

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



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG VI
KHUẨN LAM *SYNECHOCOTYS SALINA* M8**

GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN: TH.S NGUYỄN THỊ PHƯƠNG DUNG

TH.S LƯU THỊ THU HÀ

GIÁO VIÊN ĐỌC DUYỆT: TH.S PHẠM THỊ NGỌC THUY

SINH VIÊN THỰC HIỆN: NGUYỄN THỊ THU THẢO

LỚP: 72DCMO21

HÀ NỘI – 2025

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



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

**ĐỀ TÀI: NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT
BẰNG VI KHUẨN LAM *SYNECHOCYSTIS SALINA M8***

**GIÁO VIÊN HƯỚNG DẪN: THS. NGUYỄN THỊ PHƯƠNG DUNG
THS. LƯU THỊ THU HÀ**
GIÁO VIÊN ĐỌC DUYỆT: THS. PHẠM THỊ NGỌC THUY
SINH VIÊN THỰC HIỆN: NGUYỄN THỊ THU THẢO
LỚP: 72DCMO21

HÀ NỘI – 2025

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Quý thầy cô trong Bộ môn Hóa học - Môi trường, Khoa khoa học ứng dụng, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, những người đã tận tình hướng dẫn, hỗ trợ và tạo mọi điều kiện thuận lợi để em có thể hoàn thành đề án tốt nghiệp một cách tốt nhất.

Em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TH.S Nguyễn Thị Phương Dung và THS. Lưu Thị Thu Hà, hai giảng viên đã trực tiếp hướng dẫn, tận tình chỉ bảo và đồng hành cùng em trong suốt quá trình thực hiện đề án với đề tài: “*Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam Synechocystis salina M8*”.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn đặc biệt đến PGS.TS Trần Đăng Thuận cùng tập thể cán bộ tại Viện Công nghệ năng lượng và Môi trường, Viện Hóa học thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, đã tạo điều kiện thuận lợi để em thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm tại Phòng thí nghiệm Công nghệ hóa sinh, góp phần quan trọng vào sự thành công của đề án.

Do thời gian thực hiện đề tài có hạn, cùng với kiến thức và kinh nghiệm thực tiễn của bản thân còn nhiều thiếu sót, đề án tốt nghiệp của em khó tránh khỏi những hạn chế. Em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp, chỉ bảo quý báu từ quý thầy cô để đề án được hoàn thiện hơn, đồng thời giúp em nâng cao kiến thức chuyên môn và kinh nghiệm thực tiễn, từ đó phục vụ tốt hơn cho công việc và ngành nghề trong tương lai.

Em xin chân thành cảm ơn!

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Thị Thu Thảo

MỤC LỤC

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT CHÍNH
DANH MỤC BẢNG
DANH MỤC HÌNH VẼ.....
MỞ ĐẦU.....
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NƯỚC THẢI SINH HOẠT VÀ PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG VI KHUẨN LAM.....	1
1.1. Tổng quan về nước thải sinh hoạt	1
1.1.1. Khái niệm và phân loại.....	1
1.1.1.1. Khái niệm	1
1.1.1.2. Phân loại	1
1.1.2. Các đặc trưng của nước thải sinh hoạt.....	2
1.1.3. Các thông số ô nhiễm đặc trưng của nước thải	4
1.1.3.1. Thông số vật lý	4
1.1.3.2. Thông số hoá học.....	5
1.1.3.3. Thông số sinh học	7
1.1.4. Hiện trạng nước thải sinh hoạt và vấn đề ô nhiễm nước thải sinh hoạt tại các đô thị ở Việt Nam.....	8
1.1.4.1. Hiện trạng NTSH tại các đô thị ở Việt Nam.....	8
1.1.4.2. Các vấn đề môi trường liên quan do ô nhiễm nước thải sinh hoạt.....	11
1.2. Các phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt	12
1.2.1. Phương pháp truyền thống.....	12
1.2.1.1. Phương pháp cơ học	12
1.2.1.2. Phương pháp hoá học	12
1.2.1.3. Phương pháp hoá lý.....	13
1.2.1.4. Phương pháp sinh học	13
1.2.2. Phương pháp tiên tiến.....	14
1.2.2.1. Công nghệ Màng lọc sinh học (MBR - Membrane Bio-Reactor)	14

1.2.2.2. Công nghệ AAO (Anaerobic - Anoxic - Oxic)	15
1.2.2.3. Công nghệ MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)	15
1.2.2.4. Công nghệ lọc màng Nano (NF) và Thẩm thấu ngược (RO)	16
1.2.2.5. Công nghệ Plasma lạnh	16
1.3. Phương pháp xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam	16
1.3.1. Tổng quan về vi khuẩn lam	16
1.3.2. Nhu cầu dinh dưỡng và các yếu tố ảnh hưởng đến sinh trưởng của vi khuẩn lam	18
1.3.3. Phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam	20
1.3.3.1. Phương pháp quang dưỡng.....	20
1.3.3.2. Phương pháp tạp dưỡng.....	21
1.3.3.3. Phương pháp dị dưỡng.....	22
1.3.3.4. Xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam S. salina	23
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP, ĐỐI TƯỢNG VÀ VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU....	25
2.1. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu.....	25
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu.....	25
2.1.2. Phạm vi nghiên cứu	25
2.2. Nguyên vật liệu, hoá chất và phương pháp nghiên cứu	25
2.2.1. Hoá chất.....	25
2.2.2. Dụng cụ thí nghiệm	26
2.2.3. Phương pháp nghiên cứu	27
2.2.3.1. Vi khuẩn lam giống.....	27
2.2.3.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích chất lượng nước thải sinh hoạt.....	27
2.3. Phương pháp nuôi S. salina M8 trong nước thải sinh hoạt.....	28
2.3.1. Chuẩn bị giống.....	28
2.3.2. Chuẩn bị nước thải.....	29
2.3.3. Bố trí thí nghiệm.....	29
2.4. Phương pháp xử lý số liệu.....	31

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN.....	32
3.1. Khảo sát mẫu nước thải sinh hoạt	32
3.2. Ảnh hưởng của mật độ VKL (VKL giống) ban đầu lên khả năng sinh trưởng của S.salina M8	33
3.3. Ảnh hưởng của pH đến sinh trưởng của S.salina M8 và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt.....	35
3.3.1. Đánh giá ảnh hưởng của pH lên khả năng sinh trưởng của S.salina M8	35
3.3.2. Đánh giá hiệu quả xử lý NTSH của S.salina M8 tại giá trị pH = 7.....	38
3.4. Ảnh hưởng của tỉ lệ C/N/P đến sinh trưởng của vi khuẩn lam và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt bởi S. salina M8.....	39
KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ	47
1. Kết luận.....	47
2. Kiến nghị	48
TÀI LIỆU THAM KHẢO	49

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

STT	Chữ viết tắt	Tên Tiếng Việt
1	ATP	Adenosine Triphosphate - một phân tử cung cấp năng lượng cho tế bào hoạt động
2	BOD ₅	Nhu cầu oxy sinh học trong 5 ngày
3	BTNMT	Bộ tài nguyên môi trường
4	COD	Nhu cầu oxi hóa học
5	NF	Công nghệ màng lọc nano
6	N	Nitơ
7	NTSH	Nước thải sinh hoạt
8	OD _{680nm}	Optical Density – mật độ quang học hay độ hấp thụ quang ánh sáng ở bước sóng 680 nm
9	P	Photphorus
10	PHA	Polyhydroxyalkanoates - một loại polymer sinh học
11	PHB	Polyhydroxybutyrate - một loại polymer sinh học
12	QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
13	S. Salina	S. salina
14	TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
15	TN	Total Nitrogen - Tổng Nitơ
16	TP	Total Phosphorus - Tổng Photpho
17	TSS	Total Suspended Solids - Tổng chất rắn lơ lửng
18	VFAs	Volatile fatty acids - acid béo dễ bay hơi
19	VKL	Vi khuẩn lam

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1. Hàm lượng chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt và nước thải đô thị.....	2
Bảng 1.2. Thành phần nước thải sinh hoạt phân tích theo các phương pháp của APHA3	
Bảng 1.3. Ước tính lượng nước thải sinh hoạt phát sinh tại khu đô thị của một số tỉnh, thành phố tại Việt Nam [7]	10
Bảng 1.4. Một số vi khuẩn lam và đặc tính phân bố của chúng trong tự nhiên.	17
Bảng 2.1. Thành phần trong 1 lít môi trường BG-11	25
Bảng 2.2. Thiết bị và hoá chất cần thiết trong PTN	26
Bảng 3.1. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước khi nuôi VKL	32
Bảng 3.2. Ảnh hưởng của mật độ giống đến sự sinh trưởng của <i>S.salina</i> M8	33
Bảng 3.3. Ảnh hưởng của pH lên sự sinh trưởng của <i>S. salina</i> M8.....	36
Bảng 3.4. Nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH khi xử lý bằng M8 tại pH = 7	38
Bảng 3.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ C/N/P đến sinh trưởng của <i>S.salina</i> M8	40
Bảng 3.6. Nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH sau khi xử lý bằng <i>S. salina</i> M8 tại các tỷ lệ C/N/P	41
Bảng 3.7. Bảng tổng hợp hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm trong NTSH của <i>S. salina</i> M8 tại tỷ lệ C/N/P = 100:10:1	45

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Một số hình ảnh về nước thải sinh hoạt tại Hà Nội.....	10
Hình 1.2. Công nghệ màng lọc sinh học (MBR - Membrane Bio-Reactor).....	15
Hình 1.3. Giá thể sinh học được sử dụng trong hệ thống xử lý MBBR.....	16
Hình 1.4. Vi khuẩn lam dạng tập đoàn (A).....	18
Hình 1.5. Vi khuẩn lam sợi chuỗi (B).....	18
Hình 1.6. Vi khuẩn lam dạng đơn bào (C).....	18
Hình 1.7. Vi khuẩn lam quang dưỡng <i>Spirulina</i>	21
Hình 1.8. Hình thái của VKL <i>M8</i>	23
Hình 2.1. Hình thái vi khuẩn lam <i>S. salina M8</i>	27
Hình 2.2. Nhân giống <i>S. salina M8</i> trong bình 250 mL (A) và 2000-5000 mL (B) trong phòng thí nghiệm.....	29
Hình 2.3. Thí nghiệm nuôi <i>S.salina M8</i> trong NTSH.....	30
Hình 2.4. Máy đo quang phổ UV-Vis.....	31
Hình 3.1. Thí nghiệm nuôi <i>S.salina M8</i> trong nước thải sinh hoạt với mật độ tảo giống khác nhau.....	33
Hình 3.2. Sinh trưởng của <i>S.salina M8</i> ở mật độ giống đầu vào khác nhau.....	34
Hình 3.3. Thí nghiệm nuôi <i>S.salina M8</i> trong NTSH với khoảng giá trị pH khác nhau.....	35
Hình 3.4. Sinh trưởng của <i>S.salina M8</i> ở các pH khác nhau, mật độ tảo giống 20% ...	36
Hình 3.5. Biểu đồ sự thay đổi của pH sau khi cho <i>S.salina M8</i> vào NTSH.....	37
Hình 3.6. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý.....	38
Hình 3.7. Thí nghiệm nuôi VKL <i>M8</i> tại các tỉ lệ C/N/P khác nhau.....	39
Hình 3.8. Sinh trưởng của <i>S. salina M8</i> ở tỷ lệ C/N/P khác nhau.....	40
Hình 3.9. Hàm lượng N-NH ₄ ⁺ trong nước thải trước và sau khi xử lý.....	41
Hình 3.10. Hàm lượng T- N trong nước thải trước và sau khi xử lý.....	42
Hình 3.11. Hàm lượng PO ₄ ³⁻ trong nước thải trước và sau khi xử lý.....	43
Hình 3.12. Hàm lượng T-P trong nước thải trước và sau khi xử lý.....	43
Hình 3.13. Hàm lượng COD trong nước thải trước và sau khi xử lý.....	44
Hình 3.14. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý tại tỷ lệ C/N/P = 100:10:1.....	45

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của đề án

Nước là một nguồn tài nguyên vô cùng quan trọng cho sự sống đối với tất cả sinh vật trên trái đất, nếu không có nước thì chắc chắn sẽ không có sự sống xuất hiện cùng nền văn minh hiện đại như ngày nay. Đối với con người, nước chiếm 60–70% cơ thể, tham gia vào mọi hoạt động sống từ trao đổi chất, vận chuyển dinh dưỡng đến đào thải độc tố. Hàng ngày, nước còn là yếu tố thiết yếu cho sinh hoạt: uống, nấu ăn, vệ sinh, và sản xuất lương thực, duy trì an ninh lương thực. Trong công nghiệp, nước là nguyên liệu không thể thiếu cho sản xuất điện, dệt may, luyện kim, và hàng nghìn quy trình công nghệ khác. Về mặt môi trường, nước giúp điều hòa khí hậu thông qua chu trình thủy văn, duy trì hệ sinh thái đa dạng từ đại dương đến rừng mưa. Tuy nhiên với sự gia tăng dân số, quá trình đô thị hoá và phát triển kinh tế dẫn đến nhu cầu sử dụng nước rất lớn trong khi nguồn tài nguyên nước lại không tăng lên, điều này làm suy giảm nghiêm trọng cả về chất và lượng nước. Việc tuần hoàn nước thải sau xử lý không những là giải pháp cấp thiết để giảm áp lực lên nguồn nước tự nhiên mà còn góp phần thúc đẩy kinh tế tuần hoàn biến chất thải thành tài nguyên cho các mục đích như tưới tiêu, làm mát công nghiệp, hoặc bổ sung nước ngầm. Trong bối cảnh đó, vi khuẩn lam (cyanobacteria) nổi lên như một công nghệ xanh, bền vững nhờ khả năng đồng thời xử lý ô nhiễm, thu giữ carbon và tạo sinh khối có giá trị. So với các phương pháp xử lý truyền thống thường tốn kém, tiêu thụ nhiều năng lượng, hoặc để lại dư lượng bùn thải cần xử lý thì việc sử dụng vi khuẩn lam để xử lý nước thải được xem là một trong những phương pháp có chi phí thấp, có thể loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ, hợp chất phosphate cũng như các hợp chất nitrogen. Các vi khuẩn lam còn giúp tiêu hóa hiệu quả chất dinh dưỡng trong nước thải và cung cấp oxy cho các vi khuẩn hiếu khí. Trong các cơ sở xử lý nước thải truyền thống thường tạo ra các chất ô nhiễm thứ cấp như bùn thải, và các hóa chất dư gây ảnh hưởng xấu đến môi trường sống. Thì đối với các cơ sở xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam sẽ chỉ tạo ra sinh khối tảo với hàm lượng năng lượng cao, có thể được xử lý tiếp để sản xuất phân bón hoặc nhiên liệu sinh học. Bên cạnh đó, xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam sử dụng CO₂ làm nguồn quang hợp, điều này làm giảm khí phát thải gây hiệu ứng nhà kính mà trước đó phương pháp xử lý truyền thống đóng góp một phần đáng kể vào hiệu ứng này. Khác với vi khuẩn lam thông thường, một số chủng vi khuẩn lam còn có khả năng cố định đạm, giúp loại bỏ nitrogen mà không cần bổ sung nguồn carbon ngoài.

Trong số các loài vi khuẩn lam có tiềm năng cao trong xử lý nước thải, *Synechocystis salina M8* (*S. salina M8*) – một chủng vi khuẩn lam (cyanobacteria) –

được biết đến nhờ khả năng thích nghi tốt với điều kiện môi trường biến động, tốc độ sinh trưởng nhanh, hiệu quả xử lý cao các chất dinh dưỡng và chất hữu cơ. Bên cạnh đó, loài vi khuẩn lam này có thể phát triển trong điều kiện ánh sáng tự nhiên, không yêu cầu đầu tư thiết bị phức tạp, phù hợp với điều kiện khí hậu và ánh sáng tại Việt Nam nói chung và Hà Nội nói riêng.

Mặc dù tiềm năng là rất lớn, song việc ứng dụng vi khuẩn lam *S. salina M8* trong xử lý nước thải sinh hoạt ở Việt Nam, đặc biệt tại Hà Nội, vẫn còn khá mới mẻ và chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá cụ thể. Do đó, việc thực hiện nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam (VKL) *S. salina M8* trong điều kiện phòng thí nghiệm là rất cần thiết. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển các mô hình xử lý nước thải sinh học quy mô nhỏ, ứng dụng tại các khu dân cư, làng nghề, trường học hay cơ sở công cộng ở Hà Nội và các đô thị lớn khác. Đồng thời, nghiên cứu cũng mở ra hướng đi mới trong việc kết hợp xử lý nước thải với thu hồi tài nguyên sinh khối, góp phần giảm thiểu ô nhiễm và nâng cao hiệu quả quản lý môi trường đô thị.

Từ những lý do trên em lựa chọn đề tài thực hiện đồ án tốt nghiệp: **“Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam *Synechocystis salina M8*”** nhằm đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố hoá lý đến hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam *Synechocystis salina M8*.

2. Mục tiêu của đồ án

Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt khu nhà ở tập thể Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT bằng VKL *Synechocystis salina M8*.

Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng VKL *Synechocystis salina M8*

3. Đối tượng và phạm vi của đồ án

**Đối tượng nghiên cứu:*

- Nước thải sinh hoạt tại khu nhà ở tập thể của Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT.

- VKL *Synechocystis salina M8*.

** Phạm vi nghiên cứu:*

- Nước thải sinh hoạt tại khu nhà ở tập thể Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT.

- VKL *Synechocystis salina M8* trong quy mô phòng thí nghiệm.

- Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt tại khu nhà ở tập thể Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT bằng VKL *Synechocystis salina M8* trong quy mô phòng thí nghiệm.

- Thời gian nghiên cứu: Từ tháng 1/2025 đến tháng 5/2025.

4. Phương pháp thực hiện đồ án

- 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. Cấu trúc của đồ án

Chương 1: Tổng quan về nước thải sinh hoạt và phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam

Chương 2: Phương pháp, đối tượng và vật liệu nghiên cứu

Chương 3: Kết quả và thảo luận

Kết luận và kiến nghị

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ NƯỚC THẢI SINH HOẠT VÀ PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG VI KHUẨN LAM

1.1. Tổng quan về nước thải sinh hoạt

1.1.1. Khái niệm và phân loại

1.1.1.1. Khái niệm

Theo Luật Bảo vệ môi trường 2020, nước thải được định nghĩa là nước đã bị thay đổi tính chất ban đầu do được sử dụng trong hoạt động sản xuất, kinh doanh, dịch vụ, sinh hoạt hoặc hoạt động khác.

Theo định nghĩa này thì nước thải được hiểu là nguồn nước đã qua sử dụng và có sự thay đổi về tính chất vật lý, hóa học hoặc sinh học so với trạng thái ban đầu. Nước thải có thể phát sinh từ nhiều nguồn khác nhau như nước thải từ hoạt động sinh hoạt, công nghiệp, nông nghiệp, y tế... và có thể chứa các chất ô nhiễm ảnh hưởng đến môi trường nếu không được xử lý đúng cách.

Theo QCVN 14:2008/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về nước thải sinh hoạt: Nước thải sinh hoạt là nước thải được thải ra từ các hoạt động sinh hoạt của con người như ăn uống, tắm giặt, vệ sinh cá nhân, từ các khu dân cư, khu vực hoạt động thương mại, công sở, trường học và các cơ sở tương tự khác. Lưu lượng của nước thải sinh hoạt của khu dân cư phụ thuộc vào dân số, tiêu chuẩn cấp nước và đặc điểm của hệ thống thoát nước.

Nước thải sinh hoạt là nước từ nhà tắm, giặt, hồ bơi, nhà ăn, nhà vệ sinh, nước rửa sàn nhà... chúng chứa khoảng 58% chất hữu cơ và 42% chất khoáng. Đặc điểm cơ bản của nước thải sinh hoạt là hàm lượng cao các chất hữu cơ không bền sinh học (như hydratcacbon, protein, mỡ), chất dinh dưỡng (photphat, nito), vi trùng, chất rắn và mùi. Nước thải sinh hoạt phát sinh từ các hộ dân cư với lưu lượng nhỏ, nhưng bố trí trên địa bàn rất rộng, khó thu gom triệt để được xếp vào loại nguồn phân tán [1].

1.1.1.2. Phân loại

Nước thải sinh hoạt thường được phân loại dựa trên nguồn gốc phát sinh, thành phần ô nhiễm và mức độ ảnh hưởng đến môi trường. Theo Luật Bảo vệ môi trường 2020, nước thải sinh hoạt có thể được chia thành các nhóm như sau:

❖ Theo nguồn phát sinh:

- Nước thải từ hộ gia đình: phát sinh từ hoạt động sinh hoạt hàng ngày của người dân như tắm, giặt giũ, nấu ăn, vệ sinh cá nhân,...

- Nước thải từ cơ sở công cộng: Phát sinh từ trường học, bệnh viện, nhà hàng, khách sạn, khu vui chơi, trung tâm thương mại.

- Nước thải từ khu dân cư, đô thị: Gồm nước thải từ các hộ dân, chung cư, chợ, khu thương mại, tòa nhà văn phòng.

- Nước thải từ công trình xây dựng và khu công nghiệp: Mặc dù chủ yếu có nước thải công nghiệp, nhưng vẫn có nước thải sinh hoạt từ công nhân, văn phòng làm việc.

❖ Theo thành phần ô nhiễm: Nước thải sinh hoạt (NTSH) thường gồm hai dòng thải chính:

- Nước thải đen: nước thải có độ nhiễm bẩn rất cao do chất bài tiết của con người từ nhà vệ sinh, thường được xử lý sơ bộ qua bể tự hoại. Tuy nhiên, hầu như chất lượng đầu ra sau bể tự hoại vẫn chưa đạt tiêu chuẩn, nhưng nhờ bể tự hoại mà một lượng lớn chất ô nhiễm được xử lý.

- Nước thải xám: nước thải có nồng độ nhiễm bẩn thấp hơn nước thải đen, phát sinh từ các hoạt động tại nhà bếp, tắm giặt, vệ sinh nhà cửa... Nước thải xám hầu như chưa được xử lý và thải trực tiếp ra môi trường.

1.1.2. Các đặc trưng của nước thải sinh hoạt

Do nước thải sinh hoạt không được thu gom riêng, mà được thải vào hệ thống thoát nước chung của thành phố, vì vậy, nước tính chất của nước thải không ổn định, hơn nữa tại các khu vực khác nhau tính chất của nước thải sinh hoạt cũng khác nhau.

