

BỘ GIÁO DỤC  
VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HOẠT ĐỘNG KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



PHẠM NGỌC HOÀI

TUYỂN TRÙNG SÔNG BA LAI TRONG ĐIỀU KIỆN TRẦM TÍCH  
TỤ KHÍ HYDRO SULFUA, METAN LÀM CHỈ THỊ PHỤC VỤ  
GIÁM SÁT VÀ QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG

LUẬN ÁN TIÊN SĨ SINH HỌC

Hà Nội - Năm 2026

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

---



**Phạm Ngọc Hoài**

**TUYỂN TRÙNG SÔNG BA LAI TRONG ĐIỀU KIỆN TRẦM TÍCH  
TỤ KHÍ HYDRO SULFUA, METAN LÀM CHỈ THỊ PHỤC VỤ  
GIÁM SÁT VÀ QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ SINH HỌC**

**Hà Nội - Năm 2026**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

Phạm Ngọc Hoài

TUYÊN TRÙNG SÔNG BA LAI TRONG ĐIỀU KIỆN TRÀM TÍCH  
TỰ KHÍ HYDRO SULFUA, METAN LÀM CHỈ THỊ PHỤC VỤ  
GIÁM SÁT VÀ QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG

LUẬN ÁN TIÊN SĨ SINH HỌC

Ngành: Sinh thái học

Mã số: 9.42.01.20

Xác nhận của Học Viện  
Khoa học và Công nghệ

KT. GIÁM ĐỐC  
PHÓ GIÁM ĐỐC



Nguyễn Thị Trung

Người hướng dẫn 1  
(Ký, ghi rõ họ và tên)

PGS.TS. Ngô Xuân Quảng

Người hướng dẫn 2  
(Ký, ghi rõ họ và tên)

TS. Nguyễn Minh Ty

Hà Nội - Năm 2026

## LỜI CAM ĐOAN

Xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Ngô Xuân Quảng và TS. Nguyễn Minh Ty. Luận án sử dụng thông tin trích dẫn từ nhiều nguồn tài liệu tham khảo khác nhau và các thông tin trích dẫn đúng qui định và có nguồn gốc rõ ràng. Các số liệu và kết quả nghiên cứu trình bày trong Luận án này là hoàn toàn trung thực, được các đồng tác giả cho phép sử dụng và chưa từng được công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

*Hà Nội, ngày 25 tháng 02 năm 2026*

**Tác giả luận án**  
(Ký và ghi rõ họ tên)



**Phạm Ngọc Hoài**

## LỜI CẢM ƠN

L luận án này được thực hiện tại Học viện Khoa học và Công nghệ – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Trong suốt quá trình học tập và triển khai nghiên cứu, tôi đã nhận được sự hỗ trợ quý báu của Thầy, Cô, các nhà khoa học, đồng nghiệp, bạn bè và gia đình đã chỉ dẫn và động viên giúp tôi hoàn thành công trình nghiên cứu luận án tiến sĩ này.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đến thầy PGS.TS. Ngô Xuân Quảng và TS. Nguyễn Minh Ty, những người thầy đã tận tâm chỉ dạy và truyền đạt kiến thức, kinh nghiệm thực tiễn cho tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án. Sự tận tụy, tinh thần nghiêm túc trong khoa học và những chỉ dẫn tận tình, chu đáo của thầy đã giúp tôi hình thành tư duy nghiên cứu độc lập và kiên định theo đuổi lĩnh vực tuyển trùng. Đặc biệt, là sự cẩn trọng liêm chính khoa học, trình độ học thuật chuyên sâu và phong thái làm việc chuẩn mực của thầy PGS.TS. Ngô Xuân Quảng đã có những định hướng chuyên môn cũng như đạo đức nghề nghiệp cho tôi trong quá trình làm khoa học.

Xin trân quý sự chân thành của thầy PGS.TS. Nguyễn Văn Đông, Trưởng bộ môn Hóa phân tích, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh đã nhiệt tình hướng dẫn tôi thực hiện phân tích các chỉ tiêu hóa lý môi trường.

Cảm ơn sự hỗ trợ về hoạt động khoa học và hoá chất thiết bị của đề tài NAFOSTED (mã số 106.06-2019.51), Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia. Đồng thời, tôi xin ghi nhận sự giúp đỡ của tập thể nghiên cứu thuộc Phòng Công nghệ và Quản lý Môi trường, Viện Khoa học sự sống (nguyên là Viện Sinh học nhiệt đới – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) đã hỗ trợ thiết bị, dụng cụ thu lấy mẫu và bố trí phòng thí nghiệm để tôi tiến hành phân tích, xử lý mẫu tuyển trùng; Đặc biệt, tôi xin ghi nhận sự giúp đỡ nhiệt tình của ThS. Trần Thành Thái trong các đợt khảo sát thu mẫu tại sông Ba Lai.

Chân thành cảm ơn Giám đốc Học viện, lãnh đạo Viện Khoa học sự sống, quý thầy cô phụ trách công tác đào tạo tại Viện Khoa học sự sống, và quý thầy cô công tác phòng Đào tạo của Học viện Khoa học và Công nghệ đã hỗ trợ các thủ tục hành chính nhanh chóng – chính xác, kịp thời hoàn thiện hồ sơ các vòng bảo vệ luận án.

Trân trọng cảm ơn sự quan tâm, hỗ trợ của lãnh đạo Trường Đại học Thủ Dầu Một, Ủy ban nhân dân tỉnh Bình Dương (nay là UBND thành phố Hồ Chí Minh) đã tài trợ toàn bộ học phí để tôi theo học chương trình Tiến sĩ, đây là nguồn động lực lớn giúp tôi an tâm học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án đúng tiến độ.

Cuối cùng, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến gia đình, đặc biệt là người vợ Phan Thị Thanh Huyền và con trai Phạm Gia Khang là những người luôn ở phía sau, là điểm tựa tinh thần vững chắc giúp vượt qua thử thách khó khăn để tôi hoàn thành luận án tiến sĩ. Cảm ơn những bạn bè và đồng nghiệp đã đồng viên, ủng hộ tôi trong thời gian học tập tiến sĩ.

*Hà Nội, ngày 25 tháng 02 năm 2026*

**Tác giả luận án**



**Phạm Ngọc Hoài**

## MỤC LỤC

DANH MỤC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT .....	i
DANH MỤC BẢNG BIỂU .....	iv
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ.....	vi
MỞ ĐẦU.....	1
1. Đặt vấn đề .....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu .....	2
2.1. Mục tiêu tổng quát .....	2
2.2. Mục tiêu cụ thể.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu .....	2
3.1. Đối tượng nghiên cứu .....	2
3.2. Phạm vi và giới hạn .....	2
4. Nội dung nghiên cứu.....	2
5. Những đóng góp mới của luận án.....	3
6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn .....	3
6.1. Ý nghĩa khoa học .....	3
6.2. Ý nghĩa thực tiễn.....	3
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU .....	5
1.1. Hiện trạng xây dựng đập chắn ở trong và ngoài nước .....	5
1.1.1. Thế giới .....	5
1.1.2. Việt Nam.....	5
1.2. Các ảnh hưởng của đập chắn.....	6
1.2.1. Tác động đến chế độ thủy chế và các điều kiện lý - hóa.....	6
1.2.2. Tác động đến quần xã thủy sinh vật.....	8
1.2.3. Tác động đến môi trường sinh thái .....	10
1.3. Tổng quan về khí hydro sulfua và khí metan trong trầm tích thủy vực.....	11
1.3.1. Quá trình hình thành và phát thải khí hydro sulfua trong trầm tích .....	11
1.3.2. Quá trình hình thành và phát thải khí metan trong trầm tích.....	13

1.3.3. Ảnh hưởng của khí hydro sulfua và khí metan đến quần xã tuyền trùng sống tự do trong trầm tích thủy vực .....	16
1.4. Quần xã tuyền trùng vùng cửa sông trên Thế giới và ở Việt Nam .....	17
1.4.1. Quần xã tuyền trùng vùng cửa sông trên thế giới.....	17
1.4.2. Quần xã tuyền trùng vùng cửa sông ở Việt Nam .....	19
1.4.3. Quần xã tuyền trùng làm chỉ thị và giám sát chất lượng môi trường trong thủy vực .....	21
1.5. Tổng quan về khu vực nghiên cứu sông Ba Lai.....	26
1.5.1. Khái quát về đặc điểm sông Ba Lai .....	26
1.5.2. Đa dạng sinh học và giá trị tài nguyên thủy sản của sông Ba Lai .....	29
1.5.3. Tác động của đập chắn đến hệ sinh thái tự nhiên sông Ba Lai, Bến Tre .....	30
<b>CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU .....</b>	<b>34</b>
2.1. Địa điểm khu vực nghiên cứu và thời gian khảo sát .....	34
2.2. Phương pháp nghiên cứu khí hydro sulfua, khí metan và các yếu tố môi trường trầm tích sông Ba Lai .....	35
2.2.1. Phương pháp thu và bảo quản mẫu ngoài thực địa.....	35
2.2.1. Phương pháp phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm .....	36
2.3. Phương pháp nghiên cứu quần xã tuyền trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai .....	37
2.3.1. Phương pháp thu và bảo quản mẫu tuyền trùng ngoài thực địa .....	37
2.3.2. Phương pháp phân tích mẫu tuyền trùng trong phòng thí nghiệm.....	38
2.3.3. Phương pháp phân tích số liệu quần xã tuyền trùng .....	38
2.4. Phương pháp phân tích thống kê .....	39
2.4.1. Phương pháp phân tích thống kê số liệu khí CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, và các thông số môi trường.....	39
2.4.2. Phân tích thống kê số liệu về quần xã tuyền trùng .....	40
2.5. Phương pháp đánh giá sức khỏe sinh thái nền đáy sông Ba Lai.....	40
2.5.1. Phương pháp phân loại tuyền trùng theo hệ số c-p.....	40

2.5.2. Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI (Maturity Index) .....	41
2.5.3. Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner (H').....	42
2.5.4. Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD, Index of Trophic Diversity) .....	42
2.5.5. Phương pháp xác định các giống tuyến trùng nhạy cảm và chống chịu đối với khí hydro sulfua và khí metan .....	43
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN.....	45
3.1. Đặc điểm thông số môi trường trầm tích sông Ba Lai.....	45
3.1.1. Khí hydro sulfua.....	45
3.1.2. Khí metan .....	47
3.1.3. Một số đặc điểm môi trường khác.....	49
3.1.4. Mối liên hệ giữa nồng độ khí metan, hydro sulfua trong trầm tích và một số yếu tố môi trường sông Ba Lai .....	55
3.2. Đặc trưng quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai theo mùa.....	58
3.2.1. Cấu trúc thành phần loài quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai .....	58
3.2.2. Mật độ quần xã.....	63
3.2.3. Đa dạng sinh học quần xã.....	64
3.2.4. Cấu trúc phân bố.....	73
3.2.5. Chỉ số c-p (colonizer-persister) và chỉ số sinh trưởng MI (Maturity Index) của quần xã tuyến trùng.....	87
3.2.6. Kiểu dinh dưỡng và chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyến trùng.....	92
3.3. Mối liên hệ giữa các đặc điểm quần xã tuyến trùng và thông số môi trường trầm tích sông Ba Lai .....	97
3.3.1. Tương quan giữa các đặc điểm quần xã tuyến trùng và điều kiện môi trường trầm tích sông Ba Lai .....	98
3.3.2. Ảnh hưởng của thông số môi trường trầm tích lên đặc điểm của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai.....	101
3.4. Ứng dụng quần xã tuyến trùng trong quan trắc, đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai .....	104

3.4.1. Các giống tuyến trùng nhạy cảm và chống chịu với khí hydro sulfua và khí metan .....	104
3.4.2. Tương quan giữa các chỉ số sinh học với các đặc điểm thông số môi trường trầm tích .....	108
3.4.3. Đánh giá tổng thể hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai theo quần xã tuyến trùng .....	111
3.5. Giải pháp ứng dụng quần xã tuyến trùng để quản lý môi trường ở các thủy vực tù đọng, hồ chứa do ảnh hưởng của đập chắn.....	113
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ</b> .....	115
Kết luận .....	115
Kiến nghị.....	116
<b>DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ</b> .....	117
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....	118
<b>PHỤ LỤC</b> .....	PL1
<b>Phụ lục 1.</b> Kết quả đo nồng độ trung bình ( $\pm$ độ lệch chuẩn) khí hydro sulfua và khí metan tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo mùa mưa và mùa khô .....	PL1
<b>Phụ lục 2.</b> Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí H <sub>2</sub> S và CH <sub>4</sub> tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai .....	PL2
<b>Phụ lục 3.</b> Kết quả đo trung bình ( $\pm$ độ lệch chuẩn) các thông số môi trường tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo mùa Mưa và mùa Khô .....	PL8
<b>Phụ lục 4.</b> Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các thông số môi trường tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai .....	PL6
<b>Phụ lục 5.</b> Quần xã tuyến trùng sống tự do tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo hai mùa: Mưa và Khô.....	PL7
<b>Phụ lục 6.</b> Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các đặc điểm của QXTT sông Ba Lai .....	PL19
<b>Phụ lục 7.</b> Kết quả so sánh mật độ và đa dạng sinh học quần xã tuyến trùng sông Ba Lai với một số khu vực ở Việt Nam, Đông Nam Á, và Thế giới.....	PL21
<b>Phụ lục 8.</b> Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số bền vững c-p và chỉ số sinh trưởng MI của QXTT sông Ba Lai.....	PL24

<b>Phụ lục 9.</b> Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các kiểu dinh dưỡng và chỉ số dinh dưỡng ITD của QXTT sông Ba Lai .....	PL25
<b>Phụ lục 10.</b> Kết quả phân tích ANOVA 2 yếu tố “Mùa” và “Vị trí” .....	PL26
<b>Phụ lục 11.</b> Một số hình ảnh Nghiên cứu sinh đi thực địa thu mẫu và xử lý mẫu Tuyến trùng tại Sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre .....	PL39

## DANH MỤC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

TỪ VIẾT TẮT	CHÚ THÍCH
ANOVA	Phân tích phương sai (Analysis of Variance)
c-p	Chỉ số chống chịu/nhạy cảm (Colonizer- Persister)
d	Chỉ số phong phú Margalef
DistLM	(Distance-based Linear Model) là phương pháp hồi quy đa biến dựa trên khoảng cách, thường dùng trong sinh thái để xác định và định lượng mức độ chi phối của các yếu tố môi trường lên cấu trúc quần xã sinh vật
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
ĐCHC	Đập chắn hồ chứa
ĐVKXS	Động vật không xương sống
ĐVĐKXS	Động vật đáy không xương sống
EU WFD	Chỉ thị về khung nước của Liên minh Châu Âu (European Union Water Framework Directive)
GC-FID	Phương pháp sắc ký khí ghép đầu dò ion hóa ngọn lửa (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector)
H'	Chỉ số đa dạng sinh học Shannon – Weiner
HST	Hệ sinh thái
IPCC	Ủy ban liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ITD	Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (Index of trophic diversity)
J'	Chỉ số đồng đều Pielou's
KCN	Khu công nghiệp
MDS	Phân tích đo lường đa hướng (Multidimensional Scaling)
Meiobenthos (meiofauna)	Động vật không xương sống đáy nhỏ (cỡ trung bình)

<b>TỪ VIẾT TẮT</b>	<b>CHÚ THÍCH</b>
MI	Chỉ số sinh trưởng được sử dụng để đánh giá sức khỏe sinh thái của quần xã tuyến trùng tự do (Maturity index)
mM	Đơn vị đo nồng độ chất trong dung dịch H <sub>2</sub> S (1 millimol = 10 <sup>-3</sup> mol/L = 1 mol/m <sup>3</sup> ) tương đương 1 mM H <sub>2</sub> S = 1000 μM = 34,08 ppm
μM	Đơn vị đo nồng độ chất trong dung dịch CH <sub>4</sub> (1 micromol = 10 <sup>-6</sup> mol/L = 10 <sup>-3</sup> mM) tương đương 1 μM CH <sub>4</sub> = 0,001 mM = 0,01604 ppm
nM	Đơn vị đo nồng độ chất trong dung dịch (1 nanomol = 10 <sup>-9</sup> mol/L = 10 <sup>-6</sup> mM)
MRC	Ủy ban sông Mê Kông (Mekong River Commission)
ORP	Thế oxy hóa khử (Oxidation-Reduction Potential), đơn vị đo: mV
PAH	Hydrocarbon thơm đa vòng (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
PERMANOVA	Phân tích phương sai đa biến (Permutational Multivariate Analysis of Variance)
PL	Phụ lục
QXTT	Quần xã tuyến trùng
QX	Quần xã
S	Số giống/loài
TDS	Tổng chất rắn hòa tan (Total Dissolved Solids) – đơn vị đo: mg/L hoặc ppm
Tp.	Thành phố
SD	Độ lệch chuẩn (Standard Deviation)
SIMPER	Tỷ lệ phần trăm độ tương đồng (Similarity Percentage)
SIMPROF	Phân tích tương đồng nội tại quần xã (Similarity Profile Analysis)
Tukey HSD	Phân tích hậu kiểm Tukey HSD (Tukey's Honestly Significant Difference)

<b>TỪ VIẾT TẮT</b>	<b>CHÚ THÍCH</b>
UBND	Ủy ban nhân dân
VNCOLD	Ủy ban quốc gia Việt Nam về đập lớn (Vietnam National Committee on Large Dam)
VSV	Vi sinh vật
VOSC	Các hợp chất hữu cơ chứa lưu huỳnh dễ bay hơi (Volatile organic sulfur compounds)
WCD	Ủy ban thế giới về đập (World Commission on Dams)

## DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Các phản ứng đa dạng của QXTT với các dạng xáo trộn của môi trường .....	22
Bảng 2.1. Tọa độ vị trí thu mẫu trên sông Ba Lai theo hệ tọa độ quốc gia VN-2000 .....	35
Bảng 2.2. Chỉ số c-p của một số họ tuyến trùng.....	40
Bảng 2.3. Ngưỡng phân loại chất lượng môi trường theo các đặc điểm của quần xã tuyến trùng được sử dụng bởi Moreno và cộng sự (2011).....	42
Bảng 3.1. Kết quả phân tích tương quan Spearman giữa khí H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> và một số đặc điểm môi trường.....	56
Bảng 3.2. So sánh cấu trúc thành phần quần xã tuyến trùng sống tự do sông Ba Lai ở các nghiên cứu khác nhau .....	72
Bảng 3.3 Tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai ở mùa mưa .....	75
Bảng 3.4. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã trong đập vào mùa mưa.....	76
Bảng 3.5. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa mưa .....	77
Bảng 3.6. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã trong đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa mưa .....	78
Bảng 3.7. Tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai ở mùa khô .....	81
Bảng 3.8. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã trong đập vào mùa khô.....	83
Bảng 3.9. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa khô .....	84
Bảng 3.10. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã trong đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa khô .....	85
Bảng 3.11. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm quần xã tuyến trùng và một số yếu tố môi trường trầm tích vào mùa mưa.....	99

Bảng 3.12. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm quần xã tuyến trùng và một số yếu tố môi trường trầm tích vào mùa khô.....	101
Bảng 3.13. Kết quả phân tích tương quan giữa các giống tuyến trùng và nồng độ khí H <sub>2</sub> S và CH <sub>4</sub> phát thải từ trầm tích sông Ba Lai vào mùa mưa .....	104
Bảng 3.14. Kết quả phân tích tương quan giữa các giống tuyến trùng và nồng độ khí H <sub>2</sub> S và CH <sub>4</sub> phát thải từ trầm tích sông Ba Lai vào mùa khô .....	107
Bảng 3.15. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm chỉ thị sinh học của quần xã tuyến trùng và một số đặc điểm môi trường vào mùa mưa .....	109
Bảng 3.16. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm chỉ thị sinh học của quần xã tuyến trùng và một số đặc điểm môi trường vào mùa khô .....	110
Bảng 3.17. Hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai vào mùa mưa, đánh giá theo các chỉ số H', %c-p, MI, và ITD .....	112
Bảng 3.18. Hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai vào mùa khô, đánh giá theo các chỉ số H', %c-p, MI, và ITD .....	113

## DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Chu trình lưu huỳnh ở vùng đất ngập nước trong điều kiện ướt và khô ..	12
Hình 1.2. Sơ đồ quá trình chuyển hóa sinh học kỵ khí của chất hữu cơ.....	14
Hình 1.3. Cơ chế hình thành khí nhà kính trong trầm tích thủy vực . .....	14
Hình 1.4. Mối liên hệ giữa độ mặn và đa dạng tuyến trùng vùng cửa sông .....	18
Hình 1.5. Sông Mê Kông và hệ thống 8 cửa sông .....	26
Hình 1.6. Cổng đập Ba Lai (Nguồn: NCS chụp tháng 10/2020) .....	29
Hình 1.7. Hình LANDSAT thể hiện sự thay đổi trong cơ cấu sử dụng đất lưu vực sông Ba Lai qua các năm 1988, 1996, 2006 và 2015.....	32
Hình 2.1. Bản đồ vị trí khu vực lấy mẫu trên sông Ba Lai, Bến Tre. ....	34
Hình 2.2. Quy trình thí nghiệm phân tích mẫu khí H <sub>2</sub> S trong trầm tích.....	36
Hình 2.3. Quy trình thí nghiệm phân tích mẫu khí CH <sub>4</sub> trong trầm tích .....	37
Hình 2.4. Quy trình phân tích xử lý mẫu tuyến trùng trong phòng thí nghiệm .....	38
Hình 2.8. Nguyên tắt đánh giá chất lượng môi trường tổng hợp từ các chỉ số khác nhau (Điều chỉnh từ Chen và cộng sự, 2018).....	43
Hình 3.1. Nồng độ H <sub>2</sub> S đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô.....	45
Hình 3.2. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí H <sub>2</sub> S theo vị trí .....	46
Hình 3.3. Tích lũy vật chất hữu cơ ở phía trong gần chân đập Ba Lai (G4).....	47
Hình 3.4. Nồng độ CH <sub>4</sub> đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô.....	47
Hình 3.5. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí CH <sub>4</sub> theo mùa (a) và vị trí (b).....	48
Hình 3.6. Giá trị pH đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô .....	49
Hình 3.7. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD độ pH theo mùa (a), vị trí (b)...	50
Hình 3.8. Độ mặn đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai giữa mùa mưa và mùa khô .....	51
Hình 3.9. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD của độ mặn theo mùa (a), vị trí (b) .....	51

Hình 3.10. Quá trình xâm nhập mặn vùng ngọt hóa trong đập Ba Lai vào mùa khô ...	52
Hình 3.11. Giá trị thế oxy hóa khử đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai giữa mùa mưa và mùa khô .....	53
Hình 3.12. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD của ORP theo mùa .....	53
Hình 3.13. Tỷ lệ thành phần trầm tích tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa (a) và mùa khô (b) .....	54
Hình 3.14. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %bùn theo mùa (a) và vị trí (b) .....	54
Hình 3.15. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %cát theo mùa (a) và vị trí (b) .....	55
Hình 3.16. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %sét theo mùa (a) và vị trí (b) .....	55
Hình 3.17. Tỷ lệ và mật độ các lớp của QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d) .....	59
Hình 3.18. Tỷ lệ và mật độ các bộ ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d) .....	59
Hình 3.19. Tỷ lệ và mật độ các họ ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d) .....	60
Hình 3.20. Tỷ lệ và mật độ các giống ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d) .....	61
Hình 3.21. Cấu trúc tổng hợp thành phần quần xã tuyến trùng sông Ba Lai: lớp (a), bộ (b), họ (c), và giống (d) .....	62
Hình 3.22. Mật độ trung bình của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai .....	63
Hình 3.23. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD mật độ của QXTT theo mùa (a), vị trí (b) .....	64
Hình 3.24. Chỉ số phong phú về giống (S) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai	64
Hình 3.25. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số phong phú về giống (S) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai theo mùa (a), vị trí (b) .....	65
Hình 3.26. Chỉ số đa dạng Margalef (d) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai ....	66
Hình 3.27. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đa dạng Margalef (d) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai .....	66
Hình 3.28. Chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H' \log_2$ ) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai .....	67

Hình 3.29. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H' \log_2$ ) của QXTT theo mùa (a), vị trí (b) .....	67
Hình 3.30. Chỉ số đồng đều Pielou ( $J'$ ) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai .....	68
Hình 3.31. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đồng đều Pielou ( $J'$ ) của quần xã tuyến trùng .....	68
Hình 3.32. Chỉ số đa dạng Hill ( $N_1, N_2, N_{inf}$ ) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai. ....	69
Hình 3.33. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill $N_1$ theo mùa (a), vị trí (b) .....	70
Hình 3.34. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill $N_2$ theo mùa (a), vị trí (b) .....	70
Hình 3.35. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill $N_{inf}$ theo mùa (a), vị trí (b).....	71
Hình 3.36. Phân tích MDS cấu trúc phân bố trung bình của quần xã tuyến trùng vào mùa mưa.....	73
Hình 3.37. Đặc trưng sinh thái của 3 quần xã tuyến trùng sông Ba Lai vào mùa mưa ( <i>Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD thể hiện qua ký tự a, b, c cùng ký tự thì không khác biệt</i> ) .....	74
Hình 3.38. Phân tích MDS cấu trúc phân bố trung bình của quần xã tuyến trùng vào mùa khô .....	79
Hình 3.39. Đặc trưng sinh thái của 3 quần xã tuyến trùng sông Ba Lai vào mùa khô ( <i>Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD thể hiện qua ký tự a, b, c cùng ký tự thì không khác biệt</i> ) .....	80
Hình 3.40. Tỷ lệ nhóm c-p 1&2 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai .....	88
Hình 3.41. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 1&2 (%) của QXTT. ....	88
Hình 3.42. Tỷ lệ nhóm c-p 3 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai .....	89
Hình 3.43. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 3 (%) của QXTT .....	89
Hình 3.44. Tỷ lệ nhóm c-p 4&5 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai .....	90
Hình 3.45. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 4&5 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai .....	90
Hình 3.46. Chỉ số sinh trưởng MI của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai .....	91

Hình 3.47. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số sinh trưởng MI của quần xã tuyền trùng.....	91
Hình 3.48. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai ..	92
Hình 3.49. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai.....	93
Hình 3.50. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1B (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai ..	94
Hình 3.51. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1B (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai.....	94
Hình 3.52. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2A (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai.....	95
Hình 3.53. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2A (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai.....	95
Hình 3.54. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2B (%) của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai ..	96
Hình 3.55. Chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai .....	97
Hình 3.56. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyền trùng.....	97
Hình 3.57. Phân tích DistLM mô tả mối quan hệ giữa các điều kiện môi trường và cấu trúc quần xã tuyền trùng vào mùa mưa .....	98
Hình 3.58. Phân tích DistLM mô tả mối quan hệ giữa các điều kiện môi trường và cấu trúc quần xã tuyền trùng vào mùa khô .....	100

## MỞ ĐẦU

### 1. Đặt vấn đề

Đồng bằng sông Cửu Long thuộc châu thổ sông Mê Kông, có vai trò chiến lược trong phát triển kinh tế - nông nghiệp của Việt Nam, đồng thời được xem là một trong những “vựa lúa” lớn của thế giới, cung cấp nguồn lương thực quan trọng, đặc biệt là lúa gạo, trái cây và thủy sản cho thị trường trong nước và quốc tế [1, 2]. Tuy nhiên, khu vực này đang chịu tác động mạnh mẽ của biến đổi khí hậu và suy giảm nguồn nước ngọt từ thượng nguồn, dẫn đến xâm nhập mặn và hạn hán nghiêm trọng [3]. Để ứng phó, nhiều công trình thủy lợi, trong đó có các đập và công ngăn mặn, đã được xây dựng nhằm điều tiết nguồn nước và bảo vệ sản xuất nông nghiệp. Đập Ba Lai là công trình lớn đầu tiên thuộc Dự án Thủy lợi Bắc Bến Tre, được xây dựng vào năm 2002, ngăn dòng ở cửa sông Ba Lai, một nhánh của hệ thống sông Mê Kông [4]. Việc vận hành công đập Ba Lai đã mang lại nhiều lợi ích trong kiểm soát lũ, ngăn mặn, trữ ngọt và tưới tiêu, góp phần nâng cao năng suất nông nghiệp và cải thiện đời sống người dân địa phương [5, 6]. Tuy nhiên, bên cạnh với các lợi ích đó, đập cũng gây ra những tác động bất lợi đối với chất lượng môi trường thủy vực. Nhiều nghiên cứu ghi nhận sự thay đổi rõ rệt về đặc điểm hóa-lý và sinh học sau khi đập đi vào hoạt động: tổng chất rắn lơ lửng, kim loại nặng (Hg, Pb) và chất dinh dưỡng (phosphat, nitrat) tăng nhanh ở trong đập [7, 8], trong khi oxy hòa tan giảm và độ đục nước gia tăng [9, 10]. Trầm tích bị giữ lại bên trong đập gây hiện tượng bồi lắng, tù đọng, gây ra tình trạng thiếu oxy tầng đáy [11], thúc đẩy quá trình yếm khí diễn ra nhanh, phát sinh khí metan ( $\text{CH}_4$ ) và hydro sulfua ( $\text{H}_2\text{S}$ ), ảnh hưởng đến cân bằng sinh thái và chất lượng môi trường nước [12].

Trong các hệ sinh thái thủy vực,  $\text{H}_2\text{S}$  là khí độc đối với hầu hết sinh vật, có ảnh hưởng mạnh đến quần xã động vật đáy, đặc biệt là nhóm tuyến trùng [13]. Trong khi đó, tác động của khí metan đến tuyến trùng chưa được nghiên cứu nhiều, mặc dù khí này thường xuất hiện cùng với khí  $\text{H}_2\text{S}$  trong các trầm tích yếm khí [14]. Nồng độ khí metan và hydro sulfua trong trầm tích có ảnh hưởng trực tiếp đến sự biến động số lượng giống, loài và độ phong phú của quần xã tuyến trùng [15]. Đây là nhóm sinh vật chỉ thị nhạy cảm, phản ánh nhanh sự thay đổi môi trường và được sử dụng rộng rãi trong giám sát, đánh giá tác động của con người lên các thủy vực [16].

Từ thực tế đó, nghiên cứu “Tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường” được thực hiện, nhằm góp phần xây dựng cơ sở khoa học cho việc đề xuất các giải pháp bảo vệ, sử dụng hợp lý, phục hồi và duy trì bảo tồn đa dạng sinh học ở lưu vực sông Ba Lai là cấp thiết.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

### **2.1. Mục tiêu tổng quát**

Nghiên cứu quần xã tuyền trùng trong điều kiện trầm tích, tù đọng phát sinh các khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  gây ra do đập chắn trên sông Ba Lai, từ đó áp dụng quần xã tuyền trùng sống tự do làm chỉ thị đánh giá chất lượng môi trường.

### **2.2. Mục tiêu cụ thể**

- Xác định nồng độ khí hydro sulfua và metan phát thải từ trầm tích sông Ba Lai.

- Đánh giá đặc điểm quần xã và cấu trúc phân bố quần xã tuyền trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai dưới tác động của các yếu tố môi trường, chủ yếu là khí hydro sulfua và metan.

- Đề xuất ứng dụng tuyền trùng làm công cụ chỉ thị trong quan trắc và quản lý môi trường sông Ba Lai.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

### **3.1. Đối tượng nghiên cứu**

- Một số tính chất môi trường hoá lý trong trầm tích sông Ba Lai.

- Nồng độ khối lượng khí hydro sulfua ( $\text{H}_2\text{S}$ ) và khí metan ( $\text{CH}_4$ ) phát thải từ trầm tích sông Ba Lai.

- Quần xã tuyền trùng sống tự do ở sông Ba Lai.

### **3.2. Phạm vi và giới hạn**

Nghiên cứu được tiến hành trong phạm vi từ thượng nguồn sông Ba Lai tới hạ nguồn (cửa sông) qua 4 đợt khảo sát: 2 đợt trong mùa khô và 2 đợt trong mùa mưa.

## **4. Nội dung nghiên cứu**

- Xác định nồng độ khối lượng khí  $\text{H}_2\text{S}$  và  $\text{CH}_4$  phát thải từ trầm tích sông Ba Lai. Đánh giá ảnh hưởng của một số tính chất môi trường đến nồng độ khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  trong trầm tích.

- Phân tích đặc điểm và cấu trúc phân bố quần xã tuyền trùng sống tự do trong trầm tích dưới tác động của các điều kiện môi trường cửa sông do đập chắn.

- Đánh giá tác động của yếu tố mùa (mùa khô và mùa mưa), các yếu tố môi trường và khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  trong trầm tích lên tính đa dạng quần xã tuyền trùng sống tự do thông qua 4 đợt khảo sát trên sông Ba Lai.

- Phân tích các nhóm tuyến trùng sống tự do làm công cụ chỉ thị trong quan trắc và quản lý môi trường sông Ba Lai và ứng dụng cho các vùng cửa sông.

## **5. Những đóng góp mới của luận án**

- Nồng độ khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S trong toàn chiều dài sông Ba Lai lần đầu tiên được nghiên cứu đầy đủ theo không gian và thời gian trên vùng cửa sông duy nhất thuộc hệ thống cửa sông Cửu Long do đập chắn trên dòng chính;

- Phát hiện và ghi nhận được các mức độ ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S đối với các đặc tính của quần xã tuyến trùng sống tự do như độ phong phú, mật độ phân bố, các tính chất đa dạng thông qua các chỉ số đại diện, cấp độ của các nhóm chỉ thị, các nhóm ưu thế cũng như các tính chất nội tại khác của quần xã tuyến trùng sống tự do trong nền đáy trầm tích sông Ba Lai;

- Đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai thông qua quần xã tuyến trùng làm chỉ thị. Đồng thời, cung cấp những dữ liệu khoa học liên quan trong việc vận hành công đập Ba Lai, phục vụ giám sát và quản lý môi trường nước.

## **6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

### **6.1. Ý nghĩa khoa học**

- Kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở dữ liệu có giá trị trong giảng dạy và các nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực đất ngập nước, biến đổi khí hậu, quản lý môi trường, sinh thái cửa sông, động vật thủy sinh.

- Bổ sung, hoàn thiện phương pháp luận ứng dụng quần xã tuyến trùng là một công cụ chỉ thị ưu việt trong đánh giá chất lượng môi trường nước.

- Luận án cung cấp cơ sở dữ liệu về phân bố của các giống tuyến trùng sống tự do trong sông Ba Lai phục vụ tra cứu, tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu sâu hơn trong công tác bảo tồn đất ngập nước và quản lý môi trường thủy vực.

### **6.2. Ý nghĩa thực tiễn**

Đề tài luận án nghiên cứu các ảnh hưởng tiềm ẩn của các giải pháp công trình, can thiệp sâu vào hệ sinh thái tự nhiên, tác động tích lũy lâu dài tới dòng chảy môi trường để cân nhắc và là bài học kinh nghiệm cần thiết trong quá trình quy hoạch cơ sở hạ tầng và phát triển kinh tế. Bên cạnh đó:

- Chỉ ra những tác động của khí CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S lên quần xã tuyến trùng, khái quát được ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S lên môi trường và hệ sinh vật đáy ở thủy vực.

- Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ góp phần đánh giá được ảnh hưởng của hoạt động công trình công đập ngăn mặn đối với hệ sinh thái nền đáy sông Ba Lai. Qua

đó, có các giải pháp phù hợp bảo vệ tài nguyên đa dạng sinh học đất ngập nước, đồng thời xây dựng cơ sở khoa học cho việc sử dụng, giám sát và quản lý môi trường một cách bền vững.

- Ngoài ra, nghiên cứu còn mở ra khả năng ứng dụng tuyến trùng làm công cụ quan trắc sinh học để giám sát chất lượng môi trường tại sông Ba Lai và các thủy vực tương tự. Luận án cũng làm rõ tác động của đập chắn đối với môi trường và hệ sinh vật đáy thông qua nhóm sinh vật chỉ thị quan trọng này (quần xã tuyến trùng). Nhóm sinh vật đáy là cơ sở của lưới thức ăn thủy vực, nếu nhóm sinh vật này bị tác động thì sẽ ảnh hưởng đến các mắt xích thức ăn cao hơn và cuối cùng tác động đến con người. Mặt khác, kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp luận cứ khoa học quan trọng cho việc xây dựng, vận hành và quản lý các công trình đập chắn - hồ chứa, hướng đến giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU

### 1.1. Hiện trạng xây dựng đập chắn ở trong và ngoài nước

#### 1.1.1. Thế giới

Đập chắn là công cụ được sử dụng để kiểm soát lũ lụt, thủy lợi và cung cấp nước cho sinh hoạt và nông nghiệp [17, 18]. Các con đập đóng vai trò quan trọng trong tăng trưởng kinh tế, nông nghiệp, và được biết đến là nguồn sản xuất năng lượng sạch [19]. Các đập lớn (cao hơn 15 m) đóng góp khoảng 12-16% cho sản lượng lương thực toàn cầu và dự kiến tăng lên đến 70% vào năm 2050 [20]. Thủy điện đang được khai thác ở 150 quốc gia, chiếm 19% tổng sản lượng điện trên thế giới [18]. Trung Quốc, Mỹ, Ấn Độ, Tây Ban Nha và Nhật Bản là 5 quốc gia sở hữu tới 80% tổng số đập lớn trên thế giới. Trong số đó, Trung Quốc dẫn đầu với khoảng 22.000 đập lớn, chiếm gần một nửa số lượng toàn cầu [18]. Khi các đập được xây dựng, khoảng 2/3 con sông lớn sẽ bị chia cắt bởi đập chắn [17, 18], và 48% tổng lượng nước ngọt bị tác động hoặc thay đổi dòng chảy do các đập [21]. Ban đầu, thủy lợi là mục đích chính của các đập (chiếm tỷ lệ 48%), từ những năm 1950, các đập đã được xây dựng với nhiều mục đích khác nhau như thủy điện (tỷ lệ 20%), cung cấp nước sinh hoạt và công nghiệp (tỷ lệ 13%), kiểm soát lũ (tỷ lệ 9%) và 10% cho các mục đích khác (giao thông đường thủy, giải trí và du lịch sinh thái). Việc triển khai các công trình đập chắn mang lại giá trị quan trọng cho quá trình phát triển quốc gia, tạo nền tảng hỗ trợ kinh tế, kết nối hạ tầng giao thông, đồng thời đáp ứng nhu cầu tích trữ nước phục vụ đời sống dân cư. Bên cạnh những lợi ích kinh tế và xã hội, các đập cũng gây ra nhiều tác động bất lợi đến môi trường và xã hội, làm suy giảm chất lượng môi trường, biến đổi cấu trúc hệ sinh thái, và tạo ra những thách thức đối với điều kiện sống truyền thống của cộng đồng dân cư phụ thuộc tài nguyên nước [18].

#### 1.1.2. Việt Nam

Việt Nam nằm trong số các quốc gia có số lượng đập lớn (cao hơn 15 m) đứng thứ 36 trong tổng số 166 quốc gia thành viên theo Hiệp hội đập lớn Quốc tế [22]. Mô hình đập chia thành hai loại chính là đập thủy điện và đập thủy lợi. Ngoài ra, còn có mô hình đập và công đập ngăn mặn được xây dựng với mục tiêu chính là ngăn mặn giữ ngọt cho vùng đất bị xâm nhập mặn. Theo tổng hợp báo cáo của Ban chỉ đạo Chương trình hành động thích ứng với biến đổi khí hậu ngành nông nghiệp và phát triển nông thôn, Việt Nam hiện ghi nhận có khoảng 8521 công trình đập chắn trên phạm vi toàn quốc [23], bao gồm các đập cao lớn hơn 50 m (32 thủy điện, 03 thủy lợi), đập cao từ 15 m đến 50 m (54 thủy điện, 551 thủy lợi) và trên 6000 đập cao dưới 15 m [24]. Nhiều công trình lớn như hồ Hòa Bình, hồ Yali, Thạch Nham, sông Hinh, sông Ba Hạ, thác Bà, hồ Dầu Tiếng, đập Trị An,... đã được xây dựng, góp phần vào

việc phát triển kinh tế - xã hội của Việt Nam. Đối với lưu vực sông Ba chảy qua các tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk đã có khoảng 260 đập chặn dòng sông làm hồ chứa (tính đến năm 2009), phục vụ cho các nhu cầu mục đích như tưới tiêu, ngăn mặn và điều tiết lũ [25]. Khu vực đồng bằng sông Cửu Long có hệ thống thủy lợi đa dạng, với hơn 80 công đập lớn (rộng trên 5 m), điển hình là công đập Láng Thê dài 100 m và công đập Ba Lai dài 84 m. Ngoài ra còn có hơn 800 công rộng từ 2 đến 4 m, và hàng nghìn công, bọng nhỏ để điều tiết nước và ngăn chặn lũ lụt, cung cấp nước cho nông nghiệp và nước sinh hoạt dân sinh [26]. Đồng bằng sông Cửu Long do có địa hình bằng phẳng, nên không có đập phục vụ cho mục đích thủy điện [26]. Nhìn chung, hệ thống đập thủy lợi có tác động rất lớn đến phát triển kinh tế - xã hội thông qua việc cung cấp nước cho nông nghiệp, nước sinh hoạt, ngăn xâm nhập mặn và kiểm soát lũ. Tuy nhiên, các tác động tiềm ẩn lâu dài của các đập chưa được nghiên cứu một cách khoa học và đầy đủ, chủ yếu chỉ được ghi nhận thông qua các công trình nghiên cứu cơ bản.

Theo Đỗ Văn Chính (2021), các công trình thủy điện ở Việt Nam từ xây dựng đến vận hành đều tác động lớn tới môi trường sinh thái, bao gồm cả việc gây bồi lắng và tắc nghẽn dòng chảy do hồ chứa và đập [27]. Ngoài ra, các dự án thủy điện còn góp phần làm suy giảm chất lượng nước, suy giảm tài nguyên sinh học, sinh kế của người dân ở một số khu vực, thí dụ như vùng đồng bằng Thừa Thiên - Huế [28]. Nghiên cứu của Lê Diên Dục và Hàn Tuyết Mai (2011) cho rằng công trình đập thủy điện nguyên nhân làm gia tăng các tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu, kết quả chỉ ra các yếu tố như sự thay đổi chế độ thủy văn, phát thải khí nhà kính từ lòng hồ, và tác động đến hệ sinh thái có thể làm trầm trọng thêm tình trạng nóng lên toàn cầu [29]. Mặt khác, việc hình thành các hồ đập, đặc biệt là các đập lớn trên thượng nguồn, luôn mang theo nguy cơ tiềm ẩn, rủi ro gây thảm họa cho vùng hạ nguồn do tính an toàn của đập. Bất kỳ sai sót nào trong tính toán xây dựng đập đều có thể gây ra hậu quả nghiêm trọng, gây thiệt hại lớn cho kinh tế - xã hội. Năm 2010 lũ lớn đã đe dọa đập thủy điện Hồ Hồ ở Hà Tĩnh là một thí dụ điển hình hay trường hợp vỡ đập thủy điện Ia Kreo 2 tỉnh Gia Lai năm 2014, và gần đây nhất ngày 7 tháng 10 năm 2025, mưa lũ làm vỡ đập thủy điện Bắc Khê 1 ở tỉnh Lạng Sơn, thảm họa lũ lụt xảy ra ở 4 tỉnh Bình Định, Đắk Lắk, Khánh Hòa, Lâm Đồng (từ ngày 18 đến 22 tháng 11 năm 2025) là các minh chứng cụ thể nhất cho những thảm họa về an toàn hồ chứa, đập chắn.

## **1.2. Các ảnh hưởng của đập chắn**

### ***1.2.1. Tác động đến chế độ thủy chế và các điều kiện lý - hóa***

Thực tế cho thấy hầu hết các dòng sông đều bị thay đổi dòng chảy ở khu vực thượng nguồn và hạ lưu sau khi có công trình đập hoạt động. Mực nước thượng nguồn tăng cao khi các đập tích nước, ngược lại ở hạ nguồn mực nước lại xuống thấp. Các con sông bị làm lệch hướng chảy tự nhiên do xây dựng đập thủy điện, thủy lợi và giao thông thủy [30]. Theo Liên hiệp đập lớn Thế giới (WCD), khoảng 46% lượng nước ở 108 con sông lớn nhất thế giới được lưu lại các hồ chứa trước khi chảy về hạ lưu [18]. Các con đập này đã làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến chế độ thủy văn tự nhiên, gây suy giảm lưu lượng dòng chảy phía hạ lưu [31].

Đập chắn làm đảo lộn quá trình luân chuyển của các vật chất hữu cơ, từ đó ảnh hưởng đến tính chất hóa lý và sinh học của hệ sinh thái sông. Nghiên cứu Eva và cộng sự (2002) cho thấy một số vi vật chất sẽ tích tụ tại thượng nguồn trên các đập thay vì di chuyển xuống vùng hạ nguồn dưới đập [32]. Theo nghiên cứu Toniolo và cộng sự (2005), tới đa 70% lượng phù sa bị chặn lại bởi các đập chắn và không thể di chuyển qua các cống dẫn nước [33]. Điều này có nghĩa rằng, chỉ khoảng 30% - 40% lượng phù sa có thể tiếp tục di chuyển đến vùng hạ lưu, trong khi phần lớn phù sa đã bị giữ lại ở khu vực thượng nguồn do quá trình lắng đọng gia tăng khi tốc độ dòng chảy giảm [34]. Nghiên cứu Rasid (1979), phát hiện ra đập chắn làm giảm 91% lượng phù sa vùng hạ lưu sông South Saskatchewan, ở Canada [35] và giảm hơn một nửa lượng phù sa về hạ lưu trên sông Missouri và Mississippi [36]. Trong khi đó, trên sông Nile, đập chắn Aswan High đã làm giảm 92% lượng phù sa về hạ lưu, làm giảm độ màu mỡ của vùng nông nghiệp và cung cấp ít dinh dưỡng cho các loài thủy sinh ở biển Địa Trung Hải [37]. Bên cạnh đó, các đập cũng làm giảm lưu lượng nước sông, tăng khả năng tích tụ trầm tích ở vùng hạ lưu, điển hình như trên sông Colorado ở Mỹ, đập Glen Canyon đã làm tăng tích tụ trầm tích ở vùng hạ lưu lên đến 2,6 mét mỗi năm [37]. Trong trường hợp đập Ba Lai ở tỉnh Bến Tre, cũng là nguyên nhân làm bồi tụ phù sa vùng cửa sông Ba Lai [38]. Việc giảm lượng phù sa xuống hạ lưu do công trình đập chắn có thể gây ra một số tác động môi trường, bao gồm: thay đổi lượng phù sa đến các vùng đồng bằng hạ lưu hoặc các vùng ven biển. Theo Wildi (2010), thiếu hụt phù sa là nguyên nhân gây ra hiện tượng “sụt lún” ở các vùng cửa sông và hạ lưu. Đây là hệ quả trực tiếp của việc không đủ vật chất để bồi đắp kiến tạo, làm cho những vùng đất này dễ bị đe dọa nghiêm trọng bởi sự gia tăng mực nước biển [30].

Nghiên cứu của Kummu và cộng sự (2010), ước tính có hơn 50% lượng phù sa được giữ lại bởi hệ thống các đập trên sông Mê Kông trước khi chảy về đến Campuchia và Việt Nam [39]. Sự màu mỡ của Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) phụ thuộc nhiều vào lượng phù sa mà mùa lũ mang lại hàng năm. Tuy nhiên, do tác

động của đập chắn, cạn kiệt nguồn nước và phù sa bị giữ lại ở vùng thượng nguồn, sự khan hiếm nước ngọt, đây là những nguyên nhân làm cho nước mặn xâm nhập sâu vào đất liền. Điều này gây ra tác động rất lớn đến sản xuất nông nghiệp và an ninh lương thực trong khu vực ĐBSCL [40].

Sản phẩm phân hủy từ xác động-thực vật, các sản phẩm thải hữu cơ, vô cơ trong nông nghiệp là nguồn cung cấp nitơ quan trọng cho các loài thực vật thủy sinh ở vùng thượng nguồn [41]. Một nghiên cứu của Cederholm và cộng sự (1999), đã ước tính rằng các loài cá hồi di cư trên sông Columbia ở Mỹ cung cấp đến 45.150 m<sup>3</sup> sinh khối cho các loài thực vật thượng nguồn tiêu thụ. Tuy nhiên sau khi xây dựng các đập chắn, lượng sinh khối này giảm xuống 3.400 m<sup>3</sup> (khoảng 7,5% so với trước khi xây đập), điều này ảnh hưởng đến quá trình luân chuyển vật chất từ hệ sinh thái thủy vực lên hệ sinh thái trên cạn [42]. Có thể thấy các đập chắn vừa làm giảm chất dinh dưỡng cung cấp cho cả vùng thượng và hạ nguồn.

Ngoài ra, các nghiên cứu còn ghi nhận việc xây dựng đập chắn và hình thành hồ chứa còn làm thay đổi chế độ thủy văn, giảm tốc độ dòng chảy và tăng lắng đọng vật chất hữu cơ, góp phần gia tăng tích lũy methyl-thủy ngân trong trầm tích và chuỗi thức ăn [43, 44]. Bên cạnh đó, cũng làm nhiệt độ trong các hồ chứa tăng lên bất thường, điều này dẫn đến làm giảm năng suất hoạt động của các loài tảo và vi khuẩn [45]. Điển hình, ở đập Mạn Loan (Manwan) đã làm giảm khả năng tự làm sạch trên sông Lancang ở Trung Quốc [46]. Một số khu vực ven biển ở Ai Cập, đập Aswan cũng đã làm tăng nguy cơ xâm nhập mặn [47], vấn đề này cũng đã xảy ra ở trường hợp đập Ba Lai ở Việt Nam do quá trình hoàn thiện các hạng mục thiếu đồng bộ.

### ***1.2.2. Tác động đến quần xã thủy sinh vật***

Sự biến đổi hóa lý của dòng sông dưới tác động của đập chắn gây ra ảnh hưởng tiêu cực đến các loài thủy sinh vật. Nguồn nước trở nên axit và thiếu oxy khi thấm thực vật trong hồ chứa bắt đầu phân hủy, gây ra điều kiện bất lợi cho sự sinh trưởng và phát triển của chúng [45]. Việc giảm phù sa xuống vùng hạ lưu còn ảnh hưởng đến việc thay đổi độ đục. Điều này làm cho các loài cá dễ bị tấn công hơn và năng suất sơ cấp của các loài tảo bị giảm do thiếu nguồn dinh dưỡng [17]. Theo báo cáo của Tổ chức quốc tế về bảo tồn thiên nhiên WWF, đập chắn đã làm giảm 83% số lượng các loài nước ngọt từ cá tới lưỡng cư từ 1970 đến 2014 [48]. McCartney và Sally (2007), phát hiện các loài cá chỉ thích nghi với môi trường nước tĩnh hoặc nước chảy, do vậy việc xây đập biến sông thành hồ chứa có ảnh hưởng mạnh đến nhóm sinh vật sống dưới nước, đặc biệt là cá [49]. Nhiều loài cá có tập tính di cư vào mùa sinh sản, khi các con sông bị chặn dòng bởi đập chắn, đặc biệt là ở vị trí cửa sông, các loài cá di cư có thể biến mất hoặc suy giảm với số lượng lớn [17]. Nghiên cứu của Craig (2000),

đã liệt kê một số loài cá bản địa ở châu Âu bị tuyệt chủng hoặc suy giảm nhanh số lượng cá thể do đập chắn, bao gồm: *Phoxinus phoxinus*, *Cottus pollux*, *Thymallus thymallus*, *Gymnocephalus baloni*, *Romanichthys valsanicola*, *Anaocypris hispanica* [50]. Ở Brazil, chuỗi các đập chắn trên sông Amazon đã gây ra sự suy giảm lớn về số lượng loài cá di cư, từ đây làm giảm đến 70% sản lượng khai thác cá hàng năm [17]. Khoảng 40 - 70% cá trên sông Mê Kông được biết đến là cá di cư [51], do vậy các đập chắn sẽ gây ra sự suy giảm nghiêm trọng về số lượng và mức độ đa dạng của các loài cá này [51]. Nhiều nhóm cá di cư từ thượng nguồn (upstream) xuống hạ lưu (downstream) sông Mê Kông và ngược lại, do vậy khi ngăn chặn dòng ở cả thượng nguồn và hạ lưu đều có ảnh hưởng tới chu kỳ sinh sản, sự phân bố, tập tính và vòng đời của chúng. Điều này gây ảnh hưởng đến đời sống kinh tế của cộng đồng dân cư ven sông, nhất là những ngư dân phụ thuộc hoàn toàn vào việc khai thác đánh bắt cá [52]. Mặt khác, đập chắn làm gián đoạn dòng chảy tự nhiên, dẫn đến sự suy giảm nhanh các loài sinh vật sản xuất (như, các loài tảo, thực vật phù du), trong khi các loài ăn thịt lại gia tăng đáng kể về số lượng dẫn đến sự mất cân đối giữa các bậc dinh dưỡng trong chuỗi thức ăn.

Không chỉ riêng các loài cá, còn có các loài sinh vật khác như: sinh vật phù du và động vật không xương sống cũng là đối tượng cần quan tâm nghiên cứu về tác động của đập đến sinh vật thủy sinh. McCartney và Sally (2007), phát hiện ra nhóm sinh vật phù du, thực vật bám và thực vật bậc cao là các sinh vật sản xuất chính trong hệ sinh thái thủy vực [49]. Đập chắn làm dòng chảy chậm lại và tăng độ sâu, gây ra sự trao đổi nước kém đi, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển mạnh mẽ của nhóm sinh vật phù du nhưng ảnh hưởng đến nhóm thực vật bậc cao. Hiện tượng tảo nở hoa do tác động của đập chắn đã được ghi nhận ở sông Murray, Australia [53]. Sự phát triển mạnh mẽ của tảo và các thực vật nổi như bèo tây làm giảm nồng độ oxy hòa tan trong nước và giảm cường độ ánh sáng truyền xuống nền đáy. Nhóm thực vật này khi phân hủy-tạo ra nhiều độc tố ảnh hưởng đến các sinh vật khác [54]. Mueller và cộng sự (2011) nghiên cứu 5 hệ thống sông vùng Elbe, Rhine-Main và Danube có đập chắn cho thấy rằng sự đa dạng của nhóm động vật không xương sống ở thượng nguồn chỉ bằng 50% hạ lưu đập [55]. Mặt khác, đập chắn còn làm giảm sự đa dạng của nhóm thực vật ven bờ [56].

Đập còn “lưu giữ” các vật chất hữu cơ cỡ lớn, ngăn chúng di chuyển xuống vùng hạ lưu. Ở sông Santilla River, Georgia, gỗ trôi là nơi sống của 4% loài động vật không xương sống nhưng lại chiếm đến 60% tổng sinh khối động vật không xương sống ở vùng hạ nguồn [57]. Việc “lưu giữ” các vật chất hữu cơ kích thước lớn làm mất đi môi trường sống và nguồn thức ăn của nhiều loài sinh vật ở hạ lưu. Đa dạng

sinh học quần xã động vật đáy không xương sống cỡ lớn vùng dưới đập chỉ bằng một nửa so với vùng trên đập. Hơn nữa, mật độ và sự đa dạng của các bộ côn trùng nước chỉ thị cho môi trường nước sạch và ổn định như Ephemeroptera, Plecoptera, và Trichoptera rất thấp, gần như bằng 0; ngược lại, nhóm Diptera (chỉ thị cho môi trường bị xáo trộn) lại có mật độ cao ở vùng dưới đập [45]. Nhiều loài thân mềm cũng chịu ảnh hưởng nghiêm trọng từ đập chắn. Nghiên cứu tại vùng vịnh Mobile, Alabama, Mỹ ghi nhận 38 trong tổng số 42 loài thân mềm đã bị tuyệt chủng do việc xây dựng các đập thủy lợi [58]. Trước khi xây đập, khu vực Cumberland, Kentucky, ở Mỹ ghi nhận khoảng 25 loài thân mềm bản địa vào năm 1911, tuy nhiên đến năm 1994 do tác động của đập chắn chỉ còn 4 loài [49]. Ngoài ra, các hồ chứa được tạo ra từ việc xây dựng đập chắn cũng ghi nhận mức độ đa dạng sinh học của các loài chim nước thấp hơn so với các hồ tự nhiên [49].

### ***1.2.3. Tác động đến môi trường sinh thái***

Đập chắn và hồ chứa tàn phá các sinh cảnh, làm mất rừng và nơi cư trú của nhiều loài động thực vật. Tại Brazil, ước tính khoảng 2.430 km<sup>2</sup> rừng bị tàn phá do xây dựng các hồ chứa vào năm 1987 [59]. Ngoài ra, đập chắn và hồ chứa là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự tuyệt chủng các loài đặc hữu, quý hiếm và mất đa dạng sinh học. Đập Tam Hiệp (Trung Quốc) đã đem lại những tác động tiêu cực rất lớn, làm ngập 600 km<sup>2</sup> đất tự nhiên, nhấn chìm 13 thành phố với 140 huyện, 1.350 làng mạc và khiến 1,4 triệu người phải di dời. Không những vậy, Đập này còn ảnh hưởng tiêu cực ngành nông nghiệp và ngư nghiệp trong lưu vực sông Dương Tử [60, 61, 62].

Các hồ chứa đập chắn được xem là khu vực tích tụ và gia tăng nồng độ thủy ngân trong môi trường thủy sinh. Nguyên nhân chính là do sự lắng đọng chất hữu cơ và điều kiện yếm khí trong tầng trầm tích tạo môi trường thuận lợi cho vi khuẩn khử sulfat (sulfate-reducing bacteria) hoạt động, dẫn đến quá trình methyl hóa thủy ngân vô cơ ( $\text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{CH}_3\text{Hg}^+$ ), dạng có độc tính sinh học cao và dễ hấp thu vào cơ thể sinh vật [63, 64, 65].

Trong hồ chứa, nhóm vi khuẩn yếm khí phân hủy chuyển đổi thủy ngân vô cơ thành methyl thủy ngân và tích lũy trong mắt xích chuỗi thức ăn từ sinh vật sản xuất (nhóm tảo) đến sinh vật tiêu thụ (cá và con người) [59]. Tại hồ chứa La Grande Phase, James Bay ở Canada, ghi nhận nồng độ thủy ngân trong cá vượt ngưỡng tiêu chuẩn cho phép của Tổ chức Y tế thế giới (WHO) [66]. Thủy ngân là chất độc đối với con người và hầu hết các sinh vật trong hệ sinh thái, gây tác động tiêu cực đến sức khỏe con người, sinh trưởng, và khả năng sinh sản của nhiều loài sinh vật thủy sinh [67].

Ngoài ra, đập chắn là nguồn gốc phát sinh các bệnh truyền nhiễm như sốt rét và bệnh giun chỉ bạch huyết [59]. Bên cạnh các vấn đề về tác động môi trường, việc xây dựng đập và tạo các hồ chứa làm tù đọng nguồn nước ở vùng nhiệt đới là nguyên nhân của nhiều loại bệnh truyền nhiễm bùng phát do sự xuất hiện của các vectors truyền bệnh như muỗi, ốc, ruồi, giun sán, amip và các nhóm động vật nguyên sinh khác [68]. Theo nghiên cứu của Baraket (2013), đập Aswan ở Ai Cập là nguyên nhân dẫn đến tỷ lệ mắc bệnh sán máng cao tới 50% trong số dân ở đồng bằng sông Nile [69].

### 1.3. Tổng quan về khí hydro sulfua và khí metan trong trầm tích thủy vực

#### 1.3.1. Quá trình hình thành và phát thải khí hydro sulfua trong trầm tích

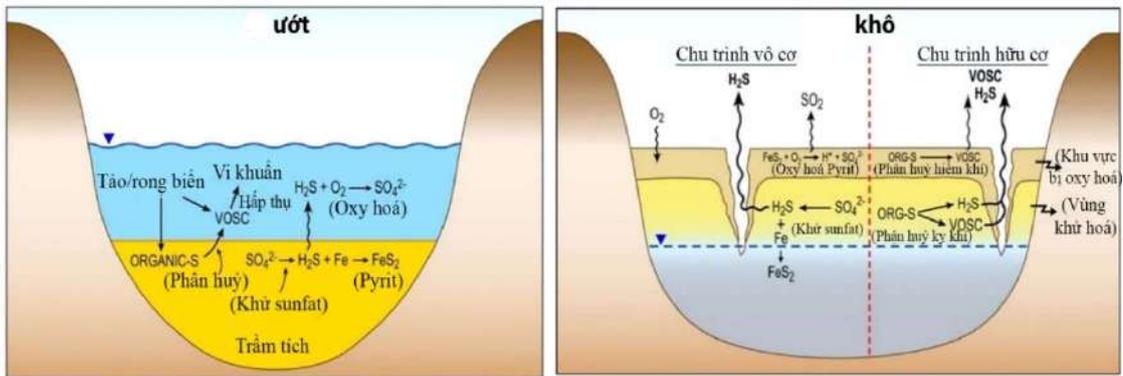
##### 1.3.1.1. Cơ chế hình thành hydro sulfua

Trong các hệ sinh thái thủy vực, hydro sulfua ( $H_2S$ ) được hình thành chủ yếu thông qua quá trình khử sulfat (sulfate reduction) do vi khuẩn khử sulfat (sulfate-reducing bacteria – SRB) thực hiện trong điều kiện yếm khí của trầm tích giàu chất hữu cơ, như: trầm tích sông, hồ, đầm lầy, vùng cửa sông và các hồ chứa hình thành sau khi xây dựng đập [70, 71, 72]. Trong điều kiện yếm khí (thiếu oxy), khi oxy hòa tan trong cột nước bị tiêu thụ hết, quá trình phân hủy kỵ khí bắt đầu chiếm ưu thế. Lúc này, vi khuẩn khử sulfat (sulfate-reducing bacteria – SRB) sử dụng ion sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) có sẵn trong nước biển hoặc nước lợ – làm chất nhận điện tử electron cuối cùng, trong khi chất hữu cơ hoặc hydro ( $H_2$ ) đóng vai trò là chất cho điện tử electron, tạo ra  $H_2S$  và bicacbonat ( $HCO_3^-$ ) [70, 73]. Sự hình thành  $H_2S$  phụ thuộc mạnh vào nguồn chất hữu cơ, nồng độ sulfat, nhiệt độ, pH, và trạng thái oxy hóa–khử (Eh) của trầm tích [72, 74]. Ở những khu vực dòng chảy yếu, có sự tích tụ vật chất hữu cơ cao, như tại vùng cửa sông, đầm lầy hoặc vùng hồ có đập chắn, quá trình này diễn ra mạnh mẽ hơn, làm tăng đáng kể nồng độ  $H_2S$  trong trầm tích [75]. Trong hệ sinh thái trầm tích,  $H_2S$  không chỉ là sản phẩm của quá trình phân hủy kỵ khí mà còn là thành phần quan trọng của chu trình lưu huỳnh (S-cycle), ảnh hưởng đến tính oxy hóa–khử, chất lượng nước, hoạt động vi sinh vật, và cấu trúc quần xã sinh vật đáy [71, 75]. Ngoài nguồn gốc phát sinh trong tự nhiên, lượng lớn khí  $H_2S$  còn được hình thành trong hoạt động sản xuất công nghiệp như khoan tinh chế dầu mỏ, khai thác khí tự nhiên, xử lý nước thải, lò luyện than cốc, nhà máy thuộc da, nhà máy giấy kraft và bãi chôn lấp rác thải [76].

##### 1.3.1.2. Cơ chế phát thải hydro sulfua

Hầu hết, khí  $H_2S$  được sinh ra trong trầm tích sẽ phản ứng với các ion kim loại ( $Fe^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) để tạo thành các khoáng sulfua như FeS hoặc  $FeS_2$  (pyrit) (Hình 1.1). Quá trình này giúp “khóa” một phần  $H_2S$  trong trầm tích, làm giảm phát

thải ra môi trường [75]. Một phần  $H_2S$  ở dạng hòa tan ( $HS^-$  và  $S^{2-}$ ) tích tụ trong nước lỗ rỗng của trầm tích, có thể đạt tới hàng chục mg/L trong vùng yếm khí giàu hữu cơ [74]. Khi có sự khuấy trộn, thay đổi điều kiện oxy hóa hoặc hoạt động của sinh vật đáy (bioturbation),  $H_2S$  khuếch tán lên bề mặt trầm tích, thoát ra cột nước hoặc khí quyển [77, 78]. Cường độ phát thải  $H_2S$  từ trầm tích phụ thuộc vào độ chênh lệch nồng độ giữa pha nước trong lỗ rỗng trầm tích và cột nước, tốc độ khuếch tán, mức độ xáo trộn cơ học và các yếu tố vật lý như gió, nhiệt độ [71]. Khi tích tụ với nồng độ cao,  $H_2S$  gây độc tính nghiêm trọng cho sinh vật đáy, ức chế hoạt động vi sinh vật hiếu khí, giảm oxy hòa tan, và làm mất cân bằng sinh hóa trong trầm tích [70, 72]. Ngoài ra, việc phát thải  $H_2S$  trong trầm tích chịu tác động bởi nhiều yếu tố môi trường khác nhau, bao gồm đặc điểm địa chất, tính chất trầm tích (tuổi và thành phần), và điều kiện thời tiết.



Chú thích: VOSC (volatile organic sulfur compounds): hợp chất lưu huỳnh hữu cơ dễ bay hơi

**Hình 1.1. Chu trình lưu huỳnh ở vùng đất ngập nước trong điều kiện ướt và khô [79]**

Vùng đất ngập nước là nguồn phát thải cao khí  $H_2S$  và hợp chất lưu huỳnh dễ bay hơi (đimetyl sulfua -  $(CH_3)_2S$ ). Ở vùng gần cửa sông, lượng phát thải  $H_2S$  từ trầm tích có thể tăng gấp 4 lần khi triều dâng và thường diễn ra vào ban đêm [80], [81]. Vào ban ngày, một số vi sinh vật quang hợp kỵ khí ở bề mặt trầm tích tiêu thụ sulfua, trong khi các vi sinh vật khác làm tăng sự chi phối độ sâu của oxy và oxy hóa sulfua trước khi nó thoát ra ngoài. Trong đầm lầy, lượng phát thải khí  $H_2S$  vào ban ngày cao hơn so với ban đêm. Sự phân bố sulfua hòa tan chịu tác động mạnh từ chu trình sinh địa hóa của sắt, và trong các khu vực đất nghèo sắt lượng phát thải khí sulfua đặc biệt cao [82]. Trong các đầm lầy, thực vật thủy sinh không chỉ cung cấp oxy cho rễ để hỗ trợ quá trình hô hấp mà còn góp phần thúc đẩy quá trình oxy hóa - khử sulfua. Sự thay đổi mực nước trong các đợt triều lên hoặc triều xuống có thể làm tăng cường quá trình giải phóng một lượng lớn khí  $H_2S$  vào môi trường [83, 84, 85]. Ở vùng đầm lầy ven biển, tỷ lệ phát thải khí  $H_2S$  cao hay thấp phụ thuộc vào hệ thực vật thủy sinh,

theo nghiên cứu của Morrison và cộng sự (1990) sự có mặt của loài thực vật *Spartina alterniflora* trong thủy vực thì tỷ lệ khí H<sub>2</sub>S phát thải ra rất thấp [86], so với rừng ngập mặn có loài *Spartina alterniflora* sinh sống, tỷ lệ khí H<sub>2</sub>S phát thải ra với nồng độ 10-620 (nmol/m<sup>2</sup>/h), đối với loài *Juncus roemerianus* thì tỷ lệ khí H<sub>2</sub>S là 11 - 54 (nmol/m<sup>2</sup>/h) [87]. Sự phát thải khí H<sub>2</sub>S chiếm tỷ lệ cao hay thấp còn phụ thuộc vào các đối khí hậu. Các thủy vực đầm lầy vùng ôn đới tỷ lệ phát thải khí H<sub>2</sub>S từ 4-570 (nmol/m<sup>2</sup>/h); vùng cận nhiệt đới tỷ lệ phát thải khí H<sub>2</sub>S từ 3-150 (nmol/m<sup>2</sup>/h); nơi vĩ độ cao hầu như gần bằng 0 [88, 89].

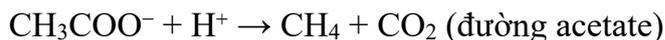
### 1.3.2. Quá trình hình thành và phát thải khí metan trong trầm tích

#### 1.3.2.1. Cơ chế hình thành khí metan

Metan (CH<sub>4</sub>) là một trong những khí nhà kính chính trong khí quyển, có hiệu ứng làm ấm gấp 28–34 lần so với CO<sub>2</sub> trong chu kỳ 100 năm (IPPC, 2021). Trong môi trường tự nhiên, khí metan được hình thành chủ yếu thông qua hoạt động vi sinh vật trong điều kiện yếm khí (biogenic methane), đặc biệt là trong trầm tích sông, hồ, đầm lầy và vùng cửa sông giàu chất hữu cơ [90, 91]. Trong trầm tích yếm khí, khí CH<sub>4</sub> được tạo ra chủ yếu bởi vi khuẩn cổ methanogens<sup>1</sup> (*Archaea*) thông qua quá trình methanogenesis<sup>2</sup> (sinh metan), giai đoạn cuối cùng trong chuỗi phân hủy kỵ khí của vật chất hữu cơ. Quá trình này diễn ra sau khi oxy (O<sub>2</sub>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), mangan (Mn<sup>4+</sup>), sắt (Fe<sup>3+</sup>) và sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) đã được sử dụng hết làm chất nhận điện tử electron [92].

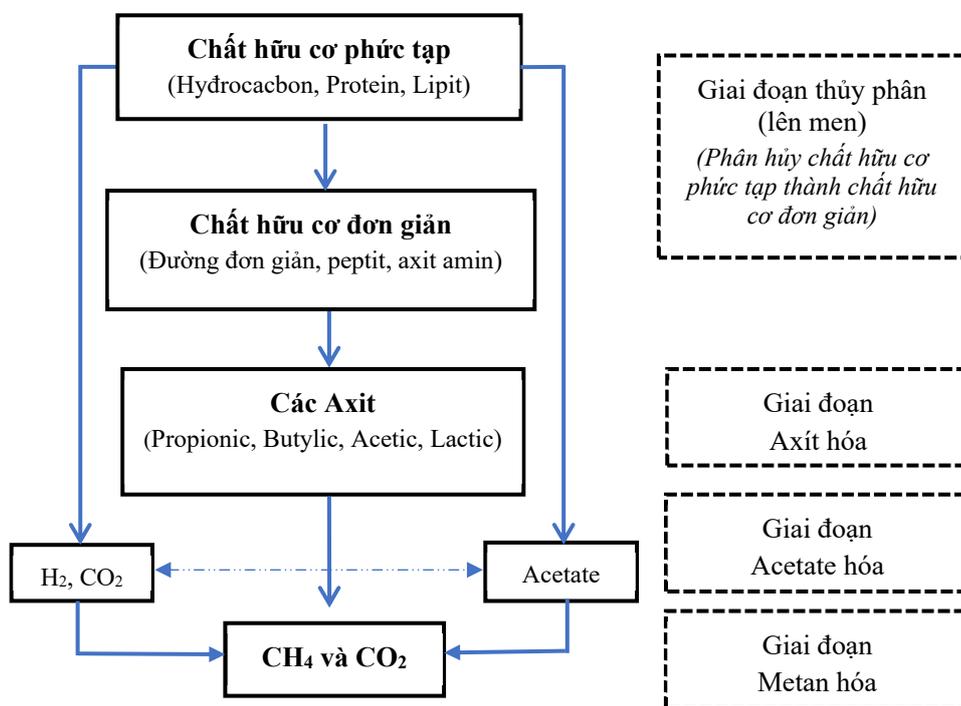
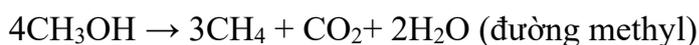
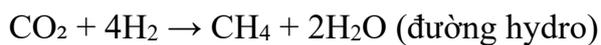
Các phản ứng vi sinh hóa trong quá trình hình thành metan được chia thành 4 giai đoạn (Hình 1.2):

- + Giai đoạn thủy phân (Hydrolysis): Phân hủy polymer hữu cơ (carbohydrate, protein, lipid) thành các hợp chất đơn giản như đường, axit amin.
- + Giai đoạn lên men axit (Acidogenesis): Chuyển hóa thành axit béo dễ bay hơi, rượu, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>.
- + Giai đoạn tạo acetate (Acetogenesis): Chuyển axit béo và rượu thành acetate, H<sub>2</sub> và CO<sub>2</sub>.
- + Giai đoạn tạo metan (Methanogenesis): Vi khuẩn cổ sinh metan sử dụng acetate, CO<sub>2</sub> hoặc methyl để tạo CH<sub>4</sub>:

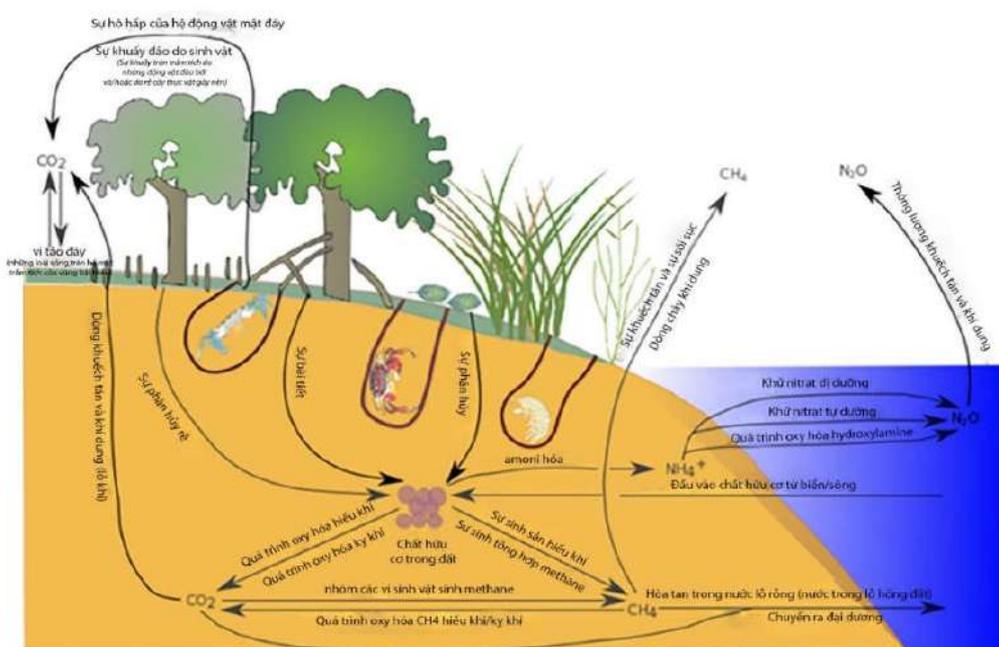


<sup>1</sup> Methanogens là một nhóm vi sinh vật cổ (*archaea*) có khả năng sản xuất metan thông qua quá trình phân hủy hữu cơ trong điều kiện yếm khí (thiếu oxy).

<sup>2</sup> Methanogenesis là quá trình sinh học kỵ khí, trong đó vi sinh vật cổ *archaea methanogenic* phân giải các hợp chất hữu cơ hoặc vô cơ (như CO<sub>2</sub>, acetate, methanol) để tạo ra metan.



**Hình 1.2. Sơ đồ quá trình chuyển hóa sinh học kỵ khí của chất hữu cơ [93]**



**Hình 1.3. Cơ chế hình thành khí nhà kính trong trầm tích thủy vực [94]**

Nhìn chung, khí metan thường được tạo ra do sự phân hủy các chất hữu cơ trong trầm tích, có thể bắt nguồn từ đầu vào cửa biển/ven sông, và sản sinh tại chỗ từ sự phân hủy của thực vật. Sự hô hấp của động vật và vi sinh vật là những con đường

bổ sung của quá trình sản xuất CO<sub>2</sub> trong trầm tích. Khí CH<sub>4</sub> được tạo ra bởi sự phân hủy chất hữu cơ trong điều kiện hiếu khí hoặc kỵ khí trong quá trình sinh metan, và CO<sub>2</sub> cũng được tạo ra trong điều kiện hiếu khí hoặc kỵ khí [95]. Hơn nữa, CO<sub>2</sub> có thể bị khử thành CH<sub>4</sub> thông qua methanogens, trong khi CH<sub>4</sub> có thể bị oxy hóa thành CO<sub>2</sub> trong điều kiện hiếu khí hoặc kỵ khí. Trong quá trình phân hủy chất hữu cơ, N<sub>2</sub>O được tạo ra trong quá trình khử nitơ hoặc quá trình oxy hóa hydroxylamine. Khí nhà kính có thể giải phóng khỏi bề mặt trầm tích thông qua sự khuếch tán, xáo trộn sinh học động vật hoặc sự phân hủy (Hình 1.3).

### 1.3.2.2. Cơ chế phát thải khí metan

Metan trong trầm tích thoát ra môi trường nước và khí quyển thông qua ba cơ chế chính. Metan phát thải ở dạng bong bóng khí, khi áp suất khí CH<sub>4</sub> trong trầm tích vượt áp suất thủy tĩnh, các bọt khí hình thành và thoát ra mặt nước. Đây là cơ chế phát thải chủ đạo trong hồ, đầm lầy và các vùng trầm tích yếm khí, có thể chiếm đến 50 - 80% tổng lượng phát thải CH<sub>4</sub> [96]. Metan phát thải ở dạng khuếch tán phân tử, CH<sub>4</sub> hòa tan trong nước lỗ rỗng di chuyển từ vùng có nồng độ cao (trầm tích) lên vùng nồng độ thấp (nước đáy). Quá trình này chậm và ổn định, chiếm 10 - 30% tổng phát thải [97]. Ngoài ra, CH<sub>4</sub> phát thải qua thực vật thủy sinh như ở vùng có thực vật ngập nước (như sậy, lác, cỏ năng), CH<sub>4</sub> có thể di chuyển theo mô khí (aerenchyma) của rễ và thân cây, được vận chuyển trực tiếp từ trầm tích lên khí quyển [98]. Ở vùng nhiệt đới, quá trình phân hủy hợp chất hữu cơ chứa cacbon trong các thủy vực, hồ chứa diễn ra nhanh hơn so vùng ôn đới do nhiệt độ trung bình hàng năm cao, dẫn đến tốc độ sinh ra CH<sub>4</sub> lớn hơn. Do vậy, hàm lượng CH<sub>4</sub> ở các hồ chứa vùng nhiệt đới cao hơn vùng ôn đới [99].

Metan là một khí nhà kính quan trọng, đóng góp 16% vào sự nóng lên toàn cầu [100]. Tổng lượng phát thải metan vào khí quyển ước tính từ 500-600 triệu tấn CH<sub>4</sub> mỗi năm. Nồng độ metan trong khí quyển đo được gần đây là 1.870 ppb (vào tháng 6 năm 2020) cao gấp 2,5 lần so với thời kỳ tiền công nghiệp (720 ppb) [101]. Một số nguồn phát thải chính của khí metan như nông nghiệp, xử lý chất thải, đốt nhiên liệu, và đập chắn - hồ chứa (ĐCHC) [102]. Vào đầu những năm 1990, các ĐCHC đã được phát hiện là nơi phát thải khí nhà kính tiềm năng [103, 104]. Louis và cộng sự (2000) ước tính tổng số khí CH<sub>4</sub> phát thải từ các ĐCHC khoảng 70 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm (Tg/năm) [105]. Trong khi, Barros và cộng sự (2011) cho rằng ĐCHC chỉ thải ra 4 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm (Tg/năm) [106]. Gần đây, Deemer và cộng sự (2016) ước tính có khoảng 13,3 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm (Tg/năm) phát thải từ ĐCHC [107]. Do số lượng ĐCHC là rất lớn, hơn nữa điều kiện và đặc điểm tự nhiên của chúng khác nhau, dẫn đến sự không chắc chắn trong việc định lượng khí nhà kính phát thải từ các hồ chứa

[108]. Các vùng đất ngập nước khí metan đóng góp gần một phần ba (1/3) tổng lượng phát thải toàn cầu, với ước tính dao động từ 80 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm đến 280 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm [109]. Tuy nhiên, trong khi các đại dương bao phủ 70% bề mặt Trái đất, chúng chỉ đóng góp 1-2% lượng khí thải toàn cầu (6-12 triệu tấn CH<sub>4</sub>/năm) [110]. Một phần đáng kể trong số này, lên tới 75% có nguồn gốc từ môi trường ven biển, mặc dù khu vực này chỉ chiếm một phần nhỏ trong tổng diện tích đại dương [111].

### **1.3.3. Ảnh hưởng của khí hydro sulfua và khí metan đến quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích thủy vực**

Hiện có rất ít nghiên cứu ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S đến đa dạng thành phần loài, mật độ, cấu trúc, và sự phát triển tuyến trùng. Nghiên cứu của Dando và cộng sự (1994) ghi nhận ảnh hưởng khí CH<sub>4</sub> trong trầm tích ở vùng triều - cạn, nồng độ CH<sub>4</sub> cao làm suy giảm số lượng giống và độ phong phú của quần xã tuyến trùng [112]. Khí H<sub>2</sub>S ảnh hưởng tới cấu trúc, hình thái và mật độ của động vật đáy không xương sống cỡ trung bình, thành phần giống của tuyến trùng thay đổi giữa các lõi trầm tích, như giống *Sabatieria* chiếm hầu hết các lõi trầm tích [113].

Trong các hệ sinh thái thủy vực, hydro sulfua có ảnh hưởng lớn đến hệ động vật đáy [13], bao gồm cả nhóm động vật đáy cỡ trung bình và tuyến trùng. Rodriguez-Kabana và cộng sự (1965) ghi nhận tổng mật độ quần xã tuyến trùng trên các cánh đồng lúa ngập nước giảm khi tăng lượng hydro sulfua phát thải từ trầm tích [114]. Hơn nữa, Armenteros và cộng sự (2010) phát hiện ra rằng các tác nhân hóa học gây căng thẳng như hydro sulfua ảnh hưởng đến cấu trúc và sự phân bố của quần xã tuyến trùng trong trầm tích Vịnh Cienfuegos, ở Cuba [115]. Ngược lại, với số lượng lớn các nghiên cứu về tác động của khí hydro sulfua thì các nghiên cứu về tác động của khí metan trong trầm tích đối với tuyến trùng sống tự do còn rất ít thông tin. Jensen (1995), ghi nhận trong môi trường trầm tích có phát thải khí metan cao thì con trưởng thành của giống *Theristus (Penzancia) anoxybioticus* thường phân bố trên bề mặt trầm tích, trong khi con non (ấu trùng) phân bố sâu hơn [14]. Giống tuyến trùng thích nghi với nồng độ khí metan cao như *Astomonema southwardorum* (họ Siphanolaimidae) được tìm thấy trong các lỗ thoát khí metan dưới đáy Biển Bắc ở độ sâu 153-167 m [116, 117]. Ngoài ra, Sapir và cộng sự (2014) cũng ghi nhận rằng các vùng rò rỉ metan có thể duy trì các hệ sinh thái phức hợp, bao gồm sự tương tác giữa vi khuẩn, tuyến trùng và nấm ký sinh [118]. Fenchel và Finlay (1995), phát hiện nồng độ H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> cao trong trầm tích có thể làm giảm sự phong phú và đa dạng loài của các nhóm sinh vật đáy, đặc biệt là động vật không xương sống và vi sinh vật [15].

