with an annotated checklist. *BullZoolMus*. 1989;12(1):1-54;
- Voris HK. Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: Shorelines, river systems and time durations. *Journal of Biogeography* [Internet]. 2000;27(5):1153-67; Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2699.2000.00489.x>.
- Kottelat M. Fishes of Laos. Sri Lanka: WHT Publications (Pte) Ltd; 2001;
- Kottelat M. The Fishes of the Inland Waters of Southeast Asia: A Catalogue and Core Bibliography of the Fishes Known to Occur in Freshwaters, Mangroves and Estuaries. *The Raffles Bulletin of Zoology*. 2013;27(1-663);
- Praxaysombath B, Utsugi K, Phongsa K, Nammanivong M, Vannachak V, Phommacan K, et al. Fishes of the Mekong Basin of Laos. Vientiane Capital, Lao PDR: National University of Laos; 2020. 138 p;
- Rainboth WL. Fishes of the Cambodian Mekong. *FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes*. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy: FAO; 1996. 265 p;
- Rainboth WJ, Vidthayanon C, Mai DY. Fishes of the Greater Mekong Ecosystem with Species List and Photographic Atlas. Ann Arbor, MI, USA: Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan; 2012. 294 p;
- So N, Utsugi K, Shibukawa K, Thach P, Chhuoy S, Kim S, et al. Fishes of Cambodian Freshwater Bodies. Phnom Penh, Cambodia: Inland Fisheries Development Institute, Fisheries Administration; 2018. 197 p;
- Nguyễn VH, Ngô SV. Cá nước ngọt Việt Nam. Tập 1. Nhà xuất bản Nông nghiệp; 2001. 622 p;
- Nguyễn VH, Ngô SV. Cá nước ngọt Việt Nam. Tập 2. Nhà xuất bản Nông nghiệp; 2005. 760 p;
- Nguyễn VH, Ngô SV. Cá nước ngọt Việt Nam. Tập 3. Nhà xuất bản Nông nghiệp; 2005. 759 p;
- Deynat PP, Fermon Y. Resurrection of *Himantura oxyrhyncha* (Sauvage, 1878) from the synonymy of *H. uarnak*, a senior synonym of *H. krempfi* (Chabanaud, 1923) (Myliobatiformes: Dasyatidae). *Cybius*. 2001;25(21):161-76;
- Šlechtová V, Bohlen J, Freyhof J, Ráb P. Molecular phylogeny of the Southeast Asian freshwater fish family Botiidae (Teleostei: Cobitoidea) and the origin of polyploidy in their evolution. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2006;39(2):529-41; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2005.09.018>.
- Ciccotto PJ, Page LM. Revision of the genus *Henicorhynchus*, with a revised diagnosis of *Gymnostomus* (Cyprinidae: Labeoninae). *Copeia*. 2020;108(3):485-502; Available from: <https://doi.org/10.1643/CI-19-304>.
- Page LM, Pfeiffer JM, Sukri S, Randall ZS, Boyd DA. Variation in the Arrow Loach, *Nemacheilus masyae* (Cypriniformes: Nemacheilidae), in Mainland Southeast Asia with Description of a New Species. *Copeia*. 2020;108(2):392-402; Available from: <https://doi.org/10.1643/CI-19-305>.
- Freyhof J, Herder F. *Tanichthys micagemmae*, a new miniature cyprinid fish from Central Vietnam (Cypriniformes Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*. 2001;12(3):215-20;
- Kottelat M. *Ceratogarra*, a genus name for *Garra cambodgiensis* and *G. fasciacauda* and comments on the oral and gular soft anatomy in labeonine fishes (Teleostei: Cyprinidae). *The Raffles Bulletin of Zoology*. 2020;35:156-78;
- Serov D, Nezdolij VK, Pavlov D. The freshwater fishes of Central Vietnam. Moscow: KMK Scientific Press; 2006. 363 p;
- Sholihah A, Delrieu-Trottin E, Sukmono T, Dahrudin H, Risdawati R, Elvyra R, et al. Disentangling the taxonomy of the subfamily Rasborinae (Cypriniformes, Danionidae) in Sundaland using DNA barcodes. *Scientific Reports*. 2020;10:2818; Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59544-9>.
- Šlechtová V, Musilova Z, Tan HH, Kottelat M, Bohlen J. One northward, one southward: Contrasting biogeographical history in two benthic freshwater fish genera across Southeast Asia (Teleostei: Cobitoidea: Nemacheilus, Pangio). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2021;161:107139; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107139>.
- Jiang W, Ng HH, Yang J, Chen X. A taxonomic review of the catfish identified as *Glyptothorax zanaensis* (Teleostei: Siluriformes: Sisoridae), with the descriptions of two new species. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2012;165(2):363-89; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2011.00811.x>.
- Ng HH. *Bagrichthys majusculus*, a new catfish from Indochina (Teleostei, Bagridae). *Folia Zool*. 2002;51(1):49-54;
- Ng HH, Kottelat M. Description of *Bagarius vegrandis*, a new species of sisorid catfish from Indochina (Actinopterygii: Siluriformes), with notes on the identity of *Bagarius bagarius*. *Zootaxa*. 2021;4926(1):134-46; Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4926.1.9>.
- Ng HH. *Kryptopterus geminus*, a new species of silurid catfish (Teleostei: Siluridae) from mainland Southeast Asia. *Zootaxa*. 2003;305(1):1-11; Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.305.1.1>.
- Ng HH. *Wallago micropogon*: A New Species of Silurid Catfish (Teleostei: Siluridae) from Mainland Southeast Asia. *Copeia*. 2004;2004(1):92-7; Available from: <https://doi.org/10.1643/CI-02-192R3>.
- Ng HH, Freyhof J. *Akysis clavulus*, a new species of catfish (Teleostei: Akysidae) from central Vietnam. *Ichthyol Explor Freshwaters*. 2003;14(4):311-6;
- Ng HH, Freyhof J. Two new species of *Glyptothorax* (Teleostei: Sisoridae) from central Vietnam. *Zootaxa*. 2008;1873(1873):11-25; Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1873.1.2>.
- Ng HH, Kottelat M. Description of three new species of catfishes (Teleostei: Akysidae and Sisoridae) from Laos and Vietnam. *J South Asian Nat Hist*. 2000;5(1):7-15;
- Ng HH, Kottelat M. The identity of *Clarias batrachus* (Linnaeus, 1758), with the designation of a neotype (Teleostei: Clariidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2008;153(4):725-32; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00391.x>.
- Ng HH, Kottelat M. Revision of the Asian catfish genus *Hemibagrus* Bleeker, 1862 (Teleostei: Siluriformes: Bagridae). *The Raffles Bulletin of Zoology*. 2013;61(1):205-91;
- Ng HH, Kottelat M. The *Glyptothorax* of the Bolaven Plateau, Laos (Teleostei: Sisoridae): New and endangered. *Zootaxa*. 2017;4238(3):406-16; PMID: 28603264. Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4238.3.7>.
- Matsumoto S, Kon T, Yamaguchi M, Takeshima H, Yamazaki Y, Mukai T, et al. Cryptic diversification of the swamp eel *Monopterus albus* in East and Southeast Asia, with special reference to the Ryukyuan populations. *Ichthyological Research*. 2010;57(1):71-7; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10228-009-0125-y>.
- Rüber L, Tan HH, Britz R. Snakehead (Teleostei: Channidae) di-