Đặc tính chung của NTSH thường bị ô nhiễm bởi các chất cặn bã hữu cơ, các chất hữu cơ hoà tan (thông qua các chỉ tiêu BOD, COD), các chất dinh dưỡng (nitrogen phospho), các vi trùng gây bệnh (Ecoli, coliform...), dầu mỡ và các chất hoạt động bề mặt có nguồn gốc phát sinh do sử dụng các chất tẩy rửa trong sinh hoạt. Chất hữu cơ chứa trong nước thải sinh hoạt bao gồm các hợp chất như protein (40-50%); hydrat cacbon gồm tinh bột, đường và xenlulo (40-50%) và các chất béo (5-10%). Nồng độ chất hữu cơ dao động trong nước thải sinh hoạt khoảng 150 – 450 mg/l theo trọng lượng khô, trong đó có khoảng 20-40% chất hữu cơ khó phân huỷ sinh học [1].

Bảng 1.1. Hàm lượng chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt và nước thải đô thị

Loại nước thải	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Coliform (MPN/100mL)
Nước thải đen	1086	-	7905	-	-	-
Nước thải xám	208	151	63	24,2	4,9	4,7×10 ⁵
Nước thải sinh hoạt	583	243	223	48	9	3,7×10 ⁷
	145,67	72,67	34,00	32,69	-	2,48×10 ⁵
	96-135	64-95	90-140	31-37	16-32	>9000
Nước thải đô thị	60-604	31-380	41-792	11-95	1,4-19	-
	500	250	300	40	9	10 ⁸ - 10 ⁹
	200	100	50	20	4	-

QCVN 14:2008/BTNMT (cột A)	30	75	50	20	4	3000
QCVN 14:2008/BTNMT (cột B)	50	150	100	40	6	5000

[Nguồn: Tạp chí môi trường.vn 2021]

Mức độ ô nhiễm của nước thải sinh hoạt phụ thuộc vào:

- Lưu lượng nước thải
- Tải trọng chất bản tính theo đầu người như: mức sống, điều kiện sống và tập quán sinh sống; điều kiện khí hậu,...

Có thể thấy được đặc trưng nước thải sinh hoạt và đô thị là ô nhiễm chất hữu cơ. Nước thải đen có hàm lượng chất ô nhiễm lớn nhất so với nước thải xám, nước thải sinh hoạt và nước thải đô thị. Nước thải đô thị có hàm lượng chất ô nhiễm thấp nhất, đôi khi thấp hơn nước quy chuẩn vào mùa mưa. Hàm lượng chất dinh dưỡng N, P trong nước thải sinh hoạt lớn hơn nước tự nhiên, là nguyên nhân gây ra hiện tượng phú dưỡng cho các nguồn tiếp nhận. Trong nước thải sinh hoạt cũng có chứa các kim loại như: Canxi, Magie, Chì, Đồng, Kẽm, Cadimi... tuy hàm lượng của chúng không cao, nhưng vẫn có thể gây nhưng môi lo ngại liên quan đến vấn đề tích tụ sinh học.

Một trong các vấn đề đáng lo ngại khi tái sử dụng nước là các tác động bất lợi của hóa chất và các yếu tố sinh học như các chất gây ô nhiễm cần quan tâm (contaminants of emerging concern - CEC) và gen kháng thuốc kháng sinh (antibiotic resistance genes - ARG). Tuy nhiên, ở Việt Nam chưa có nhiều nghiên cứu về hai vấn đề trên đối với nước thải sinh hoạt, mà chỉ tập trung vào nghiên cứu trên nước thải bệnh viện, phòng khám và trên nước mặt. Các loại dược phẩm do con người sử dụng có thể thông qua nước thải sinh hoạt đi vào môi trường, điều này có góp phần tạo ra các gen đột biến có khả năng kháng chất kháng sinh, từ đó gây ra các lo ngại về nguy cơ xuất hiện các chủng virus đã kháng thuốc kháng sinh [2].

Bảng 1.2. Thành phần nước thải sinh hoạt phân tích theo các phương pháp của APHA

Các chất (mg/l)	Mức độ ô nhiễm (mg/l)		
	Cao	Trung bình	Thấp
Tổng chất rắn (TS)	1.000	500	200
Chất rắn hoà tan (TS)	700	350	120
Chất rắn không hoà tan (SS)	300	150	8
Chất rắn lơ lửng (TSS)	600	350	120
BOD ₅	300	200	100
DO	0	0	0

Tổng N	85	50	25
Nitro hữu cơ	35	20	10
NH ₄ ⁺	50	30	15
NO ₃ ⁻	0,4	0,2	0,1
Cl ⁻	175	100	15
Độ kiềm	200	100	50
Chất béo	40	20	0
Tổng Photpho	-	8	-

[Nguồn: GTZ,1989]

Như vậy, nước thải sinh hoạt có hàm lượng các chất dinh dưỡng khá cao, vượt yêu cầu cho các quá trình xử lý sinh học. Thông thường các quá trình xử lý sinh học cần các chất dinh dưỡng theo tỷ lệ như sau: BOD₅ : N : P = 100: 5 :1. Một tính chất đặc trưng nữa của nước thải sinh hoạt là không phải tất cả các chất hữu cơ đều có thể bị phân huỷ bởi các vi sinh vật và khoảng 20 - 40% BOD thoát ra khỏi các quá trình xử lý sinh học cùng với bùn.

1.1.3. Các thông số ô nhiễm đặc trưng của nước thải

1.1.3.1. Thông số vật lý

* Hàm lượng chất rắn lơ lửng: Các chất rắn lơ lửng trong nước ((Total) Suspended Solids – (T)SS - SS) bao gồm các chất vô cơ không tan ở dạng huyền phù (phù sa, gỉ sét, bùn, hạt sét); Các chất hữu cơ không tan; Các vi sinh vật (vi khuẩn, tảo, vi nấm, động vật nguyên sinh...). Hàm lượng chất rắn lơ lửng trong nước cao gây nên cảm quan không tốt cho nhiều mục đích sử dụng đặc biệt chúng làm giảm khả năng truyền ánh sáng trong nước, do vậy ảnh hưởng đến quá trình quang hợp dưới nước, làm cạn kiệt tầng ôxy trong nước gây ảnh hưởng đến đời sống thủy sinh như cá, tôm. Chất rắn lơ lửng có thể làm tắc nghẽn mang cá, cản trở sự hô hấp dẫn tới làm giảm khả năng sinh trưởng của cá, ngăn cản sự phát triển của trứng và ấu trùng. Phân biệt các chất rắn lơ lửng của nước để kiểm soát các hoạt động sinh học, đánh giá quá trình xử lý nước thải bằng phương pháp lý hóa, đánh giá sự phù hợp của nước thải với tiêu chuẩn giới hạn cho phép.

* Mùi: là một trong những đặc trưng quan trọng của nước thải sinh hoạt, phản ánh mức độ ô nhiễm và quá trình phân huỷ các chất hữu cơ bên trong nước thải. Mùi trong nước thải sinh hoạt xuất phát từ quá trình phân huỷ sinh học của các hợp chất hữu cơ và vô cơ, đặc biệt là trong điều kiện thiếu oxy (phân huỷ kỵ khí). Hợp chất gây mùi chính trong nước thải là hydro sunfua (H₂S), amoniac (NH₃), metan (CH₄), các hợp chất khác như mercaptans, Dimethyl Sulfide, Dimethyl Disulfide được tạo thành từ quá trình phân huỷ thực phẩm, rác thải hữu cơ, chất béo động vật.

* Độ màu: Nước sạch không có màu. Màu sắc của nước xuất hiện do sự hiện diện của các tạp chất ngoại lai, bao gồm các chất hòa tan hoặc ở dạng keo. Cụ thể, màu của

nước có thể bắt nguồn từ các chất hữu cơ hòa tan, các hạt keo, hoặc các hợp chất vô cơ như sắt và mangan ở dạng hòa tan hoặc keo. Nước thải thường có màu nâu đen hoặc đỏ nâu chủ yếu do các chất hữu cơ từ quá trình phân hủy xác động thực vật, hoặc do sự hiện diện của sắt, mangan ở dạng keo hay hòa tan. Ngoài ra, màu của nước thải còn có thể xuất phát từ các chất thải sinh hoạt, công nghiệp (như thuốc nhuộm), hoặc các sản phẩm phụ từ quá trình phân hủy sinh học của các chất hữu cơ. Đơn vị đo độ màu thông dụng là mgPt/L (thang đo Pt-Co). Độ màu là một thông số thường mang tính chất cảm quan, có thể được sử dụng để đánh giá trạng thái chung của nước thải [1,3].

1.1.3.2. Thông số hoá học

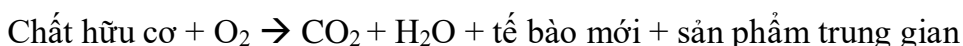
* pH: pH là chỉ số đặc trưng cho nồng độ ion H⁺ có trong dung dịch, thường được dùng để biểu thị tính axit và tính kiềm của nước. Độ pH của nước có liên quan dạng tồn tại của kim loại và khí hoà tan trong nước, pH có ảnh hưởng đến hiệu quả tất cả quá trình xử lý nước. Độ pH có ảnh hưởng đến các quá trình trao chất diễn ra bên trong cơ thể sinh vật nước. Do vậy rất có ý nghĩa về khía cạnh sinh thái môi trường. Độ pH tối ưu trong xử lý môi trường: 6,5-8,5.

* Nhu cầu oxy hóa học (Chemical Oxygen Demand - COD)

COD là lượng oxy cần thiết để oxy hoá các hợp chất hoá học trong nước bao gồm cả vô cơ và hữu cơ. Như vậy, COD là lượng oxy cần để oxy hoá toàn bộ các chất hoá học trong nước, trong khi đó BOD là lượng oxy cần thiết để oxy hoá một phần các hợp chất hữu cơ dễ phân huỷ bởi vi sinh vật. COD là một thông số quan trọng để đánh giá mức độ ô nhiễm chất hữu cơ nói chung và cùng với thông số BOD, giúp đánh giá phần ô nhiễm không phân hủy sinh học của nước từ đó có thể lựa chọn phương pháp xử lý phù hợp.

* Nhu cầu oxy sinh học (Biochemical Oxygen Demand - BOD)

BOD (Biological Oxygen Demand) - Nhu cầu oxy sinh học. BOD là lượng oxy do vi sinh vật sử dụng để oxy hóa các chất hữu cơ trong nước thải. Cơ chế theo phản ứng:



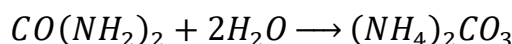
Trong môi trường nước, khi quá trình oxy hoá sinh học xảy ra thì các vi sinh vật sử dụng oxy hoà tan, vì vậy xác định tổng lượng oxy hoà tan cần thiết cho quá trình phân huỷ sinh học là phép đo quan trọng đánh giá ảnh hưởng của một dòng thải đối với nguồn nước. BOD có ý nghĩa biểu thị lượng các chất thải hữu cơ trong nước có thể bị phân huỷ bằng các vi sinh vật.

* Oxy hòa tan (Dissolved Oxygen - DO)

DO là lượng ôxy có mặt trong nước, một phần được hoà tan từ lượng ôxy trong không khí, một phần lượng oxy được sinh ra từ các phản ứng tổng hợp quang hoá của tảo và các thực vật sống trong nước. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự hoà tan ôxy vào nước là nhiệt độ, áp suất khí quyển, dòng chảy, địa điểm, địa hình. Giá trị DO trong nước phụ

thuộc vào tính chất vật lý, hoá học và các hoạt động sinh học xảy ra trong đó. Nồng độ oxy tự do trong nước nằm trong khoảng 8 - 10 ppm, và dao động mạnh phụ thuộc vào nhiệt độ, sự phân huỷ hoá chất, sự quang hợp của tảo và v.v... Phân tích DO cho ta đánh giá mức độ ô nhiễm nước và kiểm tra quá trình xử lý nước thải. Các sông hồ có hàm lượng DO cao được coi là khoẻ mạnh và có nhiều loài sinh vật sống trong đó. Khi DO trong nước thấp sẽ làm giảm khả năng sinh trưởng của động vật thủy sinh, thậm chí làm biến mất hoặc có thể gây chết một số loài nếu DO giảm đột ngột. Nguyên nhân làm giảm DO trong nước là do việc xả nước thải công nghiệp, nước mưa tràn lô kéo các chất thải nông nghiệp chứa nhiều chất hữu cơ, lá cây rụng vào nguồn tiếp nhận. Vi sinh vật sử dụng ôxy để tiêu thụ các chất hữu cơ làm cho lượng ôxy giảm.

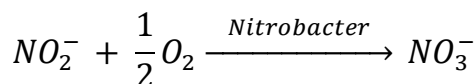
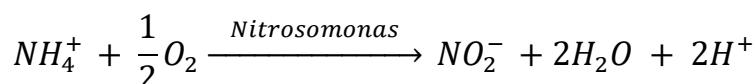
* Nitrogen và các hợp chất chứa nitrogen: Trong nước thiên nhiên và nước thải, các hợp chất của nitrogen tồn tại dưới 3 dạng: Các hợp chất hữu cơ, amoni, các hợp chất dạng oxy hóa (nitrit, nitrogenrat). Các hợp chất nitrogen là các chất dinh dưỡng, luôn vận động trong tự nhiên chủ yếu nhờ các quá trình sinh hóa. Trong nước thải sinh hoạt (NTSH), nitrogen tồn tại dưới dạng vô cơ (65%) và hữu cơ (35%). Nguồn nitrogen chủ yếu là nước tiểu, khoảng 1,2 lít/người/ngày, tương đương 12 g nitrogen trong đó nitrogen amoni N- $CO(NH_2)_2$ là 0,7 gam còn lại là các loại nitrogen khác. Ure thường được amoni hóa theo phương trình sau: Trong mạng lưới thoát nước ure bị thủy phân:



- Sau đó tiếp tục bị phân huỷ theo phương trình phản ứng:



- Nitrit là sản phẩm trung gian của quá trình oxy hóa amoniac hoặc nitrogen amoni trong điều kiện hiếu khí nhờ các loại vi khuẩn Nitrosomonas. Sau đó nitrit hình thành tiếp tục được vi khuẩn Nitrobacter oxy hóa thành nitrogenrat.



- Nitrit (NO_2^-): Là hợp chất không bền, nó có thể là sản phẩm của quá trình khử nitrat trong điều kiện yếm khí..

- Amoni và amoniac (NH_4^+ , NH_3): Amoni (NH_4^+) trong nước thải sinh hoạt có nguồn gốc chủ yếu từ chất thải con người và thực phẩm phân huỷ. Hàm lượng NH_4^+ dao động từ 10 - 50 mg/L, cao hơn nhiều so với tiêu chuẩn xả thải. Nếu không được xử lý, NH_4^+ có thể gây ô nhiễm môi trường, suy giảm oxy hòa tan, ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Vì vậy, cần áp dụng các công nghệ xử lý sinh học, hóa học và vật lý để giảm thiểu hàm lượng NH_4^+ trong nước thải trước khi xả ra môi trường.

- Nitrat (NO_3^-): là sản phẩm cuối cùng của sự phân hủy các chất chứa nitrogen có trong chất thải của người và động vật. Nitrat (NO_3^-) là một dạng tồn tại chính của nitrogen trong nước thải sinh hoạt, được hình thành từ quá trình oxy hóa amoni (NH_4^+) thông qua quá trình nitrat hóa. Hàm lượng nitrat trong nước thải thường dao động từ 10-30 mg/l, hàm lượng nitrat cao sẽ ảnh hưởng lớn đến môi trường và sức khỏe con người nếu không được kiểm soát đúng cách [1,3].

* Phosphorus và các hợp chất chứa phosphorus

- Trong các loại nước thải, Phosphorus hiện diện chủ yếu dưới các dạng phosphate. Các hợp chất Phosphat được chia thành Phosphat vô cơ và Phosphat hữu cơ.

- Phosphorus là một chất dinh dưỡng đa lượng cần thiết đối với sự phát triển của sinh vật. Việc xác định Phospho tổng là một thông số đóng vai trò quan trọng để đảm bảo quá trình phát triển bình thường của các vi sinh vật trong các hệ thống xử lý chất thải bằng phương pháp sinh học.

- Hiện tượng trong nước có nhiều NO_3^- , PO_4^{3-} là hiện tượng phú dưỡng của nước hay còn gọi là hiện tượng nở hoa của tảo.

* Chất hoạt động bề mặt

Các chất hoạt động bề mặt là những chất hữu cơ gồm 2 phần: kỵ nước và ưa nước tạo nên sự phân tán của các chất đó trong dầu và trong nước. Nguồn tạo ra các chất hoạt động bề mặt là do việc sử dụng các chất tẩy rửa trong sinh hoạt và trong một số ngành công nghiệp [1,3].

1.1.3.3. Thông số sinh học

Trong nước thải, đặc biệt là nước thải sinh hoạt nhiễm nhiều vi sinh vật có sẵn ở trong phân người và phân súc vật.

Trong đó có thể có nhiều loại vi khuẩn gây bệnh, đặc biệt là các bệnh về đường tiêu hoá như tả, lỵ, thương hàn, các vi khuẩn gây ngộ độc thực phẩm. Trong ruột người, động vật có vú khác không kể lứa tuổi có những nhóm vi sinh vật cư trú, chủ yếu là vi khuẩn. Các vi khuẩn này thường có trong phân rác. Vi khuẩn đường ruột gồm 3 nhóm: Coliform đặc trưng là *Escherichia coli* (*E. coli*), Streptococcus đặc trưng là *Streptococcus faecalis*, Clostridium đặc trưng là *Clostridium perfringens*.

Để đánh giá chất lượng bằng chỉ tiêu sinh học thường sử dụng chỉ số Coliform. Vi khuẩn nhóm Coliform (Coliform, Fecal coliform, Fecal streptococci, *Escherichia coli* ...). Chỉ số Coliform tổng số trong nước thải sinh hoạt thường có giá trị: 106 – 108 MPN/100 mL và chỉ số *E.coli*: 104 – 106 MPN/100 mL [1,3].

1.1.4. Hiện trạng nước thải sinh hoạt và vấn đề ô nhiễm nước thải sinh hoạt tại các đô thị ở Việt Nam

1.1.4.1. Hiện trạng NTSH tại các đô thị ở Việt Nam

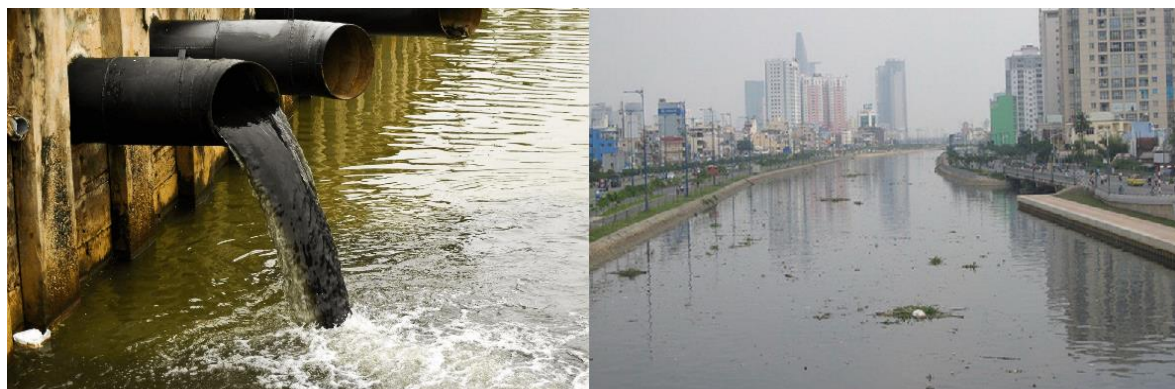
Như một số quốc gia trên thế giới, Việt Nam đang phải đối mặt với vấn đề nước thải sinh hoạt, đặc biệt là nước thải từ các khu đô thị, khu dân cư tại các thành phố lớn như Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.

Với tốc độ gia tăng dân số và đô thị hóa nhanh chóng đang làm tăng lượng nước thải sinh hoạt. Theo Tổng cục Thống kê (2022), tỷ lệ đô thị hóa tại Việt Nam đã đạt 41%, kéo theo nhu cầu sử dụng nước và phát sinh nước thải ngày càng lớn. Tuy nhiên, hệ thống xử lý nước thải chưa phát triển đồng bộ, dẫn đến tình trạng nước thải chưa qua xử lý bị xả trực tiếp ra môi trường. Lượng nước thải sinh hoạt phát sinh ngày càng tăng, nhưng tỷ lệ nước thải được thu gom và xử lý lại rất thấp. Theo Báo cáo Môi trường Quốc gia (2022) chỉ khoảng 15-20% lượng nước thải sinh hoạt tại các đô thị được xử lý trước khi thải ra môi trường. 80-85% lượng nước thải sinh hoạt chưa được xử lý hoặc xử lý không đạt tiêu chuẩn trước khi xả thải ra sông, hồ, kênh rạch. Ở khu vực nông thôn, hệ thống thu gom và xử lý nước thải hầu như chưa có, phần lớn nước thải thấm trực tiếp vào đất hoặc chảy ra hệ thống kênh mương. Tổng lượng nước thải hằng ngày của thành phố Hà Nội vào khoảng 320.000m³ trong đó có 1/3 lượng nước thải ra môi trường là nước thải công nghiệp. Theo báo cáo của Cục Kiểm soát ô nhiễm môi trường (Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2023) cho biết đến nay ở Việt Nam mới chỉ có khoảng 18% nước thải đô thị được xử lý tại các Nhà máy xử lý nước thải tập trung. Các giải pháp thu gom và xử lý nước thải tập trung, với công nghệ hiện đại, thiết bị tốn kém, tiêu thụ nhiều điện năng, đòi hỏi chi phí đầu tư và quản lý vận hành rất lớn. Đó là chưa kể chi phí xây dựng những tuyến cống tập trung thu gom nước thải lớn rất tốn kém, khó thực hiện đầu nối, không tránh khỏi rò rỉ, gây ô nhiễm đất và nước ngầm. Từ các con số thống kê của các cơ quan liên quan cho thấy số lượng nước thải sinh hoạt được xả thẳng vào hệ thống thoát nước chung rồi chảy ra ao, hồ, sông ngòi làm ô nhiễm nguồn nước là rất lớn. Những dòng sông, ao hồ, sông ngòi hằng ngày đang tiếp nhận hàng triệu m³ nước thải đô thị chưa qua xử lý. Với tốc độ đô thị hóa như hiện nay, để có thể thu gom và xử lý hết được nước thải từ các khu dân cư đô thị, ven bờ, nông thôn, các cơ sở dịch vụ, công cộng, bên cạnh giải pháp thu gom và xử lý nước thải tập trung, cần phát triển và ứng dụng cả các giải pháp thu gom, xử lý nước thải tại chỗ. Trên thực tế, đã có những con sông ở Hà Nội đã trở thành dòng sông chết do bị ô nhiễm quá nghiêm trọng, như sông Tô Lịch, sông Sét, Kim Ngưu, sông Nhuệ... ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng sống của những người dân khu vực đó [4].