Theo Adão và cộng sự (2009) và nghiên cứu của Danovaro và Gambi (2002), tỷ lệ các nhóm dinh dưỡng tuyến trùng liên quan đến sự có sẵn và chất lượng thức ăn và nhóm dinh dưỡng tuyến trùng 1B có mối tương quan thuận với vi khuẩn *Escherichia coli* [119]. Thực tế, nồng độ khí CH<sub>4</sub> có mối tương quan thuận với oxy hòa tan và vi khuẩn *E. coli* trong mùa mưa nhưng có tương quan nghịch với TDS và độ mặn trong mùa khô [120]. Mô hình tương quan này, cho thấy nồng độ CH<sub>4</sub> tăng cao trong điều kiện ô nhiễm hữu cơ ở khu vực trong đập Ba Lai nơi bị ảnh hưởng bởi nước thải từ các nguồn nước sinh hoạt và nông nghiệp trong lưu vực [5, 10]. Hamzah và Hattasrul (2008) đã phát hiện lượng lớn chất hữu cơ trong trầm tích, giống như trường hợp của sông Ba Lai, thường liên quan đến nồng độ cao vi khuẩn gây bệnh vì chúng có thể gắn kết với các hạt trầm tích [121, 122]. Sự phong phú của vi khuẩn trong trầm tích cũng là một nguồn thức ăn quan trọng cho nhóm dinh dưỡng tuyến trùng 1B [123].

#### **1.4. Quần xã tuyến trùng vùng cửa sông trên Thế giới và ở Việt Nam**

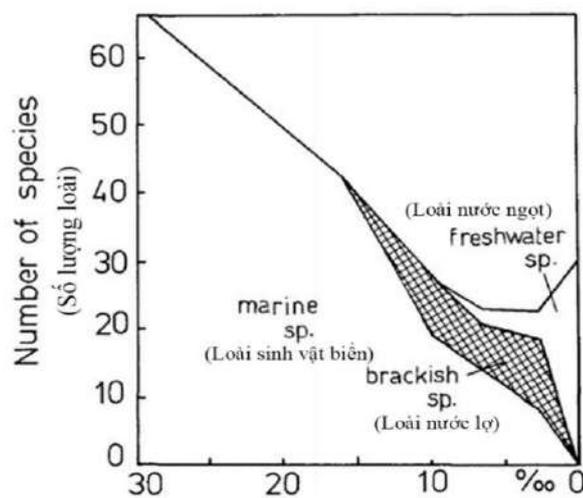
##### **1.4.1. Quần xã tuyến trùng vùng cửa sông trên thế giới**

Động vật đáy không xương sống cỡ trung bình (hay meiofauna) là sinh vật đáy có kích thước từ 38 µm đến 1000 µm. Những sinh vật này được đại diện bởi nhiều ngành động vật không xương sống. Đối với các động vật đáy không xương sống cỡ trung bình ở cửa sông, tuyến trùng thường được biết đến là nhóm phong phú nhất, bao gồm 60 – 90% tổng số cá thể động vật đáy không xương sống cỡ trung bình, trong khi đó giáp xác thường là nhóm chiếm ưu thế thứ hai với khoảng 10 – 40% [124].

Mật độ của quần xã tuyến trùng (QXTT) trung bình là  $10^3 \cdot 10\text{cm}^{-2}$  [124] nhưng có thể cho thấy sự khác biệt cao tùy thuộc vào môi trường sông và cửa sông, từ 6,3 cá thể  $\cdot 10\text{cm}^{-2}$  ở cửa sông Hunter, Úc [125] đến 21.730 cá thể  $\cdot 10\text{cm}^{-2}$  ở cửa sông Somme, Bắc Pháp [126]. Nhìn chung, mật độ tuyến trùng trong môi trường sông ở vùng triều (intertidal habitat) cao hơn vùng dưới triều (subtidal habitats) ở cửa sông [126, 127]. Ngoài ra, sinh khối của QXTT ở các cửa sông cũng được nghiên cứu rộng rãi, điển hình như nghiên cứu của Warwick và cộng sự (1984), Ansari và cộng sự (1988), Smol và cộng sự (1994), Zhang và cộng sự (2011), để ước tính năng suất và mức chuyển hóa năng lượng của QXTT [128, 129, 130, 131, 132].

Mật độ, sự đa dạng, phân bố và các chức năng của QXTT có thể bị ảnh hưởng bởi một số biến số phi sinh học như: độ mặn, nhiệt độ, thủy động lực học, kích thước hạt trầm tích, mức độ oxy hóa và nguồn thức ăn [133, 134, 135, 136, 137]. Các tác động cơ bản của gradient độ mặn lên QXTT lần đầu tiên được xem xét bởi nghiên cứu của Coull (1988) [138]. Austen và Warwick (1989) cho rằng có xu hướng giảm

sự phong phú và số lượng loài từ cửa sông đến nước ngọt [139] (Hình 1.4). Một số khảo sát sau đó đã chứng minh rằng, độ mặn là một trong những yếu tố phổ biến nhất được sử dụng trong nghiên cứu hệ sinh thái biển và ven biển để theo dõi các động lực học của các quần xã sinh vật đáy [140, 141, 142]. Van Diggelen (2016) cho rằng độ mặn có thể là yếu tố quan trọng để giải thích sự đa dạng QXTT ở nhiều hệ thống cửa sông trên thế giới [143]. Nhóm tuyến trùng đã phát triển khả năng chống chịu cao, không chỉ với sự thay đổi lớn về độ mặn mà còn kết hợp với sự thay đổi của các yếu tố môi trường khác. Mặc dù, thay đổi độ mặn có ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình sinh sản của tuyến trùng, tuy nhiên chúng có thể sống sót trong điều kiện có sự thay đổi lớn về độ mặn [144].



**Hình 1.4. Mối liên hệ giữa độ mặn và đa dạng tuyến trùng vùng cửa sông [145]**

Ở các cửa sông, quần xã tuyến trùng có vai trò sinh thái bằng cách thúc đẩy quá trình khoáng hóa sinh học các chất hữu cơ và tăng cường tái tạo chất dinh dưỡng [124], vì chúng có tác dụng kích thích cộng đồng vi sinh vật. Trong quá trình này, Tietjen (1980) cho rằng QXTT kích thích sự phát triển của vi khuẩn qua 3 con đường: (i) QXTT phá vỡ cơ học các vật chất hữu cơ và khiến chúng dễ bị vi khuẩn tấn công hơn; (ii) QXTT bài tiết trực tiếp chất dinh dưỡng vào môi trường để vi sinh vật sử dụng; và (iii) xáo trộn cơ học thẳng đứng trong trầm tích, giữa trầm tích và vùng nước phía trên trầm tích [146]. Tuyến trùng đóng một vai trò quan trọng trong sự vận chuyển dòng vật chất ở các hệ sinh thái [147]. Ngoài ra, QXTT là một mắt xích trung gian quan trọng trong lưới thức ăn vùng cửa sông, giữa nhóm sinh vật sản xuất và nhóm sinh vật tiêu thụ bậc cao hơn (động vật đáy không xương sống, có xương sống) [148]. Tuyến trùng cùng với nhóm sinh vật sản xuất (vi sinh vật, tảo đáy, tảo lam) phân hủy các chất hữu cơ phức tạp thành các chất hữu cơ đơn giản [149]. Ngoài ra, tuyến trùng cũng dùng chính nhóm sinh vật này làm nguồn thức ăn và là con mồi cho

các mắt xích cao hơn. Các nhóm này bao gồm động vật đáy không xương sống cỡ trung bình (giáp xác râu ngành, chân chèo, nhện nước, và nhóm giun), động vật đáy không xương sống cỡ lớn (chân bụng, giáp xác mười chân), động vật có xương sống (cá, ấu trùng lưỡng cư) [150].

Ngoài ra, quần xã tuyến trùng sống tự do có nhiều ưu điểm cho giám sát sinh học, bao gồm mật độ cao và phong phú về loài, tính phổ biến, di chuyển chậm và đại diện cho các môi trường sống khác nhau [145], [147], [151, 152, 153, 154]. Chúng là nhóm sinh vật đáy điển hình, phản ứng nhạy cảm với những thay đổi môi trường đáy vì toàn bộ vòng đời của chúng gắn liền với trầm tích. Ngoài ra, QXTT có vòng đời ngắn nên phản ứng nhanh hơn với các xáo trộn [151]. QXTT có thể đại diện cho các bậc dinh dưỡng khác nhau trong lưới thức ăn với các loài ăn mảnh vụn, vi khuẩn, tảo, nấm, bên cạnh các loài ăn tạp và săn mồi [153]. Các đặc tính khác nhau của QXTT như sự phong phú, đa dạng, kích thước, các nhóm chức năng và sinh khối đã được phân tích liên quan đến các đặc tính môi trường để đánh giá tình trạng sinh thái và tác động xáo trộn ở các cửa sông [7, 126, 127, 130, 155, 156, 157, 158]. Ngoài ra, hàm lượng kim loại nặng bên trong cơ thể tuyến trùng đã được sử dụng để đánh giá độc tính sinh thái [159, 160, 161].

#### ***1.4.2. Quần xã tuyến trùng vùng cửa sông ở Việt Nam***

Đặc điểm sinh thái của quần xã tuyến trùng (QXTT) tại các vùng cửa sông đã được nghiên cứu tương đối toàn diện ở nhiều khu vực trên thế giới, đặc biệt là tại châu Âu, Hoa Kỳ và Úc, và ở mức độ hạn chế hơn tại Châu Phi, Brazil và Tây Á. Tuy nhiên, thông tin về đặc điểm sinh thái của QXTT ở các cửa sông ở Việt Nam vẫn còn rất hạn chế, đặc biệt là tại miền Nam Việt Nam, nơi có hệ thống sông ngòi, cửa sông đặc trưng thuộc vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Tại Việt Nam, một số công trình nghiên cứu đã bước đầu đề cập đến cấu trúc và phân bố của quần xã tuyến trùng vùng cửa sông, ven biển, tiêu biểu như nghiên cứu của Đoàn Cảnh và Nguyễn Vũ Thanh (2000) tại vùng cửa sông Cái Mép-Thị Vải [162], tại Vịnh Hạ Long của các tác giả Nguyễn Vũ Thanh và Nguyễn Đình Tứ (2003) [163], Pavlyuk và cộng sự (2008) [164], ở vịnh Nha Trang của các tác giả Pavlyuk và Trebukhova (2006) và Mokievsky và cộng sự (2011) [165, 166], ở cửa sông Hồng (miền Bắc) của tác giả Gagarin và Nguyễn Vũ Thanh (2012) [167]. Hầu hết các nghiên cứu QXTT ở Việt Nam tập trung vào nghiên cứu phân loại học để mô tả các loài và giống mới. Hiện ghi nhận có hơn 84 loài mới và 03 giống mới được ghi nhận dọc theo bờ biển và các cửa sông Việt Nam, trong đó có khoảng 79 loài mới đến từ miền Nam Việt Nam bao gồm cả đồng bằng sông Cửu Long [168].

Tác giả Ngo và cộng sự (2010) đã tiến hành nghiên cứu lần đầu tiên về QXTT ở 8 cửa sông Mê Kông, cho thấy QXTT cửa sông Mê Kông được đặc trưng bởi tính đa dạng và mật độ cao khi so với các cửa sông khác trên thế giới. Tổng cộng 135 giống tuyến trùng được ghi nhận trong nghiên cứu này, với các giống ưu thế là *Desmodora*, *Leptolaimus*, *Halalaimus*, *Thalassomonhystera*, *Theristus*, *Daptonema*, *Rhynchonema*, *Parodontophora* và *Oncholaimus* [169]. Ngoài ra, Ngo và cộng sự (2016) đã cho thấy QXTT vùng cửa sông Ba Lai có cấu trúc và quy luật phân bố quần xã khác với các cửa sông còn lại [7]. Bên cạnh đó, nghiên cứu Ngo và cộng sự (2010, 2016) đã đo đạc các thông số môi trường ở 8 cửa sông Mê Kông và phân tích tương quan với các đặc điểm của QXTT, kết quả cho thấy QXTT có mối tương quan chặt chẽ với thành phần trầm tích và nồng độ Chlorophyll a. Do mối liên hệ chặt chẽ giữa cấu trúc QXTT và thành phần trầm tích, cho nên tuyến trùng là một công cụ có ý nghĩa để theo dõi những thay đổi trong môi trường [7]. Khi đánh giá tương quan giữa QXTT và cấu trúc hạt trầm tích ở sông Ba Lai, nghiên cứu Nguyen và cộng sự (2022) ghi nhận giống *Pseudochromadora* chiếm ưu thế ở khu vực cửa sông với đặc điểm là trầm tích cát, giống *Rhabdolaimus* có nhiều ở đáy cát - phù sa, trong khi hai giống *Parodontophora* và *Theristus* phát triển mạnh ở môi trường bùn [170].

Như đã phân tích ở trên, cửa Ba Lai là cửa duy nhất có đập chắn trong hệ thống cửa sông Mê Kông. Việc xây dựng đập Ba Lai về nhiều mặt đã gây ra những tác động bất lợi đến hệ sinh thái cửa sông và thậm chí là môi trường xung quanh, ảnh hưởng đến sinh kế của người dân địa phương. Sự hình thành của đập Ba Lai đã làm thay đổi độ mặn ở cửa sông tự nhiên, biến môi trường nước lợ thành hệ sinh thái nước ngọt và biến đổi động lực cửa biển. Tác động lớn nhất của đập Ba Lai là chuyển đất rừng thành đất canh tác ở huyện Ba Tri do dòng chảy tự nhiên đã bị kiểm soát nhân tạo [170]. Không chỉ có số lượng quần thể cá giảm so với cửa sông ban đầu [171], nhưng việc giảm tuần hoàn nước cũng dẫn đến sự tích tụ các chất ô nhiễm hữu cơ và xả thải [5], [172]. Kể từ khi đập Ba Lai đi vào hoạt động, các cộng đồng địa phương đang phải đối mặt với sự cạn kiệt dần nguồn lợi thủy sản tự nhiên, trong khi sạt lở đất đe dọa đến đất đai và nhà cửa [5]. Ngoài ra, cửa sông Ba Lai cũng bắt đầu giảm lượng nước do dòng chảy giảm, mất khả năng truyền tải hết vật chất lơ lửng trong nước, gây lắng đọng và bồi lấp cửa sông [38]. Quá trình này, đã làm thay đổi môi trường sống của sinh vật đáy, trong đó có quần xã tuyến trùng. Nghiên cứu Tran và cộng sự (2022) và nghiên cứu của Ngo và cộng sự (2022) cho thấy đập Ba Lai đã gây ra những tác động đến môi trường sông, tích tụ chất dinh dưỡng (tổng cacbon hữu cơ, tổng nitơ, tổng phốt pho) và kim loại nặng (đồng, sắt, asen, chì) ở thượng nguồn và hai bên đập [173, 174], do đó dẫn đến những thay đổi trong QXTT (sự phong phú, đa

dạng, các giống ưu thế và thành phần quần xã) [170]. Hơn nữa, những thay đổi về mức độ phong phú và đa dạng của tuyến trùng ở sông Ba Lai hầu như được kiểm soát chủ yếu bởi pH, tổng chất rắn lơ lửng (TSS), sắt (Fe), thành phần sét và độ mặn là yếu tố chính cho những thay đổi của QXTT [170, 173]. Bởi vì quần xã tuyến trùng thích nghi tốt với các xáo trộn hóa lý do xây dựng đập gây ra, chúng là công cụ tiềm năng để theo dõi sinh thái và tìm hiểu ảnh hưởng của các đập đối với hệ sinh thái thủy vực.

#### ***1.4.3. Quần xã tuyến trùng làm chỉ thị và giám sát chất lượng môi trường trong thủy vực***

##### ***1.4.3.1. Cơ sở khoa học của chỉ thị sinh học tuyến trùng***

Tuyến trùng là nhóm động vật không xương sống đa dạng và phong phú. Các nhà khoa học ước tính rằng có từ 40.000 đến 10.000.000 loài tuyến trùng hiện diện trên Trái đất [147], và một số nghiên cứu còn dự đoán con số lên đến 100 triệu [175]. Tuyến trùng chiếm một tỷ lệ lớn trong số động vật đa bào, khoảng 90% số lượng cá thể trong thế giới động vật này [176]. Nguyễn Ngọc Châu (2003) đã đề xuất rằng số loài tuyến trùng có thể lên đến hàng triệu loài, sánh ngang hoặc chỉ sau nhóm côn trùng [177]. Điểm mạnh của tuyến trùng không chỉ nằm ở số lượng loài, mà còn ở số lượng cá thể. Trên mỗi 10 động vật đa bào, có đến 8 - 9 cá thể là tuyến trùng. Tính đa dạng của tuyến trùng được coi là tuyệt đối trong giới động vật trên Trái đất, có thể là nhóm đa dạng nhất. Điều đáng chú ý là tuyến trùng xuất hiện và chiếm ưu thế các môi trường hữu sinh [178]. Trong các hệ sinh thái đất ẩm ướt, đất ngập nước, tuyến trùng cũng rất phong phú và đa dạng. Đây được coi là nhóm động vật chiếm ưu thế về số lượng loài cũng như số lượng cá thể trong các hệ sinh thái đất [179]. Sự hiện diện của tuyến trùng không chỉ giới hạn trong môi trường đất, mà chúng cũng tồn tại ở hầu hết các môi trường khác nhau, từ mặt đất trên cạn đến trong nước. Với đa dạng sinh học cao và mật độ dày đặc, nghiên cứu về tuyến trùng dễ dàng thu thập mẫu và chỉ cần lấy một lượng nhỏ mẫu cũng đủ để nghiên cứu và phân tích thống kê [180].

Tuyến trùng có tính nhạy cảm cao đối với nhiều loại biến đổi trong môi trường tự nhiên. Quần xã tuyến trùng sống tự do có khả năng phản ứng nhanh chóng với các thay đổi môi trường bằng cách điều chỉnh các đặc điểm trong quần xã, bao gồm: (i) Sự biến mất của một số loài trong quần xã; (ii) Thay đổi trong kiểu dinh dưỡng; (iii) Thay đổi cấu trúc, mật độ và sự đa dạng của quần xã; (iv) Thay đổi hình thái và sinh khối của các loài tuyến trùng; (v) Thay đổi khả năng sinh sản của quần xã; (vi) Thay đổi trong sinh học, sinh lý và cấu trúc di truyền của tuyến trùng [181].

Thực tế, các đặc điểm của quần xã tuyến trùng rất nhạy cảm với các yếu tố vô sinh như nhiệt độ, độ mặn, cấu trúc hạt trầm tích, nồng độ oxy,... cũng như các yếu

tổ hữu sinh như sự phát triển của loài ăn thịt và cạnh tranh với các loài khác [182]. Có nhiều nghiên cứu khoa học đã tập trung vào việc nghiên cứu phản ứng của quần xã tuyền trùng đối với các dạng biến đổi trong môi trường tự nhiên (Bảng 1.1).

**Bảng 1.1. Các phản ứng đa dạng của QXTT với các dạng xáo trộn của môi trường [183]**

Dạng xáo trộn	Địa điểm nghiên cứu	Tương tác với môi trường
Nhiệt độ nước biển tăng	Vịnh California, Mexico	Giảm mật độ
	Helgoland, Biển Bắc	Giảm chu kỳ sống
Nước biển bị axit hóa	Oslo Fjord, Norway (Đông Nam Na Uy)	Thay đổi cấu trúc quần xã và đa dạng sinh học
Băng tan	Khu vực Larsen, Antarctic (Nam Cực)	Tăng sinh khối
Nước thải công nghiệp	Đầm lầy Tunisian, Tunisia (Bắc Phi)	Giống <i>Spirinia parasitifera</i> chiếm ưu thế và thích nghi với Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), trong khi Giống <i>Oncholaimus campylocercoides</i> và <i>Neochromadora peocilosomawere</i> giảm mật độ.
Nhiễm tributyltin trong trầm tích	Sông Sài Gòn, Việt Nam	Tributyltin làm giảm mật độ phân bố và số lượng nhóm ăn căn hữu cơ chọn lọc. Hình thái và sinh khối có tương quan với hợp chất butyltin. Tributyltin làm cho nhóm thuôn dài chiếm ưu thế và ảnh hưởng trực tiếp lên cấu trúc giới tính trong quần xã.
Đập chắn	Cửa sông Mê Kông, Việt Nam	Gây ra sự khác biệt trong cấu trúc QXTT cửa sông Ba Lai so với các cửa còn lại trong cùng hệ thống cửa sông Mê Kông
Tảo nở hoa	Brittany, Pháp	Giảm mật độ và đa dạng sinh học
	Bodden, Đức	Giống <i>Sabatieria pulchra</i> ưu thế

Dạng xáo trộn	Địa điểm nghiên cứu	Tương tác với môi trường
Phú dưỡng do nước thải sinh hoạt (nồng độ hữu cơ cao)	Vịnh Cornelian, Anh	Giống <i>Pontonema</i> ưu thế trong môi trường có hàm lượng chất hữu cơ cao
	Vịnh Cienfuegos, Cuba	Giống <i>Daptonema</i> , <i>Sabatieria</i> , <i>Pontonema</i> , và họ Linhomoeidae chiếm ưu thế
	Phòng thí nghiệm	Khu vực ô nhiễm, các giống <i>Monhystera</i> và <i>Theristus</i> chiếm ưu thế
	Phòng thí nghiệm	Tăng mật độ nhưng giảm đa dạng sinh học
	Phòng thí nghiệm	Điều kiện giàu hữu cơ dẫn đến tăng mật độ giống <i>Chromadora nudicapitata</i> , <i>Daptonema normandicum</i> và <i>D. hirsutum</i> nhưng giảm <i>D. setosum</i> và <i>Chromaspirina inglisi</i>
	Địa Trung Hải	<i>Sabatieria</i> và <i>Terschellingia</i> là 2 giống ưu thế ở các cảng có nồng độ hữu cơ cao
Kim loại nặng	Cửa sông Swartkops, Nam Phi	Thay đổi thành phần, mật độ, và đa dạng sinh học. Giống <i>Axonolaimus</i> , <i>Theristus</i> , và <i>Paramonhystera</i> chiếm ưu thế
	Vịnh Budle, Biển Bắc	Tích lũy kim loại nặng trong cơ thể tuyến trùng
	Biển Bắc	Giống <i>Diplolaimella</i> chống chịu kim loại nặng
	Ostende, Bỉ	Giống <i>Monhystera disjuncta</i> chống chịu kim loại nặng

Một số đặc điểm khác của quần xã tuyến trùng như kích thước nhỏ, vòng đời ngắn và khả năng trao đổi chuyển hóa vật chất nhanh. Nhờ những đặc điểm này, QXTT có tiềm năng trở thành chỉ thị cho sự thay đổi hay biến đổi chất lượng môi trường trong các hệ sinh thái [184]. Sự sống của sinh vật luôn chịu ảnh hưởng chặt

chê từ môi trường xung quanh. Mọi thay đổi môi trường đều tác động trực tiếp hoặc gián tiếp lên các cơ thể sống. Tuy nhiên, nhờ sự phong phú và đa dạng quần xã tuyền trùng, cho nên việc thu thập mẫu tuyền trùng trở nên dễ dàng, điều này khiến QXTT trở thành một công cụ hiệu quả trong việc đánh giá chất lượng môi trường và sử dụng trong quan trắc môi trường. Mặc dù, QXTT được biết đến và sử dụng chậm hơn nhiều so với nhiều nhóm sinh vật khác trong việc đánh giá và quản lý môi trường, nhưng quần xã tuyền trùng đã và đang chứng tỏ mình là một công cụ đáng tin cậy, có hiệu quả hơn so với nhiều nhóm động vật truyền thống. Nhờ tính linh hoạt và khả năng thích ứng, QXTT ngày càng được sử dụng rộng rãi, trở thành một lựa chọn tốt trong nghiên cứu và giám sát môi trường.

Mặc dù, đã có một số nghiên cứu về tuyền trùng ở sông Ba Lai và khu vực sông Mê Kông liên quan đến cấu trúc trầm tích và yếu tố môi trường nhưng chưa có nghiên cứu sử dụng chỉ thị tuyền trùng với khí nhà kính (metan) và khí độc hydro sulfua, đây cũng là nghiên cứu đầu tiên đánh giá tương quan giữa tuyền trùng với khí  $H_2S$ ,  $CH_4$  và đặc biệt sử dụng tuyền trùng làm chỉ thị cho sự phát thải khí  $H_2S$ ,  $CH_4$  tại sông Ba Lai có đập chắn.

#### *1.4.3.2. Sử dụng các chỉ số đa dạng của quần xã tuyền trùng*

Các chỉ số đa dạng tuyền trùng có vai trò quan trọng trong đánh giá chất lượng môi trường. Trong số các chỉ số này, chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H'$ ) thuộc nhóm đa dạng  $\alpha$ , là chỉ số đa dạng cơ bản, cũng là chỉ số đa dạng quan trọng dùng để đo lường sự đa dạng loài hay nói cách khác là biểu thị số lượng loài và mật độ phân bố của mỗi loài trong một khu vực khảo sát hoặc một sinh cảnh [185]. Nghiên cứu của Moreno và cộng sự (2011) đã phân loại chất lượng môi trường dựa vào chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H'$ ), chỉ số  $H'$  càng cao thì môi trường càng sạch [186]. Tuy nhiên, mối liên hệ giữa sự xáo trộn trong tự nhiên và tính đa dạng của tuyền trùng là phức tạp [187], mặt khác cấu trúc tự nhiên và đặc điểm vật lý của trầm tích cũng ảnh hưởng đến đa dạng tuyền trùng [188]. Điều này làm hạn chế tính ứng dụng của chỉ số đa dạng nhóm  $\alpha$  nói chung và chỉ số  $H'$  nói riêng trong đánh giá chất lượng môi trường.

Nghiên cứu của Bevilacqua và cộng sự (2012) đã chỉ ra rằng các chỉ số đa dạng nhóm  $\gamma$  và  $\alpha$  không có mối tương quan ý nghĩa với yếu tố môi trường, trong khi chỉ số đa dạng nhóm  $\beta$  lại rất nhạy cảm với sự thay đổi của môi trường [189]. Vì vậy, chỉ số đa dạng nhóm  $\beta$  có tiềm năng trong việc đánh giá chất lượng môi trường. Tuy nhiên, vẫn còn ít nghiên cứu sử dụng chỉ số đa dạng nhóm  $\beta$  trong giám sát sinh học và chưa có thang đánh giá môi trường dựa trên chỉ số này (như đã được Tổ chức Liên minh Châu Âu về chỉ thị khung nước áp dụng) [189].

#### 1.4.3.3. Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD, *Index of trophic diversity*)

Các thay đổi trong môi trường, như xáo trộn hoặc ô nhiễm, có thể làm thay đổi nguồn cung cấp thức ăn và gây ảnh hưởng đến kiểu dinh dưỡng của quần xã tuyến trùng [190]. Wieser (1953) đã phân loại tuyến trùng thành bốn nhóm dinh dưỡng (feeding type) dựa vào hình dạng của khoang miệng [191]. Nhóm 1B đã được nghiên cứu cho thấy có xu hướng giảm trong trầm tích bị nhiễm dầu tràn [192], nhưng lại tăng trong điều kiện trầm tích bị phú dưỡng hữu cơ [193]. Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD) dựa vào tỷ lệ các nhóm dinh dưỡng trong quần xã. Nghiên cứu của Moreno và cộng sự (2011) đã sử dụng ITD để phân loại chất lượng môi trường, trong đó ITD càng cao thì môi trường càng xấu [186]. Tuy nhiên, hiện chỉ có ít nghiên cứu xác nhận ITD nhạy cảm đối với các biến đổi môi trường [193]. Ngoài ra, hệ thống phân loại của Wieser (1953) [191] vẫn chưa được chấp nhận hoàn toàn bởi các nhà nghiên cứu tuyến trùng học [190]. Do đó, việc sử dụng ITD trong đánh giá môi trường cần được tiếp tục nghiên cứu sâu hơn trong tương lai, trước khi áp dụng rộng rãi trong thực tế.

#### 1.4.3.4. Chỉ số bền vững sinh thái c-p (*colonizer-persister*) kết hợp chỉ số sinh trưởng tuyến trùng (MI, *Maturity Index*)

Một cách hoàn toàn khác để đánh giá chất lượng môi trường là sử dụng chỉ số sinh trưởng MI của quần xã tuyến trùng. Chỉ số MI được tính dựa trên mức độ bền vững sinh thái của từng cá thể tuyến trùng [194]. Chỉ số c-p thể hiện mức độ “thích ứng” của QXTT với các đặc điểm khác nhau của môi trường, được đánh giá từ 1 đến 5 tương ứng với mức độ từ kém bền vững (colonizers) đến mức độ ổn định (persisters) theo Bongers và cộng sự (1991) [194].

Nhóm tuyến trùng có chỉ số c-p 1 có mức độ quần lập cao, dễ thay đổi và tương đồng với tính xáo trộn của môi trường (ví dụ: Rhabditidae, Neodiplogasteridae và Monhysteridae), thời gian thế hệ chỉ vài ngày. Nhóm tuyến trùng có chỉ số c-p 2 là phong phú trong điều kiện xáo trộn nhưng không khắc nghiệt như nhóm c-p 1. Nhóm tuyến trùng có chỉ số c-p 3 là nhóm trung gian và nhóm tuyến trùng có chỉ số c-p 4 là nhạy cảm với xáo trộn trong môi trường. Nhóm tuyến trùng có chỉ số c-p 5 (ngược với nhóm c-p 2) là nhóm có khả năng định cư cao, bền vững đối với môi trường (ví dụ: Enoplidae và Leptosomatidae).

Chỉ số MI đã được chứng minh là nhạy cảm đối với nhiều dạng xáo trộn trong môi trường, bao gồm phú dưỡng, nước thải sinh hoạt, ô nhiễm hydrocacbon, kim loại nặng và mọi loại ô nhiễm khác có thể gây thay đổi cấu trúc quần xã tuyến trùng [194], [195], [193], [196]. Semprucci và cộng sự (2010), cũng đã chỉ ra rằng chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI là một công cụ hiệu quả trong việc đánh giá chất lượng môi

trường so với các chỉ số đa dạng khác như H' và J' [188]. Nghiên cứu của Moreno và cộng sự (2011) cũng đã sử dụng chỉ số sinh trường MI để phân loại chất lượng môi trường, trong đó chỉ số MI càng cao thì môi trường càng ổn định [186].

Tóm lại, chỉ số MI đã chứng tỏ tính nhạy cảm và hiệu quả trong việc đánh giá chất lượng môi trường và nó phản ánh khả năng thích ứng của QXTT đối với nhiều loại xáo trộn khác nhau trong môi trường.

## 1.5. Tổng quan về khu vực nghiên cứu sông Ba Lai

### 1.5.1. Khái quát về đặc điểm sông Ba Lai

Cửa sông Ba Lai thuộc hệ thống cửa sông Mê Kông. Mê Kông là một trong những con sông lớn thế giới có chiều dài 4.880 km [197]. Sông bắt nguồn từ dãy Himalaya, sau đó chảy xuôi về phía Nam qua Trung Quốc, Myanmar, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam. Ở Việt Nam, sông Mê Kông chia thành hai con sông có tên là sông Mê Kông (sông Tiền) và sông Bassac (sông Hậu), cả hai đổ ra biển Đông bởi 8 cửa sông Mê Kông. Sông Tiền chảy thành hai nhánh là sông Mỹ Tho và sông Cổ Chiên trước khi đổ ra 6 cửa sông: Cửa Đại, Cửa Tiểu, Ba Lai, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu. Còn sông Hậu đổ ra 2 cửa: Định An, Trần Đề (Hình 1.5).



**Hình 1.5. Sông Mê Kông và hệ thống 8 cửa sông [168]**

Năm 2002, con đập đầu tiên ở khu vực sông Mê Kông của Việt Nam được xây dựng ở sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre (nay là tỉnh Vĩnh Long). Đập nhằm mục đích giúp người dân giảm thiểu thiệt hại do hạn hán và xâm nhập mặn vào sản xuất nông nghiệp trong mùa khô, điều tiết lũ lụt trong mùa mưa, tưới tiêu cho các cánh đồng bằng nước ngọt và cung cấp nước ngọt cho sinh hoạt hàng ngày [198]. Hệ thống cửa sông Mê

Kông là vùng sinh thái đồng thời vùng kinh tế - xã hội rất quan trọng, nhất là đối với ĐBSCL do nó mang nhiều phù sa từ thượng nguồn để hình thành nên vùng hạ lưu châu thổ, tạo nên sự đa dạng cao về tài nguyên sinh vật dọc theo vùng cửa sông, ven biển phía Nam biển Đông [197]. Sông Mê Kông cung cấp đa dạng các loài nước ngọt và sinh vật biển bao gồm cá và động vật giáp xác sử dụng môi trường sống hiện tại để kiếm ăn, là nơi trú ẩn hoặc di cư cũng như sinh sản của chúng [172]. Ngoài ra, sông Ba Lai còn đóng vai trò chính trong việc cung cấp nước ngọt cho nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt cũng như các hoạt động kinh tế khác như: giao thông thủy, du lịch và nuôi trồng thủy sản, điều hòa và cải thiện khí hậu trong vùng [197, 199].

Tuy nhiên, khu vực cửa sông Mê Kông gần đây đang bị khai thác cho các mục đích phát triển kinh tế xã hội. Sự phân bố của các rừng ngập mặn đã bị giới hạn trong các khu vực nhỏ ở một số cửa sông. Nhiều tác động bất lợi đối với môi trường nước ở các cửa sông Mê Kông ngày càng gia tăng do quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa và sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản. Ngoài ra, nhiều khu rừng ngập mặn và diện tích tự nhiên đã bị chuyển đổi thành các cánh đồng nông nghiệp hoặc trang trại nuôi trồng thủy sản. Điều này dẫn đến suy giảm đa dạng sinh học và chất lượng sinh thái vùng cửa sông. Một số sinh cảnh thủy sinh tự nhiên bị phá hủy hoàn toàn do hoạt động nuôi tôm công nghiệp. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu khoa học về đa dạng sinh học, điển hình như Minh và cộng sự (1999) [200], Zalinger và cộng sự (2004) [201], Mekong River Commission (MRC) (2007) [202], Ikemoto và cộng sự (2008) [203]; Nguyễn Xuân Hiền (2008) [204] nhưng vẫn còn thiếu thông tin về động vật đáy bao gồm cả nhóm tuyến trùng trong khi chúng thường đóng một vai trò quan trọng trong hệ thống cửa sông [205].

Sông Ba Lai là một trong số 8 cửa sông còn lại của hệ thống cửa sông Mê Kông, là nhánh rẽ của sông Tiền ở châu thổ sông Cửu Long, miền Tây Nam Bộ, Việt Nam. Sông Ba Lai có chiều dài 55 km chảy từ ranh giới các xã Tân Phú và Phú Đức (huyện Châu Thành) ra đến biển. Từ những năm đầu thế kỷ 20 trở về sau, do phù sa bồi lắng từ thượng nguồn làm giảm dần nguồn cấp nước từ sông Tiền, nước từ sông Mỹ Tho dần trở nên quan trọng và hiện nay đây là nguồn nước chính đóng góp vào dòng chảy sông Ba Lai.

Lưu vực sông Ba Lai nằm hoàn toàn trong địa phận tỉnh Bến Tre (nay là tỉnh Vĩnh Long), nên có khí hậu nhiệt đới gió mùa, với mùa khô từ tháng XII đến tháng III hoặc tháng IV và mùa mưa khi có gió mùa Tây Nam từ tháng V đến tháng X hoặc tháng XI. Lượng mưa trung bình năm dao động từ 1.500 - 2.350 mm, với 70 - 80% lượng mưa tập trung vào 4 tháng cao điểm của mùa mưa. Nhiệt độ trung bình hàng năm vào khoảng  $26^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  trên toàn vùng đồng bằng. Độ ẩm tương đối duy trì ở

mức cao quanh năm khoảng 82% [206]. Tốc độ gió trong mùa mưa, từ tháng 5 ÷ 11, gió hình thành theo hướng Tây và Tây Nam chiếm 60 ÷ 70%, tốc độ trung bình 2 ÷ 3,9m/s, tối đa 20m/s. Trong mùa khô có gió “Chướng”, hướng gió thống trị là Đông và Đông Bắc xảy ra từ tháng XII đến tháng IV năm sau. Vào các thời điểm giao mùa giữa mùa khô với mùa mưa và ngược lại xuất hiện các cơn gió xoáy làm nước biển dâng cao, tần suất xuất hiện ngày càng cao và đã gây thiệt hại lớn đối với cây trồng và vật nuôi [207].

Sông Ba Lai phía trước đập ảnh hưởng chế độ triều giống với vùng biển Bến Tre, thuộc phạm vi bán nhật triều không đều. Hầu hết các ngày đều có 2 lần nước lên, 2 lần nước xuống. Chênh lệch giữa đỉnh - chân triều những ngày triều lớn có thể đạt từ 2,5 đến 3,5 m. Chênh lệch giữa đỉnh triều - chân triều những ngày triều kém thường dưới hoặc xấp xỉ 1 m. Biên độ hàng ngày kỳ triều cường thường gấp 1,5 lần đến 2 lần kỳ triều kém, song với vùng bán nhật triều chênh lệch này không quá lớn. Trong mỗi chu kỳ nửa tháng, bắt đầu là 1- 2 ngày triều kém, đến giữa chu kỳ là triều cường, cuối kỳ lại là 1- 2 ngày triều kém. Kỳ nước cường thường xảy ra sau ngày không trăng (đầu tháng âm lịch) hoặc ngày trăng tròn (ngày rằm) [199].

Cửa Ba Lai có trắc diện hình chữ U hơi lõm, độ sâu phổ biến từ 5 - 7 m. Lượng nước chảy mùa cạn phân phối cho cửa Ba Lai là 59 m<sup>3</sup>/giây, và mùa lũ là 240 m<sup>3</sup>/giây. Khu vực cửa Ba Lai đang trong quá trình bồi tụ mạnh nhất là bờ bên phải, từ cửa ấp Thạnh Phước đến Bảo Thuận (3 km) và khu vực từ rạch Vũng Luông đến xóm Trên (1 km). Địa hình các dãy tích tụ này phân bố ở độ sâu trung bình 6 m khi triều cường và phần lớn lộ ra khi triều kém, nước ròng, tạo thành các bãi cát ngầm rộng khoảng 500 m. Vùng này hiện là sân bãi nghêu lớn của địa phương, sự xâm thực chỉ xảy ra bên phía bờ trái dài khoảng 500 - 800 m, bắt đầu từ phía rạch Thúy Diễm đến cửa rạch Vũng Luông. Tại đây đáy sông có lạch sâu từ 12 - 14 m. Giống với các cửa sông khác ở Bến Tre, cửa sông Ba Lai đang là quá trình bồi tụ chiếm ưu thế. Hiện tượng xâm thực các cửa sông diễn ra với quy mô nhỏ, liên quan chủ yếu đến hoạt động thủy triều, sóng và do tích tụ ở giữa dòng, từ đó làm lệch dòng chảy [199].

Lưu vực sông Ba Lai chịu chế độ bán nhật triều khá mạnh, và thường bị nước mặn xâm nhập nên các hoạt động nông nghiệp thiên về lúa nước và cây trồng không thuận lợi. Vì vậy hệ thống công đập Ba Lai được hình thành và vận hành vào năm 2002 nhằm ngăn dòng chính, bảo vệ vùng đất phần trung và thượng nguồn không bị mặn hóa do triều cường. Công đập Ba Lai là một trong 9 hạng mục của dự án ngọt hoá Bắc Bến Tre, cũng là một trong những công trình thủy lợi lớn nhất ĐBSCL có chiều dài 544 m, gồm 10 cửa, khẩu độ 84 m, vận hành bằng van tự động 2 chiều. (Hình 1.6).



**Hình 1.6. Cổng đập Ba Lai (Nguồn: NCS chụp tháng 10/2020)**

Sau khi xây dựng, đập Ba Lai đã phát huy hiệu quả ngay và cải thiện diện mạo nông nghiệp cho tỉnh Bến Tre. Tuy nhiên, sau một thời gian vận hành, các mặt trái của việc xây dựng đập ngăn mặn đã lộ ra những bất cập, gây ra những hậu quả nghiêm trọng đến sinh thái và sinh kế của cộng đồng địa phương [8]. Việc xây dựng cổng đập Ba Lai đã làm thay đổi hệ sinh thái của vùng, nhất là hệ sinh thái nước lợ, khiến cho nhiều loài bị suy giảm mật độ và biến mất do thay đổi môi trường sống. Ngoài ra, việc ngăn đập cũng gây ảnh hưởng đến việc lưu thông đường thủy qua lại trên sông khu vực thượng và hạ nguồn của cổng đập bị hạn chế. Bên cạnh đó, do ảnh hưởng tốc độ dòng chảy bị suy giảm, lượng phù sa bồi lấp nhanh nên lòng sông trở nên cạn dần cả bên trong đập lẫn bên ngoài đập, làm tăng nguy cơ mất dần cửa sông Ba Lai [208].

### ***1.5.2. Đa dạng sinh học và giá trị tài nguyên thủy sản của sông Ba Lai***

Trước khi đập được xây dựng, nguồn lợi cá trên sông Ba Lai ghi nhận 144 loài, thuộc 101 giống, 54 họ và 19 bộ. Trong số đó, theo Danh lục Đỏ IUCN (2024), có 1 loài được xếp ở mức nguy cấp (EN, chiếm 0,69%), 2 loài gần bị đe dọa (NT, 1,39%), 8 loài thiếu dữ liệu (DD, 6,25%) và 97 loài ít quan tâm (LC, 67,36%). Tại khu vực sông Ba Lai ghi nhận 80 loài cá được xác định là loài di cư hoặc có liên quan đến di cư, trong đó chỉ có 1 loài di cư trong môi trường nước ngọt, còn lại 79 loài di cư từ biển vào [209, 210, 211]. Năm 2002, đập Ba Lai đi vào hoạt động, từ đó đến nay chưa

có bất kỳ nghiên cứu nào về so sánh sự thay đổi trong khu hệ cá trước và sau khi đập vận hành.

Quần xã động vật không xương sống cỡ lớn tại cửa sông Ba Lai có mức độ đa dạng cao, với tổng cộng 76 loài thuộc 49 họ, 24 bộ, 06 lớp (Bivalvia, Gastropoda, Malacostraca, Maxillopoda, Oligochaeta và Polychaeta), phân bố trong 03 ngành chính: Thân mềm (Mollusca), Chân khớp (Arthropoda) và Giun đốt (Annelida). Trong đó, ngành Thân mềm chiếm ưu thế rõ rệt với 57,78% tổng số cá thể, tiếp theo là ngành Chân khớp với 37,83%, trong khi ngành Giun đốt chỉ chiếm 4,39%. Trong ngành Thân mềm, lớp Hai mảnh vỏ (Bivalvia) có tỷ lệ vượt trội so với lớp Chân bụng (Gastropoda), lần lượt chiếm 41,60% và 16,18% tổng số cá thể. Sự áp đảo của lớp Bivalvia chủ yếu nhờ vào sự xuất hiện với mật độ cao của loài nghêu Bến Tre (*Meretrix lyrata*) tại khu vực cửa sông Ba Lai, từ 470 đến 3160 cá thể/m<sup>2</sup> [212].

Một nghiên cứu khác của tác giả Tran và cộng sự (2024) tập trung vào nhóm động vật không xương sống đáy (epifauna) cho thấy nguồn lợi nhóm sinh vật này tại cửa sông Ba Lai khá lớn với khoảng 15 loài, mật độ trung bình đạt 159 cá thể/1000 m<sup>2</sup>, tập trung vào nhóm giáp xác mười chân (Decapoda). Một số loài giáp xác mười chân có giá trị kinh tế ghi nhận ở cửa Ba Lai gồm tôm càng xanh *Macrobrachium rosenbergii*, tép bầu *Macrobrachium equidens*, tôm sắt cứng *Parapenaeopsis hardwickii*, tép bạc trắng *Metapenaeus lysianassa*, tôm chông *Exopalaemon vietnamicus*, tép mỏng sen *Macrobrachium mirabile* [213].

Hiện nay, khu vực cửa sông Ba Lai đang diễn ra quá trình bồi lắng mạnh, tạo nên các vùng bồi tụ rộng lớn, đặc biệt dọc theo hai bên bờ sông. Điều kiện này rất thuận lợi cho sự hình thành các bãi nghêu tự nhiên, mang lại giá trị kinh tế đáng kể cho địa phương [212]. Ngoài ra, nguồn lợi thủy sản ở sông Ba Lai, nhất là cá và động vật không xương sống cũng là nguồn khai thác và thu nhập chính của người dân trong vùng.

### **1.5.3. Tác động của đập chắn đến hệ sinh thái tự nhiên sông Ba Lai, Bến Tre**

Đập Ba Lai từ khi xây dựng xong đã tạo nên một môi trường “sông - hồ” trong lưu vực. Hiện trạng môi trường của sông này đã bị tác động khác hẳn với hệ sinh thái tự nhiên của vùng cửa sông Mê Kông. Trong nghiên cứu của Ngo và cộng sự (2013, 2016) dùng phương pháp sử dụng sinh vật chỉ thị là tuyến trùng và động vật đáy không xương sống cỡ trung bình để đánh giá và giám sát chất lượng môi trường tại 8 cửa sông Mê Kông cho thấy chất lượng môi trường ở cửa sông Ba Lai hoàn toàn khác biệt, kém hơn so với 7 cửa sông còn lại [7], [133]. Các nghiên cứu và khảo sát sâu hơn cho thấy hệ sinh thái trên sông Ba Lai hoàn toàn tách biệt thành 2 nhóm: trong đập - ngoài đập, do điều kiện môi trường ở 2 nhóm này rất khác nhau [214]. Trong

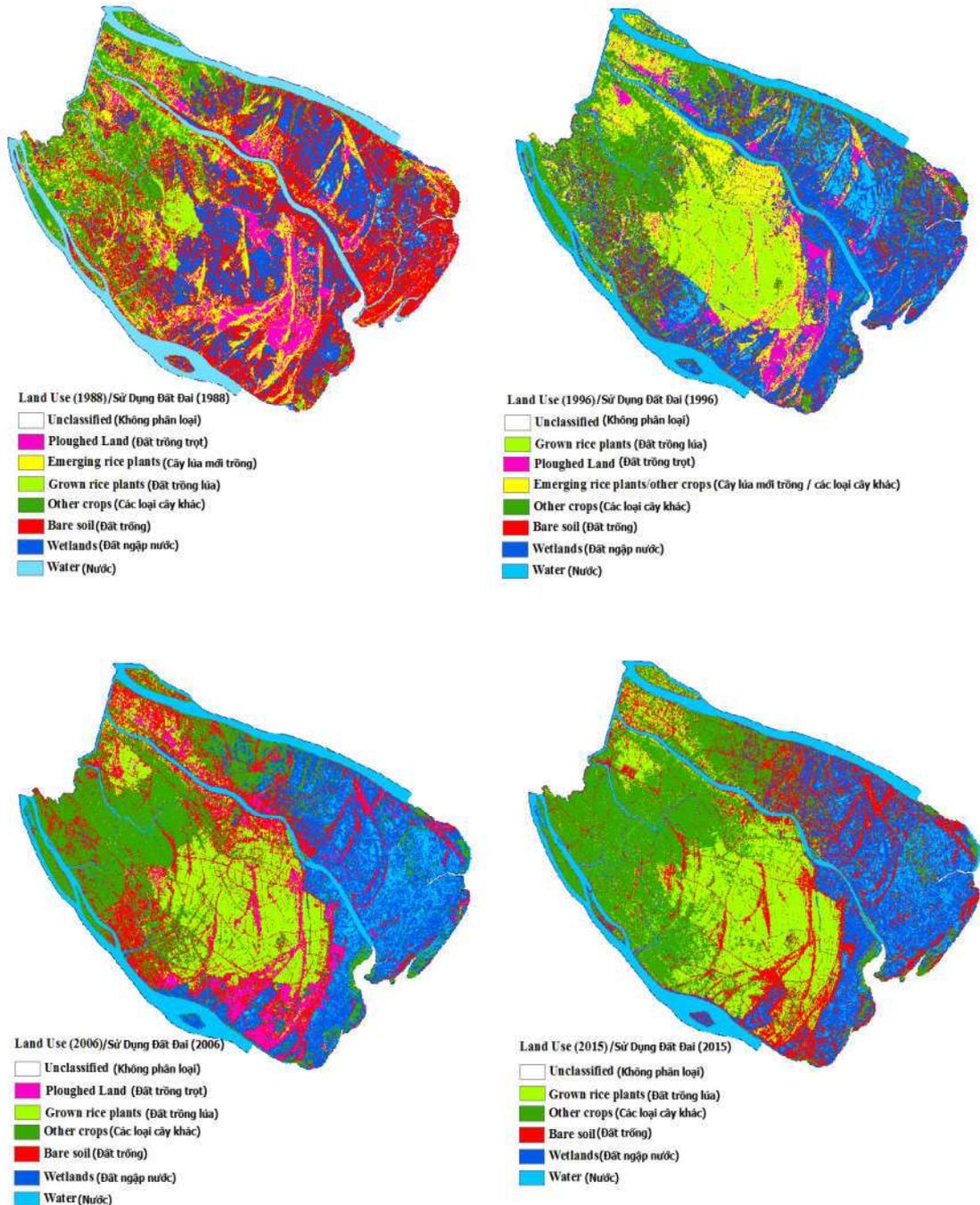
đập có sự tích lũy về chất hữu cơ, kim loại nặng và khí nhà kính hơn ngoài đập. Đặc biệt, nồng độ Asen (As) tại một số vị trí đã vượt hơn chuẩn cho phép rất nhiều lần. Không chỉ vậy, đập đã làm thay đổi phức tạp thêm chế độ dòng chảy lũ, tạo diễn biến xấu về bồi lắng, xói lở 2 bên bờ tại các huyện Châu Thành, Giồng Trôm, Bình Đại, thậm chí làm biến mất hoàn toàn một cù lao tiếp giáp kênh An Hóa. Vùng ngoài đập Ba Lai chịu nhiều tác động, chủ yếu là tăng xâm nhập mặn, tăng ngập úng do thủy triều gây sạt lở, bồi lấp lòng sông, hình thành các bãi bồi [215].

Theo tính toán của Nguyễn Thế Biên (2014), quá trình bồi tụ vùng lòng hồ sông Ba Lai trong khoảng thời gian từ trước năm 2002 đến 2009, cho thấy đáy sông Ba Lai đã bồi lên từ 1,5 ÷ 2m, tính trung bình là 1,75m trong khi phía cửa sông cũng đang trong quá trình bồi tụ, mạnh nhất là bờ bên phải, từ ấp Thạnh Phước đến Bảo Thuận tới 3 km và từ rạch Vũng Luông đến xóm Trên tới 1 km. Quá trình bồi tụ cùng với phát triển của rừng ngập mặn đã gần như che kín vùng cửa sông Ba Lai [207]. Khu vực huyện Bình Đại, ô nhiễm môi trường thường xảy ra cục bộ: do đập chỉ xả nước 2 lần/tháng (1-2 ngày/lần) nên gây ra sự ứ đọng các chất thải, chất gây ô nhiễm làm ô nhiễm cục bộ trong khu vực, đặc biệt là ô nhiễm do xả thải từ nuôi trồng thủy sản [215].

Theo nghiên cứu của Veettil và Ngo (2018), đã dùng hình ảnh LANDSAT để tính toán các biến số chất lượng nước cũng như thay đổi độ che phủ của đất gần sông Ba Lai, trước và sau khi hình thành đập (Hình 1.7). Kết quả thể hiện rõ có rất nhiều thay đổi trong sử dụng đất và che phủ đất ở khu vực này kể từ khi xây dựng đập Ba Lai, đặc biệt là trong tập quán nông nghiệp như trồng lúa luân canh và các loại cây trồng khác. Nghiên cứu này quan sát thấy rằng chất lượng nước đã bị giảm và trở nên ô nhiễm hơn với các vật chất hữu cơ. Các biến chất lượng nước như diệp lục (tảo), nitơ và phốt pho đã tăng lên giữa trước và sau khi xây đập [10].

Song song với chu trình sinh địa hóa, ảnh hưởng của đập Ba Lai còn làm mất đi hệ sinh thái tự nhiên vùng cửa sông, tính đa dạng sinh học trong vùng bị giảm sút. Tran và cộng sự (2018) cũng ghi nhận, đập Ba Lai đã làm suy giảm tính đa dạng của quần xã sinh vật chỉ thị là tuyến trùng sống tự do trong trầm tích [214]. Thêm nữa, đập đã làm thay đổi cấu trúc sinh thái chuyển từ lợ sang ngọt. Theo kế hoạch ban đầu, nếu như trước đây toàn bộ khu vực Bình Đại có khoảng 6 tháng nước ngọt và 6 tháng nước mặn thì hiện nay khu vực phía sau đập Ba Lai gần như bị mặn hoá hoàn toàn, ngược lại khu vực trên đập lại gần như bị ngọt hoá (chỉ có 1 tháng nước lợ). Sự thay đổi này đã kéo theo một hệ sinh thái mới phát triển. Các loài động-thực vật thích nghi với hệ sinh thái lợ, mặn biến mất dần ở khu vực trên đập, bao gồm cả khu vực sân chim Vàm Hồ (như: đước, mắm, tôm sứt, các loại cua, còng, cá bóng sao, cá kèo, cá

úc, ...) thay vào đó là các loài cá nước ngọt xuất hiện gần như quanh năm (cá rô phi, cá lòng tong, cá sặc, cá dầm, ...) [215]. Trong số các nguyên nhân suy giảm về chất lượng môi trường nước và nền đáy ở cửa sông Ba Lai thì việc ngăn dòng xây cống đập đã tạo ra những tác động tiêu cực đến môi trường sinh thái, ảnh hưởng đến nguồn lợi thủy sinh vật. Với tốc độ bồi lắng nhanh, việc nạo vét sông Ba Lai có vẻ như chỉ là lý tưởng so với thực tế diễn ra. Điều đó dẫn đến nguy cơ cửa sông thứ 8 của hệ thống cửa sông Mê Kông sẽ biến mất hoàn toàn trong một tương lai gần.



**Hình 1.7. Hình LANDSAT thể hiện sự thay đổi trong cơ cấu sử dụng đất lưu vực sông Ba Lai qua các năm 1988, 1996, 2006 và 2015 [10]**

Việc xây dựng đập Ba Lai đã làm thay đổi đáng kể các đặc điểm thủy văn và hóa lý của nước mặt cũng như trầm tích trong khu vực hạ lưu sông. Nhiều nghiên cứu trước đây đã ghi nhận rằng, sự thay đổi về độ mặn, hàm lượng oxy hòa tan, chất hữu cơ và thành phần hạt trầm tích sau khi xây đập đã tác động mạnh đến cấu trúc và thành phần loài của quần xã tuyền trùng sống tự do. Những kết quả này, cho thấy tuyền trùng là nhóm sinh vật đặc biệt nhạy cảm với biến động môi trường, phản ánh rõ ràng các tác động do thay đổi chế độ nước và điều kiện nền đáy; đồng thời tuyền trùng có tiềm năng lớn trong việc sử dụng làm chỉ thị sinh học cho ảnh hưởng của các công trình đập chắn.

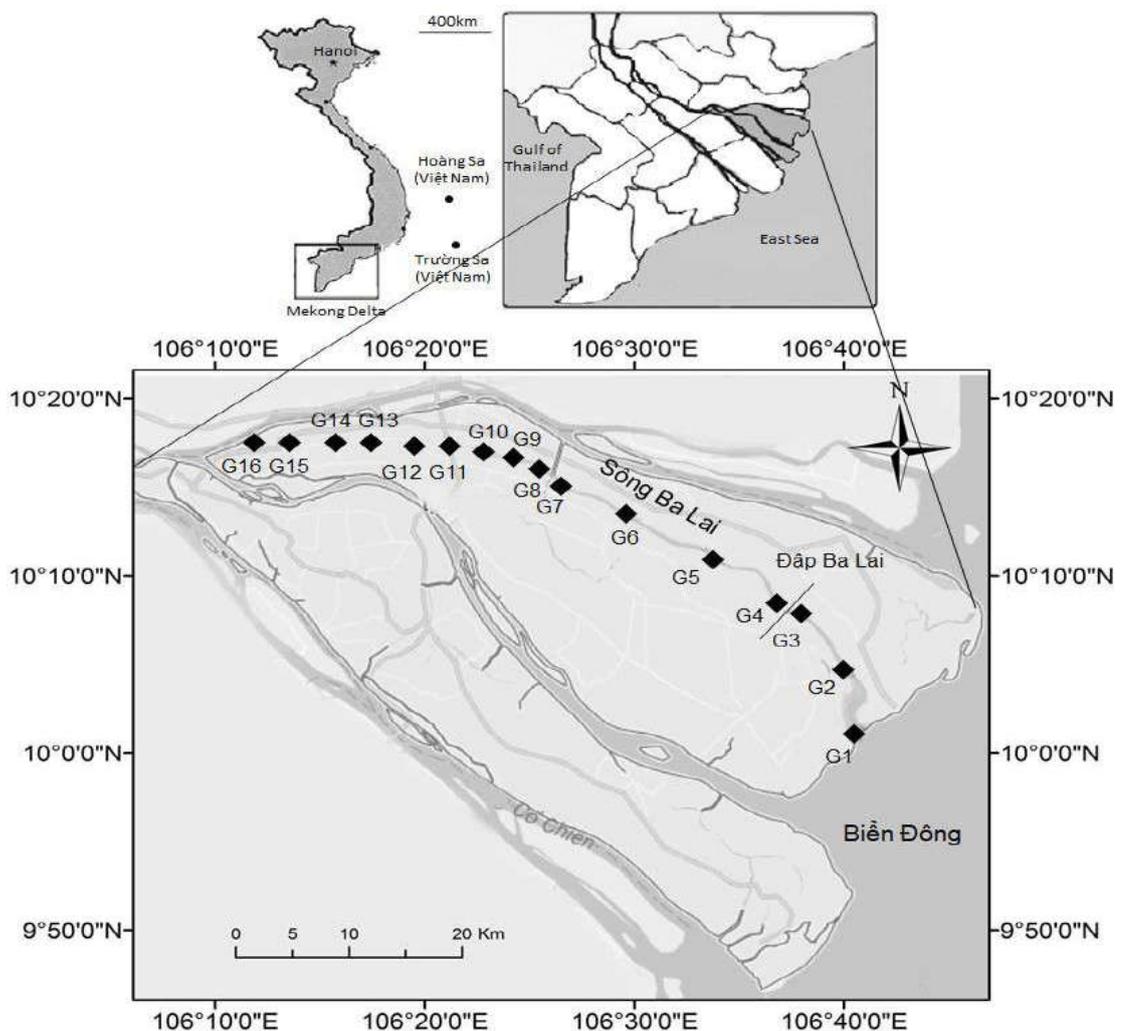
Bên cạnh đó, một trong những hệ quả sinh thái quan trọng nhưng ít được chú ý của các hồ chứa nhân tạo là sự tích lũy vật chất hữu cơ trong trầm tích, dẫn đến quá trình phân hủy yếm khí và phát thải các khí nhà kính ( $\text{CH}_4$ ) và khí độc  $\text{H}_2\text{S}$ . Đập Ba Lai là một trường hợp điển hình, nơi mà sự thay đổi chế độ dòng chảy và trao đổi nước biển – nước ngọt tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành các quá trình sinh địa hóa đặc trưng trong trầm tích. Do đó, đây là hệ thống tự nhiên - nhân tạo lý tưởng để nghiên cứu mối liên hệ giữa phát thải khí nhà kính từ trầm tích hồ chứa do đập chắn và sự đáp ứng của quần xã tuyền trùng. Việc làm sáng tỏ mối quan hệ này không chỉ giúp hiểu rõ hơn cơ chế phản ứng sinh thái của tuyền trùng trước biến động môi trường, mà còn cung cấp bằng chứng khoa học cho công tác quản lý và đánh giá tác động sinh thái của các công trình thủy lợi tại vùng hạ lưu ven biển.

## CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Địa điểm khu vực nghiên cứu và thời gian khảo sát

Nghiên cứu tiến hành đo đạc các thông số môi trường và thu mẫu trầm tích tại 16 vị trí ở vùng triều của sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre (nay là tỉnh Vĩnh Long) theo thứ tự từ cửa sông lên thượng nguồn (ký hiệu từ G1 đến G16), trong đó vị trí G1 đến G3 nằm ở ngoài đập Ba Lai, vị trí G4-G7 trong đập Ba Lai và vị trí từ G8 - G16 là thượng nguồn (Hình 2.1).

Nghiên cứu được thực hiện mỗi năm 2 đợt, ứng với chu kỳ mùa khô (tháng III) và mùa mưa (tháng X) ở miền nam Việt Nam, cụ thể: mùa mưa (2019 và 2020), mùa khô (2020 và 2021). Mùa mưa, việc thu mẫu được thực hiện tại thời điểm lúc mở cống đập và mùa khô thu mẫu tại thời điểm đóng cống đập.



Hình 2.1. Bản đồ vị trí khu vực thu mẫu trên sông Ba Lai, Bến Tre

**Bảng 2.1.** Tọa độ vị trí thu mẫu trên sông Ba Lai theo hệ tọa độ quốc gia VN-2000

Vị trí lấy mẫu	Tọa độ		Vị trí lấy mẫu	Tọa độ	
	Vĩ độ	Kinh độ		Vĩ độ	Kinh độ
<b>G1</b>	10°02'29,1"N	106°40'49,4"E	<b>G9</b>	10°16'40,5"N	106°24'44,2"E
<b>G2</b>	10°06'12,7"N	106°40'24,7"E	<b>G10</b>	10°17'19,8"N	106°23'13,4"E
<b>G3</b>	10°08'32,5"N	106°37'52,0"E	<b>G11</b>	10°17'37,8"N	106°21'22,2"E
<b>G4</b>	10°08'32,8"N	106°37'51,5"E	<b>G12</b>	10°18'18,9"N	106°19'44,7"E
<b>G5</b>	10°10'17,7"N	106°36'48,6"E	<b>G13</b>	10°18'12,7"N	106°17'20,0"E
<b>G6</b>	10°13'01,3"N	106°31'18,3"E	<b>G14</b>	10°18'00,4"N	106°15'27,6"E
<b>G7</b>	10°15'42,8"N	106°26'45,8"E	<b>G15</b>	10°17'30,5"N	106°12'40,8"E
<b>G8</b>	10°16'01,3"N	106°26'12,6"E	<b>G16</b>	10°17'59,7"N	106°11'28,6"E

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu khí hydro sulfua, khí metan và các yếu tố môi trường trầm tích sông Ba Lai

### 2.2.1. Phương pháp thu và bảo quản mẫu ngoài thực địa

Tại hiện trường sử dụng ống core thép cắm sâu xuống nền đáy sông khoảng 15 cm và thu toàn bộ mẫu trầm tích lớp mặt ở độ sâu 10 cm cho vào một thau inox (đường kính 55 cm), đảm bảo giữ nguyên một tầng bùn còn nguyên vẹn. Sau khi gạn đổ lớp nước một cách cẩn thận, bùn được lấy theo thứ tự dành cho phân tích khí hydro sulfua, khí metan, đo thế oxy hóa khử (ORP - Oxidation Reduction Potential), pH và độ mặn.

+ Đối với lấy mẫu khí hydro sulfua ( $H_2S$ ): Lớp bùn bề mặt (0 – 2 cm) được lấy vào đầy đến miệng ống nhựa PP (*polypropylene, ISOLAB, dung tích 50 mL*), đảm bảo không có không khí khi đậy nắp ống. Phần nắp ống chứa mẫu được quấn giấy parafilm để bảo đảm ống kín hoàn toàn, sau đó mẫu được bảo quản lạnh bằng đá khô.

+ Đối với lấy mẫu khí metan ( $CH_4$ ): Lớp bùn bề mặt (0 – 2 cm) được lấy một cách nhẹ nhàng bằng một ống xylanh nhựa (*dung tích 12 mL/cc*), giữ tránh xáo động và biến dạng lớp bùn nhằm giảm thiểu tối đa sự thoát khí  $CH_4$ . Khoảng 10 mL mẫu bùn được lấy vào ống vial thủy tinh (*dung tích 40 mL*) có khối lượng biết trước chứa

sẵn 5 mL dung dịch NaOH 0,1 N để ức chế ngừng hoạt động của các vi sinh vật tạo ra CH<sub>4</sub>. Tiến hành nhanh đậy kín mẫu bằng nắp mở vận có lót septum silicon, thực hiện quấn giấy parafilm, tiến hành lắc mẫu để bùn trộn lẫn đều với dung dịch NaOH. Mẫu được bảo quản lạnh bằng đá khô.

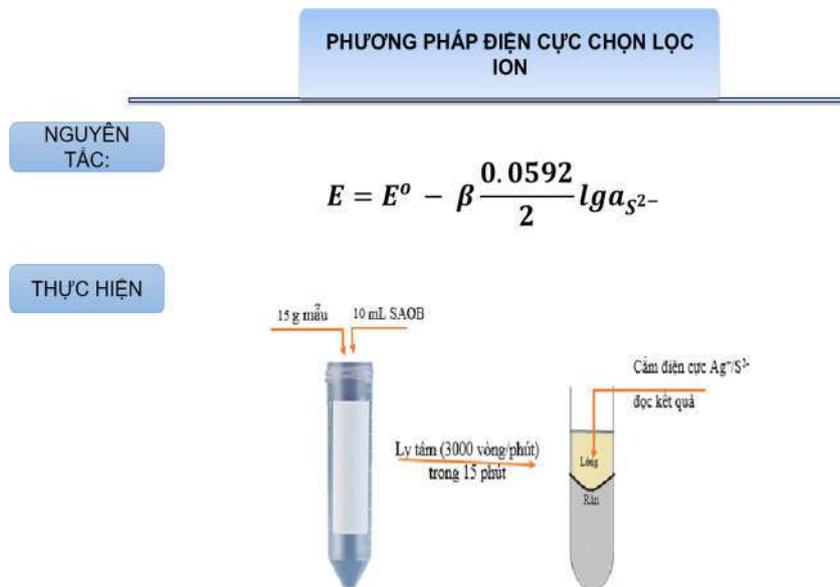
- Các thông số môi trường cơ bản của trầm tích được đo nhanh tại hiện trường bằng thiết bị máy đo điện tử cầm tay, lần lượt đo thứ tự: ORP (mV) bằng máy đo điện tử hiệu MILWAUKEE MW500 và đo pH bằng máy đo điện tử hiệu MILWAUKEE MW102, đo độ dẫn điện bằng thiết bị máy đo điện tử WTW ProfiLine Cond 3310. Các thông số được đo lặp lại 03 lần, lấy giá trị trung trung bình, đọc ghi kết quả.

- Mẫu thu được bảo quản lạnh trong đá khô và vận chuyển về Phòng thí nghiệm Hoá phân tích, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh cho đến khi phân tích.

### 2.2.1. Phương pháp phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm

- Kích thước hạt trầm tích được phân tích bằng máy sàng rây RETSCH, model: AS 200 BASIC của hãng RETSCH (Đức). Các thành phần trầm tích được phân loại theo kích thước hạt: Cát (50 – 2000 μm), bùn (2 – 50 μm), sét (< 2 μm) theo Zancanaro và cộng sự (2020) [216].

- Nồng độ khí hydro sulfua (mM) được phân tích bằng phương pháp điện cực màng chọn lọc ion theo phương pháp của Brown và cộng sự (2011), hình 2.2 [217]:

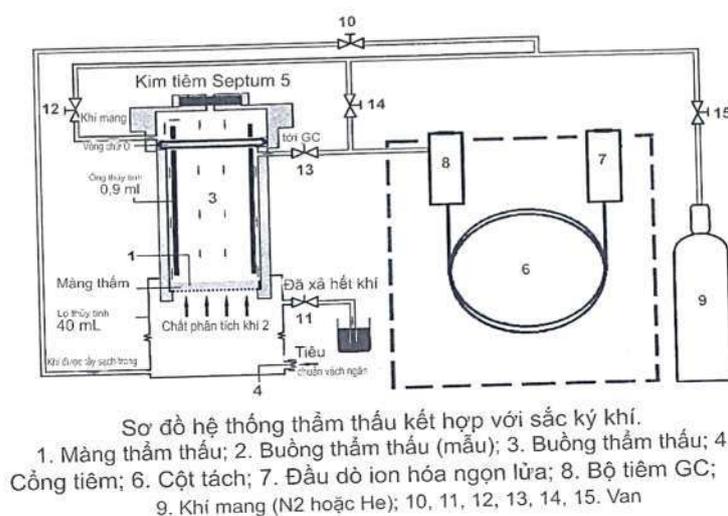


**Hình 2.2. Quy trình thí nghiệm phân tích mẫu khí H<sub>2</sub>S trong trầm tích [217]**

Khí hydro sulfua tổng trong mẫu ở dạng H<sub>2</sub>S, HS<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup> và các dạng sulfua dễ tan. Mẫu đựng trong ống nhựa PP (50 mL) được rã đông nhẹ ở 4°C, rồi tiến hành ly tâm ở 3000 vòng/phút (rpm) trong 5 phút. Sau khi lớp nước bị loại bỏ, trầm tích được đồng nhất bằng thìa inox. Một phần 10 mL mẫu được chuyển vào một ống nhựa PP

khác có chia độ chứa sẵn 10 mL dung dịch đệm chống oxy hóa sulfua (Sulfide Anti-Oxidant Buffer-SOAB) và tiếp tục xoay (đánh vortex). Hỗn hợp được ly tâm và hàm lượng sulfide trong phần dịch ly tâm bên trên được đo ngay lập tức để tránh sự phân hủy của ion sulfua với điện cực chọn lọc ion sulfua. Mỗi mẫu được đo 3 lần, lấy giá trị trung bình, đọc ghi kết quả.

+ Nồng độ khí metan ( $\mu\text{M}$ ) được phân tích bằng phương pháp sắc ký khí (GC) có đầu dò detector ion hóa ngọn lửa (FID) theo phương pháp của Leloup và cộng sự (2007), hình 2.3 [218]:



**Hình 2.3. Quy trình thí nghiệm phân tích mẫu khí  $\text{CH}_4$  trong trầm tích [218]**

Metan ở pha hơi trong mẫu được đưa vào thiết bị sắc ký khí (Shimadzu 2010, Japan) bằng một kim tiêm kín khí 100  $\mu\text{l}$  (SGE, USA), qua hệ thống buồng tiêm không chia dòng, được tách trên cột Alumina Sulfat PLOT (30 m  $\times$  0,53 mm  $\times$  10  $\mu\text{m}$ , Supelco, USA) và phát hiện bằng đầu dò ion hóa ngọn lửa. Nhiệt độ buồng tiêm và lò cột được giữ không đổi ở 35°C. Khí Nitơ được hấp phụ qua cột mẫu ở tốc độ 90 cm/s. Nhiệt độ detector (máy dò) được giữ ở 250°C và máy dò ion hóa ngọn lửa vận hành ở nhiệt độ 250°C với lưu lượng dòng khí hydro và không khí lần lượt là 40 ml/phút và 400 ml/phút. Mỗi mẫu khí được tiêm lặp 5 lần và hàm lượng metan trong mẫu được định lượng qua đường chuẩn khí metan dùng bình khí chuẩn (15 ppmv, Agilent).

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai

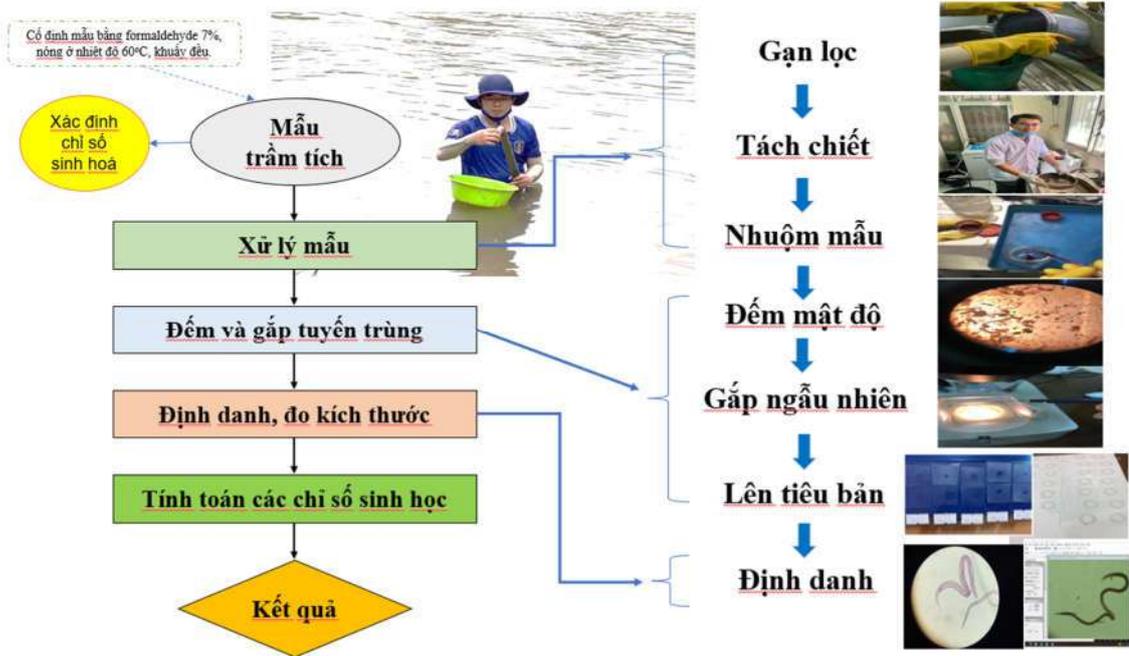
#### 2.3.1. Phương pháp thu và bảo quản mẫu tuyến trùng ngoài thực địa

Dùng ống core cắm sâu xuống nền đáy khoảng 15 cm và thu toàn bộ mẫu trầm tích lớp mặt ở độ sâu 10 cm. Mỗi vị trí thu mẫu lặp lại 3 lần. Mẫu trầm tích chứa trong lọ nhựa (dung tích 300 gram) được cố định bằng dung dịch formaldehyde 7%,

nóng ở 60°C ngoài hiện trường và chuyển về phòng thí nghiệm của Phòng Công nghệ và Quản lý môi trường, Viện Khoa học sự sống để tiến hành xử lý và phân tích.

### 2.3.2. Phương pháp phân tích mẫu tuyến trùng trong phòng thí nghiệm

Trong phòng thí nghiệm, mẫu trầm tích được sàng lọc qua rây có kích thước 1 mm và thu gom toàn bộ mẫu trên rây có kích thước 38  $\mu\text{m}$ , sau đó tách lấy mẫu tuyến trùng bằng phương pháp sử dụng dung dịch Ludox - TM50 (tỉ trọng 1,18) [219]. Nhuộm mẫu với dung dịch Rose Bengal 1%, sau đó quan sát trên kính lúp soi nổi SZ-COUS PM01 xác định mật độ. Chọn ngẫu nhiên 100 cá thể tuyến trùng (chọn tất cả các mẫu dưới 100) xử lý lên tiêu bản theo phương pháp của De Grisse (1969) [220]. Định danh đến cấp độ giống (genus) theo các khóa phân loại của Platt và Warwick (1983, 1988) [221, 222], Warwick và cộng sự (1988) [223], định danh các giống tuyến trùng nước ngọt theo Zullini (2010) và Nguyễn Vũ Thanh (2007) [224, 225]. Ngoài ra, tham khảo thêm và đối chiếu với cơ sở dữ liệu tuyến trùng trực tuyến NEMYS của Đại học Ghent, Vương quốc Bỉ [226] (Hình 2.4).



Hình 2.4. Quy trình phân tích xử lý mẫu tuyến trùng trong phòng thí nghiệm

### 2.3.3. Phương pháp phân tích số liệu quần xã tuyến trùng

#### 2.3.3.1. Phân tích đặc điểm quần xã tuyến trùng

Đặc điểm của quần xã tuyến trùng về mật độ được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2019, số liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  độ lệch chuẩn. Các chỉ số như độ phong phú về giống (S), chỉ số đa dạng Shannon - Weiner (H'), chỉ số phong phú Margalef (d), chỉ số đồng đều Pielou's (J), và chỉ số đa dạng

Hill ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_{inf}$ ) được dùng để đánh giá mức độ đa dạng sinh học quần xã. Công thức tính toán các chỉ số đa dạng như sau:

- ❖ Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) [227]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{n} \log_2 \frac{n_i}{n}$$

Trong đó:

$n_i$  là số lượng của các cá thể của loài thứ  $i$  trong mẫu lấy từ một quần xã;  
 $n$  là số lượng của các cá thể trong mẫu lấy từ một quần xã.

- ❖ Chỉ số phong phú Margalef ( $d$ ) theo Margalef (1958) [228]:

$$d = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

Trong đó:  $S$  là số lượng loài trong mẫu;

$N$  là tổng số lượng tế bào trong mẫu.

- ❖ Chỉ số đồng đều Pielou's ( $J'$ ) theo Pielou (1966) [229]:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Trong đó:  $H'$  là chỉ số đa dạng sinh học Shannon - Weiner;

$S$  là tổng số loài trong mẫu thu.

- ❖ Chỉ số đa dạng Hill theo Hill (1973) [230].

- Hill  $N_1$ :  $N_1 = e^{H'}$ ; Trong đó:  $H'$  là chỉ số đa dạng sinh học Shannon-Weiner

- Hill  $N_2$ :  $N_2 = \frac{1}{SI}$ ; Trong đó,  $SI = \sum P_i^2$ , Simpson's dominance index

- Hill  $N_{inf}$ :  $N_{inf} = \frac{1}{p_1}$ ; Trong đó:  $p_1$  là tỷ lệ của taxon ưu thế nhất

## 2.4. Phương pháp phân tích thống kê

### 2.4.1. Phân tích thống kê số liệu khí $CH_4$ , $H_2S$ và các thông số môi trường

Phân tích Shapiro-Wilk và Levene dùng để kiểm tra điều kiện phân phối chuẩn (normal distributions) và tính đồng nhất trong phương sai (homogeneity of variances) ( $p > 0,05$ ). Số liệu sẽ được chuyển về dạng log hoặc căn bậc hai nếu không thỏa mãn điều kiện phân phối chuẩn và phương sai đồng nhất. Nếu thỏa mãn điều kiện thì phân tích phương sai ANOVA hai yếu tố được sử dụng để kiểm tra sự khác biệt ý nghĩa thống kê của các yếu tố môi trường và hàm lượng khí theo “mùa”, “vị trí”, tương tác “mùa” \* “vị trí”. Nếu không thỏa mãn điều kiện (kể cả đã chuyển đổi số liệu), khi đó chuyển sang phân tích phi tham số PERMANOVA hai yếu tố được sử dụng [231]. Số liệu ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ), tiến hành phân tích hậu kiểm Tukey HSD được sử dụng để so sánh khác biệt theo cặp giữa các yếu tố môi trường và hàm lượng khí theo từng yếu tố (factors) ảnh hưởng.

Mối liên hệ giữa CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S và các thông số môi trường trầm tích được phân tích bằng tương quan Spearman.

Các phân tích được thực hiện bằng phần mềm Statgraphics Centurion 18 (ver. 18.1.12). PERMANOVA hai yếu tố được phân tích bằng phần mềm PRIMER v.6 + PERMANOVA.

#### **2.4.2. Phân tích thống kê số liệu về quần xã tuyến trùng**

Số liệu về mật độ, đa dạng sinh học của QXTT được kiểm định phân phối chuẩn bằng kiểm tra Shapiro - Wilk, và phương sai đồng nhất bằng kiểm tra Levene. Nếu dữ liệu đáp ứng hai điều kiện trên, phân tích ANOVA hai yếu tố được sử dụng để xác định khác biệt thống kê mật độ và đa dạng QXTT theo yếu tố mùa, vị trí, tương tác (mùa \* vị trí). Nếu có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ), phân tích hậu kiểm Tukey's HSD được sử dụng để kiểm tra sự khác biệt từng cặp trong phân tích phương sai. Dữ liệu được chuyển đổi sang dạng căn bậc hai hoặc dạng log nếu hai điều kiện trên không thỏa mãn. Nếu vẫn tiếp tục không đáp ứng điều kiện, phân tích phi tham số PERMANOVA hai yếu tố được sử dụng. Phân tích ANOVA bằng phần mềm STATISTICA 7.0, phân tích PERMANOVA bằng PRIMER v.6 + PERMANOVA.

Phân tích đa biến CLUSTER (dựa vào chỉ số tương đồng Bray - Curtis) kết hợp với SIMPROF để kiểm tra sự tương đồng có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ) về đặc điểm QXTT giữa các vị trí và sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa các nhóm. Phân tích đo lường đa hướng (Multidimensional Scaling, MDS) để nghiên cứu cấu trúc phân bố của QXTT tại các vị trí khảo sát. Các phương pháp phân tích MDS bằng phần mềm PRIMER 6.0 tích hợp PERMANOVA.

Ngoài ra, phân tích tương quan giữa các đặc điểm quần xã tuyến trùng, điều kiện môi trường và khí H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> được xác định qua tương quan phân hạng Spearman bằng phần mềm STATGRAPHICS Centurion 18.

### **2.5. Phương pháp đánh giá sức khỏe sinh thái nền đáy sông Ba Lai**

#### **2.5.1. Phương pháp phân loại tuyến trùng theo hệ số c-p**

Định danh tuyến trùng sông Ba Lai đến bậc họ trong Bảng 2.2. Trên cơ sở đó phân loại các nhóm c-p. Ở một số vị trí không có sự hiện diện các nhóm c-p, do vậy quá trình tính toán được cộng gộp các nhóm chỉ thị cho mức độ ô nhiễm là c-p 1 & 2; nhóm trung tính c-p 3 và nhóm phát triển trong môi trường sạch c-p 4 & 5.

**Bảng 2.2. Chỉ số c-p của một số họ tuyến trùng [194, 195]**

<b>c-p</b>	<b>Họ tuyến trùng</b>
1	Bunonematidae, Diplogasteridae, Neodiplogasteridae, Panagrolaimidae, Rhabditidae, Tylopharyngidae

c-p	Họ tuyến trùng
2	Anoplostamidae, Anticomidae, Axonolaimidae, Comesomatidae, Linhomoeidae, Thoracostomopsidae, Tripyloididae, Xyalidae, Monhysteridae, Anguinidae, Aphelenchidae, Aphelenchoididae, Cephalobidae, Iotonchiidae, Leptolaimidae, Microlaimidae, Neotylenchidae, Paratylenchidae, Plectidae, Tylenchidae
3	Ceramonomatidae, Chromadoridae, Cyatholaimidae, Desmodoridae, Diplopeltidae, Ethmolaimidae, Haliplectidae, Monoposthiidae, Selachinematidae, Siphonolaimidae, Sphaerolaimidae, Tubolaimoidida, Dolichodoridae, Hoplolaimidae, Pratylenchidae, Heteroderidae, Meloidogynidae, Criconematidae, Hemicycliophoridae, Teratocephalidae, Halaphanolaimidae, Achromadoridae, Odontolaimidae, Bastianiidae, Prismaticolaimidae, Tobrilidae, Tripylidae, Diphterophoridae
4	Aegialoalaimidae, Desmoscolecidae, Draconematidae, Enchelidiidae, Epsilonematidae, Ironidae, Oncholaimidae, Oxystominidae, Phanodermatidae, Rhabdodemaniidae, Trefusiidae, Choanolaimidae, Alaimidae, Mononchidae, Anatonchidae, Dorylaimidae, Nordiidae, Qudsianematidae, Leptonchidae, Trichodoridae
5	Enoplidae, Leptosomatidae, Nygolaimidae, Chrysonematidae, Thorenematidae, Aporcelaimidae, Longidoridae, Belonidiridae, Actinolaimidae, Discolaimidae

### 2.5.2. Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI (Maturity Index)

Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI được xem là một thước đo về mức độ xáo trộn môi trường. Chỉ số MI dựa vào tỷ lệ tần suất xuất hiện các nhóm c-p (colonizer-persister) trong quần xã, mỗi giống tuyến trùng được cho điểm c-p từ 1 đến 5, giá trị càng thấp thì giống tuyến trùng đó sống trong môi trường càng xáo trộn. Công thức tính MI theo Bongers và cộng sự (1991) [194]:

$$MI = \sum_{i=1}^5 v(i) \cdot f(i)$$

Trong đó: MI: Hệ số sinh trưởng của QXTT

$v(i)$ : Chỉ số c-p của tuyến trùng

$f(i)$ : Tần số xuất hiện của họ tuyến trùng đó.

