BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
ĐẠI HỌC HUẾ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC

NGUYỄN VĂN CƯỜNG

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG SIÊU ÂM DIỆT KHUẨN VÀ TẢO TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

CHUYÊN NGÀNH: VẬT LÝ CHẤT RẮN
MÃ SỐ: 60. 44. 01. 04

LUẬN VĂN THẠC SĨ KHOA HỌC
ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC
TS. LÊ QUANG TIẾN DŨNG

Thừa Thiên Huế, 2016

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi, toàn bộ nội dung thực nghiệm nêu trong luận văn này là do chính bản thân tôi tiến hành khảo sát, thu thập và nghiên cứu, thực hiện dưới sự hướng dẫn tận tình của Thầy giáo **TS. Lê Quang Tiến Dũng**.

Tất cả số liệu, kết quả nghiên cứu trong luận văn là trung thực, chưa được người khác công bố trong bất cứ một công trình nghiên cứu nào.

Tác giả

Nguyễn Văn Cường

LỜI CẢM ƠN

Trước tiên tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Lê Quang Tiến Dũng, người Thầy đã tận tình hướng dẫn, truyền đạt cho tôi nhiều kiến thức quý báu và giúp đỡ tôi thực hiện đề tài này.

Tôi xin chân thành cảm ơn quý thầy, cô giáo khoa Vật lý trường ĐHKH Huế đã nhiệt tình chỉ dẫn giúp đỡ tôi trong suốt khoá học.

Tôi xin cảm ơn các bạn lớp Vật lý Chất rắn khóa 2014-2016 đã giúp đỡ tôi vượt qua những khó khăn trong quá trình học tập.

Cuối cùng tôi xin cảm ơn gia đình, bạn bè đã luôn động viên, khích lệ, giúp đỡ tôi hoàn thành luận văn này.

Tôi rất mong nhận được sự góp ý, chỉ bảo của quý thầy cô, anh chị và bạn bè để luận văn được hoàn thiện tốt hơn. Xin kính chúc quý thầy cô, gia đình và bạn bè sức khỏe, hạnh phúc và thành đạt.

Tác giả

Nguyễn Văn Cường

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN i

LỜI CẢM ƠN ii

MỤC LỤC iii

DANH MỤC CÁC BẢNG v

DANH MỤC CÁC HÌNH vi

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT x

MỞ ĐẦU 1

Chương 1. TỔNG QUAN ỨNG DỤNG SIÊU ÂM CÔNG SUẤT TRONG XỬ LÝ NƯỚC 4

1.1. SIÊU ÂM CÔNG SUẤT 4
1.2. HIỆU ỨNG CAVITACY 5
1.3. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA SIÊU ÂM TRONG XỬ LÝ NƯỚC 7
1.3.1. Ứng dụng siêu âm để loại bỏ các chất gây ô nhiễm 7
1.3.2. Ứng dụng siêu âm để kiểm soát tảo 9
1.3.3. Ứng dụng siêu âm để giảm thiểu độ đục và tổng số chất rắn lơ lửng 10
1.3.4. Ứng dụng siêu âm và điện phân để xử lý khuẩn 11
1.3.5. Hiệu quả xử lý khuẩn khi kết hợp siêu âm và vật liệu quang xúc tác TiO_2 11
1.3.6. Hiệu quả xử lý khuẩn khi kết hợp siêu âm và tử ngoại 12
1.3.7. Hiệu quả xử lý khuẩn khi kết hợp siêu âm và ozone 14
1.3.8. Hiệu quả xử lý khuẩn khi kết hợp siêu âm và các hóa chất khác 15

Chương 2. ỨNG DỤNG SIÊU ÂM XỬ LÝ KHUẨN *VIBRIO* SPP. TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC 16

2.1. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM SINH HỌC CỦA NHÓM KHUẨN VIBRIO SPP. VÀ KHẢ NĂNG GÂY BỆNH TRÊN CÁC LOÀI ĐỘNG VẬT THỦY SẢN 16
2.2. QUY TRÌNH CẤY KHUẨN VIBRIO SPP. VÀ NGHIÊN CỨU HIỆU SUẤT XỬ LÝ KHUẨN 16
2.3. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SIÊU ÂM ĐẾN KHẢ NĂNG XỬ LÝ KHUẨN VIBRIO SPP 17
2.3.1. Ảnh hưởng của siêu âm đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. khảo sát theo thể tích mẫu nước 17
2.3.2. Ảnh hưởng của siêu âm đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. khảo sát theo thời gian xử lý 19
2.4. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA SIÊU ÂM KẾT HỢP VỚI H_2O_2 ĐẾN KHẢ NĂNG XỬ LÝ KHUẨN VIBRIO SPP. 21

