

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG ĐỘNG VẬT KHÔNG XƯƠNG SỐNG CỖ LỚN ĐỂ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG NƯỚC TRÊN 4 HỆ THỐNG KÊNH CHÍNH TẠI TP. HỒ CHÍ MINH

Trương Thanh Cảnh, Ngô Thị Trâm Anh
Trường Đại Học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thành Phố Hồ Chí Minh là một trung tâm chính trị, kinh tế và văn hóa lớn của cả nước. Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh chóng của quá trình công nghiệp hoá và dân số, nhiều vấn đề nghiêm trọng về ô nhiễm môi trường đang nảy sinh làm ảnh hưởng trực tiếp đến sản xuất và đời sống sinh hoạt của người dân. Một trong những vấn đề bức xúc lôi cuốn sự quan tâm của các nhà quản lý và nhân dân thành phố là ô nhiễm nguồn nước. Hiện nay thành phố chưa có hệ thống xử lý nước thải đúng tiêu chuẩn. Nước thải từ sinh hoạt và sản xuất được đổ ra hệ thống thoát nước chung và xả thẳng ra các hệ thống sông rạch mà không qua khâu xử lý hoặc xử lý chưa đầy đủ. Nguồn nước mặt từ các hệ thống kênh rạch đang bị ô nhiễm trầm trọng, đòi hỏi phải có những biện pháp khắc phục nhanh chóng.

Trong công tác quản lý môi trường, hiện nay việc đánh giá chất lượng nước thông qua phương pháp phân tích các chỉ tiêu lý hóa đang được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên phương pháp này có một số hạn chế. Đây là phương pháp gián tiếp chỉ có thể phản ánh tình trạng thủy vực ngay tại thời điểm lấy mẫu, khó có thể dự báo chính xác về các tác động lâu dài của chúng đến khu hệ sinh vật nước. Bên cạnh đó, việc quan trắc phải được thực hiện liên tục với tần suất lớn gây nhiều tốn kém. Trái lại, phương pháp quan trắc sinh học khắc phục được một số hạn chế của phương pháp trên như cung cấp các dẫn liệu về thời gian, tiện lợi trong sử dụng và cho kết quả nhanh, trực tiếp về ảnh hưởng của hiện trạng ô nhiễm đến sự phát triển của hệ thống thủy sinh vật.

Việc sử dụng phương pháp sinh học trong đánh giá chất lượng nước ngày nay đã được nhiều nước trên thế giới quan tâm và áp dụng. Tuy nhiên, ở Việt Nam việc nghiên cứu và ứng dụng các chỉ thị sinh học còn rất hạn chế (Phạm Văn Miên & ctv, 1998; Lê Thu Hà, 2002...). Hiện nay chưa có những tiêu chuẩn sinh học cụ thể hay các chỉ số sinh học đánh giá chất lượng nguồn nước mặt. Cần phải có những nghiên cứu trên nhiều khu vực để xây dựng một hệ thống chỉ số sinh học dùng để đánh giá chất lượng nước phù hợp cho từng vùng.

Đề tài: "Sử dụng động vật không xương sống (ĐVKXS) cỡ lớn để đánh giá chất lượng môi trường nguồn nước mặt trên bốn hệ thống kênh và sông chính tại Tp. Hồ Chí Minh nhằm vào các mục tiêu:

- Thông qua việc xác định ĐVKXS cỡ lớn và phân tích một số chỉ tiêu ô nhiễm hoá lý của nước trên 4 hệ thống kênh chính để đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện môi trường nước đến sự phát triển của ĐVKXS cỡ lớn.
- Sử dụng ĐVKXS cỡ lớn làm sinh vật chỉ thị để đánh giá chất lượng môi trường nước, so sánh với phương pháp đánh giá qua các chỉ tiêu hóa lý.
- Góp phần đa dạng hóa các phương pháp đánh giá ô nhiễm nguồn nước mặt, giúp cho công tác quản lý ô nhiễm và bảo vệ nguồn nước.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