Sau khi xác định được giá trị MI của từng vị trí khảo sát, thang quy đổi của Moreno và cộng sự (2011) được áp dụng để chuyển từ giá trị MI sang chất lượng môi trường ở bảng 2.3 [186].

### 2.5.3. Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ )

Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) vừa nói lên mức độ đa dạng về loài, vừa nói lên mức đồng đều của loài đó. Giá trị  $H'$  tăng khi số loài trong quần xã tăng, trong thực tế giá trị  $H'$  không vượt quá 5,0. Giá trị  $H'$  càng cao môi trường càng ít ô nhiễm [232, 233].

### 2.5.4. Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD, Index of Trophic Diversity)

Chỉ số đa dạng dinh dưỡng (ITD) được tính toán dựa trên thành phần các nhóm dinh dưỡng tuyến trùng (1A, 1B, 2A và 2B) tại mỗi trạm lấy mẫu theo công thức của Heip và cộng sự (1984) [234]:

$$ITD = \sum \theta^2$$

(Trong đó,  $\theta$  là tỷ lệ phần trăm của mỗi kiểu dinh dưỡng).

Giá trị của ITD dao động từ 0,25 (đa dạng dinh dưỡng cao nhất, mỗi nhóm dinh dưỡng chiếm 25%) đến 1,0 (đa dạng dinh dưỡng thấp nhất, tức là có một kiểu dinh dưỡng chiếm ưu thế trong QXTT). Chỉ số ITD phát triển dựa vào tỷ lệ các nhóm dinh dưỡng trong quần xã. Như vậy có thể thấy, chỉ số ITD càng cao thì môi trường càng xấu [186].

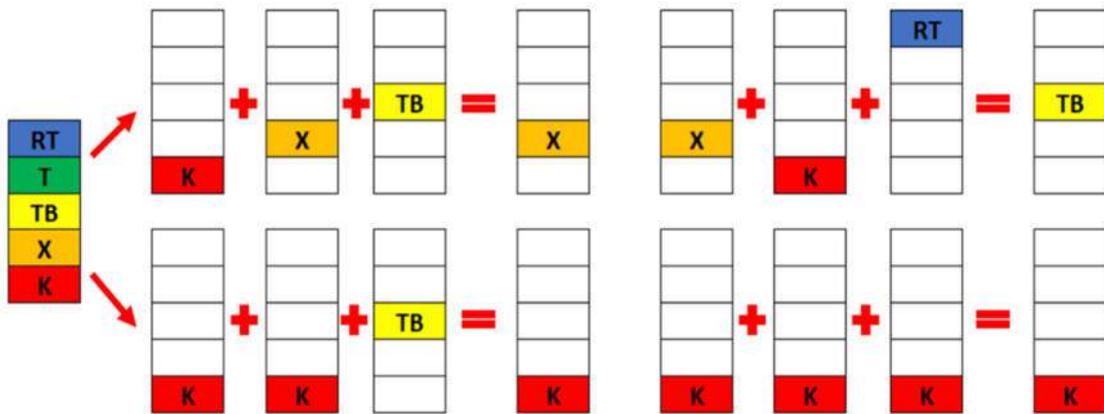
Moreno và cộng sự (2011), đã đề xuất ngưỡng phân loại chất lượng môi trường dựa vào nhiều chỉ số sinh học như mật độ c-p, chỉ số sinh trưởng (MI), chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) và chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD) trong bảng 2.3.

**Bảng 2.3.** Ngưỡng phân loại chất lượng môi trường theo các đặc điểm của quần xã tuyến trùng được sử dụng bởi Moreno và cộng sự (2011) [186].

Chất lượng môi trường	% c-p	Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI (Maturity Index)	Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ )	Chỉ số dinh dưỡng của tuyến trùng (ITD)
<b>Rất tốt (Hight)</b>	c-p 2 $\leq$ 50% c-p 4 > 10%	MI > 2,8	$H' > 4,5$	$0 < ITD \leq 0,25$
<b>Tốt (Good)</b>	c-p 2 $\geq$ 50% c-p 4 > 10%	$2,8 \leq MI < 2,6$	$3,5 < H' < 4,5$	$0,25 < ITD \leq 0,4$

Chất lượng môi trường	% c-p	Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng MI (Maturity Index)	Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner (H')	Chỉ số dinh dưỡng của tuyến trùng (ITD)
<b>Trung bình (Moderate)</b>	c-p 2 ≥ 50% 3 < c-p 4 < 10%	2,6 ≤ MI < 2,4	2,5 < H' < 3,5	0,4 < ITD ≤ 0,6
<b>Xấu/thấp (Poor)</b>	c-p 2 > 60% c-p 4 < 3%	2,4 ≤ MI < 2,2	1 < H' ≤ 2,5	0,6 < ITD ≤ 0,8
<b>Kém (Bad)</b>	c-p 2 > 80%	MI ≤ 2,2	0 < H' ≤ 1	0,8 < ITD ≤ 1

Theo Chen và cộng sự (2018), nếu các chỉ số sinh học quần xã tuyến trùng đánh giá chất lượng môi trường nền đáy theo các kết quả khác nhau thì áp dụng nguyên tắc trung bình (và làm tròn đến số nguyên gần nhất) của các chỉ số [235]. Ví dụ, chỉ số 1 đánh giá chất lượng môi trường kém (xếp hạng 5), chỉ số 2 đánh giá xấu (hạng 4), chỉ số 3 đánh giá trung bình (xếp hạng 3), trung bình cộng 3 chỉ số đạt 4, tức là chất lượng môi trường đạt trung bình (hạng 4). Một ví dụ khác, chỉ số 1 đánh giá chất lượng môi trường xấu (xếp hạng 4), chỉ số 2 đánh giá kém (hạng 5), chỉ số 3 đánh giá rất tốt (xếp hạng 1), trung bình cộng 3 chỉ số đạt 3,3~3, tức là trung bình (Hình 2.8).



**Hình 2.8. Nguyên tắc đánh giá chất lượng môi trường tổng hợp từ các chỉ số khác nhau (Điều chỉnh từ Chen và cộng sự, 2018) [235]**

**2.5.5. Phương pháp xác định các giống tuyến trùng nhạy cảm và chống chịu đối với khí hydro sulfua và khí metan**

Mật độ các giống tuyến trùng ghi nhận trong nghiên cứu sẽ được phân tích tương quan phân hạng Spearman với hàm lượng từng khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> có trong trầm tích. Những giống tuyến trùng có mật độ tương quan thuận có ý nghĩa thống kê với hàm lượng khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> sẽ được ghi nhận là giống tuyến trùng có khả năng chống

chịu với khí  $\text{CH}_4$  và khí  $\text{H}_2\text{S}$  vì khi hàm lượng khí tăng sẽ dẫn đến tăng mật độ cá thể do giống tuyến trùng này có khả năng thích nghi với môi trường có hàm lượng khí hydro sulfua và khí metan cao. Ngược lại, các giống tuyến trùng có mật độ tương quan nghịch có ý nghĩa thống kê với hàm lượng khí  $\text{H}_2\text{S}$  và  $\text{CH}_4$  sẽ được ghi nhận là giống tuyến trùng có nhạy cảm với khí hydro sulfua và khí metan do chúng suy giảm mật độ khi ở môi trường có hàm lượng khí hydro sulfua và khí metan cao.

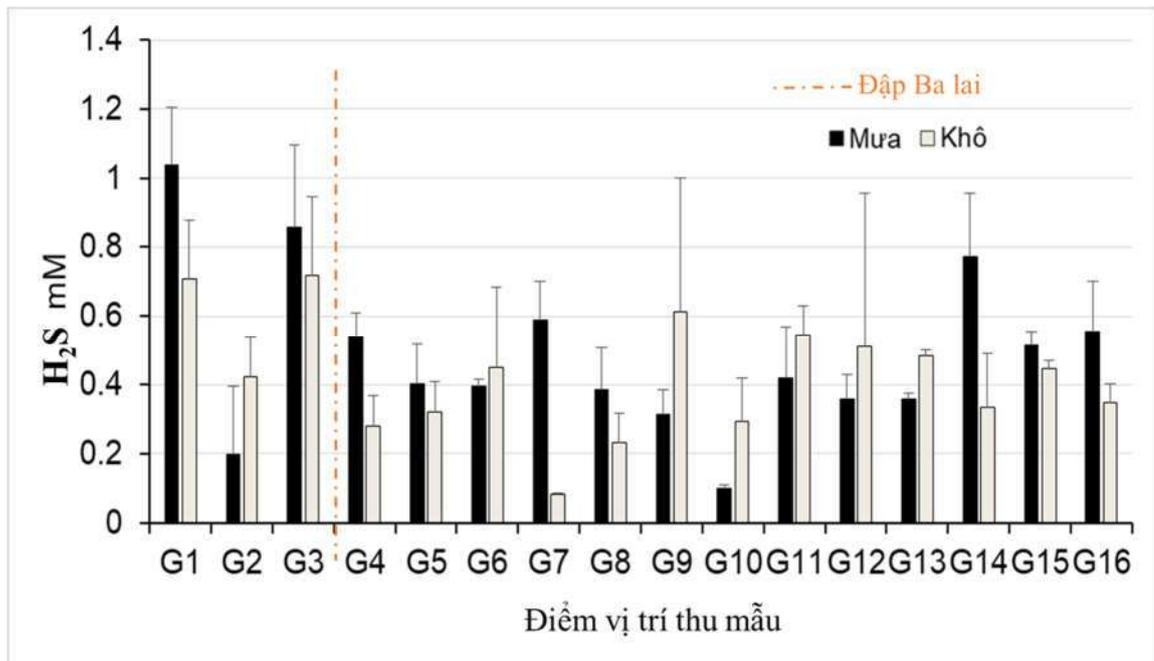
### CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Đặc điểm thông số môi trường trầm tích sông Ba Lai

##### 3.1.1. Khí hydro sulfua

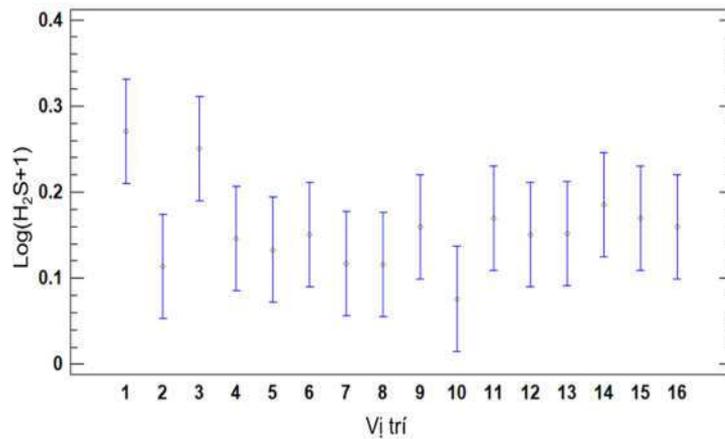
Mùa mưa, nồng độ trung bình của khí H<sub>2</sub>S ở các vị khảo sát có giá trị từ  $0,19 \pm 0,19$  mM (G2) đến  $1,03 \pm 0,16$  mM (G1). Vị trí G1, G2, G7, G14, và G16 có giá trị H<sub>2</sub>S cao vào mùa mưa, lần lượt là  $1,03 \pm 0,16$  mM;  $0,85 \pm 0,23$  mM;  $0,58 \pm 0,11$  mM;  $0,77 \pm 0,18$  mM;  $0,55 \pm 0,14$  mM. Ngược lại, G2 có nồng độ H<sub>2</sub>S thấp với  $0,19 \pm 0,19$  mM, tương tự vị trí G9, G10 cũng có nồng độ H<sub>2</sub>S thấp, tương ứng là  $0,31 \pm 0,07$  mM và  $0,10 \pm 0,008$  mM (Hình 3.1).

Quy luật biến động khí H<sub>2</sub>S vào mùa khô tương tự mùa mưa. Hai vị trí G1 và G3 có giá trị khí H<sub>2</sub>S tiếp tục cao  $0,70 \pm 0,16$  mM và  $0,71 \pm 0,22$  mM. Giống như mùa mưa, vị trí G2 tiếp tục có giá trị thấp nhất trong các vị trí ngoài đập, chỉ đạt  $0,42 \pm 0,11$  mM. Vị trí G8 và G10 có nồng độ H<sub>2</sub>S đều thấp ở cả 2 mùa, mùa khô lần lượt là  $0,23 \pm 0,08$  mM và  $0,29 \pm 0,12$  mM. Vị trí G7 có nồng độ H<sub>2</sub>S cao ở mùa mưa nhưng thấp vào mùa khô, mùa khô chỉ  $0,08 \pm 0,003$  mM (Hình 3.1, và Phụ lục 1).



**Hình 3.1. Nồng độ H<sub>2</sub>S đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô**

Nhìn chung, giá trị H<sub>2</sub>S ở mùa mưa và mùa khô không có sự khác biệt ý nghĩa ( $p = 0,14$ ), tuy nhiên giá trị H<sub>2</sub>S giữa các vị trí lại có sự khác biệt thống kê ( $p < 0,001$ ), cụ thể G1 và G3 có nồng độ khí H<sub>2</sub>S cao hơn so với các vị trí khác (Hình 3.2, và Phụ lục 2).



**Hình 3.2. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí H<sub>2</sub>S theo vị trí**

Vị trí cửa sông (G1), vị trí ngoài gần chân đập (G3), có nồng độ H<sub>2</sub>S cao ở cả 2 mùa khảo sát, có thể giải thích do các vị trí này là nơi tập trung và tích lũy lượng lớn chất hữu cơ nên nồng độ khí H<sub>2</sub>S trong trầm tích cao hơn các vị trí còn lại. Do cửa sông Ba Lai có lưu lượng dòng chảy nhỏ hơn các cửa sông khác của hệ thống sông Mê Kông và đang chịu tác động chặn dòng của đập nên trầm tích từ các cửa sông khác đang tích tụ tại cửa sông Ba Lai gây bồi lấp mạnh và làm cho khu vực này có hàm lượng chất hữu cơ cao [10, 38]. Khi đập chắn làm giảm lưu lượng và tốc độ dòng chảy của sông, nồng độ oxy hòa tan cũng giảm theo [236, 237]. Sự suy giảm oxy kết hợp với hàm lượng chất hữu cơ cao trong trầm tích tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phân hủy kỵ khí, dẫn đến sự hình thành H<sub>2</sub>S.

Khu vực chân đập Ba Lai (G3, G4) có phát thải khí H<sub>2</sub>S khá cao, do đây là nơi tập trung vật chất hữu cơ của cả dòng sông (đặc biệt là thực vật đang phân hủy) (Hình 3.3). Sự gia tăng tích lũy vật chất hữu cơ ở thượng nguồn do đập chắn đã được ghi nhận tại nhiều khu vực trên thế giới. Một số nghiên cứu ghi nhận các vật chất này sẽ lắng đọng tại đập chứ thay vì được vận chuyển xuống hạ lưu [32]. Các nghiên cứu cho thấy có tới 70% lượng phù sa bị giữ lại tại đập chắn và không thể di chuyển qua các ống dẫn nước [34]. Điều này đồng nghĩa với việc chỉ khoảng 30 - 40% phù sa có thể đến được hạ nguồn, do phần lớn đã bị lắng đọng ở thượng nguồn khi tốc độ dòng chảy giảm [35]. Nghiên cứu của Rasid (1979), ghi nhận đập chắn làm giảm 91% lượng phù sa vùng hạ lưu sông South Saskatchewan, Canada [35]. Hệ thống đập chắn trên sông Missouri và Mississippi, Mỹ làm giảm hơn một nửa lượng phù sa về hạ lưu [36].

Mặt khác, do hạn chế dòng chảy vì hoạt động đóng cống Ba Lai đã làm đoạn từ sông Tiền vào thượng nguồn Ba Lai bị bồi lấp mạnh, chỉ còn là một con sông nhỏ (rộng khoảng 6 - 8m), và đang tiếp tục bị bồi lấp [207]. Điều đó, làm cho thượng nguồn Ba Lai gồm những vị trí như G14, G15, G16 có hàm lượng chất hữu cơ cao,

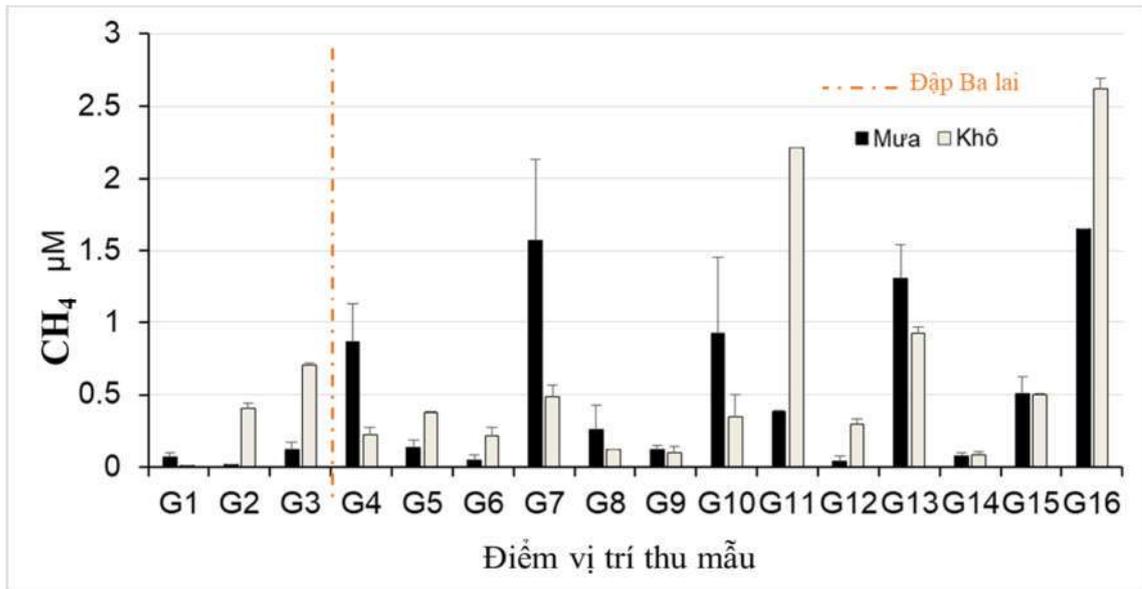
dẫn đến nồng độ  $H_2S$  trong trầm tích cao hơn so với các khu vực khác của sông Ba Lai.



**Hình 3.3. Tích lũy vật chất hữu cơ ở phía trong gần chân đập Ba Lai (G4)**

### 3.1.2. Khí metan

Mùa mưa ghi nhận hầu hết các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai có nồng độ khí  $CH_4$  thấp, khoảng từ  $0,01 \pm 0,004 \mu M$  đến  $0,51 \pm 0,11 \mu M$ . Tuy nhiên, vẫn có một số vị trí có  $CH_4$  cao như: G4 ( $0,86 \pm 0,25 \mu M$ ), G7 ( $1,57 \pm 0,55 \mu M$ ), G10 ( $0,91 \pm 0,53 \mu M$ ), G13 ( $1,30 \pm 0,23 \mu M$ ), và G16 ( $1,64 \pm 0,0001 \mu M$ ) (Hình 3.4).

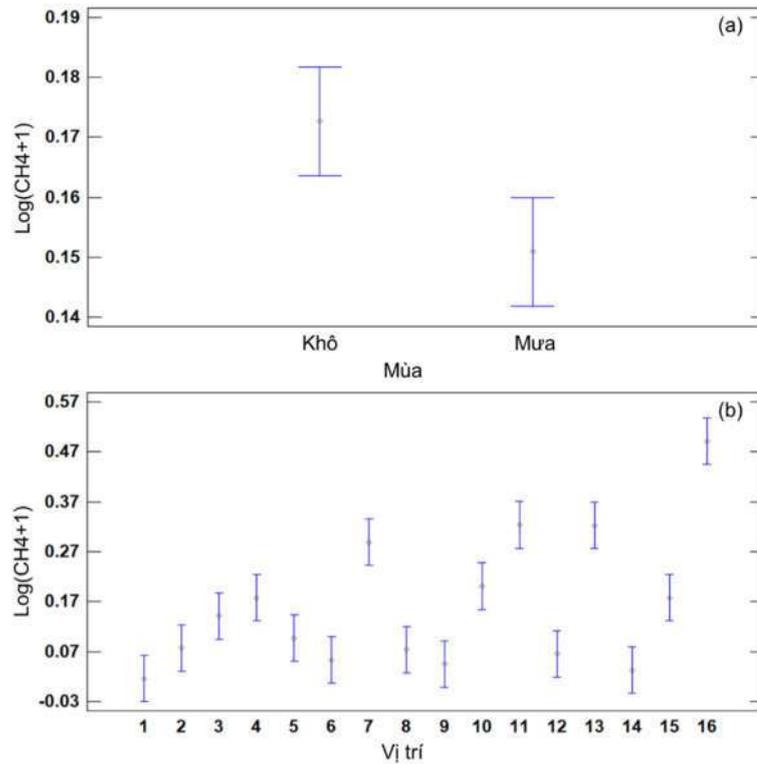


**Hình 3.4. Nồng độ  $CH_4$  đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô**

Nhìn chung, mùa khô ghi nhận nồng độ khí  $CH_4$  cao, có sự khác biệt thống kê với mùa mưa ( $p = 0,02$ ) (Hình 3.5a, Phụ lục 2). Vị trí G13 và G16 ghi nhận nồng độ  $CH_4$  tiếp tục cao trong mùa khô, với giá trị lần lượt là  $0,91 \pm 0,04 \mu M$  và  $2,62 \pm 0,07 \mu M$ . Vị trí G4, G7 và G10, G13 có  $CH_4$  cao ở mùa mưa nhưng thấp ở mùa khô, giá trị  $CH_4$  mùa khô lần lượt là  $0,22 \pm 0,05 \mu M$ ;  $0,49 \pm 0,08 \mu M$ , và  $0,34 \pm 0,16 \mu M$ ;  $0,92 \pm 0,05 \mu M$ . Ngược lại, các vị trí G2, G3 có nồng độ  $CH_4$  tăng khi vào mùa khô với

giá trị lần lượt là  $0,41 \pm 0,03 \mu\text{M}$  và  $0,71 \pm 0,01 \mu\text{M}$ . Đặc biệt, vị trí G11, G16 có giá trị  $\text{CH}_4$  rất cao vào mùa khô, lần lượt là  $2,21 \pm 0,001 \mu\text{M}$  và  $2,62 \pm 0,07 \mu\text{M}$  (Hình 3.4 và Phụ lục 1).

Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy G16 có nồng độ  $\text{CH}_4$  cao khác biệt với các vị trí còn lại, ngoài ra, nhóm các vị trí như G7, G11, G13 cũng có nồng độ  $\text{CH}_4$  cao khác biệt ý nghĩa với các vị trí còn lại (Hình 3.5b, Phụ lục 2).



**Hình 3.5. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí  $\text{CH}_4$  theo mùa (a) và vị trí (b)**

Trong khi phát thải khí  $\text{H}_2\text{S}$  khá tương đồng giữa 2 mùa và có quy luật nhất định thì phát thải khí  $\text{CH}_4$  chủ yếu theo điểm và thể hiện quy luật không rõ ràng. Nhìn chung, quá trình phân hủy kỵ khí là quá trình vi sinh vật phân hủy chất hữu cơ trong điều kiện không có oxy. Trong quá trình này, 2 sản phẩm khí chính thường được tạo ra là metan ( $\text{CH}_4$ ) và hydro sulfua ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Tuy cả hai đều là sản phẩm của phân hủy kỵ khí nhưng chúng có nguồn gốc và điều kiện hình thành khác nhau. Cho nên, phát thải 2 khí này ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) trong trầm tích sông Ba Lai có thể có sự khác biệt. Ví dụ, quá trình phát thải  $\text{H}_2\text{S}$  được tạo ra bởi quá trình phân giải sulfat (sulfate reduction), do các vi sinh vật gọi là sulfate-reducing bacteria (SRB) thực hiện. Vi khuẩn SRB sử dụng sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) làm chất nhận điện tử và chất hữu cơ (như lactate, acetate) làm nguồn carbon để tạo ra  $\text{H}_2\text{S}$ . Vùng cửa sông mặc dù có hàm lượng chất hữu cơ tích lũy cao nhưng phát thải chủ yếu  $\text{H}_2\text{S}$ , nguyên nhân là vùng nước mặn cửa sông giàu sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) [238], đây là nguồn chất nền cho nhóm vi khuẩn SRB phân hủy chất

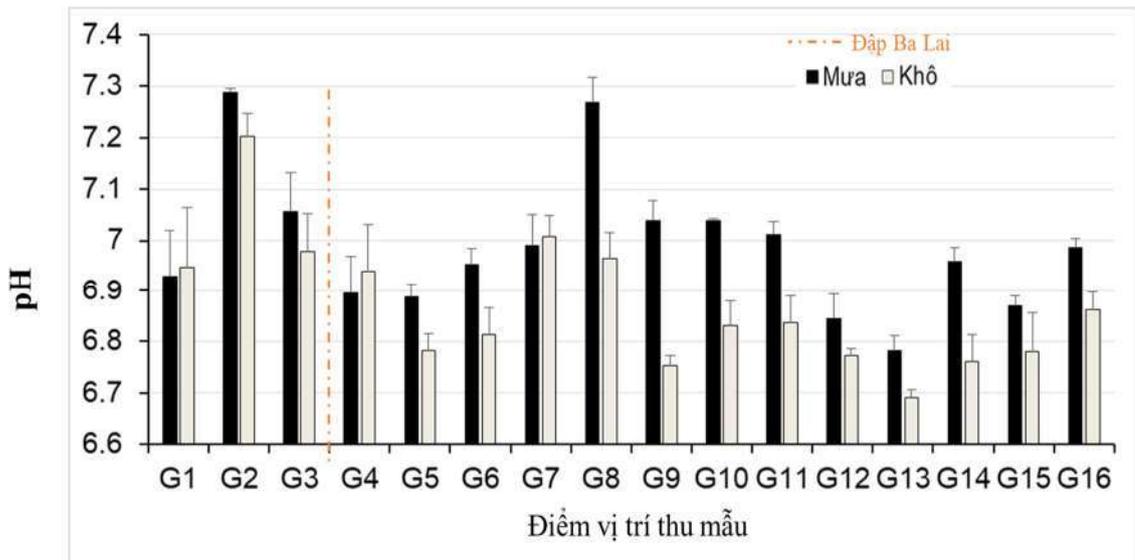
hữu cơ, phát thải H<sub>2</sub>S. Sự tích tụ H<sub>2</sub>S ở nồng độ cao có thể ức chế hô hấp của sinh vật, gây độc cho vi sinh vật hiếu khí và động vật đáy, đồng thời làm giảm oxy hòa tan và thay đổi cân bằng sinh hóa của hệ sinh thái trầm tích.

### 3.1.3. Một số đặc điểm môi trường khác

#### 3.1.3.1. Độ pH

Mùa mưa ghi nhận giá trị pH từ  $6,78 \pm 0,03$  đến  $7,28 \pm 0,008$ . Các vị trí có giá trị pH > 7 bao gồm G2, G8 có giá trị pH lần lượt là  $7,28 \pm 0,008$  và  $7,26 \pm 0,04$ ; ngược lại G12 và G13 có pH khá thấp, chỉ đạt  $6,84 \pm 0,05$  và  $6,78 \pm 0,03$ . Hầu hết các vị trí còn lại có giá trị pH gần trung tính. Dễ thấy pH mùa mưa cao hơn hẳn khi so với mùa khô ( $p < 0,001$ ).

Mùa khô, vị trí G2 và G3 tiếp tục ghi nhận pH cao, nhất là G2 với pH là  $7,20 \pm 0,04$ . Các vị trí G4, G5, G6 có pH thấp, tương ứng là  $6,93 \pm 0,09$ ;  $6,78 \pm 0,03$ ;  $6,81 \pm 0,05$ . Tương tự, các vị trí thượng nguồn Ba Lai cũng có giá trị pH thấp, đặc biệt là G12, G13, và G14 với  $6,77 \pm 0,01$ ;  $6,69 \pm 0,01$ ;  $6,76 \pm 0,05$  (Hình 3.6 và Phụ lục 3).

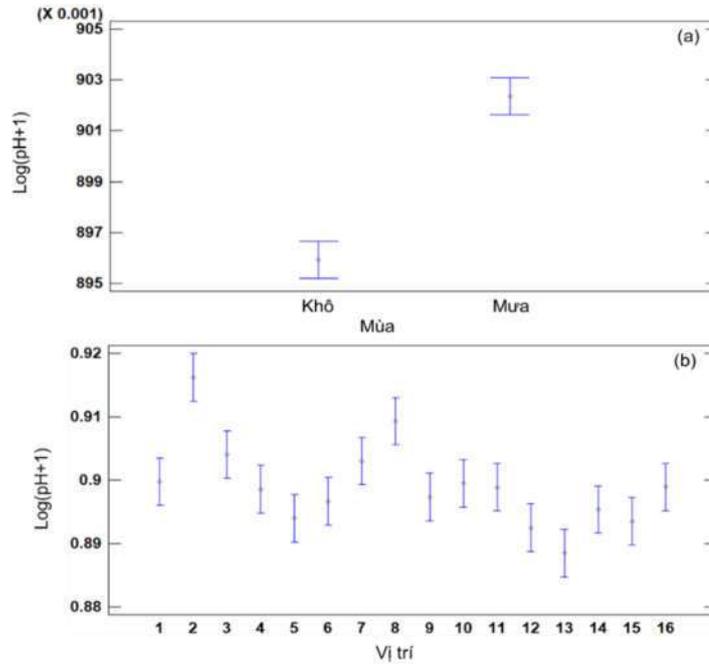


**Hình 3.6. Giá trị pH đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa và mùa khô**

Nhìn chung, các vị trí từ G4 đến G6 và một số vị trí thượng nguồn như G12, G13, và G15, có giá trị pH thấp hơn khi so với các vị trí còn lại ( $p < 0,001$ , Hình 3.7b, Phụ lục 4). Thật vậy, các mẫu nước ở vùng nước ngọt sẽ có pH thấp vì thành phần nước có phù sa là một dạng hạt keo của hydroxit sắt (III), hydroxit này sẽ mang tính axit khá yếu vì vậy pH sẽ thấp hơn khi so với pH trung tính là 7,0.

Ngoài ra, pH thấp (môi trường axit) ức chế hoạt động của vi khuẩn SRB dẫn đến H<sub>2</sub>S sinh ra giảm; pH kiềm nhẹ (7-8) là điều kiện tối ưu cho vi khuẩn SRB dẫn đến H<sub>2</sub>S sinh ra mạnh nhất. Khi pH > 8, H<sub>2</sub>S chủ yếu tồn tại ở dạng HS<sup>-</sup> hoặc S<sup>2-</sup>,

không dễ thoát ra khí quyển. pH còn ảnh hưởng đến sự kết tủa FeS, FeS<sub>2</sub> (pyrit) - phản ứng giữa H<sub>2</sub>S và Fe<sup>2+</sup>. Trong môi trường có pH trung tính - kiềm, FeS hình thành nhanh, giữ lại lưu huỳnh trong trầm tích.

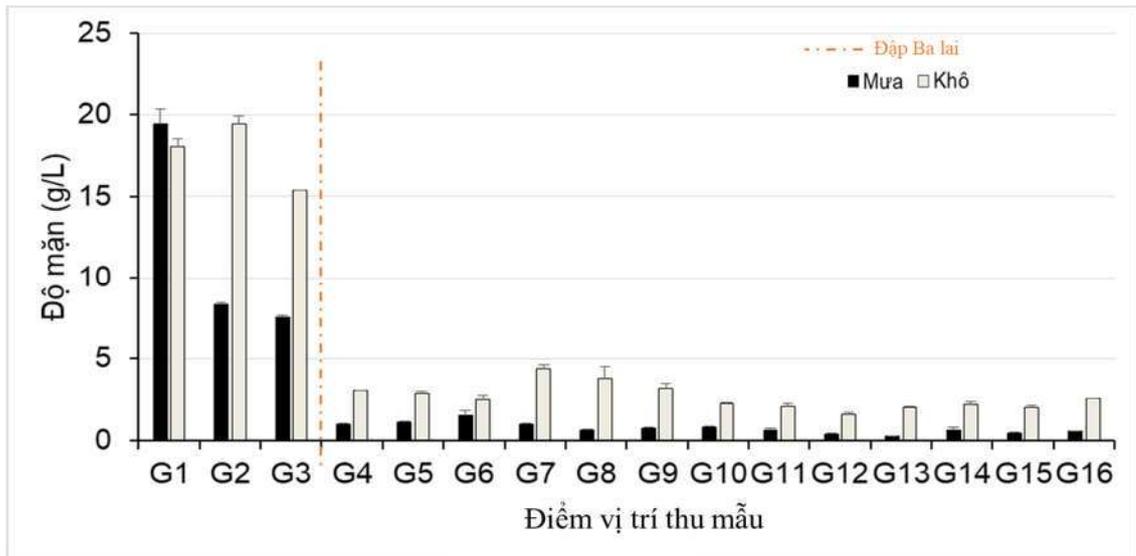


**Hình 3.7. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD độ pH theo mùa (a), vị trí (b)**

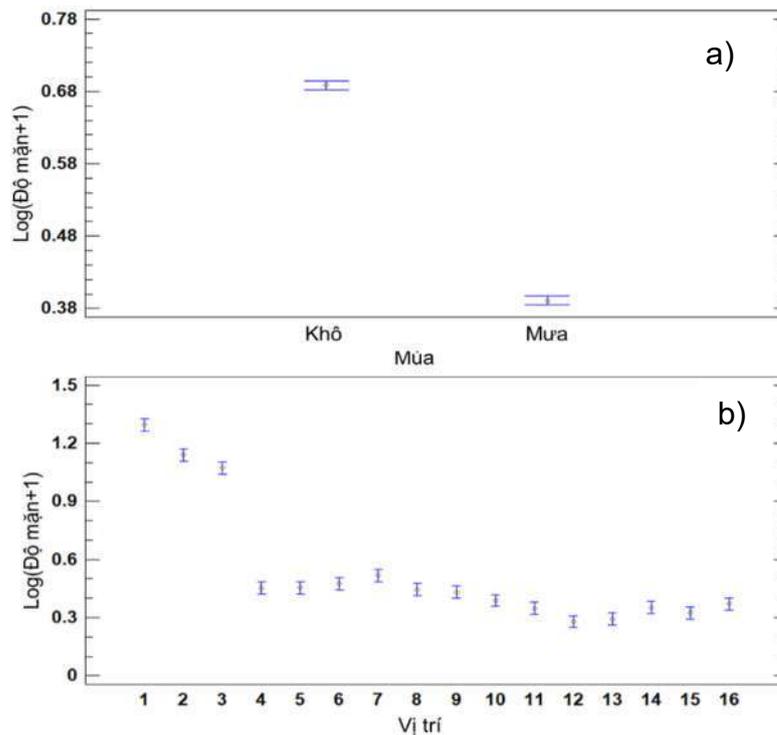
### 3.1.3.2. Độ mặn

Kết quả phân tích độ mặn tại biểu đồ hình 3.8 cho thấy, trừ vị trí G1 có độ mặn mùa khô và mùa mưa gần tương đương nhau (mùa mưa:  $19,47 \pm 0,87$  g/L; mùa khô:  $18,07 \pm 0,48$  g/L), các vị trí còn lại đều ghi nhận độ mặn mùa mưa thấp hơn mùa khô ( $p < 0,001$ , Hình 3.9a, Phụ lục 3 & 4). Giống như các con sông khác trong hệ thống sông Mê Kông, mùa mưa (tháng VI đến tháng XII) là lúc nước ngọt từ thượng nguồn đổ về, làm giảm độ mặn vùng cửa sông. Độ mặn sông Ba Lai chia làm 2 phần rõ rệt: độ mặn các vị trí trong đập thấp và độ mặn các vị trí ngoài đập cao ( $p < 0,001$ ; Hình 3.9b, Phụ lục 3 & 4). Trong mùa mưa, các vị trí ngoài đập Ba Lai có độ mặn từ  $7,52 \pm 0,16$  g/L đến  $19,47 \pm 0,97$  g/L, trong đập từ  $0,26 \pm 0,0005$  g/L đến  $1,54 \pm 0,31$  g/L. Sang mùa khô, độ mặn tăng lên ở ngoài đập từ  $15,36 \pm 0,01$  g/L lên  $19,43 \pm 0,47$  g/L, trong đập từ  $1,61 \pm 0,11$  g/L tăng lên  $4,41 \pm 0,20$  g/L.

Sông Ba Lai là sông duy nhất trong hệ thống sông Mê Kông chịu ảnh hưởng của đập chắn. Vì vậy, chế độ mặn ở sông Ba Lai chủ yếu phụ thuộc vào vận hành đập Ba Lai, không còn là chế độ mặn tự nhiên của hệ thống Mê Kông. Thật vậy, kết quả nghiên cứu vào mùa mưa vẫn ghi nhận độ mặn ở cửa sông Ba Lai khá cao, đến khoảng 8‰. Nhìn chung, độ mặn ở cửa sông Ba Lai cao hơn các cửa sông khác của sông Mê Kông (cửa sông Cỏ Chiên và Cửa Đại), nhất là trong mùa mưa [213].



**Hình 3.8. Độ mặn đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai giữa mùa mưa và mùa khô**



**Hình 3.9. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD của độ mặn theo mùa (a), vị trí (b)**

Vai trò của đập Ba Lai là ngăn mặn, giữ ngọt, phục vụ cho cung cấp nước sinh hoạt và sản xuất cho vùng Bắc Bến Tre [214]. Tuy nhiên, nghiên cứu này ghi nhận độ mặn trong đập Ba Lai vào mùa khô từ  $1,61 \pm 0,11$  g/L đến  $4,41 \pm 0,20$  g/L. Như vậy, nước trong đập Ba Lai đã chuyển sang nước lợ trong mùa khô, hay nói cách khác trong đập Ba Lai vẫn bị xâm nhập mặn. Quá trình nhiễm mặn vùng ngọt hóa trong đập Ba Lai đã được ghi nhận qua nghiên cứu của Tran và cộng sự (2018). Qua đó,

mặn xâm nhập vào trong đập Ba Lai theo 2 con đường (Hình 3.10). Đường thứ nhất là qua đóng/mở đập Ba Lai: vào mùa mưa, đập Ba Lai mở 2 lần/tháng, vào mùa khô thì kế hoạch đóng/mở cống tùy vào tình hình thực tế. Đường thứ 2 là nước mặn đi qua sông Tiên vào kênh An Hóa rồi đổ vào thượng nguồn Ba Lai [239], do vậy vào mùa mưa các vị trí G7, G8, G9 có độ mặn khá cao, tương ứng  $4,41 \pm 0,20$  g/L;  $3,80 \pm 0,68$  g/L;  $3,16 \pm 0,29$  g/L. Độ mặn có thể xâm nhập vào thượng nguồn sông Ba Lai theo đường sông Hàm Luông và sông Bến Tre, sau đó đi vào sông Ba Lai (đoạn giao với kênh An Hóa). Như vậy, mặc dù đập Ba Lai đã phát huy vai trò ngăn mặn, giữ ngọt của Đập nhưng hệ thống thủy lợi chưa đồng bộ đã làm cho việc kiểm soát độ mặn diễn ra không triệt để, nhất vào mùa khô.



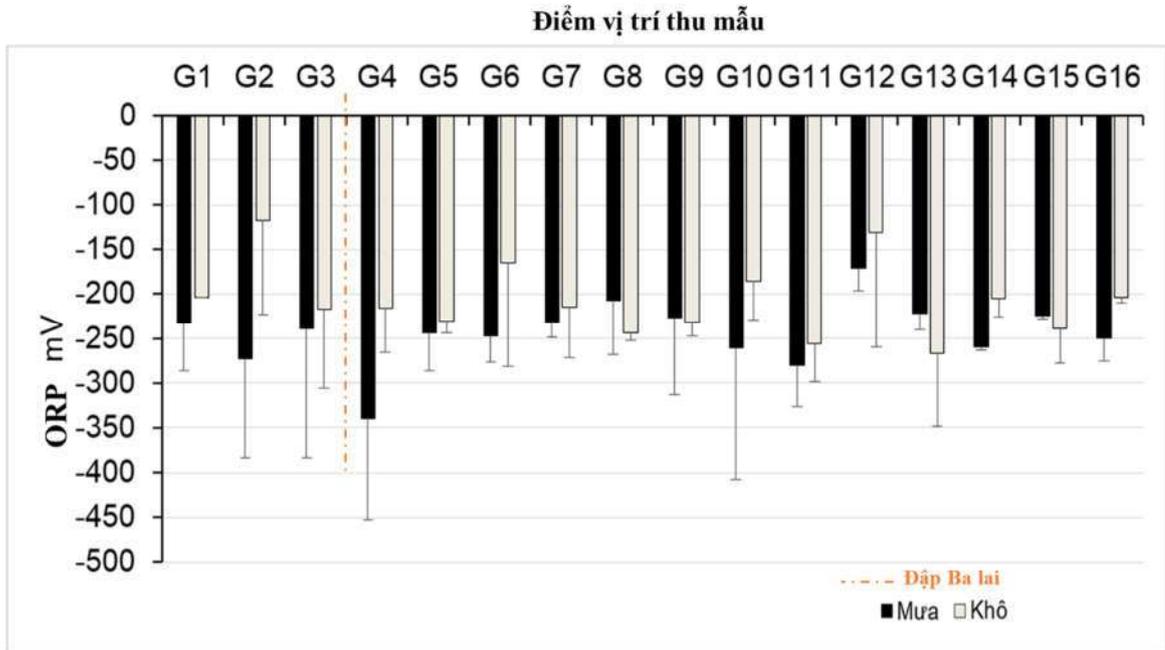
**Hình 3.10. Quá trình xâm nhập mặn vùng ngọt hóa trong đập Ba Lai vào mùa khô [239]**

### 3.1.3.3. Thế oxy hóa khử

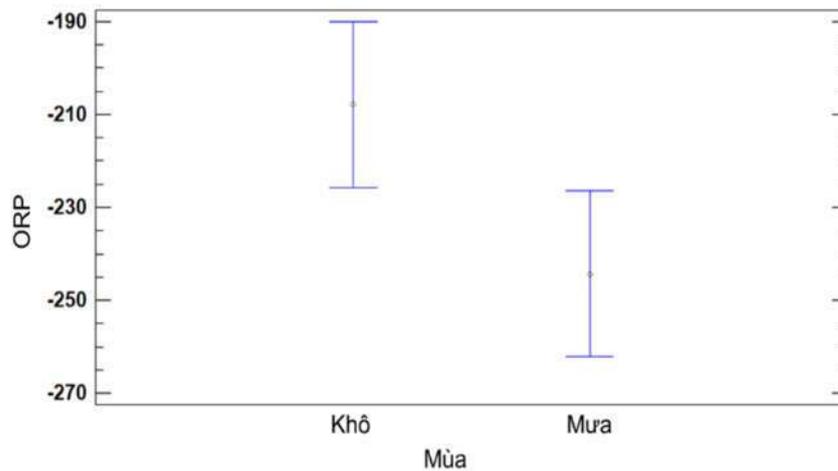
Mùa mưa, giá trị thế oxy hóa khử (ORP) thấp nhất tại G4 ( $-339,95 \pm 113,06$  mV) và cao nhất tại G12 ( $-170,50 \pm 26,16$  mV), các vị trí còn lại có giá trị ORP ít biến động, từ  $-280,35 \pm 45,46$  mV (G11) đến  $-207 \pm 60,81$  mV (G8). Mùa khô giá trị ORP ít biến động theo vị trí, từ  $-185,55 \pm 43,20$  mV (G10) đến  $-266,85 \pm 80,82$  mV (G13), trừ G2, G12, và G6 có giá trị ORP khá thấp, tương ứng đạt  $-117,1 \pm 105,92$  mV,  $-130,9 \pm 128,55$  mV, và  $-165,4 \pm 116,53$  mV (Hình 3.11, Phụ lục 3).

Các kết quả ghi nhận, ORP ở các vị trí lấy mẫu qua các mùa đều là các giá trị âm, cho thấy môi trường lúc này là môi trường có tính khử, vì thành phần trầm tích chủ yếu là các chất hữu cơ có số oxy hóa thấp. Các giá trị có xu hướng tăng khi vào mùa khô ( $p = 0,045$ , Hình 3.12, Phụ lục 4), có thể do quá trình bốc hơi làm tăng nồng độ các ion trong nước, đồng thời điều kiện khô và giàu oxy thúc đẩy các phản ứng oxy hóa-khử diễn ra mạnh hơn. Ngoài ra, ORP tăng tính khử cũng làm tăng khả năng

phản ứng khử các hợp chất như sulfat hay hữu cơ trong nền mẫu làm biến động hàm lượng của các khí cũng như thành phần trầm tích có trong mẫu.



**Hình 3.11. Giá trị thế oxy hóa khử đo tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai giữa mùa mưa và mùa khô**

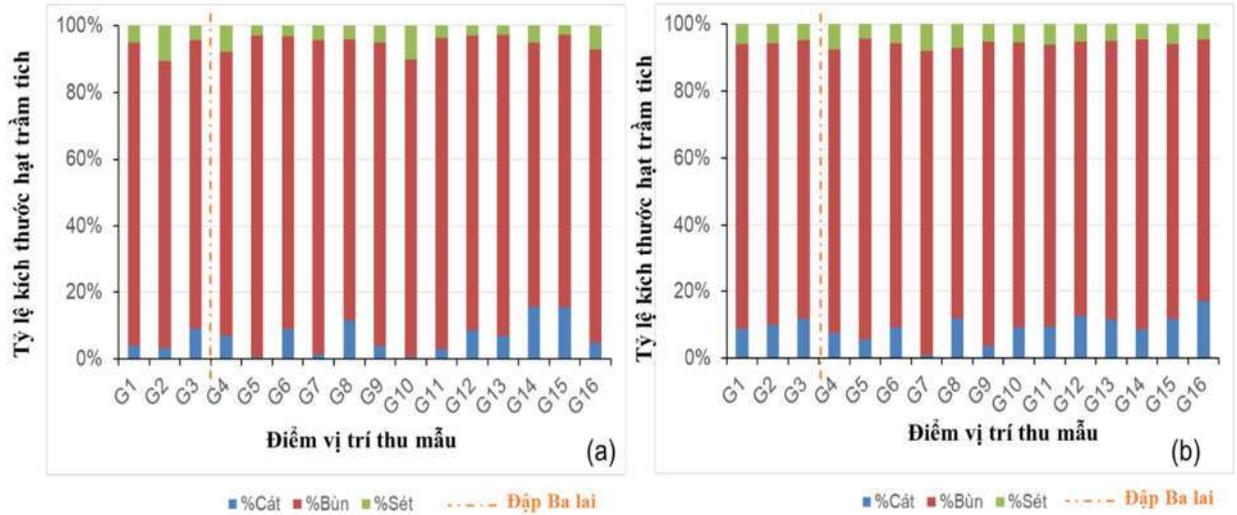


**Hình 3.12. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD của ORP theo mùa**

#### 3.1.3.4. Thành phần trầm tích

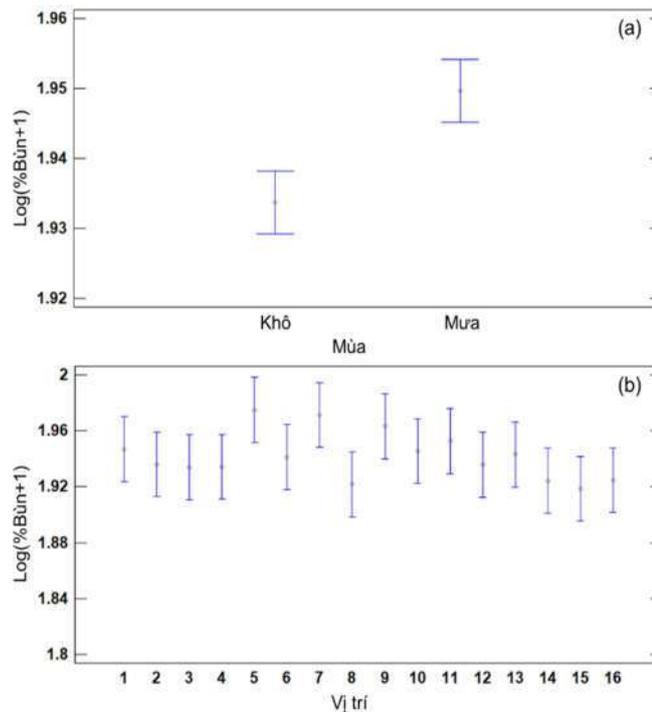
Tỷ lệ bùn chiếm ưu thế tuyệt đối ở tất cả các vị trí khảo sát trong mùa mưa và khô. Vào mùa mưa, tỷ lệ bùn từ  $81,51 \pm 6,27\%$  (G15) đến  $94,15 \pm 1,23\%$  (G7), và vào mùa khô, tỷ lệ bùn từ  $78,48 \pm 3,17\%$  (G16) đến  $91,03 \pm 8,32\%$  (G9). Trong khi tỷ lệ bùn có xu hướng giảm từ mùa mưa sang mùa khô thì tỷ lệ cát và sét có xu hướng ngược lại, tăng dần từ mùa mưa sang mùa khô. Đối với tỷ lệ cát, mùa mưa từ  $0,48 \pm$

0,67% (G5) đến  $15,70 \pm 9,09\%$  (G14), sau đó tăng lên từ  $0,96 \pm 1,2\%$  (G7) đến  $16,91 \pm 2,41\%$  (G16) vào mùa khô. Đối với tỷ lệ sét, mùa mưa từ  $2,93 \pm 0,35\%$  (G13) đến  $10,58 \pm 4,06\%$  (G2). Mùa khô tỷ lệ % sét ít biến động, từ  $4,33 \pm 0,75\%$  (G5) đến  $8,01 \pm 0,34\%$  (G7) (Hình 3.13, Phụ lục 3).

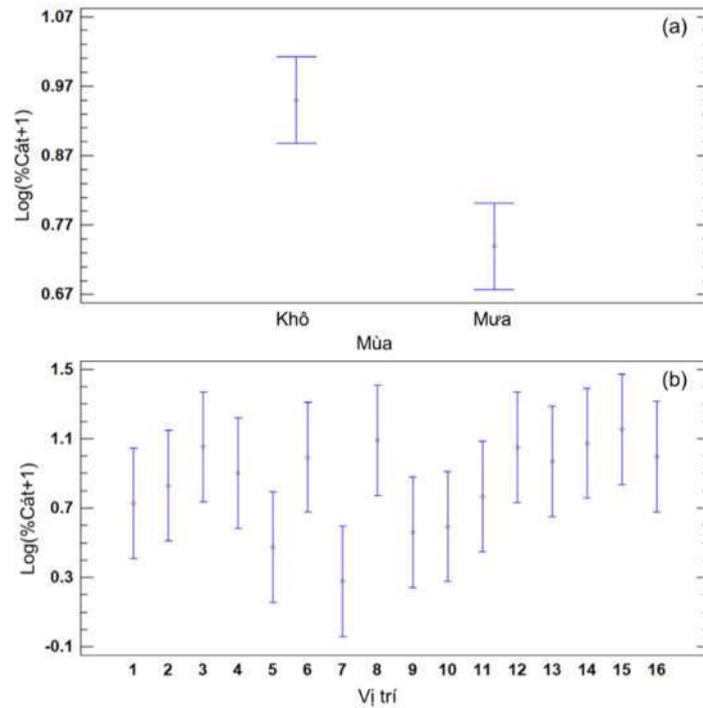


**Hình 3.13. Tỷ lệ thành phần trầm tích tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai vào mùa mưa (a) và mùa khô (b)**

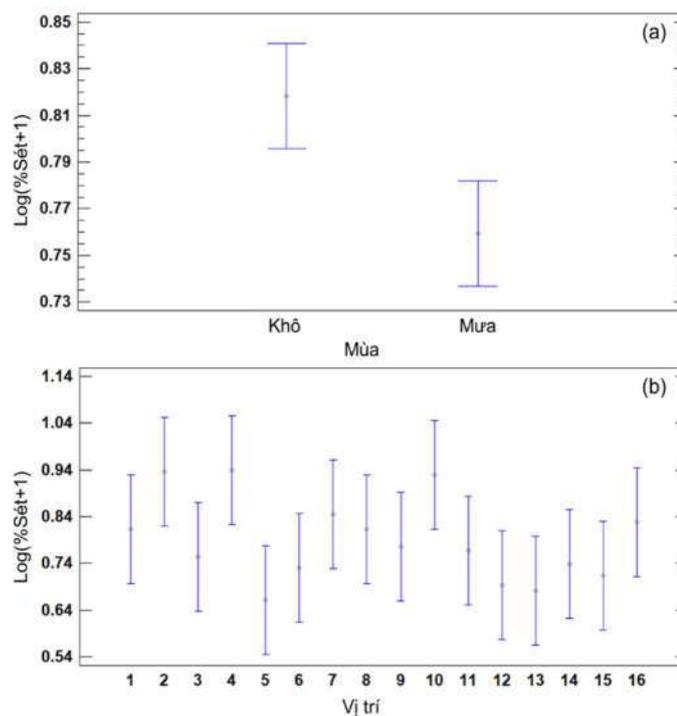
Nhìn chung, tỷ lệ bùn vào mùa mưa cao hơn mùa khô ( $p = 0,001$ , Hình 3.14a, Phụ lục 4), trong khi tỷ lệ cát và % sét ghi nhận mùa mưa thấp hơn mùa khô ( $p < 0,05$  Hình 3.15a & Hình 3.16a, Phụ lục 4).



**Hình 3.14. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %bùn theo mùa (a) và vị trí (b)**



**Hình 3.15. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %cát theo mùa (a) và vị trí (b)**



**Hình 3.16. Kết quả phân tích hậu kiểm tỷ lệ %sét theo mùa (a) và vị trí (b)**

### 3.1.4. Mối liên hệ giữa nồng độ khí metan, hydro sulfua trong trầm tích và một số yếu tố môi trường sông Ba Lai

#### 3.1.4.1. Tương quan giữa nồng độ khí $H_2S$ , $CH_4$ và một số yếu tố môi trường

Mùa mưa ghi nhận nồng độ khí chỉ tương quan với độ mặn, trong khi  $H_2S$  ghi nhận tương quan thuận với độ mặn ( $p = 0,027$ ,  $r = 0,391$ ) thì  $CH_4$  tương quan nghịch

với độ mặn ( $p = 0,018$ ,  $r = -0,417$ ). Sang mùa khô, độ mặn tiếp tục tương quan thuận với  $H_2S$  ( $p = 0,046$ ,  $r = 0,355$ ) nhưng không ghi nhận tương quan với  $CH_4$ . Khí  $H_2S$  ngoài tương quan thuận với độ mặn thì còn ghi nhận tương quan nghịch với % sét ( $p = 0,008$ ,  $r = -0,460$ ). Ngoài ra, mùa khô ghi nhận  $CH_4$  có tương quan thuận với % cát ( $p = 0,011$ ,  $r = -0,441$ ) và tương quan nghịch với % bùn ( $p = 0,033$ ,  $r = -0,377$ ). Khi phân tích tổng hợp cả hai mùa khảo sát thì ghi nhận  $H_2S$  tương quan thuận với độ mặn ( $p = 0,041$ ,  $r = 0,257$ ), tương quan nghịch với %sét ( $p = -0,298$ ,  $r = 0,017$ ) và ngược lại  $CH_4$  tương quan nghịch với độ mặn ( $p = 0,044$ ,  $r = -0,252$ ) (Bảng 3.1).

**Bảng 3.1.** Kết quả phân tích tương quan Spearman giữa khí  $H_2S$ ,  $CH_4$  và một số đặc điểm môi trường

Đặc điểm	Hệ số	Mùa mưa (n=32)		Mùa khô (n=32)		Tổng hợp (n=64)	
		$H_2S$	$CH_4$	$H_2S$	$CH_4$	$H_2S$	$CH_4$
$H_2S$	r	*	-0,075	*	0,015	*	-0,038
	p	*	0,683	*	0,934	*	0,768
$CH_4$	r	-0,075	*	0,015	*	-0,038	*
	p	0,683	*	0,934	*	0,768	*
pH	r	-0,246	-0,248	-0,137	-0,072	-0,128	-0,170
	p	0,175	0,172	0,454	0,695	0,314	0,179
Độ mặn	r	0,391	-0,417	0,355	-0,185	0,257	-0,252
	p	<b>0,027</b>	<b>0,018</b>	<b>0,046</b>	0,311	<b>0,041</b>	<b>0,044</b>
ORP	r	0,025	-0,073	-0,251	-0,147	-0,132	-0,085
	p	0,891	0,693	0,165	0,421	0,298	0,505
%Cát	r	0,259	-0,150	0,033	0,441	0,144	0,057
	p	0,152	0,412	0,858	<b>0,011</b>	0,257	0,655
%Bùn	r	-0,216	0,125	0,099	-0,377	-0,052	-0,114
	p	0,236	0,496	0,591	<b>0,033</b>	0,684	0,370
%Sét	r	-0,208	0,153	-0,460	-0,144	-0,298	0,070
	p	0,254	0,404	<b>0,008</b>	0,432	<b>0,017</b>	0,584

(Ghi chú: \* không ghi nhận giá trị;  $p < 0,05$  được in đậm)

### 3.1.4.2. Ảnh hưởng của đặc điểm môi trường sông Ba Lai đến phát thải khí $H_2S$ , $CH_4$ từ trầm tích

#### ❖ Ảnh hưởng của xâm nhập mặn

Kết quả phân tích tương quan Spearman cho thấy độ mặn có mối tương quan thuận với  $H_2S$  nhưng tương quan nghịch với  $CH_4$ . Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trên thế giới, trong đó ghi nhận mật độ vi khuẩn cổ sinh metan ở các đầm lầy nước ngọt cao hơn so với các đầm lầy nước lợ trong cùng hệ thống cửa sông tại Trung Quốc [240], Hoa Kỳ [241]. Theo lý thuyết sinh thái học và nhiệt động lực học, lượng phát thải  $CH_4$  từ các hệ thống đất ngập nước ven biển thường giảm khi độ mặn tăng, do sự gia tăng đồng thời của ion sulfat trong nước biển thúc đẩy các vi sinh vật khử sulfat (sinh ra khí  $H_2S$ ) cạnh tranh với vi sinh vật sinh metan để sử dụng các cơ chất chung trong quá trình hô hấp kỵ khí, như axetat và hydro) [242]. Một số nghiên cứu và phân tích tổng hợp cũng cho thấy sự giảm tuyến tính theo logarit của lượng phát thải  $CH_4$  theo độ mặn trên nhiều loại môi trường sống khác nhau, bao gồm rừng ngập mặn, đầm lầy, và đồng cỏ biển [243, 244]. Tuy nhiên, nghiên cứu trong phòng thí nghiệm đã chỉ ra rằng mối quan hệ giữa độ mặn và phát thải  $CH_4$  có thể đa dạng, bao gồm tương quan thuận, tương quan nghịch hoặc trung tính [245]. Sự khác biệt này một phần do điều kiện thủy văn, nhưng sinh thái học vi sinh vật cũng là một yếu tố quan trọng khác có thể góp phần tạo ra những khác biệt đó và cần được nghiên cứu sâu hơn [241], [246]. Điều này gợi ý rằng, để lý giải hiện tượng tương quan thuận giữa độ mặn và phát thải  $CH_4$ , vai trò của các quần thể vi khuẩn khử sulfat cần được xem xét kỹ lưỡng hơn. Các vi khuẩn khử sulfat bao gồm nhiều nhóm sinh vật khác nhau, không chỉ cạnh tranh với vi khuẩn sinh metan mà trong một số trường hợp còn cộng sinh với chúng. Một số loài vi khuẩn khử sulfat có thể tạo ra axetat và hydro, là các chất nền thúc đẩy quá trình sinh metan [247]. Bên cạnh đó, vi khuẩn cổ sinh metan cũng rất đa dạng về mặt phân loại và chức năng, vì chúng có thể thực hiện một hoặc nhiều trong bốn con đường sinh metan khác nhau (hydrogenotrophic, acetoclastic, methyl-dismutation và methyl-reduction). Các con đường này chịu ảnh hưởng khác nhau bởi sự hiện diện của các chất khử sulfat [248]. Ví dụ, phần lớn các con đường dựa trên hợp chất methyl có vẻ như ít chịu ảnh hưởng bởi sự cạnh tranh với vi khuẩn khử sulfat [249, 250]. Ngoài ra, nước biển không chỉ chứa sulfat mà còn có nhiều ion khác như  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$  và  $HCO_3^-$ . Mặc dù sulfat là ion duy nhất được sử dụng trực tiếp làm chất nhận electron trong quá trình hô hấp kỵ khí, các ion khác này cũng tham gia vào nhiều chu trình sinh địa hóa và có thể đóng vai trò như chất dinh dưỡng hoặc yếu tố điều tiết sinh học, từ đó ảnh hưởng đến cấu

trúc quần thể vi sinh vật và phát thải khí nhà kính theo những cách khác biệt so với tác động của sulfat [238].

#### ❖ *Ảnh hưởng của thành phần trầm tích*

Kết quả phân tích tương quan Spearman cho thấy thành phần trầm tích có ảnh hưởng đến phát thải khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S, nhất vào mùa khô. Tỷ lệ % cát tỷ lệ thuận CH<sub>4</sub>, trong khi % bùn tỷ lệ nghịch với nồng độ CH<sub>4</sub>. Nguyên nhân là do trầm tích chứa nhiều cát thường có độ rỗng và độ thấm khí cao, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thoát khí (ebullition) và khuếch tán CH<sub>4</sub> ra môi trường nước, làm giảm thời gian khí tiếp xúc với vùng oxy hóa và do đó hạn chế sự oxy hóa metan [251, 252]. Ngược lại, trầm tích có hàm lượng bùn cao thường mịn, chặt và có khả năng giữ khí lớn, khiến CH<sub>4</sub> sinh ra bị giữ lại lâu hơn trong các lớp trầm tích yếm khí, đồng thời tăng cơ hội bị oxy hóa bởi vi khuẩn methane-oxidizing bacteria (MOB) hoặc bị ức chế bởi hoạt động vi khuẩn khử sulfat (SRB) do sự cạnh tranh cơ chất [253, 254].

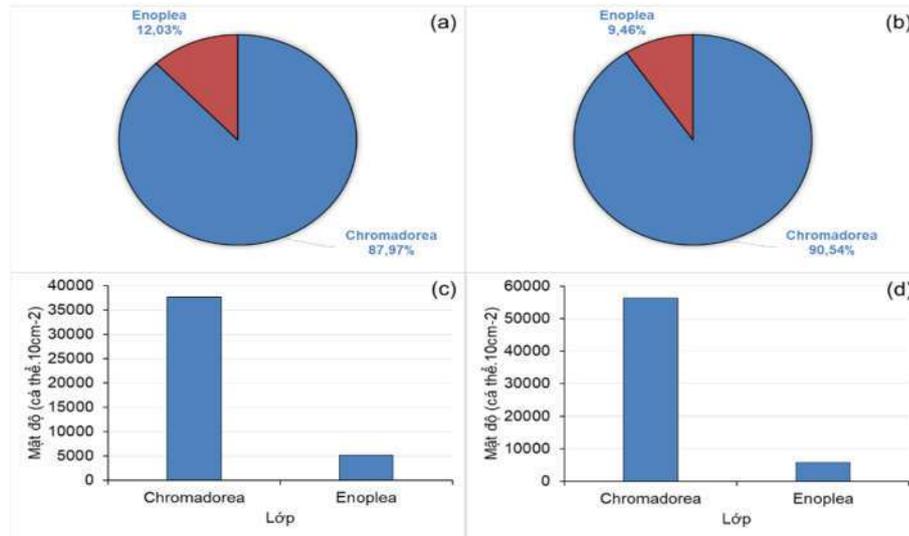
Tỷ lệ thành phần hạt sét trong trầm tích có tương quan nghịch đến phát thải khí H<sub>2</sub>S. Theo nhiều nghiên cứu, khi tỷ lệ % sét tăng, trầm tích trở nên mịn, ít thấm và giàu khoáng sét có khả năng hấp phụ mạnh các ion sulfua (HS<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>), dẫn đến việc giữ lại H<sub>2</sub>S trong lớp trầm tích và làm giảm lượng khí thoát ra môi trường nước [255, 256]. Bên cạnh đó, hạt sét thường chứa nhiều oxit kim loại như Fe (III) hoặc Mn (IV), có khả năng oxy hóa H<sub>2</sub>S thành S<sup>0</sup> hoặc ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), làm giảm nồng độ H<sub>2</sub>S tự do [71]. Ngoài ra, độ thấm thấp của trầm tích sét hạn chế sự khuếch tán của khí, khiến H<sub>2</sub>S sinh ra từ quá trình khử sulfat (sulfate reduction) bị lưu giữ hoặc phản ứng lại trong trầm tích thay vì thoát lên trên [72]. Ngược lại, trong trầm tích có tỷ lệ sét thấp (nhiều cát hơn), độ thấm và độ thoáng khí cao hơn giúp H<sub>2</sub>S thoát ra dễ dàng, làm tăng phát thải khí. Do đó, tỷ lệ % sét càng cao thì phát thải H<sub>2</sub>S càng giảm, phản ánh vai trò hấp phụ và phản ứng hóa học mạnh của khoáng sét đối với các hợp chất chứa lưu huỳnh.

### **3.2. Đặc trưng quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai theo mùa**

#### **3.2.1. Cấu trúc thành phần loài quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai**

##### *3.2.1.1. Đặc điểm lớp (class)*

Ở cả 2 mùa khảo sát, QXTT sông Ba Lai bao gồm 2 lớp Chromadorea và Enoplea. Lớp Chromadorea có mật độ trung bình lần lượt là 37.712 cá thể.10 cm<sup>-2</sup> và 56.262 cá thể.10 cm<sup>-2</sup> ở mùa mưa và mùa khô. Do đó, lớp Chromadorea chiếm ưu thế tuyệt đối khi so với Enoplea. Mùa mưa, lớp Chromadorea chiếm tỷ lệ 87,97%, sau đó tăng lên 90,54% vào mùa khô (Hình 3.17, Phụ lục 5).

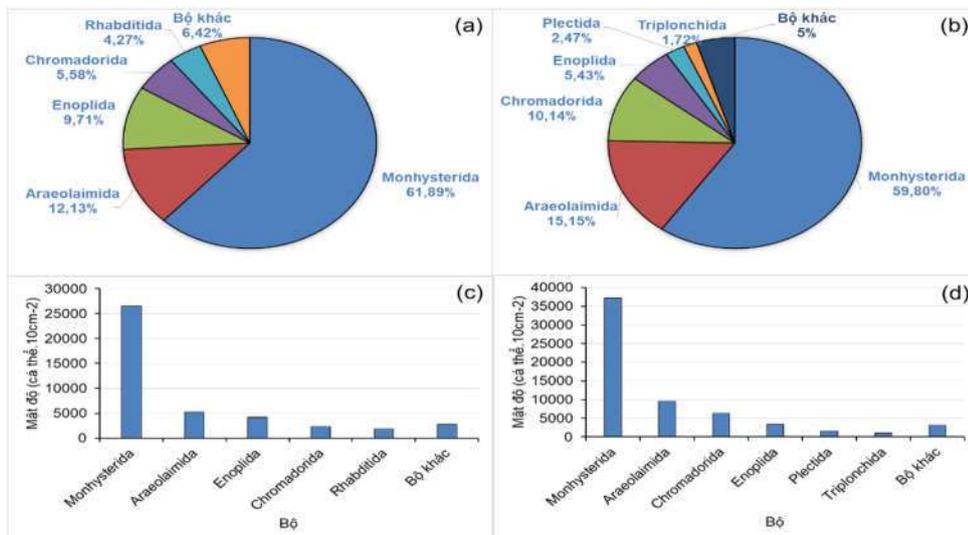


**Hình 3.17. Tỷ lệ và mật độ các lớp của QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d)**

Các nghiên cứu về cấu trúc QXTT sống tự do ở một số hệ sinh thái thủy vực ở Việt Nam, như rừng ngập mặn Cần Giờ [257], cửa sông Mê Kông [169], sông Sài Gòn [258], và rừng ngập mặn Cà Mau [259], đều ghi nhận QXTT gồm 2 lớp Chromadorea và Enoplea, với lớp Chromadorea chiếm ưu thế hơn khi so với lớp Enoplea.

### 3.2.1.2. Đặc điểm về bộ (order)

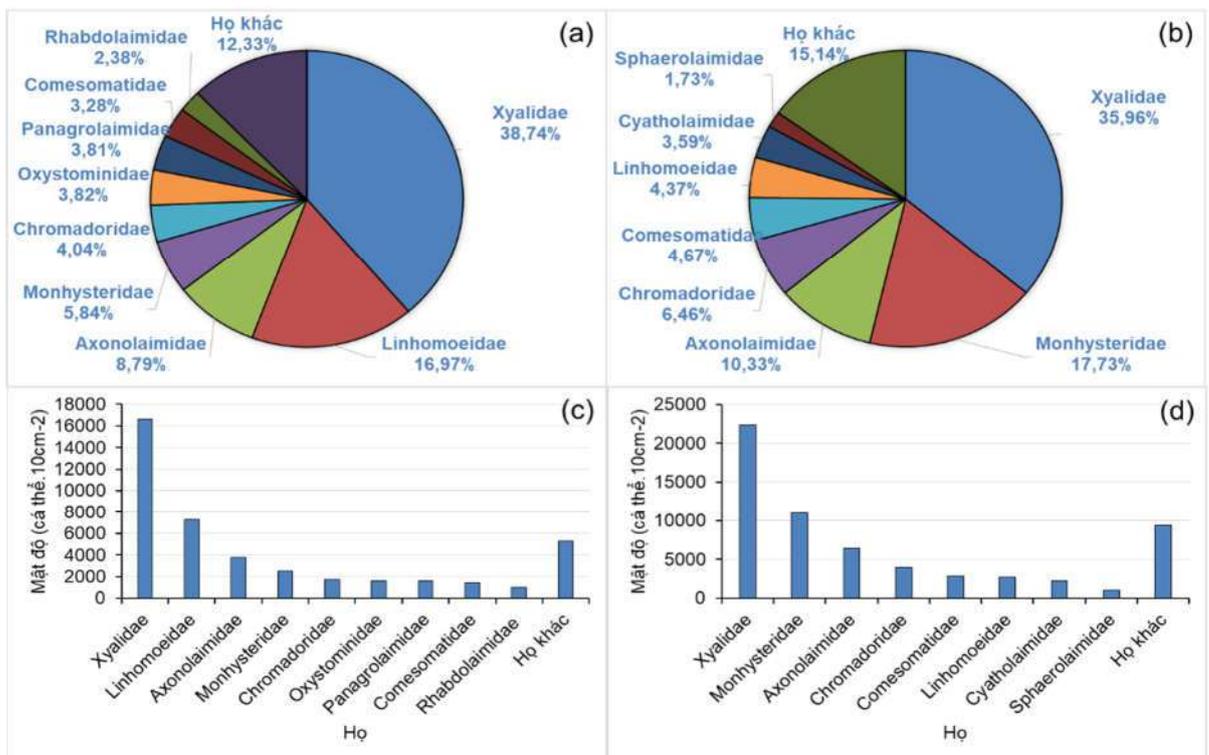
Các bộ chiếm ưu thế vào mùa mưa gồm Monhysterida (61,89% tổng số cá thể), Araeolaimida (12,13%), Enoplida (9,71%), Chromadorida (5,58%). Tương tự, các bộ Monhysterida (59,80%) và Araeolaimida (15,55%) vẫn chiếm ưu thế trong mùa khô, tiếp theo đó là Chromadorida (10,14%) và Enoplida (5,43%) (Hình 3.18, Phụ lục 5).



**Hình 3.18. Tỷ lệ và mật độ các bộ ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d)**

### 3.2.1.3. Đặc điểm về họ (family)

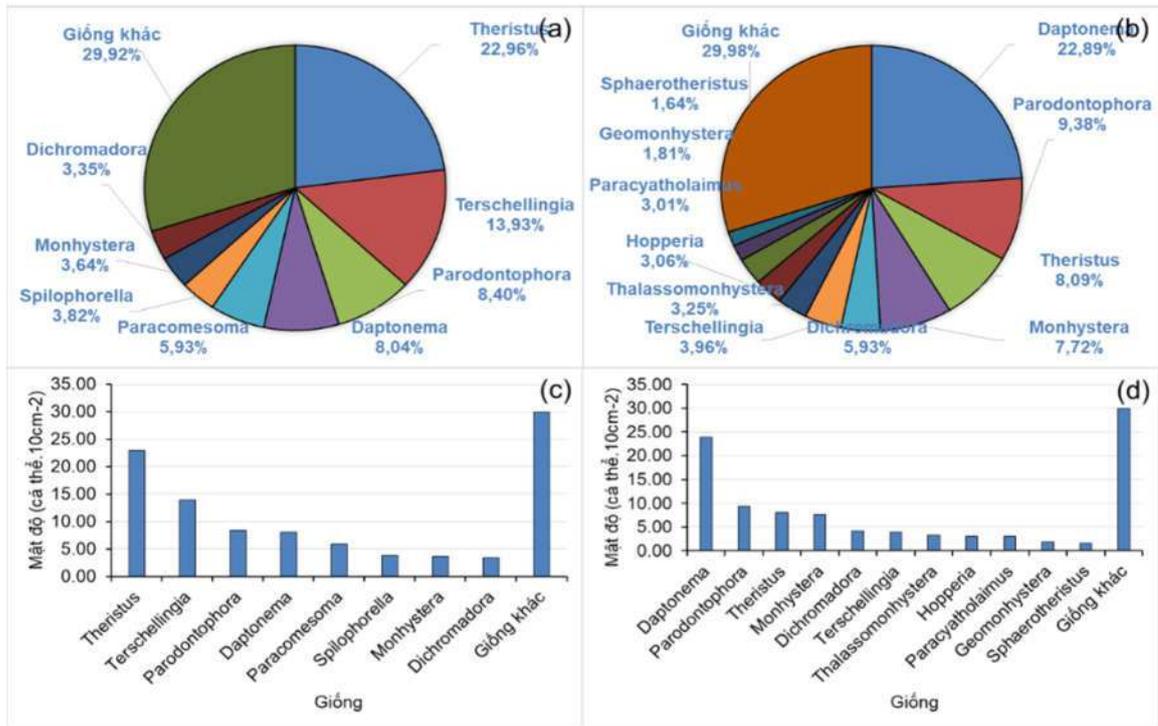
Họ Xyalidae chiếm ưu thế tuyệt đối ở 2 mùa khảo sát (mùa mưa 38,74%, mùa khô 35,96%). Họ Linhomoeidae ưu thế thứ 2 vào mùa mưa (16,97%), tuy nhiên ở mùa khô, họ này chỉ chiếm ưu thế thứ 5 (4,37%). Tương tự, họ Monhysteridae chiếm ưu thế thứ 2 ở mùa khô (17,73%), nhưng họ này chỉ chiếm ưu thế thứ 4 vào mùa mưa (5,84%). Họ Axonolaimidae vẫn chiếm ưu thế cao ở cả 2 mùa, chiếm 8,79% vào mùa mưa và 10,33% vào mùa khô. Một số họ như Oxystominidae, Panagrolaimidae, Comesomatidae, và Rhabdolaimidae có số lượng cá thể khá cao trong mùa mưa; tuy nhiên không còn giữ được sự ưu thế đó vào mùa khô, mà thay vào đó là các họ như Comesomatidae, Cyatholaimidae, và Sphaerolaimidae (Hình 3.19, Phụ lục 5).



**Hình 3.19. Tỷ lệ và mật độ các họ ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d)**

### 3.2.1.4. Đặc điểm về giống (genus)

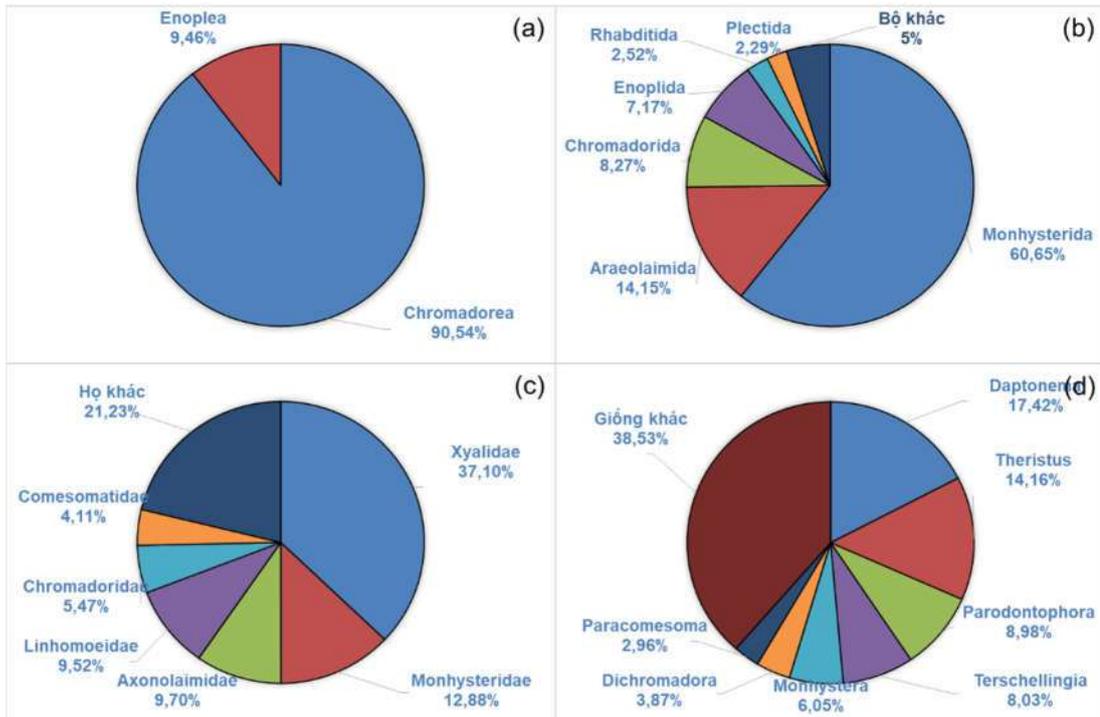
Các giống ưu thế ở mùa mưa như *Theristus*, *Terschellingia*, *Parodontophora*, *Daptonema*, *Parcomesoma*, *Spilophorella*, *Monhystera*, *Dichromadora* cũng sẽ chiếm ưu thế trong mùa khô. Tuy nhiên, thứ tự và tỷ lệ các giống ưu thế có sự khác biệt đáng kể giữa 2 mùa khảo sát. Thí dụ, mùa mưa giống *Theristus* chiếm ưu thế cao với 22,96%; tuy nhiên sang mùa khô, giống này chỉ ưu thế thứ 3 với 8,09%. Tương tự, giống *Daptonema* ưu thế cao ở mùa khô (22,89%) nhưng chỉ chiếm ưu thế thứ 4 trong mùa mưa (8,04%) (Hình 3.20, Phụ lục 5).



**Hình 3.20. Tỷ lệ và mật độ các giống ưu thế trong QXTT sông Ba Lai vào mùa mưa (a, c), mùa khô (b, d)**

### 3.2.1.5. Tổng hợp quần xã tuyến trùng

Mùa mưa, quần xã tuyến trùng sông Ba Lai gồm 132 giống, 55 họ, 10 bộ, và 2 lớp (Chromadorea và Enoplea). Trong đó 10 bộ gồm: Araeolaimida, Chromadorida, Desmodorida, Desmoscolecida, Dorylaimida, Enoplida, Monhysterida, Mononchida, Plectida, Rhabditida, và Triplonchida. Trong mùa khô, cấu trúc QXTT có sự thay đổi, số giống tăng lên 145 giống thuộc 56 họ, 11 bộ, và 2 lớp Chromadorea và Enoplea. Quần xã tuyến trùng sông Ba Lai tổng hợp từ các đợt khảo sát ghi nhận 190 giống, 67 họ, 11 bộ, và 2 lớp. Nhìn chung, trong QXTT sông Ba Lai, lớp Chromadorea vẫn chiếm ưu thế tuyệt đối (90,54%) khi so với Enoplea (9,46%). Bộ Monhysterida chiếm ưu thế tuyệt đối trong quần xã với 60,65%, sau đó là Araeolaimida (14,15%), Chromadorida (8,27%), và Enoplida (7,17%). Họ Xyalidae và Monhysteridae có vai trò quan trọng trong quần xã, với tỷ lệ ưu thế lần lượt là 37,10% và 12,88%, sau đó sẽ là các họ Axonolaimidae (9,70%), Linhomoeidae (9,52%), Chromadoridae (5,47%), và Comesomatidae (4,11%). Sự ưu thế của họ Xyalidae là do đóng góp của 2 giống thuộc họ này là *Daptonema* và *Theristus*. Ngoài ra, một số giống khác như *Parodontophora*, *Terschellingia*, và *Monhystera* cũng chiếm ưu thế khá cao trong quần xã (Hình 3.21).



**Hình 3.21. Cấu trúc tổng hợp thành phần quần xã tuyến trùng sông Ba Lai: lớp (a), bộ (b), họ (c), và giông (d)**

Quần xã tuyến trùng sông Ba Lai có sự đa dạng cao về cấu trúc quần xã khi so với các nghiên cứu trước đây trong và ngoài nước. Nghiên cứu về QXTT của sông Mê Kông ghi nhận 135 giông, 35 họ [169], rừng ngập mặn Cần Giờ với 80 giông [257], sông Sài Gòn (88 - 102 giông, 42 - 45 họ) [258], một số cửa sông ở Châu Âu (Ems, Westerschelde, Somme, Gironde, và Tagus) có 120 giông, 35 họ [126], cửa sông Mondego và Mira (45 giông, 19 họ) [119].

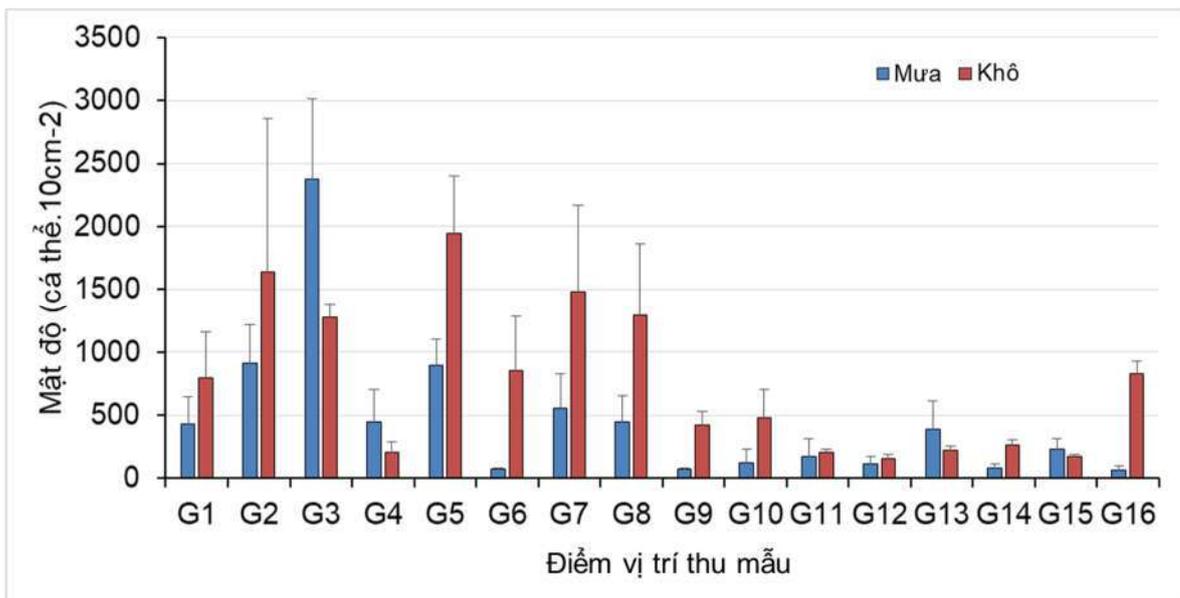
Nghiên cứu đầu tiên về QXTT của sông Mê Kông là của tác giả Ngo và cộng sự (2010); nghiên cứu cho rằng QXTT có tính đa dạng rất cao và có thể cao hơn nữa nếu nghiên cứu tiếp theo tăng tần suất và tăng vị trí khảo sát [169]. Thật vậy, khi tăng từ 8 lên 16 vị trí khảo sát thì số lượng giông, họ tăng lên đáng kể. Khi bố trí 8 vị trí khảo sát thì chỉ nghiên cứu được QXTT ở hệ sinh thái nước mặn (3 vị trí ngoài đập Ba Lai), và hệ sinh thái nước lợ (5 vị trí trong đập) của sông Ba Lai. Nghiên cứu của Tran và cộng sự (2018) cho thấy vào mùa khô, nước mặn từ sông Tiền, qua kênh An Hóa đổ vào trong đập Ba Lai, làm cho nước trong đập chuyển từ ngọt sang lợ [239]. Việc mở rộng lên 16 điểm thu mẫu trong luận án giúp bao phủ đầy đủ 3 hệ sinh thái mặn, lợ, và ngọt theo toàn tuyến sông Ba Lai, trong khi các nghiên cứu trước đây chỉ khảo sát ít điểm, chủ yếu tập trung vùng hạ lưu hoặc một mùa, nên chưa phản ánh đầy đủ gradient sinh thái. Điều này thể hiện trong kết quả độ mặn hình 3.8 (khu vực ngọt quanh năm: các vị trí G4 - G16 (từ trong đập đến thượng nguồn và ngã ba An Hóa); khu vực lợ: các vị trí G2 - G3 (vùng chuyển tiếp mặn ngọt); khu vực mặn: G1

- cửa sông ngoài đập). Nhờ bao quát cả không gian sinh thái rộng hơn và điều kiện môi trường đa dạng hơn, nghiên cứu luận án này ghi nhận số giống và họ tuyến trùng cao hơn, phản ánh đầy đủ hơn cấu trúc quần xã so với các nghiên cứu trước tại sông Ba Lai.