Tại Hà Nội, nhà máy xử lý nước thải Yên Xá, với công suất thiết kế 270.000 m³/ngày đêm, đã bắt đầu vận hành thử nghiệm từ tháng 12/2024. Trong giai đoạn đầu,

nhà máy hoạt động với công suất 30.000 - 40.000 m³/ngày đêm và dự kiến tăng lên 100.000 m³/ngày đêm vào tháng 2/2025, nâng tỷ lệ nước thải được xử lý của Hà Nội lên 40%. Khi nhà máy đạt công suất tối đa, dự kiến vào năm 2025, tỷ lệ nước thải được thu gom và xử lý của thành phố sẽ tăng lên khoảng 50%, điều này giúp giảm áp lực của việc xả nước thải sinh hoạt không đạt tiêu chuẩn ra môi trường [5]. Môi trường nước ở nhiều khu vực đô thị, khu công nghiệp và làng nghề ngày càng bị ô nhiễm bởi nước thải, khí thải và chất thải rắn. Ở các thành phố lớn, hàng trăm cơ sở sản xuất công nghiệp đang gây ô nhiễm môi trường nước do không có công trình và thiết bị xử lý chất thải. Ô nhiễm nước do sản xuất công nghiệp chiếm tỷ trọng lớn. Tình trạng ô nhiễm nước ở các đô thị thấy rõ nhất là ở thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh. Ở các thành phố này, nước thải sinh hoạt không có hệ thống xử lý tập trung mà trực tiếp xả ra nguồn tiếp nhận (sông, hồ, kênh, mương). Mặt khác, còn rất nhiều cơ sở sản xuất không xử lý nước thải, phần lớn các bệnh viện và cơ sở y tế lớn chưa có hệ thống xử lý nước thải; một lượng rác thải rắn lớn trong thành phố không thu gom hết được... là những nguồn quan trọng gây ra ô nhiễm nước. Hiện nay, mức độ ô nhiễm trong các kênh, sông, hồ ở các thành phố lớn là rất nặng.

Tình trạng ô nhiễm nguồn nước đang ngày càng báo động, khoảng 9.000 người tử vong mỗi năm do nguồn nước bẩn. Theo Viện Sức khỏe Nghề nghiệp và Môi trường (2023) cho biết tỷ lệ mắc các bệnh tiêu chảy, viêm da, giun sán ở khu vực có nguồn nước ô nhiễm cao hơn 30-40% so với nơi có nước sạch. Nước thải chứa vi khuẩn E. coli, Salmonella, ký sinh trùng Giardia, gây ra các bệnh đường tiêu hóa, đặc biệt là ở trẻ em. Bên cạnh đó hàm lượng nitrat (NO₃⁻) và amoni (NH₄⁺) trong nước thải có thể gây nguy cơ ung thư, bệnh gan thận, đặc biệt khi nước bị nhiễm vào nguồn nước sinh hoạt. Theo Bộ Tài Nguyên và Môi Trường (MONRE) có khoảng 20.000 người phát hiện bị ung thư nguyên nhân chính là do ô nhiễm nguồn nước. Khoảng 44% trẻ em bị nhiễm giun do sử dụng nước bị không đạt chất lượng. 27% trẻ em dưới 5 tuổi bị suy dinh dưỡng do thiếu nước sạch và vệ sinh kém (theo WHO). Khoảng 21% dân số đang sử dụng nguồn nước bị nhiễm Asen – hay là Arsenic vô cơ lại là một chất hóa học cực độc thường được sử dụng trong việc tạo ra các loại thuốc diệt cỏ và các loại thuốc trừ sâu [6].



Hình 1.1. Một số hình ảnh về nước thải sinh hoạt tại Hà Nội

Bảng 1.3. Ước tính lượng nước thải sinh hoạt phát sinh tại khu đô thị của một số tỉnh, thành phố tại Việt Nam [7]

STT	Tỉnh/thành phố	2015			2025			2050		
		Dân số đô thị (người)	Lượng nước thải (m ³ /ngày)	Hệ số phát thải (L/người.ngày)	Dân số đô thị (người)	Lượng nước thải (m ³ /ngày)	Hệ số phát thải (L/người.ngày)	Dân số đô thị (người)	Lượng nước thải (m ³ /ngày)	Hệ số phát thải (L/người.ngày)
1	Hà Nội	3,968,800	682,336	172	4,420,000	698,36	158	7,544,000	1,455,992	193
2	Tp Hồ Chí Minh	6,455,943	1,129,790	175	8,400,000	1,889,933	158	9,046,000	1,745,878	193
3	Đà Nẵng	897,114	113,036	126	1,033,000	232,740	158	1,160,000	223,880	193
4	Hải Dương	571,389	59,996	105	539,000	65,265	85	973,000	149,842	154
5	Thái Nguyên	379,801	39,879	105	480,000	58,027	85	866,000	133,364	154
6	Thanh Hóa	2,424,798	162,461	67	592,000	71,637	85	1,069,000	164,626	154
7	Khánh Hòa	508,637	53,407	105	768,000	92,948	85	1,318,000	289,874	154
8	Bắc Ninh	421,466	48,890	116	402,000	48,692	85	726,000	159,780	154
9	Sơn La	245,939	17,216	70	248,000	29,981	85	447,000	98,382	154
10	Lạng Sơn	171,285	11,990	70	234,000	28,348	85	423,000	93,023	154
11	Kon Tum	158,688	10,632	67	241,000	29,175	85	435,000	95,736	154
12	Bình Dương	1,555,229	161,744	104	755,000	91,335	85	1,362,000	299,712	154
13	Đồng Nai	1,406,407	129,389	92	1,382,000	167,206	85	2,494,000	548,678	154
14	An Giang	681,591	47,711	70	1,016,000	122,930	85	1,834,000	403,387	154
15	Kiên Giang	498,363	41,862	84	757,000	91,537	85	1,365,000	300,374	154
16	Nghệ An	450,393	37,833	84	625,000	75,629	85	1,128,000	248,172	154

[Nguồn: Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), 2015]

Lượng nước thải sinh hoạt phát sinh phụ thuộc vào dân số và thói quen sử dụng. Mặc dù khó có thể xác định con số chính xác của lượng nước thải sinh hoạt phát sinh, nhưng có thể ước tính được lượng nước thải theo mật độ dân số, diện tích và hệ số phát sinh nước thải. Lượng nước thải bình quân đầu người được thể hiện qua Bảng 1.3. Với năm 2015 lượng nước thải được ước tính trong các dự án xây dựng tại các địa phương, năm 2025 và năm 2050 được ước tính theo mục tiêu cấp nước đô thị theo Quyết định số 1929/QĐ-TTg ban hành ngày 20/11/2009, lượng nước thải bình quân đầu người nước thải sinh hoạt chiếm 70% lượng nước cấp. Từ Bảng 1.3 có thể thấy được nếu không có

các biện pháp tái sử dụng nước hiệu quả hơn thì lượng nước thải sinh hoạt phát sinh sẽ rất lớn.

1.1.4.2. Các vấn đề môi trường liên quan do ô nhiễm nước thải sinh hoạt

Ô nhiễm nguồn nước mặt: Nước thải sinh hoạt chưa xử lý chứa nhiều chất hữu cơ, chất dinh dưỡng, vi sinh vật gây bệnh và kim loại nặng. Khi xả thẳng ra môi trường, các chất này làm ô nhiễm nguồn nước mặt và nước ngầm, ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy sinh.

Hiện tượng phú dưỡng: Lượng nitrogen (N) và photphorus (P) cao trong nước thải chưa xử lý thúc đẩy sự phát triển quá mức của tảo và vi sinh vật, gây hiện tượng phú dưỡng ở sông, hồ. Điều này làm giảm lượng oxy hòa tan trong nước, ảnh hưởng tiêu cực đến động vật thủy sinh.

Ảnh hưởng đến sức khỏe con người: Nước thải chứa vi khuẩn, virus và ký sinh trùng có thể gây ra các bệnh đường tiêu hóa, bệnh da liễu và nhiều bệnh truyền nhiễm khác khi con người tiếp xúc trực tiếp hoặc gián tiếp qua nguồn nước ô nhiễm.

Tác động đến môi trường không khí: Khi nước thải bị phân hủy trong điều kiện yếm khí, nó sản sinh CH_4 , H_2S , NH_3 , gây mùi hôi khó chịu và ảnh hưởng đến chất lượng không khí đô thị.

Tác động kinh tế - xã hội: Ô nhiễm nguồn nước do nước thải chưa xử lý làm giảm giá trị sử dụng của nguồn nước, ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp, thủy sản và du lịch. Ngoài ra, chi phí xử lý ô nhiễm môi trường sẽ tăng cao nếu không có biện pháp kiểm soát kịp thời.

Nguy cơ lan truyền dịch bệnh: Một trong những tác động nghiêm trọng nhưng thường bị xem nhẹ của ô nhiễm nước thải sinh hoạt là nguy cơ phát tán các mầm bệnh. Trong nước thải sinh hoạt có chứa rất nhiều vi khuẩn, vi rút, ký sinh trùng gây bệnh như *E. coli*, *Salmonella*, giun sán,... Khi xả trực tiếp ra môi trường hoặc thấm vào nguồn nước ngầm, các mầm bệnh này có thể lây lan và gây bùng phát các dịch bệnh truyền nhiễm như tiêu chảy, viêm gan A, tả, thương hàn,... Người dân sử dụng nguồn nước ô nhiễm hoặc tiếp xúc trực tiếp với nước thải có nguy cơ cao mắc bệnh, đặc biệt là trẻ em và người già.

Gánh nặng chi phí và ảnh hưởng đến phát triển bền vững: Ô nhiễm nước thải sinh hoạt không chỉ gây thiệt hại về môi trường và sức khỏe mà còn đặt ra gánh nặng lớn về chi phí cho xã hội. Chính quyền các đô thị phải đầu tư ngân sách lớn để duy tu, nạo vét kênh mương, làm sạch các sông hồ, xử lý bùn thải và khắc phục ô nhiễm môi trường. Bên cạnh đó, các sự cố ô nhiễm kéo dài có thể làm giảm giá trị bất động sản, ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản và chất lượng sống đô thị – từ đó cản trở định hướng phát triển bền vững.

1.2. Các phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt

1.2.1. Phương pháp truyền thống

Xử lý nước thải sinh hoạt nhằm loại bỏ các thành phần ô nhiễm bao gồm các chất không tan, chất ít tan và những hợp chất tan trong nước, làm sạch nước và có thể đưa nước vào nguồn tiếp nhận. Việc lựa chọn phương pháp xử lý thích hợp thường được căn cứ trên đặc điểm của các loại tạp chất có trong nước thải. Các phương pháp chính thường được sử dụng trong các công trình xử lý nước thải sinh hoạt là: phương pháp cơ học, hóa học, hóa lý, và sinh học.

1.2.1.1. Phương pháp cơ học

Phương pháp xử lý cơ học để loại bỏ các hợp chất hữu cơ không hòa tan, tồn tại trạng thái lơ lửng và một phần các chất dạng keo ra khỏi nước thải. Những công trình xử lý cơ học bao gồm: song chắn rác, bể điều hòa, bể lắng, bể lọc, bể tách dầu mỡ... Phương pháp xử lý cơ học có thể loại bỏ 60% các hợp chất không tan và 20% BOD trong nước thải. Ngoài ra, phương pháp này có thể xử lý hàm lượng lớn các chất lơ lửng. Thông thường, xử lý cơ học chỉ là giai đoạn tiền xử lý trước khi chuyển sang phương pháp xử lý hóa học hay sinh học.

Song chắn rác: Song chắn rác là hạng mục công trình xử lý sơ bộ đầu tiên nhằm ngăn giữ rác bần thô gồm giấy, bọc nylon, chất dẻo, cỏ cây, vỏ đồ hộp, gỗ, ... Các loại rác này có thể làm tắt nghẽn đường dẫn nước hoặc làm hư hỏng máy bơm.

Bể lắng cát: Bể lắng cát (grit chamber) dùng để chắn giữ những hạt cát, sạn nhỏ có trong nước thải. Các hạt cát này có thể gây hư hỏng máy bơm và làm nghẽn các ống dẫn bùn của các bể lắng. Dòng chảy trong các bể nên không chế ở vào khoảng $V_{max} \approx 0,3$ m/s nhằm đảm bảo các hạt cát có thể lắng chìm xuống đáy, đồng thời cũng không nên để nước chảy với vận tốc nhỏ hơn 0,15 m/s làm các liên kết hữu cơ trong nước thải lắng đọng. Thời gian nước lưu lại trong bể lắng từ 30 - 60 giây. Thường có các loại bể lắng cát: Bể lắng cát ngang, bể lắng cát đứng, bể lắng cát tiếp tuyến,...

Bể lọc: Là quá trình tách các chất rắn lơ lửng ra khỏi nước khi hỗn hợp nước và chất rắn lơ lửng đi qua lớp vật liệu lọc, tại đó chất rắn lơ lửng được giữ lại và nước tiếp tục được chảy qua. Có thể dùng các hạt sạn sỏi, cát, than ... để loại bỏ một phần các chất rắn lơ lửng của nước thải và lượng BOD trước khi cho qua các công trình xử lý sinh học hay hóa học khác [1,3,8].

1.2.1.2. Phương pháp hoá học

Phương pháp xử lý hóa học là đưa vào nước thải chất phản ứng để tham gia các phản ứng hóa học với các chất ô nhiễm có trong nước thải thông qua các phản ứng hóa học nhằm loại bỏ hoặc chuyển hóa chúng thành các dạng ít độc hại hơn. Phương pháp này thường được áp dụng để xử lý các thành phần ô nhiễm khó xử lý bằng phương pháp cơ học hoặc sinh học.

Các phương pháp hóa học dùng trong hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt gồm có: trung hòa, oxy hóa khử, tạo kết tủa hoặc phản ứng phân hủy các hợp chất độc hại. Trong đó, quá trình trung hòa được sử dụng để điều chỉnh pH về mức phù hợp, oxy hóa - khử giúp loại bỏ các kim loại nặng và các hợp chất hữu cơ độc hại, còn quá trình kết tủa giúp loại bỏ các ion kim loại bằng cách tạo thành các hợp chất không tan.

Ưu điểm của phương pháp này là khả năng xử lý hiệu quả đối với nhiều loại chất ô nhiễm, hóa chất sử dụng dễ dàng tìm kiếm, phù hợp với các hệ thống xử lý nước thải công nghiệp có yêu cầu khắt khe. Ngoài ra, công trình xử lý thường có thiết kế nhỏ gọn, chiếm ít diện tích. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có một số hạn chế như chi phí vận hành cao do cần sử dụng lượng lớn hóa chất, yêu cầu quản lý và vận hành phức tạp, đòi hỏi nhân sự có chuyên môn cao. Bên cạnh đó, quá trình xử lý có thể tạo ra các sản phẩm phụ cần được xử lý triệt để để tránh gây ô nhiễm thứ cấp [8].

1.2.1.3. Phương pháp hoá lý

Phương pháp hóa lý trong xử lý nước thải là sự kết hợp giữa các quá trình vật lý và hóa học nhằm loại bỏ hoặc chuyển hóa các chất ô nhiễm trong nước. Bằng cách sử dụng các chất phản ứng hoặc áp dụng các nguyên lý vật lý, phương pháp này giúp tách các chất ô nhiễm ra khỏi nước dưới dạng cặn lắng hoặc chất hòa tan không độc hại, góp phần giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

Những phương pháp hoá lý thường được áp dụng để xử lý nước thải là: keo tụ, tuyển nổi, đông tụ, hấp phụ, trao đổi ion, thẩm lọc ngược và siêu lọc... Quá trình keo tụ và đông tụ giúp kết dính các hạt nhỏ lơ lửng trong nước thành các bông cặn lớn hơn để dễ dàng loại bỏ. Tuyển nổi sử dụng bọt khí để tách các chất nhẹ khỏi nước. Hấp phụ giúp loại bỏ các chất ô nhiễm bằng cách sử dụng vật liệu hấp phụ như than hoạt tính. Trao đổi ion giúp loại bỏ các ion không mong muốn trong nước, trong khi thẩm thấu ngược và siêu lọc sử dụng màng lọc để loại bỏ các tạp chất và vi sinh vật có kích thước nhỏ.

Giai đoạn xử lý hoá lý có thể là giai đoạn xử lý độc lập hoặc xử lý cùng với các phương pháp cơ học, hoá học, sinh học trong công nghệ xử lý nước thải hoàn chỉnh nhằm nâng cao hiệu quả xử lý nước [8].

1.2.1.4. Phương pháp sinh học

Cơ sở của phương pháp xử lý sinh học nước thải là dựa vào khả năng oxy hóa các liên kết hữu cơ dạng hòa tan và không hòa tan của vi sinh vật - chúng sở hữu các liên kết đó như nguồn thức ăn của chúng.

- Các công trình xử lý sinh học trong điều kiện tự nhiên gồm có:
 - + Hồ sinh vật
 - + Hệ thống xử lý bằng thực vật nước (lục bình, lau, sậy, rong, tảo..)
 - + Cánh đồng lười
 - + Cánh đồng lọc

- + Đất ngập nước
- Các công trình xử lý sinh học trong điều kiện nhân tạo bao gồm:
 - + Bể lọc sinh học các loại

+ Phương pháp sinh học hiếu khí (aroten): Quá trình xử lý được dựa trên sự oxy hoá các chất hữu cơ có trong nước thải nhờ oxy hoà tan. Các công trình xử lý sinh học hiếu khí trong điều kiện nhân tạo thường được dựa trên nguyên tắc hoạt động của bùn hoạt tính (bể Aeroten trộn, kênh oxy hoá tuần hoàn) hoặc màng sinh vật (bể lọc sinh học, đĩa lọc sinh học). Xử lý sinh học trong điều kiện tự nhiên thường được tiến hành trong các hồ (hồ sinh vật cánh đồng tươi, cánh đồng lọc, bãi lọc ngập nước...).

+ Phương pháp sinh học kỵ khí: Quá trình xử lý được dựa trên cơ sở phân huỷ các chất hữu cơ giữ lại trong công trình nhờ lên men kỵ khí. Các công trình được ứng dụng rộng rãi là các loại bể tự hoại, giếng thấm, bể lắng hai vỏ (bể lắng Imhoff), bể lắng trong kết hợp ngăn lên men, bể lọc ngược qua tầng cặn kỵ khí (UASB)...

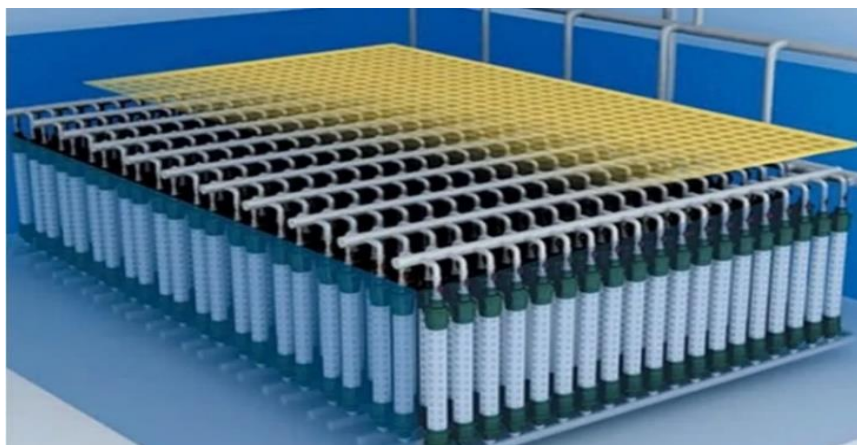
- + Lọc sinh học tiếp xúc dạng trống quay (RBC)
- + Hồ sinh học thổi khí
- + Mương oxi hoá [8].

1.2.2. Phương pháp tiên tiến

1.2.2.1. Công nghệ Màng lọc sinh học (MBR - Membrane Bio-Reactor)

Nguyên lý: là sự kết hợp quá trình bùn hoạt tính sinh học và màng lọc (Baker, 2004). Đây là một trong những phương pháp tiên tiến, đã được áp dụng xử lý thành công nhiều loại nước thải khác nhau từ đô thị cho tới các loại nước thải công nghiệp, y tế có thành phần phức tạp và khó xử lý. MBR là sự kết hợp quá trình bùn hoạt tính với màng để tách bùn ra khỏi dòng sau xử lý. Với việc sử dụng màng lọc có kích thước lỗ màng dao động từ 0,01-0,4 μm nên vi sinh vật, chất ô nhiễm, bùn bị giữ lại tại bề mặt màng. Đồng thời, bùn sinh học sẽ được giữ lại trong bể phản ứng, mật độ vi sinh cao nên nâng cao hiệu suất xử lý chất ô nhiễm (Water Environment Federation, 2006). Vật liệu chế tạo màng lọc gồm các chất liệu vô cơ hoặc hữu cơ. Tuy nhiên xu hướng sử dụng màng lọc có nguồn gốc hữu cơ được sử dụng rộng rãi hơn. Màng lọc hữu cơ như polypropylene, polyethylene, polyacrylonitrile, polysulfone, aromatic polyamide, fluorinated polymer. Màng lọc vô cơ được tạo thành từ vật liệu như kim loại, oxit kim loại, ceramic, zeolites, thủy tinh, sứ, polymer tổng hợp. Cấu trúc màng thường có các dạng như sợi rỗng, ống mao dẫn, cuộn và được chế tạo có diện tích bề mặt lớn để đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật [9].

Ưu điểm: Hiệu suất xử lý BOD/COD, TOC đạt 5–99%. Loại bỏ hoàn toàn vi khuẩn và virus. Tiết kiệm diện tích so với phương pháp truyền thống.



