

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ GIAO THÔNG VẬN TẢI
KHOA KHOA HỌC ỨNG DỤNG**



**UNIVERSITY OF
TRANSPORT
TECHNOLOGY**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÂY
KHOAI NƯỚC (COLOCASIA ESCULENTA) TRONG XỬ LÝ
NƯỚC THẢI SINH HOẠT**

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN

: TS. LƯU THỊ YẾN

GIẢNG VIÊN ĐỌC DUYỆT

: ThS. LƯU THỊ THU HÀ

SINH VIÊN THỰC HIỆN

: NGUYỄN XUÂN TRƯỜNG

LỚP

: 72DCMO21

Hà Nội - 2025

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện đồ án tốt nghiệp, bên cạnh những nỗ lực cá nhân, em đã nhận được sự hỗ trợ và động viên quý báu từ gia đình, Nhà trường và các Thầy Cô. Đồ án không chỉ là kết quả học tập mà còn là thành quả của sự đồng hành, hướng dẫn tận tình từ các Thầy Cô và chuyên gia trong ngành.

Trước tiên, em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến toàn thể Quý Thầy, Cô – đặc biệt là Thầy Cô trong Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải – những người đã tận tâm giảng dạy, đồng hành và truyền cảm hứng cho em trong suốt quá trình học tập và rèn luyện. Những kiến thức và kỹ năng quý báu được trang bị chính là nền tảng vững chắc để em thực hiện đồ án và định hướng nghề nghiệp sau này.

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến TS. Lư Thị Yến – Trưởng Bộ môn Hóa học – Môi trường, Giảng viên hướng dẫn – người đã luôn tận tình chỉ bảo, định hướng chuyên môn và hỗ trợ em hoàn thành tốt nội dung đồ án. Sự quan tâm và khích lệ của Cô là nguồn động lực lớn giúp em vượt qua những khó khăn trong quá trình thực hiện đồ án. Em cũng chân thành cảm ơn PGS. TS. Bùi Thị Kim Anh, ThS. Nguyễn Văn Thành, ThS. Nguyễn Hồng Chuyên – Viện Công nghệ Năng lượng và Môi trường – Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã hỗ trợ tiếp cận thực tế, cung cấp tài liệu và góp phần quan trọng giúp em hoàn thiện đồ án cũng như hiểu rõ hơn về thực tiễn áp dụng kiến thức.

Đặc biệt, em xin trân trọng cảm ơn ThS. Lưu Thị Thu Hà – Phó Trưởng Bộ môn Hóa học – Môi trường, giảng viên đọc duyệt – đã góp ý, chỉnh sửa và giúp em hoàn thiện bài làm một cách khoa học và đầy đủ hơn.

Dù đã cố gắng hoàn thành tốt nhất trong khả năng, đồ án vẫn khó tránh khỏi thiếu sót do giới hạn về thời gian và kinh nghiệm. Em rất mong nhận được ý kiến đóng góp từ Thầy Cô để tiếp tục hoàn thiện bản thân trong học tập và công việc tương lai.

Em xin trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, ngày...tháng...năm 2025

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Xuân Trường

MỤC LỤC

MỤC LỤC	1
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	i
DANH MỤC HÌNH.....	ii
DANH MỤC BẢNG	iii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NƯỚC THẢI SINH HOẠT VÀ ỨNG DỤNG THỰC VẬT TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT	4
1.1. Tổng quan về nước thải sinh hoạt.....	4
1.1.1. Khái niệm, nguồn gốc các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt... 4	
1.1.2. Thành phần và tính chất của nước thải sinh hoạt.....	6
1.1.3. Tác động của nước thải sinh hoạt đến môi trường và sức khoẻ	10
1.2. Quy trình công nghệ cơ bản trong xử lý nước thải sinh hoạt.....	11
1.3. Ứng dụng của thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải.....	14
1.3.1. Khái niệm và phân loại thực vật thủy sinh.....	14
1.3.2. Cơ chế xử lý chất ô nhiễm trong nước của thực vật thủy sinh	16
1.3.3. Các nghiên cứu ứng dụng thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải	18
1.4. Tổng quan về cây khoai nước.....	20
1.4.1. Đặc điểm của cây khoai nước	20
1.4.2. Khả năng xử lý ô nhiễm của cây khoai nước.....	22
1.4.3. Ứng dụng của cây khoai nước trong xử lý nước thải.....	23
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	25
2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	25
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu.....	25
2.1.2. Phạm vi nghiên cứu.....	26

2.2. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu	26
2.2.1. Mục tiêu nghiên cứu.....	26
2.2.2. Nội dung nghiên cứu	27
2.3. Hóa chất, thiết bị, dụng cụ thí nghiệm.....	27
2.4. Phương pháp nghiên cứu	28
2.4.1. Phương pháp thu thập và tổng hợp tài liệu	28
2.4.2. Phương pháp lấy mẫu, vận chuyển và bảo quản mẫu	29
2.4.3. Phương pháp bố trí thí nghiệm.....	29
2.4.4. Phương pháp phân tích.....	35
2.4.5. Phương pháp xử lý, so sánh số liệu.....	37
CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ MỘT SỐ THÔNG SỐ Ô	
NHIỄM TRONG NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA CÂY KHOAI NƯỚC ...	38
3.1. Kết quả đánh giá khả năng chống chịu của cây khoai nước	38
3.1.1. Khả năng chống chịu đối với thông số COD	38
3.1.2. Khả năng chống chịu của đối với thông số NH_4^+	42
3.1.3. Khả năng chống chịu đối với thông số PO_4^{3-}	45
3.2. Đánh giá hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm của cây Khoai nước trong dung	
dịch nước thải nhân tạo.....	49
3.2.1. Khả năng xử lý COD.....	49
3.2.2. Khả năng xử lý NH_4^+	51
3.2.3. Khả năng xử lý PO_4^{3-}	53
3.3. Đánh giá hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm của cây Khoai nước trong mẫu	
nước thải thực tế	55
3.3.1. Khả năng xử lý COD.....	55
3.3.2. Khả năng xử lý NH_4^+	57
3.3.3. Khả năng xử lý PO_4^{3-}	58
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	62

KẾT LUẬN.....	62
KIẾN NGHỊ.....	62
TÀI LIỆU THAM KHẢO	65

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

NTSH: Nước thải sinh hoạt

TVTS: Thực vật thủy sinh

COD: Chemical Oxygen Demand – Nhu cầu oxy hoá học

CW: Constructed Wetlands – Mô hình đất ngập nước nhân tạo

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1. Quy trình công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt điển hình [15]	13
Hình 1.2. Trạm xử lý NTSH tại Khu đô thị Vinhomes ocean park [14].....	14
Hình 1.3. Cấu trúc lá, thân, rễ của cây Lục Bình (cây Bèo Tây)	15
Hình 1.4. Cây Khoai nước (<i>Colocasia esculenta</i>)	21
Hình 2.1. Cây khoai nước trước khi ươm.....	25
Hình 2.2. Bố trí thí nghiệm khả năng chống chịu của cây khoai nước	32
Hình 2.3. Thực vật thủy sinh đặt ở nồng độ tối ưu.....	34
Hình 2.4. Thí nghiệm khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của cây khoai nước ở hệ đất ngập nước.....	35
Hình 3.1. Ảnh hưởng của COD đến sự sinh trưởng của cây Khoai nước	40
Hình 3.2. Khoai nước sau 4 tuần đặt thí nghiệm.....	41
Hình 3.3. Ảnh hưởng của NH_4^+ tới sự sinh trưởng của cây Khoai nước	44
Hình 3.4. Ảnh hưởng của PO_4^{3-} tới sự sinh trưởng của cây Khoai nước	47
Hình 3.5. Hiệu quả xử lý COD của cây Khoai nước ở giá trị COD tối ưu	49
Hình 3.6. Hiệu quả xử lý NH_4^+ của cây Khoai nước trong khoảng giá trị nồng độ NH_4^+ 50-150 mg/L.....	52
Hình 3.7. Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} của Khoai nước trong khoảng giá trị nồng độ PO_4^{3-} 25-100 mg/L.....	53
Hình 3.8. Hiệu suất xử lý COD trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước.....	55
Hình 3.9. Hiệu suất xử lý NH_4^+ trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước.....	57
Hình 3.10. Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước	58

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Tải lượng các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt tính cho 1 người trong 1 ngày đêm	10
Bảng 1.2. Đặc điểm cấu tạo chính của thực vật thủy sinh.....	16
Bảng 2.1. Thông số đầu vào của nước thải sinh hoạt.....	26
Bảng 2.2. Hoá chất sử dụng.....	27
Bảng 2.3. Dụng cụ, thiết bị thí nghiệm.....	28
Bảng 3.1. Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây.....	38
Bảng 3.2. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây.....	38
Bảng 3.3. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây.....	39
Bảng 3.4. Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị NH_4^+ của dung dịch nuôi cây.....	42
Bảng 3.5. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị NH_4^+ của dung dịch nuôi cây	43
Bảng 3.6. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị NH_4^+ của dung dịch nuôi cây	43
Bảng 3.7 Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây	45
Bảng 3.8. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây.....	46
Bảng 3.9. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây.....	46

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của đề án

Hiện nay, ô nhiễm nguồn nước do nước thải sinh hoạt chưa qua xử lý hoặc xử lý chưa đạt yêu cầu đang trở thành vấn đề môi trường nghiêm trọng tại nhiều khu vực, đặc biệt là ở các vùng nông thôn và ngoại ô các đô thị tại Việt Nam. Nước thải sinh hoạt thường chứa hàm lượng cao các chất hữu cơ, nitơ, phospho và vi sinh vật gây bệnh, nếu không được xử lý hiệu quả sẽ gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường và sức khỏe cộng đồng [1]. Trong bối cảnh đó, các giải pháp xử lý nước thải thân thiện với môi trường, tiết kiệm chi phí và dễ vận hành như hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetlands – CWs) đang ngày càng được quan tâm. Các CWs hoạt động dựa trên sự tương tác giữa đất, vi sinh vật và thực vật thủy sinh nhằm loại bỏ chất ô nhiễm qua các quá trình vật lý, hóa học và sinh học [2].

Trong số các loài thực vật có tiềm năng sử dụng trong CWs, *Colocasia esculenta* (khoai môn nước) được đánh giá cao nhờ khả năng sinh trưởng mạnh trong điều kiện ngập nước, chịu được môi trường giàu chất hữu cơ và dinh dưỡng, đồng thời có khả năng hấp thụ đáng kể nitơ, phospho và kim loại nặng [3]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng *Colocasia esculenta* trong xử lý nước thải sinh hoạt vẫn còn hạn chế, đặc biệt là trong điều kiện nước thải có tải lượng hữu cơ cao đặc trưng cho các khu dân cư chưa có hệ thống xử lý tập trung. Do đó, em lựa chọn thực hiện đề án tốt nghiệp với đề tài: “Nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng cây khoai nước (*Colocasia esculenta*) trong xử lý nước thải sinh hoạt”.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát của đề án là nghiên cứu và đánh giá khả năng sinh trưởng, tính chống chịu và hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt của cây *Colocasia esculenta* (khoai môn nước) trong điều kiện đất ngập nước nhân tạo. Trên cơ sở đó, đề án hướng đến việc xác định tiềm năng ứng dụng thực tiễn của loài cây này trong các phương pháp sinh học xử lý nước thải sinh hoạt, thân thiện với môi trường và phù hợp với điều kiện kinh tế – xã hội của các khu vực dân cư chưa có hệ thống xử lý tập trung.

Cụ thể, đề án đặt ra các mục tiêu sau:

- Đánh giá khả năng chống chịu và sinh trưởng của cây Khoai nước trong điều kiện nước thải nhân tạo có nồng độ chất hữu cơ (COD), amoni (NH_4^+) và photphat (PO_4^{3-}) khác nhau.

- Đánh giá hiệu quả loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng tại nồng độ sinh trưởng tối ưu.

- Đánh giá hiệu quả xử lý mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước trồng trong hệ đất ngập nước nhân tạo.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

- Thực vật thủy sinh: Khoai nước (*Colocasia esculenta*), được lấy giống từ Trung tâm giống cây trồng - Học Viện Nông nghiệp Việt Nam.

- Nước thải nhân tạo được pha chế trong phòng thí nghiệm để mô phỏng 3 thông số của nước thải sinh hoạt: COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} .

- Nước thải sinh hoạt thực tế được lấy tại xã Lai Xá, huyện Hoài Đức, thành phố Hà Nội.

Phạm vi nghiên cứu

- Phạm vi không gian: Nghiên cứu được thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm của Phòng xử lý ô nhiễm – Viện công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

- Phạm vi nội dung: Đề tài giới hạn trong việc khảo sát khả năng chống chịu và xử lý các thông số COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} của cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*) trên mẫu nước thải nhân tạo được điều chế trong phòng thí nghiệm. Thí nghiệm kiểm chứng khả năng ứng dụng thực tế được thực hiện trên mẫu nước thải sinh hoạt thực tế.

- Phạm vi thời gian: Thí nghiệm được tiến hành trong một khoảng thời gian đủ dài (3 tháng từ 20/2/2025-20/5/2025) để đánh giá được quá trình sinh trưởng của cây và hiệu suất xử lý ổn định của hệ thống.

Việc giới hạn phạm vi nghiên cứu như trên nhằm đảm bảo tính khả thi, độ tin cậy và tính ứng dụng của kết quả thu được, đồng thời tạo cơ sở cho các

nghiên cứu tiếp theo mở rộng quy mô hoặc so sánh với các loài thực vật khác trong xử lý nước thải bằng đất ngập nước nhân tạo.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết.
- Phương pháp thực nghiệm, phân tích trong phòng thí nghiệm.
- Phương pháp đánh giá.
- Phương pháp xử lý số liệu.

5. Phương pháp nghiên cứu

Chương 1. Tổng quan về nước thải sinh hoạt và ứng dụng thủy sinh vật trong xử lý nước thải sinh hoạt

Chương 2. Phương pháp nghiên cứu

Chương 3. Đánh giá khả năng xử lý một số thông số ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt của cây khoai nước.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NƯỚC THẢI SINH HOẠT VÀ ỨNG DỤNG THỦY SINH VẬT TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT

1.1. Tổng quan về nước thải sinh hoạt

1.1.1. Khái niệm, nguồn gốc các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt

Nước thải sinh hoạt (NTSH) là loại nước thải phát sinh từ các hoạt động hàng ngày của con người như tắm rửa, giặt giũ, vệ sinh cá nhân, nấu ăn... và chủ yếu bắt nguồn từ các hộ gia đình, khu dân cư, cơ sở dịch vụ, trường học và bệnh viện [4]. Theo QCVN14:2008 – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt cũng giải thích “Nước thải sinh hoạt là nước thải ra từ các hoạt động sinh hoạt của con người như ăn uống, tắm giặt, vệ sinh cá nhân” [5].

Các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt có nguồn gốc đa dạng, bao gồm:

- Chất thải của con người: Nước tiểu, phân, dịch cơ thể, khăn ướt đã sử dụng, giấy vệ sinh, máu, ... Đây là nguồn chứa nhiều mầm bệnh như vi khuẩn, virus gây các bệnh truyền nhiễm và đường tiêu hóa.

- Nước thải từ tẩy rửa và sinh hoạt: Nước từ tắm gội, giặt giũ, nước thải từ nhà bếp, rửa xe, vệ sinh nhà cửa chứa các chất tẩy rửa, hóa chất, dầu mỡ, cặn thức ăn, chất hữu cơ dễ phân hủy, các hóa chất mỹ phẩm, ...

- Nước thải từ bể phốt, cống rãnh: Nước rò rỉ hoặc xả từ bể phốt chứa các chất hữu cơ, cặn lơ lửng, vi sinh vật gây bệnh, các chất độc hại và kim loại nặng.

- Chất vô cơ và các chất rắn: Bao gồm cát, túi nilon, kim loại nặng, thủy tinh, bùn rác, nước mưa cuốn theo rác thải, bùn đất, xác động vật phân hủy, các chất hóa học tồn dư từ hoạt động công nghiệp hoặc nông nghiệp gần khu dân cư.

- Chất dinh dưỡng: Nước thải còn chứa các chất dinh dưỡng như nitơ, photpho từ chất thải trong quá trình nấu nướng và sinh hoạt, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của tảo độc hại, gây hiện tượng phú dưỡng làm ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy sinh [4], [6].

Nước thải sinh hoạt ở nông thôn và khu đô thị thoát ra ngoài theo các cơ chế và hệ thống khác nhau do điều kiện hạ tầng và mật độ dân cư khác biệt. Nước thải sinh hoạt ở đô thị thường được thu gom qua hệ thống đường ống thoát

nước phức tạp, chạy ngầm dưới lòng đất và trên mặt đất, thu gom nước thải từ nhà ở, công sở, trường học, công viên,... Nước thải từ các hộ gia đình, nhà vệ sinh, bồn rửa, giặt giũ được xả vào cống thoát nước, sau đó đi vào bể tự hoại tại chỗ hoặc chảy vào hệ thống cống thoát nước chung do thành phố quản lý. Hệ thống cống thoát nước này dẫn nước thải đến các nhà máy xử lý nước thải tập trung, nơi nước thải được xử lý qua nhiều giai đoạn như xử lý sơ cấp (lắng tách bùn, dầu mỡ), xử lý sinh học (bể sục khí), xử lý khử trùng trước khi xả ra môi trường. Ở các đô thị lớn, hệ thống thoát nước có thể là hệ thống thoát nước chung (nước mưa và nước thải chung) hoặc hệ thống thoát nước riêng biệt tùy theo điều kiện địa hình và quy hoạch đô thị. Ở nông thôn, nước thải sinh hoạt thường phân tán rộng, không có hệ thống cống thoát nước tập trung như đô thị nên khó khăn trong việc thu gom và xử lý. Phần lớn nước thải được xử lý tại chỗ bằng bể tự hoại hoặc hầm biogas, giúp tách chất rắn, giảm ô nhiễm trước khi thấm ngược vào đất hoặc thoát ra môi trường.

Một số khu vực nông thôn có thể xây dựng hệ thống xử lý nước thải tập trung quy mô nhỏ, thu gom nước thải từ nhiều hộ dân về một điểm xử lý chung với các công đoạn như bể điều hòa, xử lý sinh học, bể lắng, khử trùng để đảm bảo chất lượng nước thải trước khi xả ra môi trường. Việc xây dựng và vận hành hệ thống xử lý nước thải ở nông thôn còn gặp nhiều khó khăn do phân tán dân cư, chi phí đầu tư và quản lý [7].

Hiện nay, Hà Nội đang đối mặt với nhiều thách thức trong công tác thu gom và xử lý nước thải sinh hoạt. Thành phố phát sinh khoảng 1 triệu mét khối nước thải mỗi ngày, nhưng chỉ khoảng 30% được xử lý trước khi xả ra môi trường. Phần lớn lượng nước thải này vẫn đang được xả thẳng ra các sông như Tô Lịch, Kim Ngưu, Lừ, Sét... và các ao hồ nội thành, gây ô nhiễm nghiêm trọng. Để cải thiện tình trạng này, Hà Nội đã triển khai một số dự án trọng điểm, trong đó có Nhà máy xử lý nước thải Yên Xá với công suất 270.000 m³/ngày đêm. Khi đi vào vận hành, nhà máy này dự kiến sẽ nâng tỷ lệ nước thải được xử lý lên khoảng 50%. Ngoài ra, thành phố còn đang xúc tiến các dự án xử lý nước thải khác tại Việt Hưng, Cầu Ngà, Vân Canh, Sơn Đồng và Sơn Tây. Theo quy hoạch tổng thể, đến năm 2030, Hà Nội đặt mục tiêu xây dựng 41 nhà máy xử lý nước thải với tổng công suất 1,8 triệu m³/ngày đêm nhằm xử lý 100% lượng nước thải sinh hoạt. Tuy nhiên, tiến độ triển khai các dự án vẫn còn chậm, hệ

thông thu gom thiếu đồng bộ, đặc biệt tại các khu vực ngoại thành, dẫn đến hiệu quả xử lý chưa cao. Do đó, thành phố cần đẩy nhanh tiến độ đầu tư, hoàn thiện hệ thống hạ tầng kỹ thuật và tăng cường quản lý, giám sát hoạt động xả thải để bảo vệ môi trường và sức khỏe cộng đồng.

1.1.2. Thành phần và tính chất của nước thải sinh hoạt

a. Thành phần của nước thải sinh hoạt

Nước thải sinh hoạt có thành phần rất đa dạng và phức tạp, chủ yếu bao gồm các hợp chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học như protein, carbohydrate và lipid, cùng với các chất tẩy rửa, dầu mỡ, vi sinh vật gây bệnh và các chất dinh dưỡng. Đặc biệt, hàm lượng nitơ và photpho trong nước thải – thường tồn tại dưới dạng amoni, nitrat và photphat – là nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng phú dưỡng nếu không được xử lý thích hợp [4]. Ngoài ra, nước thải còn chứa một lượng đáng kể chất rắn lơ lửng (SS) như cặn thực phẩm, giấy vụn, tóc và các hạt vô cơ, gây ra hiện tượng đục nước và ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình quang hợp của sinh vật thủy sinh [8].