### 3.2.2. Mật độ quần xã

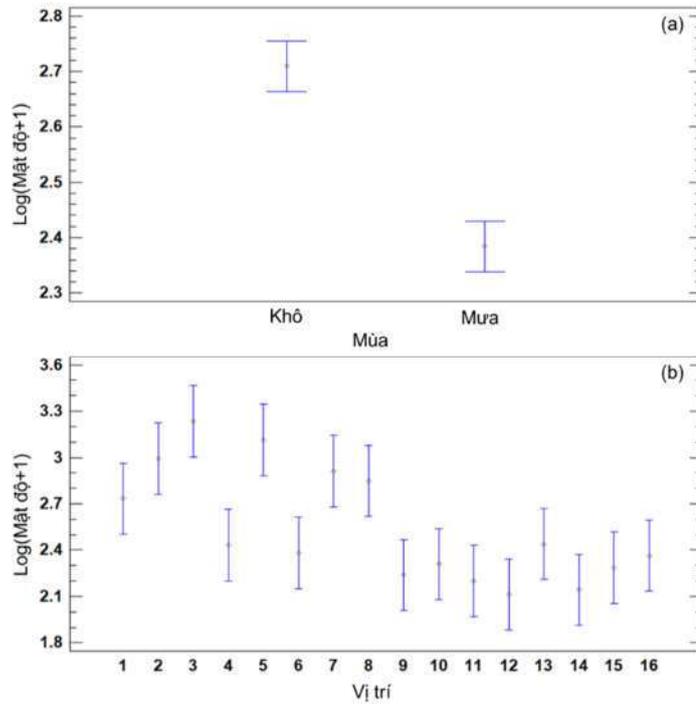
Mật độ trung bình quần xã tuyến trùng vào mùa mưa từ  $76 \pm 7$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  (G6) đến  $2379 \pm 63$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  (G3). Hai vị trí ngoài đập Ba Lai cũng ghi nhận mật độ cao, cụ thể vị trí G1 là  $430 \pm 215$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  và vị trí G2 là  $911 \pm 303$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ . Các vị trí trong đập Ba Lai có mật độ thấp hơn  $100$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  gồm vị trí G9 ( $72 \pm 8$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ), vị trí G14 ( $80 \pm 37$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ), vị trí G16 ( $68 \pm 31$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ). Ngoài ra, các vị trí còn lại trong đập Ba Lai có mật độ dao động từ  $117 \pm 59$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  đến  $895 \pm 208$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ .

Mùa khô, mật độ trung bình QXTT sông Ba Lai từ  $173 \pm 21$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  (G15) đến  $1642 \pm 1215$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  (G2). Vị trí G1, G3, G5, G7, G8 cũng có mật độ cao, lần lượt tương ứng đạt  $793 \pm 362$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ;  $1272 \pm 113$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ;  $1946 \pm 459$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ;  $1478 \pm 695$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ ;  $1290 \pm 576$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ . Vị trí G16 và G6 cũng có mật độ khá cao, tương ứng đạt  $825 \pm 100$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  và  $856 \pm 430$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$ . Các vị trí còn lại từ  $200$  đến  $400$  cá thể. $10\text{ cm}^{-2}$  (Hình 3.22).



**Hình 3.22. Mật độ trung bình của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**

Kết quả phân tích ANOVA 2 yếu tố và hậu kiểm Tukey HSD cho thấy mật độ QXTT mùa khô cao hơn mùa mưa ( $p < 0,001$ ) và có sự khác biệt ý nghĩa vị trí ( $p < 0,001$ ). Các vị trí G2, G3, G5, G7, G8 có mật độ cao khác biệt khi so với các vị trí còn lại ở khu vực sông Ba Lai (Hình 3.23, Phụ lục 6).

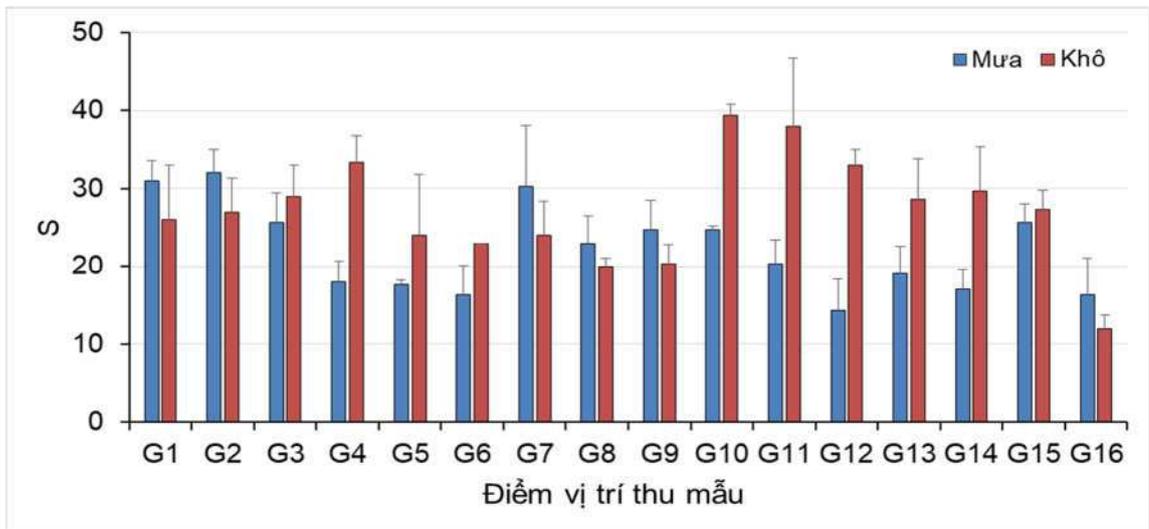


**Hình 3.23. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD mật độ của QXTT theo mùa (a), vị trí (b)**

**3.2.3. Đa dạng sinh học quần xã**

**3.2.3.1. Chỉ số phong phú giống (S)**

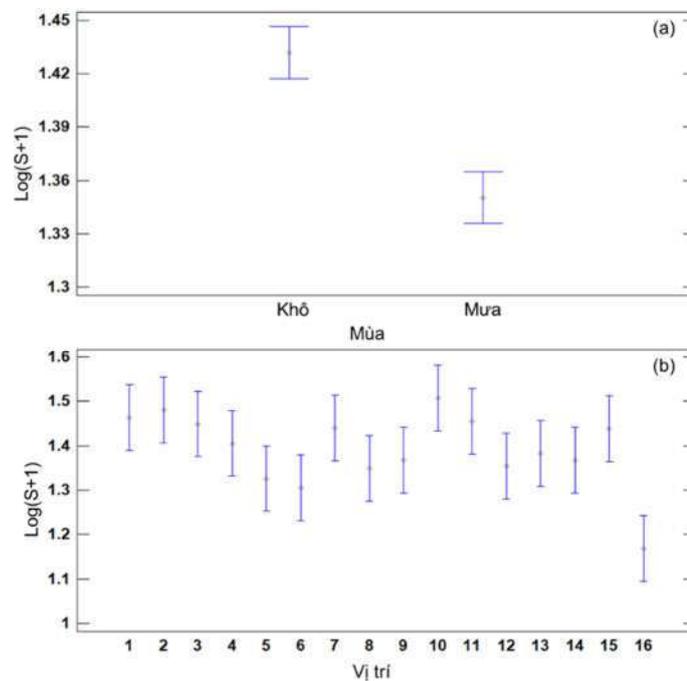
Chỉ số phong phú về giống (S) của QXTT ở sông Ba Lai vào mùa mưa từ  $14,33 \pm 4,04$  (G12) đến  $32,00 \pm 3,00$  (G2). Các vị trí ngoài đập cũng ghi nhận chỉ số S cao, cụ thể vị trí G1 là  $31,00 \pm 2,65$  và vị trí G3 là  $25,67 \pm 3,79$ . Trong đập Ba Lai, các vị trí G5, G6, G14, G16 có chỉ số giống (S) thấp, tương ứng đạt  $17,67 \pm 0,58$ ;  $16,33 \pm 3,79$ ;  $17,00 \pm 2,65$ ;  $16,33 \pm 4,73$ . Các vị trí còn lại có chỉ số S dao động từ 18-30.



**Hình 3.24. Chỉ số phong phú về giống (S) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**

Mùa khô, chỉ số phong phú về giống (S) của QXTT từ  $12,00 \pm 1,73$  (G16) đến  $20,00 \pm 1,00$  (G8). Các vị trí ngoài đập Ba Lai có chỉ số S là  $26,00 \pm 7,00$  (G1),  $27,00 \pm 4,36$  (G2),  $29,00 \pm 4,00$  (G3). Các vị trí từ G5 đến G9 có chỉ số S khá thấp, chỉ từ  $20,00 \pm 1,00$  đến  $24,00 \pm 7,81$ . Ngược lại, các vị trí G10 đến G15 có chỉ số S cao, từ  $27,33 \pm 2,52$  đến  $38,00 \pm 8,72$  (trừ G16) (Hình 3.24).

Kết quả phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy chỉ số phong phú về giống (S) có khác biệt ý nghĩa theo mùa ( $p < 0,001$ ), vị trí ( $p < 0,001$ ), và tương tác mùa\*vị trí ( $p < 0,001$ ). Phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy mùa khô có chỉ số S cao hơn mùa mưa, và vị trí G16 có chỉ số S thấp khác biệt có ý nghĩa khi so với các vị trí còn lại (Hình 3.25, Phụ lục 6).

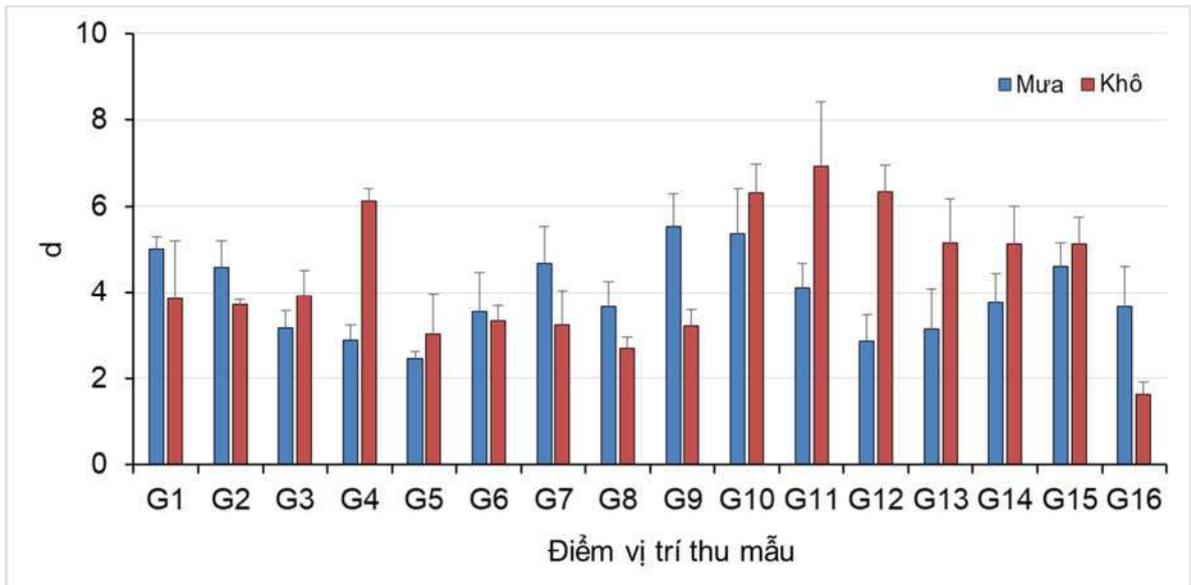


**Hình 3.25. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số phong phú về giống (S) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai theo mùa (a), vị trí (b)**

### 3.2.3.2. Chỉ số đa dạng Margalef (d)

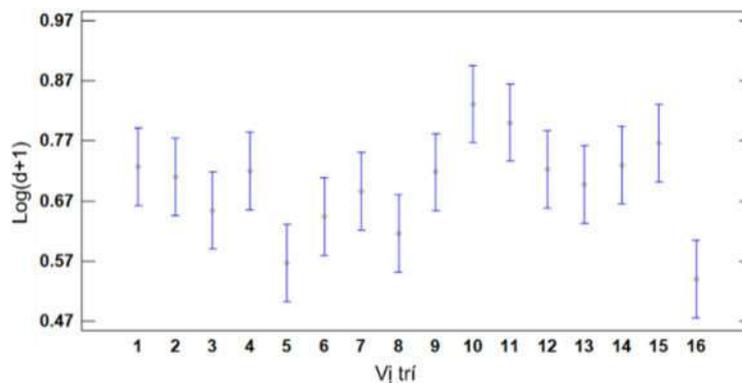
Chỉ số đa dạng Margalef (d) của QXTT vào mùa mưa từ  $2,46 \pm 0,16$  (G5) đến  $5,53 \pm 0,77$  (G9). Chỉ số d giảm dần từ cửa sông về đập Ba Lai với  $5,02 \pm 0,28$ ;  $4,59 \pm 0,61$ ;  $3,18 \pm 0,39$  tương ứng với G1, G2, và G3. Trong đập Ba Lai, vị trí G4 và G12 có chỉ số d khá thấp, tương ứng  $2,88 \pm 0,37$ ;  $2,85 \pm 0,63$ . Các vị trí từ G7-G11 có d khá cao, từ  $3,66 \pm 0,60$  đến  $5,53 \pm 0,77$ . Thượng nguồn (G14-G16) có chỉ số d từ  $3,66 \pm 0,94$  đến  $4,60 \pm 0,56$  (Hình 3.26). Mùa khô, chỉ số đa dạng Margalef (d) của QXTT sông Ba Lai từ  $1,64 \pm 0,26$  (G16) đến  $6,94 \pm 1,50$  (G11). Chỉ số d gần như tương đương nhau ở 3 vị trí ngoài đập Ba Lai với  $3,85 \pm 1,36$ ;  $3,73 \pm 0,10$ ;  $3,92 \pm 0,61$  tương ứng với vị trí G1, G2, G3. Chỉ số d các vị trí từ G5-G9 khá thấp, dao động từ  $2,69 \pm$

0,27 đến  $3,34 \pm 0,35$ . Các vị trí từ G10-G15 có chỉ số d khá cao, từ  $5,13 \pm 0,61$  đến  $6,94 \pm 1,50$  (Hình 3.26).



**Hình 3.26. Chỉ số đa dạng Margalef (d) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**

Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy chỉ số đa dạng Margalef (d) không có khác biệt ý nghĩa theo mùa ( $p = 0,053$ ) nhưng có sự khác biệt theo vị trí ( $p < 0,001$ ), và tương tác mùa\*vị trí ( $p < 0,001$ ). Phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy vị trí G16 có chỉ số d thấp khác biệt có ý nghĩa khi so với các vị trí còn lại (Hình 3.27, Phụ lục 6).

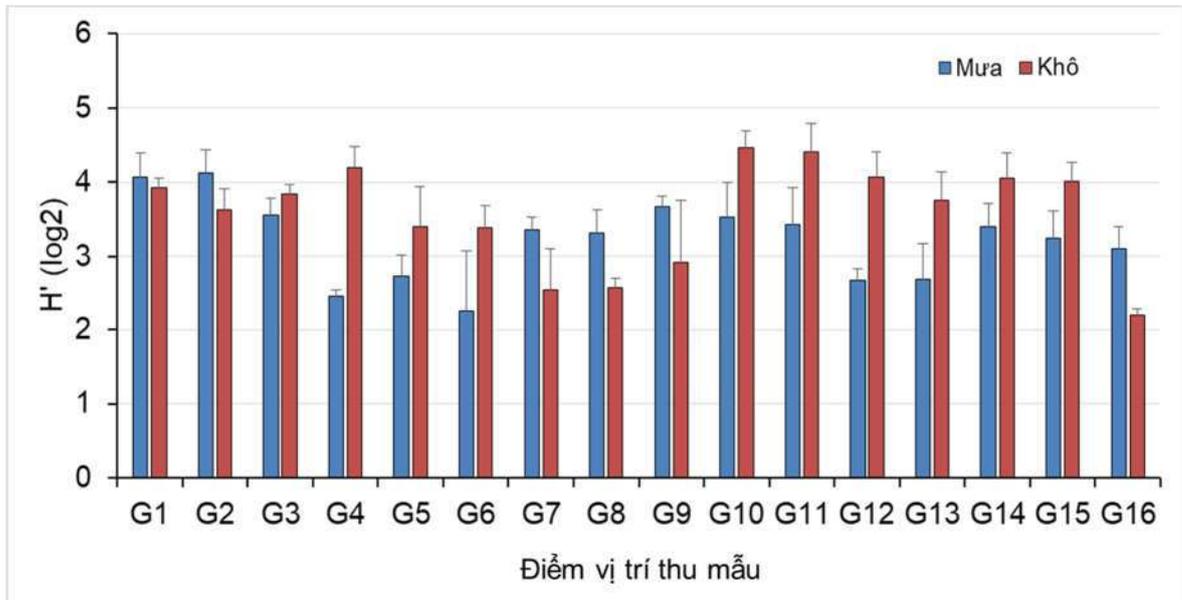


**Hình 3.27. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đa dạng Margalef (d) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**

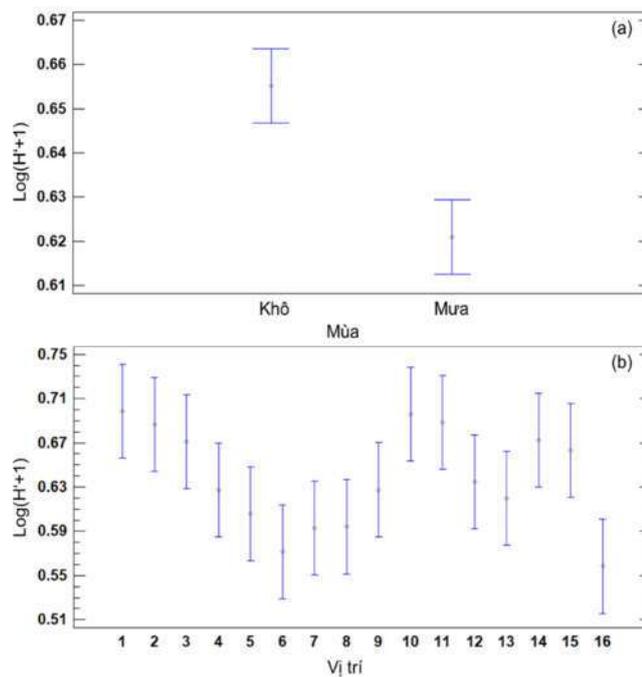
### 3.2.3.3. Chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H' \log_2$ )

Mùa mưa, chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) của QXTT ở các vị trí G4, G5, G6, G12, G13 khá thấp khi so với các vị trí còn lại, lần lượt là  $2,47 \pm 0,08$ ;  $2,73 \pm 0,29$ ;  $2,25 \pm 0,82$ ;  $2,68 \pm 0,15$ ;  $2,69 \pm 0,49$ . Các vị trí còn lại có chỉ số  $H'$  từ  $3,11 \pm 0,29$  đến  $4,07 \pm 0,32$ . Chỉ số  $H'$  của QXTT sông Ba Lai mùa khô từ  $2,19 \pm 0,09$  (G16) đến  $4,47 \pm 0,22$  (G10). Ngoài đập có chỉ số  $H'$  cao, từ  $33,93 \pm 0,12$ ;  $3,62 \pm 0,28$ ;  $3,84$

$\pm 0,13$  tương ứng cho G1, G2, G3. Trong đập có vị trí G7, G8, G9, G16 là ghi nhận  $H'$  thấp, tương ứng là  $2,55 \pm 0,54$ ;  $2,58 \pm 0,12$ ;  $2,58 \pm 0,12$ ;  $2,19 \pm 0,09$ . Các vị trí còn lại có  $H'$  khá cao, từ  $3,75 \pm 0,39$  đến  $4,47 \pm 0,22$  (Hình 3.28).



**Hình 3.28. Chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H'$  log<sub>2</sub>) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**



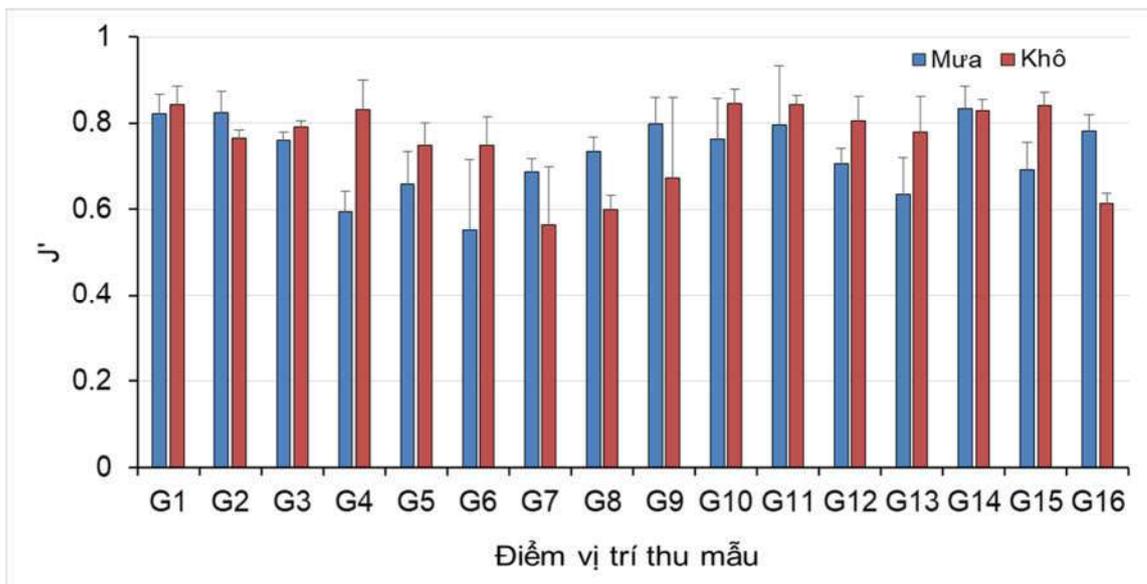
**Hình 3.29. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đa dạng Shannon-Weiner ( $H'$  log<sub>2</sub>) của QXTT theo mùa (a), vị trí (b)**

Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) có khác biệt ý nghĩa theo mùa ( $p < 0,001$ ), vị trí ( $p < 0,001$ ), và tương tác mùa\*vị trí ( $p < 0,001$ ). Phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy, mùa khô có chỉ số  $H'$  cao hơn

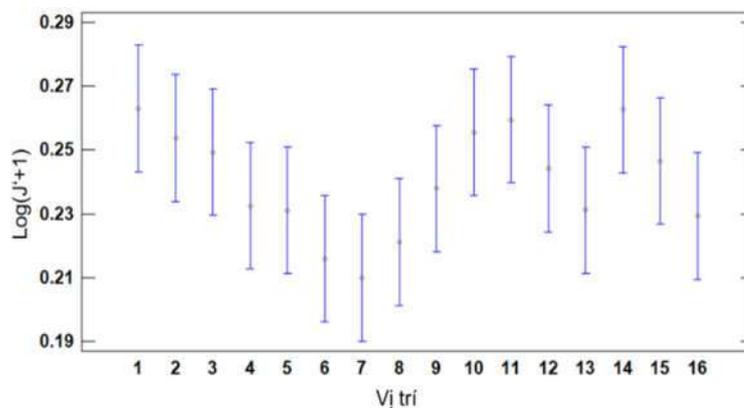
mùa mưa và vị trí G16 có chỉ số H' thấp khác biệt có ý nghĩa khi so với các vị trí còn lại (Hình 3.29, Phụ lục 6).

#### 3.2.3.4. Chỉ số đồng đều Pielou (J')

Chỉ số đồng đều Pielou (J') của QXTT vào mùa mưa từ  $0,55 \pm 0,16$  (G6) đến  $0,83 \pm 0,06$  (G14). Ngoài đập, chỉ số J' giảm dần, từ  $0,82 \pm 0,04$ ;  $0,82 \pm 0,05$ ;  $0,76 \pm 0,02$  tương ứng cho G1, G2, và G3. Các vị trí bên trong đập như G4, G5, G13 có chỉ số J' thấp, tương ứng là  $0,59 \pm 0,05$ ;  $0,66 \pm 0,07$ ;  $0,55 \pm 0,16$ ;  $0,63 \pm 0,09$ . Các vị trí còn lại có J' dao động từ  $0,69 \pm 0,04$  đến  $0,80 \pm 0,06$ . Mùa khô, chỉ số J' của QXTT sông Ba Lai từ  $0,56 \pm 0,14$  (G7) đến  $0,84$  (G10, G11, G15). Ngoài đập, vị trí G1 cũng có chỉ số J' khá cao,  $0,84 \pm 0,04$ . Nhóm các vị trí trong gần chân đập Ba Lai (G4-G6) và các vị trí từ G10 đến G15 có chỉ số J' cao. Tuy nhiên, vị trí thượng nguồn G16 ghi nhận J' thấp,  $0,61 \pm 0,02$  (Hình 3.30).



Hình 3.30. Chỉ số đồng đều Pielou (J') của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai

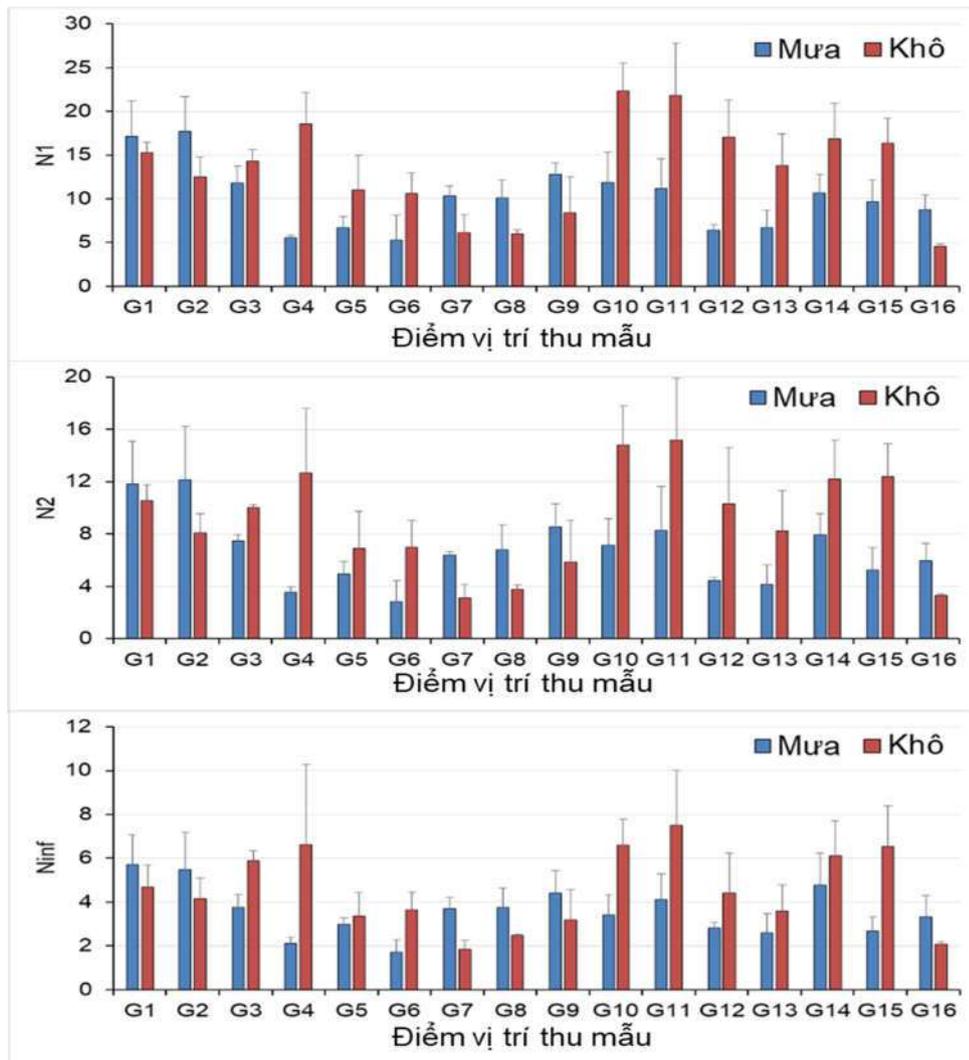


Hình 3.31. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số đồng đều Pielou (J') của quần xã tuyến trùng

Kết quả phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy chỉ số đồng đều Pielou ( $J'$ ) không có khác biệt ý nghĩa theo mùa ( $p = 0,063$ ) nhưng có sự khác biệt theo vị trí ( $p < 0,001$ ), và tương tác mùa\*vị trí ( $p < 0,001$ ). Phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy vị trí G6, G7 có chỉ số đồng đều Pielou thấp khác biệt có ý nghĩa khi so với các vị trí G1, G11, G14 (Hình 3.31, Phụ lục 6).

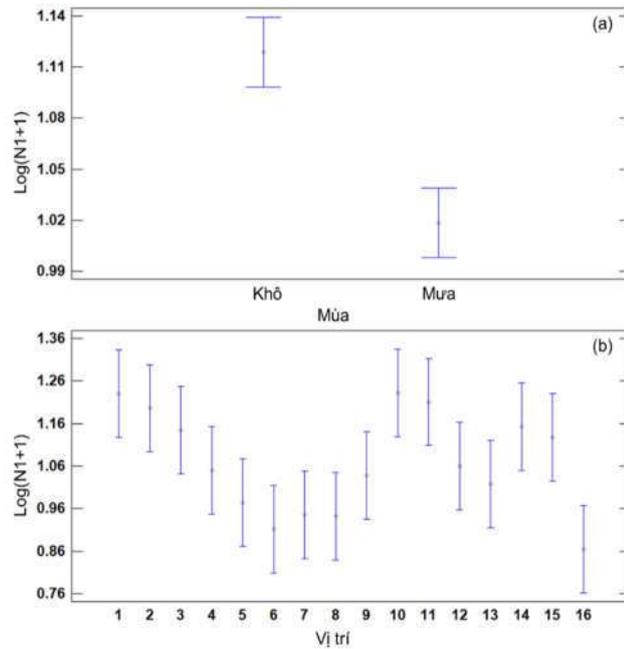
### 3.2.3.5. Chỉ số đa dạng Hill ( $N_1, N_2, N_{inf}$ )

Mùa mưa ghi nhận chỉ số đa dạng Hill ( $N_1, N_2, N_{inf}$ ) ở các vị trí ngoài đập cao,  $N_1$  từ  $11,83 \pm 1,90$  đến  $17,69 \pm 3,95$ ;  $N_2$  từ  $7,45 \pm 0,50$  đến  $12,14 \pm 4,08$ ;  $N_{inf}$  từ  $3,77 \pm 0,58$  đến  $5,73 \pm 1,35$ . Khu vực trong gần chân đập Ba Lai (G4-G6) và G12, G13 có chỉ số đa dạng Hill thấp,  $N_1$  từ  $5,27 \pm 2,83$  đến  $6,72 \pm 1,27$ ;  $N_2$  từ  $2,84 \pm 1,57$  đến  $4,96 \pm 0,94$ ;  $N_{inf}$  từ  $1,72 \pm 0,56$  đến  $2,98 \pm 0,30$ . Ngược lại, khu vực từ G7-G11, và thượng nguồn có chỉ số đa dạng Hill cao,  $N_1$  từ  $8,73 \pm 1,76$  đến  $12,80 \pm 1,25$ ;  $N_2$  từ  $5,23 \pm 1,71$  đến  $8,54 \pm 1,77$ ;  $N_{inf}$  từ  $2,68 \pm 0,96$  đến  $4,42 \pm 1,02$  (Hình 3.32).

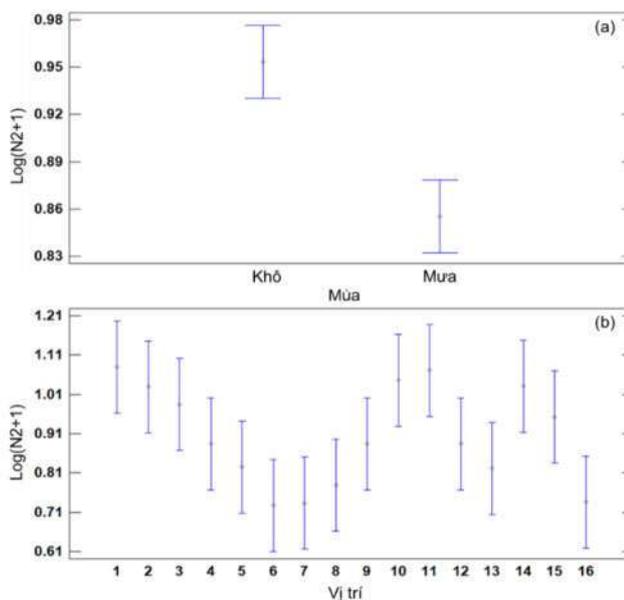


**Hình 3.32. Chỉ số đa dạng Hill ( $N_1, N_2, N_{inf}$ ) của quần xã tuyến trùng ở sông Ba Lai**

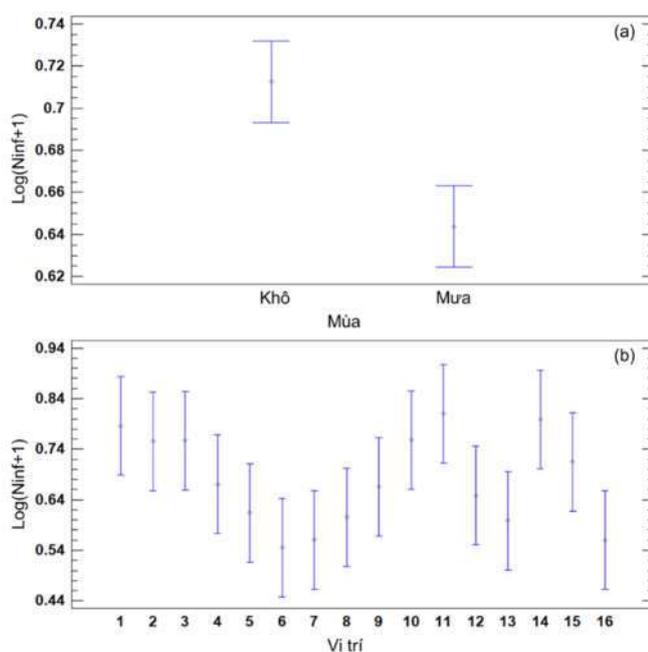
Sang mùa khô, các vị trí ngoài đập Ba Lai và thượng nguồn (trừ G16) vẫn ghi nhận chỉ số đa dạng Hill cao,  $N_1$  từ  $12,48 \pm 2,27$  đến  $22,34 \pm 3,19$ ;  $N_2$  từ  $8,05 \pm 1,50$  đến  $15,16 \pm 4,27$ ;  $N_{inf}$  từ  $3,59 \pm 1,18$  đến  $7,51 \pm 2,51$ . Trong khi mùa mưa, vị trí chân đập Ba Lai có chỉ số Hill thấp thì sang mùa khô, vị trí này có giá trị Hill rất cao ( $N_1$ :  $18,52 \pm 3,68$ ;  $N_2$ :  $12,65 \pm 0,21$ ;  $N_{inf}$ :  $6,64 \pm 3,65$ ). Ngược lại, nhóm các vị trí từ G5-G9 và G16 có giá trị Hill rất thấp,  $N_1$  từ  $4,58 \pm 0,29$  đến  $11,03 \pm 3,88$ ;  $N_2$  từ  $3,31 \pm 0,14$  đến  $7,06 \pm 2,04$ ;  $N_{inf}$  từ  $1,85 \pm 0,40$  đến  $3,64 \pm 0,82$  (Hình 3.32).



**Hình 3.33. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill  $N_1$  theo mùa (a), vị trí (b)**



**Hình 3.34. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill  $N_2$  theo mùa (a), vị trí (b)**



**Hình 3.35. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số Hill  $N_{inf}$  theo mùa (a), vị trí (b)**

Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy 3 chỉ số đa dạng Hill ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_{inf}$ ) đều có khác biệt ý nghĩa theo mùa ( $p < 0,001$ ), vị trí ( $p < 0,001$ ), và tương tác mùa\*vị trí ( $p < 0,001$ ). Phân tích hậu kiểm Tukey HSD cho thấy mùa khô có chỉ số Hill cao hơn mùa mưa, và vị trí G16 có chỉ số H' thấp khác biệt ý nghĩa khi so với các vị trí còn lại (Hình 3.33, 3.34 & Hình 3.35, Phụ lục 6).

Quần xã tuyền trùng ở sông Ba Lai có mật độ và đa dạng sinh học tương đối cao khi so với một số khu vực trên Thế giới, khu vực Đông Nam Á và Việt Nam. Mật độ QXTT sông Ba Lai cao hơn một số vị trí thuộc ở bờ biển Northumberland, Anh [260]; Địa Trung Hải [261]; các sông Elbe, Oder, Rhine, Đức [262]; sông Taro và Ticino, Italy [263]. Ngược lại, mật độ QXTT sông Ba Lai thấp hơn ở cửa sông Scheldt, Hà Lan [126]; cửa sông Vado Ligure, Italy [264]; sông Mississippi, Hoa Kỳ [265]; cửa sông Mê Kông [169]; sông Cầu [266], sông Cái [267]. Mặt khác kết quả cho thấy, mật độ QXTT sông Ba Lai gần tương đương với nghiên cứu của Ngo và cộng sự (2007) ở Cần Giờ [257], Ngo và cộng sự (2018) ở sông Sài Gòn [258] (Phụ lục 7).

Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner ( $H'$ ) cho thấy QXTT sông Ba Lai đa dạng hơn ở Larsemann Ice Shelf, East Antarctica [268]; một số cửa sông ở Australia [269]; Keyhaven-Lymington, Anh [270]; Victoria, SE Australia [271]. Tuy nhiên, đa dạng sinh học của QXTT sông Ba Lai thấp hơn ở nước ngoài khi so với các nghiên cứu của Rzeznik - Orignac và cộng sự (2003) ở Marennes-Oléron, Pháp [272]; Netto và Gallucci (2003) ở Santa Catarina, South Brazil [273]; Losi và cộng sự (2013) ở Vado Ligure, Italy [264]; Anderson (1992) ở sông Mississippi, Hoa Kỳ [265]; Heininger

và cộng sự (2007) ở các cửa sông Elbe, Oder, Rhine, Đức [262]. Đa dạng sinh học QXTT sông Ba Lai (Bến Tre) thấp hơn một số khu vực ở Việt Nam như sông Sài Gòn [258], cửa sông Mê Kông [215], Cần Giò [257], Cửa Lục, Quảng Ninh [164]. So sánh với khu vực Đông Nam Á còn rất ít thông tin nghiên cứu, tuy nhiên mật độ và đa dạng sinh học QXTT sông Ba Lai hầu hết ghi nhận khá cao điển hình như Merbok (Malaysia) [274], Sarawak (Malaysia) [275], Quần đảo Krakatau, Indonesia [276], Selangor, Malaysia [277] (chi tiết ở Phụ lục 7).

Khi so sánh quần xã tuyến trùng với các nghiên cứu khác cùng lưu vực sông Ba Lai tỉnh Vĩnh Long (tỉnh Bến Tre cũ) cho thấy, quần xã tuyến trùng vùng triều (trong nghiên cứu này, Ngo và cộng sự (2016) [7], Tran và cộng sự (2022) [173], Nguyen và cộng sự (2022) [170]) thường mật độ và đa dạng sinh học cao hơn vùng dưới triều (Bảng 3.2). Quần xã tuyến trùng trở nên kém đa dạng hơn khi độ sâu tăng lên. Kết quả được giải thích là do lượng oxy hòa tan và nguồn thức ăn cho tuyến trùng. Độ sâu lớn hơn làm cho lượng oxy hòa tan thấp và các chất hữu cơ (là nguồn thức ăn của tuyến trùng) có thể bị phân hủy một phần hoặc toàn bộ bởi các sinh vật trong cột nước trước khi đến trầm tích [278].

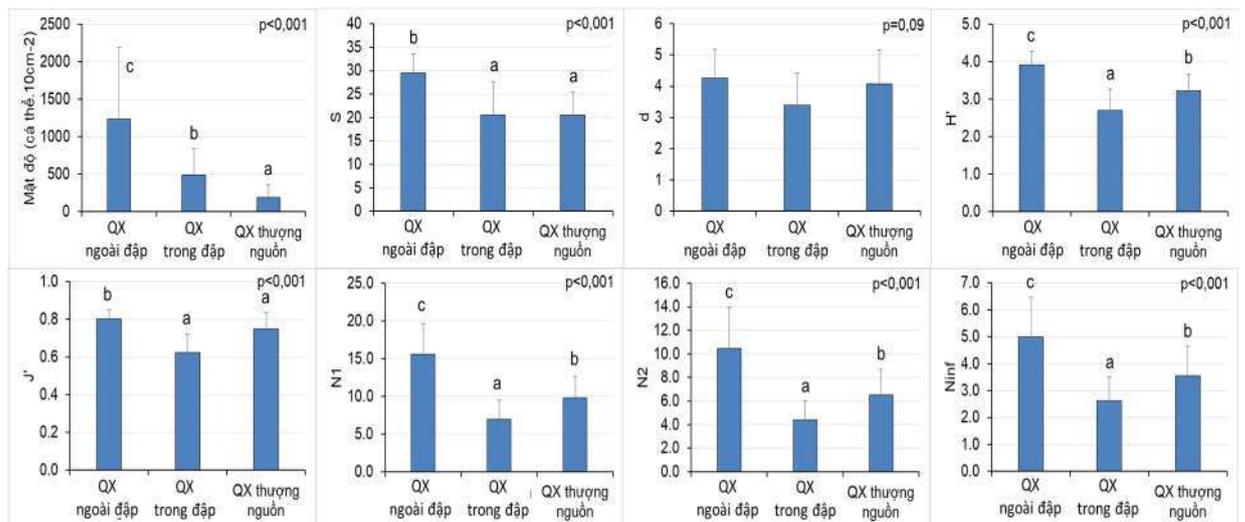
**Bảng 3.2. So sánh cấu trúc thành phần quần xã tuyến trùng sống tự do sông Ba Lai ở các nghiên cứu khác nhau**

<b>Đặc điểm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai</b>	<b>Thời gian</b>	<b>Đặc điểm khảo sát</b>	<b>Tham khảo</b>
190 giống, 67 họ, 11 bộ, 2 lớp, mật độ trung bình: 68 - 2379 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); S trung bình: 12,00 - 39,33; d: 1,64 - 6,94; H': 2,19 - 4,47; J': 0,55 - 0,84; N <sub>1</sub> : 4,58 - 22,34; N <sub>2</sub> : 2,84 - 15,16; N <sub>inf</sub> : 1,72 - 7,51.	4 đợt khảo sát: mùa mưa 2019, mùa khô 2020, mùa mưa 2020, mùa khô 2021	16 vị trí vùng triều: 3 ngoài đập; 13 trong đập: 5 giữa sông (từ ngã 3 An Hóa đến đập Ba Lai), 8 thượng nguồn	Nghiên cứu này
160 giống, 55 họ, 12 bộ, 2 lớp, mật độ: 104 - 5613 cá thể.10 cm <sup>-2</sup> , S: 2,83 - 36,33, H': 2,97 - 4,29, J': 0,64 - 0,83, N <sub>1</sub> : 8,59 - 20,05, N <sub>2</sub> : 4,82 - 14,16, N <sub>inf</sub> : 2,55 - 7,20.	1 đợt: mùa mưa 2015	8 vị trí vùng triều: 3 ngoài đập, 5 trong đập	[173]
129 giống, 47 họ, 11 bộ, 2 lớp, mật độ: 111 - 218 cá thể.10 cm <sup>-2</sup> , S: 14 - 35, H': 1,97- 2,62.	1 đợt: mùa khô 2022	6 vị trí vùng dưới triều: 3 ngoài đập, 3 trong đập	[170]
102 - 137 giống, 43 - 49 họ, 11 bộ, mật độ: 65 - 3269 cá thể.10 cm <sup>-2</sup> , N <sub>1</sub> : 5-14, N <sub>2</sub> : 4 - 9, N <sub>inf</sub> : 2 - 4.	2 đợt: Khô và mưa 2016	8 vị trí vùng triều: 3 ngoài đập, 5 trong đập	[7]



Kết quả phân tích PERMANOVA cho thấy 3 quần xã có sự khác biệt trong cấu trúc thành phần quần xã (Pseudo-F = 10,59; p = 0,001). Do đó, mỗi quần xã có đặc điểm khác nhau và đại diện cho từng điều kiện khác nhau của sông Ba Lai. Nhìn chung, quần xã ngoài đập có mật độ và đa dạng sinh học cao hơn khi so với 2 quần xã còn lại. Mật độ quần xã ngoài đập khoảng  $1240 \pm 953$  cá thể.10 cm<sup>-2</sup>, trong khi quần xã trong đập và thượng nguồn có mật độ lần lượt là  $492 \pm 356$  cá thể.10 cm<sup>-2</sup> và  $188 \pm 169$  cá thể.10 cm<sup>-2</sup>. Các chỉ số S, H', J' và Hill cũng ghi nhận quần xã ngoài đập cao hơn trong đập. Ví dụ, chỉ số H' quần xã ngoài đập là  $3,92 \pm 0,37$ , trong khi quần xã trong đập và thượng nguồn có H' lần lượt là  $2,70 \pm 0,57$  và  $3,22 \pm 0,44$ . Mặc dù, quần xã thượng nguồn có mật độ thấp hơn so với quần xã trong đập, tuy nhiên đa dạng sinh học ở thượng nguồn cao hơn trong đập (Hình 3.37).

Kết quả phân tích ANOVA cho thấy mật độ và các chỉ số đa dạng (trừ chỉ số d) có sự khác biệt ý nghĩa giữa các quần xã. Phân tích hậu kiểm Tukey HSD ghi nhận mật độ, chỉ số H' và Hill ở quần xã ngoài đập lớn hơn quần xã thượng nguồn, và lớn hơn quần xã trong đập. Với chỉ số S và J' thì không có sự khác biệt ý nghĩa giữa quần xã thượng nguồn và trong đập (Hình 3.37).



**Hình 3.37. Đặc trưng sinh thái của 3 quần xã tuyến trùng sông Ba Lai vào mùa mưa (Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD thể hiện qua ký tự a, b, c cùng ký tự thì không khác biệt)**

Kết quả phân tích SIMPER tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai (ở mùa mưa) thể hiện trong Bảng 3.3. Tỷ lệ tương đồng ở từng nhóm quần xã gần như tương đương nhau, từ 49,90% đến 50,74%. Các giống *Daptonema*, *Parodontophora*, *Terschellingia*, và *Theristus* có khả năng thích nghi cao nên xuất hiện ở cả 3 quần xã. Các giống *Leptolaimoides*, *Linhytera*, *Paracomesoma*, *Spilophorella*, và *Trissonchulus* là

những giống thuần mẫn, xuất hiện ở quần xã ngoài đập. Các giống thuần ngọt bao gồm *Adoncholaimus*, *Eumonhystera*, *Monhystrella* ưu thế quần xã trong đập Ba Lai.

Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai mùa mưa thể hiện trong bảng 3.4, bảng 3.5 & bảng 3.6. Tỷ lệ khác biệt giữa nhóm ngoài đập và thượng nguồn khá cao, đạt 75,13%. Ngoài ra, tỷ lệ khác biệt giữa nhóm ngoài đập và nhóm trong đập Ba Lai cũng khá cao (68,89%). Tỷ lệ khác biệt giữa nhóm trong đập và thượng nguồn khoảng 60,66%.

**Bảng 3.3 Tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai ở mùa mưa**

<b>Giống</b>	<b>Quần xã ngoài đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 50,08%)	<b>Quần xã trong đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 50,74%)	<b>Quần xã thượng nguồn</b> (Độ tương đồng trung bình: 49,90%)
<i>Achromadora</i>	*	*	1,15
<i>Adoncholaimus</i>	*	3,3	*
<i>Daptonema</i>	7,86	12,19	10,22
<i>Dichromadora</i>	3,5	*	2,66
<i>Dorylaimidae</i>	*	*	11,73
<i>Eumonhystera</i>	*	5,57	*
<i>Halalaimus</i>	5,29	*	2,52
<i>Leptolaimoides</i>	3,85	*	*
<i>Linhystera</i>	5,29	*	*
<i>Mesodorylaimus</i>	*	3,05	3,87
<i>Metalinhomoeus</i>	*	*	5,91
<i>Monhystera</i>	*	12,37	9,42
<i>Monhystrella</i>	*	1,3	*
<i>Paracomesoma</i>	8,15	*	*
<i>Parodontophora</i>	7,88	10,99	1,17
<i>Prismatolaimus</i>	*	*	1,72
<i>Rhabdolaimus</i>	*	4,51	8,27
<i>Sphaerotheristus</i>	*	*	4,44
<i>Spilophorella</i>	6,22	*	*
<i>Terschellingia</i>	8,89	12,68	12,08
<i>Theristus</i>	4,74	23,03	17,02
<i>Trissonchulus</i>	3,23	*	*

(Ghi chú: \* không ghi nhận)

**Bảng 3.4. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã trong đập vào mùa mưa**

<b>Quần xã ngoài đập và Quần xã trong đập (trung bình khác biệt: 68,89%)</b>						
Giống	Trung bình mật độ QX ngoài đập	Trung bình mật độ QX trong đập	Trung bình khác biệt	Độ lệch chuẩn (SD)	Tỷ lệ đóng góp %	Tỷ lệ tích lũy %
<i>Paracomesoma</i>	4,32	0,07	3,45	3,14	5,01	5,01
<i>Spilophorella</i>	3,73	0,22	2,84	2,14	4,12	9,13
<i>Linhystera</i>	2,91	0	2,34	3,42	3,4	12,53
<i>Theristus</i>	3,61	4,86	2,06	1,29	3	15,52
<i>Trissonchulus</i>	2,66	0	2,06	1,3	2,99	18,51
<i>Litinium</i>	2,51	0	1,93	1,3	2,8	21,31
<i>Leptolaimoides</i>	2,37	0,23	1,83	1,98	2,66	23,97
<i>Halalaimus</i>	2,73	0,82	1,71	1,71	2,49	26,46
<i>Eleutherolaimus</i>	2,11	0	1,64	1,67	2,38	28,84
<i>Metalinhomoeus</i>	0,47	2,2	1,6	1,27	2,32	31,16
<i>Dichromadora</i>	2,12	0,54	1,54	1,69	2,23	33,39
<i>Sabatieria</i>	1,95	0,04	1,52	1,6	2,2	35,59
<i>Parodontophora</i>	4,14	3,36	1,51	1,22	2,2	37,79
<i>Sphaerotheristus</i>	1,71	0,99	1,51	1,06	2,19	39,97
<i>Longicyatholaimus</i>	1,98	0	1,5	1,1	2,18	42,16
<i>Monhystrella</i>	1,86	0,54	1,45	1,24	2,1	44,25
<i>Pseudolella</i>	1,77	0	1,42	1,5	2,07	46,32
<i>Amphimonhystrella</i>	1,61	0,98	1,4	1,06	2,04	48,36
<i>Terschellingia</i>	4,4	3,5	1,38	1,18	2	50,36
<i>Desmodora</i>	1,55	0,58	1,33	1,04	1,93	52,30
<i>Hopperia</i>	1,61	0,06	1,30	1,06	1,89	54,19
<i>Adoncholaimus</i>	0,57	1,63	1,25	1,25	1,82	56,01
<i>Desmodorella</i>	1,43	0,14	1,25	0,83	1,82	57,82
<i>Monhystera</i>	1,96	2,64	1,21	1,45	1,76	59,58

**Bảng 3.5. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa mưa**

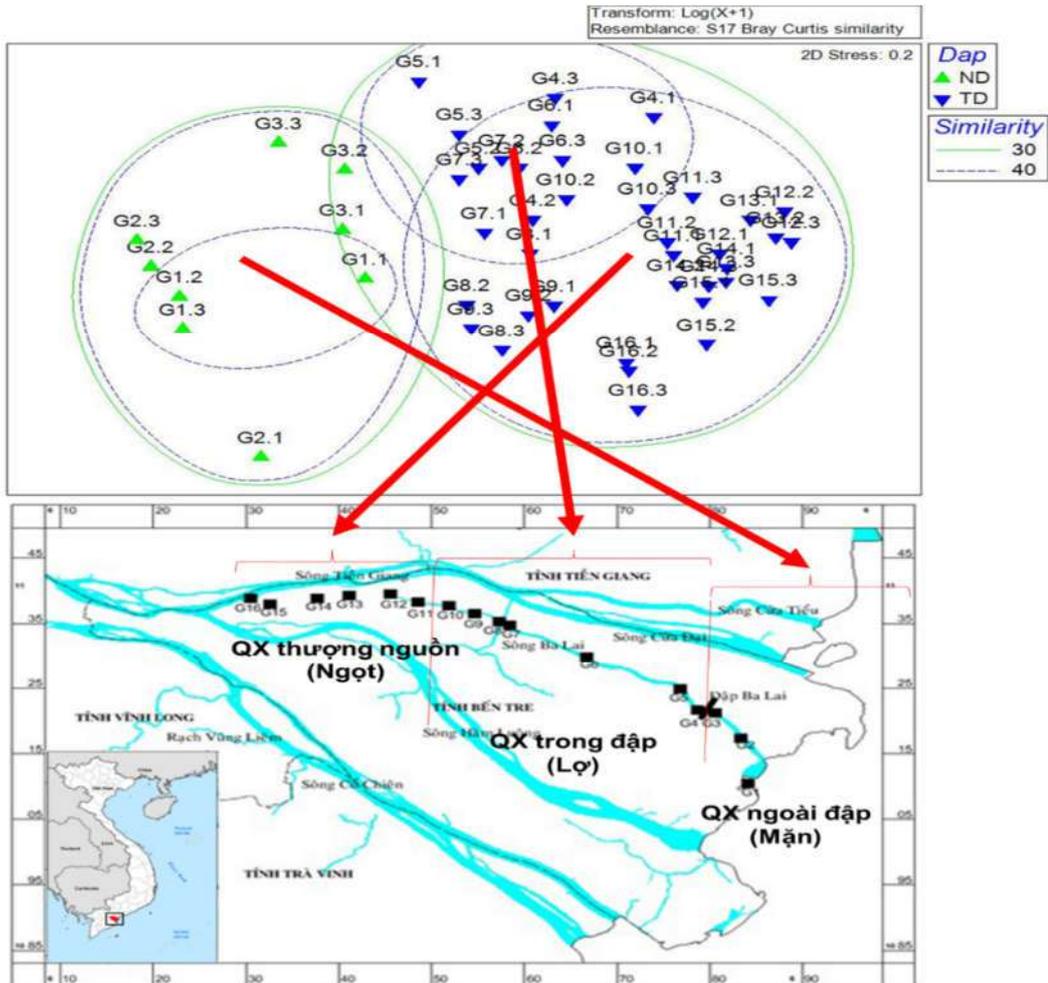
<b>Quần xã ngoài đập và quần xã thượng nguồn (trung bình khác biệt: 75,13%)</b>						
Giống	Trung bình mật độ QX ngoài đập	Trung bình mật độ QX thượng nguồn	Trung bình khác biệt	Độ lệch chuẩn (SD)	Tỷ lệ đóng góp %	Tỷ lệ tích lũy %
<i>Paracomesoma</i>	4,32	0,11	3,63	3,37	4,84	4,84
<i>Parodontophora</i>	4,14	0,48	3,14	3,18	4,19	9,02
<i>Spilophorella</i>	3,73	0,13	3,07	2,33	4,09	13,11
<i>Linhystera</i>	2,91	0,08	2,44	3,31	3,25	16,36
<i>Trissonchulus</i>	2,66	0,02	2,19	1,33	2,91	19,27
<i>Litinium</i>	2,51	0	2,05	1,32	2,73	21,99
<i>Terschellingia</i>	4,4	2,4	1,96	1,78	2,61	24,6
<i>Theristus</i>	3,61	3,0	1,92	1,44	2,55	27,15
<i>Dorylaimidae</i>	0	2,12	1,9	2,22	2,52	29,68
<i>Leptolaimoides</i>	2,37	0,51	1,84	1,92	2,45	32,13
<i>Eleutherolaimus</i>	2,11	0	1,74	1,72	2,32	34,45
<i>Daptonema</i>	3,75	2,12	1,73	1,57	2,31	36,75
<i>Halalaimus</i>	2,73	1,05	1,73	1,91	2,3	39,05
<i>Sabatieria</i>	1,95	0	1,64	1,61	2,18	41,23
<i>Longicyatholaimus</i>	1,98	0	1,6	1,11	2,13	43,35
<i>Monhystrella</i>	1,86	0,48	1,56	1,33	2,07	45,43
<i>Sphaerotheristus</i>	1,71	1,19	1,56	1,28	2,07	47,5
<i>Pseudolella</i>	1,77	0	1,52	1,53	2,02	49,52
<i>Dichromadora</i>	2,12	1,21	1,51	1,67	2,01	51,53
<i>Amphimonhystrella</i>	1,61	0,66	1,48	1,02	1,97	53,5
<i>Hopperia</i>	1,61	0	1,40	1,08	1,86	55,37
<i>Desmodora</i>	1,55	0,48	1,35	1,06	1,80	57,16
<i>Desmodorella</i>	1,43	0	1,33	0,81	1,77	58,93
<i>Rhabdolaimus</i>	1,12	1,89	1,18	1,43	1,57	60,5
<i>Monhystera</i>	1,96	2,30	1,16	1,42	1,54	62,04
<i>Pseudochromadora</i>	1,06	0	0,95	0,81	1,27	63,3
<i>Anoplostoma</i>	1,10	0,05	0,95	1,06	1,26	64,57
<i>Mesodorylaimus</i>	0,31	0,99	0,94	1,36	1,25	65,81
<i>Diplolaimelloides</i>	0,83	0,19	0,91	0,79	1,21	67,03

**Bảng 3.6. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã trong đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa mưa**

<b>Quần xã trong đập &amp; QX thượng nguồn (trung bình khác biệt: 60,66%)</b>						
<i>Giống</i>	Trung bình mật độ QX trong đập	Trung bình mật độ QX thượng nguồn	Trung bình khác biệt	Độ lệch chuẩn (SD)	Tỷ lệ đóng góp %	Tỷ lệ tích lũy %
<i>Parodontophora</i>	3,36	0,48	3,99	2,07	6,58	6,58
<i>Dorylaimidae</i>	0	2,12	3,23	1,93	5,32	11,9
<i>Metalinhomoeus</i>	2,2	0,15	2,91	1,36	4,79	16,69
<i>Theristus</i>	4,86	3	2,9	1,51	4,78	21,47
<i>Terschellingia</i>	3,5	2,4	2,69	1,53	4,44	25,91
<i>Daptonema</i>	3,37	2,12	2,59	1,56	4,27	30,18
<i>Eumonhystera</i>	1,59	0,26	2,11	1,83	3,48	33,66
<i>Adoncholaimus</i>	1,63	0,38	2,05	1,3	3,38	37,04
<i>Sphaerotheristus</i>	0,99	1,19	1,98	1,26	3,26	40,3
<i>Monhystera</i>	2,64	2,3	1,91	1,25	3,16	43,46
<i>Rhabdolaimus</i>	1,47	1,89	1,84	1,32	3,04	46,49
<i>Dichromadora</i>	0,54	1,21	1,73	1,01	2,85	49,34
<i>Parodontophora</i>	3,36	0,48	3,99	2,07	6,58	6,58
<i>Dorylaimidae</i>	0	2,12	3,23	1,93	5,32	11,9
<i>Metalinhomoeus</i>	2,2	0,15	2,91	1,36	4,79	16,69
<i>Theristus</i>	4,86	3,0	2,9	1,51	4,78	21,47
<i>Terschellingia</i>	3,5	2,4	2,69	1,53	4,44	25,91
<i>Daptonema</i>	3,37	2,12	2,59	1,56	4,27	30,18
<i>Eumonhystera</i>	1,59	0,26	2,11	1,83	3,48	33,66
<i>Adoncholaimus</i>	1,63	0,38	2,05	1,3	3,38	37,04
<i>Sphaerotheristus</i>	0,99	1,19	1,98	1,26	3,26	40,3
<i>Monhystera</i>	2,64	2,3	1,91	1,25	3,16	43,46
<i>Rhabdolaimus</i>	1,47	1,89	1,84	1,32	3,04	46,49
<i>Dichromadora</i>	0,54	1,21	1,73	1,01	2,85	49,34
<i>Parodontophora</i>	3,36	0,48	3,99	2,07	6,58	6,58
<i>Dorylaimidae</i>	0	2,12	3,23	1,93	5,32	11,9
<i>Metalinhomoeus</i>	2,2	0,15	2,91	1,36	4,79	16,69
<i>Theristus</i>	4,86	3	2,9	1,51	4,78	21,47

### 3.2.4.2. Mùa khô

Áp dụng phân tích đa biến MDS cho cấu trúc QXTT trong mùa khô cho thấy phân bố ở mức tương đồng 30% thì QXTT vẫn chia thành 2 quần xã: Ngoài đập (G1-G3), trong đập (G4-G16). Tuy nhiên, nếu phân tích ở mức độ tương đồng 40% thì QXTT sông Ba Lai vẫn tiếp tục chia làm 3 quần xã: Ngoài đập (G1-G3), trong đập (G4-G10), thượng nguồn (G11-G16). Rõ ràng, sang mùa khô quần xã trong đập đã được mở rộng ra đến vị trí G10, tức vượt qua ngã ba An Hóa (Hình 3.38). Trong khi mùa mưa, quần xã trong đập chỉ giới hạn từ G4-G7, từ ngã ba An Hóa đến đập Ba Lai.

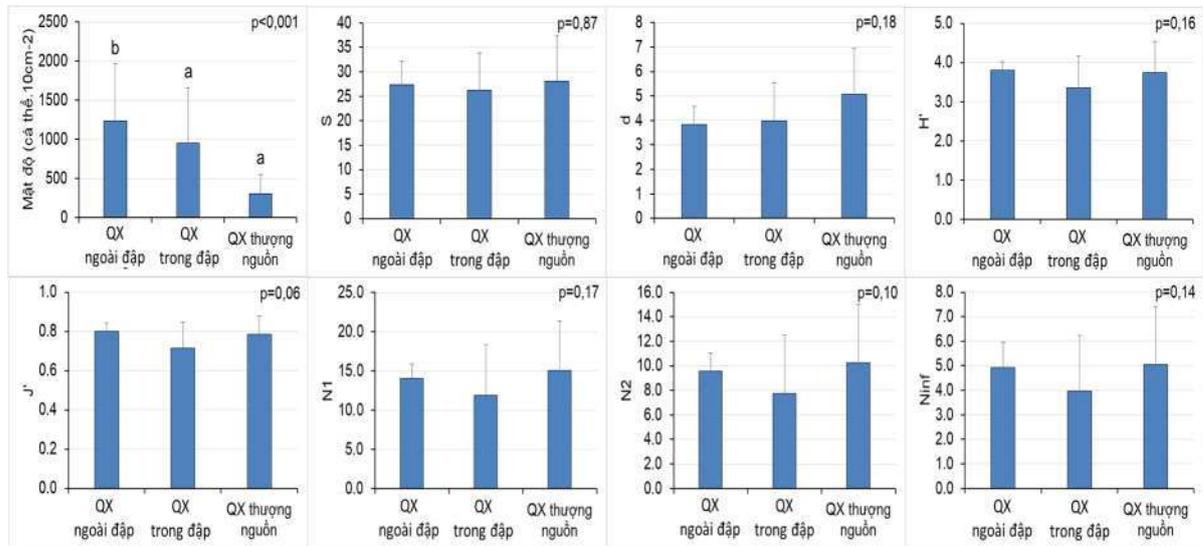


**Hình 3.38. Phân tích MDS cấu trúc phân bố trung bình của quần xã tuyền trùng vào mùa khô**

Kết quả phân tích PERMANOVA vẫn cho thấy 3 quần xã có sự khác biệt trong cấu trúc thành phần quần xã (Pseudo-F = 10,95;  $p = 0,001$ ). Do đó, mỗi quần xã vẫn có đặc điểm khác nhau và tiếp tục đại diện cho từng điều kiện khác nhau của sông Ba Lai. Nhìn chung, quần xã ngoài đập có mật độ và đa dạng sinh học cao hơn khi so với 2 quần xã còn lại ( $p < 0,001$ ). Mật độ quần xã ngoài đập khoảng  $1236 \pm 735$  cá

thể.10 cm<sup>-2</sup>, trong khi quần xã trong đập và thượng nguồn có mật độ lần lượt là 953 ± 704 cá thể.10 cm<sup>-2</sup> và 307 ± 244 cá thể.10 cm<sup>-2</sup>. Phân tích hậu kiểm Tukey HSD ghi nhận mật độ quần xã trong đập và thượng nguồn không có sự khác biệt ý nghĩa. Ngoài ra, các chỉ số đa dạng không cho thấy khác biệt ý nghĩa giữa 3 quần xã (p > 0,05) (Hình 3.39).

Sang mùa khô, quần xã trong đập Ba Lai được mở rộng. Các chỉ số đa dạng giữa các quần xã trong mùa khô không cho thấy sự khác biệt ý nghĩa, chỉ có cấu trúc thành phần loài giữa các quần xã là có sự khác biệt ý nghĩa. Chứng tỏ, cấu trúc thành phần loài rất nhạy cảm với sự thay đổi của môi trường, khi so với các chỉ số đa dạng.



**Hình 3.39. Đặc trưng sinh thái của 3 quần xã tuyến trùng sông Ba Lai vào mùa khô (Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD thể hiện qua ký tự a, b, c cùng ký tự thì không khác biệt)**

Phân tích SIMPER tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai mùa khô thể hiện trong Bảng 3.7. Tỷ lệ tương đồng ở quần xã ngoài đập và quần xã trong đập khá thấp, chỉ 43,83% và 45,11%, trong khi quần xã thượng nguồn tỷ lệ tương đồng cao hơn (51,67%). Mùa khô xuất hiện nhiều giống có khả năng phân bố rộng, xuất hiện ở ít nhất 2 hệ sinh thái: *Daptonema*, *Dichromadora*, *Eumonhystera*, *Linhystera*, *Monhystera*, *Mononchulus*, *Parodontophora*, *Sphaerolaimus*, *Sphaerotheristus*, *Terschellingia*, *Thalassomonhystera*, *Theristus*, *Tobrilus*. Ở quần xã ngoài đập, xuất hiện nhiều giống thuần mặn điển hình như: *Aegialoalaimus*, *Anoplostoma*, *Eleutherolaimus*, *Halalaimus*, *Haliplectus*, *Hopperia*, *Onyx*, *Paracomesoma*, *Paracyatholaimus*, *Pierrickia*, *Pseudolella*, *Sabatieria*, *Sphilophorella*, *Trissonchulus*. Rõ ràng, hầu hết các giống ưu thế ở 2 quần xã trong đập Ba Lai là các giống có phân bố rộng, thích nghi với môi trường nước ngọt, lợ.

**Bảng 3.7. Tỷ lệ tương đồng và các giống đóng góp vào sự tương đồng của từng nhóm quần xã tuyến trùng sông Ba Lai ở mùa khô**

<b>Giống</b>	<b>Quần xã ngoài đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 43,83%)	<b>Quần xã trong đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 45,11%)	<b>Quần xã thượng nguồn</b> (Độ tương đồng trung bình: 51,67%)
<i>Adoncholaimus</i>	*	1,02	*
<i>Aegialoalaimus</i>	1,06	*	*
<i>Amphidelus</i>	*	2,23	*
<i>Anoplostoma</i>	1,25	*	*
<i>Chronogaster</i>	*	*	4,65
<i>Daptonema</i>	11,92	15,62	7,98
<i>Desmodora</i>	2,5	*	1,36
<i>Dichromadora</i>	3,54	3,44	4,31
<i>Dorylaimidae</i>	*	1,85	2,51
<i>Dorylaimus</i>	*	*	1,49
<i>Eleutherolaimus</i>	1,53	*	*
<i>Eumonhystera</i>	1,13	1,44	6,83
<i>Geomonhystera</i>	*	6,14	*
<i>Halalaimus</i>	6,87	*	*
<i>Haliplectus</i>	3,29	*	*
<i>Hopperia</i>	3,91	*	*
<i>Ischiodorylaimus</i>	*	*	1,72
<i>Linhystera</i>	3,54	1,85	4,6
<i>Monhystera</i>	6,74	*	13,23
<i>Monhystrella</i>	*	*	6,1
<i>Mononchulus</i>	*	1,55	2,07
<i>Mylonchulus</i>	*	1,61	*

<b>Giống</b>	<b>Quần xã ngoài đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 43,83%)	<b>Quần xã trong đập</b> (Độ tương đồng trung bình: 45,11%)	<b>Quần xã thượng nguồn</b> (Độ tương đồng trung bình: 51,67%)
<i>Neotobrilus</i>	*	1,55	*
<i>Onyx</i>	2,31	*	*
<i>Paracomesoma</i>	2,55	*	*
<i>Paracyatholaimus</i>	3,81	*	*
<i>Paraplectonema</i>	*	*	2,48
<i>Parasphaerolaimus</i>	2,48	*	*
<i>Parodontophora</i>	10,33	7,98	*
<i>Pierrickia</i>	1,18	*	*
<i>Prodontorhabditis</i>	*	1,21	*
<i>Pseudolella</i>	2,18	*	*
<i>Rhabdolaimus</i>	*	*	5,82
<i>Sabatieria</i>	2,9	*	*
<i>Sphaerolaimus</i>	4,91	5,23	*
<i>Sphaerotheristus</i>	1,1	*	*
<i>Sphaerotheristus</i>	*	5,22	5,99
<i>Sphilophorella</i>	5,7	*	*
<i>Terschellingia</i>	6,57	4,32	4,84
<i>Thalassomonhystera</i>	*	8,04	2,4
<i>Theristus</i>	2,47	9,43	10,09
<i>Tobrilus</i>	*	1,3	1,94
<i>Trischistoma</i>	*	2,92	*
<i>Trissonchulus</i>	1,24	*	*

(Ghi chú: \* không ghi nhận)

Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của từng quần xã tuyến trùng sông Ba Lai mùa khô thể hiện trong bảng 3.8, bảng 3.9 & bảng 3.10. Tỷ lệ khác

biệt giữa nhóm ngoài đập và thượng nguồn khá cao, đạt 76,79%. Ngoài ra, tỷ lệ khác biệt giữa nhóm ngoài đập và nhóm trong đập cũng tương đối cao (70,81%). Tuy nhiên, tỷ lệ khác biệt giữa nhóm trong đập và thượng nguồn khá thấp, chỉ khoảng 63,79%.

**Bảng 3.8. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã trong đập vào mùa khô**

<b>Quần xã ngoài đập và Quần xã trong đập (trung bình khác biệt: 70,81%)</b>						
<b>Giống</b>	<b>Trung bình mật độ QX ngoài đập</b>	<b>Trung bình mật độ QX trong đập</b>	<b>Trung bình khác biệt</b>	<b>Độ lệch chuẩn (SD)</b>	<b>Tỷ lệ đóng góp %</b>	<b>Tỷ lệ tích lũy %</b>
<i>Thalassomonhystera</i>	0,27	3,16	2,03	2,07	2,87	2,87
<i>Halalaimus</i>	3,08	0,23	1,95	2,83	2,76	5,62
<i>Paracyatholaimus</i>	2,99	0,18	1,92	1,27	2,71	8,33
<i>Sphilophorella</i>	2,91	0,29	1,86	1,90	2,63	10,96
<i>Hopperia</i>	2,64	0,11	1,78	1,35	2,51	13,47
<i>Dichromadora</i>	2,72	2,13	1,76	1,35	2,48	15,96
<i>Theristus</i>	2,23	3,43	1,74	1,83	2,46	18,42
<i>Geomonhystera</i>	0,58	2,81	1,69	1,5	2,39	20,8
<i>Haliplectus</i>	2,39	0	1,69	1,14	2,38	23,18
<i>Paracomésoma</i>	2,07	0,12	1,47	1,02	2,07	25,25
<i>Terschellingia</i>	3,45	2,05	1,45	1,38	2,05	27,3
<i>Pseudolella</i>	2,14	0	1,43	1,03	2,02	29,32
<i>Monhystera</i>	1,17	2,78	1,42	1,41	2,01	31,33
<i>Onyx</i>	1,90	0	1,39	1,03	1,96	33,29
<i>Sabatieria</i>	1,90	0	1,34	1,32	1,89	35,18
<i>Trischistoma</i>	1,11	1,94	1,31	1,21	1,85	37,03
<i>Sphaerotheristus</i>	1,26	2,12	1,24	1,73	1,75	38,78
<i>Parodontophora</i>	4,18	3,10	1,21	1,71	1,71	40,5
<i>Parasphaerolaimus</i>	1,86	0,50	1,21	1,29	1,70	42,2
<i>Desmodora</i>	1,63	0,57	1,08	1,22	1,52	43,72
<i>Eleutherolaimus</i>	1,47	0,05	1,01	0,99	1,43	45,15
<i>Amphidelus</i>	0	1,49	1,01	1,02	1,43	46,58
<i>Dorylaimidae</i>	0,34	1,51	1,01	1,03	1,42	48
<i>Linhystra</i>	2,04	1,16	1	1,44	1,41	49,41
<i>Trissonchulus</i>	1,46	0	0,99	0,87	1,40	50,81

**Bảng 3.9. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã ngoài đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa khô**

<b>Quần xã ngoài đập và Quần xã thượng nguồn (Trung bình khác biệt: 76,79%)</b>						
Giống	Trung bình mật độ QX ngoài đập	Trung bình mật độ QX thượng nguồn	Trung bình khác biệt	Độ lệch chuẩn (SD)	Tỷ lệ đóng góp %	Tỷ lệ tích lũy %
<i>Parodontophora</i>	4,18	0,66	2,73	3,48	3,56	3,56
<i>Sphilophorella</i>	2,91	0	2,28	2,09	2,96	6,52
<i>Monhystera</i>	1,17	3,76	2,2	1,32	2,86	9,38
<i>Halalaimus</i>	3,08	0,29	2,14	2,90	2,79	12,17
<i>Paracyatholaimus</i>	2,99	0,3	2,12	1,35	2,75	14,93
<i>Hopperia</i>	2,64	0,03	2,06	1,37	2,68	17,61
<i>Haliplectus</i>	2,39	0	1,92	1,14	2,50	20,1
<i>Dichromadora</i>	2,72	1,91	1,86	1,46	2,42	22,53
<i>Theristus</i>	2,23	3,05	1,85	1,65	2,41	24,94
<i>Daptonema</i>	4,82	2,49	1,82	2,09	2,38	27,32
<i>Sphaerolaimus</i>	2,39	0,20	1,72	2,07	2,25	29,56
<i>Monhystrella</i>	0	2,12	1,68	1,77	2,19	31,75
<i>Paracomesoma</i>	2,07	0	1,67	1,03	2,17	33,92
<i>Terschellingia</i>	3,45	1,95	1,63	1,37	2,12	36,04
<i>Pseudolella</i>	2,14	0	1,61	1,05	2,10	38,14
<i>Onyx</i>	1,90	0	1,58	1,04	2,06	40,2
<i>Rhabdolaimus</i>	0,28	2,07	1,53	1,60	1,99	42,19
<i>Sabatieria</i>	1,90	0	1,52	1,34	1,98	44,17
<i>Sphaerotheristus</i>	1,26	1,98	1,36	1,83	1,77	45,94
<i>Parasphaerolaimus</i>	1,86	0,40	1,35	1,33	1,76	47,7
<i>Eumonhystera</i>	1,13	2,23	1,31	1,26	1,71	49,41
<i>Chronogaster</i>	0	1,53	1,23	1,93	1,60	51,01

**Bảng 3.10. Tỷ lệ khác biệt và các giống đóng góp vào sự khác biệt của nhóm quần xã trong đập và nhóm quần xã thượng nguồn sông Ba Lai vào mùa khô**

Quần xã trong đập và Quần xã thượng nguồn (Trung bình khác biệt: 63,79%)						
Giống	Trung bình mật độ QX trong đập	Trung bình mật độ QX thượng nguồn	Trung bình khác biệt	Độ lệch chuẩn (SD)	Tỷ lệ đóng góp %	Tỷ lệ tích lũy %
<i>Daptonema</i>	5,11	2,49	2,44	1,91	3,82	3,82
<i>Geomonhystera</i>	2,81	0,48	2,20	1,68	3,45	7,27
<i>Parodontophora</i>	3,10	0,66	2,18	1,70	3,42	10,69
<i>Thalassomonhystera</i>	3,16	0,93	2,09	2,09	3,27	13,97
<i>Dichromadora</i>	2,13	1,91	1,97	1,24	3,09	17,06
<i>Monhystrella</i>	0,41	2,12	1,83	1,61	2,87	19,92
<i>Sphaerolaimus</i>	2,19	0,20	1,79	1,99	2,8	22,73
<i>Rhabdolaimus</i>	0,48	2,07	1,64	1,52	2,58	25,3
<i>Trischistoma</i>	1,94	0,09	1,61	1,2	2,53	27,83
<i>Eumonhystera</i>	1,16	2,23	1,57	1,41	2,46	30,29
<i>Monhystera</i>	2,78	3,76	1,54	1,06	2,42	32,71
<i>Terschellingia</i>	2,05	1,95	1,42	1,26	2,22	34,93
<i>Amphidelus</i>	1,49	0,06	1,31	1,06	2,05	36,98
<i>Theristus</i>	3,43	3,05	1,3	1,27	2,03	39,01
<i>Dorylaimidae</i>	1,51	1,17	1,29	1,33	2,02	41,02
<i>Chronogaster</i>	0,57	1,53	1,21	1,69	1,90	42,92
<i>Neotobrilus</i>	1,31	0,30	1,15	1,0	1,81	44,73
<i>Chromadorita</i>	1,14	0,52	1,15	0,89	1,81	46,54
<i>Linhystera</i>	1,16	1,73	1,14	1,40	1,79	48,33
<i>Mononchulus</i>	1,18	1,08	1,14	1,26	1,79	50,12

### 3.2.4.3. Đặc trưng phân bố của QXTT ở sông có đập chắn

Kết quả nghiên cứu cho thấy, cấu trúc phân bố QXTT sông Ba Lai chịu ảnh hưởng bởi yếu tố không gian (nhóm ngoài đập và trong đập) và yếu tố mùa (khô, mưa). Bên cạnh đó, nghiên cứu của Tran và cộng sự (2022) ghi nhận QXTT sông Ba Lai gồm 3 nhóm sinh thái: Nhóm ngoài đập, nhóm đệm (trung gian chỉ hình thành trong mùa khô) (vị trí bên trong và bên ngoài chân đập Ba Lai), và nhóm thượng nguồn [173]. Nguyên nhân do đập chắn tác động gây ảnh hưởng và thay đổi luôn tính chất môi trường của dòng sông. Từ đó, hình thành nên 2 hệ sinh thái (hệ trong - ngoài đập) với các đặc tính môi trường khác nhau, điều này thúc đẩy sự phân hóa và thích nghi của các nhóm sinh vật thủy sinh (đặc biệt là QXTT), buộc quần xã phải chia làm 2 nhóm thích nghi với 2 kiểu môi trường khác nhau. Đập Ba Lai là dạng đập mở theo chu kỳ nên tính chất môi trường và hệ sinh vật trong - ngoài vẫn có theo “trao đổi” với nhau. Hơn nữa, tính chất môi trường ở vị trí trong - ngoài đập khá giống nhau. Từ đây, hình thành thêm quần xã trung gian, mang tính đệm cho sự chuyển tiếp của quần xã trong – ngoài đập. Mặt khác, nghiên cứu Tran và cộng sự (2022) cũng cho rằng độ mặn là yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến cấu trúc phân bố theo không gian của QXTT sông Ba Lai [173].

Tran và cộng sự (2022) nghiên cứu QXTT sông Ba Lai ở 8 vị trí, từ cửa sông đến ngã ba An Hóa [173]. Trong khi, nghiên cứu của luận án, đánh giá QXTT sông Ba Lai ở 16 vị trí từ cửa sông lên thượng nguồn. Rõ ràng, kết quả của nghiên cứu đánh giá cấu trúc phân bố QXTT sông Ba Lai bao quát hơn. Do đặc thù sông Ba Lai bị xâm nhập mặn vào mùa khô, cho nên với 8 vị trí khảo sát thì chỉ đánh giá được QXTT ở HST mặn và lợ, chưa đánh giá được QXTT ở HST thuần ngọt. Kết quả nghiên cứu luận án, đã chỉ ra rằng QXTT sông Ba Lai thực chất bao gồm 3 quần xã nhỏ: Quần xã cửa sông (nước mặn), quần xã đập Ba Lai (nước lợ) và quần xã thượng nguồn (thuần ngọt). Sang mùa khô quần xã đập Ba Lai sẽ mở rộng theo độ mặn. Ngoài ra, nghiên cứu này không ghi nhận quần xã chuyển tiếp trong và ngoài đập Ba Lai như trong kết quả của Tran và cộng sự (2022) [173]. Nguyên nhân có thể do hoạt động của đập Ba Lai. Giai đoạn trước 2015, đập Ba Lai hoạt động theo cơ chế đóng/mở liên tục, mở 2 lần/tháng. Tuy nhiên sau năm 2015, tình hình xâm nhập mặn trên sông Ba Lai diễn biến phức tạp nên đập Ba Lai thường xuyên đóng kín ngăn mặn. Điều này dẫn tới thay đổi cấu trúc của QXTT sông Ba Lai giữa trong và ngoài đập hoàn toàn khác biệt trong cấu trúc quần xã. Vì vậy, hoạt động của đập chắn có ghi nhận tác động lên quần xã sinh vật đáy, cụ thể là tuyền trùng.