- versity and the Eastern Himalaya biodiversity hotspot. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 2020;58(1):356-86; Available from: <https://doi.org/10.1111/jzs.12324>.
38. Trần ĐĐ, Shibukawa K, et al. Mô tả định loại cá Đổng bằng sông Cửu Long, Việt Nam. Cần Thơ, Việt Nam: Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ; 2013;.
 39. Prokofiev AM. Gobies (Gobioidei) of soft bottoms from Nha Trang and Van Phong bays (South China Sea, Vietnam). *Journal of Ichthyology*. 2016;56(6):799-817; Available from: <https://doi.org/10.1134/S0032945216060096>.
 40. Voronina EP, Prokofiev AM, Prirodina VP. Review of the flatfishes of Vietnam in the collection of Zoological Institute, Saint Petersburg. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*. 2016 Dec 25;320(4):381-430; Available from: <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2016.320.4.381>.
 41. Betancur-R R, Wiley EO, Arratia G, Acero A, Bailly N, Miya M, et al. Phylogenetic classification of bony fishes. *BMC Evolutionary Biology*. 2017;17(1):1-40; PMID: 28683774. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12862-017-0958-3>.
 42. Yang L, Sado T, Vincent Hirt M, Pasco-Viel E, Arunachalam M, Li J, et al. Phylogeny and polyploidy: Resolving the classification of cyprinine fishes (Teleostei: Cypriniformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2015;85:97-116; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2015.01.014>.
 43. Stout CC, Tan M, Lemmon AR, Lemmon EM, Armbruster JW. Resolving Cypriniformes relationships using an anchored enrichment approach. *BMC Evolutionary Biology*. 2016;16(1):1-13; Available from: <https://doi.org/10.1186/s12862-016-0819-5>.
 44. Tang KL, Agnew MK, Hirt MV, Lumbantobing DN, Raley ME, Sado T, et al. Limits and phylogenetic relationships of East Asian fishes in the subfamily Oxygastrinae (Teleostei: Cypriniformes: Cyprinidae). *Zootaxa*. 2013;3681(2):101-35; Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3681.2.1>.
 45. Zheng LP, Chen XY, Yang JX. Molecular phylogeny and systematic revision of *Bangana*, sensu lato (Teleostei, Cyprinidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 2019;57(4):884-91; Available from: <https://doi.org/10.1111/jzs.12294>.
 46. Kappas I, Vittas S, Pantartziti CN, Drosopoulou E, Scouras ZG. A time-calibrated mitogenome phylogeny of catfish (Teleostei: Siluriformes). *PLoS ONE*. 2016;11(12):e0166988; Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166988>.
 47. Llera-Herrera R, Ramirez-Perez JS, Saavedra-Sotelo NC. Complete mitochondrial genome of Cominate sea catfish *Occidentarius platypogon* (Siluriformes: Aridae). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. 2017;2(1):337-8;.
 48. Rüber L, Britz R, Zardoya R. Molecular phylogenetics and evolutionary diversification of labyrinth fishes (Perciformes: Anabantidae). *Systematic Biology*. 2006;55(3):374-97; Available from: <https://doi.org/10.1080/10635150500541664>.
 49. Jeon HB, Jun J, Choi SH, Suk HY. Diversification and colonization processes in Gobioidei predicted based on mitochondrial 12S rRNA with focusing on Oxudercidae. *Mitochondrial DNA Part B: Resources*. 2021;6(3):1166-72; Available from: <https://doi.org/10.1080/23802359.2021.1901620>.
 50. Rainboth WJ. The taxonomy, systematics and zoogeography of *Hyisibarbus*, a new genus of large barbs (Pices, Cyprinidae) from the rivers of southeastern Asia. California, USA: University of California publications in zoology; 1996. 129 p;.
 51. Saitoh K, Sado T, Mayden RL, Hanzawa N, Nakamura K, Nishida M, et al. Mitogenomic Evolution and Interrelationships of the Cypriniformes (Actinopterygii: Ostariophysii): The First Evidence Toward Resolution of Higher-Level Relationships of the World's Largest Freshwater Fish Clade Based on 59 Whole Mitogenome Sequences. *Journal of Molecular Evolution*. 2006 Nov 2;63(6):826-41; Available from: <https://doi.org/10.1007/s00239-005-0293-y>.