2.4.1. Ảnh hưởng nồng độ của H_2O_2 đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. ..**21**
2.4.2. Ảnh hưởng của siêu âm kết hợp với H_2O_2 đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. **22**
2.5. NGHIÊN CỨU SIÊU ÂM KẾT HỢP VỚI Ag NANO ĐẾN KHẢ NĂNG XỬ LÝ KHUẨN VIBRIO SPP. **24**
2.5.1. Ảnh hưởng nồng độ của Ag nano đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. **24**
2.5.2. Ảnh hưởng của siêu âm kết hợp với Ag nano đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. **25**
2.6. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA DUNG DỊCH VI BỌT KHÍ ĐƯỢC TẠO RA TỪ ĐIỆN HÓA – SIÊU ÂM KẾT HỢP ĐẾN KHẢ NĂNG XỬ LÝ KHUẨN VIBRIO SPP.....**28**
2.6.1. Thiết kế thiết bị điện hóa – siêu âm kết hợp **28**
2.6.2. Khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. của dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa **30**
2.6.3. Nghiên cứu khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp. của dung dịch vi bọt khí tạo ra từ siêu âm điện hóa kết hợp.....**33**
Chương 3. ỨNG DỤNG SIÊU ÂM XỬ LÝ TẢO TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC.....**37**
3.1. HIỆN TƯỢNG TẢO NỞ HOA GÂY Ô NHIỄM NGUỒN NƯỚC **37**
3.2. ỨNG DỤNG SIÊU ÂM ĐỂ XỬ LÝ TẢO LAM.....**38**
KẾT LUẬN **43**
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC……**45**
TÀI LIỆU THAM KHẢO **46**

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio* spp. *khảo sát theo thể tích* **18**

Bảng 2.2. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio* spp. *khảo sát theo thời gian* **20**

Bảng 2.3. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio spp. theo nồng độ của* H_2O_2 ..... **21**

Bảng 2.4. *Kết quả* xử lý khuẩn *Vibrio* spp. *khi siêu âm kết hợp với* H_2O_2 ..... **23**

Bảng 2.5. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio* spp. *khảo sát theo nồng độ của Ag nano* **24**

Bảng 2.6. *Kết quả xử lý khuẩn* Vibrio spp. *khi kết hợp siêu âm với Ag nano* **26**

Bảng 2.7. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio* spp. *của dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa theo tỉ lệ anolyte : khuẩn (1:2)* **30**

Bảng 2.8. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio spp. của dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa theo tỉ lệ anolyte : khuẩn (1:1)* **32**

Bảng 2.9. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio spp. của dung dịch dịch vi bọt khí tạo ra bằng phương pháp siêu âm điện hóa kết hợp theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:2)* **33**

Bảng 2.10. *Kết quả xử lý khuẩn Vibrio spp. của dung dịch ung dịch dịch vi bọt khí tạo ra bằng phương pháp siêu âm điện hóa kết hợp theo tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:1)* **.34**

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1. *Máy siêu âm hoạt động ở tần số 26 kHz, công suất 150 W* **4**

Hình 1.2. *Sóng siêu âm truyền trong môi trường vật chất* **4**

Hình 1.3. *Sơ đồ của các vùng sinh lỗ hổng trong một chất lỏng nơi các phản ứng hóa học xảy ra: a) các bọt khí; b) vùng tiếp giáp giữa pha khí và chất lỏng; c) trong chất lỏng* **6**

Hình 1.4. *Một số hệ thống siêu âm* **7**

Hình 1.5. *Khả năng loại bỏ andehit trong điều kiện của (a) sử dụng siêu âm và (b) siêu âm kết hợp tử ngoại và TiO_2 (nồng độ ban đầu của andehit:8.2. 10^{-4} mol/L)*..... **8**

Hình 1.6. *Xử lý Microcystins hòa tan trong nước khi dùng US với công suất 30 W, 60W, 90W và thời gian khác nhau* **10**

Hình 1.7. *Xử lý Microcystins hòa tan trong nước khi dùng US tại tần số 20 kHz, 150kHz, 410 kHz và 1.7 MHz và thời gian khác nhau*..... **10**