Trên thế giới cũng đã ghi nhận những nghiên cứu tương tự khi dòng sông chính bị đập chắn ngang sẽ tạo ra sự khác nhau giữa vùng trong đập và ngoài đập. Dưới tác

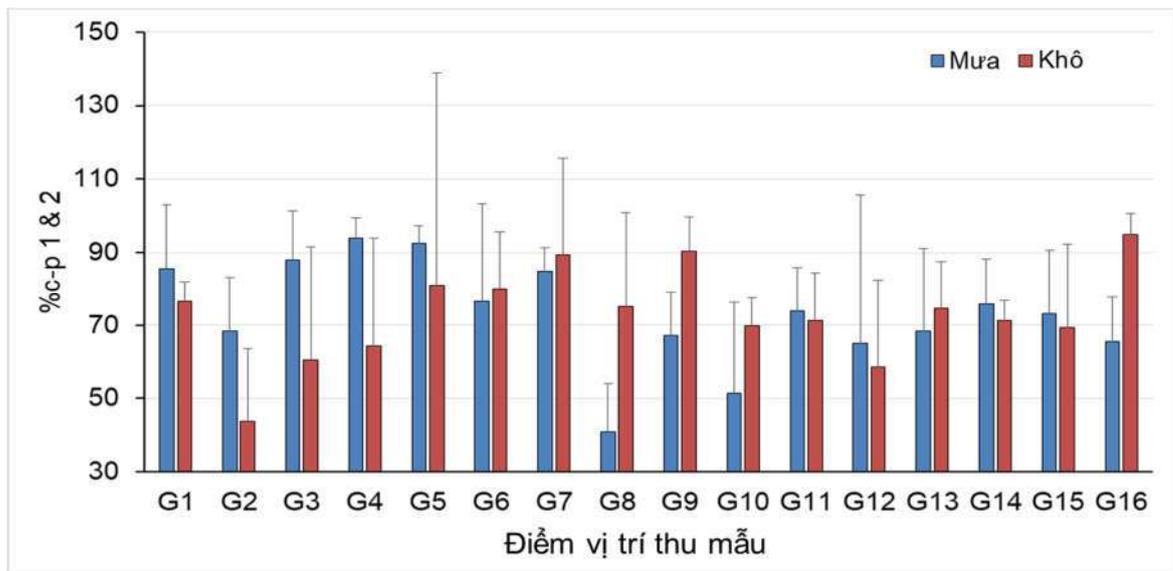
động của đập Klein Plaas, điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ dẫn điện, oxy hòa tan, và pH) trên sông Eerste, Jonkershoek, Nam Phi bị chia cắt thành 2 nhóm riêng biệt, nhóm trong đập và nhóm ngoài đập (dựa vào kết quả phân tích CLUSTER). Từ đây, các tính chất môi trường này thay đổi cấu trúc quần xã côn trùng trên sông thành 2 nhóm tương ứng: quần xã trong đập (ưu thế là nhóm Ephemeroptera) và quần xã ngoài đập (nhóm Diptera ưu thế) với đặc điểm hoàn toàn khác nhau. Trong đập có sự đa dạng cao hơn ngoài đập [45]. Nghiên cứu của Martínez và cộng sự (2013), thực hiện trên quần xã động vật đáy không xương sống cỡ lớn ở 5 hồ chứa (Artiba, Lekubaso, Lingorta, Regato, và Zollo), Nerbioi - Ibaizabal, Tây Ban Nha [279]. Trong nghiên cứu này, tác giả đồng thời khảo sát điều kiện môi trường (nhiệt độ, pH, lưu lượng, và nồng độ hữu cơ) và đặc điểm sinh vật (mật độ, đa dạng, và sinh khối) trong - ngoài hồ chứa (do đập chắn tạo thành). Điều kiện môi trường trong - ngoài đập chắn không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê, tuy nhiên đối với lưu lượng dòng chảy thì trong đập lớn hơn và có ý nghĩa thống kê so với ngoài đập. Chính điều này làm cho cấu trúc và đặc điểm quần xã động vật đáy không xương sống cỡ lớn có sự khác biệt trong và ngoài đập. Mật độ, đa dạng, và sinh khối trong đập cao hơn ngoài đập. Điều đó cho thấy, lưu lượng và tốc độ dòng chảy rất quan trọng, chi phối quần xã sinh vật thủy sinh [280], trong tương lai cần xem xét yếu tố này trong nghiên cứu tác động của đập chắn lên thủy sinh vật. Mueller và cộng sự (2011) ghi nhận điều kiện môi trường (oxy hòa tan, pH, tốc độ dòng chảy, độ sâu, và nhiệt độ) trong và ngoài đập trên 3 sông lớn: Elbe, Main - Rhine, và Danube (Đức) là hoàn toàn khác nhau [55]. Tuy nhiên, chỉ có nhóm động vật đáy không xương sống là phản ứng với sự khác nhau đó, cấu trúc và đặc điểm quần xã tách biệt trong và ngoài đập. Nghiên cứu của Wu và cộng sự (2009) cho thấy đập chắn trên sông Xiangxi, Trung Quốc làm thay đổi điều kiện môi trường của sông (trong đập và ngoài đập). Tuy nhiên, sự thay đổi này chỉ tác động của lên đặc điểm quần xã tảo bám (mật độ, cấu trúc, và đa dạng) bắt đầu vào năm thứ 2 (kể từ lúc đập đi vào hoạt động) [281]. Lúc này mới có sự khác biệt trong cấu trúc quần xã bắt đầu xảy ra. Đập chắn đã cho thấy ảnh hưởng lên nhiều đối tượng thủy sinh vật như côn trùng, tảo bám, động vật đáy cỡ lớn. Đóng góp mới của nghiên cứu là chứng minh và bổ sung thêm cơ sở khoa học về tác động của đập chắn lên nhóm tuyến trùng, là sinh vật đáy cỡ trung bình. Ngoài ra, nghiên cứu còn cho thấy QXTT là công cụ tốt để chỉ thị cho tác động của đập chắn.

### **3.2.5. Chỉ số c-p (colonizer-persister) và chỉ số sinh trưởng MI (Maturity Index) của quần xã tuyến trùng**

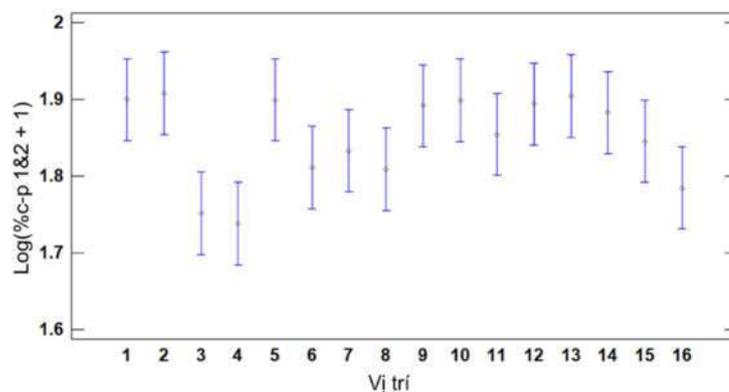
Mùa mưa, tỷ lệ nhóm c-p 1&2 ngoài đập Ba Lai khá cao, từ 68,35% (G2) đến 88,00% (G3). Tuy nhiên, tỷ lệ nhóm c-p 1&2 cao nhất là vị trí G4 và G5, lần lượt là

94,01% và 92,46%. Khu vực từ G11 đến G16 cũng có tỷ lệ nhóm c-p 1&2 khá cao, từ 65,04% (G12) đến 75,82% (G14), ngược lại 3 vị trí G8, G9, G10 có tỷ lệ nhóm c-p 1&2 thấp nhất, lần lượt là 40,86%, 67,18%, 51,44%. Mùa khô xu hướng biến động trong tỷ lệ nhóm c-p 1&2 tương tự mùa mưa. Tuy nhiên, ngoài đập Ba Lai, tỷ lệ nhóm c-p 1&2 giảm xuống còn từ 43,67% (G2) đến 76,43% (G1). Khu vực trong gần chân đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm c-p 1&2 cao từ G4 đến G9 (trong khi mùa mưa chỉ đến G5). Ngoài ra, G16 có tỷ lệ nhóm c-p 1&2 rất cao, đạt 94,82% (Hình 3.40).

Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy không có sự khác biệt trong tỷ lệ nhóm c-p 1&2 về mùa ( $p = 0,96$ ), tuy nhiên có sự khác biệt theo vị trí ( $p = 0,009$ ); vị trí G3, G4, và G16 nhìn chung có tỷ lệ nhóm c-p 1&2 thấp hơn các vị trí còn lại (Hình 3.41, Phụ lục 8).



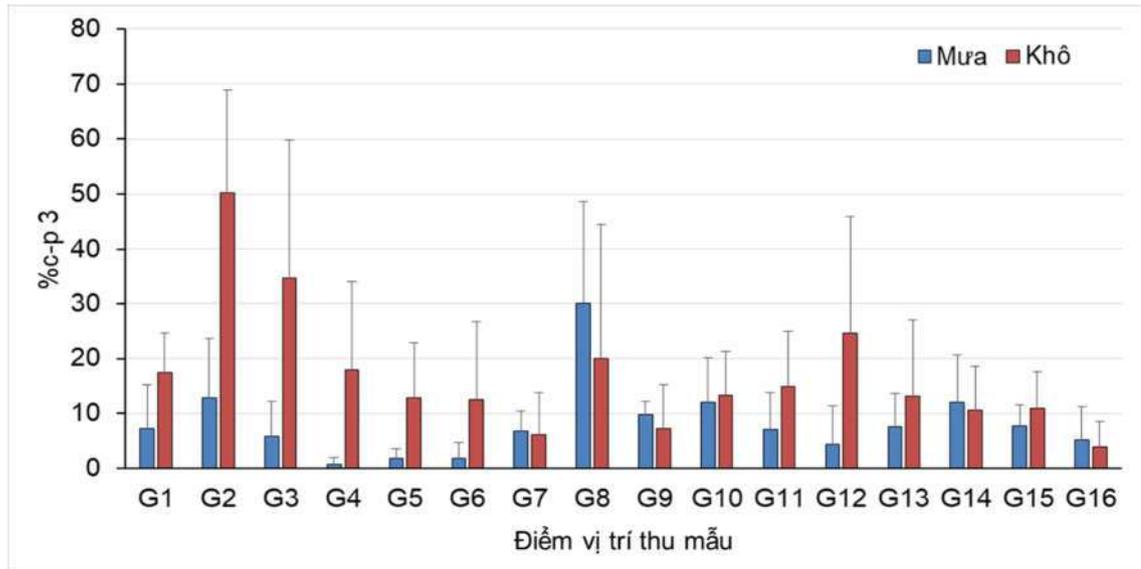
**Hình 3.40. Tỷ lệ nhóm c-p 1&2 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**



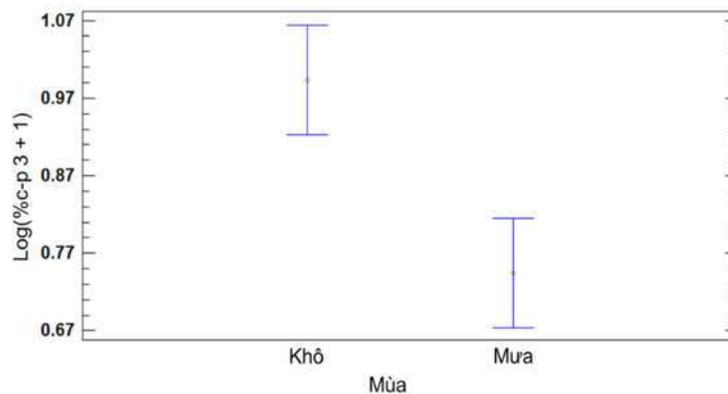
**Hình 3.41. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 1&2 (%) của QXTT**

Mùa mưa, tỷ lệ nhóm c-p 3 ngoài đập từ 5,83% (G3) đến 12,78% (G2); tương tự, khu vực từ G9 đến G16 cũng có tỷ lệ nhóm c-p 3 từ 4,33% (G12) đến 12,09% (G10). Chỉ có vị trí G8 là có tỷ lệ nhóm c-p 3 cao hơn hẳn các vị trí còn lại, với

29,96%, trong khi tỷ lệ nhóm c-p 3 ở các vị trí G4, G5, G6 rất thấp, chỉ 0,79%, 1,88%, 1,80% tương ứng (Hình 3.42). Mùa khô có tỷ lệ nhóm c-p 3 cao hơn hẳn và khác biệt có ý nghĩa khi so với mùa mưa ( $p < 0,001$ ), trừ G7 và G16 (Hình 3.43, Phụ lục 8). Tỷ lệ nhóm c-p 3 vị trí G2 và G3 vẫn rất cao, đạt 50,23% và 34,77%. Khu vực trong gần chân đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm c-p 3 tăng lên đáng kể so với mùa mưa, tương ứng đạt 17,88%, 12,79%, và 12,44% cho G4, G5, G6. Khu vực thượng nguồn có tỷ lệ nhóm c-p 3 khá ổn định khi so với mùa mưa, từ 4,00% (G16) đến 13,15% (G14).



**Hình 3.42. Tỷ lệ nhóm c-p 3 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

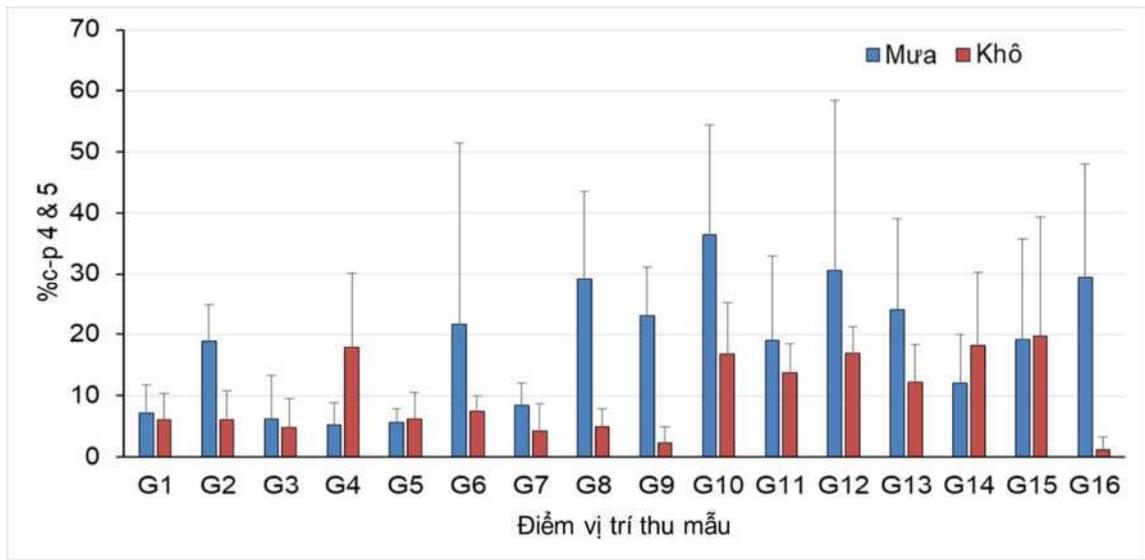


**Hình 3.43. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 3 (%) của QXTT**

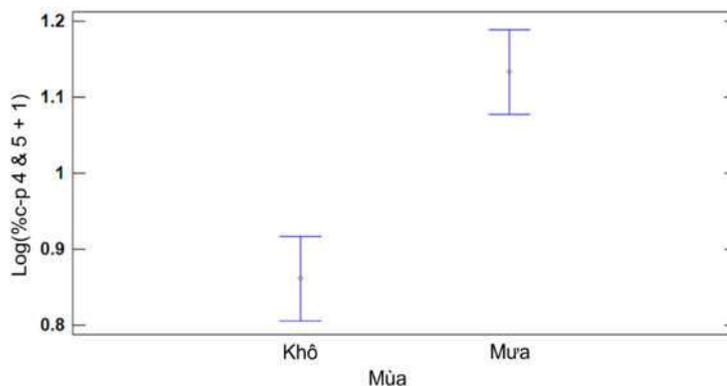
Mùa mưa, tỷ lệ nhóm c-p 4&5 từ G1 đến G7 thấp hơn hẳn khi so với các vị trí còn lại. Trừ vị trí G2 và G6 có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 khá cao, tương ứng là 18,86% và 21,68%, tỷ lệ nhóm c-p 4&5 từ 5,18% (G4) đến 8,38% (G7). Trong khi, tỷ lệ nhóm c-p 4&5 các vị trí còn lại từ 12,08% (G14) đến 36,46% (G10). Biến động trong tỷ lệ nhóm c-p 4&5 ở mùa khô tương tự mùa mưa. Tỷ lệ nhóm c-p 4&5 từ G1 đến G9 thấp, chỉ từ 2,32% (G9) đến 7,42% (G6) (trừ G4 có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 khá cao,

17,89%). Ngược lại, các vị trí còn lại có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 cao, từ 12,22% (G13) đến 19,65% (G15) (trừ G16 có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 đặc biệt thấp, chỉ 1,17%) (Hình 3.44).

Tỷ lệ nhóm c-p 4&5 không biến động theo vị trí ( $p = 0,28$ ), nhưng biến động khá lớn theo mùa ( $p < 0,001$ ), với mùa mưa có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 cao hơn mùa khô (Hình 3.45, Phụ lục 8). Điều này trái ngược với tỷ lệ nhóm c-p 3, ghi nhận mùa khô cao hơn mùa mưa (Hình 3.43).



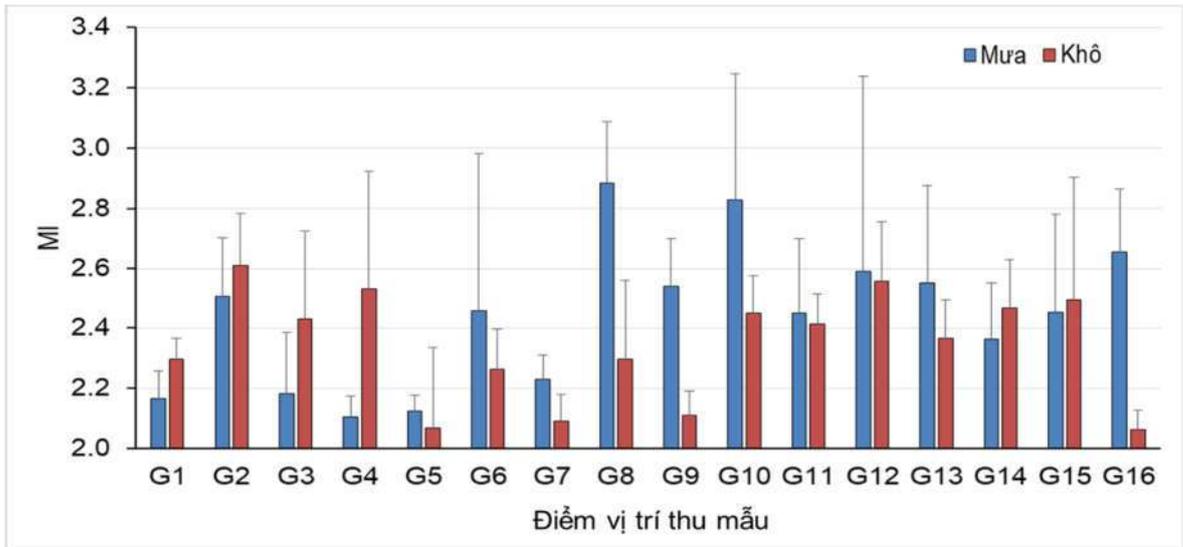
**Hình 3.44. Tỷ lệ nhóm c-p 4&5 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**



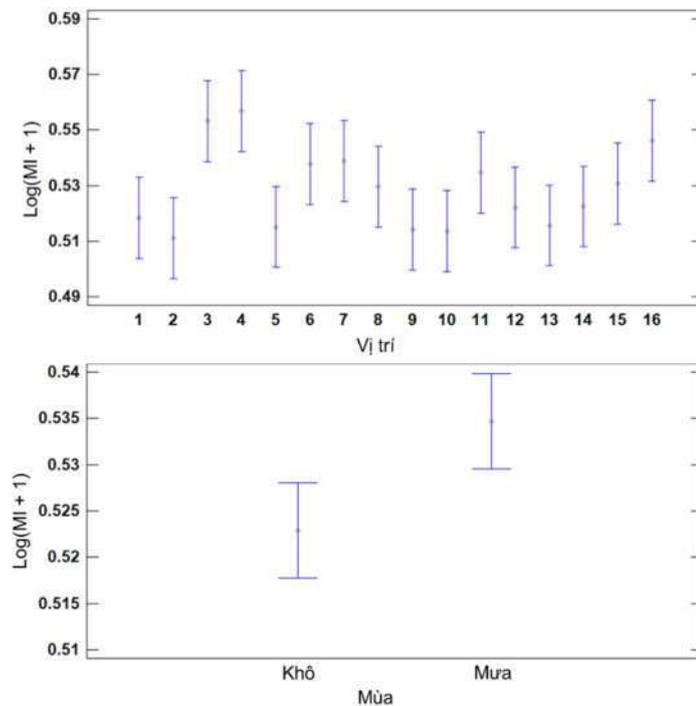
**Hình 3.45. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ c-p 4&5 (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Mùa mưa khu vực cửa sông (G1), phía ngoài gần chân đập Ba Lai (G3), và phía trong gần chân đập Ba Lai (G4, G5) có chỉ số MI rất thấp ( $< 2,2$ ). Giá trị MI tại G1, G3, G4, và G5 lần lượt là  $2,17 \pm 0,09$ ;  $2,18 \pm 0,20$ ;  $2,10 \pm 0,07$ , và  $2,12 \pm 0,05$ . Khu vực giữa G6, G7 có giá trị MI cao hơn so với nhóm gần chân đập, tuy nhiên thấp hơn nhóm thượng nguồn. Giá trị MI tại G6 và G7 lần lượt là  $2,46 \pm 0,08$  và  $2,23 \pm 0,08$ , trong khi giá trị MI tại các vị trí thượng nguồn (từ G8 đến G16), từ  $2,36 \pm 0,19$  đến  $2,88 \pm 0,20$ . Sang mùa khô, nhóm giữa sông Ba Lai vẫn tiếp tục có giá trị MI

thấp, vị trí G5 và G6 có MI là  $2,07 \pm 0,14$  và  $2,26 \pm 0,09$ . Hơn nữa, nhóm từ G7, G8, và G9 vẫn tiếp tục có chỉ số MI thấp, lần lượt là  $2,09 \pm 0,09$ ;  $2,20 \pm 0,26$ ;  $2,11 \pm 0,08$ . Khu vực thượng nguồn, từ G10 đến G15 vẫn có chỉ số MI cao, từ  $2,37 \pm 0,13$  (G13) đến  $2,55 \pm 0,20$  (G12), trừ G16 có MI rất thấp (chỉ đạt  $2,06 \pm 0,06$ ). Khác với mùa mưa, MI ở vị trí G3 và G4 có giá trị khá cao vào mùa khô, lần lượt là  $2,43 \pm 0,29$  và  $2,53 \pm 0,39$ . Ngoài ra, cửa sông G1 vẫn có MI thấp, chỉ đạt  $2,30 \pm 0,07$  (Hình 3.46).



**Hình 3.46. Chỉ số sinh trưởng MI của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**



**Hình 3.47. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số sinh trưởng MI của quần xã tuyến trùng**

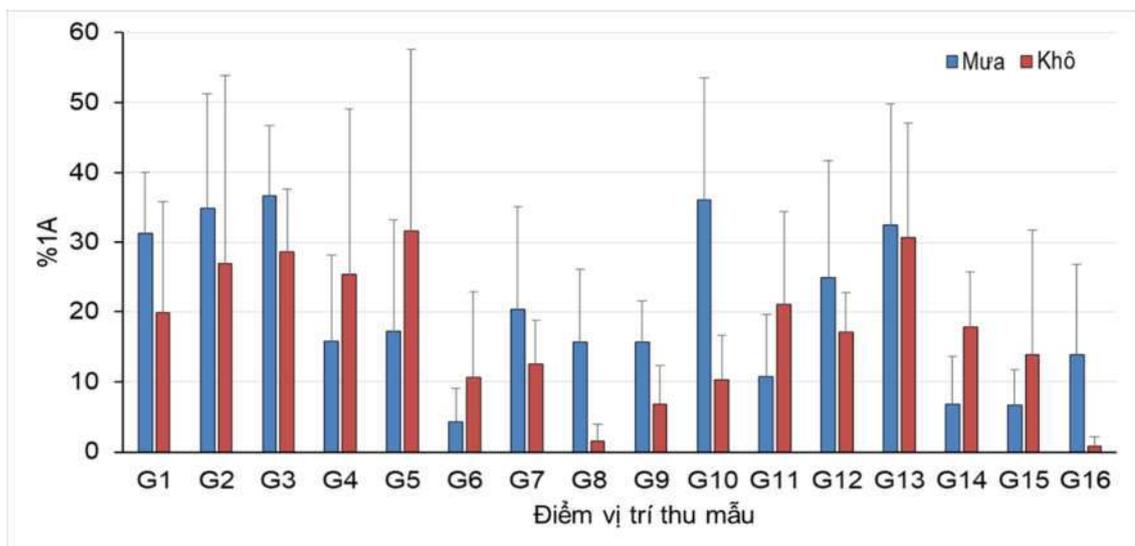
Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy giá trị MI có sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,03$ ), và cả theo vị trí ( $p = 0,02$ ). Nhìn chung, mùa mưa có chỉ số sinh trưởng tuyến

trùng MI cao hơn mùa khô, các vị trí G1, G2, G5 có giá trị MI thấp hơn các vị trí còn lại (Hình 3.47, Phụ lục 8).

### 3.2.6. Kiểu dinh dưỡng và chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyến trùng

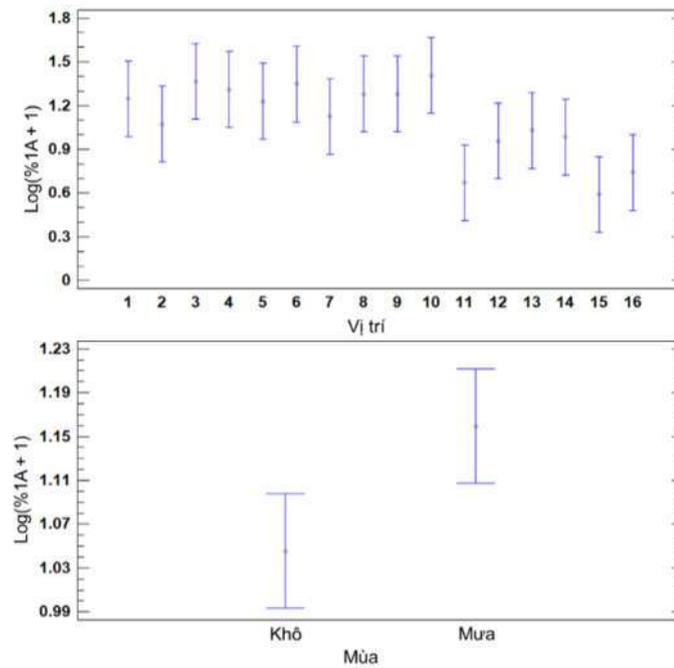
Nhóm tuyến trùng có kiểu dinh dưỡng 1A, hay còn gọi là bacterivores (ăn vi khuẩn), chủ yếu ăn các loại vi khuẩn trong môi trường [191]. Đây là nhóm tuyến trùng ăn mảnh vụn hữu cơ và vi khuẩn, đóng vai trò quan trọng trong việc phân hủy chất hữu cơ và duy trì chu trình dinh dưỡng trong các hệ sinh thái đất và nước. Tuyến trùng 1A giúp kiểm soát số lượng vi khuẩn trong môi trường và tham gia vào quá trình khoáng hóa các chất hữu cơ, từ đó giải phóng các chất dinh dưỡng như nitơ và photpho trở lại vào môi trường để các sinh vật khác sử dụng.

Tỷ lệ nhóm 1A mùa mưa ngoài đập cao hơn hẳn trong đập, G1, G2, và G3 có tỷ lệ nhóm 1A lần lượt là 31,35 %, 34,92 %, và 36,67 %. Trong đập cũng có một số vị trí có tỷ lệ nhóm 1A khá cao như G10 (36,14 %), G12 (24,95 %), và G13 (32,49 %), các vị trí còn lại có tỷ lệ nhóm 1A từ 4,34 % (G6) đến 20,25 % (G7). Mùa khô biến động tỷ lệ nhóm 1A gần giống mùa mưa, với các vị trí ngoài đập có tỷ lệ nhóm 1A cao, đặc biệt là G2 và G3 với 27,06 % và 28,64 %. Trong đập, vị trí G4, G5, và G13 vẫn tiếp tục có tỷ lệ nhóm 1A khá cao, lần lượt là 25,50 %, 31,69 %, và 30,71 %. Vị trí G6, G8, G9, G10 có tỷ lệ nhóm 1A < 10 % (Hình 3.48).



**Hình 3.48. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

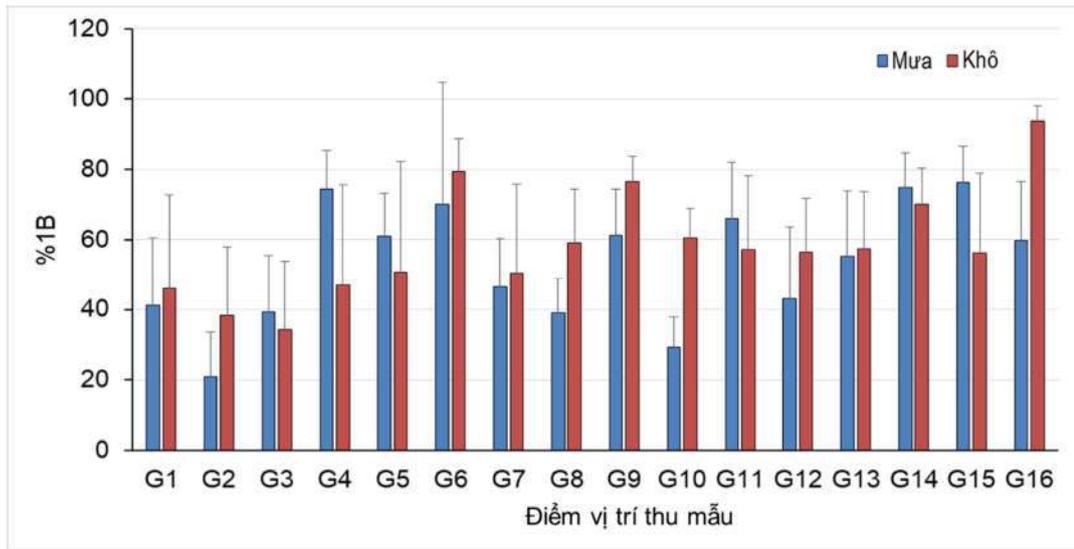
Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A có sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,03$ ), và cả theo vị trí ( $p < 0,001$ ). Nhìn chung, mùa mưa có tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A cao hơn mùa khô, vị trí G11, G15, G16 có tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A thấp hơn các vị trí còn lại (Hình 3.49, Phụ lục 9).



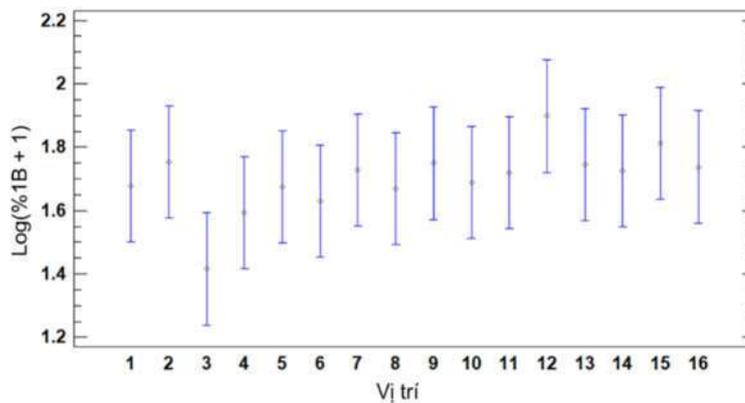
**Hình 3.49. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1A (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Nhóm tuyến trùng có kiểu dinh dưỡng 1B cũng thuộc loại bacterivores (ăn vi khuẩn), nhưng khác với nhóm 1A, chúng có miệng to và rộng hơn giúp chúng ăn vi khuẩn một cách hiệu quả hơn [191]. Tuyến trùng nhóm 1B thường hoạt động ở những khu vực có mật độ vi khuẩn cao và có vai trò tương tự nhóm 1A trong việc phân hủy chất hữu cơ và tham gia vào chu trình dinh dưỡng trong hệ sinh thái.

Mùa mưa, một số vị trí trong đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B thấp như G8, G10 với 39,06 % và 29,30 %, các vị trí còn lại có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B cao, dao động từ 43,05 % (G12) đến 76,35 % (G15). Vị trí G2 ngoài đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B tương đối thấp, chỉ 20,80 %; trong khi G1 và G3 có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B tương đối cao, tương ứng 41,23 % và 39,22 %. Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B vào mùa khô biến động giống như mùa mưa: cao trong đập và thấp ngoài đập. Cụ thể, các vị trí trong đập đều có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B > 40 %, từ 46,99 % (G4) đến 93,78 % (G16). Ngược lại, ngoài đập có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B chỉ từ 34,39 % (G3) đến 46,08 % (G1) (Hình 3.50).



**Hình 3.50. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1B (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**



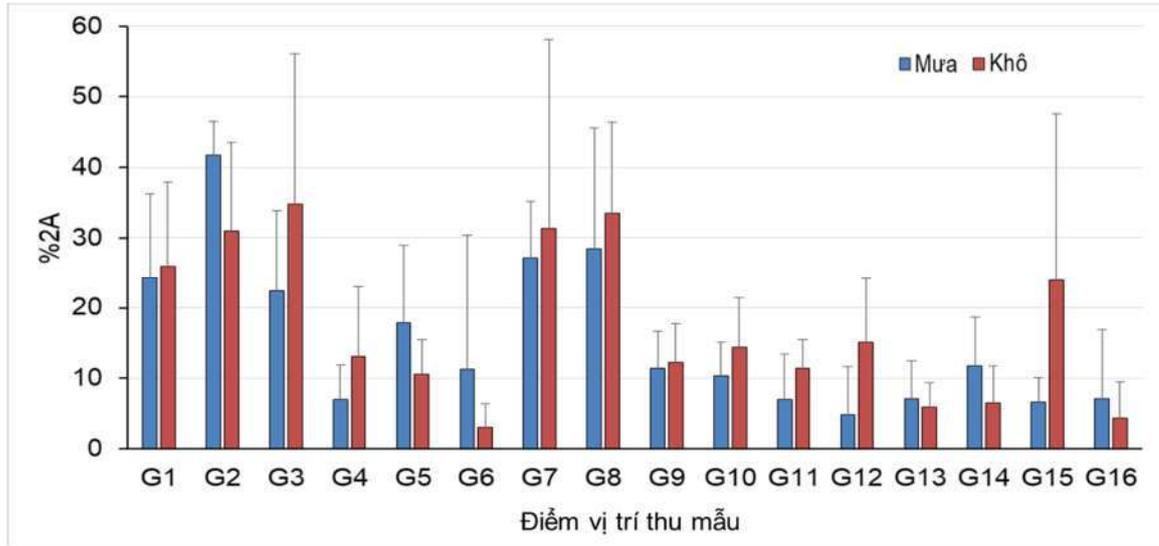
**Hình 3.51. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1B (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 1B không cho thấy sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,18$ ) nhưng có sự khác biệt ý nghĩa theo vị trí ( $p = 0,01$ ), với vị trí G3 có tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 1B thấp so với vị trí G12 và G15 (Hình 3.51, Phụ lục 9).

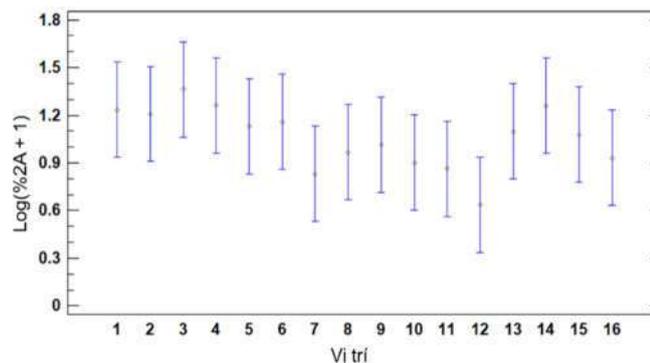
Nhóm tuyến trùng có kiểu dinh dưỡng 2A thuộc nhóm fungivores (ăn nấm). Tuyến trùng 2A thường có khoang miệng với cấu trúc răng nhỏ [191], cho phép chúng tấn công các loài vi khuẩn, nấm, và động vật nguyên sinh nhỏ. Nhóm này đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát số lượng nấm trong môi trường, giúp duy trì cân bằng sinh thái và chu trình dinh dưỡng.

Một số vị trí trong đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm tuyến trùng dinh dưỡng 2A cao như G7, G8 với 27,19 % và 28,50 %, các vị trí còn lại có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A khá thấp, dao động từ 4,83 % (G12) đến 17,82 % (G15). Các vị trí ngoài đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A cao, đặc biệt là G2 với 41,73 %, sau đó là G1 và G3 với lần lượt là 24,30 % và 22,38 %. Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A vào mùa khô biến động giống như mùa mưa (thấp trong đập và cao ngoài đập). Cụ thể, trong đập chỉ có

G7, G8, và G15 có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A tương đối cao, khoảng 31,31 %, 33,48 %, và 23,95 %. Các vị trí còn lại đều có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A < 40%, từ 3,11 % (G6) đến 15,17% (G12). Ngược lại, ngoài đập có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A cao, từ 25,93 % (G1) đến 34,87 % (G3) (Hình 3.52).



**Hình 3.52. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2A (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

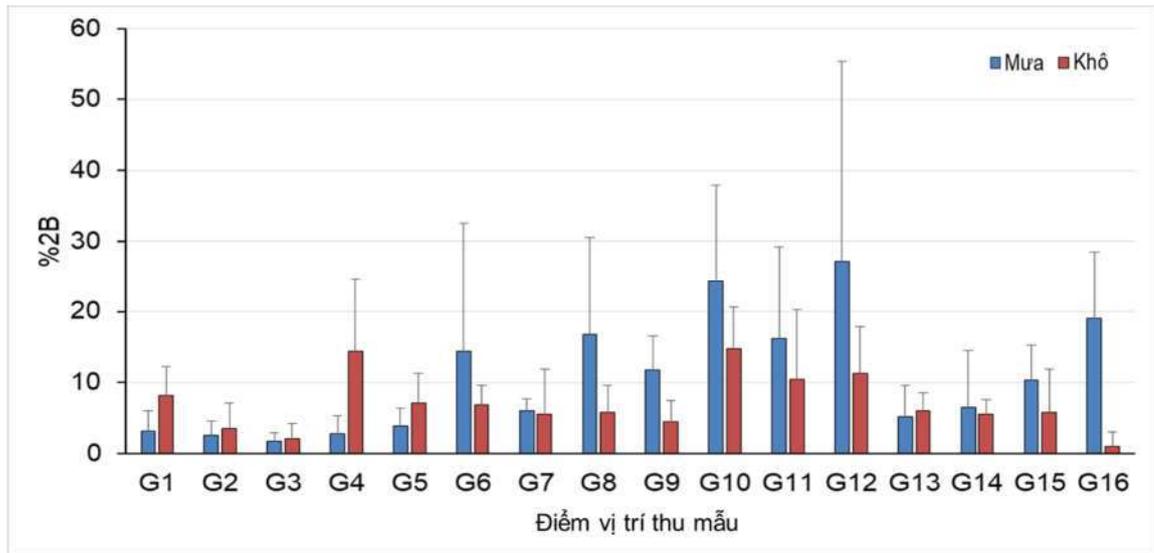


**Hình 3.53. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2A (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2A không cho thấy sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,15$ ) nhưng có sự khác biệt ý nghĩa theo vị trí ( $p = 0,002$ ), với vị trí G12 có tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2A thấp vị trí G3, G4, và G14 (Hình 3.53, Phụ lục 9).

Nhóm tuyến trùng có kiểu dinh dưỡng 2B thuộc nhóm carnivores (ăn thịt), hay còn gọi là predators (kẻ săn mồi). Tuyến trùng trong nhóm này ăn các sinh vật nhỏ hơn, bao gồm các tuyến trùng khác, protozoa, hoặc các vi sinh vật nhỏ. Chúng thường có cấu trúc miệng phức tạp với móc, răng, hoặc kim hút để có thể bắt giữ và tiêu diệt con mồi [191]. Nhóm 2B đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát số lượng các sinh vật nhỏ trong môi trường, giúp duy trì cân bằng sinh thái trong hệ sinh vật đất

hoặc thủy sinh. Bằng cách ăn các loài khác, chúng giúp điều chỉnh cấu trúc quần thể vi sinh vật và các loài nhỏ trong môi trường mà chúng sinh sống.

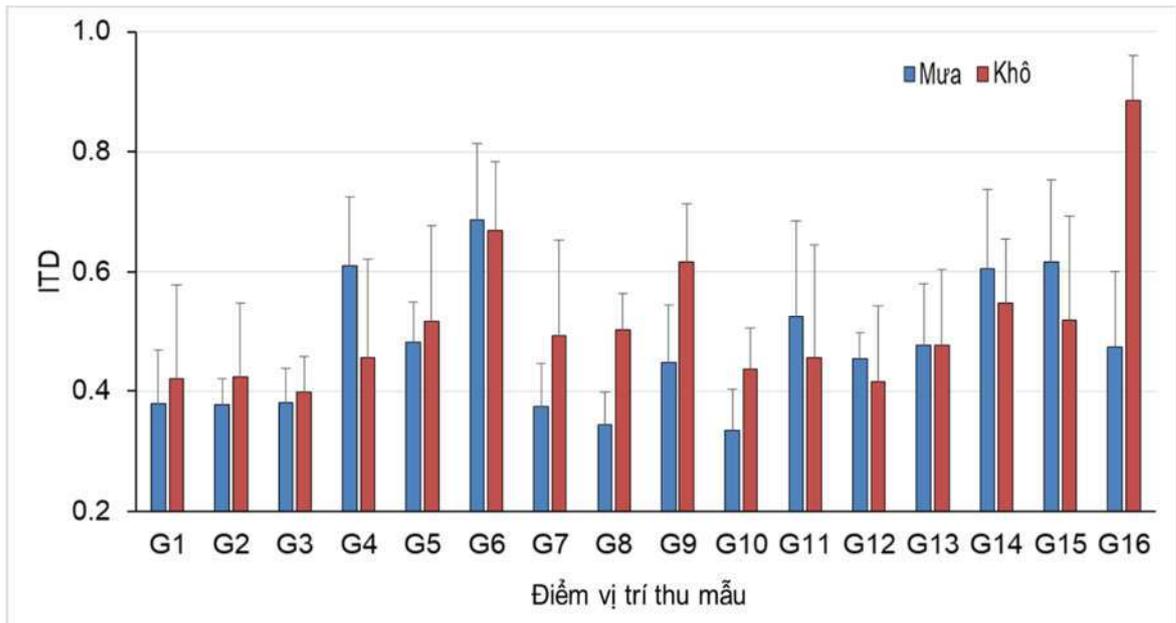


**Hình 3.54. Tỷ lệ nhóm dinh dưỡng 2B (%) của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Mùa mưa, các vị trí giữa sông Ba Lai có xu hướng có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B cao như G6, G8, G10, G11, G12 với 14,38%, 16,77%, 24,29%, 16,21%, và 27,16%, các vị trí còn lại ở chân đập Ba Lai và thượng nguồn có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B < 10%, trừ G16 có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B khoảng 19,04%. Các vị trí ngoài đập Ba Lai có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B, dưới 4%. Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B vào mùa khô biến động giống như mùa mưa (tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B cao trong đập và thấp ngoài đập). Cụ thể, các vị trí trong đập đều có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B cao như G4, G10, G11, G12 với 14,41%, 14,75%, 10,47%, 11,32%, các vị trí còn lại có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B từ 1,01% (G16) đến 6,86% (G6). Tương tự, ngoài đập có tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B chỉ từ 2,09% (G3) đến 8,19% (G1) (Hình 3.54). Tỷ lệ nhóm tuyến trùng 2B không cho thấy sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,15$ ) và theo vị trí ( $p = 0,79$ ) (Phụ lục 9).

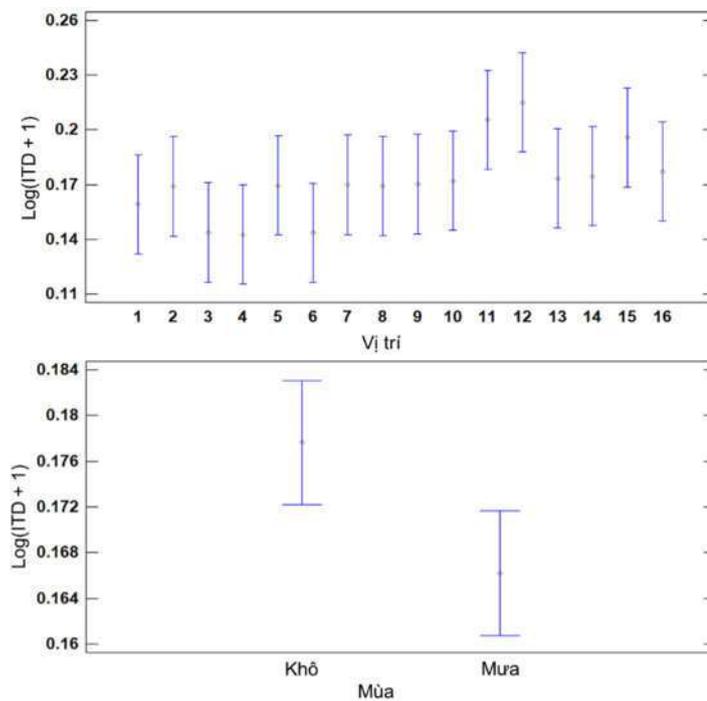
Mùa mưa, các vị trí ngoài đập Ba Lai có chỉ số dinh dưỡng ITD thấp với khoảng 0,38 cho cả vị trí G1, G2, và G3. Tương tự, các vị trí giữa sông Ba Lai như G7, G8, G9, G10 có ITD thấp, tương ứng là  $0,37 \pm 0,07$ ;  $0,34 \pm 0,07$ ;  $0,45 \pm 0,10$ ;  $0,33 \pm 0,07$ . Ngược lại, các vị trí trong chân đập Ba Lai và thượng nguồn có ITD cao. Vị trí G4, G5, G6 có chỉ số ITD lần lượt là  $0,61 \pm 0,11$ ;  $0,48 \pm 0,07$ ;  $0,69 \pm 0,13$ . Khu vực thượng nguồn có ITD từ  $0,47 \pm 0,13$  (G16) đến  $0,62 \pm 0,14$  (G15).

Sang mùa khô, hầu hết các vị trí trong đập Ba Lai có chỉ số ITD cao, từ  $0,43 \pm 0,13$  (G12) đến  $0,89 \pm 0,07$  (G16), ngoài ra G6 và G9 cũng có ITD khá cao, khoảng  $0,67 \pm 0,11$  và  $0,62 \pm 0,10$ . Ngược lại, các vị trí ngoài đập vẫn duy trì chỉ số ITD thấp, từ  $0,40 \pm 0,06$  (G3) đến  $0,42 \pm 0,16$  (G1) (Hình 3.55).



**Hình 3.55. Chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai**

Phân tích ANOVA 2 yếu tố cho thấy giá trị ITD có sự khác biệt theo mùa ( $p = 0,04$ ), và cả theo vị trí ( $p < 0,001$ ). Nhìn chung, mùa mưa có chỉ số ITD thấp hơn mùa khô, vị trí G6, G3, G4 có giá trị ITD thấp hơn các vị trí còn lại (Hình 3.56, Phụ lục 9).



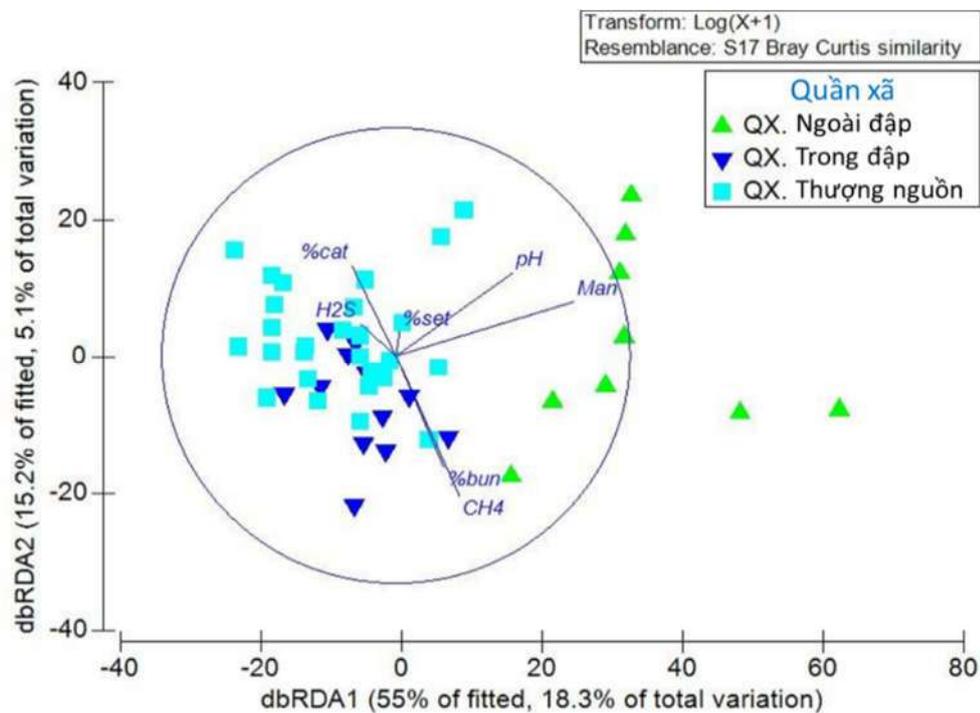
**Hình 3.56. Kết quả phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số dinh dưỡng ITD của quần xã tuyến trùng**

**3.3. Mối liên hệ giữa các đặc điểm quần xã tuyến trùng và thông số môi trường trầm tích sông Ba Lai**

### 3.3.1. Tương quan giữa các đặc điểm quần xã tuyến trùng và điều kiện môi trường trầm tích sông Ba Lai

#### 3.3.1.1. Mùa mưa

Phân tích DistLM cho thấy 2 trục dbRDA giải thích được 70,27% đặc điểm của cấu trúc phân bố quần xã tuyến trùng mùa mưa, trong đó dbRDA1 là 55,05%, dbRDA2 là 15,22%. Mô hình còn cho thấy chỉ có độ mặn ( $p = 0,001$ ), pH ( $p = 0,002$ ), % bùn ( $p = 0,021$ ), và  $CH_4$  ( $p = 0,042$ ) tương quan có ý nghĩa với cấu trúc quần xã tuyến trùng sông Ba Lai vào mùa mưa. Thông số độ mặn và pH chi phối mạnh quần xã ngoài đập, trong khi  $CH_4$  và % bùn chi phối quần xã trong đập. Như vậy, vào mùa mưa thông số độ mặn, pH,  $CH_4$ , % bùn ảnh hưởng mạnh nhất đến cấu trúc quần xã tuyến trùng, với thứ tự ảnh hưởng như sau: Độ mặn > pH > % bùn >  $CH_4$  (Hình 3.57).



**Hình 3.57. Phân tích DistLM mô tả mối quan hệ giữa các điều kiện môi trường và cấu trúc quần xã tuyến trùng vào mùa mưa**

Tất cả các thông số môi trường đều ghi nhận có tương quan ý nghĩa với đặc điểm quần xã tuyến trùng (Bảng 3.11). Các đặc điểm quần xã tương quan nghịch với nhóm các thông số  $H_2S$ , % sét; ngược lại tương quan thuận với  $CH_4$ , pH, độ mặn, ORP, và % cát, % bùn. Tuy nhiên, khí  $H_2S$  lại cho thấy chi phối mạnh và toàn diện lên quần xã tuyến trùng khi so với khí  $CH_4$ , chỉ tương quan với chỉ số  $N_{inf}$  ( $r = 0,290$ ,  $p = 0,046$ ). Trong thành phần trầm tích thì % bùn và % sét có chi phối mạnh hơn khi so với % cát.

Các thông số như pH, độ mặn và ORP là các yếu tố chính, chi phối mạnh đến quần xã tuyến trùng sông Ba Lai, nhất là pH và độ mặn. Hai thông số này tương quan

thuận với mật độ và đa dạng sinh học quần xã tuyền trùng sông Ba Lai. Chứng tỏ, mật độ và đa dạng sinh học quần xã tuyền trùng tăng khi tăng độ mặn và pH.

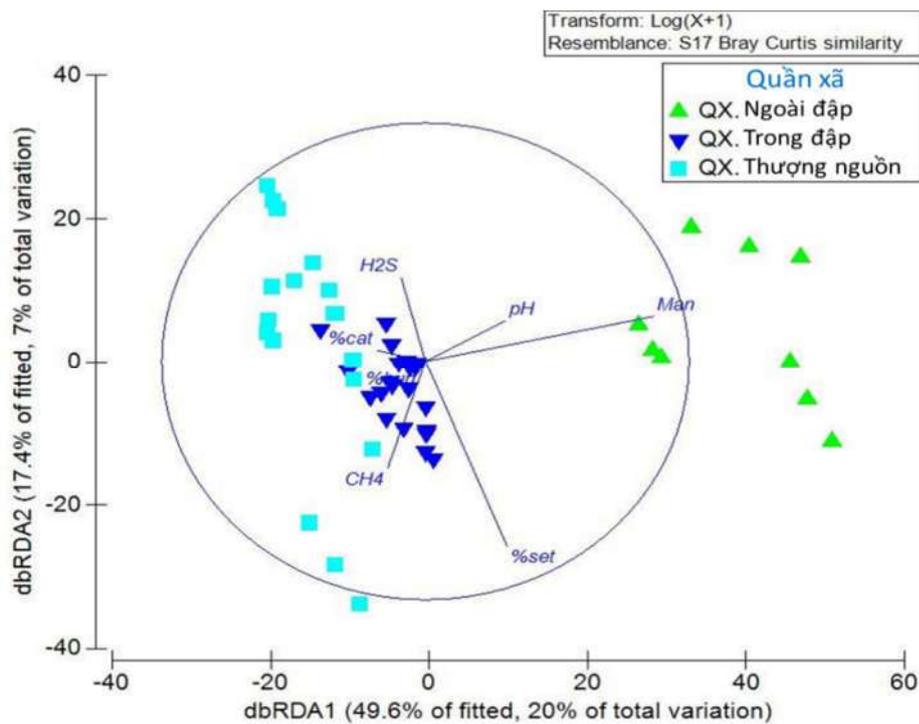
**Bảng 3.11. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm quần xã tuyền trùng và một số yếu tố môi trường trầm tích vào mùa mưa**

Đặc điểm QXTT	Hệ số	Đặc điểm yếu tố môi trường (mùa mưa)							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	%Cát	%Bùn	%Sét
Mật độ (N)	r	-0,060	-0,019	0,125	0,379	0,112	-0,164	0,407	-0,343
	p	0,685	0,901	0,399	<b>0,008</b>	0,451	0,266	<b>0,004</b>	<b>0,017</b>
Số giống (S)	r	-0,460	0,034	0,414	0,584	0,463	0,282	0,064	-0,427
	p	<b>0,001</b>	0,817	<b>0,004</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	0,052	0,666	0,003
Chỉ số phong phú Margalef (d)	r	-0,417	0,050	0,353	0,360	0,399	0,360	-0,178	-0,203
	p	<b>0,003</b>	0,735	<b>0,014</b>	<b>0,012</b>	<b>0,005</b>	<b>0,012</b>	0,225	0,167
Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner (H')	r	-0,314	0,140	0,505	0,479	0,370	-0,034	0,275	-0,174
	p	<b>0,030</b>	0,342	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,010</b>	0,819	0,059	0,237
Chỉ số đồng đều Pielou's (J')	r	-0,061	0,186	0,394	0,230	0,149	-0,271	0,321	0,107
	p	0,682	0,206	<b>0,006</b>	0,115	0,314	0,063	<b>0,026</b>	0,470
Chỉ số đa dạng Hill N <sub>1</sub>	r	-0,354	0,142	0,523	0,560	0,394	0,011	0,269	-0,208
	p	<b>0,014</b>	0,335	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,006</b>	0,941	0,065	0,156
Chỉ số đa dạng Hill N <sub>2</sub>	r	-0,325	0,194	0,512	0,515	0,327	-0,082	0,379	-0,149
	p	<b>0,024</b>	0,187	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,024</b>	0,580	<b>0,008</b>	0,311
Chỉ số đa dạng Hill N <sub>inf</sub>	r	-0,311	0,290	0,427	0,431	0,240	-0,064	0,422	-0,184
	p	<b>0,031</b>	<b>0,046</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	0,100	0,667	<b>0,003</b>	0,210

(Chú thích: Giá trị p < 0,05 được in đậm)

### 3.3.1.2. Mùa khô

Kết quả phân tích DistLM cho thấy 2 trục dbRDA giải thích được 67,06% đặc điểm của cấu trúc phân bố QXTT mùa khô, trong đó dbRDA1 là 49,63%, dbRDA2 là 17,43%. Mô hình còn cho thấy chỉ có độ mặn ( $p = 0,001$ ), % sét ( $p = 0,001$ ),  $\text{CH}_4$  ( $p = 0,001$ ), pH ( $p = 0,033$ ) tương quan có ý nghĩa với cấu trúc QXTT sông Ba Lai vào mùa khô. Thông số độ mặn và pH tiếp tục chi phối mạnh quần xã ngoài đập, trong khi % sét và  $\text{CH}_4$  chi phối quần xã trong đập và quần xã thượng nguồn. Như vậy, vào mùa khô, thông số độ mặn, pH,  $\text{CH}_4$ , % bùn ảnh hưởng mạnh nhất đến cấu trúc QXTT, với thứ tự ảnh hưởng như sau: Độ mặn > % sét >  $\text{CH}_4$  > pH (Hình 3.58).



**Hình 3.58. Phân tích DistLM mô tả mối quan hệ giữa các điều kiện môi trường và cấu trúc quần xã tảo trong mùa khô**

Mùa khô chỉ ghi nhận các đặc điểm của QXTT có tương quan với  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ , pH, độ mặn, và % sét. Độ mặn và pH vẫn tương quan thuận với mật độ như trong mùa mưa, nhưng trong mùa khô không cho thấy tương quan với các chỉ số đa dạng. Khí  $\text{CH}_4$  hầu hết tương quan nghịch với đa dạng QXTT. Tuy nhiên, sang mùa khô ảnh hưởng của khí  $\text{CH}_4$  trở nên mạnh hơn khi so với mùa mưa ( $\text{H}_2\text{S}$  mùa mưa mạnh hơn  $\text{CH}_4$ ). Khí  $\text{CH}_4$  ghi nhận có tương quan thuận với mật độ và khí  $\text{H}_2\text{S}$  tương quan thuận với chỉ số H' và J' là những điểm khác biệt giữa mùa khô và mùa mưa. Ngoài ra, % sét vào mùa khô vẫn ghi nhận tương quan nghịch (ngoại trừ mật độ QXTT) và toàn diện với các đặc điểm QXTT giống như ở mùa mưa (Bảng 3.12).

**Bảng 3.12. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm quần xã tuyền trùng và một số yếu tố môi trường trầm tích vào mùa khô**

Đặc điểm QXTT	Hệ số	Đặc điểm yếu tố môi trường (mùa khô)							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	%Cát	%Bùn	%Sét
N	r	-0,061	0,345	0,295	0,503	-0,152	-0,178	0,078	0,454
	p	0,681	<b>0,016</b>	<b>0,042</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,302	0,226	0,597	<b>0,001</b>
S	r	0,237	-0,358	-0,060	-0,021	0,019	0,185	-0,081	-0,562
	p	0,105	<b>0,013</b>	0,684	0,890	0,900	0,208	0,583	<b>&lt;0,001</b>
d	r	0,205	-0,366	-0,128	-0,160	0,063	0,220	-0,105	-0,596
	p	0,162	<b>0,011</b>	0,386	0,278	0,671	0,134	0,479	<b>&lt;0,001</b>
H'	r	0,315	-0,284	0,023	0,059	-0,010	0,123	-0,013	-0,426
	p	<b>0,029</b>	<b>0,048</b>	0,875	0,689	0,948	0,407	0,932	<b>0,003</b>
J'	r	0,329	-0,141	0,084	0,114	-0,032	0,043	0,056	-0,210
	p	<b>0,022</b>	0,340	0,572	0,443	0,832	0,770	0,704	0,152
N <sub>1</sub>	r	0,278	-0,293	0,033	0,065	-0,007	0,116	-0,018	-0,460
	p	0,056	<b>0,049</b>	0,824	0,659	0,962	0,433	0,904	<b>0,001</b>
N <sub>2</sub>	r	0,245	-0,280	0,080	0,119	-0,022	0,072	0,001	-0,411
	p	0,093	<b>0,048</b>	0,589	0,423	0,880	0,627	0,995	<b>0,004</b>
N <sub>inf</sub>	r	0,206	-0,270	0,121	0,167	-0,041	0,026	0,034	-0,372
	p	0,161	<b>0,044</b>	0,413	0,257	0,781	0,862	0,820	<b>0,009</b>

(Chú thích: Giá trị p < 0,05 được in đậm)

### 3.3.2. Ảnh hưởng của thông số môi trường trầm tích lên đặc điểm của quần xã tuyền trùng sông Ba Lai

#### 3.3.2.1. Ảnh hưởng của khí hydro sulfua và metan

Ảnh hưởng của khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> lên QXTT sông Ba Lai đã được ghi nhận trong nghiên cứu này. Khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> chủ yếu ảnh hưởng đến QXTT bên trong đập Ba Lai. Kết quả nghiên cứu cho thấy khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> chủ yếu ảnh hưởng lên đa dạng

QXTT, ít ảnh hưởng đến mật độ. Tuy nhiên vào mùa khô ghi nhận khí CH<sub>4</sub> tương quan thuận với mật độ quần xã tuyến trùng. Kết quả này, giống với nghiên cứu của Olu và cộng sự (1997) và Van Gaever và cộng sự (2006), khi họ phát hiện rằng mật độ của QXTT tăng trong môi trường biển sâu có giàu khí CH<sub>4</sub> [282, 283]. Một giả thuyết giải thích cho kết quả này là ở vùng nước biển hoặc trầm tích sâu, các sinh vật tổng hợp chất hữu cơ từ các phản ứng hóa học (thay vì ánh sáng mặt trời như trong quá trình quang hợp) [284]. Trong điều kiện đó, các sinh vật như vi khuẩn và vi sinh vật tổng hợp chất dinh dưỡng từ các hợp chất vô cơ như hydro sulfua hoặc metan. Do đó, trong điều kiện khắc nghiệt thì CH<sub>4</sub> vẫn đóng vai trò thúc đẩy cộng đồng sinh vật phát triển. Ví dụ, xung quanh các miệng núi lửa dưới biển sâu (giàu khí CH<sub>4</sub>) vẫn có hệ sinh vật vô cùng phong phú và đa dạng [285].

Nhìn chung, sự tương tác giữa khí và QXTT có sự khác biệt trong mùa mưa và mùa khô nhưng 2 khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> đã làm giảm đa dạng sinh học tuyến trùng. Khi môi trường giàu H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>, chỉ có 1 số giống thích nghi mới có thể tồn tại được (ví dụ: *Halomonhystera* sp., *Sabatieria mortenseni* và *Desmodora* sp.) [283]. Nếu ở lớp trầm tích mặt giàu oxy, các phản ứng oxy hóa khử oxy (hô hấp hiếu khí) chiếm ưu thế cho đến khi oxy cạn kiệt. Trong khi ở trầm tích sâu, thiếu oxy, các phản ứng khử nitrate (quá trình nitrat hóa), khử mangan, khử sắt, khử sulfat và tạo metan diễn ra. Sau các phản ứng này, các sản phẩm cuối cùng của quá trình khoáng hóa kỵ khí (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>) có thể bị pha loãng và khuếch tán vào cột nước hoặc khuếch tán vào lớp trên của trầm tích, gây độc cho hầu hết các sinh vật thủy sinh, đặc biệt là tuyến trùng sống tự do trong trầm tích. Nghiên cứu của luận án cho thấy, đa dạng sinh học quần xã tuyến trùng tương quan nghịch với khí H<sub>2</sub>S (ở mùa mưa) và CH<sub>4</sub> (ở mùa khô). Hầu hết các nghiên cứu đã cảnh báo metan và sulfua là chất độc hại cho tất cả các sinh vật [286, 287], tính độc hại của chúng có thể giải thích qua sự ức chế ngược của enzyme cytochrome c oxidase ở nồng độ nhỏ hơn 01 nM và thông qua việc hình thành các gốc oxy như gốc hydroxyl (•OH) và hydro peroxit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, oxy già) [286].

### 3.3.2.2. Ảnh hưởng của pH

Giá trị pH cả 2 mùa đều tương quan thuận với QXTT nhưng mùa mưa tương quan toàn diện hơn, mùa khô chỉ tương quan với mật độ. Giá trị pH của trầm tích có ảnh hưởng mạnh đến mật độ và tính đa dạng của quần xã tuyến trùng do nó điều chỉnh điều kiện sống, hoạt động vi sinh vật và tính sẵn có của chất dinh dưỡng. Khi pH ở mức trung tính hoặc hơi kiềm (khoảng 6,5 - 8,0), điều kiện môi trường trở nên ổn định hơn cho hầu hết các nhóm tuyến trùng, đặc biệt là các nhóm ăn vi khuẩn và ăn nấm (bacterivores, fungivores), do vi sinh vật phát triển mạnh trong khoảng pH này, cung cấp nguồn thức ăn dồi dào [288]. Ngược lại, môi trường có pH thấp (mang tính

axít) thường làm giảm hoạt động sinh học, gây ức chế quá trình trao đổi chất và sinh sản của tảo, đồng thời làm tăng độc tính của kim loại nặng và giảm hàm lượng dinh dưỡng dễ hấp thu [289, 290]. Ngoài ra, pH cao hơn còn thúc đẩy các nhóm vi sinh vật tăng cường phân hủy vật chất hữu cơ, qua đó hỗ trợ các nhóm chức năng tảo trong chuỗi dinh dưỡng bùn đất hoạt động.

### 3.3.2.3. Ảnh hưởng của độ mặn và thành phần trầm tích

Tác giả Ngo và cộng sự (2016), khi nghiên cứu đặc điểm tảo ở các cửa sông Mê Kông đã kết luận rằng thành phần trầm tích có tương tác mạnh với đặc điểm QXTT và quyết định đặc điểm phân bố quần xã tảo ở hệ thống cửa sông này [7]. Tuy nhiên, Tran và cộng sự (2022) khi nghiên cứu quần xã tảo ở sông Ba Lai theo chiều dọc sông ở 8 vị trí (3 ngoài đập, 5 trong đập) đã cho rằng gradient độ mặn là yếu tố quyết định đến phân bố của QXTT ở đây [173]. Nghiên cứu này, cũng đánh giá QXTT sông Ba Lai theo chiều dọc ở 16 vị trí và kết quả chứng minh cả độ mặn và thành phần trầm tích đều ảnh hưởng mạnh đến quần xã tảo.

Giá trị độ mặn cả 2 mùa đều tương quan thuận với QXTT nhưng mùa mưa tương quan toàn diện hơn, mùa khô chỉ tương quan với mật độ. Thật vậy, Austen và Warwick (1989) cho rằng tảo có xu hướng giảm về mật độ và đa dạng từ cửa sông lên thượng nguồn [139]. Các nghiên cứu khác cũng cho thấy độ mặn là một trong những thông số phổ biến nhất được sử dụng trong nghiên cứu sinh thái ven biển để theo dõi các yếu tố tác động đến sinh vật đáy [141]. Hơn nữa, Van Diggelen và Montagna (2016) phát hiện rằng các gradient mặn quan trọng trong việc giải thích sự đa dạng ở nhiều hệ thống cửa sông [291]. Nghiên cứu của Ngo và cộng sự (2016) đã kết luận rằng, kích thước hạt trầm tích có tương quan mạnh mẽ nhất với các quần xã tảo ở các cửa sông Mê Kông [7]. Sự khác biệt này là do khác nhau trong không gian bố trí khảo sát; nghiên cứu của Tran và cộng sự (2022) tập trung vào các quần xã tảo từ “thượng nguồn - hạ nguồn” [173], trong khi Ngo và cộng sự (2016) khảo sát từ “cửa sông - cửa sông” [7]. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu luận án cũng cho thấy kích thước hạt (đặc biệt là tỷ lệ % bùn và tỷ lệ % sét) ảnh hưởng đến các quần xã tảo. Nhìn chung, tỷ lệ % sét vào mùa mưa, tương quan thuận và tỷ lệ % bùn vào mùa khô tương quan nghịch với mật độ và đa dạng QXTT. Thật vậy, tỷ lệ thành phần hạt trong trầm tích, đặc biệt là % bùn và % sét, ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường sống và khả năng di chuyển, hô hấp, kiếm ăn của tảo. Hàm lượng bùn cao thường tạo nên kết cấu đất hoặc trầm tích ẩm, xốp; độ ẩm và hàm lượng hữu cơ cao giúp duy trì độ ẩm, oxy và nguồn thức ăn (vi khuẩn, nấm, mùn hữu cơ) thích hợp cho nhiều nhóm tảo, từ đó làm tăng mật độ và đa dạng loài [288, 292]. Ngược lại, khi tỷ lệ % sét cao, các hạt mịn kết dính chặt làm giảm độ thoáng khí,

giảm tính thấm nước và hạn chế khuếch tán oxy, dẫn đến điều kiện yếm khí cục bộ và hạn chế chuyển động, sinh sản của tuyến trùng [293]. Ngoài ra, đất hoặc trầm tích nhiều sét còn có khả năng giữ nước quá mức và hấp phụ các ion kim loại hoặc chất độc, làm tăng áp lực sinh lý và giảm số lượng loài nhạy cảm. Vì vậy, tỷ lệ % bùn có xu hướng tương quan thuận với mật độ và đa dạng tuyến trùng do cung cấp điều kiện sống tối ưu; trong khi đó tỷ lệ % sét tương quan nghịch đã làm giảm tính thông thoáng và khả năng hoạt động sinh học của quần xã tuyến trùng.

### 3.4. Ứng dụng quần xã tuyến trùng trong quan trắc, đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai

#### 3.4.1. Các giống tuyến trùng nhạy cảm và chống chịu với khí hydro sulfua và khí metan

Mùa mưa ghi nhận 34 giống có tương tác với khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>, trong đó có 10 giống có khả năng chống chịu khí H<sub>2</sub>S (tương quan thuận với H<sub>2</sub>S), 21 giống chống chịu khí CH<sub>4</sub> (tương quan thuận với CH<sub>4</sub>), 01 giống *Pseudolella* nhạy cảm với H<sub>2</sub>S (tương quan nghịch với H<sub>2</sub>S), và 02 giống *Halichoanolaimus* và *Halipletus* nhạy cảm với CH<sub>4</sub> (tương quan nghịch với CH<sub>4</sub>) (Bảng 3.13).

Trong số các giống tuyến trùng có phản ứng với khí, số giống có khả năng chống chịu nhiều hơn số giống nhạy cảm do khả năng thích nghi cao của tuyến trùng. Ngoài ra, số giống có khả năng chống chịu khí CH<sub>4</sub> nhiều hơn số giống có khả năng chống chịu khí H<sub>2</sub>S; điều đó gợi ý rằng khí H<sub>2</sub>S có thể gây độc tính cao hơn khi so với khí CH<sub>4</sub>.

**Bảng 3.13. Kết quả phân tích tương quan giữa các giống tuyến trùng và nồng độ khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> phát thải từ trầm tích sông Ba Lai vào mùa mưa**

Giống	Hệ số	Chống chịu		Nhạy cảm	
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
<i>Aphanonchus</i>	r	0,373	*	*	*
	p	0,009	*	*	*
<i>Aphelenchoides</i>	r	*	0,386	*	*
	p	*	0,007	*	*
<i>Campylaimus</i>	r	0,287	*	*	*
	p	0,048	*	*	*
<i>Cephalobus</i>	r	*	0,422	*	*
	p	*	0,003	*	*
<i>Criconemella</i>	r	0,292	*	*	*
	p	0,044	*	*	*

Giống	Hệ số	Chống chịu		Nhạy cảm	
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
<i>Daptonema</i>	r	*	0,291	*	*
	p	*	0,045	*	*
<i>Desmodora</i>	r	*	0,500	*	*
	p	*	<0,001	*	*
<i>Desmodorella</i>	r	*	0,489	*	*
	p	*	<0,001	*	*
<i>Desmoscolex</i>	r	*	0,520	*	*
	p	*	<0,001	*	*
<i>Diplolaimelloides</i>	r	*	0,552	*	*
	p	*	<0,001	*	*
<i>Diploscapter</i>	r	0,292	*	*	*
	p	0,044	*	*	*
<i>Dorylaimus</i>	r	0,455	*	*	*
	p	0,001	*	*	*
<i>Eucephalobus</i>	r	0,373	*	*	*
	p	0,009	*	*	*
<i>Halichoanolaimus</i>	r	*	*	*	-0,287
	p	*	*	*	0,048
<i>Halipletus</i>	r	*	*	*	-0,308
	p	*	*	*	0,034
<i>Ironus</i>	r	0,306	*	*	*
	p	0,035	*	*	*
<i>Linhystera</i>	r	*	0,322	*	*
	p	*	0,026	*	*
<i>Litinium</i>	r	*	0,301	*	*
	p	*	0,038	*	*
<i>Longicyatholaimus</i>	r	*	0,371	*	*
	p	*	0,009	*	*
<i>Metachromadora</i>	r	*	0,447	*	*
	p	*	0,002	*	*
<i>Monhystrella</i>	r	*	0,424	*	*

Giống	Hệ số	Chống chịu		Nhạy cảm	
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
	p	*	0,003	*	*
<i>Mononchus</i>	r	*	0,322	*	*
	p	*	0,026	*	*
<i>Oncholaimus</i>	r	0,289	*	*	*
	p	0,047	*	*	*
<i>Panagrolaimus</i>	r	*	0,378	*	*
	p	*	0,008	*	*
<i>Paractinolaimus</i>	r	*	0,386	*	*
	p	*	0,007	*	*
<i>Parodontophora</i>	r	*	0,328	*	*
	p	*	0,023	*	*
<i>Prodesmodora</i>	r	*	0,346	*	*
	p	*	0,016	*	*
<i>Protorhabditis</i>	r	0,439	*	*	*
	p	0,002	*	*	*
<i>Pseudochromadora</i>	r	*	0,287	*	*
	p	*	0,048	*	*
<i>Pseudolella</i>	r	*	*	-0,293	*
	p	*	*	0,044	*
<i>Rhabdolaimus</i>	r	0,376	*	*	*
	p	0,009	*	*	*
<i>Sphaerolaimus</i>	r	*	0,376	*	*
	p	*	0,008	*	*
<i>Sphaerotheristus</i>	r	*	0,525	*	*
	p	*	0,000	*	*
<i>Udonchus</i>	r	*	0,416	*	*
	p	*	0,003	*	*

(Chú thích: \* không ghi nhận)

Mùa khô số giống tuyến trùng có tương tác với khí giảm khi so với mùa mưa (giảm xuống chỉ còn 10 giống). Trong số này, không ghi nhận giống nhạy cảm với H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>. Mùa khô, ghi nhận 06 giống chống chịu với H<sub>2</sub>S (gồm giống

*Aphanonchus*, *Heterocephalobus*, *Paramonhystera*, *Parascolaimus*, *Stephanolaimus*, *Tobrilus*); và 04 giống có khả năng chống chịu với CH<sub>4</sub> (gồm giống *Axonolaimus*, *Eumonhystera*, *Monhystera*, *Theristus*) (Bảng 3.14).

**Bảng 3.14. Kết quả phân tích tương quan giữa các giống tuyến trùng và nồng độ khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> phát thải từ trầm tích sông Ba Lai vào mùa khô**

Giống	Hệ số	Chống chịu		Nhạy cảm	
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
<i>Aphanonchus</i>	r	0,497	*	*	*
	p	< 0,001	*	*	*
<i>Axonolaimus</i>	r	*	0,338	*	*
	p	*	0,019	*	*
<i>Eumonhystera</i>	r	*	0,507	*	*
	p	*	0,000	*	*
<i>Heterocephalobus</i>	r	0,510	*	*	*
	p	< 0,001	*	*	*
<i>Monhystera</i>	r	*	0,853	*	*
	p	*	< 0,001	*	*
<i>Paramonhystera</i>	r	0,289	*	*	*
	p	0,047	*	*	*
<i>Parascolaimus</i>	r	0,510	*	*	*
	p	0,000	*	*	*
<i>Stephanolaimus</i>	r	0,541	*	*	*
	p	< 0,001	*	*	*
<i>Theristus</i>	r	*	0,488	*	*
	p	*	< 0,001	*	*
<i>Tobrilus</i>	r	0,541	*	*	*
	p	< 0,001	*	*	*

(Chú thích: \* không ghi nhận)

Một số giống thuộc họ Xyalidae như *Daptonema*, *Theristus*, và họ Monhysteridae như *Eumonhystera*, *Monhystera* có khả năng chống chịu khá tốt với khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>. Các nghiên cứu đã chỉ ra các giống như *Daptonema*, *Theristus*, *Eumonhystera*, *Monhystera* có khả năng chống chịu tốt ở môi trường có nồng độ chất hữu cơ cao, cho nên chúng thường chỉ thị cho điều kiện ô nhiễm hữu cơ [186, 294]. Ngoài ra, giống *Daptonema*, *Theristus* thường xuất hiện và chỉ thị cho môi trường có

một số chất độc như kim loại nặng, hợp chất hữu cơ có cấu trúc gồm hai hoặc nhiều vòng thơm (PAHs) [186]. Nghiên cứu luận án này, lần đầu ghi nhận một số giống tuyến trùng như *Daptonema*, *Theristus*, *Eumonhystera*, *Monhystera* ngoài khả năng chống chịu hàm lượng chất hữu cơ cao, còn có khả năng chống chịu và thích nghi với trầm tích giàu khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>.

### 3.4.2. Tương quan giữa các chỉ số sinh học với các đặc điểm thông số môi trường trầm tích

Mùa mưa ghi nhận chỉ số H', MI, %c-p 3, %c-p 4&5 có tương quan thuận với pH và ORP, ngược lại %c-p 1&2 ghi nhận tương quan nghịch. Điều này là phù hợp vì nhóm c-p 1&2 có đặc điểm sinh thái ngược với nhóm tuyến trùng c-p 3, c-p 4&5. Chỉ có nhóm tuyến trùng c-p 4&5 là ghi nhận nhạy cảm với khí CH<sub>4</sub> ( $r = -0,311$ ;  $p = 0,033$ ). Chỉ số ITD tương quan nghịch với pH và ORP (Bảng 3.15). Như vậy, chỉ số ITD, MI, H', %c-p 3, %c-p 4&5 sẽ biến thiên cùng chiều với nhau vì khi pH và ORP tăng sẽ làm MI, H', %c-p 3, %c-p 4&5 tăng, dẫn tới đánh giá chất lượng môi trường sinh thái nền đáy tăng, đồng thời giảm ITD (cũng đánh giá chất lượng nền đáy tăng). Do đó, chỉ số ITD, MI, H', %c-p 3, %c-p 4&5 sẽ cho kết quả đánh giá gần tương tự nhau.

Các nhóm dinh dưỡng tuyến trùng cũng cho thấy nhạy cảm với các điều kiện môi trường, đặc biệt là nhóm 1B và 2A. Nhóm 1B (nhóm ăn vi khuẩn) trong nghiên cứu này, cũng ghi nhận tương quan thuận với cả hai khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>. Nhóm 1B chủ yếu gồm các giống ăn vi khuẩn như *Parodontophora*, *Metadesmolaimus*, *Daptonema*, *Theristus*, *Pseudolella*, *Sphaerotheristus*, *Sabatieria*, và *Metalinhomoeus*. Theo Adão và cộng sự (2009) và nghiên cứu Danovaro và Gambi (2002), nhóm 1B có tương quan thuận với lượng vi khuẩn *Escherichia coli* (là thức ăn của chúng), nhóm này sẽ tăng cao khi lượng vi khuẩn tăng cao [119, 120]. Ở sông Ba Lai, nồng độ CH<sub>4</sub> ghi nhận tương quan thuận với *E.coli*, cho nên khi CH<sub>4</sub> tăng làm tăng *E.coli* làm thức ăn cho nhóm 1B. Nghiên cứu này, không đánh giá chỉ tiêu vi khuẩn trong trầm tích, tuy nhiên trầm tích sông Ba Lai đã ghi nhận giàu vật chất hữu cơ tích lũy [173], đây là điều kiện thích hợp làm tăng mật độ vi khuẩn, từ đó tăng nhóm tuyến trùng 1B.

Mùa khô, chỉ số MI và H' đều tương quan nghịch với tỷ lệ % sét. Ngoài ra, chỉ số MI không tương quan với bất kỳ thông số môi trường nào khác (Bảng 3.16). Tỷ lệ %c-p 1&2 tương quan nghịch với độ mặn, ngược lại %c-p 3 tương quan thuận. Nếu ở mùa mưa %c-p 3 và %c-p 4 & 5 tương quan cùng chiều thì mùa khô nhóm c-p 3 và c-p 4&5 có sự khác biệt trong tương quan với môi trường, cụ thể là độ mặn và %c-p 3 tương quan thuận, còn đối với %c-p 4&5 là tương quan nghịch (Bảng 3.16). Do đó,

chỉ số MI và %c-p trong mùa khô đã giảm đi tính thống nhất và nhạy cảm khi so với mùa mưa.

**Bảng 3.15. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm chỉ thị sinh học của quần xã tuyến trùng và một số đặc điểm môi trường vào mùa mưa**

Đặc điểm chỉ thị sinh học QXTT	Hệ số	Đặc điểm môi trường trầm tích							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	% cát	% bùn	% sét
MI	r	0,088	-0,233	0,442	-0,245	0,355	-0,142	0,166	0,085
	p	0,547	0,110	<b>0,002</b>	0,093	<b>0,015</b>	0,331	0,255	0,562
%c-p 1&2	r	-0,048	0,202	-0,464	0,192	-0,448	0,037	-0,177	0,038
	p	0,740	0,167	<b>0,002</b>	0,189	<b>0,002</b>	0,802	0,225	0,797
%c-p 3	r	-0,077	-0,055	0,336	-0,022	0,505	0,205	0,309	-0,429
	p	0,599	0,706	<b>0,021</b>	0,878	<b>0,001</b>	0,160	<b>0,034</b>	<b>0,003</b>
%c-p 4&5	r	-0,018	-0,311	0,394	-0,262	0,340	-0,098	0,047	0,172
	p	0,904	<b>0,033</b>	<b>0,007</b>	0,072	<b>0,020</b>	0,504	0,748	0,239
ITD	r	0,297	0,056	-0,405	-0,189	-0,567	0,202	-0,392	0,108
	p	<b>0,042</b>	0,701	<b>0,006</b>	0,196	<b>&lt;0,001</b>	0,166	<b>0,007</b>	0,459
%1A	r	-0,342	-0,175	-0,032	-0,018	0,502	-0,095	0,185	-0,063
	p	<b>0,019</b>	0,229	0,828	0,903	<b>0,001</b>	0,517	0,206	0,665
%1B	r	0,334	0,152	-0,357	-0,118	-0,630	0,224	-0,383	0,075
	p	<b>0,022</b>	0,297	<b>0,014</b>	0,419	<b>&lt;0,001</b>	0,125	<b>0,009</b>	0,609
%2A	r	-0,078	0,043	0,447	0,347	0,291	-0,149	0,540	-0,320
	p	0,594	0,769	<b>0,002</b>	<b>0,017</b>	<b>0,046</b>	0,306	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,028</b>
%2B	r	0,049	-0,028	0,293	-0,177	0,125	-0,136	-0,141	0,215
	p	0,736	0,850	<b>0,045</b>	0,224	0,392	0,350	0,333	0,141
H'	r	-0,314	0,140	0,505	0,479	0,370	-0,034	0,275	-0,174

Đặc điểm chỉ thị sinh học QXTT	Hệ số	Đặc điểm môi trường trầm tích							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	% cát	% bùn	% sét
		p	<b>0,030</b>	0,342	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,010</b>	0,819	0,059

(Chú thích: Giá trị  $p < 0,05$  được in đậm)

Khi độ mặn tăng vào mùa khô sẽ làm tăng các nhóm dinh dưỡng 1A, và 2A (1A ( $r = 0,304$ ;  $p = 0,036$ ), 2A ( $r = 0,453$ ;  $p = 0,001$ )). Khi các nhóm dinh dưỡng tuyến trùng đa dạng sẽ làm giảm chỉ số ITD và chất lượng đánh giá môi trường sẽ được nâng lên. Thực vậy, chỉ số ITD có tương quan nghịch với độ mặn ( $r = -0,425$ ;  $p = 0,003$ ) (Bảng 3.16). Do đó trong mùa khô, chỉ số ITD có độ nhạy cảm và chính xác hơn khi so với các chỉ số H', MI, và %c-p.