Hình 1.2. Công nghệ màng lọc sinh học (MBR - Membrane Bio-Reactor)

1.2.2.2. Công nghệ AAO (Anaerobic - Anoxic - Oxic)

Nguyên lý: là một quy trình sinh học phổ biến được sử dụng trong các nhà máy xử lý nước thải để loại bỏ các chất dinh dưỡng như nitrogen và photpho. Quy trình này bao gồm ba giai đoạn: kỵ khí, thiếu khí và hiếu khí, giúp tối ưu hóa việc loại bỏ các chất ô nhiễm thông qua các quá trình sinh học khác nhau. Quy trình AAO đã chứng minh hiệu quả cao trong việc loại bỏ nitrogen và photpho, với hiệu suất loại bỏ tổng nitrogen (TN) và tổng photpho (TP) thường vượt quá 85% và 91% ngay cả ở nhiệt độ thấp dưới 15°C.

Một nghiên cứu cho thấy việc tích hợp điện phân vào quy trình AAO có thể tăng cường hiệu suất loại bỏ TN và TP, đạt tới 77.24% và 95.08% tương ứng, so với các hệ thống không tích hợp [9,10].

Ưu điểm: Xử lý đồng thời BOD, nitrogen (N) và photpho (P) với hiệu suất >90%. Giảm lượng bùn thải.

1.2.2.3. Công nghệ MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor)

Nguyên lý: là một phương pháp tiên tiến kết hợp giữa bùn hoạt tính truyền thống và quá trình lọc sinh học. MBBR sử dụng các giá thể nhựa để vi sinh vật phát triển, giúp xử lý hiệu quả các chất hữu cơ và dinh dưỡng trong nước thải. MBBR có khả năng loại bỏ COD, NH₄-N và các chất dinh dưỡng khác với hiệu suất cao. Hệ thống này cũng cho phép sản xuất khí sinh học, góp phần vào tự chủ năng lượng.

Ưu điểm: Tăng mật độ vi sinh, hiệu suất xử lý cao cũng như có thể sản xuất khí sinh học. Tạo ra ít bùn hơn, giúp giảm chi phí xử lý bùn. Dễ vận hành, ít tốn diện tích [11,12]

Ưu điểm: Tăng mật độ vi sinh, hiệu suất xử lý cao cũng như có thể sản xuất khí sinh học. Tạo ra ít bùn hơn, giúp giảm chi phí xử lý bùn. Dễ vận hành, ít tốn diện tích



Hình 1.3. Giá thể sinh học được sử dụng trong hệ thống xử lý MBBR

1.2.2.4. Công nghệ lọc màng Nano (NF) và Thẩm thấu ngược (RO)

Nguyên lý: NF là một kỹ thuật lọc màng dựa trên quá trình thẩm thấu ngược, phát triển từ những năm 1980. Màng NF có kích thước lỗ khoảng 1 nm và khả năng cắt phân tử từ 300 đến 500 Da. Màng NF hoạt động dựa trên sự kết hợp của các cơ chế loại bỏ như cản trở kích thước, loại trừ điện, hiệu ứng điện môi và cơ chế hydrat hóa. NF thường được sử dụng để loại bỏ các ion đa hóa trị và các hợp chất hữu cơ lớn, đồng thời có khả năng tiêu thụ năng lượng thấp hơn so với RO. RO là công nghệ lọc màng hàng đầu trong quá trình khử muối, sử dụng áp lực để đẩy nước qua màng bán thấm, loại bỏ muối và các tạp chất khác. RO được sử dụng rộng rãi trong các nhà máy khử muối nước biển và xử lý nước ngọt hóa [13,14].

Kết hợp NF và RO có thể cải thiện hiệu suất loại bỏ độ cứng của nước và tăng tỷ lệ thu hồi nước, đồng thời giảm thiểu lượng nước thải. Hệ thống NF-RO có thể tiết kiệm năng lượng hơn so với các hệ thống lọc đơn lẻ, nhờ vào khả năng loại bỏ cặn bản và tối ưu hóa quá trình lọc [15].

Ưu điểm: Loại bỏ 99% muối và chất ô nhiễm vi lượng. Tái sử dụng nước cho sản xuất.

1.2.2.5. Công nghệ Plasma lạnh

Nguyên lý: là kỹ thuật thân thiện với môi trường tạo ra một số chất phản ứng ($\text{OH}\cdot$, O_3 , H_2O_2 , H , HO_2 , O) có khả năng oxi hoá mạnh giúp phân hủy các hợp chất hữu cơ phức tạp và vi sinh vật trong nước, bao gồm cả vi khuẩn E. coli và virus SARS-CoV-2. [16,17].

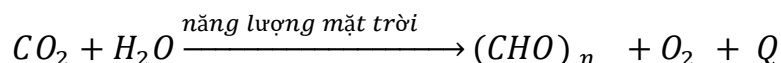
Tuy nhiên công nghệ plasma lạnh vẫn đối mặt với các thách thức như chi phí đầu tư ban đầu và hiệu quả xử lý chưa cao trong một số trường hợp, đòi hỏi nghiên cứu thêm để tối ưu hóa và thương mại hóa.

1.3. Phương pháp xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam

1.3.1. Tổng quan về vi khuẩn lam

Vi khuẩn lam là một nhóm đa dạng các vi khuẩn nhân sơ quang hợp gram âm. Người ta cho rằng chúng là một trong những sinh vật quang hợp lâu đời nhất tạo ra các điều kiện dẫn đến sự tiến hóa của quá trình trao đổi chất hiếu khí và quang hợp ở sinh vật nhân chuẩn [18]. Chúng chủ yếu là quang tự dưỡng thực hiện quang hợp oxy bằng cách sử dụng hệ thống quang hợp I và II để tạo ra năng lượng, cần nước, carbon dioxide,

hợp chất vô cơ và ánh sáng để phát triển. Chúng cũng có thể phát triển trong điều kiện dị dưỡng mà không cần ánh sáng bằng cách sử dụng chất nền cacbon hữu cơ để thu được năng lượng [18].



Về mặt hình thái, vi khuẩn lam có thể là đơn bào hoặc dạng sợi và có hình cầu, hình que và hình xoắn ốc. Về mặt phân loại, chúng được chia thành năm phân nhóm chính sử dụng các đặc điểm hình thái và sinh lý như được mô tả trong: Phân nhóm I (bộ: Chroococcales), II (bộ: Pleurocapsales), III (bộ: Oscillatoriales), IV (bộ: Nostocales) và V (bộ: Stigonematales). Phân nhóm I và II là đơn bào dưới dạng các tế bào đơn lẻ hoặc các tập hợp sinh sản bằng cách phân đôi hoặc nảy chồi (I) và phân đôi nhiều hoặc cả phân đôi và phân đôi nhiều (II). Phân nhóm III-V là dạng sợi, bao gồm các trichome (chuỗi tế bào), chúng sinh sản bằng cách phá vỡ trichome để tạo ra các mảnh di động ngắn được gọi là hormogonia. Phân nhóm III, vi khuẩn lam chỉ phân chia trên một mặt phẳng và chỉ bao gồm các tế bào sinh dưỡng trong khi phân nhóm IV và V có khả năng biệt hóa tế bào. Phân loại vi khuẩn lam liên tục phát triển với các hệ thống mới hơn dựa trên phân tích phát sinh loài [18].

Vi khuẩn lam sống trong nhiều môi trường sống khác nhau bao gồm các hệ sinh thái nước ngọt, biển và trên cạn (Bảng 1.4). Một đặc điểm chính của vi khuẩn lam là khả năng phát triển mạnh trong điều kiện khắc nghiệt và khả năng thích nghi và tiến hóa để đối phó với các yếu tố gây căng thẳng phi sinh học như ánh sáng cao, tia UV và nhiệt độ khắc nghiệt. Là vi khuẩn ưa cực, vi khuẩn lam có thể tồn tại dưới dạng ưa nhiệt (chịu được nhiệt độ cao), ví dụ như *Synechococcus* được tìm thấy trong suối nước nóng và địa nhiệt, ưa lạnh (chịu được lạnh), ưa axit (chịu được pH thấp), ưa kiềm (chịu được pH cao) và ưa mặn (chịu được muối) [18].

Bảng 1.4. Một số vi khuẩn lam và đặc tính phân bố của chúng trong tự nhiên.

Loài	Bộ	Môi trường sống
Dạng đơn bào		
<i>Microcystis</i> sp.	Chroococcales	Nước ngọt
<i>Synechococcus</i> sp.	Chroococcales	Nước mặn
<i>Synechocystis</i> sp.	Chroococcales	Nước ngọt
<i>Hyella caespitosa</i>	Pleurocapsales	Nước mặn
Dạng sợi		
<i>Lyngbya majuscula</i>	Oscillatoriales	Nước mặn (nhiệt đới)
<i>Oscillatoria</i> sp.	Oscillatoriales	Nước ngọt
<i>Anabaena</i> sp.	Nostocales	Nước ngọt
<i>Nostoc</i> sp.	Nostocales	Các lưu vực ngọt-mặn
<i>Fischerella muscicola</i>	Stigonematales	Nước ngọt

Những vi sinh vật này đóng vai trò quan trọng, góp phần vào sự đa dạng sinh học của Trái đất. Lục lạp, cơ quan quang hợp có trong thực vật và tảo nhân chuẩn, đã tiến hóa từ tổ tiên là vi khuẩn lam thông qua cơ chế nội cộng sinh. Tảo lục lam có kích thước rất nhỏ, khó quan sát bằng mắt thường, nhưng nhờ đặc tính sinh trưởng nhanh và tập hợp thành từng đám trên mặt nước, chúng trở nên dễ nhận biết. Trong môi trường ấm áp và giàu chất dinh dưỡng (chủ yếu là phosphorus và nitrogen), vi khuẩn lam phát triển nhanh chóng và có thể xảy ra hiện tượng “nở hoa” trong hồ (gọi là hiện tượng Tảo nở hoa). Tảo lam hay tảo lục lam thường thường xuất hiện ở những vùng nước có nhiệt độ cao, nhiều ánh sáng mặt trời, dư thừa chất dinh dưỡng và dòng nước chảy chậm hoặc tù đọng là các điều kiện lý tưởng để chúng sinh sôi nhanh chóng. Các "bông hoa" tảo có thể hình thành ở những khu vực nước ấm, có dòng chảy chậm và giàu chất dinh dưỡng, thường xuất phát từ các nguồn như phân bón hoặc các khu vực chăn nuôi. Chúng cần dinh dưỡng để tồn tại và phát triển, có thể xuất hiện bất cứ lúc nào, nhưng thường phổ biến vào cuối mùa hè hoặc đầu mùa thu.

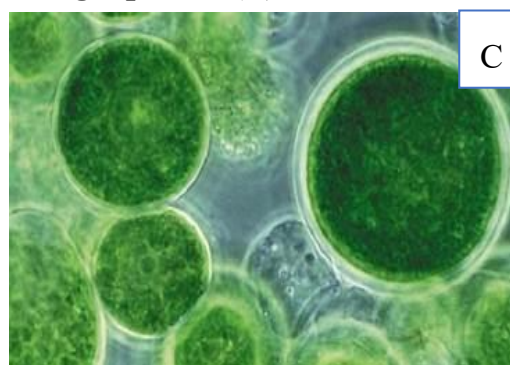
Vi khuẩn lam thường có dạng đơn bào, tập đoàn (Hình 1A), sợi chuỗi (Hình 1B), vi khuẩn lam dạng đơn bào (Hình 1C).



Hình 1.4. Vi khuẩn lam dạng tập đoàn (A)



Hình 1.5. Vi khuẩn lam sợi chuỗi (B)



Hình 1.6. Vi khuẩn lam dạng đơn bào (C)

1.3.2. Nhu cầu dinh dưỡng và các yếu tố ảnh hưởng đến sinh trưởng của vi khuẩn lam

Sự phát triển của vi khuẩn lam chịu ảnh hưởng lớn từ các điều kiện môi trường như pH, nhiệt độ, ánh sáng, các chất vi lượng và hàm lượng chất dinh dưỡng. Ở các

vùng ôn đới, nhiệt độ và ánh sáng là hai yếu tố chính chi phối sự phát triển của vi khuẩn lam. Tuy nhiên, tại các vùng nhiệt đới – nơi ánh sáng luôn ở mức cao và nhiệt độ duy trì ở mức thuận lợi thì các yếu tố dinh dưỡng như nitrate và phosphate lại đóng vai trò chủ đạo. Dưới đây là một số yếu tố chính có tác động trực tiếp đến khả năng sinh trưởng và phát triển của vi khuẩn lam [19].

- Ánh sáng: Quá trình quang tự dưỡng của vi khuẩn lam đòi hỏi ánh sáng trong phạm vi bức xạ hoạt động quang hợp (thường trong khoảng từ 400-700 nm). Ánh sáng cần được cung cấp đủ để không trở thành yếu tố hạn chế sự tăng trưởng. Việc tối ưu hóa môi trường nuôi cấy đòi hỏi sự kết hợp hiệu quả giữa việc giảm lắng đọng, đảm bảo sự di chuyển của tế bào, đồng thời tối đa hóa khả năng tiếp xúc của chúng với ánh sáng. Tuy nhiên, cường độ ánh sáng không nên quá cao, vì có thể gây ra hiện tượng ức chế quang hợp, làm hư hại cơ chế quang hợp của tế bào. Khi nuôi cấy tảo ở độ sâu lớn và mật độ cao, cần tăng khả năng xuyên thấu của ánh sáng trong môi trường nuôi. Cụ thể, cường độ ánh sáng khoảng 1000 lux phù hợp với nuôi trong bình tam giác, trong khi thể tích lớn hơn cần khoảng 5000 - 10.000 Lux [19].

- Nguồn dinh dưỡng: Trong quá trình sản xuất quang tự dưỡng, vi khuẩn lam cần chủ yếu các chất dinh dưỡng như N, P, C cùng với một lượng nhỏ khoáng chất và kim loại vi lượng. Nitrogen và Phosphorus có thể được cung cấp với số lượng lớn thông qua các hợp chất công nghiệp như urê và diamoni photphat. Các nguồn carbon tập trung sẽ được đề cập chi tiết ở phần sau.

- Nguồn Carbon: Vi khuẩn lam chủ yếu sử dụng CO₂ từ khí quyển để phát triển trong môi trường tự nhiên. Tuy nhiên, do hàm lượng CO₂ trong không khí khá thấp, việc bổ sung nguồn CO₂ tập trung có thể giúp tăng tốc độ sinh trưởng, đồng thời nâng cao sản lượng và hiệu suất PHB cao hơn. Một số nguồn carbon có nồng độ cao tiềm năng bao gồm glucose, lactose, glycerol và các hợp chất hữu cơ khác. Tuy nhiên, trong quá trình quang dưỡng, vi khuẩn lam bắt đầu giải phóng carbon hữu cơ thông qua bài tiết hoặc phân hủy tế bào khi chết, tạo điều kiện cho vi khuẩn dị dưỡng phát triển và gây suy thoái hệ nuôi cấy. Nếu môi trường này được tái sử dụng cho các đợt nuôi cấy tiếp theo, tổng lượng carbon hữu cơ cần được giám sát chặt chẽ và duy trì ở mức thấp để tránh các vấn đề trong quá trình nuôi cấy.

- Độ pH: Đây là một yếu tố quan trọng đối với sự sinh trưởng và phát triển của VKL. Môi trường thuận lợi cho VKL thường có pH trung tính hoặc hơi kiềm, với khoảng pH phù hợp cho hầu hết các loài tảo nuôi nằm trong khoảng 7 – 10, tối ưu từ 8,2 – 8,7. Sự thay đổi đột ngột của pH có thể gây ảnh hưởng tiêu cực, thậm chí dẫn đến thất bại trong quá trình nuôi cấy. Đối với VKL nuôi ở mật độ cao, việc bổ sung CO₂ giúp kiểm soát pH, đảm bảo không vượt quá 9 trong quá trình phát triển.

- Nhiệt độ: Phần lớn vi khuẩn lam phát triển tối ưu trong khoảng 30 - 35°C hoặc cao hơn một chút. Tuy nhiên, một số loài có thể thích nghi với môi trường khắc nghiệt, như vi khuẩn lam sống ở vùng Bắc Cực và Nam Cực, hay các loài ưa nhiệt trong suối

nước nóng, có thể phát triển mạnh ở nhiệt độ trên 50°C. Mặc dù điều kiện nhiệt độ khác nghiệt có thể tạo ra môi trường chọn lọc giúp kiểm soát việc nuôi cấy và giảm nguy cơ nhiễm tạp, nhưng việc duy trì nhiệt độ ổn định trên quy mô lớn thông qua sưởi ấm hoặc làm mát lại không khả thi về mặt kinh tế.

- Điều kiện canh tác chọn lọc: Bên cạnh các vi khuẩn lam ưa nhiệt, còn có những loài thích nghi với môi trường khác nghiệt như vi khuẩn ưa mặn hoặc ưa kiềm, điển hình là *Arthrospira platensis* và *Synechocystis* DUN52. Các chủng này có thể được nuôi trong điều kiện hóa học đặc trưng, không thuận lợi cho sự phát triển của các vi sinh vật gây ô nhiễm. Tuy nhiên, các trang thiết bị và phương pháp hiện có thường khó làm sạch và khử trùng giữa các lần nuôi cấy, thậm chí một số trường hợp không thể khử trùng hoàn toàn. Vì vậy, một giải pháp thay thế để giảm nguy cơ nhiễm tạp là luân phiên nuôi cấy giữa các loài vi khuẩn lam nước ngọt và nước mặn. Sự thay đổi lớn về môi trường này có thể tiêu diệt phần lớn vi khuẩn gây ô nhiễm, giúp duy trì chất lượng nuôi cấy ổn định hơn.

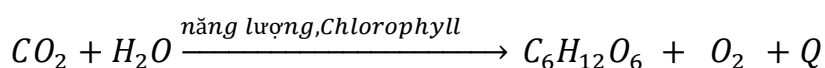
1.3.3. Phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam

1.3.3.1. Phương pháp quang dưỡng

Vi khuẩn lam (cyanobacteria), còn gọi là tảo lam, là nhóm vi sinh vật quang dưỡng nhân sơ, có khả năng quang hợp oxyic tương tự thực vật bậc cao. Một số loài vi khuẩn lam có khả năng phát triển mạnh trong điều kiện dinh dưỡng cao, đặc biệt là trong nước thải giàu nitrogen và phosphorus. Dựa trên khả năng quang hợp và hấp thụ chất dinh dưỡng, vi khuẩn lam được ứng dụng trong xử lý nước thải nhằm loại bỏ các hợp chất hữu cơ và chất dinh dưỡng (N, P). Cơ chế của phương pháp quang dưỡng của vi khuẩn lam như sau:

a. Quang hợp và cố định CO₂

Vi khuẩn lam sử dụng ánh sáng như nguồn năng lượng và CO₂ làm nguồn carbon thông qua quá trình quang hợp:

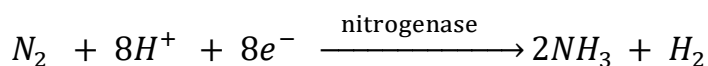


Quá trình này làm tăng hàm lượng oxy hòa tan trong nước, hỗ trợ quá trình oxy hóa sinh học và thúc đẩy sự phân hủy các chất hữu cơ.

b. Hấp thụ và chuyển hóa nitrogen

Vi khuẩn lam có khả năng hấp thụ các dạng nitrogen vô cơ như amoni (NH₄⁺), nitrat (NO₃⁻), nitrit (NO₂⁻) và chuyển hóa chúng thành sinh khối tế bào.

Một số loài có thể cố định nitrogen phân tử (N₂) trong điều kiện thiếu nitrogen, thông qua enzyme nitrogenase:



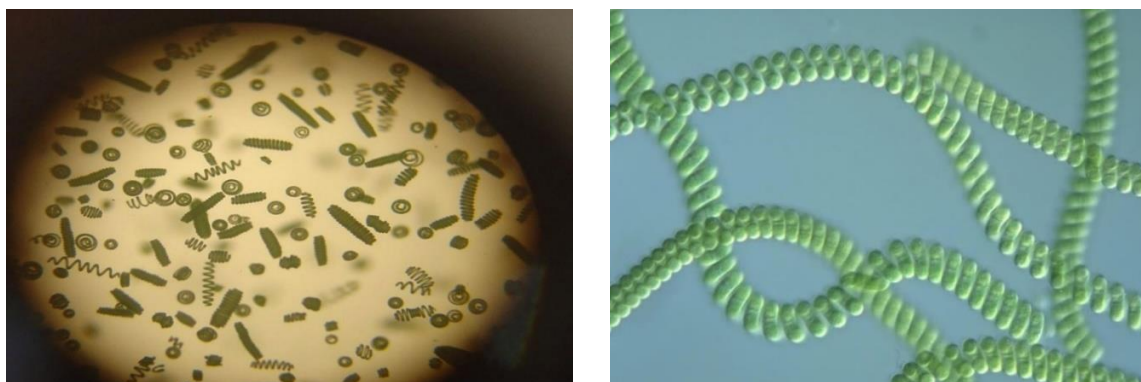
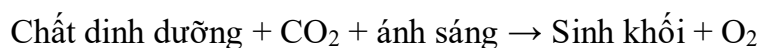
c. Hấp thụ Phosphorus

Phosphorus được hấp thụ dưới dạng orthophosphate (PO_4^{3-}) và tích lũy trong tế bào dưới dạng polyphosphate.

Khi sinh khối vi khuẩn lam được loại bỏ khỏi hệ thống, lượng lớn phosphorus cũng được loại ra khỏi nước.

d. Sinh tổng hợp sinh khối

Vi khuẩn lam chuyển hóa các hợp chất dinh dưỡng và ánh sáng thành sinh khối tế bào, góp phần giảm nồng độ ô nhiễm trong nước thải:



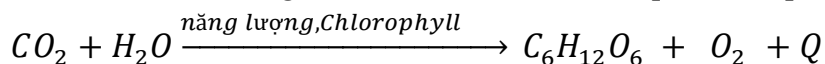
Hình 1.7. Vi khuẩn lam quang dưỡng *Spirulina*

1.3.3.2. Phương pháp tạp dưỡng

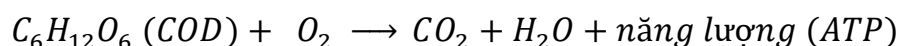
Vi khuẩn lam tạp dưỡng là nhóm vi khuẩn lam có khả năng sử dụng đồng thời hai cơ chế dinh dưỡng: quang dưỡng (sử dụng ánh sáng và CO_2) và dị dưỡng (sử dụng các hợp chất hữu cơ) để sinh trưởng. Điều này giúp chúng thích nghi tốt với nhiều điều kiện môi trường khác nhau, đặc biệt là trong nước thải có đặc tính biến đổi về ánh sáng và dinh dưỡng. Cơ chế của phương pháp tạp dưỡng của vi khuẩn lam như sau:

a. Cơ chế tạp dưỡng

Trong điều kiện có ánh sáng, vi khuẩn lam thực hiện quá trình quang hợp:



Đồng thời, chúng có thể hấp thụ các hợp chất hữu cơ (như glucose, axetat, axit amin) từ môi trường:



Hai con đường trao đổi chất này diễn ra song song, giúp tăng hiệu suất sinh trưởng và khả năng xử lý nước thải.

b. Loại bỏ chất ô nhiễm

Chất hữu cơ (BOD, COD): Được phân giải thông qua con đường dị dưỡng, giúp giảm nhanh tải lượng hữu cơ trong nước thải.