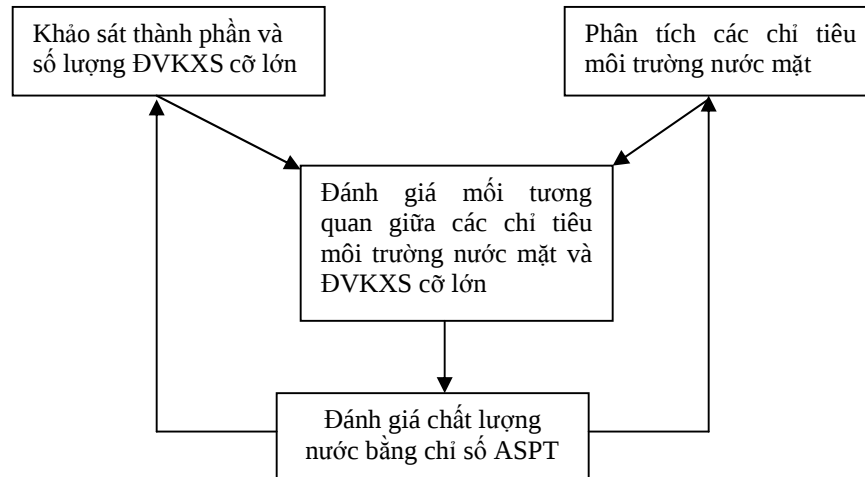
- Xác định sự xuất hiện và thành phần họ của ĐVKXS cỡ lớn ở 4 hệ thống kênh rạch và sông chính của thành phố HCM.

- Nghiên cứu mối tương quan giữa các yếu tố thủy, lý, hóa của thủy vực với sự phát triển của ĐVKXS cỡ lớn.

- Sử dụng ĐVKXSCL làm sinh vật chỉ thị để đánh giá chất lượng nước 4 hệ thống kênh rạch và sông chính của thành phố HCM.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Mô hình nghiên cứu



Hình 1. Mô hình nghiên cứu

2.2.2. Phạm vi nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là bốn hệ thống kênh và sông chính trong thành phố

1. Kênh Tham Lương – Vàm Thuật
2. Kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè
3. Kênh Đò – Tẻ – Tàu Hủ – Bến Nghé
4. Hệ thống sông ở khu vực Nam Sài Gòn.

Mẫu nước lấy hai lần vào mùa mưa và mùa khô, tại 14 vị trí. 4 điểm trên kênh Tham Lương – Vàm Thuật, 3 điểm trên kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè, 4 điểm trên kênh Đò – Tẻ – Tàu Hủ – Bến Nghé và 3 điểm trên khu vực Nam Sông Sài Gòn.

Mẫu nước: Lấy mẫu được tiến hành theo TCVN 5992 – 1995 và bảo quản theo theo TCVN 5993-1995. Các chỉ tiêu lý hoá nước được phân tích theo các phương pháp tiêu chuẩn tại Phòng thí nghiệm Phân tích môi trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên TP. HCM.

Các chỉ tiêu như pH, nhiệt độ, Hàm lượng oxy hoà tan (DO), độ mặn (S), độ dẫn điện (EC), độ đục được đo ngay sau khi lấy mẫu tại hiện trường. Các chỉ tiêu còn lại được phân tích tại phòng thí nghiệm. Nhiệt độ, pH và EC được đo bằng máy HI 8733- Conductivity Meter. Độ mặn được đo bằng khúc xạ kế. DO được đo bằng máy YSI Model 54 A Oxygen Meter. Chất rắn lơ lửng (SS) được xác định bằng phương pháp lọc, sấy khô và cân. Nhu cầu oxy sinh học (BOD) được xác định bằng phương pháp cấy và pha loãng. Nhu cầu oxy hoá học (COD) được xác định bằng phương pháp dicromat hoàn lưu. NO_2 và NO_3 được xác định bằng phương pháp trắc quang. Nito tổng (Nt) được xác định bằng tổng N-Kjeldahn, N- NO_2 và N- NO_3 . Photpho tổng (Pt) được xác định bằng phương pháp so màu.