Hình 1.8. *Thiết lập thí nghiệm cho sự kết hợp siêu âm và tia tử ngoại xử lý khuẩn* **13**

Hình 1.9. *Sơ đồ hệ thống siêu âm kết hợp UV* **14**

Hình 1.10. *Hệ thống siêu âm-Ozone để khử trùng nước thải* **15**

Hình 2.1. *Hình dạng khuẩn Vibrio Vulnificus* **16**

Hình 2.2. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của mẫu nước trước và sau khi xử lý bằng siêu âm công suất 150 W, tần số 26 kHz với các thể tích khác nhau (1) đối chứng, (2) 150 mL, (3) 200mL, (4) 250 mL, (5) 300mL* **18**

Hình 2.3. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn Vibrio spp. theo thể tích*..... **19**

Hình 2.4. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của các mẫu trước và sau xử lý siêu âm công suất 150W, tần số 26 kHz với thời gian tác động siêu âm khác nhau (1) mẫu đối chứng, (2) 10 giây, (3) 60 giây, (4) 120 giây, (5)180 giây, (6)240 giây, (7) 300 giây* **19**

Hình 2.5. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn Vibrio spp. theo thời gian* **20**

Hình 2.6. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của mẫu nước trước và sau khi xử lý bằng H_2O_2 với nồng độ khác nhau nhau (1) mẫu đối chứng, (2) 5ppm , (3) 10 ppm, (4) 20 ppm, (5) 30 ppm, (6) 40 ppm, (7) 50 ppm* **21**

Hình 2.7. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn Vibrio* spp. *theo nồng độ của H_2O_2* **22**

Hình 2.8. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của mẫu nước trước và sau khi xử lý bằng H_2O_2 với các nồng độ khác nhau kết hợp với US (1) mẫu đối chứng, (2) 10 ppm , (3) 20 ppm, (4) 30 ppm, (5) 40 ppm* **22**

Hình 2.9. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn Vibrio spp. khi kết hợp siêu âm với H_2O_2* **23**

Hình 2.10. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của các mẫu nước trước và sau khi xử lý bằng Ag nano với nồng độ khác nhau nhau (1) mẫu đối chứng, (2) 5ppm , (3) 10 ppm, (4) 20 ppm, (5) 30 ppm, (6) 40 ppm, (7) 50 ppm* **24**

Hình 2.11. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn Vibrio* spp. *theo nồng độ của Ag nano* **25**

Hình 2.12. *Khuẩn lạc Vibrio spp. trên đĩa TCBS của các mẫu nước trước và sau khi xử lý bằng Ag nano với các nồng độ khác nhau kết hợp với US (1) mẫu đối chứng, (2) 5 ppm , (3) 10 ppm, (4) 20 ppm, (5) 30 ppm* **26**

Hình 2.13. *Đồ thị biểu diễn mật độ khuẩn và hiệu suất xử lý khuẩn* Vibrio spp. *khi kết hợp siêu âm với Ag nano* **26**

Hình 2.14. *Sơ đồ nguyên lý của hệ thống điện hóa - siêu âm kết hợp* **28**

Hình 2.15. *Kết quả phân hủy màu xanh methylene của dung dịch anolyte và dung dịch vi bọt khí tạo ra bằng phương pháp điện hóa – siêu âm* **29**

Hình 2.16. *Khuẩn lạc Vibrio* spp. *của các mẫu được xử lý bằng dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa theo các nồng độ NaCl khác nhau với tỉ lệ anolyte : khuẩn (1:2)* **30**

Hình 2.17. *Đồ thị biểu diễn khả năng xử lý khuẩn Vibrio* spp. *của dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa với các nồng độ muối khác nhau với tỉ lệ anolyte: khuẩn (1:2)* **31**

Hình 2.18. *Khuẩn lạc Vibrio* spp. *của các các mẫu được xử lý bằng dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa theo các nồng độ NaCl khác nhau với tỉ lệ anolyte : khuẩn (1:1)* **31**

Hình 2.19. *Đồ thị biểu diễn khả năng xử lý khuẩn Vibrio* spp. *của dung dịch anolyte tạo ra từ bộ điện hóa theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ anolyte : khuẩn (1:1)* **32**

Hình 2.20. *Khuẩn lạc Vibrio spp. của các mẫu được xử lý bằng dung dịch vi bọt khí tạo ra bằng phương pháp siêu âm điện hóa kết hợp theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:2)* **33**