Nitrogen và Phosphorus: Được hấp thụ để xây dựng cấu trúc tế bào (protein, axit nucleic) và năng lượng (ATP, DNA).

Kim loại nặng: Một số loài vi khuẩn lam tạp dưỡng có khả năng hấp phụ hoặc tích lũy kim loại nặng trong sinh khối.

c. Sinh tổng hợp sinh khối

Sinh khối vi khuẩn lam phát triển mạnh trong môi trường giàu chất hữu cơ, và có thể tích lũy lượng lớn các hợp chất có giá trị như protein, polysaccharide và polyhydroxybutyrate (PHB) – một loại polymer sinh học.

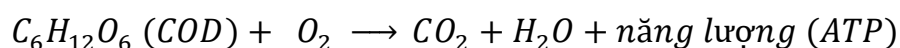
1.3.3.3. Phương pháp dị dưỡng

Vi khuẩn lam thường được biết đến với khả năng quang dưỡng, tuy nhiên nhiều loài cũng có thể sinh trưởng trong điều kiện dị dưỡng – tức là sử dụng chất hữu cơ làm nguồn carbon thay vì CO₂ và không cần ánh sáng. Phương pháp xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam dị dưỡng dựa vào khả năng phân hủy các chất hữu cơ, hấp thụ dinh dưỡng (Nitrogen, Phosphorus) và sinh trưởng trong môi trường giàu hợp chất hữu cơ. Cơ chế của phương pháp dị dưỡng của vi khuẩn lam như sau:

a. Trao đổi chất dị dưỡng

Vi khuẩn lam dị dưỡng sử dụng các hợp chất hữu cơ hòa tan trong nước thải như glucose, axetat, axit amin, peptit... để làm nguồn năng lượng và carbon cho quá trình phát triển tế bào.

Phương trình tổng quát cho hô hấp hiếu khí dị dưỡng:



Trong điều kiện yếm khí hoặc thiếu oxy, một số loài có thể lên men các hợp chất hữu cơ thành các acid béo dễ bay hơi (VFAs).

b. Loại bỏ chất hữu cơ và dinh dưỡng

Chất hữu cơ: Vi khuẩn lam dị dưỡng phân hủy các hợp chất hữu cơ (BOD, COD) nhờ enzyme nội bào và ngoại bào, chuyển hóa chúng thành CO₂, nước và sinh khối tế bào.

Nitrogen và Phosphorus: Các hợp chất Nitrogen (NH₄⁺, NO₃⁻) và Phosphorus (PO₄³⁻) được hấp thụ để phục vụ cho tổng hợp protein, axit nucleic và ATP, góp phần làm giảm nồng độ các chất dinh dưỡng trong nước thải.

c. Sinh khối và khả năng tích lũy

Vi khuẩn lam dị dưỡng có tốc độ sinh trưởng nhanh hơn so với thuần quang dưỡng hoặc dị dưỡng nhờ tận dụng đồng thời hai nguồn năng lượng và carbon, dẫn đến:

- Tăng sinh khối nhanh.

- Tích lũy protein, lipid hoặc polysaccharide cao.
- Sinh khối có giá trị sử dụng trong công nghiệp sinh học, nông nghiệp, hoặc xử lý tiếp theo.

1.3.3.4. Xử lý nước thải sinh hoạt bằng vi khuẩn lam *S. salina*

S. salina là một loài vi khuẩn lam (cyanobacteria) đơn bào, thuộc chi *Synechocystis*, được biết đến với khả năng quang hợp mạnh mẽ nhờ sở hữu hệ sắc tố chlorophyll và phycocyanin, nổi bật nhờ khả năng thích nghi với môi trường mặn và tiềm năng ứng dụng trong công nghệ sinh học bền vững.

Đặc điểm hình thái:

Ngành: Cyanobacteria

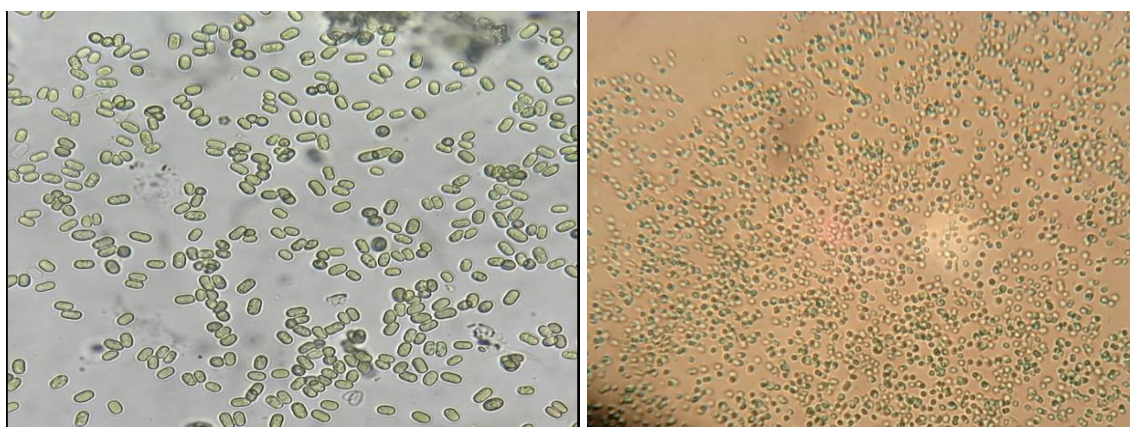
Lớp: Cyanophyceae

Bộ: Synechococcales

Họ: Merismopediaceae

Chi: *Synechocystis*

Loài: *S. salina* (Sauvageau, 1892)



Hình 1.8. Hình thái của VKL M8

S. salina thuộc nhóm vi khuẩn quang hợp, có cấu trúc tế bào hình cầu hoặc oval, không cố định đạm có đường kính (0.7–8 μm), có hoặc không có lớp nhầy mịn không màu. Chúng sở hữu hệ thống sắc tố đặc trưng gồm phycocyanin (tạo màu xanh lục lam) và chlorophyll-a, giúp hấp thụ ánh sáng hiệu quả cho quá trình quang hợp. Cấu trúc có thể là sống đơn lẻ hoặc thành cụm và có màng thylakoid phân bố đều trong tế bào (quan sát dưới kính hiển vi điện tử).

S. salina M8 là một loại vi khuẩn lam có tiềm năng công nghệ sinh học nhờ khả năng tổng hợp một số hợp chất hoạt tính sinh học. M8 là một loài VKL trong nhóm vi khuẩn lam (cyanobacteria) với khả năng quang hợp, có thể sống trong các môi trường nước mặn và nước ngọt. VKL này được biết đến với khả năng tạo ra năng lượng từ ánh sáng mặt trời thông qua quá trình quang hợp, tương tự như các loài vi khuẩn lam khác với sự tham gia của sắc tố chlorophyll a để hấp thụ ánh sáng mặt trời và chuyển hóa

thành năng lượng hóa học. Quá trình này tạo ra các sản phẩm phụ như oxy và glucose, đồng thời giúp chúng phát triển và sinh trưởng. Ngoài ra, *S. salina* còn có khả năng sản xuất polyhydroxyalkanoates (PHA), một loại polymer sinh học có thể được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp, từ nguồn carbon dioxide, giúp tránh cạnh tranh với sản xuất thực phẩm. Các nghiên cứu cũng đã khám phá khả năng chiết xuất các hợp chất có giá trị gia tăng từ *S. salina*, bao gồm các chất chống oxy hóa và sắc tố sinh học như phycocyanin, carotenoids, và phycobiliproteins, thông qua các phương pháp chiết xuất tiên tiến như chiết xuất hỗ trợ siêu âm [20]. *S. salina* có thể được sử dụng trong một nhà máy lọc sinh học để sản xuất PHB và các nhiên liệu sinh học tiên tiến. PHB từ *S. salina* có thể được chuyển đổi thành propylene và dầu sinh học thông qua quá trình hóa lỏng thủy nhiệt [21].

S. salina được ứng dụng hiệu quả trong xử lý nước thải công nghiệp chứa kim loại nặng. Thí nghiệm của Almomani và cộng sự (2020) chứng minh, loài này loại bỏ 90% asen (As(III)) trong nước mặn chỉ sau 7 ngày nhờ cơ chế hấp phụ và chuyển hóa sinh học. Khả năng này mở ra triển vọng xử lý ô nhiễm tại các khu vực khai thác khoáng sản hoặc nuôi trồng thủy sản [22]. Nghiên cứu của Zhang và cộng sự (2021) chỉ ra rằng, *S. salina* có khả năng tổng hợp lipid chiếm đến 35% trọng lượng khô khi nuôi cấy trong điều kiện thiếu nitrogen. Lipid này chứa hàm lượng cao axit béo không no (C16–C18), phù hợp để sản xuất biodiesel. Đây là giải pháp thay thế tiềm năng cho nhiên liệu hóa thạch, đặc biệt ở các vùng ven biển nơi nguồn nước mặn dồi dào [23]. *S. salina* có khả năng loại bỏ các ion amoni, nitrat, nitrit và photphat từ nước thải trong vòng 10-15 ngày sau khi cấy, cho thấy khả năng tích lũy các ion này trong sinh khối của vi khuẩn lam [24]. Ngoài ra, loài này cũng đã được chứng minh là có khả năng loại bỏ các chất dinh dưỡng như nitrogen và photpho từ nước thải, với hiệu suất loại bỏ lên đến 96% photpho và 66% nitrogen [25]. *S. salina* có khả năng sản xuất các hợp chất chống oxy hóa và sắc tố như phycobiliproteins và carotenoids. Các điều kiện tối ưu cho sản xuất sinh khối và hợp chất sinh học bao gồm nhiệt độ 25°C, pH 7,5, và nồng độ NaCl thấp [26].

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP, ĐỐI TƯỢNG VÀ VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

Nước thải sinh hoạt thu tại cống xả của khu nhà ở tập thể của Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT tại 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội.

Chủng vi khuẩn lam *S.salina* M8 được lấy từ bộ sưu tập giống được lưu giữ và nuôi cấy tại Phòng Công nghệ Hoá sinh, Viện Hoá học, Viện Hàn Lâm khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội.

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại phòng Công nghệ Hoá sinh, Viện Hoá học từ tháng 1/2025 đến tháng 5/2025.

2.2. Nguyên vật liệu, hoá chất và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Hoá chất

Môi trường thích hợp để nuôi vi tảo *S. salina* M8 là BG-11, danh mục các hợp chất cần thiết chuẩn bị cho 1 lít môi trường BG-11 được thiết lập như sau:

Bảng 2.1. Thành phần trong 1 lít môi trường BG-11

STT	Tên hóa chất	Công thức phân tử	Độ tinh khiết (%)	Xuất xứ
1	Sodium nitrate	NaNO ₃	95	Trung Quốc
2	Dipotassium phosphate	K ₂ HPO ₄	95	Trung Quốc
3	Magnesium sulfate heptahydrate	MgSO ₄ ·7H ₂ O	95	Trung Quốc
4	Calcium chloride dihydrate	CaCl ₂ ·2H ₂ O	95	Trung Quốc
5	Citric acid	C ₆ H ₈ O ₇	95	Trung Quốc
6	Ferric ammonium citrate	(NH ₄) ₅ [Fe(C ₆ H ₄ O ₇) ₂]	95	Trung Quốc
7	Disodium ethylenediaminetetraacetate dihydrate	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	95	Trung Quốc
8	Sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	95	Trung Quốc
9	Hỗn hợp vi lượng - kim loại (mix A5): H ₃ BO ₃ : 2,86g/L; MnCl ₂ ·4H ₂ O: 1,81 g/L; ZnSO ₄ ·7H ₂ O: 0,222g/L; Na ₂ MO ₄ ·2H ₂ O: 0,39g/L; CuSO ₄ ·5H ₂ O: 0,079g/L; Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O: 0,049 g/L.			
10	Ammonium chloride	NH ₄ Cl	98	Sigma
11	Sodium Acetate	C ₂ H ₃ NaO ₂		Sigma

2.2.2. Dụng cụ thí nghiệm

Để tiến hành các thí nghiệm nghiên cứu xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam *Synechocystis salina* M8, các thiết bị và hóa chất được sử dụng trong phòng thí nghiệm cần đảm bảo độ chính xác và phù hợp với yêu cầu kỹ thuật. Dưới đây là danh sách các thiết bị và hóa chất chính được sử dụng trong quá trình nghiên cứu:

Bảng 2.2. Thiết bị và hoá chất cần thiết trong PTN

STT	Tên thiết bị	Model/Thông số kỹ thuật	Nhà sản xuất
1	Cân phân tích	JF2204	Labex – Anh
2	Máy ly tâm	Z206A	Hermle, Đức
3	Máy siêu âm	Ultrasonic Cleaner	Anh
4	Nồi hấp tiệt trùng	LS-75LJ	Nanbei, Trung Quốc
5	Tủ sấy và tủ ẩm		Heraeus, Đức
6	Kính hiển vi	Kính hiển vi	OLYMPUS, Nhật Bản
7	Máy đo quang UV-Vis	U-2900/2910	Shimadzu, Nhật Bản
8	Máy đo cường độ ánh sáng	TM-204	Tenmars Electronics CO., Ltd, Đài Loan
9	Đèn LED		Rạng Đông, Việt Nam
10	Máy sục khí	HP-400	Atman, Trung Quốc
11	Van điều chỉnh lưu lượng khí		Việt Nam
12	Bình thủy tinh dùng để nuôi cấy	1 L; 2 L; 3,5 L; 5 L	SIMAX, Germany
13	Đầu lọc khí	0,22 µm	Trung Quốc
14	Ống dây Silicon		Trung Quốc
15	Ống đong	25 mL, 50mL, 100 mL, 1000 mL	Đức
16	Bình định mức	25 mL, 50 mL, 1000 mL	Đức
17	Bình nón	50 mL, 250mL	Đức
18	Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	Trung Quốc
19	Natri bicarbonat	NaHCO ₃	Trung Quốc
20	Natri nitrat	NaNO ₃	Trung Quốc
21	Kali dihydrogen photphat	KH ₂ PO ₄	Trung Quốc
22	Axit sulfuric	H ₂ SO ₄	Trung Quốc
23	Natri hiđroxit	NaOH	Trung Quốc
24	Natri acetat	CH ₃ COONa	Trung Quốc

2.2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.2.3.1. Vi khuẩn lam giống

a. Phương pháp duy trì giống

Nguồn VKL giống: *S. salina* M8 được nuôi cấy duy trì trong các bình tam giác 250 mL với thể tích làm việc 100 mL. Nhiệt độ trong quá trình nuôi cấy được duy trì ở mức 25 – 27 °C.

Nguồn sáng là 2 bóng đèn huỳnh quang với cường độ ánh sáng 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 9 tương đương 4.500 Lux), chu kỳ chiếu sáng là 24 giờ sáng, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút).

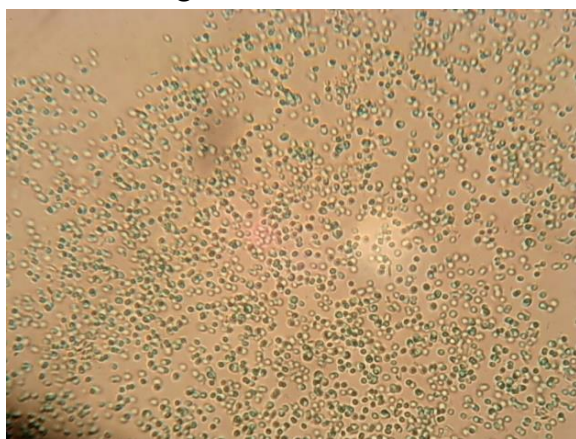
b. Phương pháp nhân giống

- Giống cấp 1:

+ *S. salina* M8 lưu trên thạch cấy vào 20 mL môi trường BG- 11 trong bình tam giác 100 mL và lắc 150 vòng/phút dưới ánh sáng trong 7 ngày.

- Giống cấp 2:

+ *S. salina* M8 giống cấp 1 (20 mL) trong bình tam giác 100 mL và cấy vào 100-150 mL môi trường BG-11 đã tiệt trùng trong bình tam giác 250-500 mL và lắc 150 vòng/phút dưới ánh sáng trong 6-8 ngày, khi tốc độ tăng trưởng của tảo đạt ổn định và để đạt mật độ tế bào trên $2,5 \times 10^5$ TB/mL (tương đương $\text{OD}_{680} = 2,5$ Abs hoặc 1,0 g/L) thì sẽ tiến hành nuôi cấy *Synechocystis salina* M8 trong môi trường nước thải để thực hiện các thí nghiệm.



Hình 2.1. Hình thái vi khuẩn lam *S. salina* M8

2.2.3.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích chất lượng nước thải sinh hoạt

a. Phương pháp lấy mẫu và bảo quản nước thải

Mẫu nước thải được lấy tại công thoát nước thải (sau khi xử lý sơ bộ tại bể phốt 3 ngăn) của nhà B2 tại khu nhà ở giáo viên tại 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội vào lúc 8h ngày 18/01/2025. Toạ độ: X = 2 321 500, Y = 594 624.

Nước thải được lấy theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5999:1995 (ISO 5667/10: 1992) về chất lượng nước - lấy mẫu – hướng dẫn lấy mẫu nước thải; Bảo quản theo tiêu

chuẩn Quốc gia TCVN 6663-3:2016 (ISO 5667-3:2012) về chất lượng nước – Lấy mẫu – Phần 3: Bảo quản và xử lý mẫu nước để đảm bảo tính đại diện và độ chính xác của mẫu trong quá trình thực hiện thí nghiệm.

Nước thải đựng vào can 5-10 L và đưa về Phòng thí nghiệm Công nghệ Hóa sinh, Viện Hóa học

b. Phương pháp tiền xử lý và phân tích mẫu nước thải trong phòng thí nghiệm

Nước thải được xử lý sơ bộ bằng phương pháp lọc qua giấy lọc có kích thước lỗ 3 - 7 μm trong 30 phút để loại bỏ rác, hạt lơ lửng trước khi tiến hành các thí nghiệm.

* Phương pháp đo nhanh các thông số trong nước thải (đo nhanh các thông số pH, nhiệt độ).

* Phương pháp phân tích mẫu nước thải trong phòng thí nghiệm

- TCVN 6625:2000 (ISO 11923:1997) về chất lượng nước - Xác định chất rắn lơ lửng bằng cách lọc qua cái lọc sợi thủy tinh;

- TCVN 6202:2008 – Tiêu chuẩn Việt Nam về chất lượng nước – Xác định Phosphate và Phosphorus, phương pháp đo phổ dùng amoni moliphat;

- TCVN 6180:1996 ISO 7890-3:1998 (E): Tiêu chuẩn Việt Nam về chất lượng nước – Xác định Nitrat, phương pháp trắc phổ dùng axit sunfosalixylic;

- TCVN 6179-1:1996 - Tiêu chuẩn Việt Nam về chất lượng nước – Xác định amoni;

- TCVN 6491:1996 - Tiêu chuẩn Việt Nam về chất lượng nước – Xác định nhu cầu oxy hoá học.

Mỗi mẫu thí nghiệm được đo lặp lại 02 lần để đảm bảo độ tin cậy thống kê và kết quả đo được trình bày bằng giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn.

2.3. Phương pháp nuôi *S. salina* M8 trong nước thải sinh hoạt

2.3.1. Chuẩn bị giống

Quy trình nuôi cấy *S. salina* M8 đòi hỏi việc chuẩn bị giống đảm bảo tính thuần khiết và hoạt tính sinh trưởng tối ưu. Các chủng vi khuẩn lam M8 cần được duy trì trong môi trường nuôi cấy tiêu chuẩn như môi trường BG-11. Trước khi đưa vào hệ thống nuôi trong nước thải sinh hoạt, các giống vi khuẩn lam được nhân giống sơ bộ trong môi trường dinh dưỡng thích hợp dưới điều kiện ánh sáng liên tục (40–60 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) và nhiệt độ tối ưu (25 – 27°C).

Việc kiểm tra mật độ tế bào bằng phương pháp đo mật độ quang (OD_{680}) để xác định thời điểm thích hợp chuyển giống sang bình có dung tích lớn hơn. Ngoài ra, cần kiểm tra độ thuần khiết của giống để tránh nhiễm tạp các vi sinh vật không mong muốn.



Hình 2.2. Nhân giống *S. salina* M8 trong bình 250 mL (A) và 2000-5000 mL (B) trong phòng thí nghiệm

2.3.2. Chuẩn bị nước thải

Nước thải sinh hoạt được thu thập và xử lý sơ bộ trước khi sử dụng để nuôi cấy vi khuẩn lam. Các bước chuẩn bị bao gồm:

- Lọc và lắng cặn: Nước thải được xử lý sơ bộ bằng phương pháp lọc qua giấy lọc có kích thước lỗ 3 - 7 μm trong 30 phút để loại bỏ rác, hạt lơ lửng trước khi tiến hành các thí nghiệm.

- Điều chỉnh pH: Duy trì pH trong khoảng 5 – 9 để đảm bảo môi trường phù hợp cho sự phát triển của VKL. pH được điều chỉnh bằng dung dịch axit (H_2SO_4) 0,1N hoặc bazơ (NaOH) 0,1N.

2.3.3. Bố trí thí nghiệm

a. Khảo sát ảnh hưởng của mật độ giống ban đầu lên khả năng sinh trưởng của *S. salina*

Để lựa chọn được mật độ giống thích hợp cho sự sinh trưởng của *S. salina* M8, chủng này được nuôi trong các bình Duran 1L với môi trường BG-11. Mật độ tảo giống ban đầu tại các thí nghiệm với tỷ lệ tảo giống 10%, 15%, 20% và 25% (v/v). Các thí nghiệm được thực hiện trong thời gian 8 ngày với điều kiện nhiệt độ 27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ chiếu sáng 4.500 Lux, chu kỳ sáng là 24h. Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại 02 lần.