Mẫu ĐVKXS cỡ lớn: được thu mẫu bằng vợt tay theo ISO 7828. Mẫu định lượng trên nền đáy được tiến hành theo ISO 8265. Mẫu thu thập được quan sát và phân loại định danh đến mức họ dưới kính lúp và định loại ĐVKXS nước ngọt. Dùng các ĐVKXS cỡ lớn để đánh giá chất lượng

nước. Sử dụng hệ thống thang điểm BMWP (*Biological Monitoring Working Party, 1976*) cho điều kiện Việt Nam: Hệ thống điểm BMWP có điểm số từ 1 đến 10, mỗi một họ ĐVKXS cỡ lớn trong hệ thống điểm được nhận một giá trị điểm tương ứng với khả năng chống chịu với ô nhiễm của họ đó. Các họ kém chống chịu ô nhiễm như các họ phù du (*Ephemeroptera*), cánh úp (*Plecoptera*) có số điểm cao nhất là 10; còn những họ có khả năng chống chịu ô nhiễm như Giun ít tơ *Oligochaeta*, họ *Chironomidae* thì có số điểm thấp là 1 và 2.

Dựa vào thành phần các họ tương ứng có mặt trong bảng tính điểm BMWP để tính điểm cho từng họ. Điểm tổng cộng BMWP là giá trị tổng tất cả các điểm số thu được từ mỗi họ tại từng điểm nghiên cứu. Sau khi có điểm tổng cộng BMWP, tính điểm số trung bình hay còn gọi là ASPT (*Average Score Per Taxon*) bằng cách lấy tổng số điểm chia cho tổng số họ đã tham gia tính điểm. Điểm số ASPT là chỉ số sinh học tương ứng với một mức chất lượng nước. Chỉ số nằm trong khoảng từ 1 - 10. Chỉ số càng thấp nước có độ ô nhiễm càng cao.

Sử dụng phần mềm SPSS để tính toán điểm BMWP và ASPT. Dựa vào chỉ số ASPT để đánh giá chất lượng môi trường nước của từng vị trí nghiên cứu theo bảng phân loại.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu đặc tính lý hoá của nước

Kết quả phân tích một số chỉ tiêu hoá lý nước của các hệ thống kênh được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả phân tích tích chất lý hoá của nước kênh

HT. KÊNH	NHIỆT ĐỘ (°C)		pH		EC (µS/cm)		Độ mặn (mg/L)		TSS (mg/L)	
	M	K	M	K	M	K	M	K	M	K
1	29.75	27.93	6.75	6.77	216.1	-	0	0.237	72.6	159.3
2	31.6	29.1	6.88	6.58	-	6.12	0	0.09	35.2	1358.3
3	30.2	29.3	6.6	6.3	-	-	0.0067	0.45	120	1249.7
4	28.9	30.8	6.47	6	633.3	11.43	0.1	0.63	144.67	541
A			6.85-8.5		50-500 ^a		-		20	
B			5.5-9				-		80	
HT. KÊNH	DO (mg/L)		BOD (mg/L)		COD (mg/L)		Pt ¹ (mg/L)		Nt ² (mg/L)	
	M	K	M	K	M	K	M	K	M	K
1	2.5	1.65	18.7	12.9	97.33	71.9	1.6	0.32	3.05	-
2	1.52	0.69	31.6	70.63	97.95	206.9	2.3	2.67	5.95	-
3	2.93	1.68	14.3	26.3	88.12	102.5	0.92	1.28	2.3	-
4	2.72	4.65	8.4	11.13	72.01	85.7	1.07	1.02	3.43	-
A	>6		<4		<10					
B	>2		<25		<35		0.01 ^b		0.2 ^b	

Ghi chú:

¹ Pt: Phospho tổng, ² Nt: Nito tổng

A: Tiêu chuẩn nguồn loại A của TCVN 5942-1995 áp dụng cho nước mặt.