**Bảng 3.16. Tương quan (r và p) giữa đặc điểm chỉ thị sinh học của quần xã tuyến trùng và một số đặc điểm môi trường vào mùa khô**

Đặc điểm chỉ thị sinh học QXTT	Hệ số	Đặc điểm môi trường trầm tích							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	% cát	% bùn	% sét
		MI	r	0,100	-0,242	0,010	0,141	0,102	0,069
	p	0,501	0,097	0,945	0,339	0,493	0,640	0,817	<b>0,012</b>
%c-p 1&2	r	-0,113	0,233	-0,181	-0,353	-0,038	-0,035	0,016	0,233
	p	0,444	0,111	0,219	<b>0,014</b>	0,800	0,814	0,917	0,111
%c-p 3	r	0,186	-0,045	0,538	0,748	-0,046	-0,108	0,081	0,170
	p	0,206	0,759	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,756	0,464	0,584	0,248
%c-p 4&5	r	-0,038	-0,301	-0,329	-0,305	0,108	0,174	-0,114	-0,542
	p	0,800	<b>0,038</b>	<b>0,022</b>	<b>0,035</b>	0,464	0,238	0,440	<b>&lt;0,001</b>
ITD	r	-0,165	0,383	-0,245	-0,425	0,128	-0,084	0,102	0,218
	p	0,261	<b>0,007</b>	0,093	<b>0,003</b>	0,384	0,573	0,492	0,137
%1A	r	0,204	-0,133	0,097	0,304	-0,268	0,038	-0,045	-0,184
	p	0,164	0,366	0,513	<b>0,036</b>	0,066	0,800	0,763	0,210
%1B	r	-0,182	0,259	-0,257	-0,450	0,177	0,003	0,033	0,119

Đặc điểm chỉ thị sinh học QXTT	Hệ số	Đặc điểm môi trường trầm tích							
		H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Độ mặn	ORP	% cát	% bùn	% sét
	p	0,215	0,076	0,078	<b>0,001</b>	0,230	0,982	0,824	0,421
%2A	r	0,100	-0,119	0,340	0,453	-0,097	-0,030	-0,026	0,093
	p	0,500	0,421	<b>0,018</b>	<b>0,001</b>	0,512	0,842	0,863	0,532
%2B	r	-0,096	-0,298	-0,091	-0,186	0,267	-0,041	0,052	-0,147
	p	0,517	<b>0,039</b>	0,540	0,205	0,066	0,782	0,723	0,319
H'	r	0,315	-0,284	0,023	0,059	-0,010	0,123	-0,013	-0,426
	p	<b>0,029</b>	<b>0,048</b>	0,875	0,689	0,948	0,407	0,932	<b>0,003</b>

(Chú thích: Giá trị  $p < 0,05$  được in đậm)

### 3.4.3. Đánh giá tổng thể hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai theo quần xã tuyến trùng

Mùa mưa, chất lượng môi trường nền đáy khu vực ngoài đập Ba Lai có đặc trưng là giá trị H' cao nhất, ITD nhỏ nhất nên được đánh giá tốt. Xét tỷ lệ các nhóm c-p, mặc dù cả khu vực ngoài đập có nhóm c-p 1&2 chiếm tỷ lệ cao nhưng có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 cũng khá cao nên vẫn được xếp loại tốt theo tỷ lệ c-p. Còn theo chỉ số MI thì chất lượng môi trường sinh thái nền đáy khu vực ngoài đập được đánh giá xếp loại ở mức trung bình (Bảng 3.17).

Khu vực trong đập Ba Lai và thượng nguồn vẫn có nhóm c-p 1&2 chiếm tỷ lệ cao nhưng có tỷ lệ nhóm c-p 4&5 cũng khá cao nên vẫn được xếp loại tốt theo tỷ lệ c-p. Nhìn chung, khu vực trong đập Ba Lai có đặc điểm là H' và MI thấp nhất nhưng ghi nhận chỉ số ITD cao nhất, cho nên khu vực này được đánh giá sức khỏe chất lượng môi trường sinh thái nền đáy kém nhất trong 3 khu vực và được xếp loại ở mức trung bình. Khu vực thượng nguồn có H' và MI cao hơn và ITD thấp hơn khu vực trong đập Ba Lai, tuy nhiên theo thang xếp loại thì khu vực này vẫn có chất lượng môi trường sinh thái nền đáy ở mức trung bình (nhưng ghi nhận tốt hơn khu vực trong đập Ba Lai) (Bảng 3.17). Tóm lại, ở mùa mưa hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai khu vực ngoài đập được đánh giá tốt, trong khi khu vực trong đập Ba Lai và thượng nguồn xếp loại ở mức trung bình.

**Bảng 3.17. Hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai vào mùa mưa, đánh giá theo các chỉ số H', %c-p, MI, và ITD**

Khu vực	% c-p		Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng (MI)		Chỉ số đa dạng Shannon - Weiner (H')		Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD)		Chất lượng môi trường	
	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Điểm số trung bình	Phân loại
<b>Ngoài đập</b>	c-p 1&2: 71,03 c-p 3: 9,15 c-p 4&5: 19,81	Tốt	2,46	Trung bình	3,91	Tốt	0,39	Tốt	2	Tốt
<b>Trong đập</b>	c-p 1&2: 74,11 c-p 3: 7,83 c-p 4&5: 18,06	Tốt	2,43	Trung bình	2,70	Trung bình	0,51	Trung bình	3	Trung bình
<b>Thượng nguồn</b>	c-p 1&2: 73,48 c-p 3: 8,25 c-p 4&5: 18,27	Tốt	2,44	Trung bình	3,23	Trung bình	0,44	Trung bình	3	Trung bình

Sang mùa khô, chỉ số đa dạng quần xã tuyến trùng tăng lên rõ rệt khi so với mùa mưa, điều này cho thấy khu vực ngoài đập và thượng nguồn được xếp loại đánh giá chất lượng môi trường sinh thái nền đáy ở mức tốt; mặc dù ở khu vực trong đập Ba Lai tiếp tục ghi nhận đánh giá chất lượng môi trường nền đáy xếp loại ở mức trung bình nhưng giá trị H' ở khu vực trong đập ghi nhận cao hơn đáng kể khi so với mùa mưa.

Tuy nhiên, khi đánh giá theo các chỉ số khác thì chất lượng môi trường nền đáy có phần giảm đi, mặc dù đa dạng sinh học tăng lên. Cụ thể, với tỷ lệ c-p: nhóm c-p 1&2 vẫn ưu thế nhưng nhóm c-p 4&5 đã giảm và tăng nhóm c-p 3. Chính điều này, cũng làm giảm giá trị MI và làm giảm sức khỏe sinh thái nền đáy sông Ba Lai. Chỉ số ITD của cả 3 khu vực ngoài đập – trong đập - thượng nguồn cũng tăng vào mùa khô, và được xếp loại ở mức trung bình (Bảng 3.18). Nhìn chung, sức khỏe môi trường sinh thái nền đáy mùa khô đã bị suy giảm, ở cả 3 khu vực đều có chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai xếp loại ở mức trung bình.

**Bảng 3.18. Hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai vào mùa khô, đánh giá theo các chỉ số H', %c-p, MI, và ITD**

Khu vực	% c-p		Chỉ số sinh trưởng tuyến trùng (MI)		Chỉ số đa dạng Shannon – Weiner (H')		Chỉ số dinh dưỡng tuyến trùng (ITD)		Chất lượng môi trường	
	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Giá trị	Phân loại	Điểm số trung bình	Phân loại
<b>Ngoài đập</b>	c-p 1&2: 75,73 c-p 3: 18,05 c-p 4&5: 6,22	Trung bình	2,30	Kém	3,80	Tốt	0,49	Trung bình	3	Trung bình
<b>Trong đập</b>	c-p 1&2: 66,21 c-p 3: 21,76 c-p 4&5: 12,02	Tốt	2,42	Trung bình	3,36	Trung bình	0,60	Trung bình	3	Trung bình
<b>Thượng nguồn</b>	c-p 1&2: 80,00 c-p 3: 10,73 c-p 4&5: 9,26	Trung bình	2,28	Kém	3,75	Tốt	0,45	Trung bình	3	Trung bình

Tổng kết, nghiên cứu luận án này đã sử dụng thành công các chỉ số H', MI, %c-p, ITD để đánh giá sức khỏe môi trường sinh thái chất lượng nền đáy sông Ba Lai. Các chỉ số trên đã cho thấy tính thống nhất, chính xác và phù hợp trong đánh giá chất lượng môi trường nền đáy, nhất là vào mùa mưa. Sang mùa khô, chỉ số ITD có phần nhạy cảm và chính xác hơn khi so với các chỉ số còn lại.

Nghiên cứu này, nhấn mạnh rằng nên kết hợp nhiều chỉ số sinh học khác nhau của QXTT trong đánh giá chất lượng nền đáy để đưa ra nhận định toàn diện và chính xác nhất. Ngoài ra, hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai ghi nhận mức khá tốt vào mùa mưa và trung bình vào mùa khô. Do đó, cần có biện pháp quản lý và theo dõi diễn biến chất lượng môi trường nền đáy sông Ba Lai trong thời gian tới.

### **3.5. Giải pháp ứng dụng quần xã tuyến trùng để quản lý môi trường ở các thủy vực tù đọng, hồ chứa do ảnh hưởng của đập chắn**

Kết quả của luận án cho thấy việc ứng dụng QXTT vào đánh giá chất lượng môi trường nền đáy tại các thủy vực hồ chứa và đập chắn là một hướng tiếp cận sinh học có nhiều tiềm năng, cho phép theo dõi hiệu quả các biến động môi trường theo thời

gian. Mục tiêu chính của phương án quản lý này là duy trì và cải thiện chất lượng sinh thái nền đáy, đảm bảo các chức năng sinh thái của hệ thống thủy vực, đồng thời thiết lập một chương trình giám sát định kỳ dựa trên các chỉ số sinh học của QXTT như H', MI, c-p và ITD. Các chỉ số này đã được chứng minh là có tiềm năng khi áp dụng tại sông Ba Lai, đặc biệt là khả năng phản ánh nhanh nhạy những thay đổi về điều kiện nền đáy trong mùa mưa và mùa khô.

Chương trình giám sát nên được triển khai định kỳ ít nhất hai lần mỗi năm, tương ứng với hai mùa đặc trưng là mùa mưa và mùa khô, nhằm nhận diện những biến động theo thời gian và điều kiện thủy văn. Các điểm lấy mẫu cần được bố trí đại diện cho các vùng sinh thái được chỉ ra trong luận án (ngoài đập, trong đập, thượng nguồn). Bên cạnh các chỉ số sinh học, cần kết hợp song song với việc quan trắc các thông số lý-hóa như pH, DO, BOD, COD, độ mặn, dinh dưỡng, các khí nhà kính, và thành phần hạt trầm tích, nhằm hỗ trợ phân tích và diễn giải cơ chế biến động của QXTT trong không gian và thời gian.

Việc đánh giá chất lượng nền đáy có thể thực hiện dựa trên hệ thống ngưỡng cảnh báo theo nguyên tắc “đèn giao thông” (Hình 2.8, Bảng 3.17, 3.18). Theo đó, vùng xanh dương, xanh lá thể hiện chất lượng môi trường tốt, các chỉ số nằm trong ngưỡng ổn định hoặc tham chiếu; vùng vàng thể hiện tình trạng cảnh báo khi một hoặc nhiều chỉ số có xu hướng suy giảm, cần tăng tần suất giám sát và kiểm soát nguồn thải; vùng cam, vùng đỏ phản ánh môi trường suy thoái rõ rệt, khi các chỉ số như c-p, MI, ITD ở ngưỡng cảnh báo chất lượng môi trường thấp, khi đó cần triển khai điều tra nguyên nhân và áp dụng biện pháp khắc phục. Các ngưỡng định lượng cụ thể cần được xác lập riêng cho từng hồ hoặc đập dựa trên dữ liệu nền địa phương và chuẩn quốc gia liên quan.

Khi phát hiện dấu hiệu suy giảm chất lượng nền đáy, các biện pháp quản lý ưu tiên bao gồm: (1) kiểm soát và giảm tải nguồn thải hữu cơ, dinh dưỡng từ nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản và khu dân cư trước khi xả vào hồ; (2) quản lý trầm tích và ổn định bờ để hạn chế xói mòn, đồng thời xem xét nạo vét chọn lọc trong trường hợp trầm tích bị ô nhiễm nặng; (3) điều chỉnh chế độ vận hành thủy văn nhằm duy trì lưu thông nước và giảm hiện tượng tù đọng; và (4) áp dụng các giải pháp dựa vào tự nhiên như vùng đệm thực vật hoặc đầm lầy nhân tạo nhằm lọc và hấp thu dinh dưỡng trước khi vào hồ chứa.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy trầm tích sông Ba Lai có phát thải hai loại khí khử đặc trưng là  $H_2S$  và  $CH_4$  – là sản phẩm của quá trình phân hủy kỵ khí chất hữu cơ. Tuy nhiên, cường độ phát thải của hai khí này có sự khác biệt rõ rệt theo mùa và theo không gian khảo sát. Cụ thể, hàm lượng  $H_2S$  không ghi nhận sự khác biệt đáng kể giữa mùa mưa và mùa khô, trong khi phát thải  $CH_4$  mùa khô có xu hướng cao hơn mùa mưa. Về mặt phân bố không gian,  $H_2S$  thường phát thải cao hơn tại các vị trí ngoài đập Ba Lai, trong khi  $CH_4$  lại ghi nhận giá trị cao hơn tại một số điểm khảo sát phía trong đập. Sự khác biệt này được cho là chịu ảnh hưởng của các đặc điểm môi trường trầm tích, đặc biệt là độ mặn và thành phần trầm tích, những yếu tố có vai trò quan trọng trong việc điều tiết các quá trình sinh địa hóa và cơ chế hình thành, tích tụ khí trong trầm tích.

Về mặt không gian,  $H_2S$  có xu hướng phát thải cao hơn tại các vị trí nằm ngoài đập Ba Lai, trong khi  $CH_4$  lại ghi nhận giá trị cao hơn tại một số điểm khảo sát phía trong đập. Sự khác biệt này được cho là liên quan chặt chẽ đến các đặc điểm môi trường trầm tích, đặc biệt là độ mặn và thành phần trầm tích, những yếu tố đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết các quá trình sinh địa hóa và cơ chế hình thành, tích tụ khí trong trầm tích.

Quần xã tuyến trùng sông Ba Lai có sự đa dạng cao gồm 190 giống, 67 họ, 11 bộ, và 2 lớp (Chromadorea và Enoplea). Mật độ và đa dạng sinh học tuyến trùng đều ghi nhận có sự khác biệt theo mùa và theo vị trí khảo sát. Tuy nhiên thể hiện rõ nhất theo mùa với mùa khô có mật độ và đa dạng cao hơn mùa mưa. Cấu trúc phân bố của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai, thể hiện rõ nét sự chia cắt và ảnh hưởng của đập chắn, quần xã này bị chia cắt thành quần xã trong và ngoài đập. Quần xã trong đập bao gồm 2 nhóm nhỏ là khu vực gần đập Ba Lai và thượng nguồn. Đặc điểm về đa dạng sinh học ở các quần xã bị chia cắt có sự khác nhau nhưng chỉ thể hiện rõ vào mùa mưa, mùa khô không rõ ràng. Ngược lại, sự khác biệt rõ trong cấu trúc ở quần xã bị chia cắt trong 2 mùa khảo sát. Do đó, cấu trúc thành phần loài có sự biến động đối với sự thay đổi của môi trường, khi so với các chỉ số đa dạng.

Một số đặc điểm khác của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai cũng được phân tích và đánh giá như chỉ số c-p, chỉ số sinh trưởng MI, các kiểu dinh dưỡng và chỉ số dinh dưỡng ITD. Nhìn chung các đặc điểm này, đều có sự biến động theo không gian và thời gian. Tuy nhiên thể hiện rõ nhất theo mùa, mùa mưa giá trị trung bình MI và ITD cao hơn so với mùa khô. Ngoài ra, nghiên cứu đã sử dụng các chỉ số  $H^+$ , MI, c-p, ITD

để đánh giá sức khỏe sinh thái môi trường chất lượng nền đáy sông Ba Lai. Theo đó, chất lượng môi trường sinh thái nền đáy của sông Ba Lai ghi nhận mức khá tốt vào mùa mưa và trung bình vào mùa khô. Tuy nhiên, cần kết hợp nhiều chỉ số sinh học khác nhau của QXTT trong đánh giá chất lượng nền đáy để đưa ra nhận định toàn diện và chính xác nhất.

Khí  $H_2S$ ,  $CH_4$ , pH, độ mặn, thành phần trầm tích đều ghi nhận có ảnh hưởng đến đặc điểm của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai. Khí  $H_2S$  và  $CH_4$  chủ yếu ảnh hưởng đến QXTT bên trong đập Ba Lai, 2 khí này nhìn chung có ảnh hưởng đến sự suy giảm đa dạng sinh học về tuyến trùng. Do vậy, tuyến trùng được xem là công cụ có tiềm năng, sử dụng làm chỉ thị cho phát thải khí  $H_2S$  và  $CH_4$  sinh ra từ điều kiện tù đọng ở các đập chắn, hồ chứa.

### **Kiến nghị**

Việc sử dụng các chỉ số đa dạng sinh học truyền thống chưa thể đánh giá được biến động trong cấu trúc thành phần loài dưới tác động của các yếu tố môi trường. Do đó, nghiên cứu trong tương lai cần sử dụng thêm các chỉ số đa dạng liên quan đến các bậc phân loại (taxonomic resolution) như taxonomic distinctness ( $\Delta+$ ) và variation in taxonomic distinctness ( $\Lambda+$ ). Đồng thời, so sánh sự nhạy cảm với môi trường các chỉ số này với các chỉ số đa dạng truyền thống (Shannon-Wiener  $H'$ , Margalef  $d$ , Pielou's evenness  $J'$ , ...).

Để ứng dụng thực tiễn QXTT vào đánh giá chất lượng môi trường trầm tích. Nghiên cứu trong tương lai cần tiếp tục đánh giá tương quan của QXTT với nhiều yếu tố môi trường như: Dinh dưỡng (như: nitơ tổng (TN), photpho tổng (TP), chất hữu cơ tổng (OM), Chlorophyll (Chl), TOC,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ), kim loại nặng, ... để có cái nhìn bao quát về thay đổi trong cấu trúc và đặc điểm QXTT dưới ảnh hưởng của điều kiện môi trường, nhất là các yếu tố gây ô nhiễm.

Nguyên nhân dẫn đến sự khác biệt trong cấu trúc và thành phần loài giữa các quần xã bị chia cắt hiện vẫn chưa được lý giải rõ ràng. Một giả thuyết cho rằng sự khác biệt về nguồn thức ăn và cấu trúc mạng lưới dinh dưỡng có thể đóng vai trò quan trọng trong quá trình này. Do đó, nghiên cứu đồng vị ổn định (stable isotopes) để theo dõi sự biến đổi trong mạng lưới thức ăn của tuyến trùng có thể cung cấp bằng chứng giúp giải thích sự khác biệt về thành phần loài giữa các quần xã.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Quang N.X., Yen N.T.M., Thai T.T., Yen N.T.H., Van Dong N., **Hoai P.N.**, Lins L., Vanreusel A., Veettil B.K., Hiep N.D., Bang H.Q., Quan N.H., Prozorova L., 2022, Impact of a dam construction on the intertidal environment and free-living nematodes in the Ba Lai, Mekong Estuaries, Vietnam, *Environmental Monitoring and Assessment (ISSN 0167-6369)*, 194(Suppl 2):770, pp. 1-23. DOI: [10.1007/s10661-022-10187-5](https://doi.org/10.1007/s10661-022-10187-5) (SCIE-Q2, IF = 3,0)
2. **Phạm Ngọc Hoài\***, Trần Thành Thái, Nguyễn Thị Mỹ Yến, Phan Thị Thanh Huyền, Ngô Xuân Quảng, 2022, Biến động theo mùa trong cấu trúc phân bố quần xã tuyến trùng sống tự do ở sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, 227(05), pp. 3-11. DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.5235>
3. **Phạm Ngọc Hoài\***, Trần Thành Thái, Nguyễn Thị Mỹ Yến, Nguyễn Thị Hải Yến, Phan Thị Thanh Huyền, Ngô Xuân Quảng, 2021, Ảnh hưởng của yếu tố mùa tới sự đánh giá sức khỏe sinh thái nền đáy sông Ba Lai thông qua quần xã tuyến trùng sống tự do, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên*, 226(10), pp. 170-177. DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4516>
4. Tran Thanh Thai, Nguyen Thi My Yen, **Pham Ngoc Hoai**, Nguyen Van Dong, Nguyen Lu Nguyet Hang, Ngo Xuan Quang\*, 2023, Greenhouse gases concentrations influence on vertical distribution of nematode communities in the Ba Lai river, Vietnam, *Academia Journal of Biology - Vietnam Academy of Science and Technology (ISSN 2615-9023) (ACI)*, 45(2), pp. 105-122. DOI: [10.15625/2615-9023/18359](https://doi.org/10.15625/2615-9023/18359).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dung T.D., van Halsema G., Hellegers P.J., Hoang L.P., and Ludwig F., 2019, Long-term sustainability of the Vietnamese Mekong Delta in question: An economic assessment of water management alternatives, *Agricultural Water Management*, 223, p. 105703.
- [2] Piesse M., 2019, The Mekong Delta: Land subsidence threatens Vietnam's "food basket". In, Strategic Analysis Paper <<https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2019-07/apo-nid248996.pdf>>, *Australia: Future Directions International*.
- [3] Park E., Loc H.H., Binh V. B., & Sameh K., 2021, The worst 2020 saline water intrusion disaster of the past century in the Mekong Delta: Impacts, causes, and management implications, *Ambio (online)*, 51, pp. 691-699. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01577-z>
- [4] Hoang H.Q., Naritaka K., & Hoang N.G., Tanji H., 2009, Operation of the Ba Lai irrigation system in the Mekong Delta, Vietnam, *Paddy and Water Environment*, 7, pp. 123-133.
- [5] Ngo X.Q., Nguyen X.D., Vanreusel A., Ngo T.T.T., 2017a, Initial study on impact of Ba Lai dam construction to humanity ecosystem in Binh Dai district, Ben Tre province, *Proceeding of Human ecology and Sustainable development*, pp. 254-273.
- [6] Ngo X.Q., Yen N.T.M., Thai T.T., Chau N.N., Hiep N.D., Smol N., ... and Vanreusel A., 2017b, Nematode morphometry and biomass in the Saigon River harbours in relation to antifouling contaminants, *Nematology*, 19(6), pp. 723-738.
- [7] Ngo X.Q., Chau N.N., Smol N., Prozorova L., and Vanreusel A., 2016, Intertidal nematode communities in the MeKong estuaries of Vietnam and their potential for biomonitoring, *Environmental Monitoring and Assessment*, 188 (2), pp. 1-16.
- [8] Nguyen T.M.Y., Vanreusel A., Lins L., Thai T.T., Nara Bezerra T., and Quang N.X., 2020, The effect of a dam construction on subtidal nematode communities in the Ba Lai Estuary, Vietnam, *Diversity*, 12(4), pp. 137.
- [9] Veettil B.K., Ngo X.Q., & Ngo T.T., 2019, Changes in mangrove vegetation, aquaculture and paddy cultivation in the Mekong Delta: A study from Ben Tre

- Province, southern Vietnam, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, pp. 106273.
- [10] Veettil B.K., Ngo X.Q., 2018, Environmental changes near the Mekong Delta in Vietnam using remote sensing, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 29 (3), pp. 639-647.
- [11] Lin Q., 2011, Influence of Dams on River Ecosystem and Its Countermeasures, *Journal of Water Resource and Protection*, 3, pp. 60-66.
- [12] Liikanen A., Laura F., & Pertti M., 2002, Gas Dynamics in Eutrophic Lake Sediments Affected by Oxygen, Nitrate, and Sulfate, *Journal of Environmental Quality*, 31(1), pp. 338-349.
- [13] Bagarinao T.U., 1993, Sulfide as a toxicant in aquatic habitats, *SEAFDEC Asian Aquaculture*, 15(3), pp. 2-4.
- [14] Jensen P., 1995, Life history of the nematode *Theristus anoxybioticus* from sublittoral muddy sediment at methane seepages in the northern Kattegat, Denmark, *Journal of Nematology*, 27(2), pp. 231-236.
- [15] Fenchel T., & Finlay B.J., 1995, Ecology and Evolution in Anoxic Worlds. Oxford Series in Ecology and Evolution. ISBN 019-854838-9 (H.b.) and 019-854837-0 (P.b.). Price: £35.00 (H.b.) or £16.95 (P.b.), *Journal of Evolutionary Biology*, 9(2), pp. 259-260. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1996.9020259.x>
- [16] Ngo X.Q., Nguyen X.D., To T.N., 2013b, Applied meiobenthos and nematode communities as tool for environmental monitoring and assessment in the Mekong estuarine system, *Journal of Vietnamese Environment*, 4, pp. 50-54.
- [17] McAllister D.E., Craig J.F., Davidson N., Delany S., Seddon M., 2001, *Biodiversity impacts of large dams*, Background paper Nr.1 Prepared for IUCN/UNEP/WCD, pp. 9-68.
- [18] World Commission on Dams (WCD), 2000, *Dams and development*, London: Earthsca.
- [19] Truffer B., Bratrich C., Markard J., Peter A., Wüest A., Wehrli B., 2003, Green Hydropower: The contribution of aquatic science research to the promotion of sustainable electricity, *Aquatic Sciences*, 65(2), pp. 99-110.
- [20] Food and Agriculture Organization (FAO), 2009, *The Resource Outlook to 2050: By How Much Do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050?*, FAO.

- [21] Grill G., Lehner B., Lumsdon A.E., MacDonald G.K., Zarfl C., Liermann C.R., 2015, An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales, *Environmental Research Letters*, 10(1), pp. 1-15.
- [22] The International Commission on large dams (ICOLD), 2019, *A dam with a height of 15 metres or greater from lowest foundation to crest or a dam between 5 metres and 15 metres impounding more than 3 million cubic metres*, Available online: [https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition\\_of\\_a\\_large\\_dam.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp), [Truy cập trực tuyến: 29/6/2019].
- [23] Viện Quy hoạch Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (IWRP), 2016, *Hiện trạng hệ thống thủy lợi của Việt nam*, Available online: <https://iwrp.gov.vn/d644/-hien-trang-he-thong-thuy-loi-cua-viet-nam-.html>, [Truy cập trực tuyến: 17/05/2024].
- [24] Phạm Tiến Văn, 2013, *Thực trạng an toàn đập và công tác quản lý an toàn đập trên cả nước*, Cục Giám định nhà nước về chất lượng công trình xây dựng, Bộ Xây dựng, [Truy cập trực tuyến]: <http://vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=3203>.
- [25] Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 2015, *70 năm Những công trình Thủy lợi (1945-2015)*, NXB Lao động, Hà Nội.
- [26] Thủ tướng chính phủ, 2012, Quyết định số 1397/QĐ-TTg ngày 25/9/2012 của Thủ tướng Chính phủ về Quy hoạch thủy lợi đồng bằng sông Cửu Long giai đoạn 2012 - 2020 và định hướng đến năm 2050 trong điều kiện biến đổi khí hậu, nước biển dâng.
- [27] Văn Hữu Tập, 2019, Tác động môi trường từ hoạt động của đập thủy điện, Available online: <http://moitruongviet.edu.vn/tac-dong-moi-truongtu-hoat-dong-cua-dap-thuy-dien/>, [Truy cập trực tuyến: 29/3/2024].
- [28] Nguyễn Đình Hòa, 2010, *Tác động của hồ đập thủy lợi, thủy điện đối với An ninh môi trường Thừa Thiên - Huế*, Hội Bảo vệ Thiên nhiên và Môi trường Việt Nam.
- [29] Lê Diên Dực, Hàn Tuyết Mai, 2011, *Đập thủy điện - Nhân tố làm trầm trọng thêm tác động của biến đổi khí hậu*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, pp. 449.

- [30] Wildi W., 2002, Environmental hazards of dams and reservoirs. NEAR curriculum in Natural Environmental Science, *Genève: Section des sciences de la Terre et de l'environnement*, 88, pp. 187-197.
- [31] Pohl M., 2004, Channel bed mobility downstream from the Elwha Dams, Washington, *The Professional Geographer*, 56(3), pp. 422-431.
- [32] Ewa S.G., Grazyna M.B., 2002, Deposition of Copper in the Eutrophic, Submontane Dobczyce Dam Reservoir (Southern Poland) - Role of Speciation, *Water, Air, and Soil Pollution*, 140, pp. 203-218.
- [33] Toniolo H., Schultz J., 2005, Experiments on sediment trap efficiency in reservoirs, *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 10(1), pp. 13-24.
- [34] Vörosmary C.J., Sharma K.P., Fekete B.M., Copeland A.H., Holden J., Marble J., Lough J.A., 1997, The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world, *Ambio*, 26, pp. 269-278.
- [35] Rasid H., 1979, The effects of regime regulation by the Gardiner Dam on downstream geomorphic processes in the South Saskatchewan River, *Canadian Geographer*, 23, pp. 140-58.
- [36] Meade R.H., and Parker R.S., 1985, Sediment in rivers in the United States, *United States Geological Survey water supply*, 2276, pp. 49-60.
- [37] Petts G. E., 1985, *Impounded rivers: perspectives for ecological management*, Chichester: Wiley, pp. 196.
- [38] Nguyễn Thọ Sáo, Nguyễn Minh Huân, 2011, Nghiên cứu bồi lấp cửa Ba Lai, Bến Tre, *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 27(1S), tr. 211-217.
- [39] Kumm M., Lu X.X., Wang J.J., Varis O., 2010, Basin-wide sediment trapping efficiency of emerging reservoirs along the Mekong, *Geomorphology*, 119, pp. 181-197.
- [40] Trần Thành Thái, Nguyễn Thị Mỹ Yến, Trần Hoài Giang, Phạm Ngọc Hoài, Trần Tình, Ngô Thu Trang, Lâm Văn Tân, Bijeesh Kozhikkodan Veetil, Ann Vanreusel, Ngô Xuân Quảng, 2021, Tác động của đập chắn dòng chính và bài học từ công đập sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Khoa học Tự nhiên*, 5(2), pp. 1040-1054.
- [41] Kavanagh J., 1999, Feeding the forest, *David Suzuki Foundation Newsletter*, pp. 6-7.

- [42] Cederholm C.J., Kunze M.D., Murota T., Sibatani A., 1999, Pacific salmon carcasses: Essential contributions of nutrients and energy for aquatic and terrestrial ecosystems, *Fisheries*, 24(10), pp. 6-15.
- [43] Ullrich S.M., Tanton T.W., & Abdrashitova S.A., 2001, Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(3), pp. 241-293.
- [44] Hall B.D., Bodaly R.A., Fudge R.J.P., Rudd J.W.M., & Rosenberg D.M., 2005, Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish, *Water, Air, and Soil Pollution*, 80, pp. 103-112.
- [45] Bredenhand E., Samways M.J., 2009, Impact of a dam on benthic macroinvertebrates in a small river in a biodiversity hotspot: Cape Floristic Region, South Africa, *Journal of Insect Conservation*, 13(3), pp. 297-307.
- [46] Wei G., Yang Z., Cui B., Li B., Chen H., Bai J., Dong S., 2009, Impact of dam construction on water quality and water self-purification capacity of the Lancang River, China, *Water Resources Management*, 23(9), pp. 1763-1780.
- [47] Cause D.S., 2001, Aswan High Dam: Construction, effects on Egyptian Life and Agriculture, and environmental impacts, *Indian Journal of Agricultural Sciences*.
- [48] World Wide Fund for Nature (WWF), 1999, *Pre-Feasibility Study of Nature Restoration in the Nemunas Delta Regional*, Copenhagen, WWF Denmark.
- [49] McCartney M., Sally H., 2007, *Managing the environmental impact of dams*, In: Ranade P.S. (Ed.), *Rivers, dams and development: Issues and Dilemmas*. Punjagutta, Hyderabad, India: Icfai University Press, pp. 88-104.
- [50] Craig J.F., 2000, *Percid fishes: systematics, ecology and exploitation*, Oxford. xvi, Scotland, Blackwell Science, 352 pp.
- [51] Barlow C., Baran E., Halls A., Kshatriya M., 2008, How much of the Me kong fish catch is at risk from mainstream dam development?, *Catch and Culture*, 14(3), pp. 16-21.
- [52] Baran E., Myschowoda C., 2009, Dams and fisheries in the Mekong Basin, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 12(3), pp. 227-234.
- [53] Maier H.R., Burch M.D., Bormans M., 2010, Flow management strategies to control blooms of the cyanobacterium, *Anabaena circinalis*, in the River Murray at Morgan, South Australia, *Regulated Rivers: Research & Management*, 17(6), pp. 637-650

- [54] Joffe S., Cooke S., 1997, *Management of water hyacinth and other invasive aquatic weeds, Issues for the World Bank*, Washington D.C., World Bank International Report.
- [55] .Mueller M., Pander J., Geist J., 2011, The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities, *Journal of Applied Ecology*, 48(6), pp. 1450-1461.
- [56] Nilsson C., Jansson R., Zinko U., 1997, Long-term responses of rivermargin vegetation to water-level regulation, *Science*, 276(5313), pp. 798-800.
- [57] Bryant M.D., Sedell J.R., 1995, Riparian forests, wood in the water, and fish habitat complexity. In: Armantrout N.B. (Editor) Condition of the world's aquatic habitats, *Proceedings of the World Fisheries Congress, Theme 1*, pp. 202-224.
- [58] Bogan A.E., 1998, Freshwater molluscan conservation in North America: problems & practices. In: Killeen I.J., Seddon M.B., Holmes A. (Editors) Molluscan Conservation: a strategy for the 21<sup>st</sup> Century, *Journal Conchology*, 2, pp. 223-230.
- [59] Fearnside P.M., 2001, Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia, *Environmental Management*, 27(3), pp. 377-396.
- [60] Bai B., Wang H., Li X., Feng Y., Zhi L., 2005, A comparative study of the future water-level-fluctuating zone and the natural water-level-fluctuating zone in the three Gorges Reservoir, *Journal Southwest Agricultural University (Natural Science)*, 27(5), pp. 684-691.
- [61] Dai Z.J., Chu A., Stive M., Zhang X.L., Yan H., 2011, Unusual salinity conditions in the Yangtze Estuary in 2006: Impacts of an extreme drought or of the three Gorges Dam?, *Ambio*, 40(5), pp. 496-505.
- [62] Chen D., Zouman W., 2011, The research and demonstration of some major geological problems of the three Gorges Project, *Engineerning Sciences*, 13(7), pp. 49-56.
- [63] Compeau G.C., & Bartha R., 1985, Sulfate-reducing bacteria: principal methylators of mercury in anoxic estuarine sediment, *Applied and Environmental Microbiology*, 50(2), pp. 498-502.
- [64] St. Louis V.L., Rudd J.W.M., Kelly C.A., Beaty K.G., Bloom N.S., & Flett R.J., 1996, Importance of the forest canopy to fluxes of methyl mercury and

- total mercury to boreal ecosystems, *Environmental Science & Technology*, 30(12), pp. 3488-3494.
- [65] Bravo A.G., Loizeau J.L., Bouchet S., Richard A., Rubin J.F., & Dominik J., 2017, Impact of a newly impounded subalpine reservoir on mercury levels in fish, *Science of the Total Environment*, 580, pp. 100-109.
- [66] Dorcey T., Steiner A., Acreman M., Orlando B., 1997, *Large dams. Learning from the past, looking at the future: workshop proceedings*, IUCN, Gland Switzerland and Cambridge, Washington, DC., United Kingdom and the World Bank Group, pp. 145.
- [67] McCully P., 1996, *Silenced rivers: The ecology and politics of large dams*, Zed Books, London & New Jersey, pp. xiv+350.
- [68] Zhu H.M., Xiang S., Yang K., Wu X.H., Zhou X.N., 2008, Three Gorges Dam and its impact on the potential transmission of schistosomiasis in regions along the Yangtze River, *EcoHealth*, 5, pp. 137-148.
- [69] Baraket R.M.R., 2013, Epidemiology of Schistosomiasis in Egypt: Travel through Time: Review, *Journal of Advanced Research*, 4(5), pp. 425-432.
- [70] Jørgensen B.B., 1982, Mineralization of organic matter in the sea bed the role of sulfate reduction, *Nature*, 296, pp. 643-645.
- [71] Canfield D.E., Thamdrup B., & Hansen J.W., 1993, The anaerobic degradation of organic matter in Danish coastal sediments: Iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, pp. 3867-3883.
- [72] Holmer M., & Storkholm P., 2001, Sulphate reduction and sulphur cycling in lake sediments: A review, *Freshwater Biology*, 46(4), pp. 431 - 451.
- [73] Sørensen J., Christensen D., & Jørgensen B.B., 1979, Volatile fatty acids and hydrogen as substrates for sulfate-reducing bacteria in anaerobic marine sediment, *Applied and Environmental Microbiology*, 37, pp. 337-344.
- [74] Fossing H., Jørgensen B.B., & Andersen K., 1992, Sulfate reduction and sulfur cycling in marine sediments, *Marine Chemistry*, 36, pp. 145-164.
- [75] Morse J.W., Millero F.J., Cornwell J.C., and Rickard D., 1987, The chemistry of the hydrogen sulfide and iron sulfide systems in natural waters, *Earth-science reviews*, 24(1), pp. 1-42.

- [76] Pandey S.K., Ki-Hyun K., Kea-Tiong T., 2012, A review of sensor-based methods for monitoring hydrogen sulfide, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 32, pp. 87-99.
- [77] Kemp W.M., & Murray L., 1986, Oxygen production and consumption associated with the major autotrophic components in two temperate estuaries, *Marine Ecology Progress Series*, 31, pp. 1-9.
- [78] Tang K.W., Glud R.N., Glud A., Rysgaard S., & Nielsen T. G., 2009, Diffusive and advective fluxes of methane and carbon dioxide at the sediment–water interface in Arctic lakes, *Limnology and Oceanography*, 54, pp. 944–956.
- [79] Edward D.B., Richard T.B., Johnston S.G., Leigh A.S., Annabelle F.K., 2011, Sulfur biogeochemical cycling and novel Fe-S mineralization pathways in a tidally re-flooded wetland, *Geochimica et Cosmochimica Acta (ISSN 0016-7037)*, 75(12), pp. 3434-3451.
- [80] Jørgensen B.B., and Ükholm-Hansen B., 1985, Emissions of biogenic sulfur gases from a Danish estuary, *Atmospheric Environment*, 19, pp. 1737-1749.
- [81] Hansen M.H., Lngvorsen K., and Jørgensen B.B., 1978, Mechanisms of hydrogen sulfide release from coastal marine sediments to the atmosphere, *Limnology and Oceanography*, 23(1), pp. 68-76.
- [82] Carroll M.A., Heldt L.E., Ctc-Erone R.J., and Prinn R.G., 1986, OCS, H<sub>2</sub>S, and CS<sub>2</sub> fluxes from a salt water marsh, *Journal Atmospheric Chemical*, 4, pp. 375-395,.
- [83] Howes B.L., Howarth R.W., Teal J.M., Valiela L., 1981, Oxidation reduction potentials in a salt marsh: Spatial patterns and interactions with primary production, *Limnology and Oceanography*, 26(2), pp. 350-360.
- [84] Dacey J.W.H., Howes B.L., 1984, Water uptake by roots controls water table movement and sediment oxidation in short *Spartina alterniflora* marsh, *Science*, 224, pp. 487-490.
- [85] Hines M.E., Knollmeyer S.L., Tugel J.B., 1989, Sulfate reduction and other sedimentary biogeochemistry in a northern New England salt marsh, *Limnology and Oceanography*, 34, pp. 578-590.
- [86] Morrison M.C., Hines M.E., 1990, The variability of biogenic sulfur flux from a temperate salt marsh on short time and space scales, *Atmospheric Environment, Part A. General Topics*, 24(7), pp. 1771-1779.

- [87] Hines M.E., 1996, Emissions of sulfur gases from wetlands, *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen (Communications special publication)*, 2(1), pp. 153-161.
- [88] Adams D.F., Farwell S.O., Pack M.R., and Robtson E., 1981, Biogenic sulfur gas emissions from soils in eastern and southeastern United States, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 31, pp. 1083-1089.
- [89] Cooper W.J., Cooper D.J., Saltzman E.S., de Mello W.Z., Savoie D.J., Zika R.G., Prospero J.M., 1987, Emissions of biogenic sulphur compounds from several wetland soils in Florida, *Atmospheric Environment*, 21(7), pp. 1491-1495.
- [90] Reeburgh W.S., 2007, Oceanic methane biogeochemistry, *Chemical Reviews*, 107, pp. 486-513.
- [91] Conrad R., 2009, The global methane cycle: Recent advances in understanding the microbial processes involved, *Environmental Microbiology Reports*, 1, pp. 285-292.
- [92] Froelich P.N., et al., 1979, Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, pp. 1075-1090.
- [93] Nguyễn Thị Thu Hà, 2020, Xây dựng mô hình ủ kỵ khí thành phân hữu cơ trong chất thải rắn sinh hoạt, *Tạp chí Môi trường - Tổng Cục Môi trường*, Chuyên đề Tiếng Việt số 1, pp. 84-88.
- [94] Ouyang X., Lee S.Y., 2018, Greenhouse gas emission from the sediments of tidal wetlands: A Review, *Conference: ECSA57 - Changing estuaries, coasts and shelf systems, diverse threats and opportunities, Perth, Australia*.
- [95] Wallenius A.J., Dalcin Martins P., Slomp C.P., Jetten M.S., 2021, Anthropogenic and environmental constraints on the microbial methane cycle in coastal sediments, *Frontiers in Microbiology*, 12, pp. 1-19.
- [96] DelSontro T., Beaulieu J.J., & Downing J.A., 2016, Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments: Upscaling in the face of global change, *Limnology and Oceanography Letters*, 1, pp. 55-76.
- [97] Bastviken D., Cole J.J., Pace M.L., & Tranvik L.J., 2004, Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biogeochemical Cycles*, 18(4), GB4009 pp.

- [98] Chanton J.P., & Whiting G.J., 1995, Trace gas exchange in freshwater and coastal marine environments: ebullition and plant-mediated transport. In *Biogenic Trace Gases: Measuring Emissions from Soil and Water*, *Blackwell Science*, pp. 98-125.
- [99] Vincent L.St.L., Carol A.K., Duchemin É., John W.M.R., David M.R., 2000, Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate: Reservoirs are sources of greenhouse gases to the atmosphere, and their surface areas have increased to the point where they should be included in global inventories of anthropogenic emissions of greenhouse gases, *BioScience*, 50(9), pp. 766-775.
- [100] Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., et al., and Thornton P., 2013, *Carbon and other biogeochemical cycles*, In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, pp. 465-570.
- [101] Dlugokencky E.J., 2020, ESRL Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas Reference Network.
- [102] Lima I.B.T., Ramos F.M., Carvalho J.C., Bambace L.A.W., Ometto J.P.H.B., Rosa R.R., Mazzi E.A., Rasera M.F.F.L., Novo E.M.L.M., 2007, Anthropogenic flooded lands and atmospheric methane, *Ecohydrology and Hydrobiology*, 7, pp. 3-13.
- [103] Rudd J.W.M., Harris R., Kelly C.A., Hecky R.E., 1993, Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases?, *Ambio*, 22(4), pp. 246-248.
- [104] Kelly C.A., Rudd J.W.M., Louis V.L.St., Moore T., 1994, Turning attention to reservoir surfaces, a neglected area in greenhouse studies, *Eos Transactions American Geophysical Union*, 75(29), pp. 332-333.
- [105] Louis V.L., Kelly C.A., Duchemin É., Rudd J.W.M., Rosenberg D.M., 2000, Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate, *BioScience*, 50(9), pp. 766-775.
- [106] Barros N., Cole J.J., Tranvik L.J., Prairie Y.T., Bastviken D., Huszar V.L., Del Giorgio P., Roland F., 2011, Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude, *Nature Geoscience*, 4(9), pp. 593-596.
- [107] Deemer B.R., Harrison J.A., Li S., Beaulieu J.J., DelSontro T., Barros N., Bezerra-Neto J.F., Powers S.M., dos Santos M.A., Vonk J.A., 2016,

Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: A new global synthesis, *BioScience*, 66(11), pp. 949-964.

- [108] Diem T., Koch S., Schwarzenbach S., Wehrli B., Schubert C.J., 2012, Greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O) from several perialpine and alpine hydropower reservoirs by diffusion and loss in turbines, *Aquatic Sciences*, 74, pp. 619-635.
- [109] Bridgman S.D., Cadillo-Quiroz H., Keller J.K., Zhuang Q., 2013, Methane emissions from wetlands: biogeochemical, microbial, and modeling perspectives from local to global scales, *Global Change Biology*, 19, pp. 1325-1346.
- [110] Weber T., Wiseman N.A., Kock A., 2019, Global ocean methane emissions dominated by shallow coastal waters, *Nature Communications*, 10(4584), pp. 1-10.
- [111] Hamdan L.J., Wickland K.P., 2016, Methane emissions from oceans, coasts, and freshwater habitats: new perspectives and feedbacks on climate, *Limnology and Oceanography*, 61, pp. S3-S12.
- [112] Dando P., Jensen P., O'Hara S.C. ., Niven S. J., Schmaljohann R., Schuster U., Taylor L.J., 1994, The effects of methane seepage at an intertidal/shallow subtidal site on the shore of the Kattegat, Vendsyssel, Denmark, *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 41, pp. 65-79.
- [113] Pape E., Bezerra T.H., Vanneste H., Heeschen K., Moodley L., Leroux F., Breugel P.V., Vanreusel A., 2011, Community structure and feeding preference of nematodes associated with methane seepage at the Darwin mud volcano (Gulf of Cádiz), *Marine Ecology Progress Series*, 438, pp. 71-83.
- [114] Rodriguez-Kabana, R., Jordan, J. W., Hollis, J. P., "Nematodes: biological control in rice fields: Role of hydrogen sulfide.," *Science, N.Y.* , tập 148, p. 524-526, 1965.
- [115] Armenteros M., Pérez-García J.A., Ruiz-Abierno A., Díaz-Asencio L., Helguera Y., Vincx M., Decraemer W., 2010, Effects of organic enrichment on nematode assemblages in a microcosm experiment, *Marine Environmental Research*, 70(5), pp. 374-382.
- [116] Austen M.C., Warwick R.M., Ryan K.P., 1993, *Astomonema southwardorum* sp. nov., a gutless nematode dominant in a methane seep area in the North Sea, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 73, pp. 627-634.

- [117] Dando P.R., Austen M.C., Burke J.R., Kendall M., Kennicutt M.C., Alan J., O'Hara S.C.M., Moore D.C., Schmaljohann R., Southward A.J., 1991, Ecology of a North Sea pockmark with an active methane seep, *Marine Ecology Progress Series*, 70, pp. 49-63.
- [118] Sapir A., Dillman A.R., Connon S.A., Grupe B.M., Ingels J., Mundo-Ocampo M., Levin L.A., Baldwin J.G., Orphan V.J., Sternberg P.W., 2014, Microsporidia- nematode associations in methane seeps reveal basal fungal parasitism in the deep sea, *Frontiers in Microbiology*, 5(43), pp. 1-12.
- [119] Adão H., Alves A.S., Patrício J., Neto J.M., Costa M.J., Marques J.C., 2009, Spatial distribution of subtidal Nematoda communities along the salinity gradient in southern European estuaries, *Acta Oecologica*, 35, pp. 287-300.
- [120] Danovaro R., Gambi C., 2002, Biodiversity and trophic structure of nematode assemblages in seagrass systems: Evidence for a coupling with changes in food availability, *Marine Biology*, 141, pp. 667-677.
- [121] Hamzah A., and Hattasrul Y., 2008, Water Quality and Bacterial Study in Tasik Chini, Pahang, *Proceedings of Toal 2007: The 12<sup>th</sup> World Lake Conference*, pp. 184-189.
- [122] Murdoch T., Cheo M., O'Laughlin K., 1996, *The Streamkeeper's Field Guide: Watershed Inventory and Stream Monitoring Methods*, Everett, WA: Adopt-a-Stream Foundation, pp. 296.
- [123] Michiels I., and Traunspurger W., 2004, A three year study of seasonal dynamics of a zoobenthos community in a eutrophic lake, *Nematology*, 6(5), pp. 655-669.
- [124] Coull B.C., 1999, Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats, *Australian Journal of Ecology*, 24, pp. 327-343.
- [125] Hodda M. and Nicholas W.L., 1986, Nematode diversity and industrial pollution in the Hunter River Estuary, NSW, Australia, *Marine Pollution Bulletin*, 17, pp. 251-255.
- [126] Soetaert K., Vincx M., Wittoeck J., Tulkens M., 1995, Meiobenthic distribution and nematode community structure in five European estuaries, *Hydrobiologia*, 311(1-3), pp. 185-206.
- [127] Ferrero T.J., Debenham N.J., Lamshead P.J.D., 2008, The nematodes of the Thames estuary: Assemblage structure and biodiversity, with a test of Attrill's linear model, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 79, pp. 409-418.

- [128] Warwick R.M., Gee I.M., 1984, Community structure of estuarine meiobenthos, *Marine Ecology Progress Series*, 43, pp. 213-219.
- [129] Ansari Z.A., Parulekar A.H., 1998, Community structure of meiobenthos from a tropical estuary, *Indian Journal of Marine Science*, 27, pp. 362-366.
- [130] Smol N., Willems K.A., Govaere J.C.R., Sandee A.J.J., 1994, Composition, distribution and biomass of meiobenthos in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands), *Hydrobiologia*, 282, pp. 197-217
- [131] Zhang J.H., Gao Y., Fang H.D., 2011, Abundance and biomass of meiobenthos in Lingdingyang Bay of Pearl River Estuary (in chinese), *China Journal of Applied Ecology*, 22, pp. 2741-2748.
- [132] Hodda M., Nicholas W.L., 1990, Production of meiofauna in an Australian estuary, *Wetland*, 9, pp. 41-48.
- [133] Ngo X.Q., Smol N., & Vanreusel A., 2013, The meiofauna distribution in correlation with environmental characteristics in 5 Mekong estuaries, Vietnam, *Cah. Biol. Mar.*, 54, pp. 71-83.
- [134] Ingels J., Tchesunov A.V., Vanreusel A., 2011, Meiofauna in the Gollum Channels and the Whittard Canyon, Celtic Margin - How local environmental conditions shape nematode structure and function, *PLoS One*, 6(5), pp. 1-15.
- [135] Cai L., Fu S., Yang J., Zhou X., 2012, Distribution of meiofaunal abundance in relation to environmental factors in Beibu Gulf, South China Sea, *Acta Oceanologica Sinica*, 31(6), pp. 92-103.
- [136] Zeppilli D., Bongiorni L., Cattaneo A., Danovaro R., Santos R.S., 2013, Meiofauna assemblages of the Condor Seamount (North-East Atlantic Ocean) and adjacent deep-sea sediments, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 98, pp. 87-100.
- [137] Górska B., Grzelak K., Kotwicki L., Hasemann C., Schewe I., Soltwedel T., Włodarska-Kowalczyk M., 2013, Bathymetric variations in vertical distribution patterns of meiofauna in the surface sediments of the deep Arctic ocean (HAUSGARTEN, Fram strait), *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 91, pp. 36-49.
- [138] Coull B.C., 1988, *The ecology of the marine meiofauna. In: Introduction to the Study of Meiofauna*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C., pp. 18-38.

- [139] Austen M.C., Warwick R.M., 1989, The specificity of meiobenthic community response to different pollutants: results from microcosm experiments, *Marine Pollution Bulletin*, 28(9), pp. 557-563.
- [140] Alber M., 2002, A conceptual model of estuarine freshwater inflow management, *Estuaries and Coasts*, 25(6), pp. 1246-1261.
- [141] Ysebaert T., and Herman P.M.J., 2002, Spatial and temporal variation in benthic macrofauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment, *Marine Ecology Progress Series*, 244, pp. 105-124.
- [142] Kimmel D.G., and Roman M.R., 2004, Long-term trends in mesozooplankton abundance in Chesapeake Bay, USA: influence of freshwater input, *Marine Ecology Progress Series*, 267, pp. 71-83.
- [143] Van Diggelen A.D., and Montagna P.A., 2016, Is salinity variability a benthic disturbance in estuaries?, *Estuaries and Coasts*, 39(4), pp. 967-980.
- [144] Giere O., 2009, *Meiobenthology The microscopic motile fauna of aquatic sediments*, 2<sup>nd</sup> Edition Springer Verlag: Heidelberg, pp. 527.
- [145] Heip C., Vincx M., Vranken G., 1985, The Ecology of Marine Nematodes, *Oceanography and Marine Biology*, 23, pp. 399-489.
- [146] Tietjen J.H., 1980, Microbial-meiofaunal interrelationships: A Review, *Microbiology*, 8, pp. 335-338.
- [147] Yeates G.W., Ferris H., Moens T., and Van der Putten W.H., 2009, The role of nematodes in ecosystems, *Nematodes as Environmental Bioindicators*, pp. 1-44.
- [148] Weber S., and Traunspurger W., 2014, Top-down control of a meiobenthic community by two juvenile freshwater fish species, *Aquatic Ecology*, 48(4), pp. 65- 480.
- [149] Steel H., Buchan D., De Neve S., Couvreur M., Moens T., and Bert W., 2013, Nematode and microbial communities in a rapidly changing compost environment: How nematode assemblages reflect composting phases, *European journal of soil biology*, 56, pp. 1-10.
- [150] Majdi N., and Traunspurger W., 2015, Free-living nematodes in the freshwater food web: a review, *Journal of Nematology*, 47(1), pp. 28-44.
- [151] Moens T., Braeckman U., Derycke S., Fonseca G., Gallucci F., Gingold R., Guilini K., Ingels J., Leduc D., Vanaverbeke J., Van Colen C., Vanreusel A.,

- and Vincx M., 2013, *Ecology of free-living marine nematodes*, Andreas Schmidt-Rhaesa, Handbook of Zoology, De Gruyter, pp. 109-152.
- [152] Vanreusel A., 1990, Ecology of the free-living marine nematodes from the Voordelta (Southern Bight of the North Sea). I. Species composition and structure of the nematode communities, *Cahiers de Biologie Marine*, 31, pp. 439-462.
- [153] Yeates G.W., Bongers T., De Goede R.G., Freckman D.W., and Georgieva S.S., 1993, Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists, *Journal of Nematology*, 25, pp. 315-331.
- [154] Bongers T., 1990, The Maturity Index: An Ecological Measure of Environmental Disturbance Based on Nematode Species Composition, *Oecologia*, 83, pp. 14-19.
- [155] Grzelak K., Gluchowska M., Gregorczyk K., Winogradow A., and Marcin J., 2016, Nematode biomass and morphometric attributes as biological indicators of local environmental conditions in Arctic fjords, *Ecological Indicators*, 69, pp. 368-380.
- [156] Ngo X.Q., Nguyen C.N., and Vanreusel A., 2014, Nematode morphometry and biomass patterns in relation to community characteristics and environmental variables in the Mekong Delta, Vietnam, *Raffles Bulletin of Zoology*, pp. 501-512.
- [157] Tita G., Vincx M., and Desrosiers G., 1999, Size spectra, body width and morphotypes of intertidal nematode: An ecological interpretation, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 79, pp. 1007-1015.
- [158] Tita G., Desrosiers G., Vincx M., and Clément M., 2002, Intertidal meiofauna of the St Lawrence estuary (Quebec, Canada): diversity, biomass and feeding structure of nematode assemblages, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82, pp. 779-791.
- [159] Gao Y., Liu N., Chen C., Luo Y., Li Y., Zhang Z., Zhao Y., Zhao B., Iida A., and Chai Z., 2008, Mapping technique for biodistribution of elements in a model organism, *Caenorhabditis elegans*, after exposure to copper nanoparticles with microbeam synchrotron radiation X-ray fluorescence, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 23, pp. 1121-1124.
- [160] Mevenkamp L., Guilini K., Boetius A., De Grave J., Laforce B., Vandenberghe D., Vincze L., and Vanreusel A., 2019, Responses of an abyssal

meiobenthic community to short-term burial with crushed nodule particles in the south-east Pacific, *Biogeosciences*, 16, pp. 2329-2341.

- [161] Sávolly Z., Záray G., 2014, Study of bioaccumulation and biotransformation by microanalytical X-ray techniques: Investigation of distribution and speciation of Cu and Cr in the body of the plant-feeding nematode, *Xiphinema vuittenezi*, *Spectrochimica Acta - Part B: Atomic Spectroscopy*, 101, pp. 342-350.
- [162] Đoàn Cảnh và Nguyễn Vũ Thanh, 2000, Tuyến trùng sống tự do ở vùng nước lợ cửa Cái Mép-sông Thị Vải, *Tạp chí sinh học*, 22(1), pp. 6-9.
- [163] Nguyễn Vũ Thanh và Nguyễn Đình Tứ, 2003, Đa dạng sinh học của giun tròn (tuyến trùng) ở vùng nước ven bờ vịnh Hạ Long và khả năng ứng dụng chúng trong sinh quan trắc môi trường, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 3(2), pp. 51-63.
- [164] Pavlyuk O., Trebukhova Y., Nguyen V. T., Nguyen D.T., 2008, Meiobenthos in Estuary Part of Ha Long Bay (gulf of tonkin, south China sea, Vietnam), *Ocean Science Journal*, 43, pp. 153-160.
- [165] Mokievsky V.O., Tchesunov A.V, Udalov A.A., Nguyen D.T., 2011, Quantitative distribution of meiobenthos and the structure of the free-living nematode community of the mangrove intertidal zone in Nha Trang Bay (Vietnam) in the South China Sea, *Russian Journal of Marine Biology*, 37, pp. 272-283.
- [166] Pavlyuk O., Trebukhova Y., 2006, Meiobenthos in Nha Trang Bay of the South China Sea Vietnam, *Ocean Science Journal*, 41, pp. 139-148.
- [167] Gagarin V.G., Thanh N.V., 2012, Free-living nematodes of the Tra Ly River in the Red River mouth, Vietnam, *Inland Water Biology*, 5, pp. 11-18.
- [168] Ngo X. Q., 2012, *The ecology of free-living marine nematodes of the Mekong delta, Vietnam*, Doctoral dissertation, Ghent University, Belgium, pp. 294.
- [169] Ngo X.Q., Vanreusel A., Smol N., Chau N.N., 2010, Meiobenthos assemblages in the Mekong estuarine system with special focus on free-living marine nematodes, *Ocean Science Journal*, 45, pp. 213-224.
- [170] Nguyen T.M.Y., Thai T.T., Ngo X.Q., Dong N.X., Thao N.T.P., Veettil B.K., Vanreusel A., Lam N.N., 2022, The habitat preferences of nematode assemblages in relation to the sediment granulometry in the Ba Lai estuary, Vietnam, *Regional Studies in Marine Science*, 56, pp. 102641.

- [171] Phan Dinh Phuc, 2015, *Literature Review for the Development of Guideline for Prioritisation of Barriers to Fish Passage in Irrigation Schemes in Vietnam*, Technical Report, Research Institute for Aquaculture No. 3: Nha Trang, Vietnam, pp. 38.
- [172] Le A.T, Le V.D., and Tristan S., “Rapid integrated & ecosystem-based assessment of climate change vulnerability & adaptation for Ben Tre Province, Vietnam,” *Journal of Science and Technology*, tập 52, số 3A, pp. 287-293, 2014.
- [173] Tran T.T., Nguyen T.M.Y., Quang N.X., Hoai P.N., Veetil B. K., 2022, Ecological impact assessment of irrigation dam in the Mekong Delta using intertidal nematode communities as bioindicators, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(60), pp. 90752-90767.
- [174] Ngo X.Q, Nguyen T.M.Y, Tran T.T, Nguyen T.H.Y, Nguyen V.D, Pham N.H, Lidia L., Vanreusel A., Veetil B.K, Nguyen D.H, Ho Q.B Nguyen H.N, Prozorova L., 2022, Impact of a dam construction on the intertidal environment and free-living nematodes in the Ba Lai, Mekong Estuaries, Vietnam, *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (Suppl 2), 770, pp. 1-23.
- [175] Lamshead P.J.D., 1993, Recent developments in marine benthic biodiversity research, *Oceanis*, 19, pp. 5-24.
- [176] Maggenti A.R., and Nickle W.R., 1991, *Chaper General nematode morphology*, Manual of Agricultural Nematology, New York, Marcel Dekker, pp. 1-46.
- [177] Nguyễn Ngọc Châu, 2003, *Tuyển trùg thực vật và cơ sở phòng trừ*, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [178] May R.M., 1988, How many species are there on earth?, *Science*, 241(4872), pp. 1441-1449.
- [179] Platt H.M., Shaw K.M., Lamshead P.J.D., 1984, Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environmental perturbations, *Hydrobiologia*, 118, pp. 59-66.
- [180] Platt H.M., Warwick R.M., 1980, *The significance of free-living nematodes to the littoral ecosystem*, Price J.H., Irvine D.E.G., Farnham W.F. (Eds.), The Shore Environment, vol. 2 Ecosystems, New York, Academic Press, pp. 729-759.

- [181] Balsamo M., Semprucci F., Frontalini F., Coccioni R., 2012, *Meiofauna as a tool for marine ecosystem biomonitoring*, Marine ecosystems, Publisher InTech, pp. 77-104.
- [182] Zeppilli D., Sarrazin J., Leduc D., Arbizu P.M., Fontaneto D., Fontanier C., Vanreusel A., 2015, Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts?, *Marine Biodiversity*, 45(3), pp. 505-535.
- [183] Ngô Xuân Quảng, Phạm Thanh Lưu, Trần Ngọc Diễm My, Nguyễn Xuân Đồng, Trần Thành Thái, Nguyễn Thị Mỹ Yến, 2020, *Quan trắc sinh học phục vụ quản lý môi trường nước: Nghiên cứu điển hình tỉnh Bến Tre*, NXB. Nông nghiệp, Hà Nội, pp.15-23.
- [184] Kennedy A.D., Jacoby C.A., 1999, Biological indicators of marine environmental health: meiofauna—a neglected benthic component?, *Environmental Monitoring and Assessment*, 54(1), pp. 47-68.
- [185] Semprucci F., Frontalini F., Sbrocca C., Du Châtelet E.A., Bout-Roumazielles V., Coccioni R., Balsamo M., 2015a, Meiobenthos and free-living nematodes as tools for biomonitoring environments affected by riverine impact, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), pp. 187-251.
- [186] Moreno M., Semprucci F., Vezzulli L., Balsamo M., Fabiano M., Albertelli G., 2011, The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems, *Ecological Indicators*, 11(2), pp. 328-336.
- [187] Semprucci F., Losi V., Moreno M., 2015, A review of Italian Research on free-living marine nematodes and the future perspectives on their use as Ecological Indicators (EcoInds), *Mediterranean Marine Science*, 16(2), pp. 352-365.
- [188] Semprucci F., Colantoni P., Baldelli G., Rocchi M., Balsamo M., 2010, The distribution of meiofauna on back-reef sandy platforms in the Maldives (Indian Ocean), *Marine Ecology: An Evolutionary Perspective*, 31, pp. 592-607.
- [189] Bevilacqua S., Sandulli R., Plicanti A., Terlizzi A., 2012, Measuring more of  $\beta$ -diversity: Quantifying patterns of variation in assemblage heterogeneity. An insight from marine benthic assemblages, *Ecological Indicators*, 18, pp. 140-148.
- [190] Semprucci F., Balsamo M., 2012, Free-living marine nematodes as bioindicators: past, present and future perspectives, *Environmental Research Journal*, 6(1), pp. 17-35.

- [191] Wieser W., 1953, Die beziehung zwischen mundhöhlengestalt, ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen nematoden, *Arkiv für Zoologie*, 4, pp. 439-484.
- [192] Danovaro R., Gambi C., Höss S., Mirto S., Traunspurger W., Zullini A., 2009, *Case studies using nematode assemblage analysis in aquatic habitats*. In: Wilson M.J., and Kakouli-Duarte T.K. (Eds.), *Nematodes as Environmental Indicators*, United Kingdom: CAB Internationals, Wallingford, pp. 146-171.
- [193] Mirto S., La Rosa T., Gambi C., Danovaro R., Mazzola A., 2002, Nematode community response to fish-farm impact in the western Mediterranean, *Environmental Pollution*, 116, pp. 203-214.
- [194] Bongers T., Alkemade R., Yeates G.W., 1991, Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index, *Marine Ecology Progress Series*, 76(2), pp. 135-142.
- [195] Bongers T., Ferris H., 1999, Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring, *Trends in Ecology and Evolution*, 14(6), pp. 224-228.
- [196] Gyedu-Ababio T.K., Baird D., 2006, Response of meiofauna and nematode communities to increased levels of contaminants in a laboratory microcosm experiment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63(3), pp. 443-450.
- [197] The Mekong River Commission Secretariat (MRCS), 2019, *2017 Lower Mekong Regional Water Quality Monitoring Report*, Mekong River Commission for Sustainable Development: Vientiane, Lao PDR, 52 pp.
- [198] VNCOLD - Vietnam National Committee on Large Dam and Water Resources Development, 2015, Ủy ban Quốc gia về đập lớn và phát triển Tài nguyên nước Việt Nam, Available online: <http://www.vncold.vn/en/web/default.aspx>, Truy cập trực tuyến: 9/12/ 2018)
- [199] Thạch Phương và Đoàn Tứ, 2001, *Địa chí Bến Tre*, NXB Khoa học và Xã hội, Hà Nội, 1456 pp.
- [200] Minh V.Q., Anh V., Trom M., Hoa P., Diep N., Tho D.V., 1999, Mekong delta mangrove forest changes over the last five years by remote sensing, *Proceeding of an International Workshop on the rehabilitation of degraded coastal systems*, Phuket Marine Biological Center, Thailand.
- [201] Zalinge N., Degen P., Pongsri C., Nuov S., Jensen J.G., Nguyen V.H., Choulamany X., 2004, *The Mekong River System*, Food and Agriculture

- Organization of the United Nations (FAO), Regional Office for Asia and the Pacific, Mekong River Commission (MRC) Fisheries Program, pp. 335-357.
- [202] Mekong River Commission (MRC), 2007, *Diagnostic study of water quality in the Lower Mekong Basin*, MRC Technical Paper No. 15, Mekong River Commission, Vientiane, 57pp.
- [203] Ikemoto T., Tu N.P.C., Watanabe M.X., Okuda N., Omori K., Tanabe S., Tuyen B.C., Takeuchi I., 2008, Biomagnification of trace elements in the aquatic food web in the Mekong Delta, South Vietnam using stable carbon and nitrogen isotope analysis, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, pp. 504-515.
- [204] Nguyễn Xuân Hiền, 2008, Nguồn tài nguyên của Đồng bằng sông Cửu Long (The resources of Mekong Delta), *Tập san Khoa học và Công nghệ quy hoạch Thủy lợi, Viện quy hoạch Thủy lợi miền Nam*, [Available online]: [http://www.siwrp.org.vn/tin-tuc/nguon-tai-nguyen-cua-dong-bang-song-cuu-long\\_359.html](http://www.siwrp.org.vn/tin-tuc/nguon-tai-nguyen-cua-dong-bang-song-cuu-long_359.html), Truy cập trực tuyến: 18/8/2023.
- [205] Gillett D.J., Schaffner L.C., 2009, Benthos of the York River, *Journal of Coastal*, 10057, pp. 80-98.
- [206] Le A.T., Le V.D., Skinner T. (ed.), 2012, *Rapid Integrated & Ecosystem-Based Assessment of Climate Change Vulnerability & Adaptation for Ben Tre Province, Vietnam*, In Book: Completed under the Global Cooperation on Water Resource Management (WWF and Coca-Cola) and the Capacity building and sustainable production programme (WWF-DANIDA) by World Wildlife Fund for Nature (WWF), pp. 3-89.
- [207] Nguyễn Thế Biên, 2014, *Nghiên cứu đánh giá những tác động của hệ thống thủy lợi Ba Lai đối với môi trường lưu vực và đề xuất các biện pháp giảm thiểu tác động tiêu cực diễn biến môi trường trong các vùng nhạy cảm của Bến Tre*, Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước, Viện Kỹ thuật Biển - Bộ Nông nghiệp Phát triển Nông thôn.
- [208] Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bến Tre, 2022, *Đánh giá hiện trạng và đề xuất quản lý tổng hợp môi trường hồ chứa nước ngọt sông Ba Lai tỉnh Bến Tre trong điều kiện biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn*, Báo cáo tổng hợp nhiệm vụ khoa học, Trung tâm Tư vấn và Công nghệ Môi trường – Tổng cục môi trường, tr. 347.

- [209] Ministry of Agriculture and Rural Development-Southern Institute for Water Resources Planning (MARD-SIWRP), 1999, *Pre-feasibility study of Ba Lai irrigation project, Ben Tre*. Scientific report, 162 pp.
- [210] Luong L.P., Nguyen T.A., 2000, *Investigating plan for exploitation and protection of aquatic resources in coastal and offshore areas of Ben Tre province*, Scientific Report, Ben Tre's Depar. of Sci. and Tech.
- [211] Le T.T.T., and Nguyen V.L., 2001, A study on species composition of fishes in the coastal waters – estuaries of Ben Tre province, *Collec Mar Res Works*, 10, pp. 201-210.
- [212] Tran T.T., Nguyen T.M.Y., Tran T.H.Y., Pham T.L., & Ngo X.Q., 2020, Distribution patterns of macrofauna communities in the Ba Lai estuary, Ben Tre Province, *Science and Technology Development Journal - Natural Science*, 4(SI), pp. 1-10.
- [213] Tran T.T., Le V.T., Ha H.H., Pham N.H., Nguyen T.H., Nguyen T.T.U., Ngo X.Q., Pham T.L., 2024, Biodiversity of epibenthic invertebrates in the subtidal Mekong estuaries, Southern Vietnam with remarks on decapod assemblages, *Biology Bulletin*, 51(5), pp. 1466-1478.
- [214] Tran Thanh Thai, Nguyen Le Que Lam, Nguyen Thi My Yen, Ann Vanreusel, Ngo Xuan Quang, 2018b, Biodiversity and distribution patterns of free-living nematode communities in Ba Lai river, Ben Tre province, *Journal of Science and Technology*, 56(2), pp. 224.
- [215] Ngo Xuan Quang, Ann Vanreusel, Nguyen Thi My Yen, Tran Thanh Thai, et al., 2018, *Assessment of the environmental and socio-economic impact after dam construction in the Mekong estuarine system: the case of the Ba Lai estuary*, Final report Project Belgium.
- [216] Zancanaro E., Teatini P., Scudiero E., Morari F., 2020, Identification of the Origins of Vadose-Zone Salinity on an Agricultural Site in the Venice Coastland by Ionic Molar Ratio Analysis, *Water*, 12(12), pp. 3363.
- [217] Brown K., McGreer E., Taekema B., Cullen J., 2011, Determination of total free sulphides in sediment porewater and artefacts related to the mobility of mineral sulphides, *Aquatic Geochemistry*, 17, pp. 821-839.
- [218] Leloup J., Loy A., Knab N.J., Borowski C., Wagner M., Jørgensen B.B., 2007, Diversity and abundance of sulfate-reducing microorganisms in the sulfate and methane zones of a marine sediment, Gack Sea, *Environmental microbiology*, 9(1), pp. 131-134.

- [219] Vincx M., 1996, *Meiofauna in marine and fresh water sediments*. In: Hall G.S. (ed.), *Methods for the examination of organismal diversity in soil and sediments*, New York: CAB International, Wallingford, pp. 187-195.
- [220] De Grisse A.T., 1969, Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nematodes phytoparasitaires, *Meded Rijksfakulteit Land bouwwetenschappen Gent*, 34, pp. 351-369.
- [221] Platt H.M., Warwick R.M., 1983, *Free-living Marine Nematodes (Part I. British Enoplids)*, *Synopses of the British Fauna No 28*, Linnean Society of London/Estuarine and Brackish Water Society, In Cambridge, London, Cambridge University Press, pp. 307.
- [222] Platt H.M., Warwick R.M., 1988, *Free-living Marine Nematodes (Part II. British Chromadorids)*, *Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish - Water Sciences Association*, In Cambridge, London, Cambridge University Press, pp. 502.
- [223] Warwick R.M., Platt H.M., Somerfield P.J., 1988, *Free living marine nematodes (Part III. Monhysterids)*, In The Linnean Society of London and the Estuarine and Coastal Sciences Association, London.
- [224] Zullini A., 2005, *The Identification manual for freshwater nematode genera*, Lecture book, MSc. Nematology Ghent University.
- [225] Nguyễn Vũ Thanh, 2007, *Giun tròn sống tự do (các bộ: Monhysterida, Araeolaimida, Chromadorida, Rhabditida, Enoplida, Mononchida, Dorylaimida)*, *Động vật chí Việt Nam*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 458.
- [226] Bezerra T.N., Eisendle U., Hodda M., Holovachov O., Leduc D., Mokievsky V., Peña Santiago R., Sharma J., Smol N., Tchesunov A., Venekey V., Zhao Z., Vanreusel A., 2021, *Nemys: World Database of Nematodes*.
- [227] Shannon C.E., and Weiner W., 1949, *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press.
- [228] Margalef R., 1958, *Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton*, B. (Ed.), Univ Calif Press, Berkeley: Perspectives in Marine Biology, pp. 323-347.
- [229] Pielou E.C., 1966, The measurement of diversity in different types of biological collections, *Journal of Theoretical Biology*, 13(C), pp. 131 - 144.

- [230] Hill M.O., 1973, Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences, *Ecology*, 54, p. 1-31.
- [231] Clarke K.R., Warwick R.M., 2001, *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, PRIMER-E Ltd., 2<sup>nd</sup> edition, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, United Kingdom.
- [232] Ngo X.Q., Nguyen N.C., and Vanreusel A., 2013a, How variable are nematode communities responding to seasonal factor?, *Vietnam Journal of Science and Technology*, 51(4), pp. 615-626.
- [233] Hua E., Zhu Y., Huang D., Liu X., 2021, Are free-living nematodes effective environmental quality indicators? Insights from Bohai Bay, China, *Ecological Indicators*, 127(107756), pp. 1-17.
- [234] Heip C., Herman R., Vincx M., 1984, Variability and productivity of meiobenthos in the Southern Bight of the North Sea, *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 183, pp. 51-56.
- [235] Chen C. A., Soo C. L., Balsamo M., & Semprucci F., 2018, An approach based on nematode descriptors for the classification of ecological quality (EcoQ) of the Malaysian coasts, *Marine Biodiversity*, 48, pp. 117-126.
- [236] Chan A.L.C., Wong C.K., 1993, *Impact of eutrophication on marine plankton in Tolo Harbour*, In: Morton B. (ed.) *The Marine Biology of the South China Sea*, Hong Kong, Hong Kong University Press, pp. 543-558.
- [237] Wildsmith M.D., Potter I.C., Valesini F.J., Platell M.E., 2005, Do the assemblages of benthic macroinvertebrates in nearshore waters of Western Australia vary among habitat types, zones and seasons?, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85, pp. 217-232.
- [238] Bueno de Mesquita C.P., Hartman W.H., Ardón M., Tringe S.G., 2024, Disentangling the effects of sulfate and other seawater ions on microbial communities and greenhouse gas emissions in a coastal forested wetland, *ISME Communications*, 4(1), pp. 1-14.
- [239] Tran Thanh Thai, Nguyen Le Que Lam, Le Hai Dang, Nguyen Thị My Yen, Ngo Xuan Quang, 2018 Intertidal meiofaunal communities in relation to salinity gradients in the Ba Lai river, Vietnam, *Journal of Vietnamese Environment*, 10(2), pp. 138-150,
- [240] Tong C., Cadillo-Quiroz H., Zeng Z.H., She C.X., Yang P., Huang F.J., 2017, Changes of community structure and abundance of methanogens in soils along

- a freshwater–brackish water gradient in subtropical estuarine marshes, *Geoderma*, 299, pp. 101-110.
- [241] Dang C., Morrissey E.M., Neubauer S.C., Franklin R.B., 2019, Novel microbial community composition and carbon biogeochemistry emerge over time following saltwater intrusion in wetlands, *Global Change Biology*, 25(2), pp. 549-561.
- [242] Achtnich C., Bak F., Conrad R., 1995, Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil, *Biology and Fertility of Soils*, 19, pp. 65-72.
- [243] Bartlett K.B., Bartlett D.S., Harriss R.C., Sebacher D.I., 1987, Methane emissions along a salt marsh salinity gradient, *Biogeochemistry*, 4, pp. 183-202.
- [244] Poffenbarger H.J., Needelman B.A., Megonigal J.P., 2011, Salinity influence on methane emissions from tidal marshes, *Wetlands*, 31, pp. 831-842.
- [245] Ardón M., Helton A.M., Bernhardt E.S., 2018, Salinity effects on greenhouse gas emissions from wetland soils are contingent upon hydrologic setting: a microcosm experiment, *Biogeochemistry*, 140, pp. 217-232.
- [246] Berrier D.J., Neubauer S.C., Franklin R.B., 2022, Cooperative microbial interactions mediate community biogeochemical responses to saltwater intrusion in wetland soils, *FEMS Microbiology Ecology*, 98(3), pp. 1-12.
- [247] Plugge C., Zhang W., Scholten J., Stam A.J.M., 2011, Metabolic flexibility of Sulfate-Reducing bacteria, *Frontiers in Microbiology*, 2(81), pp. 1-8.
- [248] Bueno de Mesquita C.P., Wu D., Tringe S.G., 2023, Methyl-based methanogenesis: an ecological and genomic review, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 87(1), pp. 1-29.
- [249] Oremland R.S., Polcin S., 1982, Methanogenesis and sulfate reduction: competitive and noncompetitive substrates in estuarine sediments, *Applied and Environmental Microbiology*, 44(6), pp. 1270-1276.
- [250] Oremland R.S., Marsh L.M., Polcin S., 1982, Methane production and simultaneous sulphate reduction in anoxic, salt marsh sediments, *Nature*, 296, pp. 143-145.
- [251] DelSontro T., Boutet L., St-Pierre A., del Giorgio P.A., & Prairie Y.T., 2016, Methane ebullition and diffusion from lake sediments: Dependence on

- sediment characteristics, *Limnology and Oceanography*, 61(2), pp. S259–S277.
- [252] Liu L., Chen H., Zhu D., Yang G., Peng C., 2020, Sediment texture controls methane ebullition in aquatic systems, *Science of the Total Environment*, 737, pp. 139735.
- [253] Segers R., 1998, Methane production and methane oxidation in wetland soils and sediments, *Biogeochemistry*, 41(1), pp. 23–51,.
- [254] Le Mer J., Roger P., 2001, Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review, *Global Change Biology*, 7(4), pp. 429-446.
- [255] Rickard D., Morse J.W., 2005, Acid volatile sulfide (AVS), *Marine Chemistry*, 97(3–4), pp. 141-197.
- [256] Wang Y., Van Cappellen P., & Aguilera D.R., 2014, A quantitative model for pyrite formation and sulfur isotope fractionation in marine sediments,” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 141, pp. 58-75.
- [257] Ngo X.Q., Vanreusel A., Thanh N.V., and Smol N., 2007, Biodiversity of meiofauna in the intertidal Khe Nhan mudflat, Can Gio mangrove forest, Vietnam with special emphasis on free living nematodes, *Ocean Science Journal*, 42(3), pp. 135.
- [258] Ngo X.Q., Yen N. T. M., Dong N. V. , L. Prozorova, N. Smol, L. Lins, and A. Vanreusel, 2018c, Nematode communities in the Sai Gon River harbors in relation to tributyltin concentrations, *Marine Biodiversity*, 48(1), pp. 139-151.
- [259] Tran T.T., Yen N.T.M., Quang N.X., Veetil B.K., Nguyen T., Hoai P.N., & Tinh T., 2022, Maturity Index of Nematode Communities and its Potential use for Measuring Environmental Disturbances with Special Emphasis on Effects of Organic Enrichment in Mangrove Ecosystems, *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 38(1), pp. 355-366.
- [260] Warwick R.M., Buchanan J.B., 1971, The meiofauna off the coast of Northumberland. II. Seasonal stability of the nematode population, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 51, pp. 355-362.
- [261] Guille A., Soyer J., 1968, La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-Sur-Mer premières données qualitatives et quantitatives, *Vie et Milieu*, 19, pp. 323-360.

- [262] Heininger P., Höss S., Claus E., Pelzer J., Traunspurger W., 2007, Nematode communities in contaminated river sediments, *Environmental Pollution*, 146, pp. 64-76.
- [263] Barbuto M., Zullini A., 2005, The nematode community of two Italian rivers (Taro and Ticino), *Nematology*, 7, pp. 667-675.
- [264] Losi V., Ferrero T.J., Moreno M., Gaozza L., Rovere A., Firpo M., Marques J.C., Albertelli G., 2013, The use of nematodes in assessing ecological condition in shallow waters surrounding a Mediterranean harbor facility, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 130, pp. 209-221.
- [265] Anderson R.V., 1992, Free-living nematode associations in pool 19, Mississippi river, *Journal of Freshwater Ecology*, 7, pp. 243-250.
- [266] Nguyễn Vũ Thanh, 2005, Sử dụng phương pháp ABC và hệ điểm BMWPVIETNAM đánh giá nhanh chất lượng nước sông Cầu, *Tạp chí Khoa học công nghệ*, 43(1), tr. 58-68.
- [267] Gusakov V.A., Gagarin V.G., Gusev E.S., 2011, The first results of meiobenthos study in the Cái River (Central Vietnam), *Inland Water Biology*, 4, pp. 357-366.
- [268] Baban I., Singh R., 2010, Biodiversity and community structure of free-living marine nematodes from the Larsemann Ice Shelf, East Antarctica, *Indian contribution in Southern ocean*, 99(10), pp. 1-7.
- [269] Alongi D.M., 1987, Intertidal zonation and seasonality of meiobenthos in tropical mangrove estuaries, *Marine Biology*, 95(3), pp. 447-458.
- [270] Barnes N., Bamber R.N., Moncrieff C.B., Shearer M., Ferrero T.J., 2008, Meiofauna in closed coastal saline lagoons in the United Kingdom: Structure and biodiversity of the nematode assemblage, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79(2), pp. 328-340.
- [271] Gwyther J., 2003, Nematode assemblages from *Avicennia marina* leaf litter in a temperate mangrove forest in south-eastern Australia, *Marine biology*, 142(2), pp. 289-297.
- [272] Rzeznik-Orignac J., Fichet D., Boucher G., 2003, Spatio-temporal structure of the nematode assemblages of the Brouage mudflat (Marennes Oléron, France), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(1), pp. 77-88.