 52. Pitman W, Cande S, LaBrecque J, Pindell J. Fragmentation of Gondwana: The separation of Africa from South America. In: Goldblatt P, editor. in *Biological relations between Africa and South America*. Yale University Press, New Haven, Connecticut; 1993. p. 15-34; Available from: <https://doi.org/10.2307/j.ctt22726mc.6>.
 53. Wang W, Lu H, Yang D, Sothea K, Jiao Y, Gao B, et al. Modelling hydrologic processes in the Mekong River basin using a distributed model driven by satellite precipitation and rain gauge observations. *PLoS ONE*. 2016;11(3):e0152229; Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152229>.
 54. The Fish Tree of Life [Internet]; Available from: fishtreeoflife.org.
 55. Britz R, Dahanukar N, Anoop VK, Philip S, Clark B, Raghavan R, et al. Aenigmachannidae, a new family of snakehead fishes (Teleostei: Channoidei) from subterranean waters of South India. *Scientific Reports [Internet]*. 2020;10(1):16081; Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73129-6>.
 56. Berra TM. *Freshwater Fish Distribution*. San Diego, USA: Academic Press; 2001. 604 p;.
 57. Nelson JS, Grande TC, Wilson MVH. *Fishes of the World: Fifth Edition*. *Fishes of the World: Fifth Edition*. Wiley Blackwell; 2016. 707 p; Available from: <https://doi.org/10.1002/9781119174844>.
 58. Arai R. *Fish karyotypes: a check list*. Springer; 2011. 340 p; Available from: <https://doi.org/10.1007/978-4-431-53877-6>.
 59. Moyle PB, Cech JJ. *Fishes: an introduction to ichthyology*. 2nd edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs; 1988. 101 p;.
 60. Briggs JC. The biogeography of otophysan fishes (Ostariophysii: Otophysi): a new appraisal. *Journal of Biogeography [Internet]*. 2005;32(2):287-94; Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2699.2004.01170.x>.
 61. Hoàng ĐH, et al. Phân bố địa lý cá bản địa nội địa Duyên hải Trung Bộ, Nam Trường Sơn. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2021;Tháng 10:31-46;.
 62. Hoàng ĐH, et al. Phân bố địa lý cá bản địa nội địa Duyên hải Trung Bộ, Bắc Trường Sơn. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2021;Tháng 10:14-30;.
 63. Carbonnel JP. Le Quaternaire cambodgien, structure et stratigraphie. *Mémoires de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer (ORSTOM)*. 1972;60:1-252;.
 64. Fontaine H, Workman DR. Review of the geology and mineral resources of Kampuchea, Laos and Vietnam. In: *Proceedings of the 3rd Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*. 1978. p. 539-603;.
 65. Nguyen VL, Ta TKO, Tateishi M. Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2000;18(4):427-39; Available from: [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(99)00076-0).
 66. Nguyen VL, Ta TKO, Tateishi M, Kobayashi I, Umitsu M, Saito Y. Late Quaternary depositional sequences in the Mekong River Delta, Vietnam. In: Chen ZY, Saito YSL, Goodbred J, editors. *Mega-Deltas of Asia: Geological evolution and human impact*. Beijing: China Ocean Press; 2005. p. 121-7;.
 67. Adamson EAS, Hurwood DA, Mather PB. Insights into historical drainage evolution based on the phylogeography of the chevron snakehead fish (*Channa striata*) in the Mekong Basin. *Freshwater Biology*. 2012;57(11):2211-29; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02864.x>.
 68. Lukoschek V, Osterhage JL, Karns DR, Murphy JC, Voris HK. Phylogeography of the Mekong mud snake (*Enhydriis subtaeniata*): the biogeographic importance of dynamic river drainages and fluctuating sea levels for semiaquatic taxa in Indochina. *Ecology and Evolution [Internet]*. 2011;1(3):330-42; Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.29>.
 69. Taki Y. Geographic distribution of primary freshwater fishes in four principal areas of Southeast Asia. *South Asian Studies*. 1975;13(2):200-14;.
 70. Zakaria-Ismael M. Zoogeography and biodiversity of the freshwater fishes of Southeast Asia. *Hydrobiologia [Inter-*