B: Tiêu chuẩn nguồn loại B của TCVN 5942-1995 áp dụng cho nước mặt.

^a: Giá trị cho phép của EC trong nước mặt (50-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

^b: Giá trị tương ứng của P tổng và N tổng gây nên hiện tượng phú dưỡng.

Kênh 1: Kênh Tham Lương – Vàm Thuật.

Kênh 2: Kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè.

Kênh 3: Kênh Đôi Tê- Tàu Hũ- Bến Nghé.

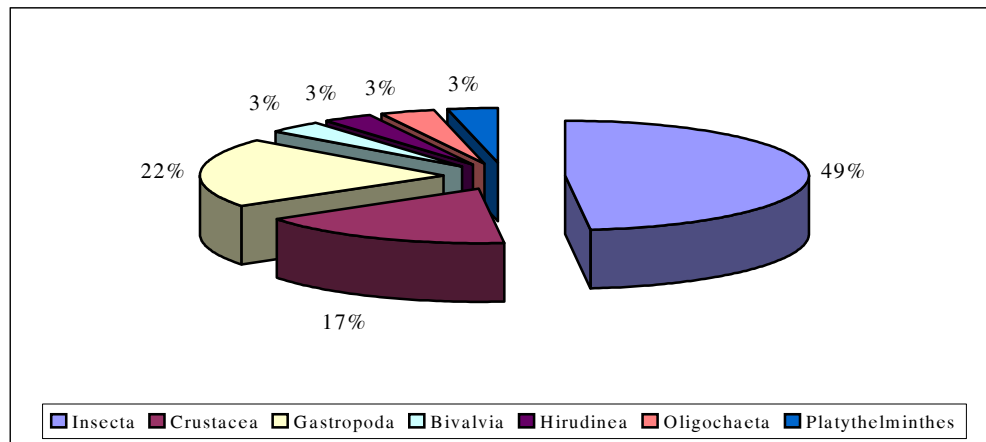
Kênh 4: Khu vực Nam Sông Sài Gòn.

M: Mẫu mùa mưa. K: Mẫu mùa khô

3.2. Kết quả khảo sát về thành phần ĐVKXS cỡ lớn

Qua kết quả hai đợt khảo sát tại bốn hệ thống kênh khác nhau ở Thành phố Hồ Chí Minh, chúng tôi đã ghi nhận được 29 họ ĐVKXS cỡ lớn, bao gồm:

- 19 họ thuộc 08 bộ của ngành Chân khớp (*Arthropoda*)
- 7 họ thuộc 02 lớp của ngành Thân mềm (*Mollusca*)
- 1 họ thuộc phân lớp Đĩa (*Hirudinea*)
- 1 họ thuộc ngành Giun dẹp (*Platyhelminthes*)
- Các đại diện của Giun ít tơ (*Oligochaeta*) và Giun nhiều tơ (*Polychaeta*)



Hình 2. Tỷ lệ số lượng các họ thuộc các lớp ĐVKXS cỡ lớn quan sát được trong 02 đợt khảo sát

Bảng 2. Thành phần các họ ĐVKXS cỡ lớn ở các điểm nghiên cứu

TT	Hệ thống phân loại				Hệ thống kênh			
	Ngành	Lớp	Bộ	Họ	1	2	3	4
1	Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	M			
2				Simuliidae				M
3				Ephydriidae	K	K	M	K
4				Stratiomyidae			K	
5				Culicidae		KM		
6			Coleoptera	Dytiscidae	M		M	M
7				Curculionidae			K	
8				Chrysomelidae			M	
9			Hemiptera	Belostomatidae	KM	M	KM	KM
10				Corixidae				K
11				Nepidae	K			
12				Notonectidae	M			K
13			Odonata	Libellulidae				K
14			Trichoptera	Hydropsychidae	K		M	
15		Crustacea	Decapoda	Palaemonidae				M
16				Parathelphusidae	KM	K	KM	KM