Một mối nguy nghiêm trọng khác là sự hiện diện của các vi sinh vật gây bệnh, bao gồm vi khuẩn (như E. coli, Salmonella), virus và ký sinh trùng, có nguồn gốc chủ yếu từ chất bài tiết của con người. Theo Metcalf & Eddy (2014) [9], trong 100 ml nước thải sinh hoạt có thể chứa tới hàng triệu vi khuẩn coliform, phản ánh mức độ ô nhiễm vi sinh rất cao và tiềm ẩn nguy cơ truyền nhiễm nghiêm trọng nếu không được xử lý triệt để trước khi xả thải ra môi trường.

Nguồn gốc của các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt chủ yếu đến từ các hoạt động hằng ngày như vệ sinh cá nhân, nấu ăn, giặt giũ và bài tiết. Các chất hữu cơ phần lớn phát sinh từ thực phẩm thừa, dầu mỡ, phân, nước tiểu và sản phẩm tẩy rửa – tuy dễ phân hủy sinh học nhưng lại tiêu tốn nhiều oxy hòa tan, từ đó làm suy giảm chất lượng nước và đe dọa cân bằng sinh thái [6]. Đồng thời, các sản phẩm vệ sinh và nước tiểu cũng là nguồn phát thải chính của các hợp chất chứa nitơ và photpho – tác nhân trực tiếp thúc đẩy hiện tượng phú dưỡng nếu không được loại bỏ hiệu quả [9]. Ngoài ra, chất rắn lơ lửng phát sinh từ sinh hoạt cá nhân không chỉ làm nước bị đục mà còn cản trở sự xâm nhập của ánh sáng, ảnh hưởng đến sự sống của sinh vật trong thủy vực. Cuối cùng, môi

nguy vi sinh vật gây bệnh từ nước thải không được xử lý đúng cách có thể dẫn đến lây lan dịch bệnh qua đường nước, đặc biệt nghiêm trọng tại các khu dân cư đông đúc [8].

Nhìn chung, nước thải sinh hoạt bao gồm các thành phần chính như sau [1], [8], [9], [6]:

- Chất hữu cơ: Chiếm khoảng 52% tổng thành phần, bao gồm các hợp chất dễ phân hủy như protein, ure, axit amin, thức ăn thừa, chất béo, xenlulozơ, xà phòng, hydrocarbon, các chất hữu cơ khó phân hủy.

- Chất vô cơ: Chiếm khoảng 48%, bao gồm các hợp chất nitơ (dưới dạng amoni, nitrat, nitrit), photpho, các ion kim loại (sắt, magie, canxi, silic), cát, sỏi, các chất rắn hòa tan và không hòa tan.

- Vi sinh vật gây bệnh: Nước thải sinh hoạt chứa nhiều vi sinh vật như virus (gây bệnh tả), vi khuẩn (E.coli, kiết lỵ, thương hàn), nấm men, tảo và các vi khuẩn không gây hại nhưng tham gia phân hủy chất hữu cơ.

- Các chất rắn: Bao gồm chất rắn hòa tan, chất rắn lơ lửng, chất rắn lắng, cặn bản, dầu mỡ, bùn đất.

- Các chất dinh dưỡng: Nitơ tổng (bao gồm N hữu cơ, N amoniac), photpho (thường trong khoảng 6-20 mg/l), các chất dinh dưỡng này góp phần gây phú dưỡng môi trường nếu không được xử lý.

- Các chất khí hòa tan: Oxy hòa tan (DO), khí CO₂, khí H₂S (khi phân hủy kỵ khí).

- Nước: Là thành phần chính, chiếm từ 99,5% đến 99,9% thể tích nước thải.

b. Tính chất của nước thải sinh hoạt

Tính chất của nước thải sinh hoạt phản ánh đặc điểm ô nhiễm đặc trưng cả về mặt lưu lượng, tính chất vật lý, hóa học lẫn sinh học, là cơ sở quan trọng cho việc lựa chọn công nghệ xử lý phù hợp.

- Lượng nước thải sinh hoạt: Hầu hết lượng nước thải sinh hoạt của một khu đô thị hoặc khu dân cư phụ thuộc vào dân số, vào tiêu chuẩn cấp nước và đặc điểm của hệ thống thoát nước. Tiêu chuẩn cấp nước sinh hoạt cho một khu dân cư phụ thuộc vào khả năng cung cấp nước của các nhà máy nước hay các

trạm cấp nước hiện có. Đặc biệt các trung tâm đô thị thường có tiêu chuẩn cấp nước cao hơn so với các vùng ngoại thành và nông thôn, do lượng nước thải sinh hoạt tính trên một đầu người cũng có sự khác biệt giữa thành thị và nông thôn [10].

- Tính chất vật lý:

Nước thải sinh hoạt thường có màu đen hoặc nâu, nguyên nhân chủ yếu là do sự hiện diện của các chất hữu cơ đang trong quá trình phân hủy cùng với các chất rắn lơ lửng. Màu sắc này phản ánh mức độ ô nhiễm hữu cơ cao và là một chỉ tiêu quan trọng trong đánh giá chất lượng nước thải.

Độ đục của nước thải sinh hoạt thường ở mức cao do chứa nhiều hạt lơ lửng và chất hữu cơ chưa phân hủy hoàn toàn. Độ đục càng lớn thì mức độ ô nhiễm chất rắn không tan càng cao, ảnh hưởng đến khả năng truyền sáng trong môi trường nước và hiệu quả xử lý bằng các phương pháp sinh học hoặc vật lý.

Về mùi vị, nước thải sinh hoạt có mùi hôi đặc trưng, chủ yếu phát sinh từ quá trình phân hủy các chất hữu cơ trong điều kiện yếm khí. Mùi này thường do các hợp chất khí như hydro sunfua (H_2S), amoniac (NH_3) và các acid bay hơi tạo thành, là dấu hiệu rõ ràng của sự ô nhiễm hữu cơ cao.

Nhiệt độ của nước thải sinh hoạt phụ thuộc vào điều kiện khí hậu và thói quen sinh hoạt của cộng đồng. Yếu tố này có vai trò quan trọng trong quá trình xử lý nước thải, đặc biệt là ảnh hưởng đến tốc độ phản ứng sinh học và khả năng hoạt động của vi sinh vật trong các hệ thống xử lý sinh học [6].

- Tính chất hóa học:

Về mặt hóa học, nước thải sinh hoạt có độ pH dao động trong khoảng từ 6 đến 9, trong đó giá trị tối ưu cho các quá trình xử lý sinh học thường nằm trong khoảng 6,5 đến 8. Tính chất này có thể thay đổi tùy thuộc vào thành phần các chất hữu cơ trong nước thải và giai đoạn phân hủy, khiến nước có thể mang tính axit hoặc kiềm.

Chỉ tiêu BOD_5 (nhu cầu oxy sinh hóa) thể hiện lượng oxy cần thiết để vi sinh vật phân hủy các chất hữu cơ trong điều kiện hiếu khí trong vòng 5 ngày, thường dao động từ 100 đến 400 mg/l đối với nước thải sinh hoạt đã qua bể phốt. Đây là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ và khả năng phân hủy sinh học của nước thải.

Song song với đó, COD (nhu cầu oxy hóa học) cho biết tổng lượng oxy cần để oxy hóa hoàn toàn các chất hữu cơ, bao gồm cả phần không phân hủy sinh học, với giá trị thường dao động từ 250 đến 600 mg/l.

Hàm lượng oxy hòa tan (DO) trong nước thải sinh hoạt chưa qua xử lý thường rất thấp, thậm chí bằng 0, do quá trình tiêu thụ oxy mạnh mẽ bởi vi sinh vật trong quá trình phân hủy chất hữu cơ. Sự thiếu hụt oxy hòa tan là nguyên nhân dẫn đến tình trạng yếm khí và phát sinh mùi hôi.

Cuối cùng, nước thải sinh hoạt chứa một lượng đáng kể các chất dinh dưỡng như nitơ tổng và photpho tổng.

Nitơ trong nước thải sinh hoạt tồn tại chủ yếu dưới ba dạng chính: nitơ hữu cơ, amoni và các hợp chất oxy hóa gồm nitrit và nitrat. Trong đó, amoni chiếm tỷ lệ lớn nhất, tiếp theo là nitơ hữu cơ, còn nitrit và nitrat chiếm tỷ lệ nhỏ [4].

Amoni (NH_4^+) là dạng nitơ vô cơ phổ biến trong nước thải sinh hoạt, chiếm khoảng 65% tổng nitơ, chủ yếu phát sinh từ quá trình phân hủy ure trong nước tiểu. Trong môi trường nước, amoni tồn tại dưới hai dạng: ion NH_4^+ và khí NH_3 , với tỷ lệ phụ thuộc vào pH. Ở pH trung tính, NH_4^+ chiếm ưu thế, trong khi ở pH cao (10,5–11), NH_3 trở nên vượt trội và độc hơn đối với sinh vật thủy sinh, đồng thời gây mùi khai khó chịu.

Nồng độ amoni trong nước thải sinh hoạt chưa xử lý dao động khá rộng, thường từ khoảng 10 đến 100 mg/L, thậm chí có thể cao hơn tùy theo nguồn nước thải và mức độ ô nhiễm [4].

Theo QCVN 14:2008/BTNMT, nồng độ NH_4^+ trong nước thải sinh hoạt không được vượt quá 20 mg/L trước khi xả ra môi trường [5]. Nồng độ amoni cao không chỉ gây phú dưỡng nguồn nước mà còn làm giảm hiệu quả khử trùng và tạo điều kiện cho vi sinh vật ăn mòn phát triển, ảnh hưởng đến hệ thống đường ống.

Các phương pháp xử lý amoni thường dựa trên việc tăng pH để chuyển NH_4^+ thành NH_3 rồi sục khí loại bỏ, hoặc sử dụng trao đổi ion trong khoảng pH từ 4 đến 8 để hấp phụ NH_4^+ . Nhìn chung, amoni là chỉ tiêu quan trọng phản ánh mức độ ô nhiễm và cần được kiểm soát hiệu quả trong quá trình xử lý nước thải sinh hoạt [11].

Photpho thường tồn tại trong nước thường ở các dạng ortho-phosphat-muối phosphat của axit phosphoric $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} từ các loại phân bón hoặc cơ thể động vật; đặc biệt là tôm cá thối rữa, các polyphosphat $Na_4P_2O_7$. Nồng độ photphat trong nước thải sinh hoạt chưa xử lý thường dao động trong khoảng 5 - 50 mg/L [4].

- Tính chất sinh học: Trong nước thải sinh hoạt chứa tập hợp những vi sinh vật như tảo, nấm men, vi khuẩn, virus... có hại cho con người. Nếu không được xử lý trước khi xả thải ra bên ngoài môi trường, lượng nước thải sinh hoạt này sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới môi trường và sức khỏe của con người.

- Tải lượng chất ô nhiễm: Tải lượng chất ô nhiễm theo đầu người trong nước thải sinh hoạt phụ thuộc vào mức sống, điều kiện sống và tập quán sống, điều kiện khí hậu... của khu dân cư. Tải lượng chất ô nhiễm trung bình theo đầu người được thể hiện ở Bảng 1.1 dưới đây [9].

Bảng 1.1. Tải lượng các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt tính cho 1 người trong 1 ngày đêm

STT	Chất ô nhiễm	Khối lượng (g/người/ngày đêm)	Vi sinh (MPN/100ml)
1	BOD ₅	45 ÷ 54	-
2	COD	72 ÷ 102	-
3	TSS	70 ÷ 145	-
4	Tổng N	6 ÷ 12	-
5	Tổng P	0,8 ÷ 4,0	-
6	Tổng Coliform	-	$10^6 ÷ 10^9$
7	Feacal Coliform	-	$10^5 ÷ 10^6$

1.1.3. Tác động của nước thải sinh hoạt đến môi trường và sức khỏe

Nước thải sinh hoạt nếu không được xử lý hiệu quả sẽ gây ra nhiều tác động tiêu cực đến môi trường. Các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước thải sinh hoạt bao gồm hợp chất giàu protein, carbohydrate, lipid, dầu mỡ, chất tẩy rửa có nguồn gốc chủ yếu từ sinh hoạt hàng ngày như nấu ăn, vệ sinh cá nhân và chất bài tiết. Hàm lượng các chất này tăng cao sẽ gây ra hiện tượng phú dưỡng, kích

thích sự phát triển quá mức của tảo và thực vật thủy sinh. Hệ quả là oxy trong nước bị suy giảm nghiêm trọng, gây chết cá và các sinh vật thủy sinh khác, làm mất cân bằng hệ sinh thái. [4] [12].

Quá trình phân hủy kỵ khí còn tạo ra các khí độc như H_2S (hydro sunfua), CH_4 (metan), NH_3 (amoniac) – không chỉ gây mùi hôi khó chịu mà còn ảnh hưởng đến chất lượng không khí và góp phần vào hiệu ứng nhà kính [12].

Ngoài ra, nước thải có thể thấm qua đất và làm ô nhiễm tầng chứa nước ngầm, ảnh hưởng trực tiếp đến nguồn nước sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp, đồng thời tiềm ẩn nguy cơ gây hại cho sức khỏe con người.

Cuối cùng, nước thải chưa qua xử lý làm mất mỹ quan đô thị, gây ô nhiễm môi trường cảnh quan và ảnh hưởng đến giá trị sử dụng đất, đặc biệt tại các khu dân cư, du lịch hoặc khu vực công cộng.

Nước thải sinh hoạt tiềm ẩn nhiều nguy cơ đối với sức khỏe con người và cộng đồng. Trước hết, nó là nguồn chứa hàng loạt vi sinh vật gây bệnh như vi khuẩn, virus và ký sinh trùng như *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella* – tác nhân gây ra các bệnh truyền nhiễm phổ biến như tiêu chảy, tả, kiết lỵ, viêm gan, viêm ruột, bệnh ngoài da (viêm da, nấm) và các bệnh về đường hô hấp [8] [13]. Ngoài ra, một số chất hữu cơ tổng hợp trong nước thải sinh hoạt như chất hoạt động bề mặt từ xà phòng, nước rửa chén, dầu gội có thể gây kích ứng da, rối loạn nội tiết và ảnh hưởng đến sức khỏe nếu tiếp xúc lâu dài.

1.2. Quy trình công nghệ cơ bản trong xử lý nước thải sinh hoạt

Để giảm thiểu tác động tiêu cực của nước thải sinh hoạt đến môi trường và sức khỏe cộng đồng, việc áp dụng các phương pháp và quy trình công nghệ xử lý phù hợp là điều cần thiết. Các công nghệ này được thiết kế nhằm loại bỏ hoặc giảm nồng độ các chất ô nhiễm hữu cơ, vô cơ, vi sinh vật và chất rắn ra khỏi nước thải trước khi xả thải ra môi trường.

Sơ đồ quy trình xử lý nước thải sinh hoạt cơ bản thường bao gồm các bước chính sau:

- Loại bỏ rác thô: Thường sử dụng song chắn rác hoặc lưới lọc rác để loại bỏ các vật thể lớn như rác, vải vụn, mảnh gỗ, nhựa, dầu mỡ để tránh làm hỏng thiết bị phía sau.

- Loại bỏ cát, sỏi: Dùng thiết bị sơ lắng hoặc hồ thu gom để loại bỏ các hạt nặng như cát, sỏi để tránh mài mòn thiết bị và ảnh hưởng đến quá trình xử lý.

- Điều hòa lưu lượng và nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải: Thường sử dụng bể điều hòa để ổn định lưu lượng và nồng độ nước thải đầu vào, giúp giảm biến động đột ngột về lưu lượng và tải lượng chất ô nhiễm trước khi nước thải vào các công đoạn xử lý tiếp theo, đặc biệt giúp quá trình xử lý sinh học ổn định và hiệu quả hơn.

- Xử lý sơ cấp (bể lắng sơ cấp): Tách các chất rắn lơ lửng và dầu mỡ nổi trên bề mặt bằng phương pháp lắng, thu bùn sơ cấp để xử lý riêng.

- Xử lý sinh học: Sử dụng phương pháp sinh học hiếu khí, thiếu khí, yếm khí hoặc kết hợp các phương pháp sinh học trên nhờ hoạt động của vi sinh vật để phân hủy các chất hữu cơ hòa tan trong nước thải, giảm BOD, COD và loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ ra khỏi nguồn nước. Phương pháp sinh học là công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt phổ biến nhất hiện nay, đặc biệt trong xử lý nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp nhẹ và nước thải chế biến thực phẩm.

Các công nghệ sinh học phổ biến bao gồm: Bùn hoạt tính (Aerotank) – xử lý hiếu khí lơ lửng, công nghệ lọc sinh học nhỏ giọt – xử lý hiếu khí dính bám, công nghệ phản ứng sinh học màng (MBR - Membrane Bioreactor), công nghệ sinh học kỵ khí (UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket), công nghệ AAO (Anaerobic – Anoxic – Oxic), công nghệ AO (Anoxic – Oxic), hồ sinh học tự nhiên hoặc nhân tạo.

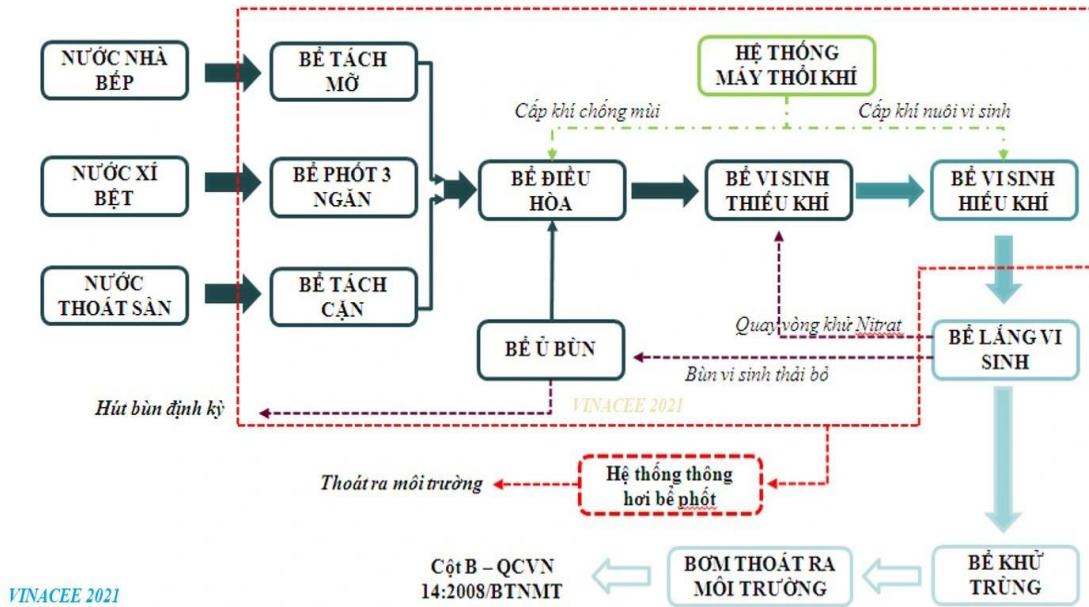
- Xử lý thứ cấp (bể lắng thứ cấp): Lắng các bùn vi sinh sinh ra từ bể sục khí, tách nước sạch ra khỏi bùn để tái tuần hoàn hoặc xả thải.

- Khử trùng: Tiêu diệt vi khuẩn, virus còn tồn tại trong nước thải bằng các phương pháp như clo hóa, tia cực tím để đảm bảo nước thải đạt tiêu chuẩn trước khi xả thải.

- Xử lý bùn: Bùn thu được từ các bể lắng được xử lý để giảm thể tích, ổn định và xử lý an toàn trước khi thải bỏ hoặc tái sử dụng.

Sơ đồ quy trình công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt điển hình được thể hiện trên hình 1.1 [6].

**SƠ ĐỒ TỔ CHỨC QUẢN LÝ VÀ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT
CHO NHÀ MÁY ICD - CƠ SỞ LIÊN CƠ, TRƯỜNG HỌC, KHÁCH SẠN, KHU NGHỈ DƯỠNG**



Hình 1.1. Quy trình công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt điển hình [15]

Bên cạnh việc sử dụng vi sinh vật thì từ khoảng những năm 2010 trở đi, với sự phát triển mạnh mẽ và phổ biến hơn trong khoảng 5-10 năm gần đây, các công nghệ xanh sử dụng thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải sinh hoạt ở Việt Nam bắt đầu được nghiên cứu và ứng dụng.

Công nghệ xanh nói chung, bao gồm việc kết hợp giá thể nhân tạo và tự nhiên, cũng như sử dụng thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải, được ghi nhận phát triển rõ nét từ khoảng năm 2018 trở về sau, với nhiều doanh nghiệp và nhà máy xử lý nước thải áp dụng tại các khu đô thị lớn như Vinhomes Ocean Park (khởi công năm 2019 và vận hành từ 2020) [14].

Hình 1.2. thể hiện sơ đồ mặt bằng của trạm xử lý NTSH áp dụng thủy sinh vật tại Khu đô thị Vinhomes ocean park. “Công nghệ Xanh” trong hệ thống xử lý này sử dụng cụm “rễ sinh học” để xử lý các chất ô nhiễm hữu cơ có thể phân hủy sinh học. Hệ thống xử lý NTSH này gồm 3 giai đoạn chính:

- *Giai đoạn 1: Xử lý sơ bộ*

Ở bước đầu, nước thải được đưa qua mương tách rác thô để loại bỏ các vật thể lớn như cành cây, túi ni lông, nhằm bảo vệ thiết bị bơm và hệ thống phía sau. Tiếp đó, nước được dẫn qua máy tách rác tinh để tiếp tục loại bỏ các tạp

chất có kích thước trên 5 mm. Sau đó, nước thải đi vào bể tách cát và dầu mỡ để loại bỏ cặn nặng và các chất nổi, giúp giảm tải cho các công đoạn xử lý sau.