Hình 2.3. Thí nghiệm nuôi *S.salina* M8 trong NTSH

*b. Khảo sát ảnh hưởng của pH đến khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8 và hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt*

Thí nghiệm tiến hành trong các bình Duran 1L tại các giá trị pH từ (5, 6, 7, 8, 9), với mật độ *S.salina* M8 ban đầu được lựa chọn là mật độ có khả năng sinh trưởng tối ưu từ thí nghiệm (a). pH được điều chỉnh pH trong môi trường nước thải bằng axit (H_2SO_4) hoặc bazơ (NaOH) trong các thí nghiệm. Các điều kiện thí nghiệm như sau: nhiệt độ $27^\circ C$, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ chiếu sáng 4.500 Lux, chu kỳ sáng là 24h. Mỗi mẫu thí nghiệm được thực hiện đo lặp lại 02 lần. Sự sinh trưởng và hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của *S.salina* M8 được theo dõi trong 8 ngày, các chỉ tiêu phân tích chất lượng nước thải sau xử lý bao gồm: $N-NH_4^+$, T-N, T-P, PO_4^{3-} , COD.

*c. Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ C:N:P đến khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8 và hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt*

Thí nghiệm tiến hành trong các bình Duran 1L tại các tỷ lệ C:N:P = (100:10:1), (100:5:1), (100:10:0,5), (100:15:1). Điều chỉnh thành phần dinh dưỡng bằng cách bổ sung nguồn cacbon (acetate), nitrogen ($NaNO_3$) và phosphorus (K_2HPO_4). Các điều kiện thí nghiệm như sau: nhiệt độ $27^\circ C$, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ chiếu sáng 4.500 Lux, chu kỳ sáng là 24h, mật độ tảo giống lựa chọn dựa vào kết quả thí nghiệm (a) và pH tối ưu được lựa chọn dựa vào kết quả thí nghiệm (b). Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại 02 lần. Sự sinh trưởng và hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của *S.salina* M8 được theo dõi trong 8 ngày, các chỉ tiêu phân tích chất lượng nước thải sau xử lý bao gồm: $N-NH_4^+$, T-N, T-P, PO_4^{3-} , COD.

*d. Phương pháp đánh giá sự sinh trưởng của *S.salina* M8*

Với mục đích xác định sự sinh trưởng của *S. salina* M8 trong môi trường nuôi cấy, phương pháp đo mật độ quang học (Optical Density – OD) dựa trên khả năng hấp thụ ánh sáng của các sắc tố Chlorophyll trong tế bào được sử dụng. Sự sinh trưởng của *S. salina* M8 được theo dõi bằng cách đo độ hấp thụ quang tại bước sóng 680 nm (OD₆₈₀) bằng máy quang phổ UV-Vis. Giá trị OD₆₈₀ tỷ lệ thuận với mật độ sinh khối trong môi trường.

Tiến hành đo mật độ quang với tần suất 1 lần/ngày vào cùng thời điểm trong ngày. Trước khi đo cần lắc đều bình thí nghiệm và dùng pipet lấy 5 mL dung dịch thí nghiệm cho vào cuvet sạch. Đặt cuvet vào máy đo quang ở bước sóng 680 nm sau đó ghi lại giá trị OD₆₈₀ của mẫu. Xây dựng đường chuẩn OD₆₈₀ theo thời gian để theo dõi sự sinh trưởng của *S. salina* M8.



Hình 2.4. Máy đo quang phổ UV-Vis

e. Đo pH, nhiệt độ

Các thông số môi trường như pH và nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong sự sinh trưởng và khả năng tổng hợp PHB của vi khuẩn lam. pH môi trường được đo bằng máy đo pH cầm tay để theo dõi sự thay đổi theo thời gian. Nhiệt độ của hệ thống nuôi cấy được kiểm soát và đo bằng nhiệt kế điện tử.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm được bố trí theo thiết kế hoàn toàn ngẫu nhiên với các biến độc lập gồm tỷ lệ tảo giống, pH và tỷ lệ C:N:P với biến phụ thuộc là mật độ quang học (OD₆₈₀). Mỗi mẫu thí nghiệm được đo lặp lại 02 lần để đảm bảo độ tin cậy thông kê và kết quả đo được trình bày bằng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Số liệu thô được xử lý trên phần mềm Excel 2016 của Microsoft. Hiệu suất xử lý COD, N-NH₄⁺, T- N, P- PO₄³⁻ và T-P được xác định theo công thức:

$$H_i = \left(1 - \frac{C_i}{C_{0i}}\right) \times 100$$

Trong đó H_i là hiệu suất xử lý; C_{0i} là giá trị nồng độ các thông số của nước thải đầu vào (mg/L); và C_i là giá trị nồng độ các thông số của nước thải sau xử lý (mg/L).

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát mẫu nước thải sinh hoạt

Mẫu nước thải được lấy ở cống thoát nước tại khu vực nhà ở giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT. Qua quan sát bằng cảm quan nhận thấy nước thải có mùi hôi, chứa nhiều cặn lơ lửng và các vẩn đục màu trắng. Cặn lơ lửng và độ màu cao sẽ ảnh hưởng đến khả năng khuếch tán của ánh sáng vào trong nước, làm giảm hiệu suất quang hợp của vi tảo, do đó nước thải sinh hoạt khi đưa về phòng thí nghiệm cần được lọc qua giấy lọc có kích thước lỗ 3 - 7 μm trong 30 phút nhằm loại bỏ cặn lơ lửng, cặn có kích thước lớn và giảm độ đục trước khi tiến hành nuôi cấy *S.salina* M8. Trước khi tiến hành các thí nghiệm, nước thải sinh hoạt được phân tích các thông số ô nhiễm cơ bản nhằm đánh giá hàm lượng các chất như COD, Nitrogen, phosphorus để sử dụng nuôi cấy *S.salina* M8 và đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như mật độ tảo giống, pH, tỷ lệ các chất dinh dưỡng COD, TN, TP đến sự sinh trưởng và hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm có trong nước thải sinh hoạt bằng *S.salina* M8.

Bảng 3.1. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước khi nuôi VKL

STT	Thông số	Đơn vị	Hàm lượng	QCVN 14:2008/BTNMT (Cột B)
1	pH	-	$7,3 \pm 0,2$	5-9
2	Nhiệt độ	$^{\circ}\text{C}$	$25,67 \pm 0,21$	-
3	TSS	mg/L	$1,4 \pm 0,2$	100
4	N- NO_3^-	mg/L	$3,2 \pm 0,1$	50
5	N- NH_4^+	mg/L	$32,12 \pm 0,42$	10
6	Tổng N	mg/L	$36,12 \pm 0,52$	-
7	P- PO_4^{3-}	mg/L	$5,2 \pm 0,15$	10
8	Tổng P	mg/L	$6,3 \pm 0,2$	-
9	COD	mg/L	$325,6 \pm 0,3$	-

Các số liệu phân tích nước thải được thể hiện trên bảng 3.1 cho thấy nước thải sinh hoạt đã qua lọc và trước khi đưa vào xử lý bằng *S.salina* M8 có môi trường pH trung tính. Hàm lượng COD dao động trong khoảng $325,6 \pm 0,3$ mg/L. Nước thải giàu Nitrogen trong đó hàm lượng amoni (N- NH_4^+) cao với nồng độ trong khoảng $32,12 \pm 0,42$ mg/L và N- NO_3^- có hàm lượng thấp $3,2 \pm 0,1$ mg/L. Hàm lượng photphat (PO_4^{3-}) là dạng hợp chất phosphorus chủ yếu được tìm thấy trong nước thải sinh hoạt với nồng độ dao động $5,2 \pm 0,15$ mg/L. Tổng nitrogen T-N và tổng phosphorus T-P ghi nhận trong

nghiên cứu này nằm tương ứng trong khoảng $36,12 \pm 0,52$ mg/L và $6,3 \pm 0,2$ mg/L (tỷ lệ C:N:P \approx 52:6:1). Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) sau lọc khoảng $1,4 \pm 0,2$ mg/L và không ảnh hưởng đến khả năng khuếch tán của ánh sáng vào trong nước. Để nuôi *S.salina* M8, giá trị pH trong nước thải sinh hoạt từ mẫu thu tại cống thải là phù hợp với chủng *S.salina* M8 trong môi trường chuẩn BG-11 đồng thời kết quả phân tích cho thấy nước thải sinh hoạt được sử dụng trong thí nghiệm này chứa các chất dinh dưỡng thiết yếu như carbon, nitrogen, các hợp chất phosphorus cần thiết cho sự phát triển của tảo.

3.2. Ảnh hưởng của mật độ VKL (VKL giống) ban đầu lên khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8

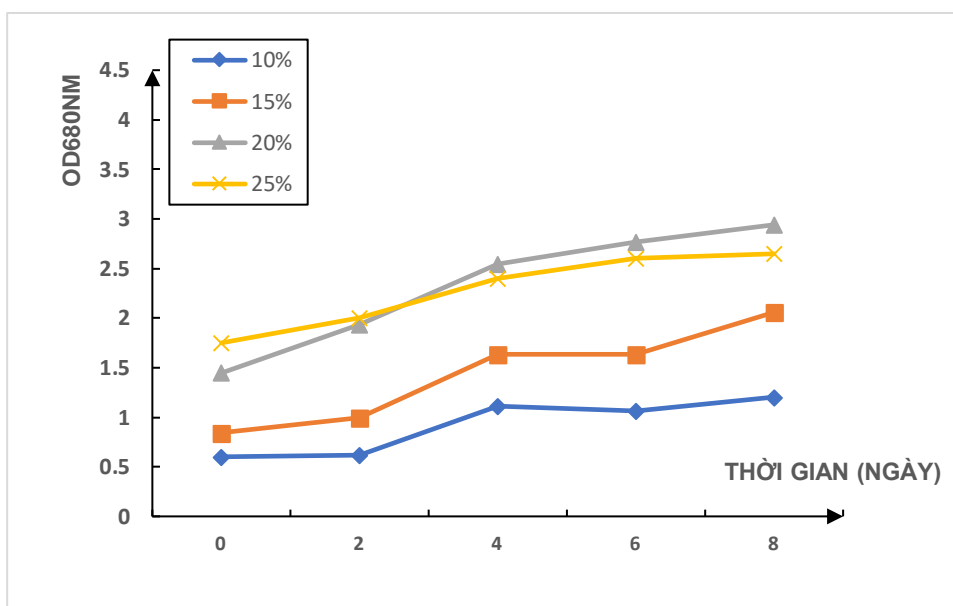
Mật độ cấp giống ban đầu có vai trò quan trọng và ảnh hưởng đến sinh trưởng của *S.salina* M8 trong môi trường dinh dưỡng. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này các tỷ lệ cấp giống ban đầu được khảo sát lần lượt là 10%, 15%, 20% và 25% (v/v). Sinh trưởng của *S.salina* M8 được theo dõi và đo mật độ quang ở các mốc thời gian T = 0; 2; 4; 6 và 8 ngày (Hình 3.1).



Hình 3.1. Thí nghiệm nuôi *S.salina* M8 trong nước thải sinh hoạt với tỷ lệ tảo giống khác nhau

Bảng 3.2. Ảnh hưởng của mật độ giống đến sự sinh trưởng của *S.salina* M8

Thời gian \ OD _{680nm}	10%	15%	20%	25%
T0	0,601 ± 0,02	0,844 ± 0,01	1,466 ± 0,01	1,75 ± 0,01
T2	0,618 ± 0,015	0,992 ± 0,016	1,930 ± 0,015	2,0 ± 0,13
T4	1,108 ± 0,15	1,636 ± 0,124	2,548 ± 0,002	2,4 ± 0,05
T6	1,065 ± 0,025	1,632 ± 0,008	2,769 ± 0,01	2,6 ± 0,01
T8	1,203 ± 0,026	2,058 ± 0,009	2,941 ± 0,05	2,648 ± 0,04



Hình 3.2. Sinh trưởng của *S.salina* M8 ở mật độ giống đầu vào khác nhau

Số liệu hình cho thấy lượng cấp giống ban đầu có ảnh hưởng rõ rệt đến tốc độ sinh trưởng của VKL. Ở các tỉ lệ 10% và 15% VKL, tốc độ sinh trưởng tăng trưởng tăng dần sau từng ngày tuy nhiên vẫn thấp hơn so nhiều so các tỉ lệ khác. Sau 8 ngày nuôi, giá trị OD₆₈₀ của 10% và 15% VKL lần lượt đạt $1,203 \pm 0,026$ và $2,058 \pm 0,009$. Điều này cho thấy lượng giống cấp ban đầu thấp làm sinh khối đạt được không cao, dẫn đến mật độ sinh khối thấp.

Trong khi đó, ở tỉ lệ 20% và 25% VKL, sinh trưởng tăng nhanh hơn và đạt giá trị cực đại sau 8 ngày với OD₆₈₀ lần lượt là $2,941 \pm 0,05$ và $2,648 \pm 0,04$. Đặc biệt, tỉ lệ 20% VKL cho kết quả sinh trưởng tốt nhất với giá trị OD₆₈₀ cao nhất (tương ứng là $2,941 \pm 0,05$). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, khẳng định rằng mật độ VKL nuôi ban đầu ảnh hưởng lớn đến hiệu suất quang hợp và tốc độ tăng trưởng của sinh khối [27]. Đối với tỉ lệ 25% tuy OD_{680nm} có tăng nhưng không ổn định, điều này cho thấy tỉ lệ đầu vào nếu quá cao sẽ khiến VKL che khuất ánh sáng của nhau làm giảm hiệu suất quang hợp và sự cạnh tranh về chất dinh dưỡng trong môi trường nuôi do đó là nguyên nhân tảo tăng trưởng kém. Do đó, tỷ lệ cấp giống 20% VKL được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

3.3. Ảnh hưởng của pH đến sinh trưởng của *S.salina* M8 và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt.

3.3.1. Đánh giá ảnh hưởng của pH lên khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8

pH là yếu tố chỉ thị, phản ánh các thành phần nuôi dưỡng cung cấp cho môi trường nuôi dưỡng VKL, chủ yếu là nguồn bicarbonat và khí CO₂ hòa tan, pH là một trong những nhân tố môi trường có ảnh hưởng rất lớn lên sự sinh trưởng của VKL

Thí nghiệm với 5 bình dung tích 1000 ml, trong đó mỗi bình chứa 100ml VKL giống M8 (tương ứng với mật độ VKL giống ban đầu được lựa chọn là 20%) từ thí nghiệm trên cùng 400ml nước thải. Tiến hành thí nghiệm ở các độ pH từng bình lần lượt bằng pH = 5, 6, 7, 8, 9. Điều kiện nuôi cấy được giữ ổn định: nhiệt độ phòng nuôi là 27°C, cường độ ánh sáng 4.500 Lux, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút). Sự sinh trưởng và hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của *S.salina* M8 được theo dõi trong 8 ngày, các chỉ tiêu phân tích chất lượng nước thải sau xử lý bao gồm: N-NH₄⁺, T-N, T-P, PO₄³⁻, COD.

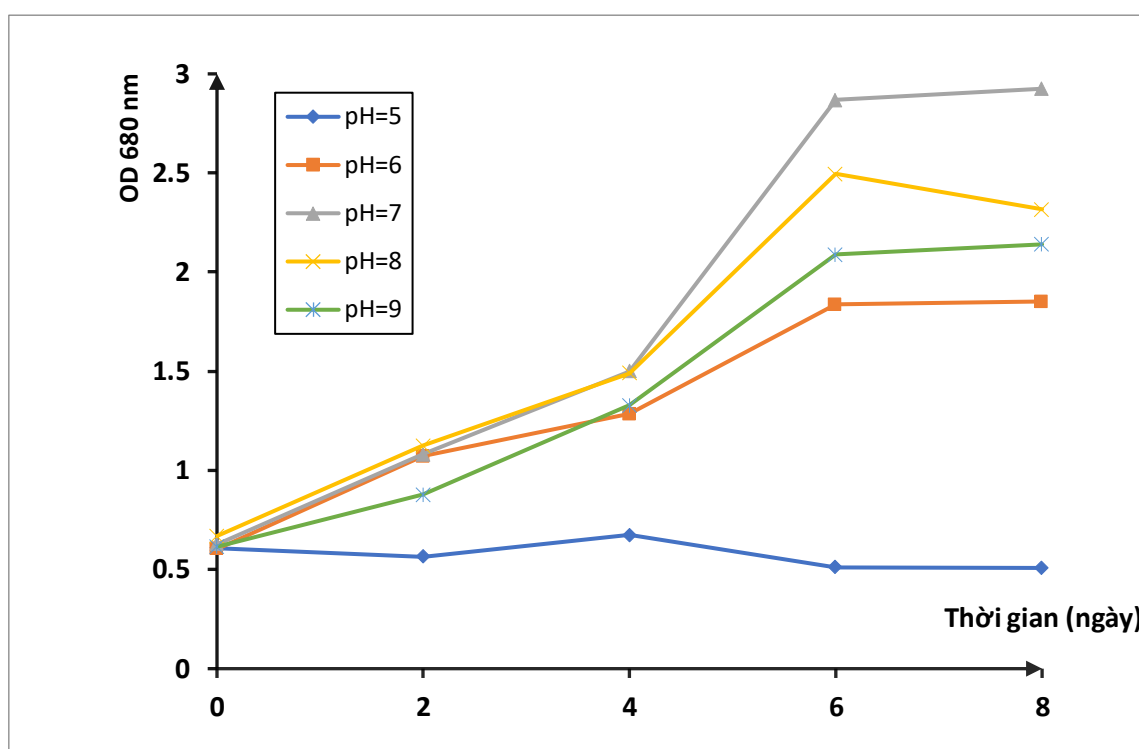


Hình 3.3. Thí nghiệm nuôi *S.salina* M8 trong NTSH với khoảng giá trị pH khác nhau

Trong suốt quá trình nuôi cấy *Synechocystis salina* M8 ở các điều kiện pH khác nhau (từ pH =5-9), giá trị pH của môi trường được theo dõi định kỳ bằng máy đo pH cầm tay. Mật độ sinh khối được xác định thông qua đo độ hấp thụ quang học tại bước sóng 680 nm (OD₆₈₀) theo các mốc thời gian từ ngày (T₀–T₈). Bảng 3.3 và Hình 3.4, 3.5 thể hiện chi tiết sự thay đổi mật độ quang và pH sau mỗi lần đo trong từng điều kiện thí nghiệm:

Bảng 3.3. Ảnh hưởng của pH lên sự sinh trưởng của *S. salina* M8

Ngày		T0	T2	T4	T6	T8
pH=5	OD _{680nm}	0,609±0,064	0,564±0,015	0,675±0,124	0,512±0,01	0,508±0,003
	pH sau	6	6,5	6,5	6	6,5
pH=6	OD _{680nm}	0,603±0,057	1,070±0,03	1,284±0,061	1,836±0,051	1,852±0,016
	pH sau	7	7,5	6,5	6,5	6,5
pH=7	OD _{680nm}	0,627±0,02	1,082±0,012	1,5±0,032	2,868±0,041	2,925±0,002
	pH sau	7	9	8,5	8	8
pH=8	OD _{680nm}	0,669±0,008	1,124±0,011	1,491±0,006	2,496±0,013	2,315±0,005
	pH sau	7,5	9	9	9,5	9,5
pH=9	OD _{680nm}	0,615±0,025	0,878±0,004	1,329±0,002	2,088±0,013	2,14±0,009
	pH sau	8,5	9	8,5	8,5	9



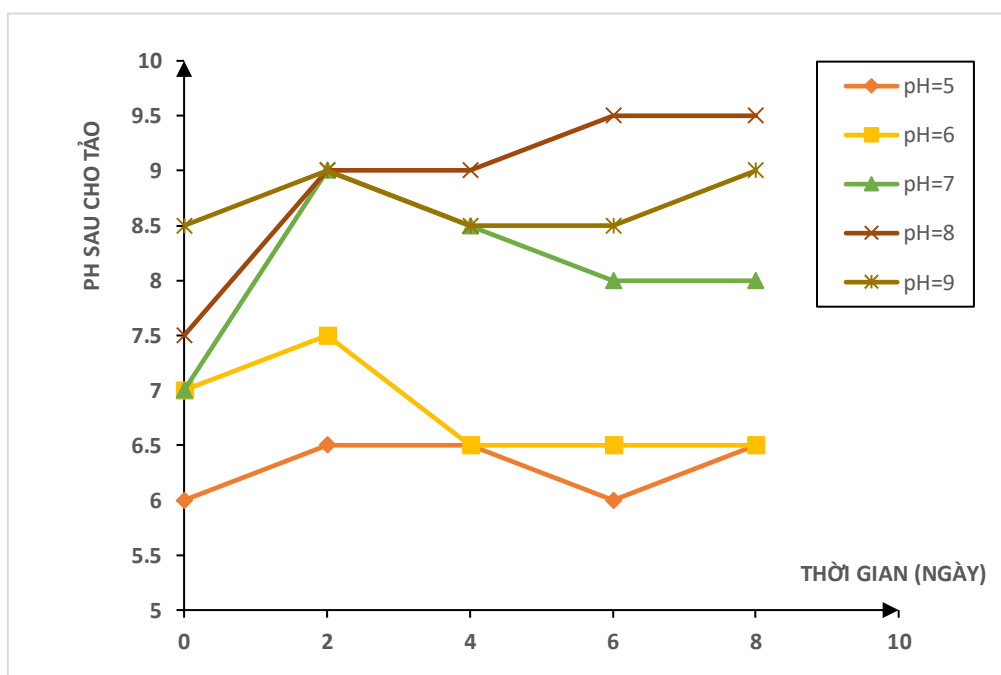
Hình 3.4. Sinh trưởng của *S.salina* M8 ở các pH khác nhau, tỷ lệ tạo giống 20%

Kết quả cho thấy độ hấp thụ quang tăng dần theo thời gian ở hầu hết các giá trị pH cho thấy sự phát triển của VKL.

Tại pH = 5 độ hấp thụ quang ban đầu là $0,609 \pm 0,064$ và có sự thay đổi nhẹ sau đó giảm dần từ ngày T3 sang T6 cho thấy môi trường này không thuận lợi cho sự phát triển của VKL, trong khi tại pH= 6-9, độ hấp thụ quang tăng dần trong những ngày đầu và tiếp tục tăng đến ngày T6 và T8 cho thấy VKL phát triển tốt trong khoảng pH trung tính đến kiềm. Tại pH=7 giá trị OD_{680nm} cao nhất là $2,925 \pm 0,002$ vào ngày T8 cho thấy đây là điều kiện tối ưu cho sự phát triển của VKL; pH=8 giá trị OD_{680nm} cũng phát triển

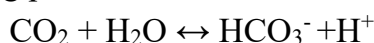
tốt, tuy nhiên có giảm hơn so với pH=7, OD_{680nm} vào T6 là 2,496± 0,013 sau đó giảm nhẹ xuống 2,315± 0,005 vào T8.