17			Amphipoda	Gammaridae	KM			
18				Talitridae				M
19			Isopoda	Cirolanidae				M
20	Mollusca	Gastropoda	Prosobranchia	Pilidae	KM	KM	M	KM
21				Viviparidae	M			
22				Thiaridae	M	KM		KM
23				Neritidae				M
24			Pulmonata	Lymnaeidae	KM	KM	KM	
25				Planorbidae	M	KM	KM	
26		Bivalvia	Eulamellidae	Unionidae			M	KM
27	Annelida	Hirudinea		Piscicolidae	M			
28		Oligochaeta			KM	KM	KM	KM
29	Platyhelminthes		Tricladida	Planariidae	K			K

Kênh 1: Kênh Tham Lương – Vàm Thuật.

Kênh 2: Kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè.

Kênh 3: Kênh Đôi Tê- Tàu Hủ- Bến Nghé.

Kênh 4: Khu vực Nam Sông Sài Gòn.

M: Mẫu mùa mưa. K: Mẫu mùa khô

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy có sự khác biệt về thành phần họ giữa 02 mùa. Trong số 29 họ xuất hiện ở các thủy vực, có 14 họ xuất hiện cho cả 02 mùa. 08 họ xuất hiện vào mùa mưa (*Tipulidae*, *Simulida*, *Palaeomonidae*, *Talitridae*, *Cirolidae*, *Viviparidae*, *neritidae*, *Piscicolidae*), 07 họ xuất hiện vào mùa khô (*Stratiomyidae*, *Curculionidae*, *Chrysomelidae*, *Corixidae*, *Nepidae*, *Libellulidae*)

Số lượng họ ĐVĐKXS cỡ lớn không có sự khác biệt đáng kể theo mùa. Tuy nhiên có sự khác nhau lớn về thành phần họ. Sự khác biệt đó diễn ra chủ yếu ở các họ thuộc lớp Côn trùng (*Insecta*) và lớp Giáp xác (*Crustacea*). Ngoài ra, các họ thuộc lớp Địa (*Hirudinea*) chỉ thấy xuất hiện vào mùa mưa, trái lại các họ thuộc lớp Giun dẹp (*Turbellaria*) chỉ xuất hiện vào mùa khô.

Số lượng cá thể ĐVĐKXS cỡ lớn có sự khác biệt rõ nét theo mùa. Trong mùa khô số lượng cá thể cao hơn so với mùa mưa. Số lượng cá thể biến động lớn ở các họ thuộc lớp Chân bụng (*Gastropoda*), kể đến là các họ thuộc lớp Côn trùng (*Insecta*), lớp Giun ít tơ (*Oligochaeta*) và giun nhiều tơ (*Polychaeta*).

Số lượng họ ĐVĐKXS cỡ lớn giữa các thủy vực có sự khác nhau đáng kể. Ở các thủy vực thuộc khu Nam Sông Sài Gòn và kênh Tham Lương – Vàm Thuật số lượng họ cũng như thành phần họ ĐVĐKXS cỡ lớn chiếm tỉ lệ cao. Kể đến là các họ thuộc thủy vực kênh Đôi- Tê – Tàu Hủ – Bến Nghé. Thủy vực Nhiêu Lộc – Thị Nghè, số lượng họ và thành phần họ hiện diện thấp nhất. Ở tất cả các thủy vực, nhóm Côn trùng (*Insecta*) có số lượng họ chiếm tỉ lệ nhiều nhất, kể đến là các họ thuộc lớp Chân bụng.