Hình 1.2. Trạm xử lý NTSH tại Khu đô thị Vinhomes ocean park [14]

- Giai đoạn 2: Xử lý sinh học

Mục tiêu chính là loại bỏ BOD, COD, TSS, nitơ và photpho bằng hệ thống bể thiếu khí – hiếu khí kết hợp công nghệ giá thể sinh học cố định và sinh khối lơ lửng. Thực vật thủy sinh được trồng trong bể vừa cung cấp oxy, vừa hấp thụ chất ô nhiễm, góp phần duy trì hệ vi sinh trong điều kiện lưu lượng và nồng độ nước thải thay đổi. Sau xử lý sinh học, nước được đưa sang bể lắng, tại đây hóa chất PAC được bổ sung để tăng khả năng lắng và loại bỏ photpho. Bùn được tách riêng, một phần được tuần hoàn về bể thiếu khí, phần còn lại đưa đến bể chứa bùn.

- Giai đoạn 3: Khử trùng

Nước sau lắng tiếp tục được đưa qua bể khử trùng để tiêu diệt vi sinh vật gây bệnh, đảm bảo chất lượng nước đạt quy chuẩn QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Hệ thống quan trắc tự động theo dõi liên tục các thông số nước đầu ra trước khi xả ra môi trường.

1.3. Ứng dụng của thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải

1.3.1. Khái niệm và phân loại thực vật thủy sinh

Thực vật thủy sinh là những loại thực vật thích nghi và sinh trưởng trong môi trường nước, bao gồm cả nước ngọt và nước mặn. Chúng có thể sống hoàn toàn dưới nước (như các loài tảo biển), hoặc một phần trong nước, hoặc trong

môi trường ẩm ướt như bùn đất. Một số loài có hai dạng lá: lá mọc trên mặt nước (lá cạn) và lá mọc hoàn toàn dưới nước (lá nước) [16].



Hình 1.3. Cấu trúc lá, thân, rễ của cây Lục Bình (cây Bèo Tây)

Dựa vào đặc điểm sống trong môi trường nước, cây thủy sinh được phân thành 3 loại chính, bao gồm:

- Cây thủy sinh sống trôi nổi trên mặt nước: Rễ cây lơ lửng trên mặt nước, thân và lá phát triển ngay trên mặt nước. Rễ của loại cây này tạo điều kiện để vi khuẩn bám vào và có khả năng phân hủy chất thải. Đây cũng là nhóm cây thủy sinh phù hợp để ứng dụng trong xử lý nước thải (Ví dụ: Bèo cái, Lục bình, Rau muống, Hoa súng,...)

- Cây thủy sinh sống chìm dưới nước: Phát triển dưới mặt nước và chỉ phát triển ở những nơi mà nguồn nước có đủ ánh sáng. Chúng có thể làm tăng độ đục của nước, hạn chế sự khuếch tán của ánh sáng trong nước. Vì vậy, nhóm cây thủy sinh này không phù hợp để xử lý nước thải (Ví dụ: Các loại rong như rong tóc tiên, rong đuôi chó,...)

- Cây thủy sinh sống vươn trên mặt nước: Thường sống tại khu vực thủy triều ổn định. Rễ bám vào đất nhưng thân và lá của chúng phát triển trên mặt nước. Loại cây này quang hợp tốt và có khả năng ngăn sự phát triển của tảo.

Đây cũng là một nhóm cây thủy sinh thích hợp để xử lý nước thải (Ví dụ: Cây bấc, cây hương bồ, cây cỏ nến, cây đuôi mèo,...) [17].

Các thực vật thủy sinh có những đặc điểm cấu tạo thích nghi đặc biệt ở lá, thân và rễ nhằm thích ứng với môi trường nước. Những đặc điểm này giúp chúng nổi, trao đổi khí hiệu quả và hấp thụ chất dinh dưỡng trong điều kiện ngập nước (Bảng 1.2) [18].

Bảng 1.2. Đặc điểm cấu tạo chính của thực vật thủy sinh

Bộ phận	Đặc điểm cấu tạo chính	Chức năng thích nghi với môi trường nước
Lá	<ul style="list-style-type: none"> - Lá có lớp biểu bì trên và dưới, lớp biểu bì dưới thường có nhiều lỗ khí giúp trao đổi khí. - Mô giậu gồm các tế bào chứa nhiều diệp lục để quang hợp. - Mô xốp có cấu trúc rỗng, chứa nhiều khoang khí giúp lá nhẹ và nổi. - Lá nước thường mỏng, cấu trúc đơn giản, thích nghi hấp thụ khí và chất dinh dưỡng từ nước. 	Thực hiện quang hợp, trao đổi khí; mô xốp chứa khoang khí giúp lá nổi trên mặt nước
Thân	<ul style="list-style-type: none"> - Thân gồm mô biểu bì (bảo vệ, trao đổi khí), mô nền (quang hợp, dự trữ) và mô mạch (vận chuyển). - Thân cây thủy sinh nhẹ, xốp, chứa nhiều gian bào khí giúp nổi. - Lớp cutin rất mỏng hoặc không có do môi trường nước không gây mất nước. 	Vận chuyển nước và chất dinh dưỡng, giữ cấu trúc cây, chứa khí giúp nổi và trao đổi khí
Rễ	<ul style="list-style-type: none"> - Rễ có biểu bì bảo vệ, vỏ sơ cấp xốp chứa khí hỗ trợ nổi và trao đổi khí. - Đai Caspari kiểm soát dòng dẫn truyền nước và chất dinh dưỡng một chiều. - Mô mềm và mô cứng phát triển giúp giữ cấu trúc và hỗ trợ cơ học trong môi trường nước 	Hấp thụ nước và khoáng, trao đổi khí với môi trường, giúp cây bám vào đất hoặc nổi tự do

1.3.2. Cơ chế xử lý chất ô nhiễm trong nước của thực vật thủy sinh

Thực vật thủy sinh đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống xử lý nước thải tự nhiên và bán tự nhiên, đặc biệt là trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo. Chúng không chỉ giúp hấp thụ và loại bỏ các chất ô nhiễm như nitơ, phốt

pho, kim loại nặng và các chất hữu cơ khó phân hủy mà còn hỗ trợ sự phát triển của các vi sinh vật có lợi nhờ hệ thống rễ phát triển mạnh và tạo ra môi trường hiếu khí cục bộ [19]. Hệ thực vật này còn có khả năng lắng lọc cơ học các hạt lơ lửng, giảm độ đục của nước và cải thiện chất lượng nước đầu ra [20]. Ngoài ra, chúng góp phần ổn định cấu trúc hệ sinh thái bằng cách cố định đất, chống xói mòn và duy trì cân bằng sinh thái trong môi trường nước. Không chỉ có giá trị về mặt kỹ thuật, thực vật thủy sinh còn đóng góp vào việc cải thiện cảnh quan và tăng cường giá trị sinh thái của khu vực xử lý, đồng thời giúp tiết kiệm chi phí vận hành so với các công nghệ xử lý cơ học hoặc hóa học truyền thống [21]. Chính nhờ những vai trò này mà thực vật thủy sinh ngày càng được quan tâm trong các giải pháp xử lý nước thải bền vững và thân thiện với môi trường.

Tóm lại, thực vật thủy sinh đóng vai trò quan trọng trong quá trình xử lý nước ô nhiễm nhờ khả năng hấp thụ và loại bỏ các chất gây ô nhiễm một cách tự nhiên. Cơ chế xử lý của chúng bao gồm nhiều quá trình sinh học và hóa học phối hợp, giúp cải thiện chất lượng nước hiệu quả và bền vững.

Trước hết, quá trình hấp thụ là cơ chế chính giúp thực vật thủy sinh loại bỏ các chất ô nhiễm hòa tan như nitrat, photphat, các hợp chất hữu cơ và kim loại nặng. Các chất này được cây hấp thụ qua rễ, thân và lá rồi chuyển hóa thành dinh dưỡng để phát triển sinh khối. Nhờ đó, nồng độ các chất ô nhiễm trong nước được giảm đáng kể.

Tiếp theo, trong quá trình quang hợp, thực vật thủy sinh sử dụng ánh sáng mặt trời để tổng hợp chất hữu cơ từ CO_2 và nước, đồng thời thải ra oxy hòa tan vào nước. Lượng oxy này không chỉ nâng cao chất lượng nước mà còn hỗ trợ hoạt động sống của các vi sinh vật hiếu khí, thúc đẩy quá trình phân hủy chất hữu cơ trong nước thải.

Ngoài ra, quá trình dị hóa hay hô hấp cũng diễn ra trong cơ thể thực vật thủy sinh. Khi hô hấp, cây sử dụng một phần oxy để phân giải chất hữu cơ, từ đó làm giảm nồng độ BOD, COD và độ đục trong nước, góp phần làm sạch môi trường nước hiệu quả hơn.

Bên cạnh đó, thực vật thủy sinh hỗ trợ quá trình lắng đọng các chất rắn lơ lửng. Khi các hạt rắn này lắng xuống đáy, chúng sẽ được rễ cây hấp thụ và tiếp

tục phân hủy, giúp loại bỏ thêm các chất ô nhiễm, đồng thời hạn chế sự phát triển của vi khuẩn có hại trong nước.

Hệ vi sinh vật bám vào rễ cây cũng đóng vai trò không thể thiếu. Rễ thực vật tạo điều kiện cho các vi sinh vật phát triển, tăng diện tích tiếp xúc giữa chúng và nước thải. Vi sinh vật này phân hủy các hợp chất hữu cơ phức tạp thành các hợp chất đơn giản hơn, hỗ trợ quá trình làm sạch nước một cách hiệu quả và ổn định.

Cuối cùng, thực vật thủy sinh còn góp phần kiểm soát sự phát triển của tảo và vi khuẩn gây hại bằng cách cạnh tranh trực tiếp nguồn dinh dưỡng với các sinh vật này. Nhờ vậy, thực vật thủy sinh giúp duy trì sự cân bằng sinh thái trong hệ thống nước, ngăn ngừa hiện tượng phú dưỡng và đảm bảo chất lượng nước đầu ra ổn định [22].

1.3.3. Các nghiên cứu ứng dụng thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải

Trong những năm gần đây, việc ứng dụng thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải sinh hoạt đã thu hút sự quan tâm nghiên cứu đáng kể nhờ tiềm năng của chúng trong việc xử lý bền vững và thân thiện với môi trường. Nhiều nghiên cứu đã làm nổi bật vai trò đa dạng của thực vật thủy sinh trong việc loại bỏ các chất ô nhiễm khỏi nước thải, đặc biệt là trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo, đã trở thành chủ đề nghiên cứu được quan tâm sâu rộng.

Các nghiên cứu tiên phong như của Brix (1997) đã làm rõ vai trò sinh học và sinh thái của các loài thực vật thủy sinh như *Phragmites australis* và *Typha* spp., không chỉ trong việc hấp thụ dinh dưỡng mà còn hỗ trợ hoạt động vi sinh vật trong quá trình xử lý nước thải [23]. Tiếp nối đó, Vymazal (2005) đã tổng hợp dữ liệu từ nhiều hệ thống đất ngập nước khác nhau, khẳng định hiệu quả trong loại bỏ nitơ và photpho của các quần xã thực vật này [24].

Trong nghiên cứu của Saha và cộng sự (2022) đã chỉ ra khả năng tích tụ và vận chuyển các chất ô nhiễm nguy hại, bao gồm kim loại nặng, của các loài thực vật thủy sinh lớn (macrophytes). Phương pháp này hứa hẹn là giải pháp bền vững cho việc quản lý các nguồn nước bị ô nhiễm [25].

Xu và cộng sự (2021) đã chứng minh rằng cả thực vật thủy sinh nổi và ngập nước, như *Iris ensata* (Cây Xương bồ hay Diên vĩ Nhật Bản) và *P. malaianus* (Cây sậy), đều góp phần hiệu quả vào việc loại bỏ nitơ và photpho

trong nước thải mô phỏng, cho thấy tính phù hợp của chúng trong cải thiện chất lượng nước ở các hồ đô thị [26]. Tương tự, Kurniawan và cộng sự (2022) nhấn mạnh tiềm năng xử lý của các loài như *Pistia stratiotes* (Bèo cái hoặc Bèo tây) trong việc làm giảm nồng độ photphat, từ đó góp phần giải quyết tình trạng phú dưỡng tại các hồ chứa [27].

Một số nghiên cứu khác cũng nhấn mạnh việc tích hợp thực vật thủy sinh trong các hệ thống đầm lầy nhân tạo và các mô hình xử lý sinh học khác. Qu và cộng sự (2023) thảo luận về những phát triển gần đây trong việc sử dụng thực vật thủy sinh để làm sạch nước thải đô thị, đồng thời chỉ ra tiềm năng kết hợp biochar và các công nghệ hỗ trợ khác để nâng cao hiệu quả xử lý [28].

Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu thực nghiệm cũng đã chứng minh tiềm năng của các loài thực vật bản địa trong xử lý nước thải sử dụng mô hình đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetlands - CW) nhờ vào khả năng sinh trưởng mạnh, chịu ngập tốt và hiệu quả xử lý ô nhiễm cao.

Mô hình đất ngập nước nhân tạo là hệ thống xử lý nước thải sinh học nhân tạo, mô phỏng các chức năng sinh thái của các vùng đất ngập nước tự nhiên. Hệ thống này sử dụng đất, nước, thực vật thủy sinh và vi sinh vật để xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt một cách hiệu quả và thân thiện với môi trường.

Các mô hình đất ngập nước được nghiên cứu ứng dụng phổ biến gồm:

- Dạng dòng chảy ngang (Horizontal Flow - HF): Nước thải chảy theo phương ngang qua lớp vật liệu lọc có trồng cây thủy sinh.

- Dạng dòng chảy đứng (Vertical Flow - VF): Nước thải chảy theo phương thẳng đứng (từ trên xuống hoặc dưới lên) qua lớp vật liệu lọc.

- Dạng dòng chảy bề mặt (Surface Flow - SF): Nước thải chảy trên mặt đất có lớp nước nổi, cây thủy sinh mọc trên mặt nước.

- Dạng dòng chảy ngầm (Subsurface Flow - SFS): Nước thải chảy dưới lớp vật liệu lọc, không để lộ mặt nước, hạn chế mùi và muỗi [29].

Phạm Ngọc Hải (2014) đã chỉ ra rằng hệ thống đất ngập nước sử dụng lục bình (*Eichhornia crassipes*) và cỏ năn có khả năng xử lý hiệu quả nước thải sinh hoạt. Đồng thời, Nguyễn Thị Bích Hương và Trần Thị Minh Nguyệt (2018) đã

chứng minh cây môn nước (*Colocasia esculenta*) có thể được ứng dụng để xử lý nước thải nông nghiệp tại vùng đồng bằng sông Cửu Long. Ngoài ra, nghiên cứu của Lê Thị Kim Oanh và cộng sự (2020) cho thấy hệ thống đất ngập nước trồng lau sậy có hiệu quả cao trong việc giảm các chỉ tiêu BOD, COD và TSS trong nước thải từ ngành chế biến thủy sản. Những kết quả này góp phần khẳng định vị trí quan trọng của thực vật thủy sinh trong phát triển các giải pháp xử lý nước thải thân thiện với môi trường và phù hợp với điều kiện tự nhiên của Việt Nam.

Nghiên cứu sử dụng mô hình đất ngập nước nhân tạo có dòng chảy ngầm theo phương ngang có trồng cây bách thủy tiên (*Echinodorus cordifolius* L.) để xác định khả năng xử lý nước thải sinh hoạt theo thời gian lưu nước khác nhau. Kết quả cho thấy ở thời gian lưu nước 7 ngày, nước thải sau xử lý có các thông số pH, SS, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻ đạt loại A, riêng tổng Coliforms đạt loại B của QCVN 14:2008/BTNMT. Mô hình này có thể ứng dụng ở các khu vực có diện tích và giá đất phù hợp để xử lý nước thải sinh hoạt thân thiện với môi trường, đồng thời tái sử dụng các dưỡng chất làm phân bón và tạo cảnh quan cho khu vực xử lý [29].

Tổng thể, các tài liệu cho thấy rằng thực vật thủy sinh là những tác nhân linh hoạt trong xử lý nước thải sinh hoạt, có khả năng loại bỏ chất dinh dưỡng, các chất ô nhiễm nguy hại và có tiềm năng xử lý cả vi nhựa. Việc ứng dụng chúng trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo, hệ thống xử lý nổi và chiến lược phytoremediation mang lại các lựa chọn bền vững thay thế cho phương pháp xử lý truyền thống, với các nghiên cứu hiện tại đang tập trung vào việc tối ưu hiệu suất và mở rộng phạm vi xử lý đối với các chất ô nhiễm mới nổi.

1.4. Tổng quan về cây khoai nước

1.4.1. Đặc điểm của cây khoai nước

Khoai nước hay môn nước, khoai ngứa (*Colocasia esculenta*) là một loài cây thuộc họ Ráy (*Araceae*). Đây là cây mọc ở ruộng hay dựa vào bờ nước, có củ, lá rộng cao 0,3-0,8 m, láng, phiến không thấm nước vì lông mịn như nhung, mo vàng, bông nở thơm mùi đu đủ. Noãn sào dính phôi trắc mô, nhiều tiểu noãn, phi quả chín màu vàng. Cây môn nước được dùng làm thức ăn gia súc (Hình 1.4) [30].



Hình 1.4. Cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*)

Cây khoai nước có nguồn gốc từ các khu vực nhiệt đới và cận nhiệt đới của châu Á và châu Phi. Đây là loài cây đặc trưng của các vùng đất ngập nước, nơi có độ ẩm cao và môi trường đất phù sa. Cây khoai nước thường được trồng để thu hoạch củ làm thực phẩm, nhưng ngoài giá trị dinh dưỡng, cây còn có nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực khác như xử lý môi trường, đặc biệt là trong xử lý nước thải. Cây khoai nước có khả năng phát triển tốt trong môi trường ẩm ướt và chịu được tình trạng ngập nước, giúp cây có thể sinh trưởng mạnh mẽ và phát triển trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetlands - CWs). Đây là lý do tại sao khoai nước đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong các mô hình xử lý nước thải [31].

Cây khoai nước là cây sống lâu năm, có thân thảo, cao từ 1 đến 2 mét, với lá to hình tim, dày và có cuống dài. Lá của cây khoai nước có diện tích rộng, giúp tối ưu hóa quá trình quang hợp và cung cấp năng lượng cho sự sinh trưởng. Cây phát triển mạnh trong điều kiện ngập nước, với bộ rễ phát triển mạnh mẽ trong môi trường đất bão hòa nước. Rễ cây khoai nước có khả năng hấp thụ nước và các chất dinh dưỡng trong môi trường nước, giúp cây duy trì sự sống và phát triển trong điều kiện ngập nước.

Cây khoai nước sở hữu nhiều đặc điểm nổi bật giúp thích nghi tốt với môi trường ẩm ướt. Lá cây có lớp biểu bì không thấm nước và phủ lông mịn như nhung, giúp hạn chế mất nước và bảo vệ bề mặt lá khi tiếp xúc thường xuyên với độ ẩm cao. Thân và rễ phát triển khỏe mạnh trong điều kiện đất ẩm hoặc ngập nước, với hệ rễ có cấu tạo đặc biệt giúp hấp thụ oxy và chất dinh dưỡng trong môi trường thiếu khí. Bên cạnh đó, cây còn có củ chứa nhiều tinh bột dự trữ, giúp duy trì sự sống và phát triển trong điều kiện môi trường thay đổi. Nhờ khả năng sinh trưởng mạnh mẽ và thân bò có thể mọc rễ tại các đốt, cây dễ dàng lan rộng và bám chắc trên nền đất ẩm. Đặc biệt, khoai nước có khả năng chịu ngập úng tốt, có thể sinh trưởng trong điều kiện ngập nước mà nhiều loài cây khác không thể thích nghi. Những đặc điểm này giúp khoai nước phát triển hiệu quả tại các khu vực đất bùn, vùng ngập nước, tận dụng tốt nguồn nước và dinh dưỡng sẵn có trong môi trường.

Cây Khoai nước phân bố rộng rãi ở Việt Nam, thường mọc và được trồng nhiều ở các vùng đất ẩm ướt, ruộng nước, bờ ao, vùng đồng bằng và trung du. Khoai nước xuất hiện phổ biến ở các vùng nông thôn, đặc biệt là những nơi có đất ẩm, bùn lầy hoặc ruộng nước chua mặn. Các tỉnh miền Bắc như Lạng Sơn, Quảng Ninh, Hà Giang có trồng khoai nước từ lâu đời. Ở miền Trung và miền Nam, khoai nước cũng được trồng rộng rãi trong các khu vực đồng bằng và vùng ven sông, ven hồ.

Khoai nước dễ trồng, chỉ cần vài gốc nhỏ cắm xuống bùn đất ẩm là có thể phát triển tốt, tạo thành các bụi lớn sau một thời gian.