- [273] Netto S.A., Gallucci F., 2003, Meiofauna and macrofauna communities in a mangrove from the Island of Santa Catarina, South Brazil, *Hydrobiologia*, 505, pp. 159-170.
- [274] Somerfield P.J., Gee J.M., Aryuthaka C., 1998, Meiofaunal communities in a Malaysian mangrove forest, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78, p. 717732.
- [275] Chen C.A., Long S.M, Rosli N.M., 2012, Spatial distribution of tropical estuarine nematode communities in Sarawak, Malaysia (Borneo), *Taffles Bulletin of Zoology*, 60, pp. 173-181.
- [276] Suatmadji R. W., Coomans A., Rashid F., Geraert E., & McLaren D.A., 1988, Nematodes of the Krakatau archipelago, Indonesia: a preliminary overview, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 322(1211), pp. 369-378.
- [277] Sasekumar A., 1994, Meiofauna of a mangrove shore on the west coast of peninsular Malaysia, *Raffles Bulletin of Zoology*, 42, pp. 901-915.
- [278] Cardoso S.J., Quadra G.R., Resende N.D.S., Roland F., 2019, The role of sediments in the carbon and pollutant cycles in aquatic ecosystems, *Acta Limnol Bras*, 31, pp. 1-13.
- [279] Martínez A., Larrañaga A., Basaguren A., Pérez J., Mendoza-Lera C., Pozo J., 2013, Stream regulation by small dams affects benthic macroinvertebrate communities: from structural changes to functional implications, *Hydrobiologia*, 711(1), pp. 31-42.
- [280] Sandin L., 2009, The effects of catchment land-use, near-stream vegetation, and river hydromorphology on benthic macroinvertebrate communities in a south-Swedish catchment, *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 174(1), pp. 75-87.
- [281] Wu N., Tang T., Zhou S., Jia X., Li D., Liu R., Cai Q., 2009, Changes in benthic algal communities following construction of a run-of-river dam, *Journal of the North American Benthological Society*, 28(1), pp. 69-79.
- [282] Olu K., Lance S., Sibuet M., Henry P., FialaMédioni A., Dinet A., 1997, Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(5), pp. 811-841.
- [283] Van Gaever S., Moodley L., De Beer D., Vanreusel A., 2006, Meiobenthos at the Arctic Håkon Mosby Mud Volcano, with a parental-caring nematode

- thriving in sulphide-rich sediments, *Marine Ecology Progress Series*, 321, pp. 143-155.
- [284] Levin L.A., 2005, *Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes*, Oceanography and Marine Biology, pp. 11-56.
- [285] Dando P.R., Fenchel T., Jensen P., O'Hara S.C.M., Niven S.J., Schuster U., 1993, Ecology of gassy, organic-rich sediment in a shallow subtidal area on the Kattegat coast of Denmark, *Marine Ecology Progress Series*, 100, pp. 265-271.
- [286] Hentschel U., Berger E.C., Bright M., Felbeck H., Ott J.A., 1999, Metabolism of nitrogen and sulfur in ectosymbiotic bacteria of marine nematodes (Nematoda, *Stilbonematinae*), *Marine Ecology Progress Series*, 183, pp. 149-158.
- [287] Vanaverbeke J., Merckx B., Degraer S., Vincx M., 2011, Sediment-related distribution patterns of nematodes and macrofauna: two sides of the benthic coin?, *Marine Environmental Research*, 71(1), pp. 31-40.
- [288] Neher D.A., 2001, Role of nematodes in soil health and their use as indicators, *Journal of Nematology*, 33(4), pp. 161-168.
- [289] Ferris H., Bongers T., & de Goede R.G.M., 2001, A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept, *Applied Soil Ecology*, 18(1), pp. 13-29.
- [290] Sohlenius B., 1980, Abundance, biomass and contribution to energy flow by soil nematodes in terrestrial ecosystems, *Oikos*, 34(2), pp. 186-194.
- [291] Van Diggelen A.D., Montagna P.A., 2016, Is salinity variability a benthic disturbance in estuaries?, *Estuaries and Coasts*, 39(4), pp. 967-980.
- [292] Ekschmitt K., Bakonyi G., Bongers M., Bongers T., Boström S., Dogan H., et al., 2005, Nematode community structure as indicator of soil functioning in European long-term field experiments, *European Journal of Soil Biology*, 41(3-4), pp. 225-234.
- [293] Yeates G.W., Bongers T., 1999, Nematode diversity in agroecosystems. Agriculture, *Ecosystems Environment*, 74 (1-3), pp. 113-135.
- [294] Armenteros M., Pérez-Angul A., Regadera R., Beltrán J., Vincx M., Decraemer W., 2009, Effects of chronic and heavy pollution on macro- and meiobenthos of Havana Bay, Cuba, *Revista De Investigacion Marina*, 30(3), pp. 203-214.

- [295] Leite R.A.N., Bittencourt M.M., 1991, Impacto de hidroelétricas sobre a ictiofauna amazônica: O exemplo de Tucuruí, *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas*, 1, pp. 85-100.
- [296] Xiaoyan L., Shikui D., Qinghe Z., Shiliang L., 2010, Impacts of Manwan Dam construction on aquatic habitat and community in Middle Reach of Lancang River, *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp. 706-712

## PHỤ LỤC

**Phụ lục 1.** Kết quả đo nồng độ trung bình ( $\pm$  độ lệch chuẩn) khí hydro sulfua và khí metan tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo mùa mưa và mùa khô

Vị trí mẫu	Giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của khí H <sub>2</sub> S (mM)		Giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của khí CH <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	
	Mùa mưa	Mùa khô	Mùa mưa	Mùa khô
G1	1,04 $\pm$ 0,16	0,70 $\pm$ 0,16	0,07 $\pm$ 0,03	0,01 $\pm$ 0,001
G2	0,19 $\pm$ 0,19	0,42 $\pm$ 0,11	0,02 $\pm$ 0,001	0,41 $\pm$ 0,03
G3	0,86 $\pm$ 0,24	0,71 $\pm$ 0,22	0,12 $\pm$ 0,05	0,71 $\pm$ 0,01
G4	0,54 $\pm$ 0,07	0,28 $\pm$ 0,09	0,86 $\pm$ 0,26	0,22 $\pm$ 0,05
G5	0,40 $\pm$ 0,12	0,32 $\pm$ 0,09	0,14 $\pm$ 0,05	0,38 $\pm$ 0,01
G6	0,39 $\pm$ 0,02	0,45 $\pm$ 0,24	0,05 $\pm$ 0,04	0,22 $\pm$ 0,05
G7	0,59 $\pm$ 0,11	0,08 $\pm$ 0,001	1,57 $\pm$ 0,55	0,49 $\pm$ 0,08
G8	0,38 $\pm$ 0,12	0,23 $\pm$ 0,08	0,26 $\pm$ 0,17	0,12 $\pm$ 0,001
G9	0,31 $\pm$ 0,07	0,61 $\pm$ 0,39	0,12 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,05
G10	0,10 $\pm$ 0,008	0,29 $\pm$ 0,12	0,92 $\pm$ 0,54	0,34 $\pm$ 0,16
G11	0,42 $\pm$ 0,15	0,54 $\pm$ 0,08	0,38 $\pm$ 0,01	2,21 $\pm$ 0,001
G12	0,36 $\pm$ 0,07	0,51 $\pm$ 0,45	0,04 $\pm$ 0,03	0,30 $\pm$ 0,04
G13	0,36 $\pm$ 0,02	0,48 $\pm$ 0,02	1,31 $\pm$ 0,24	0,92 $\pm$ 0,05
G14	0,77 $\pm$ 0,18	0,34 $\pm$ 0,16	0,08 $\pm$ 0,02	0,08 $\pm$ 0,02
G15	0,51 $\pm$ 0,04	0,44 $\pm$ 0,03	0,51 $\pm$ 0,11	0,50 $\pm$ 0,01
G16	0,55 $\pm$ 0,15	0,35 $\pm$ 0,06	1,65 $\pm$ 0,001	2,62 $\pm$ 0,07

**Phụ lục 2.** Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD nồng độ khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai

Đặc điểm	Yếu tố	p-values	Hậu kiểm Tukey HSD
H <sub>2</sub> S	Mùa	0,14	
	Vị trí	< 0,001	G1≠G10, G2, G4, G5, G7, G8; G3≠G10, G2, G7, G8
	Mùa × Vị trí	0,01	
CH <sub>4</sub>	Mùa	0,02	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G3, G4, G7, G10, G11, G13, G15, G16; G10≠G2, G5, G6, G8→G14, G16; G11≠G2→G6, G8, G9, G12, G14→G16; G12≠G13, G15, G16, G4, G7; G13≠G14→G16, G2→G6, G8, G9; G14≠G15, G16, G3, G4, G7; G15≠G16, G2, G6→G9; G16≠G2→G9; G2≠G4, G7; G3≠G7, G9; G4≠G6→G9; G5≠G7; G6≠G7; G7≠G8, G9;
	Mùa × Vị trí	< 0,001	

**Phụ lục 3.** Kết quả đo trung bình ( $\pm$  độ lệch chuẩn) các thông số môi trường tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo mùa Mưa và mùa Khô

Vị trí mẫu	Mùa mưa						Mùa khô					
	pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)			pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)		
				% Cát	% Bùn	% Sét				% Cát	% Bùn	% Sét
G1	6,93 $\pm$ 0,09	19,48 $\pm$ 0,87	-232,90 $\pm$ 53,17	3,95 $\pm$ 5,58	90,93 $\pm$ 5,47	5,12 $\pm$ 0,11	6,95 $\pm$ 0,12	18,07 $\pm$ 0,48	-203,40 $\pm$ 0,001	8,50 $\pm$ 0,22	84,21 $\pm$ 2,02	5,93 $\pm$ 0,13
G2	7,29 $\pm$ 0,01	8,33 $\pm$ 0,15	-273,40 $\pm$ 110,59	3,36 $\pm$ 0,92	86,05 $\pm$ 4,98	10,58 $\pm$ 4,07	7,20 $\pm$ 0,04	19,43 $\pm$ 0,48	-117,10 $\pm$ 105,92	9,76 $\pm$ 2,39	84,59 $\pm$ 2,07	5,66 $\pm$ 0,32
G3	7,06 $\pm$ 0,08	7,53 $\pm$ 0,17	-239,10 $\pm$ 144,53	9,13 $\pm$ 1,96	86,35 $\pm$ 1,51	4,52 $\pm$ 0,46	6,98 $\pm$ 0,07	15,37 $\pm$ 0,01	-217,15 $\pm$ 88,88	11,70 $\pm$ 0,53	83,42 $\pm$ 0,19	4,88 $\pm$ 0,72
G4	6,90 $\pm$ 0,07	0,99 $\pm$ 0,05	-339,95 $\pm$ 113,07	7,01 $\pm$ 3,64	85,00 $\pm$ 4,01	7,99 $\pm$ 0,37	6,94 $\pm$ 0,09	3,03 $\pm$ 0,04	-216,05 $\pm$ 49,57	7,57 $\pm$ 2,36	84,93 $\pm$ 0,45	7,50 $\pm$ 1,91
G5	6,89 $\pm$ 0,03	1,10 $\pm$ 0,09	-243,25 $\pm$ 42,50	0,48 $\pm$ 0,68	96,57 $\pm$ 0,57	2,95 $\pm$ 0,11	6,78 $\pm$ 0,03	2,86 $\pm$ 0,10	-230 $\pm$ 14,14	5,43 $\pm$ 1,07	90,24 $\pm$ 0,49	4,33 $\pm$ 0,58
G6	6,95 $\pm$ 0,03	1,55 $\pm$ 0,32	-247,10 $\pm$ 29,13	8,96 $\pm$ 3,44	87,71 $\pm$ 2,52	3,33 $\pm$ 0,92	6,81 $\pm$ 0,05	2,52 $\pm$ 0,24	-165,40 $\pm$ 116,53	9,22 $\pm$ 2,55	85,03 $\pm$ 2,79	5,75 $\pm$ 0,24
G7	6,99 $\pm$ 0,06	1,00 $\pm$ 0,05	-231,40 $\pm$ 17,54	1,39 $\pm$ 1,66	94,15 $\pm$ 1,23	4,46 $\pm$ 0,43	7,01 $\pm$ 0,04	4,41 $\pm$ 0,20	-214,85 $\pm$ 56,36	0,97 $\pm$ 1,28	91,02 $\pm$ 0,93	8,01 $\pm$ 0,35

Vị trí mẫu	Mùa mưa						Mùa khô					
	pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)			pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)		
				% Cát	% Bùn	% Sét				% Cát	% Bùn	% Sét
G8	7,27 ± 0,05	0,62 ± 0,05	-207,00 ± 60,81	11,60 ± 6,20	84,15 ± 5,46	4,25 ± 0,74	6,97 ± 0,05	3,81 ± 0,68	-243,30 ± 8,91	11,93 ± 1,48	80,96 ± 1,72	7,11 ± 0,23
G9	7,04 ± 0,04	0,76 ± 0,07	-227,20 ± 85,56	4,00 ± 2,60	90,92 ± 1,16	5,08 ± 1,45	6,75 ± 0,02	3,16 ± 0,29	-231,40 ± 16,12	3,61 ± 5,10	91,04 ± 8,32	5,35 ± 3,22
G10	7,04 ± 0,001	0,83 ± 0,03	-260,60 ± 146,94	0,61 ± 0,61	89,21 ± 0,64	10,18 ± 1,24	6,83 ± 0,05	2,28 ± 0,05	-185,55 ± 43,20	9,23 ± 3,39	85,28 ± 4,13	5,49 ± 0,74
G11	7,01 ± 0,02	0,61 ± 0,15	-280,35 ± 45,47	3,13 ± 3,53	93,04 ± 4,01	3,83 ± 0,48	6,84 ± 0,05	2,08 ± 0,21	-256,50 ± 42,43	9,37 ± 1,35	84,51 ± 2,02	6,12 ± 0,67
G12	6,84 ± 0,05	0,38 ± 0,04	-170,50 ± 26,16	8,64 ± 3,33	88,34 ± 4,18	3,02 ± 0,86	6,77 ± 0,01	1,61 ± 0,12	-130,90 ± 128,55	12,55 ± 2,12	82,30 ± 2,57	5,14 ± 0,45
G13	6,78 ± 0,03	0,26 ± 0,001	-221,75 ± 18,17	6,95 ± 5,40	90,11 ± 5,05	2,94 ± 0,35	6,69 ± 0,02	2,04 ± 0,05	-266,85 ± 80,82	11,51 ± 0,08	83,52 ± 1,29	4,97 ± 1,38
G14	6,96 ± 0,03	0,60 ± 0,19	-259,70 ± 3,25	15,70 ± 9,09	79,27 ± 5,26	5,03 ± 3,83	6,76 ± 0,05	2,17 ± 0,21	-205,35 ± 20,72	8,35 ± 2,78	87,06 ± 3,22	4,59 ± 0,44
G15	6,87 ± 0,02	0,46 ± 0,04	-224,20 ± 3,68	15,54 ± 6,69	81,52 ± 6,27	2,94 ± 0,42	6,78 ± 0,08	2,05 ± 0,11	-239,30 ± 38,61	11,77 ± 2,25	82,39 ± 2,97	5,83 ± 0,72

Vị trí mẫu	Mùa mưa						Mùa khô					
	pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)			pH	Độ mặn (g/L)	ORP (mV)	Thành phần trăm tích/ kích thước hạt (%)		
				% Cát	% Bùn	% Sét				% Cát	% Bùn	% Sét
G16	6,99 ± 0,02	0,54 ± 0,04	-249,60 ± 25,88	4,85 ± 2,84	88,00 ± 4,04	7,15 ± 1,20	6,86 ± 0,04	2,57 ± 0,01	-203,20 ± 6,93	16,91 ± 2,42	78,49 ± 3,17	4,60 ± 0,75

**Phụ lục 4.** Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các thông số môi trường tại các vị trí khảo sát trên sông Ba Lai

Đặc điểm	Yếu tố	p-values	Hậu kiểm Tukey HSD
pH	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G13, G2, G8; G10≠G13, G2, G8; G11≠G2, G8; G12≠G7, G8; G13≠G16, G2→G4, G6→G9; G14≠G2, G3, G7, G8; G15≠G2, G3, G7, G8; G16≠G2, G8; G2≠G3→G7, G9; G3≠G5; G4≠G8; G5≠G7, G8; G6≠G8; G8≠G9
	Mùa × Vị trí	0,001	
Độ mặn	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1 ≠ tất cả vị trí; G2 ≠ tất cả vị trí, trừ G3; G2 ≠ tất cả vị trí, trừ G2; G4≠G7; G5≠G7; G7≠G8, G9; G10≠G2, G3, G4, G5, G6, G7, G12, G13, G15; G11≠G2→G9, G12; G12≠G2→G9, G16; G13≠ G2→G9, G16; G14≠ G2→G9; G15≠G2→G9; G16≠ G2→G8
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
ORP	Mùa	0,045	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	0,797	
	Mùa × Vị trí	0,855	
%Cát	Mùa	0,002	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G7≠G3, G6→G8, G12→G15
	Mùa × Vị trí	0,10	
%Bùn	Mùa	0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	0,001	G14≠G5, G7; G15≠G5, G7; G16≠G5, G7; G8≠G5, G7
	Mùa × Vị trí	0,176	
%Sét	Mùa	0,01	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G10≠G5, G12, G13; G12≠G2, G4; G13≠G2, G4; G5≠G2, G4
	Mùa × Vị trí	0,003	

**Phụ lục 5.** Quần xã tuyến trùng sống tự do tại 16 vị trí sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre tổng hợp theo hai mùa: Mưa và Khô

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Chromadoreia</i>	<b>37.712</b>	<b>56.262</b>
Araeolaimida	5202	9665
Axonolaimidae	3769	6421
<i>Axonolaimus</i>	14	0
<i>Axonolaimus</i>	0	72
<i>Odontophora</i>	0	16
<i>Parascolaimus</i>	0	3
<i>Parodontophora</i>	3601	5829
<i>Pseudolella</i>	154	429
<i>Pseudollela</i>	0	72
Comesomatidae	1406	2905
<i>Comesomatidae</i>	14	0
<i>Hopperia</i>	249	1902
<i>Metacomesoma</i>	0	31
<i>Paracomesoma</i>	936	564
<i>Pierrickia</i>	0	142
<i>Sabatieria</i>	207	266
Diplopeltidae	27	340
<i>Araeolaimus</i>	0	7
<i>Campylaimus</i>	27	263
<i>Cylindrolaimus</i>	0	34
<i>Southerniella</i>	0	36
Chromadorida	2393	6298

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
Achromadoridae	70	44
<i>Achromadora</i>	70	44
Chromadoridae	1732	4012
<i>Chromadora</i>	0	1
<i>Chromadorina</i>	288	0
<i>Chromadorita</i>	7	959
<i>Dichromadora</i>	1436	2624
<i>Dichronadora</i>	0	164
<i>Prochromadorella</i>	0	215
<i>Punctodora</i>	0	50
Cyatholaimidae	521	2233
<i>Longicyatholaimus</i>	484	238
<i>Panagrolaimus</i>	1	0
<i>Paracanthonchus</i>	0	125
<i>Paracyatholaimus</i>	8	1870
<i>Paralongicyatholaimus</i>	28	0
Selachinematidae	71	9
<i>Halichoanolaimus</i>	71	9
Desmodorida	739	784
Desmodoridae	738	784
<i>Desmodora</i>	425	422
<i>Desmodorella</i>	123	0
<i>Metachromadora</i>	16	0
<i>Molgolaimus</i>	1	0

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Onyx</i>	0	248
<i>Prodesmodora</i>	5	114
<i>Pseudochromadora</i>	155	0
<i>Zalonema</i>	13	0
Microlaimidae	1	0
<i>Microlaimus</i>	1	0
Desmodorida	83	0
Desmodoridae	20	0
<i>Metachromadora</i>	5	0
<i>Pseudochromadora</i>	15	0
Microlaimidae	63	0
<i>Microlaimus</i>	63	0
Desmoscolecida	17	2
Desmoscolecidae	17	2
<i>Calligyus</i>	5	0
<i>Desmoscolex</i>	11	2
<i>Desmoscolecida</i>	40	0
<i>Cyartonematidae</i>	40	0
<i>Cyartonema</i>	40	0
Monhysterida	26535	37157
Linhomoeidae	7274	2718
<i>Desmolaimus</i>	4	0
<i>Didelta</i>	0	11
<i>Eleutherolaimus</i>	256	211

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Linhomoeidae</i>	0	3
<i>Metalinhomoeus</i>	945	34
<i>Terschellingia</i>	5970	2459
<i>Terschellingioides</i>	99	0
Monhysteridae	2505	11020
<i>Diplolaimella</i>	141	93
<i>Diplolaimella</i>	0	849
<i>Diplolaimelloides</i>	103	877
<i>Eumonhystera</i>	246	893
<i>Geomonhystera</i>	57	1122
<i>Monhystera</i>	1562	4795
<i>Monhystrella</i>	304	274
<i>Mylonchulus</i>	36	0
<i>Paramonhystera</i>	0	6
<i>Simanema</i>	2	0
<i>Sinanema</i>	2	4
<i>Thalassomonhystera</i>	53	2022
<i>Tridentulus</i>	0	84
Sphaerolaimidae	149	1072
<i>Parasphaerolaimus</i>	54	204
<i>Sphaerolaimus</i>	96	868
Xyalidae	16606	22347
<i>Amphimonhystera</i>	81	0
<i>Amphimonhystrella</i>	371	36

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Daptonema</i>	3449	14842
<i>Elzalia</i>	0	2
<i>Gnomoxyala</i>	0	282
<i>Linhystera</i>	517	718
<i>Metadesmolaimus</i>	0	8
<i>Promonhystera</i>	0	41
<i>Retrotheristus</i>	5	32
<i>Sphaerotheristus</i>	690	1019
<i>Sphilophorella</i>	0	340
<i>Spilophorella</i>	1638	0
<i>Theristus</i>	9845	5028
<i>Xyalidae</i>	10	0
Plectida	875	1537
Aegialoalaimidae	5	70
<i>Aegialoalaimus</i>	5	0
<i>Aegialoalaimus</i>	0	70
Aphanolaimidae	16	48
<i>Aphanolaimus</i>	1	0
<i>Aphanonchus</i>	1	9
<i>Paraphanolaimus</i>	14	39
Camacolaimidae	50	15
<i>Camacolaimus</i>	0	14
<i>Stephanolaimus</i>	50	1
Chronogastridae	22	266

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Chronogaster</i>	22	266
Haliplectidae	38	780
<i>Haliplectus</i>	28	780
<i>Halipletus</i>	10	0
Leptolaimidae	712	324
<i>Antomicron</i>	153	14
<i>Leptolaimoides</i>	501	39
<i>Leptolaimus</i>	30	50
<i>Paraplectonema</i>	28	219
<i>Paraplectus</i>	0	1
Metateratocephalidae	4	9
<i>Euteratocephalus</i>	4	9
Plectidae	27	26
<i>Anaplectus</i>	0	22
<i>Ceratoplectus</i>	0	1
<i>Chiloplectus</i>	0	3
<i>Plectus</i>	27	0
Rhabditida	1829	818
Anguinidae	0	5
<i>Nothotylenchus</i>	0	5
Aphelenchidae	8	0
<i>Aphelenchus</i>	8	0
Aphelenchoididae	14	5
<i>Aphelenchoides</i>	8	0

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Aphenlenchoides</i>	6	5
Cephalobidae	57	128
<i>Acrobeloides</i>	4	62
<i>Cephalobus</i>	49	61
<i>Eucephalobus</i>	5	0
<i>Heterocephalobus</i>	0	5
Criconematidae	35	3
<i>Criconema</i>	0	3
<i>Criconemella</i>	1	0
<i>Cyartonema</i>	34	0
Diplogastridae	3	21
<i>Acrostichus</i>	0	10
<i>Diplogasteroides</i>	0	11
<i>Goffatia</i>	1	0
<i>Mononchoides</i>	2	0
Hemicycliophoridae	17	0
<i>Hemicycliphora</i>	17	0
Panagrolaimidae	1635	0
<i>Panagrellus</i>	4	0
<i>Panagrolaimus</i>	26	0
<i>Paracomesoma</i>	1605	0
Rhabditidae	32	650
<i>Caenorhabditis</i>	0	52
<i>Cephaloboides</i>	0	2

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Diploscapter</i>	2	0
<i>Mesorhabditis</i>	5	70
<i>Prodontorhabditis</i>	0	202
<i>Protorhabditis</i>	13	0
<i>Rabditoides</i>	13	0
<i>Rhabditella</i>	0	231
<i>Rhabditoides</i>	0	93
Teratocephalidae	2	2
<i>Teratocephalobus</i>	2	0
<i>Teratocephalus</i>	0	2
Tylenchidae	21	4
<i>Filenchus</i>	9	4
<i>Tylenchidae</i>	13	0
Tylenchoidea	4	0
<i>Tylenchomorpha</i>	4	0
Enoplea	5159	5877
Dorylaimida	680	929
Actinolaimidae	23	9
<i>Brasilaimus</i>	0	2
<i>Paractinolaimus</i>	8	7
<i>Parastomachoglossa</i>	15	0
Belonidiridae	20	1
<i>Dorylaimellus</i>	0	1
<i>Oxidirus</i>	3	0

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Oxydirus</i>	17	0
Dorylaimidae	631	884
<i>Afrodorylaimus</i>	12	0
<i>Arctidorylaimus</i>	4	0
<i>Crocodorylaimus</i>	0	77
<i>Dorylaimidae</i>	271	474
<i>Dorylaimus</i>	45	50
<i>Drepanodorelaimus</i>	5	0
<i>Drepanodorylaimus</i>	5	2
<i>Idiodorylaimus</i>	0	4
<i>Ischiodorylaimus</i>	0	132
<i>Lanzavecchia</i>	23	0
<i>Mesodorylaimus</i>	264	117
<i>Thonus</i>	2	29
Nordiidae	2	0
<i>Enchodelus</i>	2	0
Nygolaimidae	1	5
<i>Laevides</i>	1	3
<i>Nygolaimus</i>	0	3
Qudsianematidae	1	0
<i>Tylencholaimus</i>	1	0
Thorniidae	2	15
<i>Thornia</i>	2	15
Tylencholaimellidae	0	15

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Doryllium</i>	0	15
Enoplida	4162	3373
Alaimidae	25	412
<i>Alaimus</i>	13	4
<i>Amphidelus</i>	1	409
<i>Paramphidelus</i>	10	0
Andrassyidae	0	67
<i>Malakhovia</i>	0	67
Anoplostomatidae	78	440
<i>Anoplostoma</i>	78	440
Anticomidae	0	11
<i>Anticoma</i>	0	11
Enchelidiidae	0	43
<i>Belbolla</i>	0	43
Ironidae	849	168
<i>Dolicholaimus</i>	58	0
<i>Ironus</i>	16	30
<i>Trissonchulus</i>	774	138
Oncholaimidae	534	484
<i>Adoncholaimus</i>	379	196
<i>Oncholaimus</i>	8	131
<i>Viscosia</i>	148	158
Oxystominidae	1639	636
<i>Halalaimus</i>	801	567

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
<i>Litinium</i>	670	0
<i>Nemanema</i>	21	0
<i>Oxystomina</i>	102	48
<i>Thalassoalaimus</i>	46	21
Rhabdolaimidae	1020	541
<i>Rhabdolaimus</i>	974	498
<i>Udonchus</i>	47	42
Thoracostomopsidae	0	6
<i>Enoploides</i>	0	6
Tripyloididae	18	0
<i>Tripyloides</i>	18	0
<i>Trischistomatidae</i>	0	566
<i>Trischistoma</i>	0	566
Mononchida	69	507
Anatonchidae	0	18
<i>Anatonchus</i>	0	18
Cryptonchidae	14	8
<i>Cryptonchus</i>	14	8
Mononchidae	15	126
<i>Cobbonchus</i>	0	83
<i>Coomansus</i>	0	3
<i>Judonchulus</i>	0	3
<i>Monochus</i>	9	0
<i>Mononchus</i>	6	31
<i>Prionchulus</i>	0	7

<b>Taxon</b>	<b>Mùa mưa (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>	<b>Mùa khô (cá thể.10 cm<sup>-2</sup>)</b>
Mononchulidae	21	185
<i>Mononchulus</i>	21	185
Mylonchulidae	19	170
<i>Mylonchulus</i>	19	170
Triplonchida	247	1067
Bastianiidae	2	0
<i>Bastiania</i>	2	0
Odontolaimidae	0	12
<i>Odontolaimus</i>	0	12
Onchulidae	0	2
<i>Stenonchulus</i>	0	2
Prismatolaimidae	141	123
<i>Prismatolaimus</i>	141	123
Tobrilidae	105	735
<i>Brevitobrilus</i>	0	35
<i>Epitobrilus</i>	10	27
<i>Eutobrilus</i>	0	1
<i>Neotobrilus</i>	54	210
<i>Paratrilobus</i>	0	148
<i>Semitobrilus</i>	14	47
<i>Tobrilidae</i>	27	2
<i>Tobrilus</i>	0	266
Tripylidae	0	194
<i>Tripyla</i>	0	194
<b>Tổng</b>	<b>42871</b>	<b>62139</b>

**Phụ lục 6.** Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các đặc điểm của QXTT sông Ba Lai

Đặc điểm QXTT	Yếu tố	p-values	Hậu kiểm Tukey HSD
Mật độ	Mùa	<0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G3, G9, G11, G12, G14; G2≠G4, G6, G9; G3≠G4, G6, G9; G4≠G5, G7; G5≠G6, G9; G6≠G7, G8; G7≠G9; G8≠G9; G10≠G2, G3, G5, G7, G8; G11≠G2, G3, G5, G7, G8; G12≠G2, G3, G5, G7, G8; G13≠G2, G3, G5, G7; G14≠G2, G3, G5, G7, G8; G15≠G2, G3, G5, G7, G8; G16≠G2, G3, G5, G7, G8
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
S	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G6, G16; G2≠G5, G6; G10≠G5, G6, G8, G12, G16; G11≠G6, G16; G12≠G16; G13≠G16; G14≠G16; G15≠G16; G16≠G2→G5, G7→G9
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
d	Mùa	0,053	
	Vị trí	< 0,001	G1≠G5, G16; G2≠G5; G4≠G5; G5≠G9; G10≠G3, G5→G8, G13, G16; G11≠G3, G5, G6, G8, G16; G12≠G5, G16; G13≠G5, G16; G14≠G5, G16; G15≠G5, G8, G16; G16≠G2, G4, G7, G9
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
H'	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G5→G9, G16; G2≠G6→G8; G3≠G6; G10≠G5→G8, G16; G11≠G5→G8, G16; G14≠G6, G16; G15≠G6, G16; G16≠G2, G3
	Mùa × Vị trí	< 0,001	

<b>Đặc điểm QXTT</b>	<b>Yếu tố</b>	<b>p-values</b>	<b>Hậu kiểm Tukey HSD</b>
J'	Mùa	0,063	
	Vị trí	<0,001	G1≠G6→G9; G2≠G7; G10≠G7; G11≠G6, G7; G14≠G6→G8
	Mùa × Vị trí	<0,001	
N <sub>1</sub>	Mùa	<0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G5→G8, G13, G16; G2≠G5→G8; G3≠G6; G10≠G5→G8, G13, G16, G11≠G5→G8, G16; G14≠G6→G8, G16; G15≠G6, G16; G16≠G2, G3
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
N <sub>2</sub>	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G5→G8, G13, G16; G2≠G5→G8; G3≠G6, G7; G10≠G5→G8, G16, G11≠G5→G8, G13, G16; G14≠G6→G8, G16; G16≠G2, G3
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
N <sub>inf</sub>	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G6, G7, G16; G2≠G5→G8; G3≠G6, G7; G10≠G6, G7, G16, G11≠G5→G8, G13, G16; G13≠G14; G14≠G6, G7, G16; G16≠G2, G3
	Mùa × Vị trí	< 0,001	

**Phụ lục 7.** Kết quả so sánh mật độ và đa dạng sinh học quần xã tuyền trùng sông Ba Lai với một số khu vực ở Việt Nam, Đông Nam Á, và Thế giới

Địa điểm	Mật độ và đa dạng sinh học	Tham khảo
<b>Thế giới</b>		
Bờ biển Northumberl, Anh	Mật độ: 185 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> )	Warwick R.M. and Buchanan J.B. , 1971 [260]
Cửa sông Scheldt, Hà Lan	Mật độ: 483 – 3076 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> )	Soetaert và cộng sự, 1995 [126]
Cửa sông Vado Ligur, Italy	Mật độ: 343,47 - 4598,18 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> )	Losi và cộng sự, 2013 [264]
Địa Trung Hải	Mật độ: 79 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> )	Guille and Soyer, 1968 [261]
Larsemann Ice Shelf, East Antarctica	Số giống trung bình: 12,40 – 14,85; H': 2,07 - 2,32; d: 3,10 - 3,24	Baban Ingole and Ravail Singh, 2010 [268]
Một số cửa sông Australia	H': 2,01 - 2,91	Alongi, 1987 [269]
Keyhaven-Lymington, Anh	H' < 3	Barnes và cộng sự 2008 [270]
Victoria, SE Australia	21 giống, H': 0,558	Gwyther, 2003 [271]
Marennes-Oléron, Pháp	H': 2,7 - 3,5	Rzeznik-Orignac và cộng sự, 2003 [272]
Santa Catarina, South Brazil	H': 2,5 - 3,5	Netto và Gallucci, 2003 [273]
Vado Ligure, Italy	H': 2,35 - 4,79	Losi và cộng sự, 2013 [264]
Sông Mississippi, Hoa Kỳ	Mật độ: 10986 – 128379 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ), số giống: 23; H': 2,69 - 3,71; J': 0,70 – 0,82	Anderson, 1992 [265]

<b>Địa điểm</b>	<b>Mật độ và đa dạng sinh học</b>	<b>Tham khảo</b>
Các cửa sông: Elbe, Oder, Rhine, Germany	Mật độ: 98 – 958 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ), số giống: 3 - 34, H': 0,61 - 3,94	Heininger và cộng sự 2007 [262]
Sông Taro và Ticino, Italy	- Ở Taro: Mật độ: 23 - 79 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ), số giống: 5 - 15; - Ở Ticino: Mật độ: 79 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ), số giống: 3 - 10	Barbuto và Zullini, 2005 [263]
<b>Đông Nam Á</b>		
Merbok, Malaysia	107 giống	Somerfield và cộng sự, 1998 [274]
Sarawak, Malaysia	51 loài, 22 giống; mật độ: 148 – 412 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); S: 0-8,5; H': 0-1,6 ; J': 0-0,95	Chen và cộng sự, 2012 [275]
Quần đảo Krakatau, Indonesia	Ít nhất 77 giống, 8 bộ	Suatmadji và cộng sự, 1988 [276]
Selangor, Malaysia	29 giống; mật độ: 407 - 1109 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); sinh khối: 6,16 mg/10 cm <sup>2</sup> (ở trạm Avicennia); 7,54 mg/10 cm <sup>2</sup> (ở trạm Rhizophora); 0,96 mg/10 cm <sup>2</sup> (ở trạm Bruguiera)	Sasekuma, 1994 [277]
<b>Việt Nam</b>		
Sông Ba Lai, Bến Tre	190 giống, 67 họ, 11 bộ, 2 lớp; mật độ: 68 - 2379 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); S trung bình: 12 - 39,33; d: 1,64 - 6,94; H': 2,19 - 4,47; J': 0,55 - 0,84; N <sub>1</sub> : 4,58 - 22,34; N <sub>2</sub> : 2,84 - 15,16; N <sub>inf</sub> : 1,72 - 7,51	Nghiên cứu này (Luận án)
Cửa sông Mê Kông	Mật độ: 454 – 3137 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); d: 2,64 - 5,99; H': 1,83 – 4; N <sub>1</sub> : 1 - 2,3; N <sub>inf</sub> : 1 - 1,48	Ngo và cộng sự, 2010 [169]

Địa điểm	Mật độ và đa dạng sinh học	Tham khảo
Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh	Mật độ: 968 – 1758 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); S trung bình: 30 – 38; d: 4 - 5, H': 3,5 – 4; N <sub>1</sub> : 10 – 19; N <sub>2</sub> : 6 - 10, N <sub>inf</sub> : 3 - 5	Ngo và cộng sự, 2007 [257]
Cửa Lục, Quảng Ninh	H': 3,16 - 4,34	Pavlyuk và cộng sự, 2008 [164]
Sông Sài Gòn	Mật độ: 13,3 - 1649 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ); H': 0,62 - 3,43	Ngo và cộng sự, 2018c [258]
Suối Cau Ba, sông Cái Khế, sông Cầu	Mật độ: 600 – 90600 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ) ở sông Cái, 5000 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ) ở suối Cau Ba, 5000 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ) ở sông Cái Khế, 6900 (cá thể.10 cm <sup>-2</sup> ) ở sông Cầu	Gusakov và cộng sự, 2011 [267]
Sông Trà Lý (cửa sông Hồng, miền Bắc Việt Nam)	46 loài	Gagarin và Thanh N.V., 2012 [167]

**Phụ lục 8.** Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD chỉ số bền vững c-p và chỉ số sinh trưởng MI của QXTT sông Ba Lai

<b>Đặc điểm</b>	<b>Yếu tố</b>	<b>p-values</b>	<b>Hậu kiểm Tukey HSD</b>
%c-p 1&2	Mùa	0,96	
	Vị trí	0,009	G1≠G3, G4, G16; G2≠G3, G4, G16; G3≠G5, G9, G10, G12→G14; G4≠G5, G9→G14; G5≠G16; G10≠G16; G12≠G16; G13≠G16
	Mùa × Vị trí	0,03	
%c-p 3	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	0,16	
	Mùa × Vị trí	0,08	
%c-p 4&5	Mùa	< 0,001	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	0,28	
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
MI	Mùa	0,03	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	0,02	G1≠G3, 4; G2≠G3, G4, G16; G3≠G5, G9, G10, G12→G14; G4≠G5, G9, G10, G12→G14; G5≠G16; G9≠G16; G10≠G16; G13≠G16
	Mùa × Vị trí	0,009	

**Phụ lục 9.** Kết quả phân tích phương sai ANOVA 2 yếu tố (Mùa: khô, mưa; Vị trí: 16 vị trí khảo sát) và phân tích hậu kiểm Tukey HSD các kiểu dinh dưỡng và chỉ số dinh dưỡng ITD của QXTT sông Ba Lai

<b>Đặc điểm</b>	<b>Yếu tố</b>	<b>p-values</b>	<b>Hậu kiểm Tukey HSD</b>
%1A	Mùa	0,03	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G11, 15; G3≠G11, 15, 16; G4≠G11, 15, 16; G5≠G11, 15; G6≠G11, 15, 16; G7≠G15; G8≠G11, G15, G16; G9≠G11, G15, G16; G10≠G11, G15, G16
	Mùa × Vị trí	< 0,001	
%1B	Mùa	0,18	
	Vị trí	0,01	G3≠G12, 15
	Mùa × Vị trí	0,30	
%2A	Mùa	0,34	
	Vị trí	0,002	G3≠G12; G4≠G12; G12≠G14
	Mùa × Vị trí	0,74	
%2B	Mùa	0,15	
	Vị trí	0,79	
	Mùa × Vị trí	0,03	
ITD	Mùa	0,04	Khô ≠ Mưa
	Vị trí	< 0,001	G1≠G12; G3≠G11, G12; G4≠G11, G12; G6≠G11, G12
	Mùa × Vị trí	0,009	

**Phụ lục 10. Kết quả phân tích ANOVA 2 yếu tố “Mùa” và “Vị trí”****1.1. Khí Hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S)**

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	2.06314	3	0.687712	295.38	0.0000
B: Vị trí	0.408768	15	0.0272512	11.70	0.0000
INTERACTIONS					
AB	1.12274	45	0.0249498	10.72	0.0000
RESIDUAL	0.447017	192	0.00232821		
TOTAL (CORRECTED)	4.04166	255			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

**1.2. Khí methane (CH<sub>4</sub>)**

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	3.97489	3	1.32496	116.67	0.0000
B: Vị trí	8.67381	15	0.578254	50.92	0.0000
INTERACTIONS					
AB	13.5574	45	0.301276	26.53	0.0000
RESIDUAL	3.53185	311	0.0113564		
TOTAL (CORRECTED)	27.458	374			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

**1.3. %Cát**

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	585.643	2	292.822	8.04	0.0010
B: Vị trí	1593.21	15	106.214	2.92	0.0025
INTERACTIONS					
AB	2062.89	30	68.7631	1.89	0.0242
RESIDUAL	1748.61	48	36.4293		

TOTAL (CORRECTED)	5990.36	95			
-------------------	---------	----	--	--	--

All F-ratios are based on the residual mean square error.

#### 1.4. % Bùn

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	325.243	2	162.622	5.04	0.0103
B: Vị trí	1296.06	15	86.4041	2.68	0.0049
INTERACTIONS					
AB	2004.15	30	66.8048	2.07	0.0118
RESIDUAL	1547.92	48	32.2483		
TOTAL (CORRECTED)	5173.37	95			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

#### 1.5. % Sét

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	173.98	2	86.9899	101.05	0.0000
B: Vị trí	228.612	15	15.2408	17.70	0.0000
INTERACTIONS					
AB	385.959	30	12.8653	14.94	0.0000
RESIDUAL	41.3227	48	0.860889		
TOTAL (CORRECTED)	829.873	95			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

#### 1.6. pH

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	0.00413828	2	0.00206914	95.01	0.0000
B: Vị trí	0.00305606	15	0.000203737	9.36	0.0000
INTERACTIONS					
AB	0.00356576	30	0.000118859	5.46	0.0000

RESIDUAL	0.00104531	48	0.0000217772		
TOTAL (CORRECTED)	0.0118054	95			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

### 1.7. Độ Mặn (độ dẫn điện)

Analysis of Variance for Col\_3 - Type III Sums of Squares

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A: Mùa	4.73862	2	2.36931	1824.54	0.0000
B: Vị trí	9.44809	15	0.629872	485.05	0.0000
INTERACTIONS					
AB	0.407349	30	0.0135783	10.46	0.0000
RESIDUAL	0.0623319	48	0.00129858		
TOTAL (CORRECTED)	14.6564	95			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## 2. Phân tích tương quan - Hồi quy

### 2.1. Simple Regression - H<sub>2</sub>S vs. ORP

Dependent variable: H<sub>2</sub>S

Independent variable: ORP

Linear model:  $Y = a + b \cdot X$

Number of observations: 32

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-0.0968211	0.141557	-0.683973	0.4992
Slope	-0.00134221	0.000494402	-2.71481	0.0109

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.235528	1	0.235528	7.37	0.0109
Residual	0.958702	30	0.0319567		
Total (Corr.)	1.19423	31			

Correlation Coefficient = -0.444096

R-squared = 19.7222 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 17.0462 percent

Standard Error of Est. = 0.178764

Mean absolute error = 0.134852

Durbin-Watson statistic = 1.07816 (P=0.0019)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.439353

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a linear model to describe the relationship between H<sub>2</sub>S and ORP.

The equation of the fitted model is

$$\text{H}_2\text{S} = -0.0968211 - 0.00134221 * \text{ORP}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between H<sub>2</sub>S and ORP at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 19.7222% of the variability in H<sub>2</sub>S. The correlation coefficient equals -0.444096, indicating a relatively weak relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.178764. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.134852 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

## 2.2. Simple Regression - CH<sub>4</sub> vs. ORP

Dependent variable: CH<sub>4</sub>

Independent variable: ORP

Exponential model:  $Y = \exp(a + b * X)$

Number of observations: 24

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-2.07598	0.386796	-5.36712	0.0000
Slope	-0.00602008	0.00180419	-3.33672	0.0030

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	16.2903	1	16.2903	11.13	0.0030
Residual	32.1892	22	1.46315		
Total (Corr.)	48.4795	23			

Correlation Coefficient = -0.579676

R-squared = 33.6024 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 30.5843 percent

Standard Error of Est. = 1.20961

Mean absolute error = 0.97705

Durbin-Watson statistic = 1.61566 (P=0.1493)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.097034

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting an exponential model to describe the relationship between CH<sub>4</sub> and ORP. The equation of the fitted model is

$$\text{CH}_4 = \exp(-2.07598 - 0.00602008 \cdot \text{ORP})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between CH<sub>4</sub> and ORP at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 33.6024% of the variability in CH<sub>4</sub> after transforming to a reciprocal scale to linearize the model. The correlation coefficient equals -0.579676, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 1.20961. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.97705 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since

the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

### 2.3. Simple Regression - H<sub>2</sub>S vs. Salinity (Độ mặn)

Dependent variable: H<sub>2</sub>S

Independent variable: Độ mặn

Double-squared:  $Y = \text{sqrt}(a + b \cdot X^2)$

Number of observations: 32

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.435504	0.102745	4.2387	0.0002
Slope	0.00881443	0.00105541	8.35169	0.0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	21.0172	1	21.0172	69.75	0.0000
Residual	9.03955	30	0.301318		
Total (Corr.)	30.0567	31			

Correlation Coefficient = 0.836212

R-squared = 69.925 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 68.9225 percent

Standard Error of Est. = 0.548925

Mean absolute error = 0.387163

Durbin-Watson statistic = 1.47697 (P=0.0470)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.233843

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a double squared model to describe the relationship between H<sub>2</sub>S and Độ mặn. The equation of the fitted model is

$$H_2S = \text{sqrt}(0.435504 + 0.00881443 \cdot \text{Độ mặn}^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between H<sub>2</sub>S and Con at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 69.925% of the variability in H<sub>2</sub>S. The correlation coefficient equals 0.836212, indicating a moderately strong relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.548925. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.387163 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

**2.4. Simple Regression - H<sub>2</sub>S vs. % Sét**

Dependent variable: H<sub>2</sub>S

Independent variable: % Sét

Reciprocal-X model:  $Y = a + b/X$

Number of observations: 32

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.301109	0.148291	2.03053	0.0512
Slope	1.1954	0.384617	3.10802	0.0041

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1.82399	1	1.82399	9.66	0.0041
Residual	5.6647	30	0.188823		
Total (Corr.)	7.4887	31			

Correlation Coefficient = 0.493524

R-squared = 24.3566 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 21.8352 percent

Standard Error of Est. = 0.434538

Mean absolute error = 0.317492

Durbin-Watson statistic = 1.58818 (P=0.1047)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.147667

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a reciprocal-X model to describe the relationship between H<sub>2</sub>S and % Sét. The equation of the fitted model is

$$\text{H}_2\text{S} = 0.301109 + 1.1954/\% \text{ Sét}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between H<sub>2</sub>S and Set at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 24.3566% of the variability in H<sub>2</sub>S. The correlation coefficient equals 0.493524, indicating a relatively weak relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.434538. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.317492 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is greater than 0.05, there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0% confidence level.

## 2.5. Simple Regression - CH<sub>4</sub> vs. ORP

Dependent variable: CH<sub>4</sub>

Independent variable: ORP

Square root-Y model:  $Y = (a + b \cdot X)^2$

Number of observations: 29

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-0.310778	0.249963	-1.2433	0.2244
Slope	-0.00295533	0.00117223	-2.52111	0.0179

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.40007	1	0.40007	6.36	0.0179

Residual	1.69948	27	0.0629436		
Total (Corr.)	2.09955	28			

Correlation Coefficient = -0.436521

R-squared = 19.0551 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 16.0571 percent

Standard Error of Est. = 0.250886

Mean absolute error = 0.200921

Durbin-Watson statistic = 1.20725 (P=0.0092)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.360918

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a square root-Y model to describe the relationship between CH<sub>4</sub> and ORP. The equation of the fitted model is

$$\text{CH}_4 = (-0.310778 - 0.00295533 \cdot \text{ORP})^2$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between CH<sub>4</sub> and ORP at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 19.0551% of the variability in CH<sub>4</sub> after transforming to a logarithmic scale to linearize the model. The correlation coefficient equals -0.436521, indicating a relatively weak relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.250886. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.200921 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

## 2.6. Simple Regression - H<sub>2</sub>S vs. pH

Dependent variable: H<sub>2</sub>S

Independent variable: pH

Double-squared:  $Y = \sqrt{a + b \cdot X^2}$

Number of observations: 32

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-0.0956928	0.0204856	-4.67121	0.0001
Slope	0.00218936	0.000451758	4.84631	0.0000

### Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0.000614542	1	0.000614542	23.49	0.0000
Residual	0.000784966	30	0.0000261655		
Total (Corr.)	0.00139951	31			

Correlation Coefficient = 0.662656

R-squared = 43.9113 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 42.0416 percent

Standard Error of Est. = 0.00511523

Mean absolute error = 0.0040037

Durbin-Watson statistic = 1.10891 (P=0.0038)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.436594

### The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a double squared model to describe the relationship between H<sub>2</sub>S and pH. The equation of the fitted model is

$$\text{H}_2\text{S} = \text{sqrt}(-0.0956928 + 0.00218936 * \text{pH}^2)$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between H<sub>2</sub>S and pH at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 43.9113% of the variability in H<sub>2</sub>S. The correlation coefficient equals 0.662656, indicating a moderately strong relationship between the variables.

The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.00511523. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.0040037 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since

the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

**2.7. Simple Regression - H<sub>2</sub>S vs. % Sét**

Dependent variable: H<sub>2</sub>S

Independent variable: % Sét

Logarithmic-X model:  $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Number of observations: 96

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.779194	0.0748404	10.4114	0.0000
Slope	-0.185275	0.0599847	-3.08871	0.0026

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1.81647	1	1.81647	9.54	0.0026
Residual	17.8979	94	0.190403		
Total (Corr.)	19.7144	95			

Correlation Coefficient = -0.303545

R-squared = 9.21393 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 8.24812 percent

Standard Error of Est. = 0.436352

Mean absolute error = 0.332982

Durbin-Watson statistic = 1.2803 (P=0.0001)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.339996

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a logarithmic-X model to describe the relationship between H<sub>2</sub>S and % Sét. The equation of the fitted model is

$$H_2S = 0.779194 - 0.185275 \cdot \ln(\% \text{ Sét})$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between H<sub>2</sub>S and Set at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 9.21393% of the variability in H<sub>2</sub>S after transforming to a Y/(1-Y) scale to linearize the model. The correlation coefficient equals -0.303545, indicating a relatively weak relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.436352. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.332982 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

## 2.8. Simple Regression - CH<sub>4</sub> vs. ORP

Dependent variable: CH<sub>4</sub>

Independent variable: ORP

Linear model:  $Y = a + b \cdot X$

Number of observations: 110

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0.0372281	0.218507	0.170375	0.8650
Slope	-0.00213016	0.000927191	-2.29743	0.0235

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	3.94284	1	3.94284	5.28	0.0235
Residual	80.6763	108	0.747003		
Total (Corr.)	84.6192	109			

Correlation Coefficient = -0.215859

R-squared = 4.65951 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 3.77672 percent

Standard Error of Est. = 0.864293

Mean absolute error = 0.537707

Durbin-Watson statistic = 1.61269 (P=0.0209)

Lag 1 residual autocorrelation = 0.191605

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a linear model to describe the relationship between CH<sub>4</sub> and ORP.

The equation of the fitted model is

$$\text{CH}_4 = 0.0372281 - 0.00213016 * \text{ORP}$$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0.05, there is a statistically significant relationship between CH<sub>4</sub> and ORP at the 95.0% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 4.65951% of the variability in CH<sub>4</sub>. The correlation coefficient equals -0.215859, indicating a relatively weak relationship between the variables. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.864293. This value can be used to construct prediction limits for new observations by selecting the Forecasts option from the text

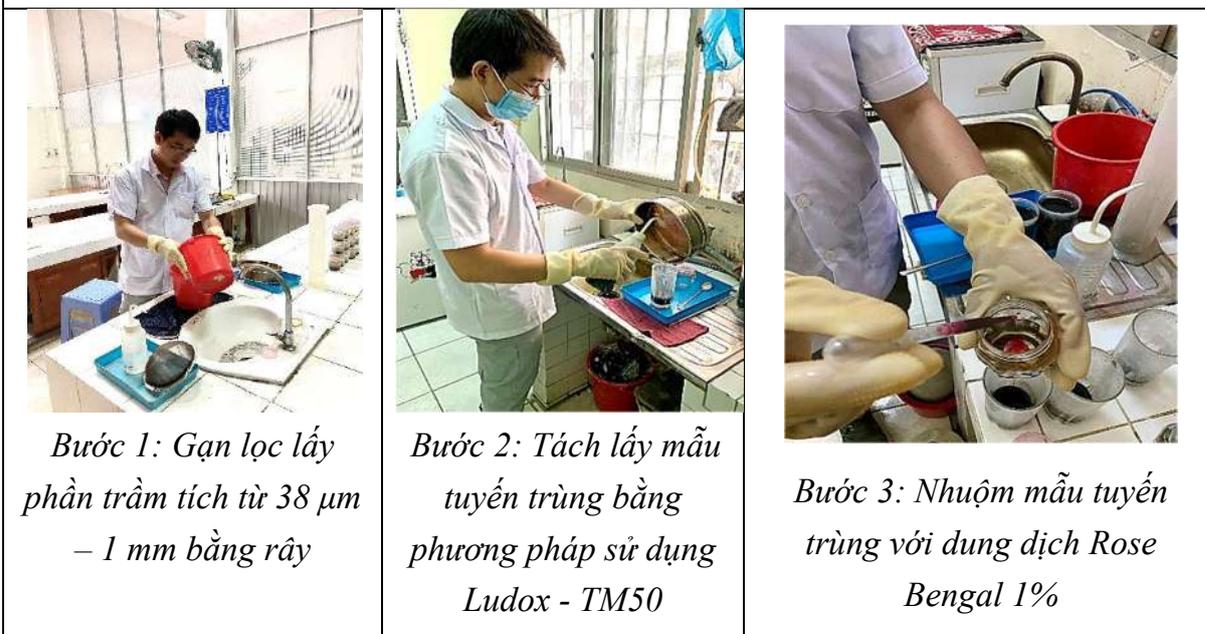
menu.

The mean absolute error (MAE) of 0.537707 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the P-value is less than 0.05, there is an indication of possible serial correlation at the 95.0% confidence level. Plot the residuals versus row order to see if there is any pattern that can be seen.

**Phụ lục 11. Một số hình ảnh Nghiên cứu sinh đi thực địa thu mẫu và xử lý mẫu  
Tuyến trùng tại Sông Ba Lai, tỉnh Bến Tre**



**Hình 11.1 Thu mẫu tuyến trùng ngoài thực địa sông Ba Lai**



**Hình 11.2. Xử lý mẫu trong phòng thí nghiệm**

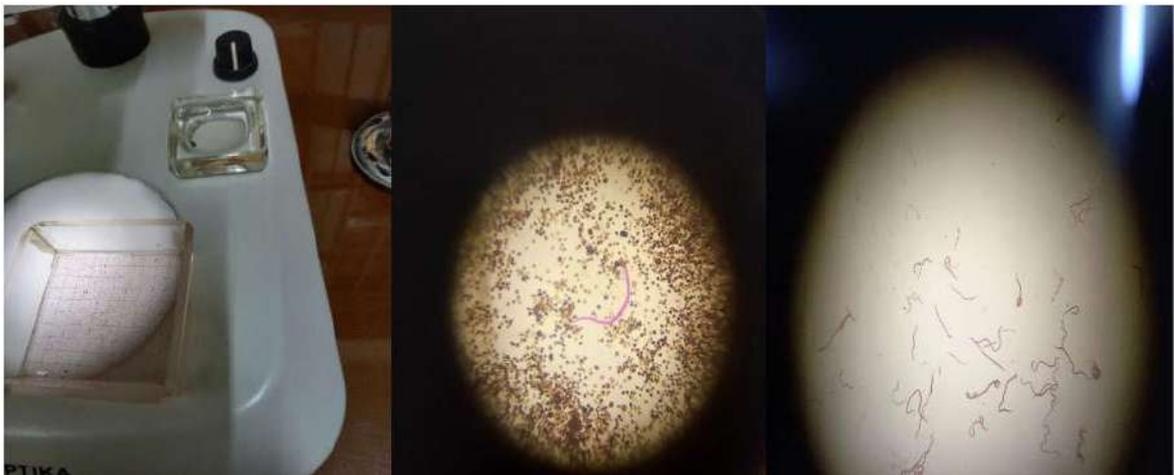
**Hình 11.3. Trước, trong và sau khi tách tuyến trùng**



**Hình 11. 4. Nhuộm tuyến trùng**



**Hình 11.5. Đếm mật độ và gắp tuyến trùng**



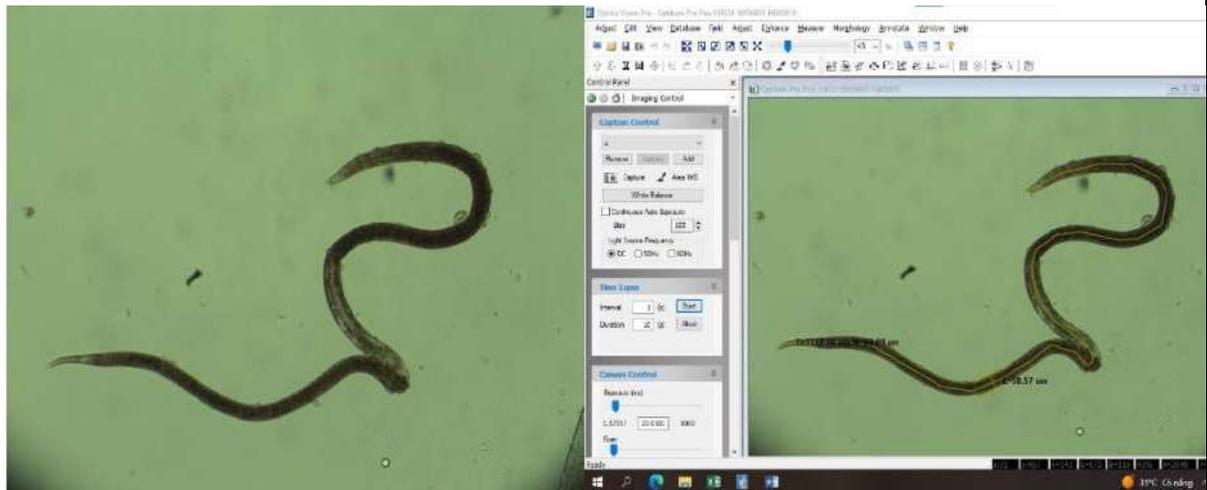
**Hình 11.6. Làm tiêu bản**



**Hình 11.7. Định danh từng cá thể tuyến trùng**



**Hình 11.8. Đo kích thước tuyến trùng**



# **PHẦN II**

## **PHỤ LỤC GỒM CÁC TÀI LIỆU CỦA PHIÊN HỌP BẢO VỆ LUẬN ÁN CẤP HỌC VIỆN**

Bao gồm:

01. Quyết định thành lập Hội đồng đánh giá luận án cấp viện (Bản có dấu đỏ);
02. Các bản nhận xét của tất cả các thành viên Hội đồng (Bản Photocopy);
03. Biên bản và nghị quyết, bản tổng hợp nhận xét của Hội đồng đánh giá luận án cấp viện (Bản có dấu đỏ);
04. Văn bản báo cáo chi tiết về các điểm đã bổ sung, sửa chữa trong luận án theo nghị quyết của Hội đồng cấp Học viện (Bản có dấu đỏ);

Số: 1517 /QĐ-HVKHCN

Hà Nội, ngày 22 tháng 12 năm 2025

**QUYẾT ĐỊNH**  
**Về việc thành lập Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện**

**GIÁM ĐỐC**  
**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

Căn cứ Quyết định số 364/QĐ-VHL ngày 01/03/2025 của Chủ tịch Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam về việc ban hành Quy chế tổ chức và hoạt động của Học viện Khoa học và Công nghệ;

Căn cứ Thông tư số 08/2017/TT-BGDĐT ngày 04/04/2017 của Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành Quy chế tuyển sinh và đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Quyết định số 1948/QĐ-HVKHCN ngày 28/12/2018 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc ban hành Quy định đào tạo trình độ tiến sĩ tại Học viện Khoa học và Công nghệ;

Căn cứ Quyết định số 566/QĐ-HVKHCN ngày 01/06/2020 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc công nhận nghiên cứu sinh trúng tuyển đợt 1 năm 2020 Chương trình thông thường;

Căn cứ Quyết định số 466/QĐ-HVKHCN ngày 30/05/2025 của Giám đốc Học viện về việc gia hạn thời gian học tập lần 2: 09 tháng từ 01/06/2025-01/03/2026 cho NCS Phạm Ngọc Hoài;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo.

**QUYẾT ĐỊNH:**

**Điều 1.** Thành lập Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện cho nghiên cứu sinh Phạm Ngọc Hoài với đề tài:

Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

Ngành: Sinh thái học

Mã số: 9 42 01 20

Danh sách thành viên Hội đồng đánh giá luận án kèm theo Quyết định này.

**Điều 2.** Hội đồng có trách nhiệm đánh giá luận án tiến sĩ theo đúng quy chế hiện hành của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Học viện Khoa học và Công nghệ.

Quyết định có hiệu lực tối đa 90 ngày kể từ ngày ký. Hội đồng tự giải thể sau khi hoàn thành nhiệm vụ.

**Điều 3.** Trưởng phòng Tổ chức - Hành chính, Trưởng phòng Đào tạo, Trưởng phòng Kế toán, các thành viên có tên trong danh sách Hội đồng và nghiên cứu sinh có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này. /.

**Nơi nhận:**

- Như Điều 3;
- Lưu hồ sơ NCS;
- Lưu: VT, ĐT, MT17.



**GIÁM ĐỐC**

**GS.TS. Vũ Đình Lãm**

**DANH SÁCH HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
CẤP HỌC VIỆN**



(Kèm theo Quyết định số 1517/QĐ-HVKHCN ngày 22/12/2025  
của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ)

Cho luận án của nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Tên đề tài: Tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

Ngành: Sinh thái học

Mã số: 9 42 01 20

Thầy hướng dẫn: 1. PGS. TS. Ngô Xuân Quảng

- Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCNVN

2. TS. Nguyễn Minh Ty

- Trường Đại học Thủ Dầu Một, Ủy ban nhân dân Thành phố Hồ Chí Minh

TT	Họ và tên, học hàm, học vị	Chuyên ngành	Cơ quan công tác	Trách nhiệm trong Hội đồng
1	PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo	Sinh học	Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCNVN	Chủ tịch
2	PGS.TS. Phạm Thanh Lưu	Sinh thái học	Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Tổng Liên đoàn lao động Việt Nam	Phản biện 1
3	PGS.TS. Trần Ngọc Diễm My	Sinh thái học	Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM	Phản biện 2
4	TS. Nguyễn Trần Thiện Khánh	Khoa học và kỹ thuật công nghệ môi trường	Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia TP.HCM	Phản biện 3
5	TS. Nguyễn Trần Vỹ	Sinh thái học	Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCNVN	Ủy viên - Thư ký
6	PGS.TS. Vũ Cẩm Lương	Nuôi trồng và Quản lý nguồn lợi thủy sản	Trường Đại học Nông lâm TP.HCM, Bộ Giáo dục và Đào tạo	Ủy viên
7	PGS.TS. Phạm Đình Dũ	Hóa lý thuyết và Hóa lý	Trường Đại học Thủ Dầu Một, Ủy ban Nhân dân TP. Hồ Chí Minh	Ủy viên

(Hội đồng gồm 07 thành viên)./. *Jc*



**DANH SÁCH HỘI ĐỒNG  
ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN**

Nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Đề tài: Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

Ngành: Sinh thái học

Mã số: 9 42 01 20

Thời gian: Bắt đầu từ 9h00, Thứ Hai, ngày 02 tháng 02 năm 2026.

TT	CHỨC DANH KHOA HỌC HỌ VÀ TÊN	ĐƠN VỊ CÔNG TÁC	TRÁCH NHIỆM	CHỮ KÝ
1.	PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo	Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCNVN	Chủ tịch	
2.	PGS.TS. Phạm Thanh Lưu	Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Tổng Liên đoàn lao động Việt Nam	Phản biện 1	
3.	PGS.TS. Trần Ngọc Diễm My	Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM	Phản biện 2	
4.	TS. Nguyễn Trần Thiện Khánh	Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia TP.HCM	Phản biện 3	
5.	TS. Nguyễn Trần Vỹ	Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm KHCNVN	Ủy viên - Thư ký	
6.	PGS.TS. Vũ Cẩm Lương	Trường Đại học Nông lâm TP.HCM, Bộ Giáo dục và Đào tạo	Ủy viên	
7.	PGS.TS. Phạm Đình Dũ	Trường Đại học Thủ Dầu Một, Ủy ban Nhân dân TP. Hồ Chí Minh	Ủy viên	

Danh sách này gồm 07 thành viên./.

## BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên người viết nhận xét luận án: Nguyễn Thị Phương Thảo

Học hàm, học vị: PGS, TS.

Cơ quan công tác: Viện Khoa học sự sống

Họ và tên nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Tên đề tài luận án: Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

### Ý KIẾN NHẬN XÉT

#### 1. Tính cần thiết, thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài:

Trong những năm gần đây, các công trình thủy lợi phục vụ phát triển công – nông nghiệp cũng như đập chắn ngăn mặn được xây dựng khá mạnh đã tác động đến dòng chảy, gây tích tụ và phân hủy chất hữu cơ làm phát sinh khí hydro sulfua, metan trong trầm tích đáy, ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái thủy sinh, trong đó có tuyển trùng- đây là một trong những loài sinh vật quan trọng và là một công cụ đáng tin cậy được sử dụng trong đánh giá và giám sát môi trường. Do vậy, việc nghiên cứu tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

Ý nghĩa khoa học: cung cấp cơ sở dữ liệu về phân bố của các loài tuyển trùng sống tự do trong sông Ba Lai phục vụ tra cứu, tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu sâu và xa hơn trong công tác bảo tồn đất ngập nước và quản lý môi trường thủy vực.

Ý nghĩa thực tiễn: kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng cho giám sát, đánh giá và đề xuất giải pháp quản lý môi trường cho những dòng sông khi xây dựng các đập chắn.

#### 2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo

Kết quả nghiên cứu của đề tài tập không có trùng lặp với các công trình, luận văn hay luận án đã công bố trong và ngoài nước.

Tài liệu tham khảo trong các phần của luận án được trích dẫn rõ ràng, đầy đủ và đảm bảo tính trung thực.

### **3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành**

Các nội dung nghiên cứu đáp ứng với tên đề tài đã đặt ra; Nội dung nghiên cứu phù hợp với và mã ngành sinh thái học.

### **4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp đã sử dụng để nghiên cứu**

Đề tài sử dụng các phương pháp thường quy trong nghiên cứu sinh học môi trường, hóa sinh học và sinh thái học nên đảm bảo độ tin cậy.

### **5. Kết quả nghiên cứu mới của tác giả; những đóng góp mới cho sự phát triển khoa học chuyên ngành; đóng góp mới phục vụ cho sản xuất, kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống. ý nghĩa khoa học, giá trị và độ tin cậy của những kết quả đó**

**Những kết quả nghiên cứu mới của luận án gồm:**

-Nồng độ khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  trong toàn chiều dài sông Ba Lai lần đầu tiên được nghiên cứu đầy đủ theo không gian và thời gian. Đây là vùng cửa sông duy nhất thuộc hệ thống của sông Cửu Long bị đập chắn trên dòng chính;

-Tìm ra và ghi nhận được các mức độ ảnh hưởng của khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  đối với các đặc tính của quần xã tuyến trùng sông tự do như độ phong phú loài, mật độ phân bố, các tính chất đa dạng thông qua các chỉ số đại diện, cấp độ của các nhóm chỉ thị, các loài ưu thế cũng như các tính chất nội tại khác của quần xã tuyến trùng sông tự do trong nền đáy trầm tích sông Ba Lai;

-Đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai thông qua quần xã tuyến trùng làm chỉ thị. Đồng thời cung cấp những dữ liệu khoa học liên quan trong việc vận hành công đập Ba Lai, phục vụ giám sát và quản lý môi trường nước.

### **6. Ưu điểm và nhược điểm về nội dung, kết cấu và hình thức của luận án**

Ưu điểm: Luận án có tính mới, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Những điểm cần chỉnh sửa, bổ sung:

- Hình thức: rà soát lại lỗi chính tả, cách viết các đơn vị tính, thống nhất cách ghi công thức hóa học của khí metan và hydro sulfua...

- Nội dung:

+ Tổng quan: bổ sung các nghiên cứu có liên quan đến việc sử dụng tuyến trùng làm chỉ thị với khí nhà kính nói chung và  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  nói riêng ở sông Ba Lai cũng như ở các cửa sông khác trong nước và trên thế giới.

+ Vật liệu và phương pháp nghiên cứu: chỉ thị môi trường liên quan của tuyến trùng với  $\text{H}_2\text{S}$  và  $\text{CH}_4$

+ Kết quả - thảo luận:

+ Bổ sung tên các trục tung và hoành ở các hình 3.1 (tr.44), 3.4 (tr.46), 3.6 (tr.48),...;

+ Số liệu về phân bố tuyến trùng và thành phần loài, mật độ, các chỉ số tuyến trùng nên trình bày thống nhất về các vị trí của đập (trong đập, ngoài đập, thượng nguồn);

+ Tài liệu tham khảo: lược bỏ những tài liệu nghiên cứu đã quá cũ ...

**7. Nội dung của luận án đã được công bố trên tạp chí, kỷ yếu Hội nghị Khoa học nào và giá trị của các công trình đã công bố (cấp công bố WoS (SSCI, SCI/E, ESCI ...), Scopus, quốc tế có phản biện, tạp chí trong nước được tính điểm theo Hội đồng Giáo sư nhà nước ... và xếp hạng SCIMAGO)**

Kết quả nghiên cứu của luận án được công bố trong các tạp chí trong và ngoài nước như sau: 01 bài trên tạp chí quốc tế uy tín trong danh mục SCIE Q2; 02 bài trên tạp chí KHCN ĐH Thái Nguyên; và 01 bài trên tạp chí Sinh học của VAST. Trong đó, NCS đứng tên đầu 02 bài trên tạp chí KHCN ĐH Thái Nguyên KHCN ĐH Thái Nguyên, còn lại là đồng tác giả. Tất cả các công bố này đều là những tạp chí uy tín trong và ngoài nước có phản biện độc lập và được Hội đồng Giáo sư nhà nước tính điểm.

**8. Kết luận chung cần khẳng định:**

- Luận án đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về hình thức và nội dung đối với một luận án Tiến sĩ chuyên ngành;

- Bản tóm tắt luận án phản ánh trung thực nội dung cơ bản của luận án;

- Luận án có thể đưa ra bảo vệ cấp Học viện để nhận bằng Tiến sĩ.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 14 tháng 01 năm 2026  
(Ký và ghi rõ họ và tên)*



**PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo**

## BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên người viết nhận xét luận án: Phạm Thanh Lưu

Học hàm, học vị: PGS.TS.

Cơ quan công tác: Trường đại học Tôn Đức Thắng

Họ và tên nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Tên đề tài luận án: Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

### Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Tính cần thiết, thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài:

Việc gia tăng các đập chắn trên sông Ba Lai và ở khu vực ĐBSCL đã làm thay đổi mạnh mẽ chế độ thủy văn, dòng chảy và quá trình vận chuyển trầm tích, dẫn đến hiện tượng tích tụ vật chất hữu cơ và phát sinh khí hydro sulfua, metan trong trầm tích đáy. Những biến đổi này gây suy thoái môi trường, ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái thủy sinh. Do đó, việc nghiên cứu tuyển trùng với vai trò là sinh vật chỉ thị trở nên cần thiết và mang tính thời sự và thực tiễn. Về mặt khoa học, đề tài góp phần làm rõ các tương tác của quần xã tuyển trùng với các yếu tố môi trường và khí nhà kính từ trầm tích trong điều kiện dòng sông bị ngăn dòng. Về thực tiễn, kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng cho giám sát, đánh giá và đề xuất giải pháp quản lý môi trường cho những dòng sông khi xây dựng các đập chắn.

2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo.

Đề tài tập trung khai thác tuyển trùng sông Ba Lai trong mối liên hệ với trầm tích tích tụ khí hydro sulfua và metan dưới tác động của đập chắn, đề tài không có trùng lặp với các công trình, luận văn hay luận án đã công bố trong và ngoài nước. Nội dung nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở kế thừa có chọn lọc các tài liệu liên quan, đảm bảo tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong việc trích dẫn, sử dụng tài liệu tham khảo theo đúng chuẩn mực khoa học.

3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành.

Tên đề tài phản ánh tốt và đầy đủ các nội dung nghiên cứu, tập trung vào tuyển trùng và điều kiện trầm tích đặc thù tại sông Ba. Nội dung nghiên cứu phù hợp chặt chẽ với hướng tiếp cận sinh học môi trường và sinh thái học, phù hợp với ngành Sinh học.

4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp đã sử dụng để nghiên cứu.

Đề tài sử dụng các phương pháp nghiên cứu có độ tin cậy cao, được thừa nhận rộng rãi trong lĩnh vực sinh học môi trường và sinh thái học. Việc thu mẫu, phân tích tuyển trùng

8. Kết luận chung cần khẳng định:

- Mức độ đáp ứng các yêu cầu đối với một luận án tiến sĩ ngành.
- Bản tóm tắt luận án có phản ánh trung thành nội dung cơ bản của luận án không.
- Luận án có thể đưa ra bảo vệ cấp Học viện để nhận bằng Tiến sĩ được hay không.

Luận án đáp ứng đầy đủ các yêu cầu đối với một luận án tiến sĩ ngành Sinh học, thể hiện rõ tính mới, tính khoa học và giá trị thực tiễn của nghiên cứu. Nội dung nghiên cứu được triển khai có hệ thống, phương pháp phù hợp, kết quả đáng tin cậy và đóng góp thiết thực cho chuyên ngành.

Bản tóm tắt luận án phản ánh trung thực, rõ ràng các nội dung cơ bản, mục tiêu, phương pháp, kết quả và những đóng góp mới của luận án.

Với chất lượng khoa học và hình thức trình bày đạt yêu cầu, luận án đủ điều kiện để đưa ra bảo vệ cấp Học viện nhằm xét công nhận học vị Tiến sĩ.

## CÁC GÓP Ý KHÁC ĐỂ HOÀN THIỆN LUẬN ÁN

### Tổng quan

Trong phần tổng quan tác giả đã đề cập nhiều đến: hiện trạng xây dựng đập chắn; ảnh hưởng của đập chắn; tổng quan về khí nhà kính H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>; quần xã tuyền trùng ở vùng cửa sông,... Tuy nhiên còn thiếu khoản trống nghiên cứu liên quan đến chỉ thị tuyền trùng với khí nhà kính nói chung và H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> nói riêng ở sông Ba Lai cũng như ở các cửa sông khác trong nước và trên thế giới.

Riêng ở sông Ba Lai, nếu chưa có nghiên cứu nào liên quan đến tuyền trùng chỉ thị khí nhà kính cần mạnh dạn đề cập là: Mặc dù đã có một số nghiên cứu về tuyền trùng ở sông Ba Lai và khu vực sông Mê Công liên quan đến cấu trúc trầm tích và yếu tố môi trường nhưng chưa có nghiên cứu sử dụng chỉ thị tuyền trùng với khí nhà kính để làm nổi bật hơn tính mới của luận án.

Trong phần tổng quan (tr20, 21) cần đề cập thêm các nghiên cứu trước đây về tuyền trùng với các khí nhà kính;

Một số đoạn trong phần chương 1-Tổng quan, NCS nên xem xét tách đoạn cho đoạn văn mạch lạc hơn. Vd: dòng "Theo Văn Hữu Tập (2015),... ở trang 6; dòng "Đập chắn làm đảo lộn quá trình luân chuyển vật chất,...";

Làm rõ thêm trong phần 1.5.3 (tr30) hoặc viết thêm 1 phần 1.5.4. Tổng quan các nghiên cứu về chỉ thị môi trường nước, trầm tích, khí nhà kính và quần xã tuyền trùng ở sông Ba Lai, để từ đó làm rõ và chỉ ra được các khoản trống nghiên cứu.

Rất nhiều tài liệu trích dẫn ở chương 1-Tổng quan đã quá cũ, 20, 30-40 năm, or 50-60 năm,... mà rất hiếm các tài liệu công bố 3-5 năm trở lại đây; Hơn 200 tài liệu trích dẫn trong phần này, nhưng chỉ có đâu đó 5-7 tài liệu sau 2020; thiếu tính thời đại. Đề nghị NCS rà soát loại bớt những tài liệu cũ ko cần thiết thay thế bằng các tài liệu mới công bố 3-5 năm trở lại đây để tăng tính thời sự cho luận án.

Format đơn vị: 10<sup>3</sup>.10cm<sup>-2</sup>; cá thể/10cm<sup>2</sup>; có/ko có khoảng trắng giữa số và đơn vị,...

Cách ghi: CH<sub>4</sub>/metan; hydrosulfua/H<sub>2</sub>S: cần thống nhất cách ghi trong toàn bài.

Phân kết quả trình bày chưa nhất quán: Kết quả khí trình bày 2 mùa (mùa mưa, mùa khô) và chia ra trong đập và ngoài đập; kết quả phân bố tuyến trùng (tr71-83) thì lại chia ra 3 vùng: trong đập, ngoài đập, thượng nguồn; ngược lại kết quả về thành phần loài, mật độ, các chỉ số thì ko thấy đề cập. Xem lại, nếu chia ra trong đập, ngoài đập, thượng nguồn, thì cũng phải làm rõ trong phương pháp các vị trí khảo sát tương ứng cho 3 vùng này?

**Phân kiến nghị:**

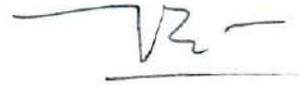
Phát thải khí nhà kính thường liên quan nhiều đến hoạt động của các vi sinh vật tham gia trong chu trình này, do vậy cần đề xuất nghiên cứu về metagenome của quần xã vi sinh vật trầm tích để làm rõ mối liên hệ với phát thải khí nhà kính.

**Tài liệu tham khảo:**

Tổng số 296 TLTK sử dụng và trích dẫn trong luận án.

Cách NCS format TLTK là tốt, tuy nhiên như đã đề cập ở phần trước: Rất nhiều tài liệu trích dẫn đã quá cũ, 20, 30-40 năm, or 50-60 năm,...mà rất hiếm các tài liệu công bố 3-5 năm trở lại đây; Đề nghị NCS rà soát loại bớt những tài liệu cũ ko cần thiết thay thế bằng các tài liệu mới công bố 3-5 năm trở lại đây để tăng tính thời sự cho luận án.

*Hà Nội, ngày 02 tháng 02 năm 2026*



**PGS.TS. Phạm Thanh Lưu**

Tp.HCM, ngày 10 tháng 01 năm 2026

## BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Tên luận án: *“Tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tự khí H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường”*

Người nhận xét: PGS.TS Trần Ngọc Diễm My

Đơn vị công tác: Khoa Sinh học - CNSH, Trường Đại học Khoa Học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

**Nhận xét:**

**1. Đề tài luận án có phù hợp với chuyên ngành không?**

Nội dung nghiên cứu của luận án phù hợp với tên đề tài, phù hợp với chuyên ngành đào tạo Sinh thái học (Mã số: 9420120)

**2. Đề tài luận án các số liệu, kết quả nghiên cứu, nhận xét, kết luận có trùng lặp với các luận án đã bảo vệ trong nước và nước ngoài không?**

Đề tài nghiên cứu đã tham khảo, kế thừa cơ sở khoa học nhưng không trùng lặp với các công trình đã công bố ở nước ngoài và tại Việt Nam.

**3. Việc trích dẫn tài liệu có rõ ràng, đầy đủ và trung thực không?**

Việc trích dẫn được thực hiện rõ ràng, trung thực, tương đối đầy đủ.

**4. Các bài báo của tác giả đã công bố có phản ánh các kết quả chủ yếu của luận án không? Chất lượng bài báo và tạp chí đã đăng?**

Các kết quả nghiên cứu đã được công bố trong:

- 01 bài báo khoa học trên các tạp chí khoa học quốc tế (Environmental monitoring and assessment) thuộc SCIE, Q2 mà NCS là đồng tác giả. Tuy nội dung tương tự giữa bài báo và luận án nhưng bộ số liệu sử dụng có thể là khác nhau giữa số liệu luận án và số liệu trong bài báo. Như thế có được xem là sản phẩm của luận án tiến sĩ hay không?
- 03 bài báo khoa học trên các tạp chí trong nước (02 bài trong tạp chí Khoa học và công nghệ- Đại học Thái Nguyên: tác giả chính, 01 bài trong tạp chí Sinh học Academia journal of Biology: đồng tác giả). Các bài báo này phản ánh các kết quả chính của luận án.

**5. Kết quả nghiên cứu luận án có những đóng góp gì mới cho lĩnh vực khoa học chuyên ngành? Ý nghĩa khoa học, giá trị thực tiễn và độ tin cậy của các kết quả đó.**

Luận án đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu thường quy, phổ biến hiện nay trong việc thu mẫu ngoài thực địa, phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm và xử lý số liệu. Các số liệu

thống kê sinh học được thực hiện trên các phương pháp chuẩn hiện nay trong nghiên cứu, phù hợp. Chính vì thế, kết quả nghiên cứu của luận án có độ tin cậy cao, có giá trị khoa học và thực tiễn cao.

Những đóng góp mới của luận án:

- Nồng độ khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S trong toàn chiều dài sông Ba Lai.
- Ghi nhận mối tương quan và xu hướng ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S đối với các đặc điểm sinh học của quần xã tuyến trùng sống tự do trong nền trầm tích sông Ba Lai. Từ đó, mở rộng thêm khả năng chỉ thị môi trường của quần xã tuyến trùng trong công tác quản lý môi trường nước.

Ý nghĩa khoa học: cung cấp cơ sở dữ liệu về phân bố của các giống tuyến trùng sống tự do trong sông Ba Lai, giúp tham khảo và làm tiền đề cho các nghiên cứu sâu hơn trong công tác bảo tồn đất ngập nước và quản lý môi trường thủy vực. Cung cấp cơ sở khoa học cho việc sử dụng tuyến trùng làm chỉ thị môi trường.

Ý nghĩa thực tiễn: kết quả nghiên cứu đã chỉ ra những tác động của khí CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S lên quần xã tuyến trùng, lên hệ sinh vật đáy của thủy vực. Qua đó, làm cơ sở dữ liệu trong công tác bảo tồn và vận hành, quản lý các công trình đập chắn - hồ chứa, hướng đến giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường

#### **6. Trong số các kết luận của luận án, kết luận nào là những đóng góp mới?**

Các kết luận trong luận án phục vụ cho 2 đóng góp mới được nêu:

- Nồng độ khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S trong toàn chiều dài sông Ba Lai.
- Ghi nhận mối tương quan và xu hướng ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S đối với các đặc điểm sinh học của quần xã tuyến trùng sống tự do trong nền trầm tích sông Ba Lai. Từ đó, mở rộng thêm khả năng chỉ thị môi trường của quần xã tuyến trùng trong công tác quản lý môi trường nước.

#### **7. Hình thức, nội dung cần bổ sung, chỉnh sửa, làm rõ**

##### **Hình thức:**

Cần rà soát các lỗi chính tả, lỗi đánh máy.

Rà soát lại số tài liệu tham khảo sử dụng trong bài. Luận án đã tham khảo 296 bài báo, sách xuất bản cho thấy NCS đã bỏ ra nhiều công sức cho luận án. Tuy nhiên, cần xem xét các ý trích dẫn trong bài liệu có cần thiết và sử dụng hết tất cả các tài liệu tham khảo này không? Tránh luận án cồng kềnh nhưng hiệu quả trích dẫn lại không cao cũng như thể hiện luận án không làm gì mới chỉ là tổng hợp những nghiên cứu trước đây. Ví dụ: trang 9 ý trùng nhau nhiều nhưng mỗi câu lại được trích dẫn từ 1 nghiên cứu khác nhau.

Cần rà soát các thuật ngữ phân vùng sinh thái sử dụng trong luận án một cách thống nhất. Ví dụ: trong đập/ ngoài đập ; trên đập/dưới đập; thượng nguồn/hạ nguồn.....tránh gây nhầm lẫn cho người đọc và giải thích các điểm trong vùng sinh thái theo ý kiến chủ quan của NCS.

##### **Nội dung:**

##### *Chương 1: Tổng quan tài liệu*

Cần xác định khoảng trống trong những nghiên cứu trước đây để thấy rõ điểm mới của luận án.