- net]. 1994;285(1):41-8;Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00005652>.
71. Muhammad-Rasul AH, Ramli R, Low VLUN, Ahmad A, Grudpan C, Koolkalya S, et al. Taxonomic revision of the genus *Poropuntius* (teleostei: Cyprinidae) in Peninsular Malaysia. *Zootaxa*. 2018 Sep 10;4472(2):327-42;Available from: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4472.2.6>.
 72. Lavoué S, Sullivan J. Simultaneous analysis of five molecular markers provides a well-supported phylogenetic hypothesis for the living bony-tongue fishes (Osteoglossomorpha: Teleostei). *Molecular Phylogenetics and Evolution* [Internet]. 2004;33(1):171-85;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.04.021>.
 73. Cioffi M de B, Ráb P, Ezaz T, Bertollo LAC, Lavoué S, Oliveira EA de, et al. Deciphering the Evolutionary History of Arowana Fishes (Teleostei, Osteoglossiformes, Osteoglossidae): Insight from Comparative Cytogenomics. *International Journal of Molecular Sciences* [Internet]. 2019;20(17):4296;Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/17/4296/htm>.
 74. Woodruff DS. Biogeography and conservation in Southeast Asia: how 2.7 million years of repeated environmental fluctuations affect today's patterns and the future of the remaining refugial-phase biodiversity. *Biodiversity and Conservation* [Internet]. 2010;19(4):919-41;Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-010-9783-3>.
 75. Attwood SW, Johnston DA. Nucleotide sequence differences reveal genetic variation in *Neotricula aperta* (Gastropoda: Pomatiopsidae), the snail host of schistosomiasis in the lower Mekong Basin. *Biological Journal of the Linnean Society*. 2001;73(1):23-41;Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2001.tb01344.x>.