1.4.2. Khả năng xử lý ô nhiễm của cây khoai nước

Cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*) là một trong những loài cây có khả năng xử lý nước thải hiệu quả trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetlands). Cây khoai nước có thể hấp thụ các chất dinh dưỡng như nitrat, amoniac và phốt pho có trong nước thải, giúp giảm thiểu ô nhiễm từ các nguồn nước thải công nghiệp và nông nghiệp [2]. Rễ của cây tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của các vi sinh vật phân hủy các chất hữu cơ, góp phần vào việc làm sạch nước thải. Ngoài ra, cây khoai nước còn có khả năng hấp thụ một số kim loại nặng như cadmium và chì, giúp giảm mức độ ô nhiễm kim loại trong nước [22]. Cây cũng có khả năng chịu được môi trường ngập nước, do đó hoạt động hiệu quả trong các hệ thống xử lý nước thải ngập nước

[32]. Hơn nữa, cây khoai nước giúp duy trì sự đa dạng sinh học trong hệ thống xử lý bằng cách cung cấp môi trường sống cho các sinh vật như côn trùng và cá nhỏ. Nhờ những đặc tính này, cây khoai nước trở thành một lựa chọn lý tưởng cho việc xử lý nước thải trong các hệ thống sinh thái nhân tạo.

1.4.3. Ứng dụng của cây khoai nước trong xử lý nước thải

Cây khoai nước (*Colocasia esculenta*) được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống xử lý nước thải tự nhiên, đặc biệt là trong các hệ thống đất ngập nước

Một trong những ứng dụng nổi bật của cây khoai nước là trong việc xử lý nước thải sinh hoạt, nước thải nông nghiệp và nước thải công nghiệp nhẹ như từ nhà máy xay xát gạo hoặc chế biến thực phẩm. Cây có khả năng hấp thụ và loại bỏ các chất hữu cơ, chất dinh dưỡng (N, P), và kim loại nặng, từ đó góp phần cải thiện chất lượng nước đầu ra [2]. Bên cạnh đó, sự phát triển của rễ khoai nước còn tạo môi trường cho vi sinh vật có lợi sinh sôi, hỗ trợ quá trình phân giải các chất ô nhiễm trong nước. Ở nhiều địa phương, khoai nước được trồng trong hệ thống đất ngập nước dòng chảy đứng (Vertical Flow) hoặc dòng chảy ngang (Horizontal Flow) để nâng cao hiệu quả xử lý mà vẫn tiết kiệm chi phí và dễ bảo trì [32]. Với những ưu điểm này, cây khoai nước không chỉ mang lại hiệu quả sinh thái mà còn có tính ứng dụng cao trong các giải pháp xử lý nước thải thân thiện với môi trường.

Trong nghiên cứu [33], cây Khoai nước được ứng dụng trong hệ thống bãi lọc trồng cây nhân tạo nhằm xử lý loại nước thải đặc thù này. Kết quả cho thấy, cây khoai nước không phát triển tốt trong nước thải tại hồ thu, tuy nhiên lại sinh trưởng khỏe mạnh trong môi trường nước thải sau hệ thống biogas. Sau 7 ngày vận hành, hiệu suất xử lý các thông số TSS, COD, tổng nitơ (TN) và tổng phốt pho (TP) lần lượt đạt 89,8%, 93%, 85,8% và 90,3%. Việc trồng khoai nước giúp nâng cao hiệu suất xử lý của hệ thống bãi lọc thực vật từ 8,85% đến 29%. Đặc biệt, sau 6 ngày xử lý, chất lượng nước đầu ra đạt quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp (QCVN 40:2011 /BTNMT, cột B).

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Tổng quan các nghiên cứu cho thấy nước thải sinh hoạt chứa nhiều chất ô nhiễm hữu cơ, dinh dưỡng và vi sinh vật, nếu không được xử lý hiệu quả sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe cộng đồng. Trong bối cảnh đó, việc ứng dụng thực vật thủy sinh, đặc biệt là cây khoai nước (*Colocasia esculenta*), được xem là một giải pháp xử lý sinh học bền vững và thân thiện với môi trường. Với khả năng sinh trưởng tốt trong điều kiện ngập nước, hấp thụ hiệu quả các chất ô nhiễm và hỗ trợ hoạt động vi sinh vật, khoai nước thể hiện tiềm năng lớn trong các hệ thống bãi lọc trồng cây nhân tạo. Các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước đã khẳng định tính khả thi của loài cây này trong xử lý nước thải sinh hoạt. Từ những cơ sở lý luận và thực tiễn trên, chương tiếp theo sẽ tập trung trình bày nội dung và phương pháp nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của cây khoai nước trong điều kiện phòng thí nghiệm và mẫu nước thải thực tế.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

- Thực vật thủy sinh: Khoai nước (*Colocasia esculenta*), được lấy giống từ Trung tâm giống cây trồng - Học Viện Nông nghiệp Việt Nam.

Cây trước khi sử dụng cho thí nghiệm được ươm trong bầu (đất, mùn cưa, phân vi sinh) trong thời gian 3 tháng. Chọn những cây khỏe mạnh, có số nhánh, chiều dài lá và chiều dài rễ tương đương (mỗi nhánh cây dài từ 17-23 cm) để trồng thí nghiệm (Hình 2.1).



Hình 2.1. Cây khoai nước trước khi ươm

- Nước thải đánh giá khả năng chống chịu và hiệu quả xử lý của cây Khoai nước là nước thải nhân tạo được pha chế trong phòng thí nghiệm để mô phỏng 3 thông số của nước thải sinh hoạt: COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} . Nghiên cứu được thực hiện với các giá trị nồng độ khác nhau:

+ COD: 0, 250, 500, 1000, 2000 mg/L

+ NH_4^+ : 0, 50, 100, 150, 250 mg/L

+ PO_4^{3-} : 0, 25, 50, 100, 150 mg/L

- Nước thải thực tế được lấy tại xã Lai Xá, huyện Hoài Đức, thành phố Hà Nội. Một số thông số đầu vào đặc trưng của nước thải sinh hoạt được phân tích tại phòng thí nghiệm và được thể hiện trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Thông số đầu vào của nước thải sinh hoạt

Thông số	Giá trị đầu vào của mẫu nước thải sinh hoạt	Giới hạn theo QCVN 14:2008/BTNMT
pH	5,7	6 – 9
BOD ₅ (mg/L)	145	30
COD (mg/L)	200	50
TSS (mg/L)	137	50
Amoni (NH ₄ ⁺ -N) (mg/L)	18	5
Photphat (PO ₄ ³⁻ -P) (mg/L)	13	6

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

Thí nghiệm được đặt tại phòng thực nghiệm của phòng Công nghệ xử lý ô nhiễm – Viện Công nghệ năng lượng và môi trường – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Các thông số ô nhiễm của nước thải sinh hoạt trong đề tài bao gồm: COD, amoni (NH₄⁺) và photphat (PO₄³⁻).

Khả năng chống chịu và xử lý được nghiên cứu trên dung dịch nước thải nhân tạo pha chế trong phòng thí nghiệm.

Khả năng xử lý các thông số COD, amoni (NH₄⁺) và photphat (PO₄³⁻) của cây khoai nước được kiểm chứng bằng 1 mẫu nước thải sinh hoạt thực tế sau bể phốt.

2.2. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

2.2.1. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu nhằm đánh giá khả năng ứng dụng cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*) trong xử lý nước thải sinh hoạt theo mô hình cây ngập nước thông qua các chỉ tiêu sinh trưởng và hiệu quả xử lý ô nhiễm. Cụ thể, đề tài tập trung khảo sát khả năng chống chịu và sinh trưởng của cây khoai nước trong điều kiện nước thải có nồng độ chất hữu cơ (COD), amoni (NH₄⁺) và photphat (PO₄³⁻) khác nhau. Đồng thời, đánh giá hiệu quả xử lý các thông số ô nhiễm COD, amoni

(NH_4^+) và photphat (PO_4^{3-}). Mục tiêu cuối cùng là xác định ngưỡng chịu đựng của cây, phạm vi điều kiện tối ưu cho sinh trưởng và hiệu suất xử lý, từ đó làm cơ sở đề xuất giải pháp ứng dụng thực tiễn. Nghiên cứu hướng đến việc phát triển hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt thân thiện với môi trường, chi phí thấp và phù hợp với điều kiện nông thôn, vùng sâu vùng xa tại Việt Nam.

2.2.2. Nội dung nghiên cứu

- Đánh giá khả năng chống chịu và sinh trưởng của cây Khoai nước trong điều kiện nước thải nhân tạo có nồng độ chất hữu cơ (COD), amoni (NH_4^+) và photphat (PO_4^{3-}) khác nhau.

- Đánh giá hiệu quả loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng tại nồng độ sinh trưởng tối ưu.

- Đánh giá hiệu quả xử lý của cây khoai nước trồng trong hệ đất ngập nước nhân tạo với nước thải thực tế.

2.3. Hóa chất, thiết bị, dụng cụ thí nghiệm

Hóa chất sử dụng trong các thí nghiệm là hóa chất tinh khiết phân tích hãng Merck của Đức và được liệt kê trong bảng 2.2. Các dụng cụ thiết bị thí nghiệm được liệt kê trong bảng 2.3.

Bảng 2.2. Hoá chất sử dụng trong các thí nghiệm

STT	Tên hóa chất	Công thức hóa học
1	Kali dichromat (rắn)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
2	Axit Sunfuric (đặc)	H_2SO_4
3	Dung dịch muối Morh 0,05N	$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
4	Kali hydrogen phthalate	KHP
5	Dung dịch Nessler	K_2HgI_4
6	Dung dịch muối Rochelle	$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
7	Amoni Clorua	NH_4Cl

8	Natri Thiosunfat	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
9	Axit Ascobic	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$
10	Thuốc thử màu Molidat	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$
11	Kali Dihydrophotphat	KH_2PO_4

Bảng 2.3. Dụng cụ, thiết bị thí nghiệm

STT	Tên dụng cụ, thiết bị	Mã hiệu, xuất xứ
1	Bếp nung COD	HACH 45600-02/USA (100-150)°C, T°max=150°C
2	Pipet các loại	Hamburg, Đức
3	Bình định mức	Logatech, Việt Nam
4	Ống nghiệm thủy tinh chuyên dụng có nắp xoáy Teflon 10ml	Việt Nam
5	Phễu lọc	Việt Nam
6	Cân phân tích HT224CE	Shinko Denshi, Nhật Bản
7	Tủ sấy	Heraeus, Đức
8	Micro Buret 2ml	Hang Đức
9	Máy đo quang UV-VIS	Shimazu, Nhật Bản
10	Cuvet thạch anh 1cm và 5cm	Shimazu, Nhật Bản
11	Bếp gia nhiệt	Việt Nam

2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Phương pháp thu thập và tổng hợp tài liệu

Nghiên cứu các tài liệu, tạp chí, các báo cáo khoa học, tham luận ngành để tìm kiếm, thu nhập thông tin có liên quan đến đề tài mình đang quan tâm là

phương pháp nghiên cứu tài liệu. Kết quả em đã thu thập được những nguồn tài liệu tham khảo như: tổng quan về nước thải sinh hoạt, phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt, bãi lọc trồng cây xử lý nước thải, các loài thực vật thủy sinh có khả năng xử lý ô nhiễm.

2.4.2. Phương pháp lấy mẫu, vận chuyển và bảo quản mẫu

a. Lấy mẫu

Việc lấy mẫu nước thải tại hiện trường tuân theo:

- TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-1: 2006): Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu.
- TCVN 5999:1995 (ISO 5667-10: 1992): Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 6: Hướng dẫn lấy mẫu nước thải.

Mẫu nước thải được lấy tại mương chứa nước thải sau khi sử dụng ở xã Lai Xá, Hoài Đức, Hà Nội. Dùng các can polyme đã được tráng sạch bằng nước thải tại đây 3 lần để lấy mẫu. Lấy mẫu tránh không để rác và những vật khác lọt vào can. Nước thải được lấy đầy can và đậy chặt bằng nắp đã được tráng rửa bằng nước cất. Nước thải sau khi lấy về được phân tích và sử dụng trong các thí nghiệm tại phòng Xử lý ô nhiễm, Viện Công nghệ năng lượng và môi trường.

b. Vận chuyển và bảo quản mẫu

Các bình chứa cần được bảo vệ, làm kín để chúng không bị hỏng hoặc gây mất một phần mẫu trong khi vận chuyển. Vật liệu bao gói phải bảo vệ được mẫu nước lấy về khỏi bị nhiễm bẩn chéo từ bên ngoài và tránh bị vỡ.

Bảo quản mẫu theo tiêu chuẩn TCVN 6663-3: 2008 (ISO 5667-3: 2003): Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu.

2.4.3. Phương pháp bố trí thí nghiệm

a. Đánh giá khả năng chống chịu đối với các thông số COD, NH₄⁺, PO₄³⁻

Khả năng chống chịu của cây khoai nước với nồng độ COD, NH₄⁺, PO₄³⁻ khác nhau được đánh giá qua sinh trưởng.

Các giá trị COD trong thí nghiệm đánh giá khả năng chống chịu của cây khoai nước là 0 mg/L, 250 mg/L, 500 mg/L, 1000 mg/L và 2000 mg/L.

Các giá trị nồng độ NH_4^+ trong thí nghiệm đánh giá khả năng chống chịu của cây khoai nước là 0 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L và 250 mg/L.

Các giá trị nồng độ PO_4^{3-} trong thí nghiệm đánh giá khả năng chống chịu của cây khoai nước là 0 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L và 250 mg/L.

Các mức nồng độ được điều chỉnh bằng cách pha dung dịch mẹ phù hợp. Công thức pha chế các dung dịch mẹ như sau.

(1) Pha dung dịch COD, dung dịch làm nền gồm NH_4Cl và KH_2PO_4 .

Dung dịch nền được pha chế bằng cách hòa tan 0,9376 gam amoni clorua (NH_4Cl) và 0,4394 gam kali dihydrophosphat (KH_2PO_4) trong nước cất để đạt tổng thể tích 20 lít. Dung dịch này cung cấp các chất dinh dưỡng thiết yếu cho quá trình phản ứng sinh học trong thí nghiệm COD.

Để chuẩn bị các dung dịch mẫu có nồng độ COD (Chemical Oxygen Demand) khác nhau, sử dụng saccarozơ ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) làm chất hữu cơ chuẩn. Các dung dịch mẫu COD được pha như sau, với tổng thể tích 3 lít cho mỗi mẫu:

- Mẫu COD 250 mg/L: Cân chính xác 0,7030 gam saccarozơ.
- Mẫu COD 500 mg/L: Cân chính xác 1,4064 gam saccarozơ.
- Mẫu COD 1000 mg/L: Cân chính xác 2,8128 gam saccarozơ.
- Mẫu COD 2000 mg/L: Cân chính xác 5,6256 gam saccarozơ.

Sau khi cân, saccarozơ được hòa tan hoàn toàn trong dung dịch nền và điều chỉnh đến thể tích 3 lít.

(2) Pha dung dịch chứa nitơ từ NH_4Cl , dung dịch làm nền gồm đường Saccarozơ và KH_2PO_4 .

Dung dịch nền được pha chế nhằm cung cấp nguồn cacbon và photpho cần thiết cho quá trình sinh học. Cụ thể, hòa tan 0,9376 gam đường saccarozơ ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) và 0,4394 gam dihydrophosphat (KH_2PO_4) vào nước cất và định mức đến thể tích 20 lít. Dung dịch này được sử dụng làm dung dịch nền cho các nghiệm thức trong thí nghiệm.

Để tạo các nghiệm thức có hàm lượng nitơ khác nhau (tính theo nitơ nguyên tố), sử dụng amoni clorua (NH_4Cl) làm nguồn nitơ. Các dung dịch được pha trong thể tích 3 lít, với khối lượng NH_4Cl cân tương ứng như sau:

- N 50 mg/L: Cân 0,573 gam NH_4Cl .
- N 100 mg/L: Cân 1,1463 gam NH_4Cl .
- N 150 mg/L: Cân 1,7200 gam NH_4Cl .
- N 250 mg/L: Cân 2,8660 gam NH_4Cl .

Sau khi cân, NH_4Cl được hòa tan hoàn toàn trong dung dịch nền và điều chỉnh đến thể tích 3 lít.

(3) *Pha dung dịch chứa photpho từ KH_2PO_4 , dung dịch làm nền gồm đường Saccarozo và NH_4Cl .*

Dung dịch nền được pha chế nhằm cung cấp nguồn cacbon và nitơ cần thiết cho quá trình sinh học. Cụ thể, hòa tan 0,9376 gam đường saccarozo ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) và 0,764 gam amoni clorua (NH_4Cl) trong nước cất, sau đó định mức đến thể tích 20 lít. Dung dịch này đóng vai trò làm nền chung cho các nghiệm thức trong thí nghiệm.

Để tạo các nghiệm thức có hàm lượng photpho khác nhau (tính theo nguyên tố P), sử dụng dihydrophotphat (KH_2PO_4) làm nguồn cung cấp photpho. Các dung dịch được pha trong thể tích 3 lít, với khối lượng KH_2PO_4 được cân như sau:

- P 25 mg/L: Cân 0,329 gam KH_2PO_4
- P 50 mg/L: Cân 0,6591 gam KH_2PO_4
- P 100 mg/L: Cân 1,318 gam KH_2PO_4
- P 150 mg/L: Cân 3,166 gam KH_2PO_4

Sau khi cân, KH_2PO_4 được hòa tan hoàn toàn trong dung dịch nền và điều chỉnh đến thể tích 3 lít.

Để đánh giá khả năng chống chọi của cây Khoai nước, ở mỗi giá trị nồng độ của COD, nitơ và photpho bố trí 2 cây khoai nước. Cây khoai nước dùng cho thí nghiệm là các cây sức sống khỏe, nhiều rễ, kích thước gần như đồng đều. Trước khi thí nghiệm, cân được cân khối lượng, đo chiều dài thân và chiều dài

rẽ. Trong các thí nghiệm, cây Khoai nước được đặt trong phòng thí nghiệm có điều kiện môi trường được kiểm soát nhằm đảm bảo sự sinh trưởng ổn định và phản ánh chính xác hiệu quả xử lý nước thải. Cụ thể, cây được bố trí dưới hệ thống đèn LED có phổ ánh sáng tương đương ánh sáng mặt trời, cung cấp ánh sáng liên tục từ 10 đến 12 giờ mỗi ngày. Đây là điều kiện phù hợp với đặc điểm sinh học của khoai nước, một loài thực vật ưa sáng. Nhiệt độ trong phòng thí nghiệm được duy trì ổn định ở mức từ 25 đến 27°C, nằm trong khoảng tối ưu cho quá trình phát triển và hoạt động sinh lý của cây. Việc kiểm soát chặt chẽ các yếu tố ánh sáng và nhiệt độ góp phần đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy cho kết quả thí nghiệm.

Thí nghiệm được đặt trong các bình có dung tích 5 lít. Thể tích dung dịch đưa vào mỗi bình là 3 lít. Cây trồng theo phương pháp thủy canh. Đánh dấu mực dung dịch bên ngoài thành bình sau khi trồng cây (Hình 2.2).



Hình 2.2. Bố trí thí nghiệm khả năng chống chịu của cây khoai nước

Bổ sung lượng nước bay hơi cho các chậu thí nghiệm hàng ngày để mực dung dịch trong bình luôn duy trì ở vạch đã đánh dấu ban đầu.

Thời gian theo dõi thí nghiệm là 4 tuần. Sau 4 tuần cây được lấy ra, để ráo nước trong vòng 1 giờ và đánh giá sinh trưởng của cây qua các chỉ tiêu:

- Sự thay đổi sinh khối tươi trung bình của 2 cây trong cùng một kiểu thí nghiệm được đánh giá theo công thức:

$$\%m_{TB} = \frac{\%m_1 + \%m_2}{2}$$

Trong đó: % m_1 và % m_2 lần lượt là tỷ lệ tăng (hoặc giảm) sinh khối của cây thứ 1 và cây thứ 2, được xác định theo công thức:

$$\%m = \frac{m_s - m_t}{m_t} * 100\%$$

Trong đó: m_t là khối lượng sinh khối của cây trước khi làm thí nghiệm (gam); m_s là khối lượng sinh khối của cây sau 4 tuần thí nghiệm (gam).

- Sự thay đổi chiều dài thân và rễ cây: Chiều dài thân và rễ được đo theo rễ dài nhất của mỗi cây thí nghiệm đến ngọn cây bằng thước đo. Tỷ lệ tăng hoặc giảm chiều dài trung bình của 2 cây trong cùng một kiểu thí nghiệm được đánh giá theo công thức:

$$\%L_{TB} = \frac{\%L_1 + \%L_2}{2}$$

Trong đó: % L_1 và % L_2 lần lượt là tỷ lệ tăng (hoặc giảm) chiều dài thân của cây thứ 1 và cây thứ 2, được xác định theo công thức:

$$\%L = \frac{L_s - L_t}{L_t} * 100\%$$

Trong đó: L_t là chiều dài thân của cây đo từ gốc đến ngọn trước khi làm thí nghiệm (cm); L_s là chiều dài thân sau 4 tuần làm thí nghiệm (cm).

b. Thí nghiệm đánh giá khả năng xử lý các chất ô nhiễm hữu cơ và dinh dưỡng tại nồng độ sinh trưởng tối ưu

Thí nghiệm được đặt trong các bình có dung tích 5 lít (Hình 2.3). Cây trồng theo phương pháp thủy canh trong môi trường có nồng độ COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} tối ưu cho sự sinh trưởng của cây đã được xác định ở thí nghiệm a.