Hình 2.21. *Đồ thị biểu diễn khả năng xử lý khuẩn Vibrio spp. của dung dịch vi bọt khí tạo ra từ siêu âm điện hóa kết hợp theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:2)* **34**

Hình 2.22. *Khuẩn lạc Vibrio* spp. *của các mẫu được xử lý bằng dung dịch vi bọt khí tạo ra bằng phương pháp siêu âm điện hóa kết hợp theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:1)* **34**

Hình 2.23. *Đồ thị biểu diễn khả năng xử lý khuẩn Vibrio spp. của dung dịch vi bọt khí tạo ra từ siêu âm điện hóa kết hợp theo các nồng độ muối NaCl khác nhau với tỉ lệ dung dịch vi bọt khí : khuẩn (1:1)* **35**

Hình 3.1. *Hiện tượng tảo Microcystis* sp. *nở hoa trên mặt hồ nước ở Cửa Ngăn*. ..**37**

Hình 3.2. *Hiện tượng tảo Lam (*Microcystis sp.) *nở hoa: A) Tảo Lam; B) Tảo Lam quan sát ở độ phóng đại 5×, 10×* **38**

Hình 3.3. *Mẫu tảo Microcystis* sp. *nở hoa trước và sau khi xử lý siêu âm, sau 2 tiếng để lắng* **39**

Hình 3.4. *Tế bào Microcystis sp. trước (A) và sau (B) khi* xử lý *siêu âm, sau 2 tiếng để lắng* **39**

Hình 3.5. *Buồng đếm Sedgewick-Rafter: a) Buồng đếm; b) Buồng đếm xem ở độ phóng đại 10×* **40**

Hình 3.6. *Mẫu tảo Microcystis* sp. *nở hoa trước và sau khi xử lý siêu âm sau 5 ngày* **41**

Hình 3.7. *Tế bào Microcystis sp. trước (A) và sau (B) khi xử lý siêu âm, sau 5 ngày* **42**

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

BOD (Biochemical Oxygen Demand): Lượng oxy sinh hóa

CFU (Colony-Forming Unit): Đơn vị hình thành khuẩn lạc

COD (Chemical Oxygen Demand): Lượng oxi hóa học

DBPs (Disinfection By-Products): Sản phẩm phụ thứ cấp

ppm (parts per million): Đơn vị phần triệu

US (Ultrasound) Siêu âm công suất

UV (Ultra violet radiation): Bức xạ tử ngoại

TCBS (Thiosulphate citrate bile salt agar): Môi trường chọn lọc của khuẩn *Vibrio* spp.

THMs: Trihalomethanes

TSS (Total Suspended Solid): Tổng số chất rắn lơ lửng

MỞ ĐẦU

Hiện nay, tình trạng ô nhiễm môi trường đang xảy ra nghiêm trọng trong nuôi trồng thủy sản do phần lớn các chất hữu cơ dư thừa từ thức ăn, phân và các rác thải khác đọng lại dưới đáy ao nuôi. Ngoài ra, còn các hóa chất, kháng sinh được sử dụng trong quá trình nuôi trồng cũng dư đọng lại mà không được xử lý. Việc hình thành lớp bùn đáy do tích tụ lâu ngày của các chất hữu cơ, cặn bã là nơi sinh sống của các vi sinh vật gây thối, các vi sinh vật sinh các khí độc như NH_3, NO_2, H_2, H_2S, CH_4...[2]. Các vi sinh vật gây bệnh như: khuẩn *Vibrio* spp., *Aeromonas, Ecoli, Pseudomonas, Proteus, Staphylococcus...* nhiều loại nấm và động vật nguyên sinh [2]. Trên thực tế có rất nhiều phương pháp xử lý tình trạng ô nhiễm môi trường nuôi, xử lý nguồn bệnh trong môi trường nuôi, tuy nhiên đâu là giải pháp toàn diện, hiệu quả và bền vững mới là quan trọng. Có rất nhiều vùng nuôi trồng thủy sản, nhiều gia đình khi gặp phải những vấn đề trên đã phải bỏ ra rất nhiều chi phí tốn kém từ vài triệu đến vài chục triệu đồng để xử lý môi trường ao nuôi nhưng không đem lại hiệu quả cao như mong muốn. Do đó, việc nghiên cứu tìm các biện pháp làm giảm thiểu đáng kể tình trạng ô nhiễm môi trường nuôi trồng thủy sản nói chung và nhiễm khuẩn nguồn nước nói riêng là vấn đề cần được quan tâm nghiên cứu.