Phylogenetic relationship of indigenous freshwater fishes in the Sai Gon - Dong Nai river and adjacent drainage basins

Hoang Duc Huy^{1,2,*}, Pham Manh Hung^{1,2}, Tran Trong Ngan^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Biology and Biotechnology, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Hoang Duc Huy, Faculty of Biology and Biotechnology, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: hdhuy@hcmus.edu.vn

History

- Received: 01-9-2021
- Accepted: 25-01-2022
- Published: 28-02-2022

DOI : 10.32508/stdjns.v6i1.1120



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Investing in the biodiversity conservation along river catchments is a cost-effective nature-based solution to ensure the availability and sustainable management of water and the richness of biodiversity for all, with many co-benefits for the other sustainable development goals. The need for further exploration and conservation assessments of inland freshwater fish fauna coincides with expanding threats to freshwater resources from flow alteration and water diversion, increased sediment load, introduced species, overfishing and habitat loss. Meanwhile, the discipline approaches of former studies on the taxonomy of freshwater fish fauna of the Sai Gon - Dong Nai rivers and adjacent drainage basins were ambiguous and no information on phylogenetic relationships and geographic distribution. Our surveys from 2010 to 2020 on revising the fish fauna provided their phylogenetic relationship and geographic distribution. The evolutionary and phylogenetic relationships were analyzed for fish species by using several mitochondrial and nuclear genomes such as COI, Cyto *b*, 16S rRNA, ATPase 6-8, RAG1, and delineated factors of fish distribution were also inferred. A total of 243 indigenous species, belonging to 166 genera, 79 families, 28 orders were identified from 861 specimens collected in 19 sampling sites. This study updated the scientific names with the correction of three species, determined the phylogenetic relationship, and endemism were integrated from this study and modified global fish phylogenetic data. Based on their zoogeography, the studied fishes were subgrouped into five units, among them, 156 primary species shared with the ones of Mekong river (65 with the Sundaland), one with the Red river, 81 with the Indo - Western Pacific sea and five endemic species. The Sai Gon - Dong Nai rivers and adjacent drainage basins possessed only five endemic species, withholding 3% of the total studied primary species. The mentioned-drainage basins, perhaps in the Quaternary were partly formed from the paleo Mekong Delta, shared with most of primary species (about 96%) of the Mekong river. The Mekong Delta freshwater ecoregion was proposed including most of southern coastal drainage basins of the southern Vietnam.

Key words: endemism, indigenous freshwater fish, Mekong Delta freshwater ecoregion, phylogeny, Sai Gon - Dong Nai rivers

Cite this article : Hoang DH, Pham MH, Tran TN. **Phylogenetic relationship of indigenous freshwater fishes in the Sai Gon - Dong Nai river and adjacent drainage basins.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 6(1):1915-1932.