Hình 2.3. Thực vật thủy sinh đặt ở nồng độ tối ưu

Tiến hành lấy mẫu liên tục trong vòng 1 tháng, 7 ngày lấy mẫu 1 lần. Đánh giá hiệu suất xử lý COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} của từng hệ thí nghiệm.

c. Đánh giá khả năng xử lý nước thải của cây khoai nước đối với mẫu nước thải sinh hoạt thực tế

Hai hệ thí nghiệm được đặt trong hộp kính hình chữ nhật kích thước dài x rộng x cao là 50 x 30 x 50 cm theo mô hình đất ngập nước với chế độ dòng chảy thẳng đứng từ trên xuống.

Hệ 1 là hệ thí nghiệm, được thiết kế gồm cây khoai nước được trồng trên hệ vật liệu cát, đá vôi, sỏi được mô tả theo hình 2.4. Các cây được lựa chọn trồng trong thí nghiệm là những cây khỏe mạnh, đồng đều, được cắt ngắn 15-20 cm (thân) trước khi tiến hành thí nghiệm. Nguồn nước là nước thải sinh hoạt được lấy từ xã Lai Xá, Hoài Đức, Hà Nội.

Mô hình đất ngập nước trong hệ 2 được bố trí tương tự như hệ 1, chỉ khác là không trồng cây Khoai nước.

Tiến hành thí nghiệm trong vòng 14 ngày, lấy mẫu định kỳ 2 ngày 1 lần. Theo dõi giá trị COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} theo các mốc thời gian. Đồng thời, sau khi kết thúc thí nghiệm, đánh giá khả năng sinh trưởng của cây.



Hình 2.4. Thí nghiệm khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của cây khoai nước ở hệ đất ngập nước

Trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo, vật liệu nền giữ vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ sinh trưởng cho thực vật, làm giá thể cho vi sinh vật và tham gia vào quá trình xử lý nước thông qua các cơ chế vật lý, hóa học và sinh học. Ba loại vật liệu được sử dụng là cát, đá vôi và sỏi, mỗi loại có những đặc tính riêng biệt. Cát có kích thước hạt nhỏ, khả năng lọc cao nhờ diện tích bề mặt lớn, giúp loại bỏ các chất rắn lơ lửng và tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển, tuy nhiên khả năng hấp phụ thấp hơn các vật liệu khác. Đá vôi (CaCO_3) có tính kiềm cao, giúp điều chỉnh pH môi trường và hấp phụ tốt các kim loại nặng và photpho thông qua cơ chế kết tủa hóa học, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật ưa kiềm phát triển. Sỏi có kích thước lớn, khả năng thấm nước tốt, ít gây tắc nghẽn và chủ yếu đóng vai trò làm giá thể ổn định cho rễ cây cũng như vi sinh vật. Việc kết hợp các vật liệu này theo từng lớp – sỏi ở dưới, đá vôi ở giữa và cát ở trên – giúp tối ưu hóa hiệu quả xử lý nước trong hệ thống.

2.4.4. Phương pháp phân tích

Tiến hành phân tích các chất ô nhiễm (COD , NH_4^+ , PO_4^{3-}) tại phòng thí nghiệm thuộc phòng Xử lý nước – Viện Công nghệ môi trường – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

- TCVN 6491:1999 (ISO 6060:1989) Xác định nhu cầu oxy hoá học (COD);

- TCVN 5988:1995 (ISO 5664:1984) Xác định Amoni (N-NH₄⁺) bằng phương pháp chung cất và chuẩn độ;

- TCVN 6202:2008 (ISO 6878:2004) Xác định phốt pho - Phương pháp đo phổ dùng amoni molipdat;

Phương pháp phân tích COD (Chemical Oxygen Demand) được trình bày ngắn gọn như sau. Phương pháp phân tích COD sử dụng chất oxy hóa mạnh là kali dicromat (K₂Cr₂O₇) trong môi trường axit sulfuric (H₂SO₄) có mặt bạc sunfat (Ag₂SO₄) làm xúc tác. Mẫu được đun hồi lưu trong 2 giờ để quá trình oxy hóa xảy ra hoàn toàn. Sau phản ứng, lượng K₂Cr₂O₇ còn dư được xác định bằng phương pháp chuẩn độ với dung dịch muối Mohr (Fe²⁺). Phản ứng giữa ion dicromat và ion sắt (II) xảy ra theo tỷ lệ xác định, cho phép tính toán chính xác lượng chất hữu cơ đã bị oxy hóa. Thiết bị chính sử dụng trong quá trình phân tích gồm: bộ đun hồi lưu, buret, và các dụng cụ thí nghiệm cơ bản khác.

COD (mg/L) được tính theo công thức:

$$\text{COD} = \frac{(V_{\text{blank}} - V_{\text{mẫu}}) \cdot N \cdot 8000}{V_{\text{mẫu}}}$$

trong đó:

V_{blank} là thể tích dung dịch muối Mohr chuẩn độ mẫu trắng (mL),

$V_{\text{mẫu}}$ là thể tích dung dịch muối Mohr chuẩn độ mẫu thử (mL),

N là nồng độ đương lượng của dung dịch muối Mohr (mol/L),

8000 là hệ số chuyển đổi từ mol oxy sang mg oxy (với thể tích tính theo mL).

Phương pháp phân tích thông số amoni (NH₄⁺) được thực hiện dựa trên nguyên tắc phản ứng giữa ion amoni và thuốc thử Nessler trong môi trường kiềm, tạo thành hợp chất màu vàng đến vàng nâu đặc trưng. Mức độ đậm nhạt của màu tạo thành tỉ lệ thuận với nồng độ ion NH₄⁺ có trong mẫu nước. Để xác định chính xác cường độ màu, mẫu được đo tại bước sóng 420 nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Phương pháp này thuộc nhóm phân tích đo màu, đơn giản nhưng mang lại độ nhạy và độ chính xác cao, thích hợp cho các mẫu có hàm

lượng amoni thấp. Các thiết bị và dụng cụ cần thiết trong quá trình phân tích bao gồm máy quang phổ, pipet định mức, ống nghiệm và các hóa chất chuẩn để pha dung dịch thuốc thử và dung dịch chuẩn amoni. Việc tính toán nồng độ NH_4^+ được thực hiện bằng cách so sánh giá trị hấp thụ quang học của mẫu với đường chuẩn được xây dựng từ các mẫu chuẩn có nồng độ NH_4^+ đã biết. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi trong phân tích chất lượng nước mặt, nước ngầm và nước thải nhằm đánh giá mức độ ô nhiễm nitơ dạng amoni, một trong những chỉ tiêu quan trọng liên quan đến ô nhiễm hữu cơ và phú dưỡng nguồn nước.

Phương pháp phân tích thông số photphat (PO_4^{3-}) được thực hiện dựa trên nguyên tắc phản ứng giữa ion photphat với amoni molybdat trong môi trường axit (thường là axit sulfuric), sau đó được khử bằng axit ascorbic hoặc thiếc clorua (SnCl_2), tạo thành phức chất molybden có màu xanh lam đặc trưng. Cường độ màu của phức tỉ lệ thuận với nồng độ photphat trong mẫu, và được xác định bằng phương pháp đo quang tại bước sóng 880 nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Các thiết bị và dụng cụ chính sử dụng trong quá trình phân tích bao gồm máy quang phổ, pipet định mức và ống nghiệm. Nồng độ PO_4^{3-} trong mẫu được tính toán dựa trên giá trị hấp thụ quang học so sánh với đường chuẩn được thiết lập từ các dung dịch chuẩn có nồng độ photphat đã biết. Đây là phương pháp phân tích nhanh, chính xác và thường được ứng dụng trong các nghiên cứu môi trường để đánh giá mức độ ô nhiễm dinh dưỡng trong nước.

2.4.5. Phương pháp xử lý, so sánh số liệu

- Thống kê các số liệu và xử lý bằng phần mềm Excel.
- Phân tích số liệu và so sánh với QCVN 14: 2008/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt. Các kết quả của nghiên cứu trước đây cũng được sử dụng để so sánh, tăng cơ sở khoa học của kết quả đề tài.

CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XỬ LÝ MỘT SỐ THÔNG SỐ Ô NHIỄM TRONG NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA CÂY KHOAI NƯỚC

3.1. Kết quả đánh giá khả năng chống chịu của cây khoai nước

3.1.1. Khả năng chống chịu đối với thông số COD

Sau 4 tuần tiến hành thí nghiệm, khả năng chống chịu của cây Khoai nước được đánh giá dựa trên sự thay đổi về số lượng cây, sinh khối và chiều dài cây (thân và rễ) tại các nồng độ COD của dung dịch nuôi cây khác nhau (0–2000 mg/L). Sự biến động về số lượng cây, sinh khối và chiều dài cây tại các giá trị COD khác nhau được thể hiện chi tiết trong các bảng 3.1, 3.2 và 3.3.

Bảng 3.1. Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây

COD, mg/L	Số cây trước khi thí nghiệm, cây	Số cây sau khi thí nghiệm, cây	Tỷ lệ thay đổi, %
0	2	2	0.0
250	2	2	0.0
500	2	2	0.0
1000	2	2	0.0
2000	2	1	-50,0

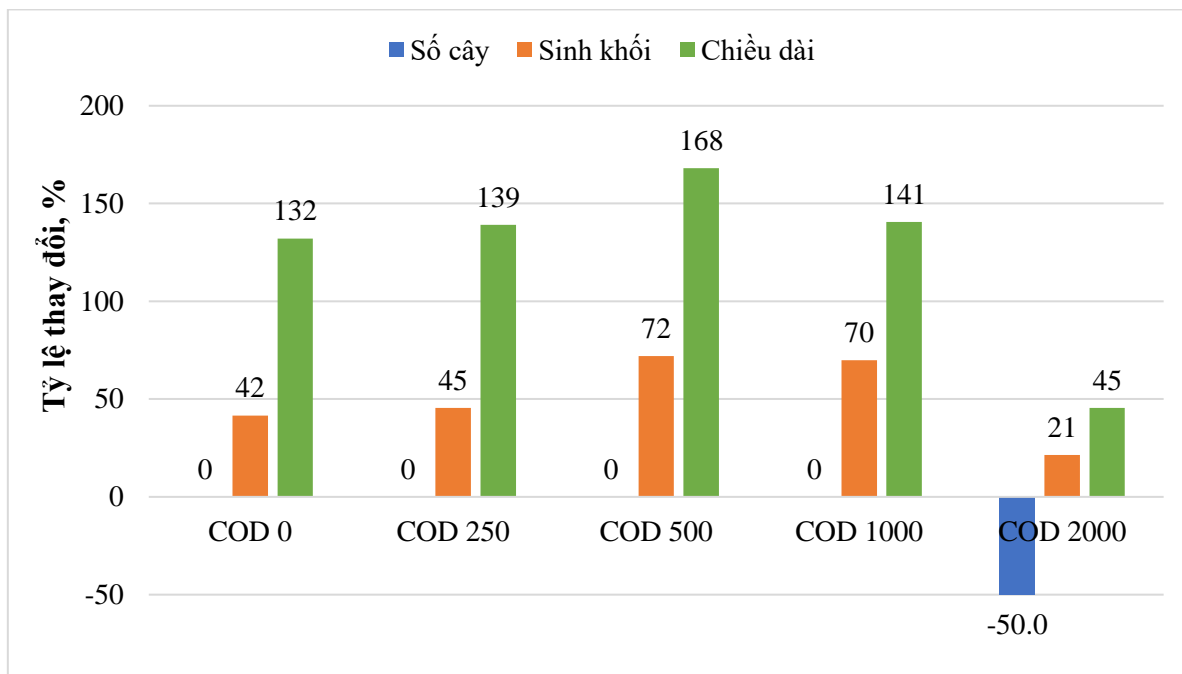
Bảng 3.2. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây

COD, mg/L	Cây thí nghiệm	Khối lượng trước khi thí nghiệm, m _t (gam)	Khối lượng sau khi thí nghiệm, m _s (gam)	Tỷ lệ thay đổi, %m (%)
0	Cây 1	40,0	55,1	38
	Cây 2	40,0	58,2	46
	Trung bình			42
250	Cây 1	41,0	63,6	55
	Cây 2	38,6	52,4	36
	Trung bình			45
500	Cây 1	50,2	85,7	71
	Cây 2	51,6	89,4	73

	Trung bình			72
1000	Cây 1	35,5	60,4	70
	Cây 2	34,0	57,7	70
	Trung bình			70
2000	Cây 1	45,3	60,6	34
	Cây 2	48,1	52,5	9
	Trung bình			21

Bảng 3.3. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị COD của dung dịch nuôi cây

COD, mg/L	Cây thí nghiệm	Chiều dài cây trước khi thí nghiệm, L_t (cm)	Chiều dài cây sau khi thí nghiệm, L_s (gam)	Tỷ lệ tăng, %L (%)
0	Cây 1	23	54	133
	Cây 2	29	66	132
	Trung bình			132
250	Cây 1	29	62	114
	Cây 2	28	74	164
	Trung bình			139
500	Cây 1	32	85	167
	Cây 2	33	89	170
	Trung bình			168
1000	Cây 1	27	67	149
	Cây 2	29	67	132
	Trung bình			141
2000	Cây 1	26	43	65
	Cây 2	31	39	25
	Trung bình			45



Hình 3.1. Ảnh hưởng của COD đến sự sinh trưởng của cây Khoai nước

Kết quả cho thấy các chỉ tiêu sinh trưởng về sinh khối, chiều dài cây và số lượng cây phụ thuộc rõ rệt vào nồng độ COD trong dung dịch nuôi cây. Sau 4 tuần thí nghiệm, kết quả ở các mức COD từ 0 đến 2000 mg/L cho thấy cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*) có khả năng sinh trưởng trong điều kiện nước thải chứa hàm lượng chất hữu cơ khác nhau.

Ở tất cả các thí nghiệm với giá trị COD từ 0 mg/L đến 1000 mg/L, số lượng cây không thay đổi sau 4 tuần, cho thấy cây Khoai nước có khả năng sống ổn định trong điều kiện môi trường chứa hàm lượng chất hữu cơ ở mức thấp đến trung bình. Tuy nhiên, tại nồng độ COD 2000 mg/L, có 50% số cây bị chết (tức 1 trong 2 cây), phản ánh rõ rệt ảnh hưởng tiêu cực của ô nhiễm hữu cơ ở mức cao đến sự sống còn của cây.

Mặc dù số lượng cây trong mỗi thí nghiệm tương đối ít (2 cây cho mỗi giá trị COD), kết quả vẫn phần nào phản ánh xu hướng rõ ràng: môi trường có COD cao (2000 mg/L) không thuận lợi cho sự sinh trưởng và phát triển của cây. Điều này có thể được lý giải bởi một số nguyên nhân. Thứ nhất, nồng độ COD cao đồng nghĩa với sự hiện diện nhiều chất hữu cơ dễ phân hủy, từ đó thúc đẩy quá trình phân hủy sinh học tiêu tốn oxy hoà tan (DO) trong nước. Khi DO giảm xuống dưới ngưỡng tối thiểu cần thiết cho hô hấp của thực vật thủy sinh, cây sẽ bị thiếu oxy, ảnh hưởng đến các quá trình trao đổi chất và dẫn đến chết cây. Thứ

hai, các sản phẩm trung gian trong quá trình phân hủy chất hữu cơ (như amoni, axit hữu cơ,...) có thể tích tụ và gây độc cho mô thực vật, ảnh hưởng đến hệ rễ, làm giảm khả năng hấp thụ nước và dinh dưỡng.



Hình 3.2. Khoai nước sau 4 tuần đặt thí nghiệm

Sự thay đổi sinh khối của cây Khoai nước sau 4 tuần thí nghiệm cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của nồng độ COD trong dung dịch đến khả năng sinh trưởng của cây (Hình 3.1). Cây tăng sinh khối từ 42% – 45% trong dung dịch có giá trị COD thấp (0 mg/L – 250 mg/L). Ở khoảng giá trị COD 500 – 1000 mg/L, sinh khối tăng mạnh hơn, đạt mức cao nhất tại COD 500 mg/L (72%), cho thấy đây có thể là ngưỡng tối ưu giúp cây tăng cường trao đổi chất, hấp thụ tốt dinh dưỡng. Tuy nhiên, khi nồng độ COD tăng lên đến 2000 mg/L, sinh khối chỉ tăng 21%, phản ánh sự ức chế đáng kể đối với sự phát triển của cây, có thể do hàm lượng chất hữu cơ cao gây tiêu hao oxy hòa tan và tạo ra các sản phẩm phân hủy trung gian độc hại.

Tương tự, chiều dài cây cũng tăng trong khoảng COD từ 0 đến 1000 mg/L, với mức tăng cao nhất là 168% tại COD 500 mg/L, cho thấy sự kích thích sinh trưởng chiều cao trong điều kiện COD trung bình. Tuy nhiên, ở COD 2000 mg/L, chiều dài cây chỉ tăng 45%, thấp hơn nhiều so với các mức COD còn lại, cho thấy cây bắt đầu chịu tác động tiêu cực rõ rệt từ môi trường ô nhiễm hữu cơ nặng. Dù ở COD 2000 mg/L, chiều dài vẫn tăng nhưng kết hợp với việc giảm số lượng cây, điều này có thể cho thấy cây kéo dài thân như một cơ chế sinh tồn trong điều kiện stress.

Nhìn chung, kết quả cho thấy cây Khoai nước sinh trưởng tốt trong điều kiện COD thấp đến trung bình, nhưng bị ức chế khi nồng độ COD vượt quá 1000

mg/L, đặc biệt tại COD 2000 mg/L. Điều này có thể liên quan đến tình trạng thiếu oxy, sự tích tụ các chất độc (như amoni, H₂S) và điều kiện kỵ khí trong môi trường nước ô nhiễm hữu cơ cao.

Nhìn chung, kết quả cho thấy cây Khoai nước phát triển tốt nhất ở mức COD từ 500 –1000 mg/L cả về sinh khối và chiều dài. Mức COD 2000 có thể vượt ngưỡng chịu đựng, bắt đầu ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng sinh tồn của cây. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Nguyen et al. (2020) [3], khi cây Khoai nước được đánh giá là có hiệu quả cao trong xử lý nước thải có nồng độ COD trung bình nhờ khả năng hấp thụ và sinh trưởng tốt.

Từ kết quả này, có thể nhận định rằng cây Khoai nước có khả năng thích nghi tốt trong môi trường nước có mức ô nhiễm hữu cơ vừa phải, nhưng sẽ bị ảnh hưởng rõ rệt khi ô nhiễm vượt ngưỡng, đặc biệt là khi COD đạt tới 2000 mg/L.

3.1.2. Khả năng chống chịu của đối với thông số NH₄⁺

Để đánh giá khả năng chống chịu của cây Khoai nước trước tác động của amoni – một dạng nitơ vô cơ phổ biến trong nước thải – thí nghiệm được tiến hành với các nồng độ NH₄⁺ khác nhau từ 0 đến 250 mg/L. Kết quả thí nghiệm được thể hiện ở các bảng 3.4, 3.5 và 3.6.