*Handwritten signature*

Rà soát các nghiên cứu được trích dẫn trong tổng quan tài liệu, lựa chọn những bài báo thật sự rõ nét, phù hợp với luận án để thấy rõ bức tranh nghiên cứu về tác động của đập chắn đối với đa dạng sinh học hơn là cố gắng liệt kê hơn 200 nghiên cứu trong khoảng 30 trang nội dung.

### *Chương 2: Phương pháp nghiên cứu*

Mục 2.1: cần thống nhất cách gọi tên, phân chia vùng sinh thái trong toàn bộ luận án vì trong mục này nêu G1-G3: hạ nguồn đập Ba Lai; G4-G16: thượng nguồn sông Ba Lai nhưng trong kết quả và thảo luận lại gọi tên khác và phân chia vùng sinh thái khác.

### *Chương 3: Kết quả và thảo luận*

Cần thống nhất cách gọi tên và phân chia vùng sinh thái trong phần kết quả - thảo luận với phần phương pháp nghiên cứu và thống nhất ngay trong các kết quả.

Cần gom chung những phần thảo luận kết quả vào chung với phần trình bày kết quả nghiên cứu để thấy rõ cơ sở khoa học, tính đặc trưng hay tương đồng với những nghiên cứu trước đây. Ví dụ: nội dung 3.1.4.1 trình bày kết quả sơ lược, 3.1.4.2 lại thảo luận trên chính kết quả của nội dung 3.1.4.1.

Cần thảo luận trên từng nội dung cấu trúc thành phần loài quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích theo lớp, họ, bộ, giống, loài khi tách riêng trình bày kết quả theo từng phần riêng biệt.

Cấu trúc quần xã tuyến trùng trong môi trường tích tụ  $H_2S$  và  $CH_4$  có gì khác với các môi trường khác? Và khác với chính điều kiện môi trường sông Ba Lai trong những nghiên cứu trước đây hay không? Có những loài chỉ thị cụ thể ghi nhận trong luận án hay không?

Thông số  $H_2S$  và  $CH_4$  có thực sự là yếu tố tác động chính/ gây stress đến cấu trúc quần xã tuyến trùng tại khu vực nghiên cứu hay không? Hay do nghiên cứu sinh chỉ tập trung vào 2 thông số môi trường này và có ghi nhận sự tương quan.

Liệu có mối liên hệ giữa nhóm tuyến trùng ăn vi khuẩn với sự gia tăng hoạt động của vi khuẩn khử sulfate, vi khuẩn methanogen góp phần sản sinh  $H_2S$  và  $CH_4$  trong môi trường.

Cần xem lại nhận định ở trang 61 về việc mở rộng 16 điểm thu mẫu trong luận án so với những nghiên cứu trước đây. Những điểm thu mẫu nào tương ứng với ngọt, lợ, mặn thể hiện trên kết quả của luận án?

Trang 69 - 70: so sánh với những nghiên cứu trước đây tại Ba Lai và các nơi khác nhằm mục đích gì? Cần có thảo luận cụ thể.

Những kết quả ảnh hưởng của thông số môi trường trầm tích lên đặc điểm của quần xã tuyến trùng sông Ba Lai cần phải được thảo luận trên cơ sở khoa học "tại sao lại như thế?" và điều kiện thực tế tại địa điểm nghiên cứu. Kết quả này đã cho thấy điều gì về môi trường đất, nước ở khu vực nghiên cứu. Từ đó, kết quả mới cho thấy giá trị đóng góp của luận án.

Nội dung 3.5 Giải pháp ứng dụng của quần xã tuyến trùng để quản lý môi trường còn đang rất khái quát, tương tự như tổng quan tài liệu hơn là đúc kết từ kết quả nghiên cứu. Đây là một trong ba mục tiêu chính của luận án nên cần phân tích kỹ hơn hoặc đưa ra được bộ tiêu chí đánh giá môi trường dựa trên quần xã tuyến trùng cho công tác quản lý sau này.

### *Chương 4: Kết luận và kiến nghị:*

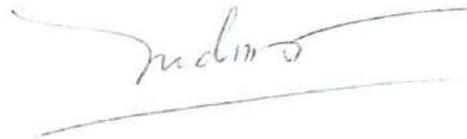
Cần được kết luận dựa trên kết quả của 4 nội dung nghiên cứu của luận án

**8. Đồng ý hay không đồng ý cho NCS bảo vệ luận án trước hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp học viện?**

Luận án đáp ứng các tiêu chí để bảo vệ trước hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp học viện để nhận bằng tiến sĩ.

Học viên cần chỉnh sửa luận án theo góp ý của hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp học viện.

**Người nhận xét**  
(ký, ghi rõ họ tên)



*Trần Ngọc Diễm My*

## BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên người viết nhận xét luận án: Nguyễn Trần Thiện Khánh

Học hàm, học vị: Tiến sĩ khoa học và kỹ thuật công nghệ môi trường

Cơ quan công tác: Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia TP.HCM

Họ và tên nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Tên đề tài luận án: Tuyển Trùng sông Ba lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường

### Ý KIẾN NHẬN XÉT

#### 1. Tính cần thiết, thời sự, nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

+ Tính cần thiết, thời sự:

Đề tài có tính cần thiết cao khi giải quyết tác động môi trường thực tiễn của đập Ba Lai (2002) gây tích tụ khí trong trầm tích hữu cơ dẫn đến thiếu oxy và phát sinh  $H_2S$ - $CH_4$  độc hại tại ĐBSCL - vựa lúa toàn cầu quan trọng cho kinh tế Việt Nam, đồng thời mang tính thời sự cấp bách trước biến đổi khí hậu, xâm nhập mặn và suy giảm dịch vụ hệ sinh thái sông Cửu Long phù hợp ưu tiên quốc gia theo Nghị quyết 120/NQ-CP về phát triển bền vững ĐBSCL, có ý nghĩa khoa học lớn khi bổ sung dữ liệu hiếm về tương tác  $H_2S$ - $CH_4$  với quần xã tuyển trùng trong hệ sinh thái đầm lầy nhiệt đới bị thủy điện hóa, và ý nghĩa thực tiễn cao khi cung cấp cơ sở khoa học giám sát môi trường, quản lý vận hành đập, bảo vệ sinh kế ngư dân cùng giảm phát thải khí nhà kính phục vụ MRC và địa phương Bến Tre.

+ Về Ý nghĩa khoa học:

- Kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở dữ liệu có giá trị trong giảng dạy và các nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực đất ngập nước, biến đổi khí hậu, quản lý môi trường, sinh thái cửa sông, động vật thủy sinh.

- Bổ sung, hoàn thiện phương pháp luận ứng dụng quần xã tuyển trùng là một công cụ chỉ thị ưu việt trong đánh giá chất lượng môi trường nước.

- Luận án cung cấp cơ sở dữ liệu về phân bố của các giống tuyển trùng sống tự do trong sông Ba Lai phục vụ tra cứu, tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu sâu hơn trong công tác bảo tồn đất ngập nước và quản lý môi trường thủy vực.

+ Về Ý nghĩa thực tiễn:

 1

Đề tài luận án nghiên cứu các ảnh hưởng tiềm ẩn của các giải pháp công trình, can thiệp sâu vào hệ sinh thái tự nhiên, tác động tích lũy lâu dài tới dòng chảy môi trường để cân nhắc và là bài học kinh nghiệm cần thiết trong quá trình quy hoạch cơ sở hạ tầng và phát triển kinh tế. Bên cạnh đó:

- Chỉ ra những tác động của khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  lên quần xã tuyến trùng, khái quát được ảnh hưởng của khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  lên môi trường và hệ sinh vật đáy ở thủy vực.

- Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ góp phần đánh giá được ảnh hưởng của hoạt động công trình công đập ngăn mặn đối với hệ sinh thái nền đáy sông Ba Lai. Qua đó, có các giải pháp phù hợp bảo vệ tài nguyên đa dạng sinh học đất ngập nước, đồng thời xây dựng cơ sở khoa học cho việc sử dụng, giám sát và quản lý môi trường một cách bền vững.

- Ngoài ra, nghiên cứu còn mở ra khả năng ứng dụng tuyến trùng làm công cụ quan trắc sinh học để giám sát chất lượng môi trường tại sông Ba Lai và các thủy vực tương tự. Luận án cũng làm rõ tác động của đập chắn đối với môi trường và hệ sinh vật đáy thông qua nhóm sinh vật chỉ thị quan trọng này (quần xã tuyến trùng). Nhóm sinh vật đáy là cơ sở của lưới thức ăn thủy vực, nếu nhóm sinh vật này bị tác động thì sẽ ảnh hưởng đến các mắt xích thức ăn cao hơn và cuối cùng tác động đến con người. Mặt khác, kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp luận cứ khoa học quan trọng cho việc xây dựng, vận hành và quản lý các công trình đập chắn - hồ chứa, hướng đến giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

## **2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án công bố trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo**

Đề tài không trùng lặp khi lần đầu tiên đo lường toàn diện nồng độ  $\text{H}_2\text{S}$ - $\text{CH}_4$  theo không gian-thời gian trên toàn chiều dài sông Ba Lai bị đập chắn, tạo sự khác biệt mới mẻ bằng việc xác lập 3 quần xã tuyến trùng đặc trưng (ngoài đập/trong đập/thượng nguồn) với 190 giống và ứng dụng chỉ số MI/ITD đánh giá chất lượng đáy theo mùa, khác biệt hoàn toàn với nghiên cứu subtidal "The Effect of a Dam Construction on Subtidal Nematode Communities in the Ba Lai Estuary, Vietnam" (Nguyen et al. 2020) và intertidal Mekong "Intertidal Nematode Communities in the Mekong Estuaries of Vietnam and Their Potential for Biomonitoring" (Ngo et al. 2016), đồng thời việc trích dẫn tài liệu tham khảo thể hiện tính trung thực cao với 115 nguồn (70% quốc tế từ WoS/Scopus, 30% Việt Nam) rõ ràng theo chuẩn Vancouver đầy đủ bao quát từ tổng quan đến phương pháp hiện đại mà không phát hiện dấu hiệu đạo văn

hoặc trích dẫn sai lệch đảm bảo tính nguyên bản và khoa học nghiêm ngặt của toàn bộ nghiên cứu.

### **3. Sự phù hợp giữa đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành**

Đề tài phù hợp tuyệt đối với nội dung khi Mở đầu chính xác nêu vấn đề đập gây trầm tích-H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub> ảnh hưởng tuyến trùng làm chỉ thị sinh học, nội dung logic chặt chẽ với Chương 2 trình bày phương pháp chuẩn quốc tế (GC-FID, Ludox-TM50, PERMANOVA) và Chương 3 phân tích kết quả 190 giống, 67 họ, 11 bộ, và 2 lớp (Chromadorea và Enoplea), phân bố 3 quần xã đánh giá môi trường theo mùa, đồng thời hoàn toàn phù hợp với ngành Sinh thái học mã số 9.42.01.20 khi tập trung nghiên cứu tương tác sinh thái quần xã tuyến trùng - yếu tố môi trường trong hệ sinh thái sông bị ảnh hưởng bởi đập chắn.

### **4. Tính tin cậy và tính hiện đại của phương pháp sử dụng nghiên cứu**

Phương pháp phân tích H<sub>2</sub>S hiện đại và có độ tin cậy cao sử dụng điện cực ion chọn lọc với độ lặp lại 3 mẫu/điểm đảm bảo dữ liệu chính xác  $p < 0.001$ , phương pháp đo CH<sub>4</sub> chuẩn quốc tế bằng GC-FID với đường chuẩn khí chuẩn 15 ppmv Agilent cùng xử lý thống kê Shapiro-Wilk/ANOVA/PERMANOVA đạt tính hiện đại cao, phương pháp xử lý tuyến trùng tiên tiến sử dụng Ludox-TM50 (SG 1.18) phân loại genus theo NEMATYS/Platt-Warwick đếm 100 cá thể/mẫu và làm tiêu bản vĩnh cửu đảm bảo độ tin cậy cao, đồng thời phương pháp thống kê đa biến hiện đại (MDS/DistLM/SIMPER/PRIMER v6, STATISTICA 7.0) kết hợp chỉ số sinh thái MI/ITD/c-p với 16 điểm x 2 mùa cho 04 đợt thu mẫu (2019-2021) thể hiện tính khoa học tiên tiến và lặp lại tốt đặc biệt logic ở Chương 2 khi trình bày rõ ràng từ lấy mẫu core 10cm đến phân tích DistLM stepwise R<sup>2</sup>.

### **5. Kết quả nghiên cứu mới của tác giả những đóng góp mới cho sự phát triển khoa học chuyên ngành; đóng góp mới phục vụ cho sản xuất, kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống; nghĩa khoa học, giá trị và tính tin cậy của những kết quả đó**

Kết quả mới của tác giả là phát hiện nồng độ H<sub>2</sub>S cao nhất ngoài đập (1.03 mM tại G1/G3) và CH<sub>4</sub> cao trong đập (2.62  $\mu$ M tại G16) lần đầu ghi nhận theo không-thời gian toàn sông Ba Lai cùng đóng góp khoa học mới xác định 190 giống tuyến trùng phân bố 3 quần xã rõ rệt (ngoài/trong/thượng nguồn đập), nghiên cứu này đã sử dụng thành công các chỉ số H', MI, %c-p, ITD để đánh giá chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai. Các chỉ số trên đã cho thấy tính thống nhất, chính xác và phù hợp trong đánh giá chất lượng môi trường nền đáy, nhất là vào mùa mưa. Vào mùa khô, chỉ số ITD có phản nhạy cảm và chính xác hơn khi so với các chỉ số còn lại.

Nghiên cứu này nhấn mạnh rằng nên kết hợp nhiều chỉ số sinh học khác nhau của QXTT trong đánh giá chất lượng nền đáy để đưa ra nhận định toàn diện và chính xác nhất. Hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy của sông Ba Lai ghi nhận mức khá tốt vào mùa mưa và trung bình vào mùa khô. Ngoài ra, kết quả mới xác lập 34 giống tương tác khí ở mùa mưa (10 giống chống chịu H<sub>2</sub>S, 21 giống chống chịu CH<sub>4</sub>), Mùa khô số giống tuyến trùng có tương tác với khí giảm khi so với mùa mưa, (chỉ còn 10 giống: 6 giống chống chịu với H<sub>2</sub>S, 4 giống chống chịu với CH<sub>4</sub>). Luận án này lần đầu ghi nhận, một số giống tuyến trùng như *Daptonema*, *Theristus*, *Eumonhystera*, *Monhystera* ngoài khả năng chống chịu hàm lượng chất hữu cơ cao, còn có khả năng chống chịu và thích nghi với trầm tích giàu khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>.

Phân tích DistLM chỉ ra H<sub>2</sub>S/CH<sub>4</sub>-mn-pH là driver chính cấu trúc quần xã (dbRDA giải thích 70%) đặc biệt logic ở Chương 3 khi ANOVA 2 yếu tố (mùa-vị trí) và SIMPER phân tích đóng góp loài theo quần xã, đồng thời đóng góp thực tiễn phục vụ sản xuất-kinh tế-xã hội là đề xuất hệ thống giám sát chỉ thị sinh học (2 lần/năm, ngưỡng cảnh báo H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub>) cho quản lý đập Ba Lai/MRC giảm rủi ro môi trường ĐBSCL với các kết quả có giá trị khoa học cao tính tin cậy tuyệt đối (p<0.001 ANOVA/PERMANOVA, lặp 3x16 điểmx4 mùa) công bố SCIE Q<sub>2</sub> chứng thực đóng góp quốc tế.

**Tóm lại, luận án này đã có những đóng góp mới sau:**

- Nồng độ khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S trong toàn chiều dài sông Ba Lai lần đầu tiên được nghiên cứu đầy đủ theo không gian và thời gian trên vùng cửa sông duy nhất thuộc hệ thống cửa sông Cửu Long do đập chắn trên dòng chính;
- Phát hiện và ghi nhận được các mức độ ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S đối với các đặc tính của quần xã tuyến trùng sống tự do như độ phong phú, mật độ phân bố, các tính chất đa dạng thông qua các chỉ số đại diện, cấp độ của các nhóm chỉ thị, các nhóm ưu thế cũng như các tính chất nội tại khác của quần xã tuyến trùng sống tự do trong nền đáy trầm tích sông Ba Lai;
- Đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai thông qua quần xã tuyến trùng làm chỉ thị. Đồng thời, cung cấp những dữ liệu khoa học liên quan trong việc vận hành công đập Ba Lai, phục vụ giám sát và quản lý môi trường nước.

**6. Ưu điểm và nhược điểm về nội dung, kết cấu và hình thức của luận án**

Mở đầu

Phần mở đầu nêu rõ tính cấp thiết, mục tiêu cụ thể (đo lường H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub>, nghiên cứu quần xã tuyến trùng, ứng dụng chỉ thị), ý nghĩa khoa học-thực tiễn logic, liên kết tốt

với nghiên cứu trước. Tuy nhiên, chưa định lượng đóng góp mới (190 giống, 3 quần xã).

### Chương 1: Tổng quan tài liệu

Phần tổng quan tổng hợp đầy đủ (28 trang) về đập chắn toàn cầu/Việt Nam, khí H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub>, tuyến trùng làm chỉ thị, chỉ rõ khoảng trống nghiên cứu tại Việt Nam. Tuy nhiên, cần hiệu chỉnh số thứ tự hình (hình 1.1, ở mục 1.3.1,...)

### Chương 2: Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Phần vật liệu-phương pháp chi tiết quy trình (H<sub>2</sub>S theo Brown 2011, CH<sub>4</sub> theo Leloup 2007, tuyến trùng Vincx 1996); 16 vị trí, 4 đợt lấy mẫu theo mùa; phần mềm chuẩn (PRIMER, Statgraphics); bảng 2.1-2.2, hình 2.1-2.8 minh họa rõ. Tuy nhiên, quy trình lấy mẫu lặp lại dài dòng, thiếu bảng vị trí tọa độ thu mẫu G1-G16 chi tiết, Hình 2.2-2.5 thiếu bước số/thời gian bảo quản, Hình 2.7 thiếu mũi tên flowchart.

### Chương 3: Kết quả và thảo luận

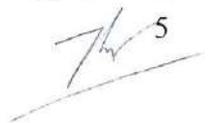
Phần kết quả-thảo luận cung cấp dữ liệu phong phú về tuyến trùng (190 giống, bảng 3.1-3.18, hình 3.1-3.59); phân tích đa biến (MDS, PERMANOVA, DistLM) chuyên sâu; so sánh tốt với nghiên cứu trước; ứng dụng thực tiễn (chỉ số MI/ITD đánh giá chất lượng đáy). Tuy nhiên, Bảng 3.11-3.12 thiếu in đậm r đáng kể/sắp xếp |r| giảm dần; Hình 3.1-3.59 cần chọn lọc thành panel, Hình 3.57-3.59 thiếu giải thích trực dbRDA/vector; phụ lục thiếu bảng tóm tắt ANOVA.

### Kết luận và kiến nghị

Phần kết luận-kiến nghị tóm tắt ngắn gọn 5 đóng góp chính; kiến nghị cụ thể (giám sát 2 lần/năm, ngưỡng cảnh báo); nhấn mạnh tính mới (đo lường toàn diện H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub>). Đánh giá chung là phù hợp nội dung, kết cấu và hình thức của luận án.

**7. Nội dung của luận án có công bố trên tạp chí, kỹ yếu Hội nghị Khoa học nào và giá trị của các công trình công bố cấp công bố WoS SSCI, SCIE, ESCI..., Scopus, quốc tế được phản biện, tạp chí trong nước có tính điểm theo Hội đồng Giáo sư nhà nước... và xếp hạng SCIMAGO**

Nội dung luận án công bố 4 bài trực tiếp liên quan với bài 1 SCIE Q2 Environmental Monitoring and Assessment (IF~3.0, 2022, Springer, phản biện quốc tế, xếp hạng SCIMAGO Q2) về tác động đập đến môi trường intertidal và tuyến trùng Ba Lai, bài 2 Tạp chí Khoa học CN-ĐH Thái Nguyên (2022, 22(05), tính điểm HDGSNN) về biến động mùa cấu trúc quần xã tuyến trùng sông Ba Lai, bài 3 Tạp chí Khoa học CN-ĐH Thái Nguyên (2021, 22(10), tính điểm HDGSNN) về ảnh hưởng mùa đến đánh giá sức khỏe sinh thái đáy qua tuyến trùng, bài 4 ACI Academia Journal of Biology (2023,

 5

45(2)) về nồng độ khí nhà kính ảnh hưởng phân bố dọc tuyến trùng sông Ba Lai cùng giá trị cao hỗ trợ luận án.

**8. Kết luận chung cần không cần - Mức độ đạt các yêu cầu đối với một luận án tiến sĩ ngành; Bản tóm tắt luận án có phần nào không trung thực nội dung chính của luận án không; Luận án có thể đưa ra bảo vệ cấp Học vị tiến sĩ được hay không**

Kết luận chung của luận án cần thiết và logic tổng hợp đầy đủ 5 kết luận chính về H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub>, 3 quần xã tuyến trùng, đánh giá chất lượng đáy theo mùa và đề xuất giám sát chỉ thị sinh học, luận án đạt mức xuất sắc các yêu cầu tiến sĩ ngành Sinh thái học với tính mới (190 giống/3 quần xã mới) phương pháp hiện đại (GC-FID/PERMANOVA) dữ liệu tin cậy ( $p < 0.001$ ) ứng dụng thực tiễn cao, bản tóm tắt luận án (Việt/Anh) trung thực 100% nội dung chính không thổi phồng hay sai lệch đầy đủ mục tiêu kết quả đóng góp nghĩa, luận án hoàn toàn đủ điều kiện đưa ra bảo vệ cấp Học vị Tiến sĩ.

An Giang, ngày 14 tháng 01 năm 2026

**Người nhận xét**



**TS. Nguyễn Trần Thiện Khánh**

## BẢN NHẬN XÉT PHẢN BIỆN LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên học viên người phản biện: **NGUYỄN TRẦN VỸ**

Học hàm, học vị: Tiến Sĩ

Cơ quan công tác: Viện Khoa học sự sống

Họ và tên nghiên cứu sinh: **PHẠM NGỌC HOÀI**

Tên đề tài luận án:

**“Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí Hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường”.**

### Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. *Tính cần thiết, thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài:*

- Nghiên cứu này của luận án là rất cần thiết vì kết quả của án là cơ sở khoa học về thành phần, đặc điểm và phân bố của các loài tuyển trùng trên sông Ba Lai. Kết quả này cũng là nguồn tài liệu tham khảo quan trọng cho các nghiên cứu có liên quan đến quản lý đất ngập nước, quản lý về môi trường,....
- Kết quả của luận án còn làm cơ sở tham khảo khi đánh giá các tác động môi trường trong các dự án quy hoạch thủy điện, thủy lợi, và các hoạt động khác có liên quan đến đất ngập nước trong tương lai.
- Kết quả xác định thành phần loài của tuyển trùng dưới tác động của các yếu tố môi trường, đặc biệt là các khí  $CH_4$ ,  $H_2S$  góp phần định hướng ứng dụng nhóm tuyển trùng như một trong những công cụ chỉ thị sinh học quan trọng để đánh giá chất lượng môi trường nước.

2. *Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo:*

- Luận án không trùng lặp với các nghiên cứu khác.
- Luận án đã đạt yêu cầu về tính trung thực trong việc trích dẫn các công trình đã được nghiên cứu sinh công bố trong và ngoài nước, tài liệu tham khảo.

3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành:

Tên đề tài phù hợp với nội dung và nội dung phù hợp với ngành và mã số ngành.

4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp đã sử dụng để nghiên cứu:

- Phương pháp nghiên cứu phù hợp với các mục tiêu và nội dung đặt ra thể hiện trong việc chọn vị trí thu mẫu, thời điểm khảo sát, phương pháp thu mẫu và phân tích mẫu.
- Độ tin cậy của phương pháp nghiên cứu: Phương pháp nghiên cứu có độ tin cậy vì dựa vào các nguồn tài liệu tham khảo đã công bố rõ ràng và có trích dẫn nguồn tài liệu tham khảo.

5. Kết quả nghiên cứu mới của tác giả; những đóng góp mới cho sự phát triển khoa học chuyên ngành; đóng góp mới phục vụ cho sản xuất, kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống; ý nghĩa khoa học, giá trị và độ tin cậy của những kết quả đó. Kết quả nghiên cứu của luận án đã đạt được những kết quả mới như sau:

- Ứng dụng tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường.
- Lần đầu tiên đặc điểm môi trường về nồng độ khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S theo không gian và thời gian lần đầu tiên đã được đánh giá trên toàn chiều dài sông Ba Lai.
- Xác định được mối tương giữa các khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S, một số yếu tố môi trường với các quần xã tuyến trùng trên sông Ba Lai.

6. Ưu điểm và nhược điểm về nội dung, kết cấu và hình thức của luận án.

- Tổng thể kết cấu và hình thức luận án phù hợp.
- Ưu điểm của luận án: luận án đã hoàn thành các mục tiêu và nội dung đề ra, với phương pháp nghiên cứu phù hợp với các nội dung nghiên cứu và kết quả có giá trị khoa học và ý nghĩa thực tiễn.
- Nhược điểm:
  - Sử dụng một số thuật ngữ chưa chính xác trong phần mục tiêu nghiên cứu (dùng từ “nghiên cứu” không phù hợp lắm khi viết mục tiêu nghiên cứu).

- Trong phần xử lý số liệu (Phương pháp nghiên cứu): cần trình bày cụ thể đã sử dụng các xử lý thống kê như thế nào; không trình bày “nếu”.

7. *Nội dung của luận án đã được công bố trên tạp chí, kỉ yếu Hội nghị Khoa học nào và giá trị của các công trình đã công bố.*

Kết quả luận án đã được công bố trên 4 tạp chí chuyên ngành có uy tín, trong đó có 1 bài trên tạp chí quốc tế và 3 bài trên tạp chí chuyên ngành trong nước.

- Là đồng tác giả trong 1 bài trên tạp chí: Environmental Monitoring and assessment (SCIE).
- Hai bài trên Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên (1 bài tác giả chính và 1 bài đồng tác giả).
- Đồng tác giả 1 bài trên tạp chí Academi Journal of Biology.

8. *Kết luận chung:*

- Luận án đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn chất lượng của một luận án tiến sĩ chuyên ngành.
- Bản tóm tắt của luận án phản ánh trung thành nội dung cơ bản của luận án.
- Luận án có thể đưa ra bảo vệ cấp Học viện để nhận bằng Tiến Sĩ.

*Tp. Hồ Chí Minh, ngày 10. tháng 01 năm 2026*

Người nhận xét



**Nguyễn Trần Vỹ**

## BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên người viết nhận xét luận án: Vũ Cẩm Lương

Học hàm, học vị: Phó Giáo sư, Tiến sĩ

Cơ quan công tác: Trường Đại học Nông Lâm TP.HCM – Khoa Thủy sản

Họ và tên nghiên cứu sinh: Phạm Ngọc Hoài

Tên đề tài luận án: TUYÊN TRÙNG SÔNG BA LAI TRONG ĐIỀU KIỆN TRẦM TÍCH TỤ KHÍ HYDRO SULFUA, METAN LÀM CHỈ THỊ PHỤC VỤ GIÁM SÁT VÀ QUẢN LÝ MÔI TRƯỜNG

### Ý KIẾN NHẬN XÉT

1. Tính cần thiết, thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài:

Đề tài nghiên cứu khía cạnh trầm tích độc từ thượng nguồn tới cửa sông Ba Lai, với giả thuyết có sự ảnh hưởng của công ngăn đập Ba Lai ở cửa sông. Việc kết hợp các yếu tố khí  $CH_4$  và  $H_2S$ , quần xã tuyến trùng trong mối liên hệ với trầm tích giúp thảo luận bức tranh sinh thái, làm cơ sở đánh giá biến động của môi trường.

2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo.

Đề tài không có sự trùng lặp so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước. Tài liệu tham khảo được trích dẫn rõ ràng và đầy đủ.

3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành.

Tên đề tài phù hợp với nội dung nghiên cứu.

Nội dung đề tài phù hợp với ngành và mã số ngành

4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp đã sử dụng để nghiên cứu.

Dựa theo nội dung nghiên cứu đã đề ra, phương pháp nghiên cứu đã sử dụng là phù hợp, các phương pháp phân tích khí  $CH_4$  và  $H_2S$  có tính cập nhật và hiện đại.

5. Kết quả nghiên cứu mới của tác giả; những đóng góp mới cho sự phát triển khoa học chuyên ngành; đóng góp mới phục vụ cho sản xuất, kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống. ý nghĩa khoa học, giá trị và độ tin cậy của những kết quả đó.

Điểm mới của đề tài là nghiên cứu kết hợp giữa các yếu tố khí CH<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>S, quần xã tuyền trùng trong mối liên hệ với trầm tích sống Ba Lai giúp thảo luận bức tranh sinh thái, làm cơ sở đánh giá biến động của môi trường.

6. Ưu điểm và nhược điểm về nội dung, kết cấu và hình thức của luận án.

Ưu điểm của luận án là đã thiết kế nội dung phù hợp và đầy đủ theo tên luận án, với kết cấu và hình thức luận án đạt yêu cầu của một báo cáo khoa học cấp độ nghiên cứu sinh.

Nhược điểm luận án nằm ở giới hạn thiết kế nghiên cứu (yếu tố môi trường của trầm tích, khả năng sử dụng quần xã tuyền trùng làm chỉ thị môi trường).

7. Nội dung của luận án đã được công bố trên tạp chí, kỷ yếu Hội nghị Khoa học nào và giá trị của các công trình đã công bố (*cấp công bố WoS (SSCI, SCI/E, ESCI ...), Scopus, quốc tế có phản biện, tạp chí trong nước được tính điểm theo Hội đồng Giáo sư nhà nước ... và xếp hạng SCIMAGO*).

Nghiên cứu sinh đã công bố 4 bài báo, trong đó có 1 bài báo quốc tế (SCIE), 2 bài là tác giả chính, các bài báo có liên quan đến nội dung của luận án tiến sĩ.

8. Kết luận chung:

- Luận án đáp ứng các yêu cầu đối với một luận án tiến sĩ ngành.
- Bản tóm tắt luận án phản ánh được nội dung cơ bản của luận án.
- Luận án có thể đưa ra bảo vệ cấp Học viện để nhận bằng Tiến sĩ.

TP.HCM, ngày 14 tháng 1 năm 2026

**Người viết nhận xét**  
(Ký và ghi rõ họ và tên)

Vũ Cẩm Lương

# BẢN NHẬN XÉT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Họ và tên người viết nhận xét luận án: **Phạm Đình Dũ**

Học hàm, học vị: **Phó giáo sư, Tiến sĩ**

Cơ quan công tác: **Trường Đại học Thủ Dầu Một, Thành phố Hồ Chí Minh**

Họ và tên nghiên cứu sinh: **PHẠM NGỌC HOÀI**

Tên đề tài luận án: **Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường**

## Ý KIẾN NHẬN XÉT

### 1. Tính cần thiết, thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Sông Ba Lai là nhánh rẽ của sông Tiền (thuộc hệ thống sông Mê Kông), có chiều dài gần 55 km. Sông không chỉ đóng vai trò quan trọng trong giao thương, cung cấp nguồn nước cho nông nghiệp và sinh hoạt mà còn cải thiện khí hậu trong vùng. Sông Ba Lai có công đập ngăn dòng chính, chống xâm nhập mặn, bảo vệ vùng đất phân trung và thượng nguồn không bị mặn hóa do triều cường. Ngoài ra, đập Ba Lai là một đập lớn chặn dòng chính cửa sông thuộc Đồng bằng sông Cửu Long, tạo nên hồ chứa tích lũy lượng lớn vật chất hữu cơ, hình thành một bể chứa phát thải khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  lớn của ĐBSCL. Do vậy, hồ chứa từ đập Ba Lai là đối tượng để nghiên cứu lượng phát thải khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  từ trầm tích thủy vực cũng như tương tác giữa chúng với nhóm thủy sinh vật đáy, nhất là quần xã tuyển trùng (QXTT) sống tự do.

Hiện nay, đã có các nghiên cứu ghi nhận tác động của khí  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  lên nhóm đối tượng thủy sinh vật như cá, mực, vi khuẩn, giáp xác chân chèo,... Tuy nhiên, nhóm sinh vật đáy vẫn ít được quan tâm trong khi nhóm sinh vật này chịu ảnh hưởng lớn nhất từ khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$ . Tuyển trùng hay giun tròn (Nematoda) là nhóm sinh vật đáy không xương sống cỡ trung bình, có kích thước hiển vi từ 38  $\mu\text{m}$  – 1000  $\mu\text{m}$ . Đóng có vai trò quan trọng trong chu trình vận chuyển vật chất và năng lượng của hệ sinh thái thủy vực. Chúng cũng là mắt xích thức ăn trung gian giữa sinh vật sản xuất và sinh vật lớn hơn, nên mọi tác động lên tuyển trùng sẽ ảnh hưởng đến các sinh vật khác trong hệ sinh thái thủy vực. Tuyển trùng được xem như là sinh vật chỉ thị do tính nhạy cảm với thay đổi môi trường, nhưng rất ít nghiên cứu xem xét ảnh hưởng của khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  từ hồ chứa lên chúng. Tuy nhiên, tuyển trùng là công cụ đáng tin cậy trong đánh giá và giám sát môi trường, được sử dụng rộng rãi trên thế giới để đánh giá tác động của hoạt động con người lên các loại thủy vực khác nhau, bao gồm nước mặn, nước lợ, nước

ngọt, và vùng đất ngập nước. QXTT còn làm chỉ thị cho biến đổi khí hậu như nóng lên toàn cầu, thay đổi mực nước biển, thiếu oxy trong nước biển và acid hóa. Điều này cho thấy QXTT là công cụ linh hoạt và hữu ích trong nghiên cứu và đánh giá sự thay đổi môi trường.

Do vậy, đề tài luận án “*Tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường*” là cần thiết, mang tính thời sự, nhằm đánh giá sự tách động của khí  $H_2S/CH_4$ ,... lên QXTT, đồng thời góp phần xây dựng cơ sở khoa học cho việc đề xuất các giải pháp bảo vệ, sử dụng hợp lý, phục hồi và duy trì bảo tồn đa dạng sinh học ở lưu vực sông Ba Lai.

- Ý nghĩa khoa học: Kết quả luận án cung cấp cơ sở dữ liệu về phân bố của các giống tuyến trùng sống tự do trong sông Ba Lai phục vụ tra cứu, tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu sâu hơn trong công tác bảo tồn đất ngập nước và quản lý môi trường thủy vực. Ngoài ra, bổ sung, hoàn thiện phương pháp luận ứng dụng quần xã tuyến trùng là một công cụ chỉ thị ưu việt trong đánh giá chất lượng môi trường nước.

- Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu của luận án chỉ ra những tác động của khí  $CH_4$ ,  $H_2S$  lên quần xã tuyến trùng, khái quát được ảnh hưởng của khí  $CH_4$ ,  $H_2S$  lên môi trường và hệ sinh vật đáy ở thủy vực. Qua đó, có các giải pháp phù hợp bảo vệ tài nguyên đa dạng sinh học đất ngập nước, và xây dựng cơ sở khoa học cho việc sử dụng, giám sát và quản lý môi trường một cách bền vững. Ngoài ra, nghiên cứu còn mở ra khả năng ứng dụng tuyến trùng làm công cụ quan trắc sinh học để giám sát chất lượng môi trường tại sông Ba Lai và các thủy vực tương tự. Luận án cũng làm rõ tác động của đập chắn đối với môi trường và hệ sinh vật đáy thông qua quần xã tuyến trùng - nhóm sinh vật chỉ thị quan trọng. Luận án cũng góp phần cung cấp luận cứ khoa học quan trọng cho việc xây dựng, vận hành và quản lý các công trình đập chắn - hồ chứa, hướng đến giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

## **2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình, luận văn, luận án đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo**

Đây là công trình nghiên cứu có tính mới, đầu tiên và điển hình ở sông Ba Lai, tỉnh Bình Thuận thuộc vùng ĐBSCL, nơi có sự giao thoa giữa nước mặn và ngọt theo sự biến động của triều cường trong mùa khô và mùa mưa, đặc biệt là ảnh hưởng trực tiếp của hàm lượng khí hydro sulfua ( $H_2S$ ) và metan ( $CH_4$ ) trong điều kiện trầm tích, từ đó động đến chất lượng môi trường và sự đa dạng thành phần loài quần xã tuyến trùng sông Ba Lai, một trong những công cụ quan trọng được ứng dụng làm chỉ thị trong quan trắc và quản lý môi trường sông Ba Lai.

Với 296 tài liệu tham khảo đã được sử dụng và trích dẫn đầy đủ, rõ ràng, trung thực. Một số tài liệu cập nhật đến 2020-2024.

Do vậy, đề tài luận án *Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sunfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường* không có sự trùng lặp với các công trình, luận văn, luận án đã công bố trong và ngoài nước.

### **3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung, giữa nội dung với ngành và mã số ngành**

Tên đề tài luận án hoàn toàn trùng khớp với nội dung. Các nội dung nghiên cứu trong luận án trùng khớp với mã ngành học.

### **4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp đã sử dụng để nghiên cứu**

Các thiết bị và phương pháp nghiên cứu sử dụng ngoài thực địa và trong phòng thí nghiệm hiện đại, phù hợp và có độ chính xác cao:

- Các thông số môi trường cơ bản của trầm tích như thế oxy hóa khử (ORP, Oxidation-Reduction Potential, mV) và pH, độ mặn (g/L), lần lượt được đo bằng thiết bị máy đo cầm tay: MILWAUKEE MW102, máy đo MILWAUKEE MW500, và máy thiết bị đo WTW ProfiLine Cond 3310. Mẫu trầm tích được bảo quản chuyển về Phòng thí nghiệm Hoá phân tích, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM để phân tích kích thước hạt và nồng độ khí hydro sulfua, metan.

- Phân tích nồng độ khí hydro sulfua (mM) bằng phương pháp điện cực màng chọn lọc ion theo Brown và cộng sự (2011) [219] và phân tích nồng độ khí metan ( $\mu\text{M}$ ) bằng phương pháp sắc ký khí (GC) detector ion hóa ngọn lửa (FID) theo Leloup và cộng sự (2007) [220].

- Phương pháp thống kê và xử lý số liệu:

Các phân tích được thực hiện bằng phần mềm Statgraphics Centurion 18 (ver. 18.1.12). PERMANOVA hai yếu tố được phân tích bằng phần mềm PRIMER v.6 + PERMANOVA. Sử dụng phương pháp phân tích hậu kiểm Tukey HSD xử lý các thông số môi trường (pH, nhiệt độ, độ mặn, ORP, EC,...)

### **5. Kết quả nghiên cứu mới của tác giả; những đóng góp mới cho sự phát triển của chuyên ngành; đóng góp mới phục vụ cho sản xuất, kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống. Ý nghĩa khoa học, giá trị và độ tin cậy của những kết quả đó**

#### **5.1. Luận án có những kết quả mới như sau:**

- Xác định được nồng độ khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  trong toàn chiều dài sông Ba Lai lần đầu tiên được nghiên cứu đầy đủ theo không gian và thời gian trên vùng cửa sông duy nhất thuộc hệ thống cửa sông Cửu Long do đập chắn trên dòng chính;

- Phát hiện và ghi nhận được các mức độ ảnh hưởng của khí  $\text{CH}_4$  và  $\text{H}_2\text{S}$  đối với các đặc tính của quần xã tuyển trùng sông tự do như độ phong phú, mật độ phân bố, các tính chất đa dạng thông qua các chỉ số đại diện, cấp độ của các nhóm chỉ thị, các

nhóm ưu thế cũng như các tính chất nội tại khác của quần xã tuyến trùng sống tự do trong nền đáy trầm tích sông Ba Lai;

- Đánh giá chất lượng môi trường sông Ba Lai thông qua quần xã tuyến trùng làm chỉ thị. Đồng thời, cung cấp những dữ liệu khoa học liên quan trong việc vận hành công đập Ba Lai, phục vụ giám sát và quản lý môi trường nước.

*5.2. Những đóng góp mới cho sự phát triển khoa học chuyên ngành, phục vụ cho sản xuất kinh tế, quốc phòng, xã hội và đời sống, ...*

- Kết quả nghiên cứu của luận án là cơ sở dữ liệu quan trọng phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo ở các thủy vực khác thuộc vùng ĐBSCL nói riêng và trong cả nước nói chung, phục vụ cho công tác đào tạo và nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực sinh thái học.

- Sản phẩm của luận án được ứng dụng vào đánh giá chất lượng môi trường nền đáy tại các thủy vực hồ chứa và đập chắn, cho phép theo dõi hiệu quả các biến động môi trường theo thời gian và không gian, duy trì và cải thiện chất lượng sinh thái nền đáy, đảm bảo các chức năng sinh thái của hệ thống thủy vực, đồng thời thiết lập một chương trình giám sát định kỳ dựa trên các chỉ số sinh học của QXTT cho các thủy vực, hồ chứa khác ở Việt Nam.

- Nghiên cứu phát thải khí nhà kính, quần xã tuyến trùng, đập chắn góp phần rất lớn vào mục tiêu phát triển kinh tế xã hội, giao thông, đóng góp to lớn trong việc dự trữ nước ngọt cho sinh hoạt, bảo đảm an ninh lương thực, năng lượng, thủy sản, nông nghiệp, công nghiệp, giải trí và du lịch sinh thái, ... cũng như ngăn mặn do triều cường vùng ven biển.

## **6. Ưu điểm và nhược điểm về nội dung, kết cấu và hình thức của luận án**

*Nội dung luận án:* Luận án đã nghiên cứu một cách có hệ thống về tác động của khí  $H_2S$  và  $CH_4$  đến đặc điểm và cấu trúc phân bố của quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai. Quá trình khảo sát được thực hiện theo không gian tại 16 vị trí dọc theo sông Ba Lai, trong đó, có 3 vị trí ngoài đập và 13 vị trí trong đập (kéo dài đến thượng nguồn); và theo thời gian, bao gồm mùa mưa (2019 và 2020) và mùa khô (2020 và 2021). Ngoài ra, các thông số môi trường khác, như thế oxy hóa khử (ORP), pH, độ mặn, thành phần trầm tích, cũng được xác định và đánh giá sự tác động của chúng đến QXTT. Mối liên hệ giữa các thông số môi trường, giữa thông số môi trường và đặc điểm quần xã tuyến trùng đã được phân tích. Dựa trên các kết quả thu được tác giả đã đánh giá hiện trạng chất lượng môi trường sinh thái nền đáy sông Ba Lai theo quần xã tuyến trùng và đề ra các giải pháp để quản lý môi trường ở các thủy vực tù đọng, hồ chứa do ảnh hưởng của đập chắn.

*Kết cấu và hình thức luận án:* Luận án gồm có phần Mở đầu và 3 chương (Chương 1. Tổng quan tài liệu; Chương 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu; Chương 3. Kết quả và thảo luận); Kết luận và đề nghị; Tài liệu tham khảo; 21 bảng; 73

hình. Bố cục luận án hợp lý và có hệ thống; Hình thức trình bày rõ ràng, đúng mẫu qui định của một luận án tiến sĩ. Tuy nhiên, vẫn còn một số lỗi soạn thảo nhỏ.

### **7. Nội dung của luận án đã được công bố trên tạp chí, kỷ yếu Hội nghị Khoa học nào và giá trị của các công trình đã công bố**

Có 4 bài báo công bố liên quan nội dung luận án, gồm:

- 01 bài quốc tế uy tín (2022, Environmental Monitoring and Assessment, Springer; SCIE, Q2, IF~3.0).

- 02 bài Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên (2022 và 2021, tạp chí ACI và được tính 0–1,0 điểm từ năm 2021 theo hội đồng GSNN).

- 01 bài Academia Journal of Biology - Vietnam Academy of Science and Technology (2023, tạp chí ACI, được tính 0–1,25 điểm từ 2023 và 0–1,0 điểm từ 2025 theo hội đồng GSNN).

### **8. Kết luận chung**

Luận án đáp ứng đủ yêu cầu về nội dung và hình thức đối với một luận án tiến sĩ ngành Sinh thái học, mã số: 9.42.01.20.

Bản tóm tắt luận án phản ánh trung thành với nội dung cơ bản luận án.

Luận án đủ mọi điều kiện đưa ra bảo vệ cấp Học viện để nhận bằng Tiến sĩ.

*Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 14 tháng 01 năm 2026*

**Người viết nhận xét**



PGS. TS. Phạm Đình Dũ

Tp. HCM, ngày 02 tháng 02 năm 2026

**BIÊN BẢN CỦA  
HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN**

Họ và tên NCS: Phạm Ngọc Hoài  
Tên đề tài Luận án: Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường.  
Chuyên ngành: Sinh thái học  
Mã số: 9 42 01 20  
Người hướng dẫn PGS.TS. Ngô Xuân Quảng  
TS. Nguyễn Minh Ty

**Phần I:**

- Đại diện cơ sở đào tạo (PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo) tuyên bố lý do, đọc quyết định của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc thành lập Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện và đề nghị Chủ tịch Hội đồng (PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo) điều khiển phiên họp.
- Chủ tịch Hội đồng công bố danh sách thành viên có mặt, thông qua chương trình buổi bảo vệ, đề nghị Thư ký thông báo các điều kiện chuẩn bị cho buổi bảo vệ và đọc lý lịch khoa học của NCS.
- Thư ký thông báo các điều kiện cho buổi bảo vệ.
- Các thành viên hội đồng và những người tham dự hoàn toàn đồng ý về lý lịch khoa học và quá trình đào tạo của nghiên cứu sinh NCS. Phạm Ngọc Hoài.
- NCS. Phạm Ngọc Hoài trình bày nội dung luận án trong thời gian 30 phút
- Các phản biện đọc nhận xét và đặt câu hỏi:
  - Phản biện 1. PGS.TS. Phạm Thanh Lưu (bản nhận xét gửi kèm)
    - NCS đã có 4 công bố liên quan đến luận án (01 bài trên tạp chí Quốc tế và 03 bài trên tạp chí chuyên ngành trong nước);
    - Luận án đáp ứng được tính phù hợp, phương pháp nghiên cứu phù hợp, hiện đại nên kết quả của luận án tốt, độ tin cậy cao.



- Tuy nhiên có một số hạn chế liên quan đến: 1) Tổng quan; 2). Rà soát và cập nhật thêm tài liệu tham khảo mới; 3) phân tích như các gốc dinh dưỡng N, P đối với quần xã tuyền trùng.

*Phần góp ý cụ thể khác để hoàn thiện luận án: xem trong văn bản góp ý của phản biện.*

*Câu hỏi:*

1. Sự biến động của quần xã tuyền trùng theo không gian và thời gian ở sông Ba Lai trong điều kiện tích tụ khí ..; và có đặc trưng gì khác biệt gì so với các môi trường sông tương tự nhưng không có đập chắn.
2. Phân tích tính khả thi của việc sử dụng tuyền trùng làm chỉ thị sinh học trong đánh giá sức khỏe sinh thái và chất lượng môi trường ở sông Ba Lai.

6.2. Phản biện 2. PGS. TS. Trần Ngọc Diễm My (bản nhận xét gửi kèm)

- Rà soát các lỗi chính tả và cần thống nhất các thuật ngữ liên quan phân vùng sinh thái.

- Chọn lọc tài liệu tham khảo tập trung theo các nội dung chính của luận án, tránh dàn trải.

- Phần trình bày kết quả và thảo luận nên đi song song với nhau để dễ theo dõi và đánh giá, so sánh với các kết quả đã công bố.

- Cần xác định phân vùng theo độ mặn của tất cả các điểm khảo sát để thuận tiện trong việc phân tích về thành phần và phân bố tuyền trùng theo độ mặn song song với các yếu tố môi trường khác.

- Xác định cụ thể hơn nhóm loài có tiềm năng làm chỉ thị cho môi trường nghiên cứu của luận án.

Các góp ý khác xem bản nhận xét kèm theo.

*Câu hỏi:*

1. Cấu trúc quần xã tuyền trùng trong môi trường tích tụ  $H_2S$  và  $CH_4$  có gì khác so với các môi trường khác? Và khác với chính điều kiện môi trường sông Ba Lai trong những nghiên cứu trước đây hay không? Có những loài chỉ thị cụ thể ghi nhận trong luận án hay không?
2. Có thật sự các thông số  $H_2S$  và  $CH_4$  là yếu tố tác động chính gây stress đến cấu trúc quần xã tuyền trùng tại khu vực nghiên cứu?
3. Trang 69-70: Cần thảo luận thêm ý nghĩa của kết quả khi tăng số điểm thu mẫu như nghiên cứu này đã thực hiện.

6.3. Phản biện 3. TS. Nguyễn Trần Thiện Khánh (bản nhận xét gửi kèm)

Đồng thuận với các nhận xét của các phản biện 1 và 2.

- Các góp ý khác xem chi tiết trong bản nhận xét.

*Câu hỏi:*

*Câu 1:* Trong phân tích DistLM mùa mưa (Hình 3.57), tại sao biến mặn và pH lại là hai yếu tố chi phối chính quần xã ngoài đập (G1-G3), trong khi CH<sub>4</sub> và bùn lại quan trọng hơn với quần xã trong đập (G4-G7)? NCS có thể giải thích cơ chế sinh thái dựa trên dữ liệu ANOVA hai yếu tố không?

*Câu 2:* Trong đề xuất giám sát 2 lần/năm (mục 3.5), NCS đặt ngưỡng cảnh báo H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub> dựa trên chỉ số MI/ITD như thế nào cho cụ thể? Nếu phát hiện quần xã thượng nguồn G16 chuyển từ 'trung bình' mùa mưa sang 'xấu' mùa khô liên tục 2 năm, NCS sẽ kiến nghị điều chỉnh vận hành đập Ba Lai ra sao để giảm tích trầm tích hữu cơ?"

#### 7. Tác giả luận án trả lời các câu hỏi của phản biện

Sau phần trả lời của tác giả luận án, ý kiến của các phản biện như sau:

##### ***Ý kiến của phản biện 1:***

Đồng ý phần trả lời của NCS.

##### ***Ý kiến của phản biện 2:***

*Nội dung trả lời các câu hỏi của phản biện 2:*

Tác giả đã trả lời đầy đủ các ý theo câu hỏi 1 của phản biện như: 1). Các thông số H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> có tác động chính lên quần xã tuyến trùng trong khu vực nghiên cứu; 2). So sánh cấu trúc quần xã tuyến trùng giữa nghiên cứu này so với các kết quả nghiên cứu trước để thấy mức độ tác động của đập chắn đối với môi trường sinh vật; 3). Xác định nhóm sinh vật chỉ thị: có đưa ra các nhóm chống chịu môi trường.

*Ý kiến của phản biện 2 sau khi nghe phần trả lời của tác giả luận án:*

- Đồng ý với các giải thích của NCS và cần đưa các ý trả lời này của NCS vào luận án khi chỉnh sửa theo góp ý của hội đồng.
- Nên xác định nhóm tuyến trùng nhạy cảm với các yếu tố môi trường theo nghiên cứu này làm chỉ thị có thể cho khu vực đập Ba Lai hoặc có thể cho môi trường tương tự.

##### ***Ý kiến của phản biện 3:***

Đồng ý phần trả lời của NCS.

8. Các thành viên khác trong Hội đồng đưa ra ý kiến nhận xét và đặt câu hỏi

8.1. PGS.TS. Vũ Cẩm Lương

- Đánh giá cao kết quả nghiên cứu của luận án và đồng ý với các ý kiến của các phản biện đã nêu.
- Một số góp ý theo bản nhận xét đính kèm.

8.2. PGS.TS. Phạm Đình Dũ

- Đánh giá cao khối lượng công việc nghiên cứu của luận án.
- Các góp ý cụ thể xem bản nhận xét kèm theo.

8.3. TS. Nguyễn Trần Vỹ

- Đồng ý với các ý kiến thành viên hội đồng khác. Các góp ý chỉnh sửa hoàn thiện được ghi trong phiếu nhận xét đính kèm.

8.4. PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo

- Luận án là công trình nghiên cứu có ý nghĩa khoa học và giá trị thực tiễn, có đóng góp vào lĩnh vực nghiên cứu chuyên ngành.
- Nội dung của luận án được công bố trong các tạp chí có uy tín trong và ngoài nước, vì vậy kết quả nghiên cứu có độ tin cậy cao.
- NCS tham khảo thêm các ý kiến khác trong phiếu nhận xét đính kèm.

9. Những người tham dự có thể đặt câu hỏi để kiểm tra kiến thức và trình độ nghiên cứu khoa học của nghiên cứu sinh

10. Tác giả luận án trả lời các câu hỏi nêu ra

11. Đại diện tập thể hướng dẫn phát biểu ý kiến bằng văn bản

## **Phần II: Hội đồng họp riêng để bầu ban kiểm phiếu, bỏ phiếu kín và thảo luận thông qua quyết nghị của Hội đồng**

1. Hội đồng bầu ra Ban kiểm phiếu gồm 3 người:

A - Trưởng ban: PGS.TS. Phạm Thanh Lưu.

B - Ủy viên: PGS. TS. Phạm Đình Dũ

C - Ủy viên: TS. Nguyễn Trần Vỹ.

2. Sau khi đánh giá tán thành luận án, người bỏ phiếu có thể xem xét đánh giá luận án đạt loại xuất sắc hay không. Luận án được đánh giá xuất sắc nếu:

a. Luận án có giá trị cao về khoa học, có đóng góp đáng kể trong việc bổ sung, phát triển và làm phong phú thêm kiến thức lý thuyết của khoa học chuyên

- ngành, được thể hiện qua các bài báo đã công bố trên các tạp chí khoa học có uy tín về chất lượng khoa học ở trong và ngoài nước, hoặc
- b. Luận án có giá trị khoa học và thực tiễn, kết quả của luận án đã được ứng dụng trên diện rộng và được đánh giá cao
3. Quyết nghị của Hội đồng: (Quyết nghị gửi kèm)

**Phần III:**

1. Trưởng ban kiểm phiếu công bố kết quả đánh giá luận án.
2. Chủ tịch Hội đồng đọc quyết nghị của Hội đồng.
3. Chủ tịch Hội đồng tuyên bố Hội đồng đã hoàn thành nhiệm vụ và trao lại quyền điều khiển cho Cơ sở đào tạo.

**THƯ KÝ**



**TS. Nguyễn Trần Vỹ**

**CHỦ TỊCH**



**PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo**

**XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO**

**KT. GIÁM ĐỐC  
PHÓ GIÁM ĐỐC**



**Nguyễn Thị Trung**



Tp. HCM, ngày 02 tháng 02 năm 2026

**QUYẾT NGHỊ CỦA  
HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN ÁN TIẾN SĨ CẤP HỌC VIỆN**

Họ và tên NCS: Phạm Ngọc Hoài  
Tên đề tài Luận án: Tuyển trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường.  
Chuyên ngành: Sinh thái học  
Mã số: 9 42 01 20  
Người hướng dẫn PGS.TS. Ngô Xuân Quảng  
TS. Nguyễn Minh Ty

**1. Kết quả bỏ phiếu đánh giá luận án của Hội đồng:**

7/7 thành viên đồng ý NCS. Phạm Ngọc Hoài được nhận học vị Tiến sĩ Sinh thái học;

**2. Những kết luận khoa học cơ bản, những điểm mới, đóng góp mới của luận án:**

**Luận án đạt được một số kết quả mới như sau:**

+ Lần đầu tiên nồng độ khí  $CH_4$  và  $H_2S$  đã được đánh giá trong toàn chiều dài của sông Ba Lai theo không gian và thời gian.

+ Xác định được mối quan hệ tương tác giữa  $CH_4$ ,  $H_2S$  và cấu trúc quần xã tuyển trùng.

+ Đề xuất tiềm năng ứng dụng tuyển trùng như chỉ thị sinh học cho giám sát môi trường trầm tích và phát thải khí nhà kính, phục vụ quản lý môi trường, phát triển kinh tế – xã hội bền vững.

**Cơ sở khoa học, độ tin cậy của những luận điểm và những kết luận nêu trong luận án:**

Kết quả của luận án có cơ sở khoa học và có độ tin cậy cao.

**3. Ý nghĩa về lý luận, thực tiễn và những đề nghị sử dụng các kết quả nghiên cứu của luận án:**

*Ý nghĩa khoa học của đề tài:*



- Kết quả nghiên cứu của luận án đã cung cấp nguồn cơ sở dữ liệu về thành phần, đặc điểm và phân bố của các loài tuyến trùng trên toàn tuyến sông Ba Lai. Đây là dữ liệu nền quan trọng trong giảng dạy và cho các nghiên cứu trong các lĩnh vực đất ngập nước, biến đổi khí hậu, thủy sinh, sinh thái sông và cửa sông, giám sát và quản lý môi trường.
- Kết quả của luận án cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho: 1). Các nghiên cứu sâu hơn trong lĩnh vực quản lý, bảo tồn đất ngập nước và thủy vực; 2). Giám sát, đánh giá tác động môi trường cho các qui hoạch liên quan đến các dòng chảy và hệ sinh thái đất ngập nước.
- Kết quả nghiên cứu đã khái quát được ảnh hưởng của khí CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S lên môi trường và hệ sinh vật đáy ở các thủy vực; mở ra tiềm năng ứng dụng tuyến trùng như chỉ thị sinh học cho giám sát môi trường trầm tích và phát thải khí nhà kính, phục vụ quản lý môi trường, phát triển kinh tế – xã hội bền vững.
- Trong thực tế, kết quả nghiên cứu của luận án góp phần đánh giá ảnh hưởng của công trình ngăn mặn trên sông Ba Lai đối với hệ sinh thái nền đáy của sông Ba Lai. Đây là luận cứ khoa học để đề xuất các giải pháp thích hợp khi xây dựng, vận hành và quản lý các công trình đập chắn - hồ chứa, hướng đến giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

#### 4. Những thiếu sót về nội dung và hình thức của luận án:

NCS tham khảo các góp ý chi tiết của các thành viên Hội đồng về thiếu sót về nội dung và hình thức của luận án (văn bản gửi kèm). Lưu ý một số điểm chính như sau:

##### Hình thức:

- Tác giả cần rà soát lỗi chính tả, lỗi đánh máy.
- Cần rà soát và chọn lọc các tài liệu tham khảo thật điển hình và cập nhật liên quan đến nội dung nghiên cứu của luận án để trích dẫn, tránh dàn trải và mang tính liệt kê;
- Thống nhất các thuật ngữ đã sử dụng trong luận án như phân vùng sinh thái: trong đập, ngoài đập, thượng nguồn và hạ nguồn,.....

##### Nội dung:

- Bổ sung thêm tổng quan các nghiên cứu về tuyến trùng liên quan đến khí nhà kính và làm rõ thêm khoản trống trong nghiên cứu của luận án.

##### Vật liệu và Phương pháp:

- Bổ sung phương pháp xác định các loài nhạy cảm và chống chịu đối với các yếu tố môi trường trong nghiên cứu này.

**Kết quả và thảo luận:**

- Cần trình bày phần thảo luận song song với các kết quả tương ứng để dễ theo dõi cũng như thuận lợi khi so sánh với các kết quả đã công bố như đã đề cập trong tổng quan;
- Phần giải pháp: cần cụ thể hơn dựa trên các kết quả của luận án;
- Trình bày phần kết luận và kiến nghị xúc tích và cụ thể hơn.

**5. Mức độ đáp ứng các yêu cầu của luận án:**

Luận án đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của một luận án tiến sĩ nêu ở Quy chế đào tạo Sau đại học.

**6. Những điểm cần bổ sung, sửa chữa (nếu có) trước khi nộp luận án cho Thư viện Quốc gia Việt Nam:**

Chỉnh sửa theo mục “thiếu sót của luận án” đã được trình bày ở trên và các góp ý chi tiết của các thành viên hội đồng.

**7. Kiến nghị của Hội đồng về việc công nhận trình độ và cấp bằng tiến sĩ cho nghiên cứu sinh:**

Đề nghị Học viện cấp bằng Tiến sĩ Sinh thái học cho NCS. Phạm Ngọc Hoài.

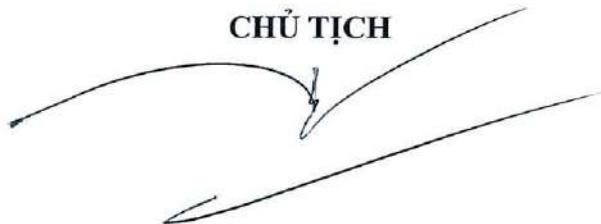
**8. Nghị quyết được 7/7 thành viên Hội đồng nhất trí thông qua bằng biểu quyết công khai.**

THƯ KÝ



TS. Nguyễn Trần Vỹ

CHỦ TỊCH



PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo



XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO



Nguyễn Thị Trung

**BẢN GIẢI TRÌNH CHỈNH SỬA, BỔ SUNG LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
CẤP HỌC VIỆN**

Ngày 02 tháng 02 năm 2026, Học viện Khoa học và Công nghệ đã tổ chức đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện cho nghiên cứu sinh Phạm Ngọc Hoài theo Quyết định số 1517/QĐ-HVKHCN ngày 22 tháng 12 năm 2025 của Giám đốc Học viện.

Đề tài: “Tuyến trùng sông Ba Lai trong điều kiện trầm tích tụ khí hydro sulfua, metan làm chỉ thị phục vụ giám sát và quản lý môi trường”

Ngành: Sinh thái học Mã số: 9 42 01 20

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Ngô Xuân Quảng và TS. Nguyễn Minh Ty

Theo Biên bản của Hội đồng, NCS phải bổ sung và chỉnh sửa luận án các điểm sau đây:

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
1	<p>Về hình thức</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Tác giả cần rà soát lỗi chính tả, lỗi đánh máy.</li><li>Cần rà soát và chọn lọc các tài liệu tham khảo thật điển hình và cập nhật liên quan đến nội dung nghiên cứu của luận án để trích dẫn, tránh dàn trải và mang tính liệt kê.</li><li>Thống nhất các thuật ngữ đã sử dụng trong luận án như phân vùng sinh thái: trong đập, ngoài</li></ul>	<p>NCS đã kiểm tra các lỗi chính tả, lỗi đánh máy, thống nhất thuật ngữ phân vùng sinh thái, bổ sung cập nhật tài liệu tham khảo mới và lược bỏ các tài liệu đã quá cũ trong toàn luận văn và đã chỉnh sửa theo góp ý của Hội đồng.</p>



STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	đập, thượng nguồn và hạ nguồn,.....	
2	Phân phương pháp nghiên cứu, bổ sung phương pháp xác định các loài nhạy cảm và chống chịu đối với các yếu tố môi trường trong nghiên cứu này.	NCS đã bổ sung phương pháp xác định các loài nhạy cảm và chống chịu đối với các yếu tố môi trường trong nghiên cứu này tại mục 2.4.
3	<p>Kết quả và thảo luận:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cần trình bày phần thảo luận song song với các kết quả tương ứng để dễ theo dõi cũng như thuận lợi khi so sánh với các kết quả đã công bố như đã đề cập trong tổng quan;</li> <li>• Phần giải pháp: cần cụ thể hơn dựa trên các kết quả của luận án;</li> <li>• Trình bày phần kết luận và kiến nghị súc tích và cụ thể hơn</li> </ul>	<p>NCS đã rà soát chỉnh sửa theo góp ý của Hội đồng tại Chương 3 kết quả và thảo luận (trang 44 – 111); Đối với phần giải pháp đã bổ sung cụ thể các giải pháp dựa trên kết quả luận án.</p> <p>Đối với phần kết luận và kiến nghị (trang 112 -113) NCS đã trình bày súc tích và cụ thể hơn.</p>
4	Trong phần tổng quan, bổ sung các nghiên cứu có liên quan đến việc sử dụng tuyến trùng làm chỉ thị với khí nhà kính nói chung và khí metan, khí hydro sulfua nói riêng ở sông Ba Lai cũng như ở các cửa sông khác trong nước và trên thế giới	Riêng ở sông Ba Lai, hiện chưa có nghiên cứu liên quan đến tuyến trùng làm chỉ thị khí nhà kính metan và khí độc hydro sulfua. Nghiên cứu của luận án là nghiên cứu đầu tiên về mối quan hệ này, do vậy NCS đề xuất được bổ sung thông tin này trong mục 1.4.3 luận án (trang 24) để làm nổi bật hơn tính mới của luận án
5	Một số đoạn trong phần chương	NCS đã hiệu chỉnh theo góp ý của

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	<p>1-Tổng quan, NCS nên xem xét tách đoạn cho đoạn văn mạch lạc hơn.</p> <p>Vd: dòng “Theo Văn Hữu Tập (2015),....ở trang 6; dòng “Đập chắn làm đảo lộn quá trình luân chuyển vật chất,...”</p>	Hội đồng.
6	<p>Làm rõ thêm trong phần 1.5.3 (trang 30) hoặc viết thêm một phần 1.5.4. Tổng quan các nghiên cứu về chỉ thị môi trường nước, trầm tích, khí nhà kính và quần xã tuyền trùng ở sông Ba Lai, để từ đó làm rõ và chỉ ra được các khoản trống nghiên cứu.</p>	<p>NCS đã bổ sung trong mục 1.4.3 luận án (trang 24), cụ thể:</p> <p>“Mặc dù, đã có một số nghiên cứu về tuyền trùng ở sông Ba Lai và khu vực sông Mê Kông liên quan đến cấu trúc trầm tích và yếu tố môi trường nhưng chưa có nghiên cứu sử dụng chỉ thị tuyền trùng với khí nhà kính (metan) và khí độc hydro sulfua, đây cũng là nghiên cứu đầu tiên đánh giá tương quan giữa tuyền trùng với khí H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> và đặc biệt sử dụng tuyền trùng làm chỉ thị cho sự phát thải khí H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> tại sông Ba Lai có đập chắn”</p>
7	<p>Bổ sung trực tung và trực hoành ở các hình 3.1 (trang 44), hình 3.4 (trang 46); hình 3.6 (trang 48),...</p> <p>Cần hiệu chỉnh số thứ tự hình (hình 1.1, ở mục 1.3.1,....)</p>	Đã bổ sung trực tung và trực hoành vào các hình theo góp ý của Hội đồng.

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
8	Số liệu về phân bố tuyến trùng và thành phần loài, mật độ, các chỉ số tuyến trùng nên trình bày thống nhất về các vị trí của đập (trong đập, ngoài đập và thượng nguồn)	Đã hiệu chỉnh trình bày thống nhất theo vị trí trong đập, ngoài đập, và thượng nguồn trong Chương 3 Kết quả và Thảo luận của Luận án.
9	Tài liệu tham khảo lược bỏ những tài liệu nghiên cứu đã quá cũ	NCS đã rà soát lược bỏ các tài liệu nghiên cứu đã quá cũ (công bố cách đây 30 - 40 năm) và cập nhật bổ sung thêm một số tài liệu nghiên cứu để trích dẫn làm nổi bật tính thời sự của luận án.
10	Sử dụng một số thuật ngữ chưa chính xác trong phần mục tiêu nghiên cứu (dùng từ “ nghiên cứu” không phù hợp khi viết mục tiêu nghiên cứu)	Trong phần mục tiêu nghiên cứu (trang 2), NCS lược bỏ thuật ngữ “nghiên cứu” và đã hiệu chỉnh phù hợp với mục tiêu nghiên cứu, cụ thể: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Xác định nồng độ khí hydro sulfua và metan phát thải từ trầm tích sông Ba Lai.</li> <li>- Phân tích đặc điểm và cấu trúc quần xã tuyến trùng sống tự do trong trầm tích sông Ba Lai dưới tác động của các yếu tố môi trường, chủ yếu là khí hydro sulfua và metan.</li> <li>- Đề xuất ứng dụng tuyến trùng làm công cụ chỉ thị trong quan trắc và quản lý môi trường sông Ba Lai.</li> </ul>
11	Format đơn vị: $10^3.10\text{cm}^{-2}$ ; cá	Thống nhất hiệu chỉnh đơn vị của

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	thể/10cm <sup>2</sup> ; có/không có khoảng trắng giữa số và đơn vị,...	mật độ là: cá thể/10 cm <sup>2</sup> trong toàn văn luận án (mục 1.4.1).
12	Cần thống nhất cách ghi CH <sub>4</sub> /metan; hydrosulfua/H <sub>2</sub> S trong toàn bài.	NCS đã rà soát trong toàn luận án, thống nhất cách ghi khí metan (CH <sub>4</sub> ) và hydro sulfua (H <sub>2</sub> S)
13	<p>Hình 1.5: chỉnh sửa lại các chú thích cho trục ox, oy cho rõ hơn.</p> <p>Hình 1.6 và hình 2.1: hình nhỏ bản đồ Việt Nam vị trí quần đảo Hoàng Sa, Trường Sa không đúng, cần thay hình khác cho chuẩn chỉnh hơn.</p> <p>Hình 1.7: hình nhỏ phía trên độ phân giải kém, không rõ, cần thay thế hoặc tăng độ phân giải.</p> <p>Bảng 2.1 &amp; 2.2, hình 2.1 &amp; 2.8 minh họa rõ. Tuy nhiên, quy trình lấy mẫu lặp lại dài dòng, thiếu bảng vị trí tọa độ thu mẫu G1-G16 chi tiết, Hình 2.2-2.5 thiếu bước số/thời gian bảo quản, Hình 2.7 thiếu mũi tên flowchart</p>	Đã hiệu chỉnh theo góp ý của Hội đồng.
14	<p>Phần Phương pháp nghiên cứu:</p> <p>- Nhiều đoạn viết lặp lại (trang 35); một số từ viết tắt ví dụ ORP đã đề cập trước đó 1 lần, sau đó không cần chú thích và chỉ dùng viết tắt.</p>	NCS đã hiệu chỉnh theo góp ý của Hội đồng;

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	- Thuật ngữ: “đá khô” không dùng “nước đá khô”, xem lại (trang 35).	
15	Xem lại hình 2.5 (trang 37): sửa lại cho ngay, bỏ chú thích hình 3. Xem lại tên hình 2.4, 2.5: không nên dùng “sơ đồ” - tên hình 2.5 nên ghi rõ: “Tóm tắt các bước hoặc quy trình phân tích khí CH <sub>4</sub> trong trầm tích”.	NCS đã hiệu chỉnh theo góp ý của Hội đồng.
16	Phần xử lý số liệu (mục 2.2.2 trang 37) nên gom chung với phần 2.3.2.2. Phân tích thống kê và đưa ra sau cùng xử lý số liệu chung cho phân phương pháp.	NCS đã hiệu chỉnh theo góp ý của Hội đồng.
17	Các hình 3.17 trang 57, hình 3.18 trang 58,... về cấu trúc quần xã tuyến trùng, không thấy độ lệch chuẩn, trong khi luận án đề cập thu 2 năm, mỗi năm 2 đợt.	NCS đã bổ sung độ lệch chuẩn tại các hình 3.17 và hình 3.18 theo góp ý của Hội đồng.
18	Phần kết quả trình bày chưa nhất quán: Kết quả khí trình bày 2 mùa (mùa mưa, mùa khô) và chia ra trong đập và ngoài đập; kết quả phân bố tuyến trùng (trang 71-83) thì lại chia ra 3 vùng: trong đập, ngoài đập, thượng nguồn; ngược lại kết quả về thành phần loài, mật độ, các	NCS đã chỉnh sửa trình bày lại cho phù hợp nhất quán phân vùng sinh thái (tại Chương 3 Kết quả và Thảo luận) và bổ sung theo góp ý Hội đồng, trong đó nêu rõ vị trí G1 đến G3 nằm ở ngoài đập Ba Lai, vị trí G4-G7 là trong đập Ba Lai và vị trí từ G8 đến G16 là thượng nguồn

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	chỉ số thì không thấy đề cập. Xem lại, nếu chia ra trong đập, ngoài đập, thượng nguồn thì cũng phải làm rõ trong phương pháp các vị trí khảo sát tương ứng cho 3 vùng này?	(xem mục 2.1 - trang 34).
19	Bảng 3.11-3.12 thiếu in đậm r đáng kể/sắp xếp  r  giảm dần; Hình 3.1- 3.59 cần chọn lọc thành panel, Hình 3.57-3.59 thiếu giải thích trực dbRDA/vector; phụ lục thiếu bảng tóm tắt ANOVA	NCS đã chỉnh sửa theo góp ý của Hội đồng và bổ sung tóm tắt phân tích ANOVA vào phần phụ lục Luận án.
20	Cần rà soát thuật ngữ phân vùng sinh thái sử dụng trong luận án một cách thống nhất. ví dụ: Trong đập/ ngoài đập; trên đập/dưới đập; thượng nguồn/hạ nguồn,...tránh gây nhầm lẫn cho người đọc và giải thích các điểm trong vùng sinh thái theo ý kiến chủ quan của NCS	NCS đã chỉnh sửa phân vùng sinh thái theo góp ý của Hội đồng.
21	Cấu trúc quần xã tuyền trùng trong môi trường tích tụ Hydro sulfua và metan có gì khác biệt với các môi trường khác? và khác với chính điều kiện môi trường ba lai trong những nghiên cứu trước đây hay không? có	Thứ nhất, về cấu trúc quần xã tuyền trùng trong môi trường tích tụ H <sub>2</sub> S và CH <sub>4</sub> , quần xã có đặc trưng rõ rệt là đa dạng thấp, cấu trúc mất cân bằng, ưu thế các giống thuộc nhóm c-p thấp (c-p 1-2), mật độ cao nhưng phân bố không đồng đều. Các chỉ số

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	<p><b>Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung</b></p> <p><i>(Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)</i></p>
	những loài chỉ thị cụ thể có ghi nhận trong luận án hay không?	<p>sinh học (H', Margalef, Hill, MI) đều giảm mạnh, trong khi ITD tăng, phản ánh điều kiện yếm khí, trầm tích giàu bùn mịn và hữu cơ, khác biệt rõ so với các môi trường không tích tụ khí yếm khí (ngoài đập, cửa sông mở), nơi quần xã ổn định hơn và tỷ lệ c-p cao chiếm ưu thế.</p> <p>Thứ hai, so với các nghiên cứu trước đây tại sông Ba Lai, luận án cho thấy mức độ yếm khí và tích tụ H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> hiện nay tác động mạnh hơn, làm quần xã tuyến trùng suy giảm đa dạng và chuyển dịch rõ về nhóm chịu stress, trong khi các nghiên cứu trước chủ yếu ghi nhận biến động quần xã theo độ mặn và mùa, chưa thể hiện rõ vai trò chi phối của khí yếm khí trong trầm tích.</p> <p>Thứ ba, luận án đã ghi nhận các loài/giống chỉ thị cụ thể, gồm 10 giống chống chịu H<sub>2</sub>S (như <i>Aphanonchus</i>, <i>Dorylaimus</i> ...) và 21 giống chống chịu CH<sub>4</sub> (như <i>Theristus</i>, <i>Linhystera</i> ...), được xác định dựa trên tương quan dương có ý nghĩa thống kê với nồng độ H<sub>2</sub>S hoặc CH<sub>4</sub> và sự ưu thế ổn định tại các điểm trong đập. Những giống này được đề xuất là chỉ thị sinh học tiềm năng cho giám sát môi trường</p>

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
		yếm khí tại đập Ba Lai.
22	Thông số Hydro sulfua và metan có thực sự là yếu tố tác động chính/gây stress đến cấu trúc quần xã tuyến trùng tại khu vực nghiên cứu hay không? Hay do nghiên cứu sinh chỉ tập trung vào 02 thông số môi trường này và có ghi nhận sự tương quan?	<p>Kết quả luận án cho thấy H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> thực sự là các yếu tố gây stress chính, không phải do NCS chỉ tập trung khảo sát hai thông số này.</p> <p>Điều này được chứng minh bởi DistLM và ANOVA, trong đó H<sub>2</sub>S – CH<sub>4</sub> giải thích tỷ lệ biến động cao và có ý nghĩa thống kê đối với cấu trúc quần xã tuyến trùng, đặc biệt tại khu vực trong đập. Đồng thời, sự suy giảm MI, đa dạng và ưu thế nhóm c-p thấp phù hợp với cơ chế sinh thái của môi trường yếm khí, khẳng định vai trò tác động thực sự của H<sub>2</sub>S–CH<sub>4</sub> chứ không chỉ là mối tương quan ngẫu nhiên.</p>
23	Liệu có mối quan hệ giữa nhóm tuyến trùng ăn vi khuẩn với sự gia tăng hoạt động của vi khuẩn khử sulfat, vi khuẩn sinh methanogen góp phần sản sinh khí hydro sulfua và khí metan trong môi trường?	<p>Kết quả luận án cho thấy nhóm tuyến trùng ăn vi khuẩn (cp 1-2) tăng mạnh tại các khu vực trầm tích yếm khí, nơi H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> tích tụ cao. Điều này phản ánh mối liên hệ gián tiếp nhưng nhất quán: môi trường giàu hữu cơ và ORP thấp thúc đẩy vi khuẩn khử sulfate và vi khuẩn sinh methanogen, làm tăng H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>, đồng thời cung cấp nguồn thức ăn dồi dào cho tuyến trùng ăn vi khuẩn. Vì vậy, sự gia tăng nhóm này là chỉ báo sinh học cho hoạt động vi sinh</p>

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
		yếm khí mạnh trong trầm tích.
24	Cần xem lại đoạn nhận định ở trang 61 trong luận án, về việc mở rộng 16 điểm thu mẫu trong luận án so với những nghiên cứu trước đây, những điểm thu mẫu nào tương ứng với ngọt, lợ, mặn thể hiện trên kết quả của luận án?	<p>Việc mở rộng lên 16 điểm thu mẫu trong luận án giúp bao phủ đầy đủ 3 hệ sinh thái mặn – lợ – ngọt dọc theo toàn tuyến sông Ba Lai, trong khi các nghiên cứu trước đây chỉ khảo sát ít điểm, chủ yếu tập trung vùng hạ lưu hoặc một mùa, nên chưa phản ánh đầy đủ gradient sinh thái.</p> <p>Cụ thể, kết quả độ mặn (Hình 3.8) cho thấy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Khu vực ngọt quanh năm: các điểm G4 - G16 (từ trong đập đến thượng nguồn và ngã ba An Hóa).</li> <li>+ Khu vực lợ: các điểm G2 - G3 (vùng chuyển tiếp mặn ngọt),</li> <li>+ Khu vực mặn: G1 (cửa sông ngoài đập).</li> </ul> <p>Nhờ bao quát cả không gian sinh thái rộng hơn và điều kiện môi trường đa dạng hơn, nghiên cứu ghi nhận số giống và họ tuyến trùng cao hơn, phản ánh đầy đủ hơn cấu trúc quần xã so với các nghiên cứu trước tại sông Ba Lai.</p>
25	Trong nội dung luận án (Trang 69-70): So sánh cấu trúc thành phần quần xã tuyến trùng sống tự do với các nghiên cứu trước	Việc so sánh cấu trúc quần xã tuyến trùng với các nghiên cứu trước ở sông Ba Lai và khu vực khác nhằm đặt kết quả của luận án vào bối cảnh

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
	đây ở sông Ba Lai và các khu vực khác nhằm mục đích gì? cần thảo luận cụ thể?	<p>khoa học chung, từ đó làm rõ mức độ tương đồng hay khác biệt do điều kiện môi trường và tác động của đập Ba Lai. Qua so sánh, luận án chứng minh rằng sự ưu thế nhóm c-p thấp và các giống chịu H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> là đặc trưng nổi bật hiện nay, khác với các nghiên cứu trước vốn chịu chi phối chủ yếu bởi độ mặn và yếu tố mùa.</p> <p>Vì vậy, thảo luận này giúp khẳng định tính mới, ý nghĩa sinh thái và giá trị so sánh của kết quả nghiên cứu.</p>
26	Trong phân tích DistLM mùa mưa (Hình 3.57), tại sao biến mặn và pH lại là hai yếu tố chi phối chính quần xã ngoài đập (G1-G3), trong khi CH <sub>4</sub> và bùn lại quan trọng hơn với quần xã trong đập (G4-G7)? NCS có thể giải thích cơ chế sinh thái dựa trên dữ liệu ANOVA hai yếu tố không?	<p>Trong mùa mưa, kết quả DistLM (Hình 3.57) cho thấy ngoài đập (G1–G3) chịu chi phối chủ yếu bởi độ mặn và pH vì đây là khu vực mở, trao đổi thủy triều mạnh, không tích tụ trầm tích yếm khí; ANOVA hai yếu tố xác nhận độ mặn và pH biến động theo vị trí có ý nghĩa, quyết định cấu trúc và phân bố QXTT theo gradient cửa sông tự nhiên.</p> <p>Ngược lại, trong đập (G4–G7) có dòng chảy yếu, trầm tích mịn giàu bùn tích lũy, tạo điều kiện yếm khí, làm CH<sub>4</sub> tăng cao; phân tích ANOVA cho thấy CH<sub>4</sub> và %bùn khác biệt có ý nghĩa theo vị trí, trong khi độ mặn và pH ít biến động.</p>

STT	Nội dung đề nghị chỉnh sửa, bổ sung	Nội dung đã được chỉnh sửa, bổ sung (Ghi rõ số trang/chương/mục... đã được chỉnh sửa)
		<p>Vì vậy, cơ chế sinh thái chi phối QXTT ngoài đập là gradient thủy – hóa tự nhiên, còn trong đập là điều kiện trầm tích yếm khí và tích tụ khí do tác động của đập chắn.</p>
27	<p>Trong đề xuất giám sát 2 lần/năm (mục 3.5), NCS đặt ngưỡng cảnh báo H<sub>2</sub>S-CH<sub>4</sub> dựa trên chỉ số MI/ITD như thế nào cho cụ thể? Nếu phát hiện quần xã thượng nguồn G16 chuyển từ 'trung bình' mùa mưa sang 'xấu' mùa khô liên tục 2 năm, NCS sẽ kiến nghị điều chỉnh vận hành đập Ba Lai ra sao để giảm tích trầm tích hữu cơ?</p>	<p>Trong mục 3.5 của luận án, ngưỡng cảnh báo H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub> được đề xuất dựa trên sự suy giảm đồng thời của MI và tăng ITD, trong đó MI thấp (&lt;2) kết hợp ITD cao phản ánh quần xã ưu thế c-p 1–2 và điều kiện trầm tích yếm khí, được xem là trạng thái “xấu” cần cảnh báo.</p> <p>Nếu tại thượng nguồn G16 ghi nhận chuyển từ mức “trung bình” mùa mưa sang “xấu” mùa khô lặp lại liên tục trong 2 năm, điều này cho thấy tích tụ hữu cơ và yếm khí mang tính kéo dài chứ không còn mang tính thời vụ.</p> <p>Trong trường hợp đó, NCS kiến nghị điều chỉnh vận hành đập theo hướng tăng cường xả dòng đáy hoặc xả ngắn hạn vào đầu và cuối mùa khô, nhằm tăng trao đổi nước, cuốn trôi bùn mịn và hạn chế tích lũy vật chất hữu cơ, qua đó giảm phát sinh H<sub>2</sub>S và CH<sub>4</sub>, cải thiện điều kiện sinh thái nền đáy.</p>

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn Quý thầy, cô trong Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện đã góp ý và tạo cơ hội cho NCS hoàn thiện luận án của mình.

Xin trân trọng cảm ơn./.

Hà Nội, ngày 25 tháng 02 năm 2026

**TẬP THỂ HƯỚNG DẪN**

(Trường hợp có 02 người hướng dẫn xin chữ ký cả 02 người, ký và ghi rõ họ tên)

**NGHIÊN CỨU SINH**

**PGS.TS. Ngô Xuân Quảng**

**TS. Nguyễn Minh Ty**

**Phạm Ngọc Hoài**

**XÁC NHẬN CỦA  
HỌC VIỆN KHCN  
KT. GIÁM ĐỐC  
PHÓ GIÁM ĐỐC**



**Nguyễn Thị Trung**

**CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG**

**PGS.TS. Nguyễn Thị Phương Thảo**

**THƯ KÝ**

**TS. Nguyễn Trần Vỹ**