Tại pH=6 và pH=9 giá trị OD_{680nm} cũng tăng dần đến ngày T8 nhưng không cao bằng pH=7 hoặc pH=8.

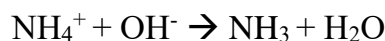


Hình 3.5. Biểu đồ sự thay đổi của pH sau khi cho *S.salina* M8 vào NTSH

Qua biểu đồ ta thấy sau khi cho *S.salina* M8 vào các thí nghiệm đều cho thấy giá trị của pH đều tăng. Điều này là do quá trình quang hợp của VKL làm giảm CO₂ trong nước và tăng pH. VKL sử dụng CO₂ trong quá trình quang hợp để tạo ra oxy và chất hữu cơ. Khi CO₂ bị hấp thụ, cân bằng cacbonat trong nước bị thay đổi, dẫn đến giảm H₂CO₃ (axit cacbonic) và làm tăng pH của nước:



Khi CO₂ giảm, phản ứng sẽ dịch chuyển về bên trái, làm giảm H⁺ và tăng pH. Ngoài ra VKL còn có thể do hấp thụ NH₄⁺ làm nguồn nitrogen cho sự phát triển của chúng. Quá trình này giải phóng OH⁻ vào môi trường, làm tăng pH:



Khi NH₄⁺ bị giảm, cân bằng hóa học dịch chuyển, làm tăng pH.

Qua biểu đồ ta thấy rằng tại pH=5 giá trị pH sau khi cho VKL tăng lên pH=6 vào T0 sau đó tăng dần lên 6,5 và ổn định cho đến T8. Tại pH=6 thì có sự tăng nhẹ từ T0 cho đến T2 sau đó giảm dần và ổn định tại T3 đến T8. Tại pH=7 có sự thay đổi rõ nhất, tăng từ T0 đến T2 và đạt đỉnh tại T2 với pH sau khi cho VKL vào pH=9, sau đó giảm dần và ổn định tại T8.

Ở pH=8, giá trị pH sau khi cho VKL vào tăng từ T0 đến T2, sau đó giảm dần nhưng vẫn duy trì ở mức cao hơn so với T0. Ở pH=9, giá trị giảm xuống 8,5 ở ngày T0 sau đó tăng dần lên pH=9 và ổn định tại T8.

Như vậy, sau khi nuôi *S.salina* M8 trong NTSH, pH có xu hướng tăng lên chậm trong giai đoạn đầu do đây là giai đoạn VKL thích nghi dần với môi trường, đặc biệt ở pH =7 và pH =8 (môi trường kiềm nhẹ). Sau thời gian nuôi T= 8 ngày pH đạt mức ổn định cho thấy *S.salina* M8 đã thích nghi với môi trường.

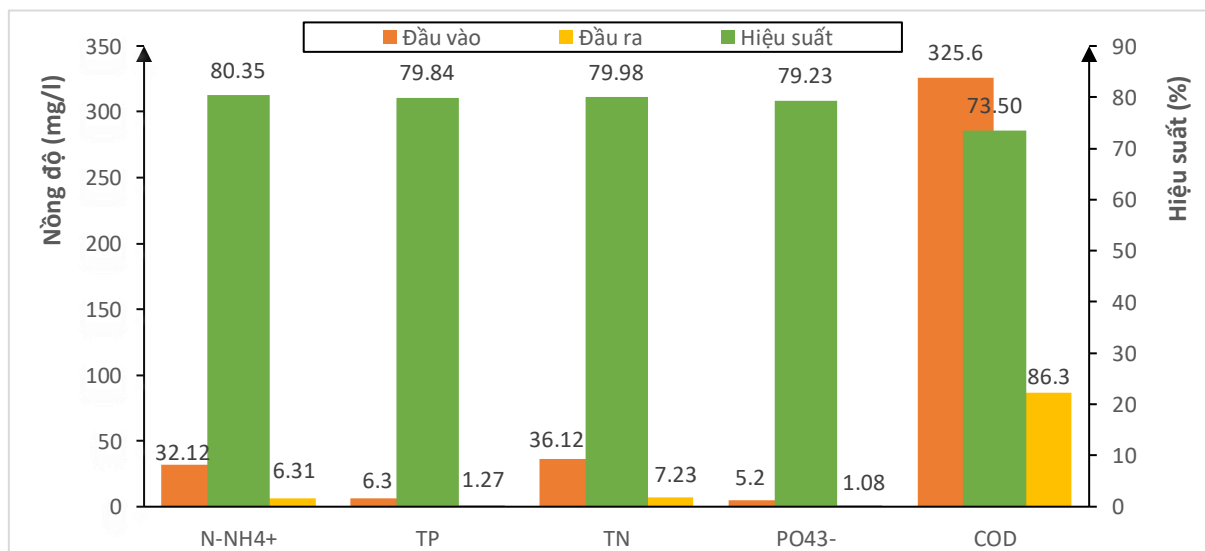
Kết luận: Ở pH = 7 được coi là môi trường tối ưu nhất cho sự phát triển của VKL M8, với độ hấp thụ quang cao nhất ($OD_{680nm} = 2,925 \pm 0,002$) và sự tăng trưởng mạnh mẽ qua các mốc thời gian. Các pH ngoài khoảng 7–8 không phù hợp (đặc biệt là pH 5, 6 và 9), dẫn đến sự phát triển yếu hoặc môi trường không ổn định.

3.3.2. Đánh giá hiệu quả xử lý NTSH của *S.salina* M8 tại giá trị pH = 7

Đồng thời với sự sinh trưởng tối ưu của *S.salina* M8 tại giá trị pH = 7 sau 8 ngày nuôi cấy, kết quả phân tích nồng độ và hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt được thể hiện trong bảng 3.4 và hình 3.6.

Bảng 3.4. Nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH khi xử lý bằng M8 tại pH = 7

pH = 7.0	N-NH ₄ ⁺	TN	PO ₄ ³⁻	TP	COD
Trước xử lý (mg/L)	32,12 ± 0,42	36,12 ± 0,52	5,2 ± 0,15	6,3 ± 0,2	325,6 ± 0,3
Sau xử lý (mg/L)	6,31 ± 0,22	7,23 ± 0,25	1,08 ± 0,05	1,27 ± 0,15	86,3 ± 0,5
Hiệu suất (%)	80,35 ± 0,33	79,98 ± 0,41	79,23 ± 0,51	79,84 ± 0,28	73,5 ± 0,12



Hình 3.6. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý

Từ hình 3.6 có thể thấy sau 8 ngày thí nghiệm, hàm lượng N-NH₄⁺, T-P, T-N, PO₄³⁻, COD tại giá trị pH=7 đều giảm. Trong đó, hàm lượng N-NH₄⁺ có hiệu suất xử lý cao nhất đạt 80,35 ± 0,33% với hàm lượng amoni đầu vào là 32,12 ± 0,42 mg/L xuống

6,31 ± 0,22 mg/L ở đầu ra. Điều đó cho thấy khả năng xử lý amoni của M8 là rất tốt. Hàm lượng T-N đạt 79,98±0,41% tương ứng giảm từ 36,12± 0,52 mg/L còn 7,23± 0,25 mg/L cho thấy khả năng hấp thụ hiệu quả của M8 đối với các chất dinh dưỡng. Tương tự có thể thấy khả năng loại bỏ PO₄³⁻ cũng đạt hiệu suất cao, đạt 79,23 ±0,51% giảm từ 5,2 ± 0,15 mg/L xuống còn 1,08± 0,05 mg/L. Hàm lượng T-P giảm từ 6,3 ± 0,2 mg/L xuống còn 1,27± 0,15 mg/L (đầu ra) với hiệu suất xử lý là 79,84 ±0,28% sau 8 ngày thí nghiệm. Bên cạnh khả năng loại bỏ các chất dinh dưỡng (nitrogen, phosphorus) thì khả năng khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) cũng được thể hiện trên hình 3.6. Hàm lượng COD đầu vào là 325,6 ± 0,3 mg/l giảm còn 86,3± 0,5 mg/l với hiệu suất 73,5± 0,12 %. Mặc dù hiệu suất xử lý COD thấp hơn so với các chỉ tiêu khác, tuy nhiên vẫn có mức giảm đáng kể cho thấy khả năng xử lý hiệu quả của M8 trong việc loại bỏ phần lớn các chất hữu cơ gây ô nhiễm.

3.4. Ảnh hưởng của tỉ lệ C/N/P đến sinh trưởng của vi khuẩn lam và và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt bởi *S. salina* M8.

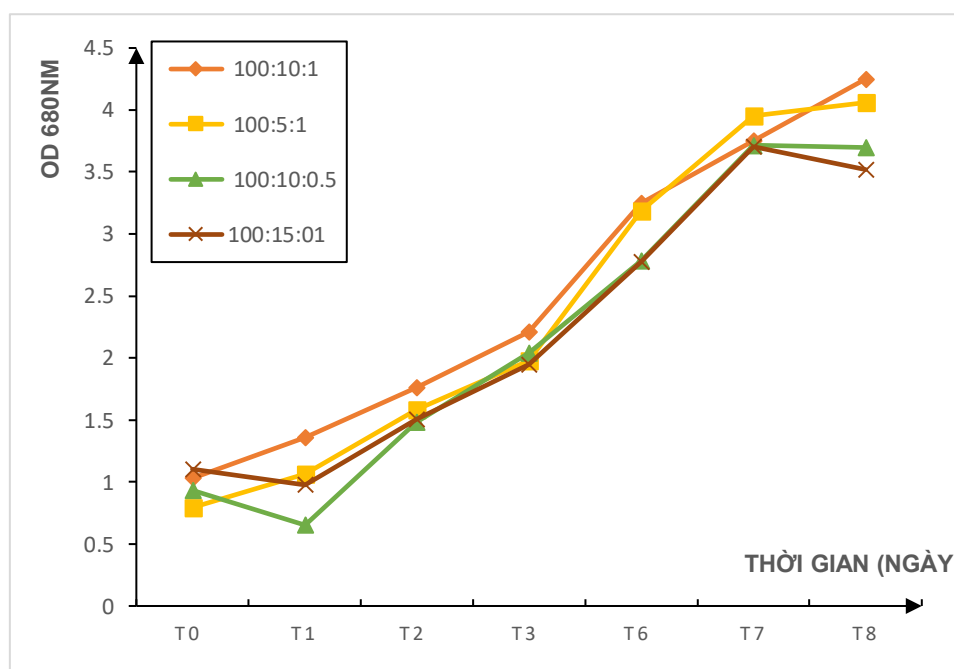
Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ các chất dinh dưỡng tỷ lệ C/N/P đến tăng trưởng và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt bởi *S. salina* M8 được tiến hành ở các tỷ lệ khác nhau như sau 100:10:1; 100:5:1; 100:10:0.5; 100:15:1 với mật độ VKL ban đầu 20% (v/v), pH = 7, cường độ ánh sáng 4.500 Lux, nhiệt độ 27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút). Kết quả sinh trưởng của *S. salina* M8 tại các tỷ lệ C/N/P và hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải bao gồm: N-NH₄⁺, T-N, T-P, PO₄³⁻, COD nước thải sau 8 ngày được thể hiện trong các Bảng 3.5 và Hình 3.7.



Hình 3.7. Thí nghiệm nuôi VKL M8 tại các tỉ lệ C/N/P khác nhau

Bảng 3.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ C/N/P đến sinh trưởng của *S.salina* M8

Tỷ lệ C:N:P Mật độ quang OD ₆₈₀	100:10:1	100:5:1	100:10:0.5	100:15:1
T0 (8/4/2025)	1,03±0,02	0,794±0,23	0,936±0,16	1,1±0,15
T1 (9/4/2025)	1,362±0,012	1,064±0,31	0,652±0,82	0,976 ±0,011
T2 (10/4/2025)	1,76±,0,014	1,58±0,16	1,48±0,25	1,504±0,2
T3 (11/4/2025)	2,211±0,01	1,977±0,24	2,037±0,45	1,947±0,23
T6 (14/4/2025)	3,248±0,011	3,188±0,15	2,787±0,12	2,778±0,15
T7 (15/4/2025)	3,75±0,009	3,95±0,015	3,716±0,006	3,704±0,003
T8 (16/4/2025)	4,25±0,015	4,06±0,012	3,695±0,002	3,52±0,001



Hình 3.8. Sinh trưởng của *S. salina* M8 ở tỷ lệ C/N/P khác nhau

Nhận xét: Từ hình 3.8 có thể thấy rằng tất cả các nghiệm thức đều cho thấy xu hướng tăng trưởng của *S. salina* M8 tại các tỉ lệ C/N/P rõ rệt tại OD_{680nm}. Tại C/N/P = 100:10:1, OD_{680nm} đạt giá trị cao nhất từ T1 về sau, tốc độ tăng dần và ổn định từ T3 đến T7 và đạt đỉnh tại T8 là 4,25±0,015. Điều này cho thấy đây là tỷ lệ tối ưu cho sự sinh trưởng của *S. salina* M8 trong NTSH. Đối với tỉ lệ C/N/P = 100:5:1, giá trị OD_{680nm} ban đầu thấp tuy nhiên cũng tăng dần đến T8 là 4,06±0,012 gần bằng với tỉ lệ 100:10:1, cho thấy rằng tỉ lệ nitrogen thấp vẫn đủ cung cấp cho sự phát triển của *S. salina* M8 khi phosphorus được giữ ở mức đầy đủ. Tỉ lệ C/N/P=100:10:0.5 có giá trị OD_{680nm} ban đầu tại T1 thấp hơn các tỉ lệ khác do thiếu hụt phosphorus làm hạn chế tăng trưởng, sau đó giá trị bắt đầu tăng trưởng đáng kể và đạt OD_{680nm} = 3,695±0,002 tại T8. Tỉ lệ C/N/P = 100:15:1 có giá trị cao nhất tại T1 (OD_{680nm} = 1,1±0,15) nhưng tăng trưởng chậm hơn

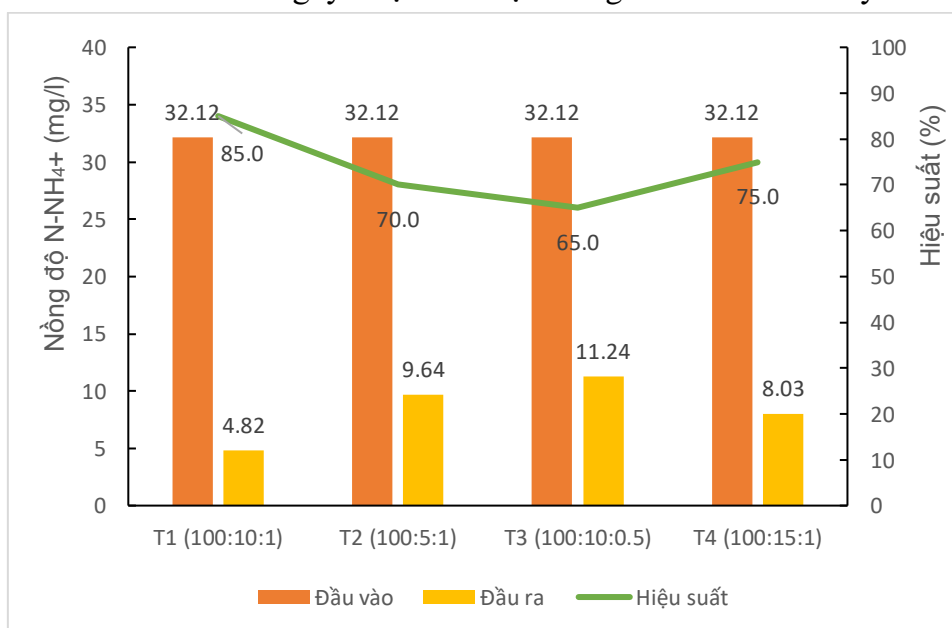
so với tỉ lệ 100:10:1 và 100:5:1 từ T2 trở đi, giá trị $OD_{680nm} = 3,52 \pm 0,001$ tại T8 và thấp nhất trong tất cả các nghiệm thức cho thấy việc gia tăng hàm lượng nitrogen quá mức không làm tăng hiệu quả sinh trưởng mà còn gây mất cân bằng dinh dưỡng.

Kết luận: Tỷ lệ C/N/P = 100:10:1 điều kiện tối ưu cho sinh trưởng của *S. salina* M8 trong NTSH. Hàm lượng phosphorus (P) có vai trò quan trọng trong giai đoạn tăng trưởng mạnh (T2–T8), thể hiện rõ qua sự tăng trưởng thấp của tỷ lệ thiếu P (100:10:0.5). Hàm lượng nitrogen (100:15:1) lớn không đem lại hiệu quả tăng trưởng cao hơn mà còn gây mất cân bằng dinh dưỡng.

Bảng 3.6. Nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH sau khi xử lý bằng *S. salina* M8 tại các tỷ lệ C/N/P

Tỷ lệ C:N:P	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Tổng N (mg/L)	P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Tổng P (mg/L)	COD (mg/L)
T1 (100:10:1)	4,82± 0,11	5,42± 0,14	0,85± 0,10	1,14± 0,56	81,15± 0,16
T2 (100:5:1)	9,64± 0,21	10,84± 0,43	1,19± 0,20	1,66± 0,47	97,38± 0,23
T3 (100:10:0.5)	11,24± 0,24	12,64± 0,16	1,70± 0,16	2,18± 0,31	113,61± 0,85
T4 (100:15:1)	8,03± 0,31	9,03± 0,62	1,06± 0,08	1,56± 0,12	90,89± 0,16

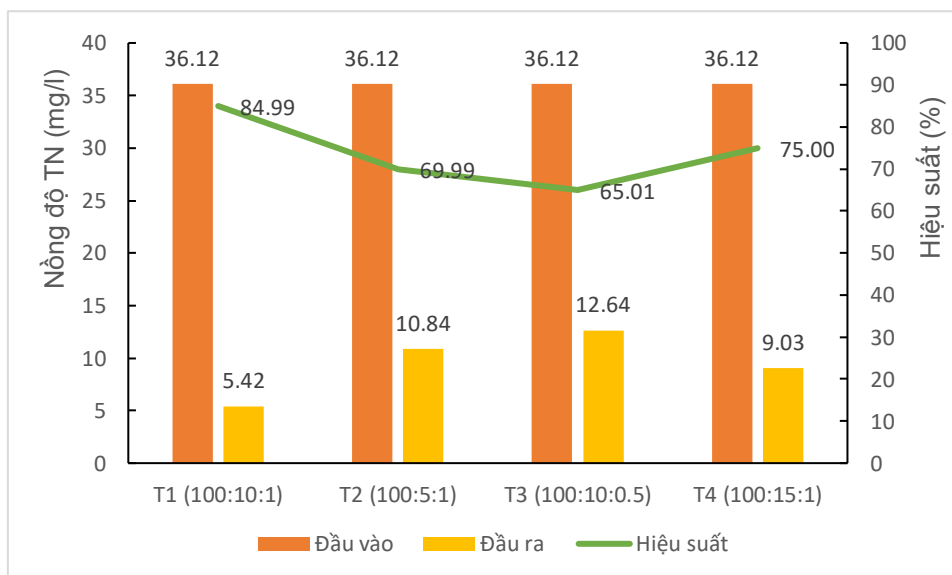
Hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải bao gồm: N-NH₄⁺, T-N, T-P, PO₄³⁻, COD nước thải sau 8 ngày được thể hiện trong hình 3.9 dưới đây.



Hình 3.9. Hàm lượng N-NH₄⁺ trong nước thải trước và sau khi xử lý

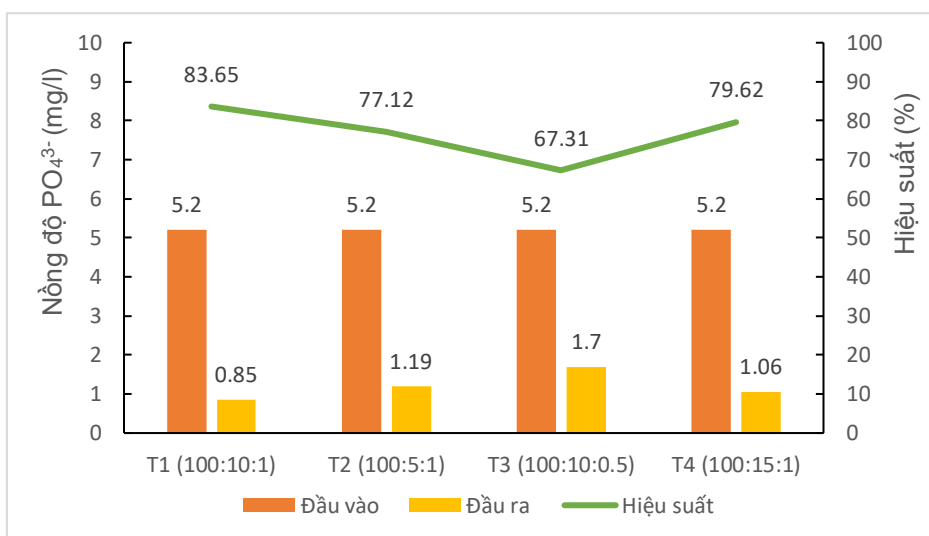
Nhận xét: Từ hình 3.9 có thể thấy hiệu suất xử lý N- NH₄⁺ trong nước thải cao nhất ở tỉ lệ T1(100:10:1) với NH₄⁺ giảm từ 32,12 ± 0,42 mg/L xuống 4,82 ± 0,11 mg/L, tương đương hiệu suất xử lý đạt 84,99 ± 0,54%. Đối với T2(100:5:1) hàm lượng nitrogen được giảm xuống còn một nửa so với T1. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý bị giảm rõ

rệt khi NH_4^+ còn $9,64 \pm 0,21$ mg/L tương đương hiệu suất 70,0%. Tỷ lệ T3(100:10:0.5) có hàm lượng phosphorus thấp NH_4^+ giảm còn $11,24 \pm 0,24$ mg/L với hiệu suất 65% cho thấy sự hạn chế rõ rệt trong khi xử lí. Tỷ lệ T4(100:15:1) hàm lượng NH_4^+ giảm còn $8,03 \pm 0,31$ mg/L với hiệu suất 75%. Tỷ lệ này bổ sung lượng nitrogen cao hơn mức tối ưu. Tuy không gây giới hạn dinh dưỡng, nhưng sự dư thừa nitrogen cũng không giúp cải thiện đáng kể hiệu suất xử lý so với T1.