Bảng 3.4. Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị NH₄⁺ của dung dịch nuôi cây

NH ₄ ⁺ , mg/L	Số cây trước khi thí nghiệm, cây	Số cây sau khi thí nghiệm, cây	Tỷ lệ thay đổi, %
0	2	2	0.0
50	2	2	0.0
100	2	2	0.0
150	2	2	0.0
250	2	1	-50,0

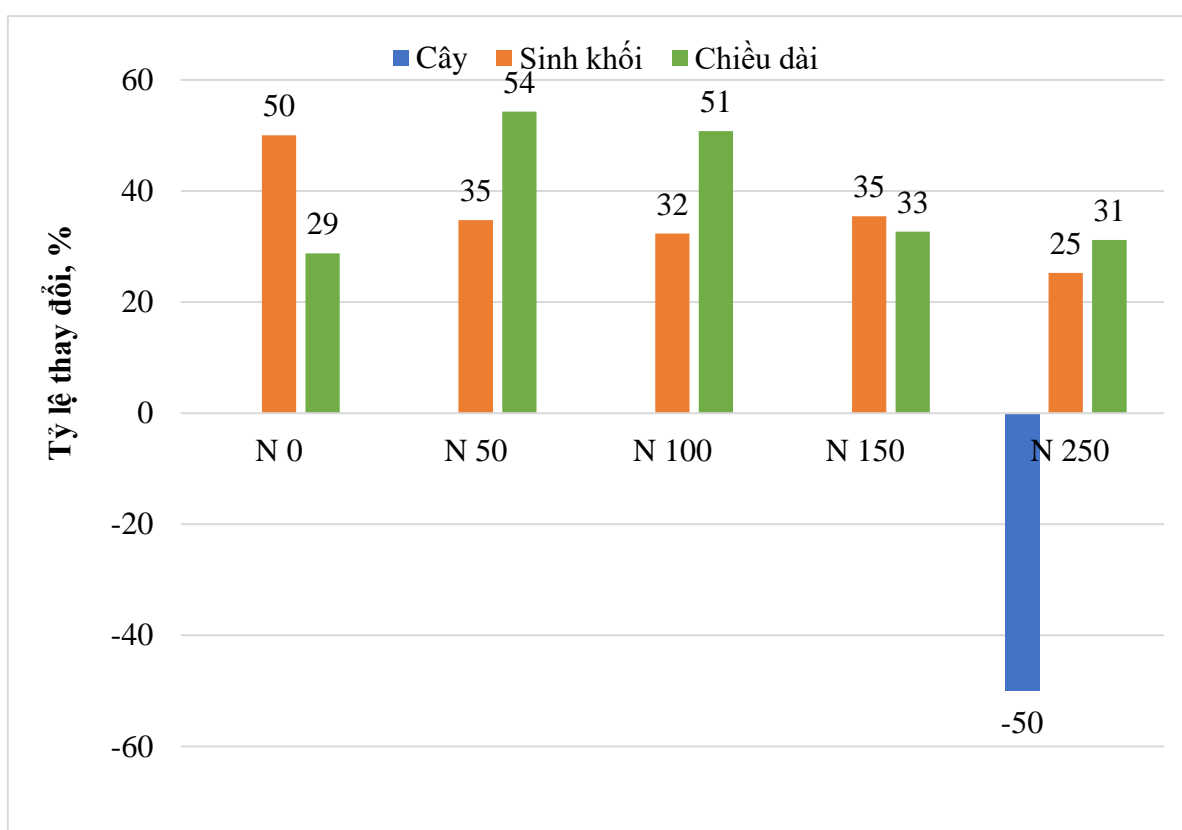
Bảng 3.5. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị NH_4^+ của dung dịch nuôi cây

NH_4^+ , mg/L	Cây thí nghiệm	Khối lượng trước khi thí nghiệm, m_t (gam)	Khối lượng sau khi thí nghiệm, m_s (gam)	Tỷ lệ thay đổi, %m (%)
0	Cây 1	55.4	84.6	53
	Cây 2	60.0	88.4	47
	Trung bình			50
50	Cây 1	58.4	78.0	34
	Cây 2	50.3	68.4	36
	Trung bình			35
100	Cây 1	65.7	88.4	35
	Cây 2	70.0	91.1	30
	Trung bình			32
150	Cây 1	73.5	98.6	34
	Cây 2	80.0	109.4	37
	Trung bình			35
250	Cây 1	66.8	84.4	26
	Cây 2	60.4	75.0	24
	Trung bình			25

Bảng 3.6. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị NH_4^+ của dung dịch nuôi cây

NH_4^+ , mg/L	Cây thí nghiệm	Chiều dài cây trước khi thí nghiệm, L_t (cm)	Chiều dài cây sau khi thí nghiệm, L_s (gam)	Tỷ lệ tăng, %L (%)
0	Cây 1	30	39	30
	Cây 2	29	37	28
	Trung bình			29
50	Cây 1	30	47	57
	Cây 2	25	38	52

	Trung bình			54
100	Cây 1	25	37	48
	Cây 2	28	43	54
	Trung bình			51
150	Cây 1	27	35	30
	Cây 2	28	38	36
	Trung bình			33
250	Cây 1	28	32	14
	Cây 2	27	40	48
	Trung bình			31



Hình 3.3. Ảnh hưởng của NH₄⁺ tới sự sinh trưởng của cây Khoai nước

Dựa trên hình 3.3 thể hiện tỷ lệ thay đổi của ba chỉ tiêu sinh trưởng gồm số cây, sinh khối và chiều dài trong các điều kiện nồng độ amoni (NH₄⁺) khác nhau, có thể rút ra nhận định toàn diện về khả năng chống chịu của cây đối với NH₄⁺. Ở điều kiện không có NH₄⁺ (N0), cả ba chỉ tiêu đều tăng mạnh, đặc biệt số cây và sinh khối tăng 50%, trong khi chiều dài cũng tăng 29%. Điều này cho

thấy môi trường không chứa NH_4^+ là điều kiện lý tưởng để cây phát triển bình thường, thể hiện sự khỏe mạnh và không bị tác động bởi áp lực hóa học. Tuy nhiên, khi NH_4^+ được bổ sung ở mức độ thấp đến trung bình (N50 đến N150), cây vẫn duy trì được tốc độ sinh trưởng đáng kể. Cụ thể, chiều dài cây tăng vọt, đạt đỉnh ở N50 (tăng 54%) và duy trì mức cao ở N100 và N150 (lần lượt là 51% và 33%). Sinh khối cũng cho thấy xu hướng tương tự, phản ánh việc NH_4^+ ở nồng độ thấp có thể đóng vai trò như một nguồn dinh dưỡng giúp cây phát triển, đặc biệt là trong hệ thống đất ngập nước nơi nguồn nito đóng vai trò quan trọng cho hoạt động sinh lý của cây.

Tuy nhiên, khi nồng độ NH_4^+ tăng lên mức cao nhất (N250), những ảnh hưởng tiêu cực bắt đầu trở nên rõ rệt. Dữ liệu cho thấy số lượng cây giảm mạnh 50%, phản ánh tác động gây độc rõ rệt của NH_4^+ khi vượt quá ngưỡng chịu đựng của cây. Mặc dù sinh khối và chiều dài vẫn tăng nhẹ (25% và 31%), điều này có thể không phản ánh sự phát triển thực sự khỏe mạnh, mà có thể do chỉ còn lại một số cá thể sống sót phát triển tốt hơn do ít sự cạnh tranh. Tổng thể, biểu đồ cho thấy cây có khả năng chống chịu tốt với NH_4^+ trong một khoảng giới hạn nhất định, cụ thể là từ 0 đến khoảng 150 mg/L. Khi vượt quá ngưỡng này, NH_4^+ bắt đầu phát huy độc tính, gây tổn hại đến số lượng cây tồn tại và có thể ảnh hưởng đến quá trình phát triển chung. Như vậy, nghiên cứu này góp phần làm rõ giới hạn chịu đựng NH_4^+ của cây và cung cấp cơ sở quan trọng cho việc ứng dụng trong xử lý nước thải chứa amoni, đặc biệt trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo.

3.1.3. Khả năng chống chịu đối với thông số PO_4^{3-}

Thí nghiệm đánh giá khả năng chống chịu của cây Khoai nước đối với thông số PO_4^{3-} được tiến hành với các nồng độ PO_4^{3-} khác nhau từ 0 đến 150 mg/L. Kết quả thí nghiệm được thể hiện ở các bảng 3.7, 3.8 và 3.9.

Bảng 3.7 Sự thay đổi về số lượng cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây

PO_4^{3-} , mg/L	Số cây trước khi thí nghiệm, cây	Số cây sau khi thí nghiệm, cây	Tỷ lệ thay đổi, %
0	2	2	0,0
25	2	2	0,0

50	2	2	0,0
100	2	2	0,0
150	2	1	-50,0

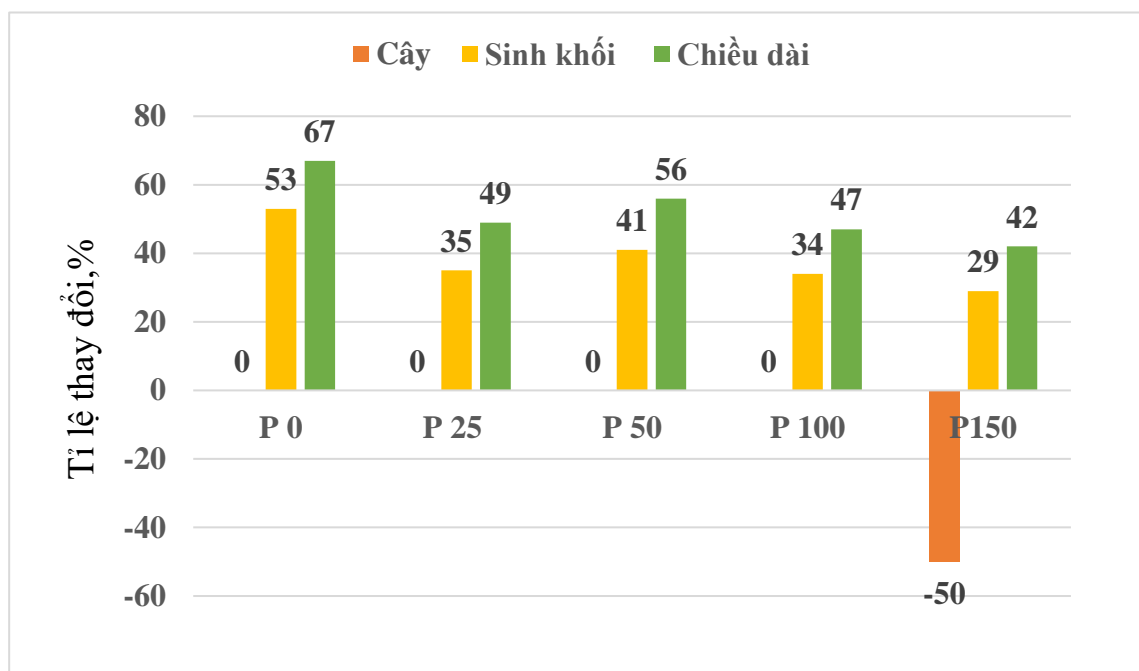
Bảng 3.8. Sự thay đổi về sinh khối của cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây

PO_4^{3-} , mg/L	Cây thí nghiệm	Khối lượng trước TN, m_t (gam)	Khối lượng sau TN, m_s (gam)	Tỷ lệ tăng, %m (%)
0	Cây 1	51,6	82,5	60
	Cây 2	61,0	89,2	46
	Trung bình			53
25	Cây 1	54,5	73,3	34
	Cây 2	49,8	67,3	35
	Trung bình			35
50	Cây 1	56,7	79,4	40
	Cây 2	58,9	83,7	42
	Trung bình			41
100	Cây 1	72,7	99,4	37
	Cây 2	81,7	107,3	31
	Trung bình			34
150	Cây 1	63,8	84,4	32
	Cây 2	59,2	75,0	27
	Trung bình			29

Bảng 3.9. Sự thay đổi về chiều dài của cây Khoai nước theo các giá trị PO_4^{3-} của dung dịch nuôi cây

PO_4^{3-} , mg/L	Cây thí nghiệm	Chiều dài cây trước TN, L_t (cm)	Chiều dài cây sau TN, L_s (gam)	Tỷ lệ tăng, %L (%)
0	Cây 1	23	39	70
	Cây 2	26	43	65

	Trung bình			67
25	Cây 1	29	47	62
	Cây 2	28	38	36
	Trung bình			49
50	Cây 1	28	45	61
	Cây 2	31	47	52
	Trung bình			56
100	Cây 1	29	43	48
	Cây 2	33	48	45
	Trung bình			47
150	Cây 1	34	46	35
	Cây 2	25	37	48
	Trung bình			42



Hình 3.4. Ảnh hưởng của PO_4^{3-} tới sự sinh trưởng của cây Khoai nước

Hình 3.4. cho thấy đã cho thấy được sự thay đổi tỷ lệ (%) của ba chỉ tiêu sinh trưởng gồm số cây sống, sinh khối và chiều dài thân của cây Khoai nước (*Colocasia esculenta*) dưới ảnh hưởng của các nồng độ phosphate (PO_4^{3-}) khác

nhau (từ 0 đến 150 mg/L), từ đó cho phép đánh giá chi tiết khả năng chống chịu của loài cây này trong môi trường chứa phosphate – một thành phần phổ biến trong nước thải sinh hoạt và nước thải nông nghiệp.

Tại nồng độ P0 (không bổ sung PO_4^{3-}), kết quả cho thấy cây khoai nước sinh trưởng tốt, mặc dù số lượng cây sống không thay đổi so với ban đầu (0%), nhưng sinh khối tăng 53% và chiều dài thân đạt mức tăng cao nhất trong toàn bộ thí nghiệm, với giá trị 67%. Điều này chứng minh rằng cây có thể phát triển mạnh ngay cả trong điều kiện thiếu phosphate bên ngoài, nhờ khả năng sử dụng các nguồn dinh dưỡng nền có sẵn trong giá thể hoặc hấp thu phosphate ở mức rất thấp vốn có trong nước. Đây cũng là đặc điểm sinh lý quan trọng của những loài thực vật bán thủy sinh như *Colocasia esculenta*, giúp chúng thích nghi tốt trong các môi trường đất ngập nước hoặc nghèo dưỡng chất.

Khi bổ sung phosphate ở các mức nồng độ thấp đến trung bình (P25, P50 và P100), cây vẫn duy trì khả năng sinh trưởng ổn định. Cụ thể, sinh khối tăng từ 34% đến 41%, trong khi chiều dài thân tăng từ 47% đến 56%. Các giá trị này thấp hơn so với P0, song vẫn ở mức khá cao và đồng đều, cho thấy phosphate ở những nồng độ này không gây ảnh hưởng tiêu cực đến cây, thậm chí còn có thể góp phần bổ sung dinh dưỡng giúp cây phát triển về mặt hình thái. Đáng chú ý, số lượng cây sống trong các nồng độ từ P25 đến P100 vẫn không giảm, điều này khẳng định rằng *Colocasia esculenta* có khả năng chống chịu tốt với PO_4^{3-} trong khoảng nồng độ này. Không xảy ra hiện tượng chết cây hay ức chế sinh trưởng rõ rệt, từ đó cho thấy loài này có tiềm năng sử dụng trong môi trường nước thải có hàm lượng phosphate vừa phải.

Tuy nhiên, tại nồng độ phosphate cao nhất trong thí nghiệm (P150), khả năng chịu đựng của cây bắt đầu bị phá vỡ. Số lượng cây sống giảm mạnh tới 50%, phản ánh rõ ràng ảnh hưởng gây độc của PO_4^{3-} ở mức độ cao. Mặc dù sinh khối vẫn tăng 29% và chiều dài thân tăng 42%, song mức tăng này thấp hơn đáng kể so với các nồng độ trước đó. Điều này có thể được lý giải là do chỉ còn lại một phần cây sống sót phát triển, do ít bị cạnh tranh về không gian và dinh dưỡng, chứ không phải toàn bộ quần thể cây sinh trưởng tốt. Hơn nữa, sự sụt giảm mạnh về số lượng cây sống cho thấy sự tích lũy phosphate ở mức cao có thể dẫn đến rối loạn sinh lý bên trong tế bào, gây cản trở các quá trình trao đổi

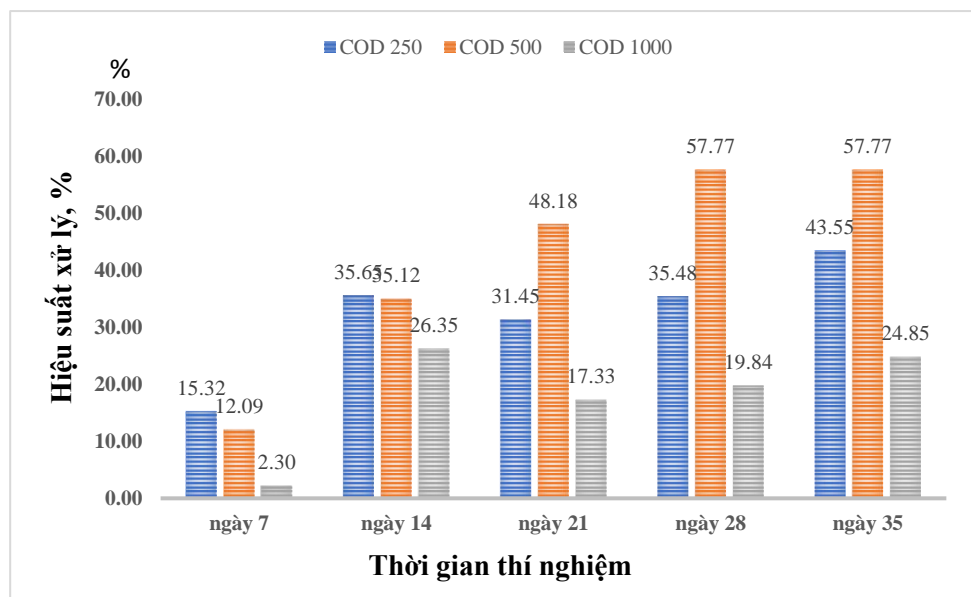
chất, ảnh hưởng đến cấu trúc mô thực vật, từ đó làm giảm khả năng hấp thu nước và khoáng chất.

Từ toàn bộ dữ liệu, có thể khẳng định rằng cây khoai nước có khả năng chịu đựng tốt với PO_4^{3-} trong giới hạn từ 0 đến 100 mg/L mà không ghi nhận ảnh hưởng tiêu cực đáng kể nào đến số cây sống và các chỉ số sinh trưởng chính. Khi vượt qua ngưỡng này, cụ thể là ở mức 150 mg/L, phosphate bắt đầu phát huy tác động độc hại, gây chết cây và suy giảm hiệu suất sinh trưởng. Kết quả này có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong việc thiết kế và vận hành các hệ thống đất ngập nước nhân tạo sử dụng cây khoai nước để xử lý nước thải chứa phosphate. Việc duy trì nồng độ PO_4^{3-} trong giới hạn an toàn không những giúp đảm bảo sức sống và hiệu suất sinh trưởng của cây, mà còn nâng cao hiệu quả xử lý dinh dưỡng trong hệ sinh thái đất ngập nước. Đồng thời, phát hiện này cũng đóng góp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn loài thực vật phù hợp trong điều kiện ô nhiễm dinh dưỡng cao, hỗ trợ định hướng phát triển các giải pháp sinh học bền vững trong quản lý và xử lý môi trường nước.

3.2. Đánh giá hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm của cây Khoai nước trong dung dịch nước thải nhân tạo

3.2.1. Khả năng xử lý COD

Kết quả thí nghiệm đánh giá hiệu quả xử lý COD của cây Khoai nước ở giá trị COD trong khoảng 250-1000 mg/L được thể hiện trên hình 3.5.



Hình 3.5. Hiệu quả xử lý COD của cây Khoai nước ở giá trị COD tối ưu

Hình 3.5 cho thấy hiệu suất xử lý COD được khảo sát theo thời gian (từ ngày 7 đến ngày 35) với ba nồng độ đầu vào khác nhau: COD 250 mg/L, COD 500 mg/L và COD 1000 mg/L. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý COD có sự khác biệt rõ rệt giữa các nồng độ, phản ánh ảnh hưởng trực tiếp của nồng độ cơ chất đến hoạt động của hệ thống xử lý. Tại nồng độ COD 250 mg/L, hiệu suất xử lý tăng dần từ 15,32% (ngày 7) lên đến 43,55% (ngày 35), cho thấy khả năng xử lý ổn định và hiệu quả ở mức cơ chất thấp. Tuy nhiên, nồng độ COD 500 mg/L cho thấy hiệu suất vượt trội hơn hẳn, bắt đầu từ 12,09% vào ngày 7 và tăng nhanh lên 57,77% vào ngày 28, giữ ổn định đến ngày 35. Đây là mức hiệu suất cao nhất trong cả ba nồng độ khảo sát, cho thấy rằng nồng độ trung bình (500 mg/L) tạo điều kiện thuận lợi nhất cho vi sinh vật phân hủy chất hữu cơ mà không bị ức chế. Ngược lại, ở nồng độ COD 1000 mg/L, hiệu suất xử lý thấp nhất, dao động từ 2,30% đến 26,35%, và không có xu hướng tăng ổn định. Nồng độ cơ chất quá cao có thể gây ra hiện tượng quá tải hữu cơ hoặc độc tính đối với vi sinh vật, dẫn đến hiệu suất xử lý thấp và không ổn định.

Nước thải nhân tạo được tạo ra nhằm mô phỏng thành phần và tính chất của nước thải sinh hoạt thực tế, với mục đích phục vụ cho các thí nghiệm xử lý trong điều kiện kiểm soát. Trong quá trình này, tỷ lệ các nguyên tố dinh dưỡng chính là C/N/P (Carbon/Nitơ/Phốt pho) được thiết lập theo các giá trị mong muốn và được điều chỉnh một cách độc lập để đánh giá ảnh hưởng của từng yếu tố đến hiệu quả xử lý. Dựa trên tỷ lệ C/N/P đã chọn và nồng độ mục tiêu, các loại hóa chất tương ứng như glucose (hoặc sodium acetate) cho nguồn carbon, ammonium chloride (NH_4Cl) cho nguồn nitơ và potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) cho nguồn phốt pho sẽ được sử dụng. Khối lượng các hóa chất này được tính toán dựa vào nồng độ mong muốn (mg/L hoặc mmol/L), thể tích nước thải cần tạo ra và khối lượng mol tương ứng của từng chất, đảm bảo tạo ra nguồn nước thải nhân tạo có thành phần ổn định, phù hợp cho nghiên cứu xử lý sinh học.

Ở nồng độ COD 1000 mg/L, cây *Colocasia esculenta* có sự sinh trưởng gần như tốt nhất do môi trường nước thải giàu chất hữu cơ dễ phân hủy, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của hệ vi sinh vật và cung cấp nhiều dinh dưỡng cho cây. Các chất hữu cơ, nitơ và phospho trong nước thải được cây hấp thụ và sử dụng làm nguồn dinh dưỡng, thúc đẩy quá trình phát triển của rễ, thân và lá.