Số lượng cá thể ở các thủy vực cũng khác nhau rõ rệt. Thủy vực thuộc khu Nam Sông Sài Gòn có số lượng cá thể cao ở tất cả các lớp. Đặc biệt là lớp Giun ít tơ (*Oligochaeta*), giun nhiều tơ (*Polychaeta*) và lớp Chân bụng (*Gastropoda*). Tiếp đến là thủy vực Tham Lương – Vàm Thuật, số lượng cá thể chiếm chủ yếu thuộc lớp Chân bụng (*Gastropoda*) và thấp hơn ở các thủy vực Nhiêu Lộc – Thị Nghè và kênh Đôi – Tê – Tàu Hủ – Bến Nghé.

Như vậy, xét chung cho cả hai mùa, các hệ thống kênh rạch trong thành phố có số họ hiện diện thấp và tập trung chủ yếu là các họ có khả năng chống chịu cao với ô nhiễm, các thủy vực thuộc khu Nam Sông Sài Gòn và Sông Vàm Thuật, có số lượng họ phong phú, với khả năng chống chịu ô nhiễm ở mức trung bình.

Tại các vị trí thu mẫu trên Kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè, Kênh Đôi, Tê và Tàu Hủ, Kênh Bến Nghé, là những khu vực nước nông, số lượng họ rất thấp. Thậm chí tại một số vị trí (Kênh Tàu Hủ) không có động vật tồn tại. Điều này có thể được giải thích do tác động của ô nhiễm ngay tại

tại các thủy vực; đồng thời, sinh cảnh sống cho ĐVKXS cỡ lớn không phù hợp, hầu hết ở các vị trí thu mẫu, nền đáy cấu tạo là đáy bùn, bị lấp đầy các chất cặn bã và bờ kè là xi măng. Mặt khác, đới thực vật ven bờ rất thưa thớt, chỉ có một vài cây cao và các cây bụi.

3.3. Đánh giá chất lượng nước dựa trên ĐVKXS cỡ lớn

Kết quả đánh giá chất lượng nước theo hệ thống tính điểm BMWP Việt Nam, được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Chất lượng nước theo hệ thống tính điểm BMWP

Vị trí	Mùa mưa		Mùa khô	
	ASPT	Mức độ ô nhiễm	ASPT	Mức độ ô nhiễm
A1	3.5	Bẩn vừa (α)	Không thu mẫu	
A2	3.3	Bẩn vừa (α)	4	Bẩn vừa (α)
A3	3.4	Bẩn vừa (α)	3	Bẩn vừa (α)
A4	3.57	Bẩn vừa (α)	3.5	Bẩn vừa (α)
B1	1	Rất bẩn	2	Rất bẩn
B2	2.66	Rất bẩn	2.85	Rất bẩn
B3	3	Bẩn vừa (α)	2.3	Rất bẩn
C1	3.6	Bẩn vừa (α)	3.6	Bẩn vừa (α)
C2	0	Cực kỳ bẩn	0	Cực kỳ bẩn
C3	2	Rất bẩn	2	Rất bẩn
C4	3	Bẩn vừa (α)	3.4	Bẩn vừa (α)
D1	3.6	Bẩn vừa (α)	3.3	Bẩn vừa (α)
D2	3.25	Bẩn vừa (α)	3.4	Bẩn vừa (α)
D3	3	Bẩn vừa (α)	4	Bẩn vừa (α)

Các vị trí A1, 2, 3 và 4 là các điểm lấy mẫu trên: Kênh Tham Lương – Vàm Thuật.

Các vị trí B1, 2 và 3 là các điểm lấy mẫu trên Kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè.

Các vị trí C1, 2, 3 và 4 là các điểm lấy mẫu trên Kênh Đôi Tè- Tàu Hủ- Bến Nghé.

Các vị trí D1, 2 và 3 là các điểm lấy mẫu trên Khu vực Nam Sông Sài Gòn.