Có nhiều biện pháp khử trùng nước có hiệu quả, quá trình khử trùng có thể là lý học hoặc hóa học như khử trùng bằng các chất oxy hoá mạnh: Cl_2, các hợp chất của clo, O_3, $KMnO_4$; khử trùng bằng phương pháp nhiệt; khử trùng bằng các ion kim loại nặng; khử trùng bằng các tia vật lý như tia cực tím,… nhưng bất kỳ quy trình khử trùng nước nào cũng đều có một số hạn chế và xuất hiện các vấn đề như chi phí cao, không hiệu quả để loại bỏ một số chất gây ô nhiễm, các vấn đề về vận hành và tạo ra các chất gây ô nhiễm thứ cấp độc hại. Hiện nay, các tác nhân khử trùng thường được sử dụng trong cả nhà máy nước uống, xử lý nước thải và các ao, hồ nuôi trồng thủy sản là clo và các hợp chất liên quan của nó như natri hypochlorite, canxi hypochlorite và clo dioxide [23, 39]. Khả năng oxy hóa mạnh của những hợp chất này cung cấp một mức tối thiểu của clo dư trên toàn hệ thống

phân phối và bảo vệ đầy đủ chống tái nhiễm khuẩn. Tuy nhiên, trong những năm 1970, clo được phát hiện rằng nó phản ứng với các chất hữu cơ tự nhiên trong nước và nước thải để tạo thành sản phẩm phụ (DBPs) không mong muốn. Trong số này, các sản phẩm trihalomethanes (THMs) và các axit haloacetic là hai sản phẩm phụ nguy hiểm nhất ảnh hưởng đến sức khỏe con người kể từ khi chúng được xem là có khả năng gây ung thư và gây đột biến gen [23]. Nhược điểm này đã nhấn mạnh sự cần thiết để tìm ra chất khử trùng thay thế và công nghệ xử lý nước mới. Một trong những công nghệ mới đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu nhằm cải thiện các quy trình khử trùng nước là ứng dụng siêu âm công suất có tần số ≥ 20 kHz. Việc sử dụng công nghệ siêu âm để khử trùng nước không những mang lại khả năng xử lý khuẩn, tảo đạt hiệu quả cao mà còn không sinh ra các sản phẩm thứ cấp độc hại, thân thiện với môi trường. Do đó, quy trình sử dụng siêu âm để xử lý khuẩn, tảo khử trùng nước để loại bỏ các vi sinh vật gây bệnh trong cả nước uống và nước thải, loại bỏ ô nhiễm vi sinh vật đường nước gây ra bởi vi khuẩn gây bệnh, vi rút và ký sinh trùng đơn bào để bảo vệ sức khỏe cộng đồng cũng như môi trường.

Do những ưu điểm vượt trội của công nghệ siêu âm trong ứng dụng xử lý nước, đặc biệt, đây là hướng nghiên cứu có nhiều kinh nghiệm của bộ môn Vật lý Chất rắn, Khoa Vật lý, trường Đại học Khoa học trong nhiều năm qua nên chúng tôi đã chọn đề tài: **Nghiên cứu ứng dụng siêu âm diệt khuẩn và tảo trong môi trường nước**.

Trong đề tài này, chúng tôi hướng đến nghiên cứu ảnh hưởng của siêu âm công suất, siêu âm công suất kết hợp với một số tác nhân oxi hóa khác đối với khả năng xử lý khuẩn và tảo liên quan đến sự xuất hiện của hiệu ứng Cavitacy (hiện tượng sinh lỗ hổng) với các nội dung chính sau:

Chương 1: Tổng quan về ứng dụng siêu âm công suất

Trong chương này, giới thiệu về siêu âm công suất và một số ứng dụng của siêu âm công suất, siêu âm công suất kết hợp với các tác nhân oxi hóa khác trong các quy trình xử lý nước.

Chương 2: Ứng dụng siêu âm xử lý khuẩn *Vibrio* spp. trong môi trường nước

- Nghiên cứu ảnh hưởng của siêu âm đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của siêu âm kết hợp với H_2O_2 đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của siêu âm kết hợp với Ag nano đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp.
- Nghiên cứu ảnh hưởng của dung dịch vi bọt khí được tạo ra từ điện hóa – siêu âm kết hợp đến khả năng xử lý khuẩn *Vibrio* spp.

Chương 3: Ứng dụng siêu âm xử lý tảo trong môi trường nước