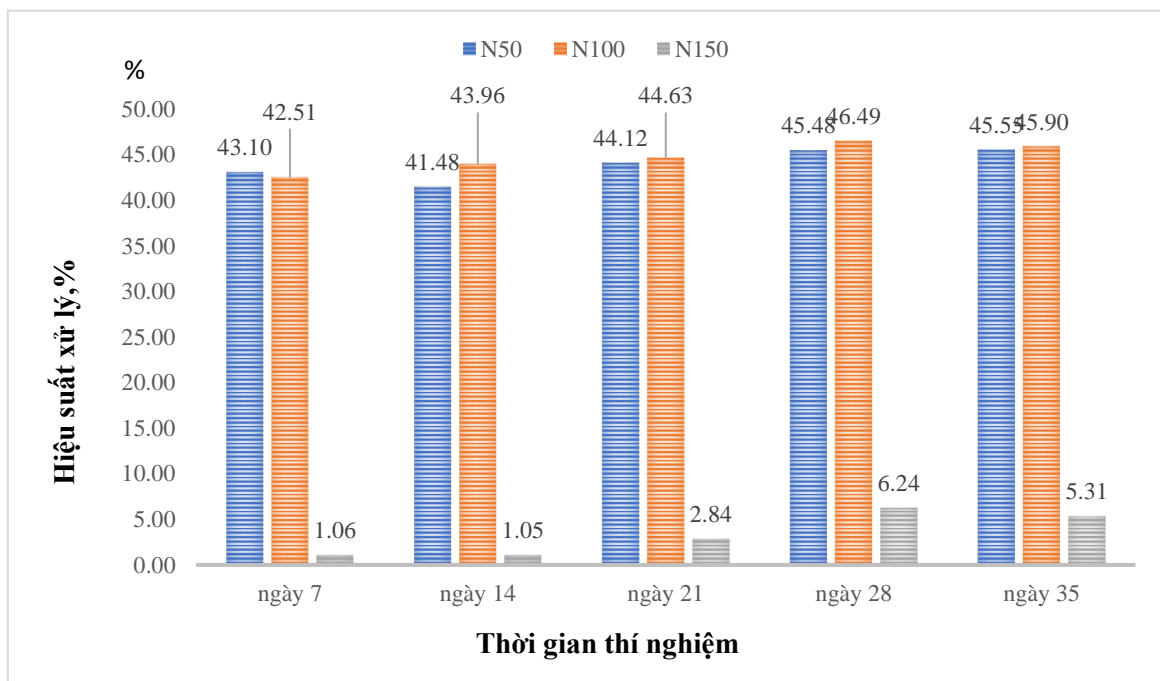
Tuy nhiên, hiệu suất xử lý COD lại thấp nhất trong điều kiện này. Nguyên nhân là do nồng độ COD đầu vào quá cao, vượt quá khả năng xử lý của hệ vi sinh vật và cây trong một đơn vị thời gian, dẫn đến tốc độ xử lý bị bão hòa. Mặc dù tổng lượng COD bị loại bỏ có thể lớn về giá trị tuyệt đối, nhưng tỷ lệ loại bỏ so với đầu vào lại thấp, khiến hiệu suất xử lý tính theo phần trăm giảm đáng kể. Ngoài ra, nồng độ hữu cơ cao cũng có thể gây ức chế nhẹ đến hoạt động của vi sinh vật, ảnh hưởng đến quá trình phân hủy chất hữu cơ. Như vậy, sinh trưởng tốt của cây không đồng nghĩa với hiệu suất xử lý COD cao, bởi cơ chế xử lý chủ yếu vẫn phụ thuộc vào khả năng hoạt động của hệ vi sinh vật và điều kiện môi trường phù hợp.

So sánh với các nghiên cứu trước, kết quả này phù hợp với kết luận của Wu et al. (2020) [34], khi nhóm tác giả nhận thấy hiệu suất xử lý COD trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo đạt hiệu quả tối ưu trong khoảng nồng độ từ 400–600 mg/L, vượt quá mức này dẫn đến suy giảm hiệu suất do hiện tượng ức chế sinh học. Tương tự, nghiên cứu của Kadlec và Wallace (2009) [35] cũng cho rằng việc duy trì tải lượng hữu cơ ở mức vừa phải giúp hệ vi sinh trong đất ngập nước nhân tạo phát triển ổn định và duy trì hiệu suất xử lý lâu dài.

3.2.2. Khả năng xử lý NH_4^+

Kết quả thí nghiệm đánh giá hiệu quả xử lý COD của cây Khoai nước ở các giá trị nồng độ NH_4^+ trong khoảng 50-150 mg/L được thể hiện trên hình 3.6.

Trong nghiên cứu này, hiệu suất xử lý amoni (NH_4^+) được khảo sát tại ba nồng độ đầu vào khác nhau: N50, N100 và N150 mg/L, trong khoảng thời gian 35 ngày. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý cao nhất đạt được ở các nồng độ thấp và trung bình, trong khi ở nồng độ cao thì hiệu suất bị suy giảm đáng kể. Cụ thể, tại nồng độ N50 mg/L, hiệu suất xử lý dao động ổn định từ 43,10% đến 45,55%, trong khi N100 mg/L cũng đạt hiệu quả tương đương, dao động trong khoảng 42,51% đến 45,90%. Hai mức tải này thể hiện khả năng xử lý tốt và ổn định qua thời gian. Ngược lại, ở nồng độ N150 mg/L, hiệu suất xử lý rất thấp, khởi điểm chỉ 1,06% vào ngày 7 và đạt tối đa 6,24% vào ngày 28, sau đó giảm nhẹ còn 5,31% vào ngày 35. Hiệu suất này cho thấy TVTS bị ảnh hưởng tiêu cực khi tiếp nhận tải lượng NH_4^+ quá cao, có khả năng gây ức chế hoạt động của các vi sinh vật tham gia vào quá trình nitrat hóa.



Hình 3.6. Hiệu quả xử lý NH_4^+ của cây Khoai nước trong khoảng giá trị nồng độ NH_4^+ 50-150 mg/L

Những kết quả thu được là hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đó. Zhang và cộng sự (2014) [36] cho rằng hiệu suất xử lý amoni trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo đạt cao nhất trong khoảng nồng độ từ 40–100 mg/L. Vượt quá ngưỡng này, hiệu quả xử lý giảm đáng kể do sự tích lũy của các sản phẩm trung gian độc hại như NO_2^- , ảnh hưởng tiêu cực đến quần thể vi sinh vật. Tương tự, Vymazal (2007) [20] cũng ghi nhận rằng quá trình nitrat hóa thường bị ức chế khi tải lượng amoni vượt quá khả năng xử lý sinh học của hệ thống, đặc biệt là trong giai đoạn đầu khi hệ vi sinh chưa phát triển ổn định.

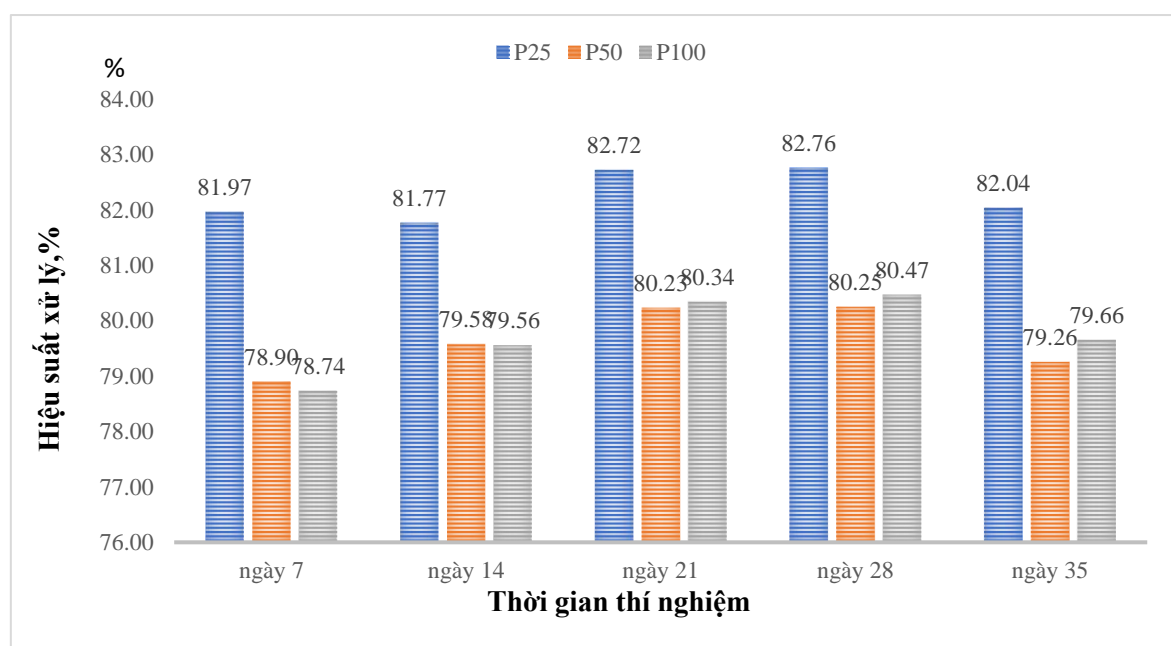
Ở nồng độ nitơ (N) 150 mg/L, sự sinh trưởng của cây *Colocasia esculenta* gần như tốt nhất do lượng nitơ dồi dào đóng vai trò như một nguồn dinh dưỡng thiết yếu, đặc biệt cho quá trình tổng hợp protein, enzym và diệp lục – những yếu tố quan trọng thúc đẩy quá trình phát triển và quang hợp. Tuy nhiên, hiệu suất xử lý nitơ trong trường hợp này lại thấp nhất. Nguyên nhân là do nồng độ nitơ đầu vào quá cao, vượt quá khả năng hấp thụ của cây và giới hạn chuyển hóa sinh học của hệ vi sinh vật trong đất ngập nước nhân tạo. Khi lượng nitơ đưa vào vượt mức mà hệ thống có thể xử lý trong một đơn vị thời gian, tỷ lệ nitơ bị

loại bỏ trên tổng lượng đầu vào giảm, dẫn đến hiệu suất xử lý tính theo phần trăm thấp. Ngoài ra, nồng độ nitơ cao (đặc biệt ở dạng amoni hoặc nitrat) cũng có thể gây ức chế tạm thời đến hoạt động của một số vi sinh vật tham gia quá trình nitrat hóa – khử nitrat, khiến quá trình chuyển hóa nitơ kém hiệu quả hơn. Do đó, mặc dù cây sinh trưởng tốt trong điều kiện dinh dưỡng dồi dào, nhưng hiệu suất xử lý tổng thể của hệ thống lại không cao vì vượt quá khả năng xử lý tối ưu của hệ sinh học.

Từ các phân tích trên, có thể khẳng định rằng nồng độ đầu vào NH_4^+ tối ưu cho hiệu suất xử lý cao và bền vững nằm trong khoảng 50–100 mg/L, trong đó mức N100 mg/L có phần hiệu quả hơn do duy trì được hiệu suất cao ổn định suốt thời gian vận hành. Việc tăng nồng độ lên 150 mg/L gây ra hiện tượng quá tải sinh học, làm giảm hiệu quả và tiềm ẩn nguy cơ tích tụ các hợp chất độc hại trong nước thải.

3.2.3. Khả năng xử lý PO_4^{3-}

Hiệu suất xử lý phosphate (PO_4^{3-}) được phân tích theo ba giá trị nồng độ đầu vào là 25, 50 và 100 mg/L, theo dõi trong thời gian 35 ngày. Kết quả thí nghiệm thể hiện ở Hình 3.7.



Hình 3.7. Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} của Khoai nước trong khoảng giá trị nồng độ PO_4^{3-} 25-100 mg/L

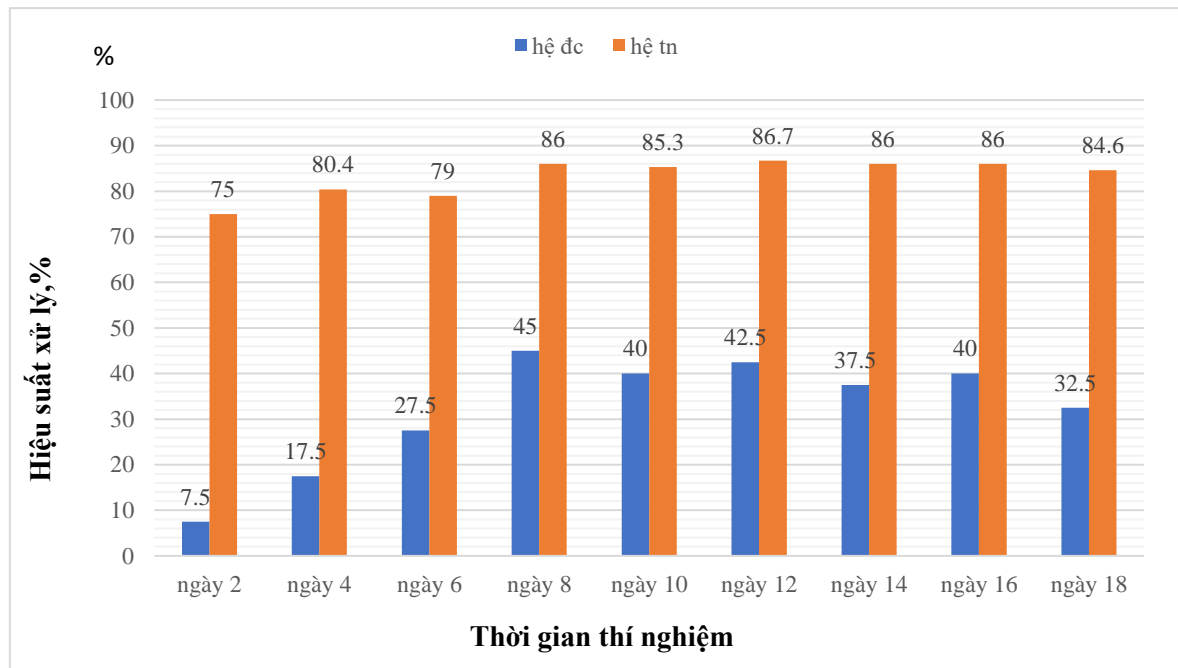
Kết quả cho thấy sự chênh lệch không quá lớn giữa các mức nồng độ, tuy nhiên vẫn có thể nhận diện mức tối ưu thông qua xu hướng ổn định và hiệu quả cao nhất. Ở nồng độ P25 mg/L, hệ thống xử lý đạt hiệu suất cao và ổn định nhất, với giá trị dao động nhẹ từ 81,77% đến 82,76% trong suốt thời gian nghiên cứu. Đây là mức hiệu suất cao nhất trong ba nồng độ, cho thấy khả năng hấp phụ và kết tủa phosphate diễn ra hiệu quả nhất ở tải lượng thấp. Trong khi đó, nồng độ P50 và P100 mg/L cũng cho kết quả khả quan, dao động quanh ngưỡng 78,74%–80,47%. Sự khác biệt giữa hai mức này là không đáng kể, nhưng đều thấp hơn so với P25.

Hiện tượng giảm nhẹ hiệu suất tại các nồng độ cao hơn có thể được lý giải bằng cơ chế bão hòa hấp phụ của vật liệu nền trong đất ngập nước, hoặc sự giảm hiệu quả của quá trình kết tủa phosphate khi nồng độ vượt ngưỡng tối ưu. Theo nghiên cứu của Arias et al. (2001) [37], khả năng loại bỏ PO_4^{3-} phụ thuộc nhiều vào loại vật liệu nền (substrate) và khả năng duy trì pH và ion kim loại (như Ca^{2+} , Fe^{3+}) trong vùng hoạt động. Khi tải lượng phosphate vượt quá khả năng phản ứng của nền, hiệu suất xử lý sẽ giảm.

Các kết quả của nghiên cứu phù hợp với xu hướng ghi nhận bởi Vymazal (2007) [20], khi cho rằng hiệu suất loại bỏ PO_4^{3-} trong hệ thống đất ngập nước thường đạt tối đa ở nồng độ thấp, do các cơ chế hấp phụ, kết tủa và đồng kết tủa chiếm ưu thế, trong khi quá trình sinh học chỉ đóng vai trò thứ yếu và thường không duy trì ổn định ở tải cao.

3.3. Đánh giá hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm của cây Khoai nước trong mẫu nước thải thực tế

3.3.1. Khả năng xử lý COD



Hình 3.8. Hiệu suất xử lý COD trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước

Hiệu suất xử lý COD trong mô hình thực tế được thể hiện rõ qua Hình 3.8 cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa hai hệ thống: hệ thống đối chứng không có trồng thực vật (hệ ĐC) và hệ thống thực nghiệm có trồng thực vật (hệ TN). Trong suốt quá trình theo dõi từ ngày 2 đến ngày 18, hệ TN luôn duy trì hiệu suất loại bỏ COD ở mức cao và ổn định, dao động từ 75% đến 86,7%, trong khi hệ ĐC chỉ đạt mức thấp hơn đáng kể, khởi đầu với 7,5% vào ngày 2, đạt đỉnh 45% vào ngày 8, rồi giảm dần còn 32,5% vào ngày 18. Điều này phản ánh hiệu quả vượt trội của hệ thống có sử dụng thực vật thủy sinh, cụ thể trong nghiên cứu này là *Colocasia esculenta*, trong việc thúc đẩy quá trình phân hủy chất hữu cơ.

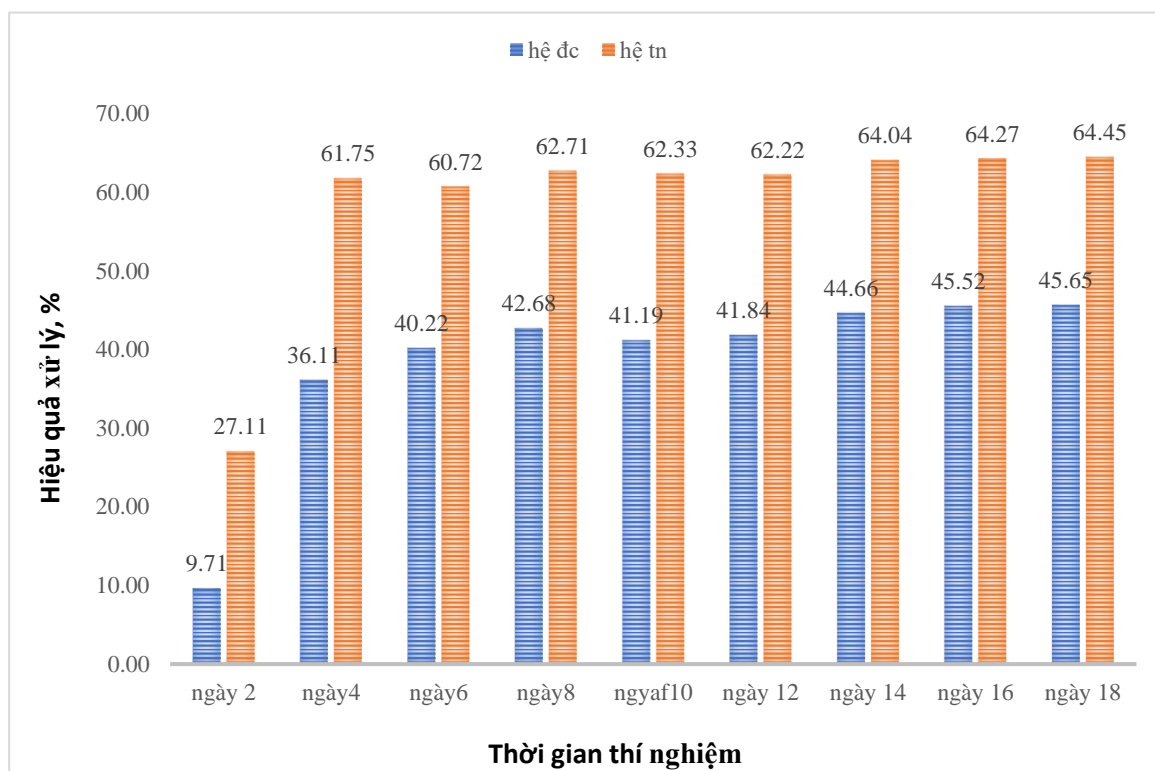
Hiệu suất cao và ổn định của hệ TN cho thấy rằng việc bổ sung thực vật không chỉ đóng vai trò thụ động như một phần của cảnh quan sinh học, mà còn có chức năng tích cực trong xử lý nước thải. Theo Kadlec và Wallace (2009) [35], rễ của thực vật có khả năng giải phóng oxy vào vùng rễ, tạo điều kiện cho vi sinh vật hiếu khí sinh trưởng, từ đó thúc đẩy quá trình phân hủy COD. Ngoài

ra, rễ và thân cây còn cung cấp bề mặt cho vi sinh vật bám dính, từ đó tăng cường mật độ sinh khối và khả năng xử lý. Tương tự, nghiên cứu của Wu et al. (2014) [38] cũng khẳng định rằng thực vật thủy sinh là yếu tố then chốt giúp cải thiện hiệu suất xử lý các hợp chất hữu cơ trong đất ngập nước, đặc biệt là trong giai đoạn đầu của quá trình khởi động hệ thống. So với các nghiên cứu trước, kết quả trong mô hình thực tế này là hoàn toàn phù hợp. Zhang et al. (2014) [36] đã tổng hợp dữ liệu từ nhiều mô hình đất ngập nước tại các nước đang phát triển và chỉ ra rằng các hệ thống có trồng thực vật thường có hiệu suất xử lý COD cao hơn từ 20–40% so với hệ thống không có thực vật. Trong trường hợp hiện tại, mức chênh lệch này còn cao hơn, dao động từ 40–60% tùy thời điểm, cho thấy khả năng xử lý ưu việt của mô hình đã đề xuất, đặc biệt khi được vận hành trong điều kiện thực tế với nước thải chưa qua xử lý sơ bộ.