Kết quả đánh giá chất lượng nước theo chỉ số ASPT cho thấy các thủy vực trong thành phố đều bị ô nhiễm từ mức trung bình bình đến cực kỳ bẩn.

Một số vị trí trên kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè, mức độ ô nhiễm cao, thể hiện qua giá trị ASPT rất thấp: 1 – 3, điều này cũng tương tự đối với hệ thống kênh Đôi – Tè – Tàu Hủ – Bến Nghé, đặc biệt tại vị trí C2 trên kênh Tàu Hủ, chất lượng nước được xếp vào loại cực kỳ bẩn giá trị ASPT bằng 0. Các vị trí trên kênh Tham Lương và một số thủy vực ở phía Nam Sài Gòn, chất lượng ở mức bẩn trung bình (α). Chất lượng nước sông Sài Gòn, tại các vị trí thu mẫu đều có giá trị ASPT trong khoảng 3.0 – 3.5, cho thấy, chất lượng nước sông cũng bị nhiễm bẩn vào loại trung bình.

Kết quả đánh giá chất lượng nước dựa vào chỉ thị ĐVKXS cỡ lớn cho kết quả tương ứng khi đánh giá chất lượng nước dựa vào các chỉ tiêu lý hoá. Điều này cho thấy có thể sử dụng ĐVKXS cỡ lớn để làm chỉ thị đánh giá chất lượng nước trong 4 hệ thống kênh chính của TP. Hồ Chí Minh

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

4.1. Kết luận

- Hầu hết các kênh chính tại TP. Hồ Chí Minh đều bị ô nhiễm nặng, nhất là kênh Nhiêu Lộc - Thị Nghè.

- Nghiên cứu đã phát hiện có 28 họ ĐVKXS cỡ lớn: 19 họ thuộc 08 bộ của ngành Chân khớp (*Arthropoda*), 7 họ thuộc 02 lớp của ngành Thân mềm (*Mollusca*), 1 họ thuộc phân lớp Đia (*Hirudinea*) và 1 họ thuộc ngành Giun dẹp (*Platyhelminthes*).

- Sử dụng ĐVKXS cỡ lớn để đánh giá chất lượng nước cho thấy hầu hết các hệ thống kênh chính của Tp.Hồ Chí Minh đều bị ô nhiễm. Mức độ ô nhiễm từ trung bình đến rất bẩn. Đánh giá này trùng hợp với phương pháp đánh giá bằng các tiêu chuẩn lý hoá.

- Nghiên cứu cho thấy có thể dùng chỉ thị sinh học ĐVKXS cỡ lớn để đánh giá mức độ ô nhiễm của các nguồn nước mặt tại TP. Hồ Chí Minh. Đây là phương pháp có nhiều ưu điểm góp phần đa dạng hoá các phương pháp đánh giá chất lượng nguồn nước mặt.

4.2. Đề nghị

Cần có những nghiên cứu ở các khu vực khác và mở rộng đến các thủy sinh vật khác để xây dựng một bảng chỉ số sinh học đánh giá chất lượng nước có thể áp dụng cho cả nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ KHCN & MT, *Tiêu chuẩn Môi trường Việt Nam*: TCVN 5945-1995, TCVN 5992 – 1995., (1995).
- [2]. Phạm Văn Miên, *Hệ sinh thái kênh rạch TP. Hồ Chí Minh*, Báo cáo dự án quy hoạch tổng thể hệ thống thoát nước và xử lý nước thải tại TP. Hồ Chí Minh., (1998).
- [3]. Lê Thu Hà, *Nghiên cứu ĐVKXS cỡ lớn làm sinh vật chỉ thị đánh giá chất lượng nước cho dòng chảy từ suối Tam Đảo đến Sông Cà Lồ*, Luận án Tiến sỹ, Đại Học Quốc Gia Hà Nội., (2002).