Trong hệ đối chứng không trồng thực vật của đất ngập nước nhân tạo, mặc dù không có sự hiện diện của cây xanh để hỗ trợ xử lý nước thải, vẫn có thể đạt hiệu suất loại bỏ COD từ 7,5–45% nhờ sự kết hợp của nhiều cơ chế. Trước hết, vi sinh vật hiếu khí và kỵ khí đóng vai trò quan trọng trong việc phân hủy các hợp chất hữu cơ hòa tan và không hòa tan. Ngoài ra, các quá trình vật lý như lắng và lọc qua lớp vật liệu (sỏi, cát...) giúp loại bỏ các chất hữu cơ dạng hạt, góp phần giảm nồng độ COD. Bên cạnh đó, bề mặt của vật liệu nền có khả năng hấp phụ các chất hữu cơ hòa tan, làm giảm COD trong nước. Một yếu tố quan trọng khác là sự hình thành màng sinh học (biofilm) trên bề mặt giá thể, nơi vi sinh vật cư trú và hoạt động mạnh mẽ trong quá trình xử lý. Cuối cùng, các điều kiện môi trường như ánh sáng và nhiệt độ có thể gián tiếp thúc đẩy hoạt động sinh học và các phản ứng oxy hóa, góp phần nâng cao hiệu quả xử lý COD ngay cả khi không có thực vật.

Như vậy, hiệu quả xử lý COD trong hệ thống đất ngập nước trồng *Colocasia esculenta* không chỉ chứng minh tiềm năng ứng dụng trong thực tế mà còn phù hợp với các cơ sở lý thuyết và thực nghiệm quốc tế, tạo tiền đề quan trọng cho việc mở rộng mô hình này trong các vùng nông nghiệp hoặc ven đô có nhu cầu xử lý nước thải chi phí thấp.

3.3.2. Khả năng xử lý NH_4^+



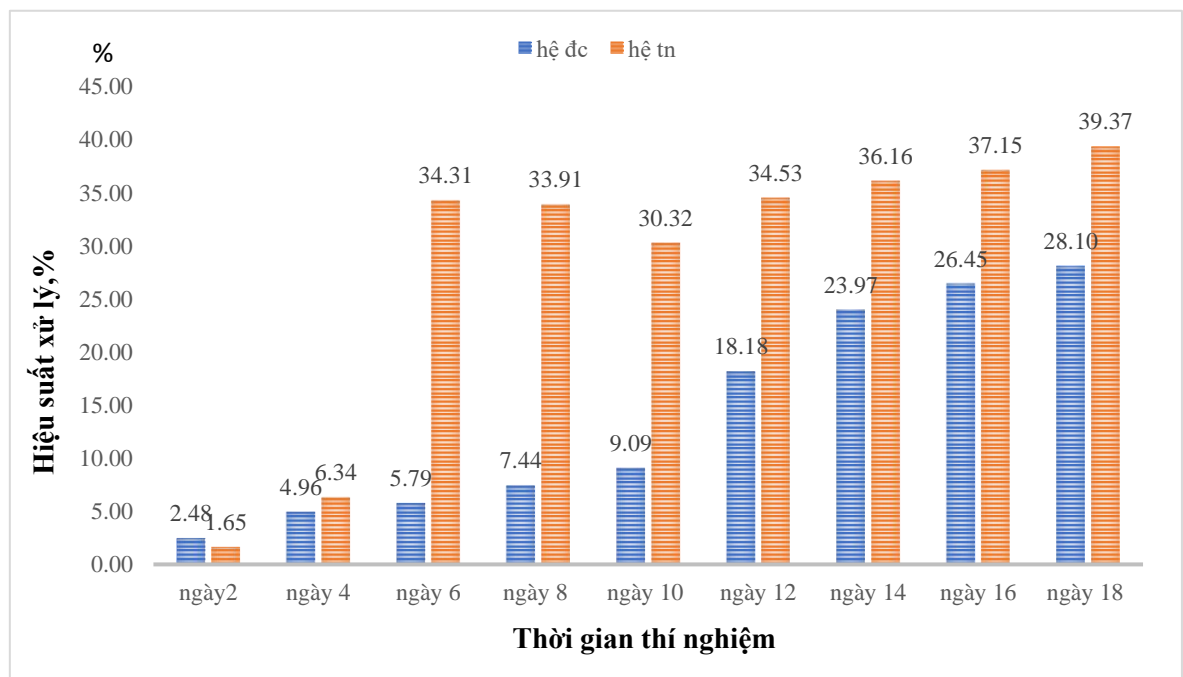
Hình 3.9. Hiệu suất xử lý NH_4^+ trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước

Kết quả phân tích hiệu suất xử lý NH_4^+ (amoni) trong mô hình thực tế cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa hai hệ thống: hệ thực nghiệm có trồng thực vật (hệ tn) và hệ không có thực vật (hệ đc). Trong suốt 18 ngày khảo sát, hệ thí nghiệm đặt trong bình có chứa vật liệu đạt hiệu suất cao hơn hệ đối chứng, chứng minh khả năng loại bỏ amoni ưu việt hơn trong điều kiện tự nhiên sẵn có. Cụ thể, ngay từ ngày thứ 2, hệ thí nghiệm đã loại bỏ được 27,11% NH_4^+ , trong khi hệ đối chứng chỉ đạt 9,71%. Từ ngày 4 trở đi, hệ thí nghiệm duy trì hiệu suất ổn định quanh mức 60–64%, trong khi hệ đối chứng tăng chậm hơn, dao động trong khoảng 36,1% đến 45,65% vào ngày 18. Mức chênh lệch hiệu suất trung bình giữa hai hệ là khoảng 18–22%, cho thấy vai trò quan trọng của các yếu tố tự nhiên như vi sinh vật bản địa, hệ rễ thực vật tự phát và cấu trúc nền đa dạng trong việc nâng cao hiệu quả xử lý. Kết quả này tương đồng với những phát hiện của Wu et al. (2014) [38], khi cho rằng hệ thống đất ngập nước tự nhiên thường có quần thể vi sinh vật phát triển ổn định và đa dạng hơn, từ đó hỗ trợ mạnh mẽ cho quá trình nitrat hóa và amoni hóa. Ngoài ra, theo nghiên cứu của Kadlec &

Wallace (2009) [35], hiệu suất xử lý NH_4^+ trong đất ngập nước phụ thuộc nhiều vào đặc tính nền, khả năng thông khí và mật độ thực vật – những yếu tố mà hệ thống tự nhiên thường vượt trội so với các thiết kế nhân tạo hoặc chưa hoàn thiện.

Mặc dù hệ đối chứng, cho thấy tiềm năng cải thiện dần theo thời gian, nhưng để đạt hiệu quả tương đương với hệ thí nghiệm, cần có thêm các yếu tố hỗ trợ như bổ sung vật liệu nền có khả năng trao đổi ion cao, tối ưu hóa cây trồng, hoặc cải tiến điều kiện oxy hóa trong vùng rễ. Từ kết quả này, có thể kết luận rằng hệ thống đất ngập nước tự nhiên hiện là mô hình xử lý NH_4^+ hiệu quả hơn trong điều kiện thực địa, đặc biệt là trong giai đoạn đầu vận hành.

3.3.3. Khả năng xử lý PO_4^{3-}



Hình 3.10. Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} trong mẫu nước thải sinh hoạt thực tế của cây Khoai nước

Dữ liệu khảo sát hiệu suất xử lý phosphate (PO_4^{3-}) trong mô hình thực tế trong 18 ngày cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa hệ thực nghiệm có trồng thực vật (hệ tn) và hệ không có thực vật (hệ dc). Nhìn chung, hệ thí nghiệm liên tục đạt hiệu suất cao hơn rõ rệt so với hệ đối chứng tại tất cả các thời điểm quan trắc, phản ánh ưu thế tự nhiên của các hệ sinh thái ổn định trong việc loại bỏ phosphat. Cụ thể, vào ngày thứ 2, hiệu suất loại bỏ PO_4^{3-} của hệ thí nghiệm chỉ đạt 1,65%, tuy nhiên đã nhanh chóng tăng mạnh lên trên 30% từ ngày thứ 6 trở

đi, đạt mức cao nhất là 39,37% vào ngày 18. Trong khi đó, hệ đôi chứng có hiệu suất thấp hơn đáng kể, chỉ đạt 2,48% vào ngày 2 và tăng dần lên 28,10% ở cuối chu kỳ. Tuy cả hai hệ đều cho thấy xu hướng cải thiện hiệu suất theo thời gian, nhưng tốc độ và mức độ cải thiện của hệ thí nghiệm vượt trội hơn, đặc biệt là trong giai đoạn giữa chu kỳ (ngày 6–12) khi hiệu suất dao động ổn định ở mức >30%.

Sự khác biệt này có thể được giải thích bởi tính chất tự nhiên của hệ thí nghiệm, vốn có nền chứa vật liệu có yếu tố đóng vai trò quan trọng trong quá trình kết tủa hoặc hấp phụ phosphate. Theo nghiên cứu của Arias et al. (2001) [37], khả năng loại bỏ PO_4^{3-} phụ thuộc đáng kể vào thành phần hóa học của vật liệu nền, đặc biệt là sự hiện diện của các ion kim loại hoạt động. Ngoài ra, theo Tanner & Kadlec (2003) [39], hệ sinh thái tự nhiên thường có vi sinh vật và thực vật phát triển tốt hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc đồng kết tủa và lưu giữ phosphate trong hệ thống.

Từ kết quả phân tích, có thể kết luận rằng hệ thống đất ngập nước tự nhiên hiện đang cho hiệu suất xử lý PO_4^{3-} vượt trội trong điều kiện thực tế, đặc biệt ở giai đoạn giữa và cuối chu kỳ xử lý. Đây là căn cứ quan trọng để cân nhắc ứng dụng hoặc mô phỏng các điều kiện tự nhiên trong thiết kế hệ thống xử lý cải tiến trong tương lai.

KẾT LUẬN CHƯƠNG III

Thể tích bể là 50*30*50 cm, tương đương với 75 lit thể tích toàn phần. Tuy nhiên, do lớp vật liệu nền như sỏi, cát, đá vôi đã chiếm 1 phần thể tích, thể tích nước hữu dụng trong bể chỉ được khoảng 25 lít. Với lưu lượng đầu vào là 24 lít nước thải thật trong bể, bể gần như được làm đầy hoàn toàn trong cả quá trình đặt thí nghiệm. thời gian lưu tối ưu để xử lý hiệu quả 3 thông số chính gồm COD, Nito, Photpho thường dao động trong khoảng 4-6 ngày cho COD, 6-8 ngày cho Nito, và 6-10 ngày cho Photpho. Như vậy, thời gian lưu để cả 3 thông số cùng xử lý tốt dao động trong khoảng 4 đến 10 ngày.

Hàm lượng C – N – P ở nước thải sau xử lý lần lượt là 26,6 mg/L, 3,22 mg/L và 5,5 mg/L. Để đánh giá mức độ an toàn của nước thải này khi xả ra môi trường, các giá trị trên được so sánh với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt – QCVN 14:2008/BTNMT, cụ thể là cột B, áp dụng cho các nguồn tiếp nhận không dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt như sông, kênh, ao hồ thông thường. Theo quy chuẩn, giới hạn tối đa cho COD (chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học) là 100 mg/L, tổng nitơ là 30 mg/L và tổng photpho là 6 mg/L.

Kết quả cho thấy hàm lượng COD là 26,6 mg/L, thấp hơn so với ngưỡng cho phép, chứng tỏ hiệu suất xử lý chất hữu cơ của hệ thống là khá tốt. Tương tự, hàm lượng tổng nitơ sau xử lý chỉ còn 3,22 mg/L, đạt chuẩn và phản ánh khả năng khử nitơ hiệu quả. Tuy nhiên, hàm lượng tổng photpho đạt 5,5 mg/L – tuy vẫn nằm trong giới hạn cho phép của cột B (6 mg/L), nhưng đã tiến sát ngưỡng, cho thấy hiệu quả loại bỏ photpho còn hạn chế so với hai thông số còn lại. Điều này có thể trở thành yếu tố rủi ro nếu điều kiện vận hành thay đổi hoặc khi lưu lượng và tải lượng photpho đầu vào tăng.

Tóm lại, nước thải sau xử lý đáp ứng các yêu cầu xả thải theo cột B của QCVN 14:2008/BTNMT, nghĩa là có thể xả ra các nguồn tiếp nhận thông thường mà không gây nguy cơ ô nhiễm nghiêm trọng. Tuy nhiên, để đảm bảo tính ổn định lâu dài, đặc biệt nếu có kế hoạch nâng cấp hệ thống nhằm đạt tiêu chuẩn cao hơn như cột A, cần xem xét cải thiện quá trình loại bỏ photpho – thông qua các giải pháp như tăng cường xử lý sinh học loại bỏ P, sử dụng chất keo tụ (nhôm, sắt) để kết tủa P, hoặc kết hợp các phương pháp sinh học và hóa

lý trong giai đoạn xử lý cuối. Điều này sẽ góp phần nâng cao hiệu quả bảo vệ môi trường và tính bền vững của hệ thống xử lý nước thải.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Thông qua quá trình thực hiện đề tài "**Nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng cây khoai nước (*Colocasia esculenta*) trong xử lý nước thải sinh hoạt**", một số kết luận quan trọng đã được rút ra:

Về khả năng chống chịu: Cây *Colocasia esculenta* có thể sinh trưởng trong điều kiện nước thải sinh hoạt với tải lượng ô nhiễm trung bình mà không có biểu hiện suy thoái rõ rệt về sinh lý. Điều này cho thấy loài cây này có khả năng thích nghi và chống chịu tốt với môi trường nước thải.

Về hiệu quả xử lý: Kết quả thí nghiệm cho thấy *Colocasia esculenta* góp phần đáng kể vào việc loại bỏ các chỉ tiêu ô nhiễm như COD, amoni (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}). Hiệu suất xử lý trung bình của COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} lần lượt đạt 57,77%; 46,49%; 82,04%, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt tự nhiên.

Về tiềm năng ứng dụng: Việc sử dụng *Colocasia esculenta* trong mô hình đất ngập nước nhân tạo là một hướng đi khả thi nhờ chi phí đầu tư thấp, dễ thực hiện, ít cần vận hành kỹ thuật cao, đồng thời phù hợp với điều kiện nông thôn và các khu vực chưa có hệ thống xử lý nước thải tập trung.

Kết quả đạt được cho thấy tiềm năng ứng dụng thực tế của *Colocasia esculenta* trong các hệ thống xử lý nước thải thân thiện với môi trường, góp phần hướng tới phát triển bền vững và bảo vệ tài nguyên nước.

KIẾN NGHỊ

Dựa trên các kết quả và nhận định từ đề tài, em xin đề xuất một số kiến nghị như sau:

Cần tiếp tục thực hiện các nghiên cứu ở quy mô lớn hơn, thời gian dài hơn và trong các điều kiện nước thải khác nhau để đánh giá toàn diện hơn về hiệu quả xử lý cũng như khả năng thích nghi lâu dài của cây *Colocasia esculenta*.

Đề xuất triển khai mô hình đất ngập nước có trồng *Colocasia esculenta* tại các khu dân cư nông thôn, trường học hoặc cơ sở nhỏ chưa có hệ thống xử

lý nước thải, nhằm kiểm nghiệm khả năng ứng dụng thực tiễn và chi phí vận hành.

Kiến nghị các cơ quan chức năng nghiên cứu và lồng ghép mô hình đất ngập nước sử dụng thực vật bản địa vào các chương trình hỗ trợ môi trường nông thôn mới, vừa góp phần xử lý nước thải, vừa tăng độ che phủ xanh.

Cuối cùng, cần có các chương trình truyền thông, tập huấn nhằm nâng cao nhận thức cộng đồng và sinh viên về vai trò của thực vật trong xử lý nước thải sinh học, hướng tới phát triển bền vững và sử dụng tài nguyên hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Kim Chi, Ô nhiễm môi trường nước và các giải pháp kiểm soát. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2018.
- [2] Vymazal, Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environmental Science & Technology, 2011.
- [3] Trang & Cs, Evaluation of nutrient removal by *Colocasia esculenta* in constructed wetlands for domestic wastewater treatment. Journal of Environmental Science and Management, 2020.
- [4] Nguyễn Văn Phước, Xử lý nước thải sinh hoạt và công nghiệp bằng phương pháp sinh học, NXB Xây dựng, 2010.
- [5] QCVN14:2008/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt.
- [6] Lâm Minh Triết, Xử lý nước thải đô thị và công nghiệp – Tính toán thiết kế công trình, NXB Đại học Quốc gia, 2006.
- [7] Phương pháp và quy trình xử lý nước thải sinh hoạt nông thôn (27/02/2025) [Online]. Available: <https://cwi.vn/kien-thuc/phuong-phap-va-quy-trinh-xu-ly-nuoc-thai-sinh-hoat-nong-thon.html>. [Accessed 20/3/2025].
- [8] Trần Hồng Côn, Giáo trình Hóa học Môi trường, NXB Khoa học kỹ thuật, 2005.
- [9] M. & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.), 2014.
- [10] Tiêu chuẩn Việt Nam. 13606:2023. Cấp nước - Mạng lưới đường ống và công trình - Thiết kế [Online].
- [11] Trịnh Xuân Lai (2020). Tính toán thiết kế các công trình xử lý nước thải. Nhà xuất bản Bộ xây dựng. [Online].
- [12] UNEP, Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development., 2010.
- [13] WHO, Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater., 2006.
- [14] "<https://www.ecobaent.vn/5-nam-tien-phong-ap-dung-cong-nghe-xanh-nha-may-xu-ly-nuoc-thai-kdt-vinhomes-ocean-park-gio-ra-sao/>," [Online].
- [15] "<https://vinacee.com/quy-trinh-cong-nghe-jokasou-tank-trong-xu-ly-nuoc-thai-sinh-hoat-cho-khu-dan-cu/>," [Online].

- [16] Thực vật thủy sinh, "https://vi.wikipedia.org/wiki/Th%E1%BB%B1c_v%E1%BA%ADt_th%E1%BB%A7y_sinh," [Online].
- [17] Phương pháp xử lý nước thải bằng thực vật thủy sinh, "<https://qcvn.com.vn/phuong-phap-xu-ly-nuoc-thai-bang-thuc-vat-thuy-sinh/>," [Online].
- [18] Giải phẫu thực vật(9/11/2017), "<https://blog.bouaqua.com/la-cay-thuy-sinh-giai-phau-thuc-vat/>," [Online].
- [19] H. Brix, Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water Science and Technology, 1997.
- [20] Vymazal, Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Science of the Total Environment, 2007.
- [21] Zhou, Constructed wetlands for water pollution control: A review of developments, applications and performance, 2020.
- [22] H. & G. T. Tadesse, The role of wetland plants in the treatment of wastewater., 2014.
- [23] Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water Science and Technology
- [24] Vymazal (2011). A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage.
- [25] A. Saha, P. Mukherjee, K. Roy, K. Sen, T. Sanyal and I. J. O. E. R. A. R. 2. "A Review on Phyto-remediation By Aquatic Macrophytes: A Natural Promising Tool for Sustainable Management of Ecosystem".
- [26] . J. Xu & Cs. "Nitrogen and Phosphorus Removal in Simulated Wastewater By Two Aquatic Plants".
- [27] A. Kurniawan, K. Khasanah, F. N. M. Jayatri . "Study on The Application of Phytoremediation of Phosphate Content to Eutrophication in Cengklik Reservoir.
- [28] Y. Qu, Y. Yang, C. Sonne, X. Chen, X. Yue, H. Gu, S. S. Lam, W. Peng and "Phytosphere Purification of Urban Domestic Wastewater".
- [29] Nguyễn Võ Châu Ngân & Lê Hoàng Việt (2022) (Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của mô hình đất ngập nước nhân tạo trồng cây bách thủy tiên ở các thời gian lưu nước khác nhau)
- [30] "Khoai nước," https://vi.wikipedia.org/wiki/Khoai_n%C6%B0%E1%BB%9Bc.

- [31] Ghosh, Effect of *Colocasia esculenta* on nutrient removal in a tropical free water surface constructed wetland. *Ecological Engineering*, 2010.
- [32] S. R. Chappell, Role of Wetland Vegetation in Wastewater Treatment, 2012.
- [33] Bùi Thị Kim Anh và cộng sự, "Nghiên cứu, đánh giá tiềm năng của các loài thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải làng nghề sản xuất bún Đa Mai, Bắc Giang." *Tài nguyên và Môi trường*, vol. 2, pp. 38-40, 2021.
- [34] Wu, Treatment of industrial wastewater by constructed wetlands: Design, performance and operation., 2020.
- [35] R. H. & W. Kadlec, Treatment Wetlands, 2009.
- [36] Zhang & Cs, Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries – A review of recent developments (2000–2013)., 2014.
- [37] J. N. H. Arias & Cs, Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter, 2001.
- [38] W. & cs, Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: challenges, operational strategies and overall performance, 2014.
- [39] Tanner & Cs, Guidelines for constructed wetland treatment of agricultural wastewaters., 2003.
- [40] Metcalf & Eddy, Inc., 2014. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery
- [41] Q. M. Nguyen, Evaluation of *Colocasia esculenta* for treating domestic wastewater in vertical flow constructed wetlands. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100604, 2020.
- [42] Z. Y. Chen & Cs, Ammonium toxicity and root architecture responses in rice seedlings., 2013.
- [43] Tanner & Cs, Enhancing pollutant removal in constructed wetlands using subsurface flow systems., 2002.
- [44] Tanner, Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. *Water Science and Technology*, 44(11–12), 9–17., 2001.