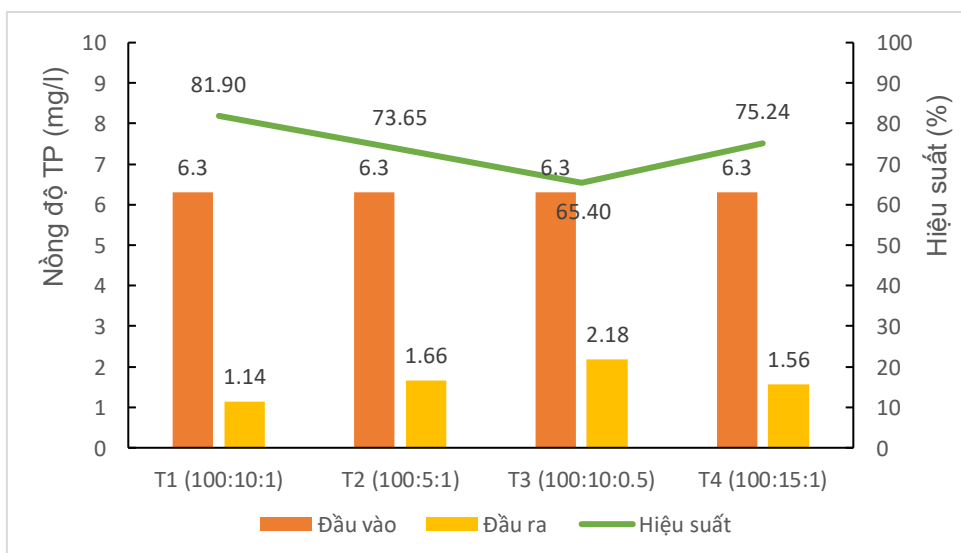
Hình 3.10. Hàm lượng T- N trong nước thải trước và sau khi xử lý

Nhận xét: Hiệu suất xử lý T-N: Từ hình 3.10 có thể thấy hiệu suất xử lý T-N trong nước thải cao nhất là tỷ lệ T1(100:10:1), T-N giảm từ $36,12 \pm 0,52$ mg/L xuống $5,42 \pm 0,14$ mg/L, tương đương hiệu suất xử lý đạt $84,99 \pm 0,62\%$. Đối với T2(100:5:1) hàm lượng nitrogen được giảm xuống còn một nửa so với T1. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý bị giảm rõ rệt khi T-N còn $10,84 \pm 0,43$ mg/L tương đương hiệu suất 70,0%. Tỷ lệ T3(100:10:0.5) có hàm lượng phosphorus thấp T-N giảm còn $12,64 \pm 0,16$ mg/L với hiệu suất 65% cho thấy sự hạn chế rõ rệt trong khi xử lí. Tỷ lệ T4(100:15:1) hàm lượng T-N giảm còn $9,03 \pm 0,62$ mg/L với hiệu suất 75%. Tỷ lệ này bổ sung lượng nitrogen cao hơn mức tối ưu. Tuy không gây giới hạn dinh dưỡng, nhưng sự dư thừa nitrogen cũng không giúp cải thiện đáng kể hiệu suất xử lý so với T1.



Hình 3.11. Hàm lượng PO_4^{3-} trong nước thải trước và sau khi xử lý

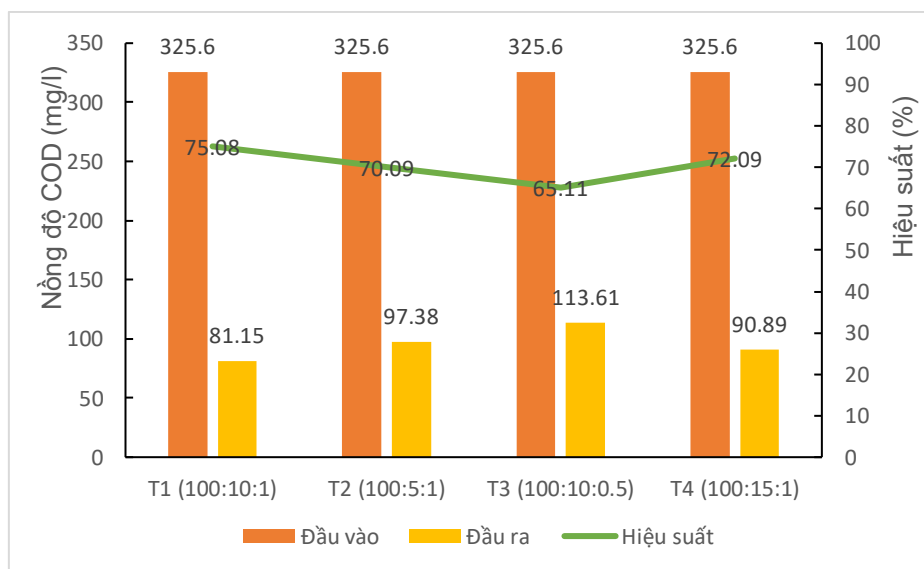
Nhận xét: Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} : Từ hình 3.11 có thể thấy hiệu suất xử lý PO_4^{3-} trong nước thải cao nhất là tỉ lệ T1(100:10:1) với PO_4^{3-} giảm từ $5,2 \pm 0,2$ mg/L xuống $0,85 \pm 0,10$ mg/L, tương đương hiệu suất xử lý đạt 83,65 %. Đối với T2 (100:5:1) hàm lượng nitrogen được giảm xuống còn một nửa so với T1. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý bị giảm rõ rệt khi PO_4^{3-} còn $1,19 \pm 0,20$ mg/L tương đương hiệu suất 77,12%. Tỉ lệ T3 (100:10:0.5) có hàm lượng phosphorus thấp PO_4^{3-} giảm còn $1,70 \pm 0,16$ mg/L với hiệu suất 67,31% cho thấy sự hạn chế rõ rệt trong khi xử lí. Tỉ lệ T4 (100:15:1) hàm lượng PO_4^{3-} giảm còn $1,06 \pm 0,08$ mg/L với hiệu suất 79,62%. Tỷ lệ này bổ sung lượng nitrogen cao hơn mức tối ưu. Tuy không gây giới hạn dinh dưỡng, nhưng sự dư thừa nitrogen cũng không giúp cải thiện đáng kể hiệu suất xử lý so với T1.



Hình 3.12. Hàm lượng T-P trong nước thải trước và sau khi xử lý

Nhận xét: Hiệu suất xử lý T- P: Nhận xét về hiệu suất xử lý T-P: Từ hình 3.12 có thể thấy hiệu suất xử lý T-P trong nước thải cao nhất là tỉ lệ T1 (100:10:1) với T-P

giảm từ $6,3 \pm 0,2$ mg/L xuống $1,14 \pm 0,56$ mg/L, tương đương hiệu suất xử lý đạt $81,9 \pm 0,2$ %. Đối với T2 (100:5:1) hàm lượng nitrogen được giảm xuống còn một nửa so với T1. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý bị giảm rõ rệt khi TP còn $1,66 \pm 0,47$ mg/L tương đương hiệu suất 73,65%. Tỷ lệ T3 (100:10:0.5) có hàm lượng phosphorus thấp TP giảm còn $2,18 \pm 0,31$ mg/L với hiệu suất 65,4% cho thấy sự hạn chế rõ rệt trong khi xử lý. Tỷ lệ T4 (100:15:1) hàm lượng TP giảm còn $1,56 \pm 0,12$ mg/L với hiệu suất 75,2%. Tỷ lệ này bổ sung lượng nitrogen cao hơn mức tối ưu. Tuy không gây giới hạn dinh dưỡng, nhưng sự dư thừa nitrogen cũng không giúp cải thiện đáng kể hiệu suất xử lý so với T1.



Hình 3.13. Hàm lượng COD trong nước thải trước và sau khi xử lý

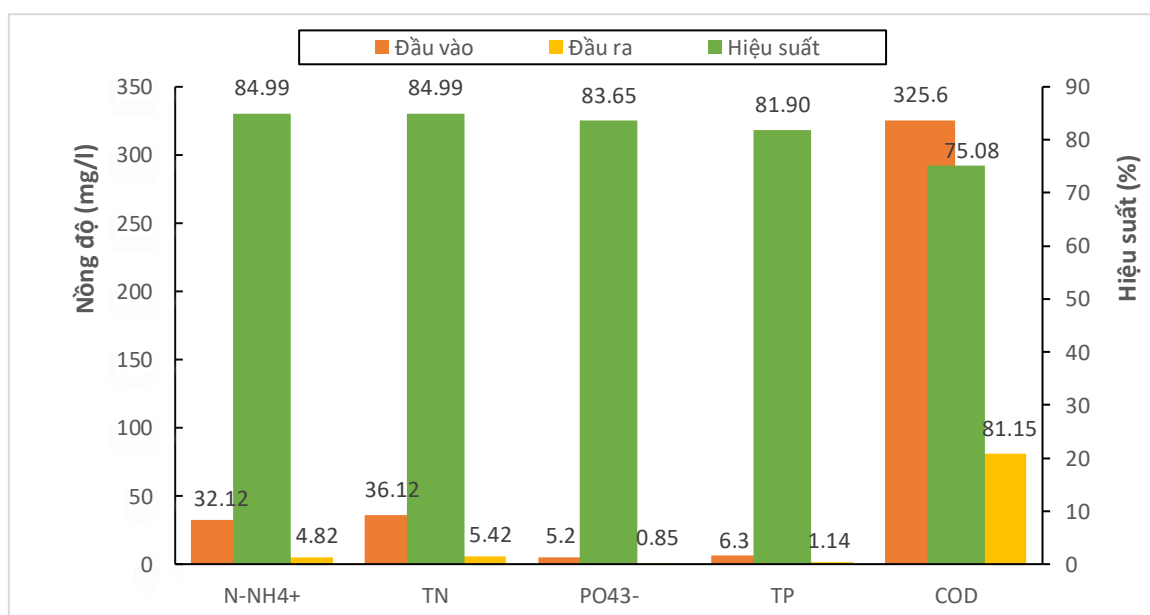
Nhận xét: Hiệu suất xử lý COD: Bên cạnh khả năng loại bỏ nitrogen và phospho, khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) trong nước thải của *S. salina* M8 cũng được xem xét (Hình 3.13). Hiệu suất loại bỏ COD ở các nồng độ nước thải (T1), (T2), (T3) và (T4) của *S. salina* M8 lần lượt là 75%, 70%, 65.1%, và 72%. Ở T1 (100:10:1) cho thấy khả năng xử lý COD của *S. salina* M8 là tốt nhất. Hàm lượng COD đầu vào (T8) là $325,6 \pm 0,3$ mg/l giảm còn $81,15 \pm 0,16$ mg/l ở ngày (T8). Đối với T2 (100:5:1) hàm lượng nitrogen được giảm xuống còn một nửa so với T1. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý bị giảm rõ rệt khi COD còn $97,38 \pm 0,23$ mg/L tương đương hiệu suất 70%. Tỷ lệ T3 (100:10:0.5) có hàm lượng phosphorus thấp COD giảm còn $113,61 \pm 0,85$ mg/L với hiệu suất 65% cho thấy sự hạn chế rõ rệt trong khi xử lý. Tỷ lệ T4 (100:15:1) hàm lượng COD giảm còn $90,89 \pm 0,16$ mg/L với hiệu suất 72%. Tỷ lệ này bổ sung lượng nitrogen cao hơn mức tối ưu. Tuy không gây giới hạn dinh dưỡng, nhưng sự dư thừa nitrogen cũng không giúp cải thiện đáng kể hiệu suất xử lý so với T1.

Dưới điều kiện nuôi cấy tối ưu với mật độ VKL ban đầu 20% (v/v), pH = 7, cường độ ánh sáng 4.500 Lux, nhiệt độ 27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút).

Khả năng xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt của *S. salina* M8 tại tỷ lệ C/N/P = 100:10:1 được thể hiện trong các Bảng 3.7.

Bảng 3.7. Bảng tổng hợp hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm trong NTSH của *S. salina* M8 tại tỷ lệ C/N/P = 100:10:1

C/N/P = 100:10:1	N-NH ₄ ⁺	T-N	PO ₄ ³⁻	T-P	COD
Trước xử lý (mg/L)	32,12 ± 0,42	36,12 ± 0,52	5,2 ± 0,15	6,3 ± 0,2	325,6 ± 0,3
Sau xử lý (mg/L)	4,82 ± 0,11	5,42 ± 0,14	0,85 ± 0,10	1,14 ± 0,56	81,15 ± 0,16
Hiệu suất (%)	84,99 ± 0,54	84,99 ± 0,62	83,65 ± 0,21	81,9 ± 0,2	75,08 ± 1,20



Hình 3.14. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý tại tỷ lệ C/N/P = 100:10:1

Từ hình 3.14 thể hiện nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt trước và sau khi xử lý bằng *Synechocystis salina* M8 ở tỷ lệ dinh dưỡng tối ưu C/N/P = 100:10:1. Sau 8 ngày nuôi cấy, kết quả cho thấy nồng độ các chất N-NH₄⁺, T-N, PO₄³⁻, T-P và COD đều giảm mạnh, chứng tỏ khả năng xử lý chất ô nhiễm hiệu quả của VKL M8. Trong đó, hàm lượng N-NH₄⁺ có hiệu suất xử lý cao nhất đạt 84,99 ± 0,54% với hàm lượng amoni đầu vào là 32,12 ± 0,42mg/l giảm còn 4,82 ± 0,11 mg/l (đầu ra). Điều đó cho thấy khả năng xử lý amoni của *S. salina* M8 là rất tốt tại điều kiện tối ưu. Tương tự, tổng Nitrogen (T-N) cũng đạt 84,99 ± 0,62% giảm từ 36,12 ± 0,52 mg/l xuống còn 5,42 ± 0,14 mg/l, điều đó chứng tỏ rằng *S. salina* M8 không chỉ hấp thu nitrogen vô cơ mà còn có khả năng xử lý tốt các dạng nitrogen hữu cơ, góp phần hạn chế nguy cơ phú dưỡng nguồn nước. Tương tự có thể thấy khả năng loại bỏ PO₄³⁻ cũng đạt hiệu suất cao, đạt 83,65 ± 0,21% giảm từ 5,2 ± 0,15 mg/l xuống còn 0,85 ± 0,10 mg/l. Hàm lượng T-P

giảm từ $6,3 \pm 0,2$ mg/l xuống còn $1,14 \pm 0,56$ mg/l (đầu ra) với hiệu suất xử lý là $81,9 \pm 0,2\%$ sau 8 ngày thí nghiệm.

Đối với chỉ tiêu COD, sau xử lý hàm lượng giảm từ $325,6 \pm 0,3$ mg/L xuống còn $81,15 \pm 0,16$ mg/L, tương ứng với hiệu suất xử lý $75,08 \pm 1,20\%$. Mặc dù thấp hơn so với các chất dinh dưỡng, tuy nhiên mức giảm này vẫn đáng kể, thể hiện khả năng của vi tảo M8 trong việc phân hủy và hấp thu các chất hữu cơ trong nước thải.

Kết luận: Sau 8 ngày thí nghiệm kết quả thực nghiệm trong điều kiện tỷ lệ C/N/P= 100:10:1, tỷ lệ *S. salina M8* giống 20% (v/v), pH=7, nhiệt độ 27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ ánh sáng 4.500 Lux cho thấy khả năng xử lý các chất ô nhiễm trong NTSH bằng *S. salina M8* đều đạt hiệu suất cao (trên 80%). Khả năng xử lý COD tuy thấp hơn tuy nhiên vẫn đảm bảo chất lượng đầu ra theo QCVN 14:2008/BTNMT, cột B góp phần vào việc cải thiện chất lượng nước khi xả vào nguồn tiếp nhận. Điều đó chứng tỏ việc cung cấp đầy đủ và cân đối hàm lượng các chất dinh dưỡng C, N, P theo tỷ lệ 100:10:1 đã tạo điều kiện cho *S. salina M8* phát triển ổn định, hấp thụ nhanh các chất ô nhiễm trong nước thải, đồng thời tăng cường khả năng cố định carbon và tích lũy sinh khối.

KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Đề tài đã nghiên cứu hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt tại khu nhà ở tập thể Giáo viên trường Đại học Công nghệ GTVT bằng VKL *S. salina* M8 và tối ưu hoá một số yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý nước thải. Đây là một hướng nghiên cứu dựa vào công nghệ sinh học VKL và có tính ưu việt hơn quá trình xử lý vi sinh vật thuyền thống do vi khuẩn lam có thể tiêu thụ hiệu quả đồng thời các chất hữu cơ COD, chất dinh dưỡng (N và P) trong nước thải và sản xuất ra sinh khối thay vì bùn thải và sinh khối của chúng được thu hồi để có thể tạo ra các sản phẩm thân thiện với môi trường, có ứng dụng cao và mang lại giá trị trong nhiều lĩnh vực công nghiệp để hướng tới nền kinh tế xanh và kinh tế tuần hoàn.

Dựa vào kết quả nghiên cứu thực nghiệm của đề án, có thể rút ra kết luận về hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng *S. salina* M8 như sau:

- Sau 8 ngày nuôi cấy trong phòng thí nghiệm xác định được điều kiện tối ưu cho sự sinh trưởng của *S. salina* M8 trong môi trường nước thải sinh hoạt, với tỉ lệ giống 20% (v/v), pH=7, nhiệt độ 27⁰C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ ánh sáng 4500 Lux, tỷ lệ dinh dưỡng C/N/P là 100:10:1.

- Hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm trong NTSH của *S. salina* M8 cao, cụ thể như sau:

+ Nồng độ N-NH₄⁺ đầu vào 32,12 mg/l, đầu ra 4,82 mg/l tương đương với hiệu suất xử lý khoảng 85%;

+ Nồng độ tổng Nitrogen (T-N) đầu vào 36,12 mg/l, đầu ra 5,42 mg/l tương đương với hiệu suất xử lý khoảng 85%;

+ Nồng độ PO₄³⁻ đầu vào 5,2 mg/l, đầu ra 0,85 mg/l tương đương với hiệu suất xử lý khoảng 83,65%;

+ Nồng độ tổng phosphorus (T-P) đầu vào 6,3 mg/l, đầu ra 1,14 mg/l tương đương với hiệu suất xử lý khoảng 81,9%;

+ Nồng độ COD đầu vào 325,6 mg/l, đầu ra 81,15 mg/l tương đương với hiệu suất xử lý khoảng 75,08 %.

Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt sau khi được xử lý bằng *S. salina* M8 đảm bảo tiêu chuẩn theo QCVN 14:2008/BTNMT cột B (đáp ứng được theo QCVN 14:2025/BTNMT cột B – Quy chuẩn quốc gia về nước thải sinh hoạt, nước thải đô thị, khu dân cư kể từ ngày 01/9/2025) trước khi xả vào nguồn tiếp nhận.

2. Kiến nghị

Dựa trên kết quả nghiên cứu, có thể đề xuất một số kiến nghị như sau:

Nghiên cứu là tiền đề để ứng dụng vi khuẩn lam nói chung và vi khuẩn lam *S. salina M8* vào xây dựng quy trình xử lý nước thải sinh hoạt tại nơi nghiên cứu cũng như các hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt quy mô khác như hộ gia đình, khu dân cư hoặc các trường học, cơ quan và giúp giảm chi phí vận hành.

Xây dựng quy trình kiểm soát một số yếu tố ảnh hưởng như tỷ lệ giống, pH và tỷ lệ chất dinh dưỡng C:N:P tối ưu để đạt được hiệu quả xử lý cao trong điều kiện vận hành lâu dài với quy mô pilot và công nghiệp.

Khuyến nghị tiếp tục nghiên cứu việc thu hồi, tận dụng sinh khối *S. salina M8*, công nghệ chiết tách và tinh chế hiệu quả sinh khối sau xử lý như nhựa sinh học PHA, phân bón sinh học, nguyên liệu sản xuất biofuel hoặc chiết xuất các hợp chất sinh học có giá trị như phycocyanin... hướng đến nền kinh tế xanh và kinh tế tuần hoàn theo định hướng phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lâm Minh Triết (2006), Xử lý nước thải đô thị & công nghiệp, NXB Đại học Quốc gia TP.HCM.
2. Xử lý nước thải sinh hoạt và tái sử dụng nước thải sau xử lý tại Việt Nam. (n.d.). TapChiMoiTruong. <https://tapchimoitruong.vn/chuyen-muc-3/xu-ly-nuoc-thai-sinh-hoat-va-tai-su-dung-nuoc-thai-sau-xu-ly-tai-viet-nam-23198>
3. Trần Văn Nhân, Ngô Thị Nga (2006), Giáo trình Công nghệ xử lý nước thải, NXB Khoa học và Kỹ Thuật, Hà Nội.
4. Anh, C. (2024, December 2). Hà Nội ô nhiễm môi trường từ nước thải sinh hoạt. *Báo Điện Tử Tiền Phong*. <https://tienphong.vn/ha-noi-o-nhiem-moi-truong-tu-nuoc-thai-sinh-hoat-post1696673.tpo>
5. Anh, T. T. D. (2022, July 28). Hiện trạng ô nhiễm môi trường của Việt Nam. <https://doi.org/10.31219/osf.io/9hwca>
6. N.T.K.Oanh (2022), Luận văn thạc sĩ về nghiên cứu sử dụng VKL nhằm xử lý NTSH và thu hồi sinh khối làm phân bón kích thích sinh trưởng cây trồng.
7. Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), 2015, Báo Cáo Cuối Kỳ: Điều tra ngành cấp thoát nước địa phương.
8. Lê Anh Tuấn (2005), Giáo trình công trình xử lý nước thải.
9. Liu, Z., Zhang, Y., Zhou, W., Wang, W., & Dai, X. (2022). Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal between Two Typical Processes under Low Temperature in a Full-Scale Municipal Wastewater Treatment Plant. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w14233874>, 15/03/2025
10. Huang, W., Gong, B., Wang, Y., Lin, Z., He, L., Zhou, J., & He, Q. (2020). Metagenomic analysis reveals enhanced nutrients removal from low C/N municipal wastewater in a pilot-scale modified AAO system coupling electrolysis.. *Water research*, 173, 115530 . <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115530>, 15/03/2025
11. Santos, A., Martins, R., Quinta-Ferreira, R., & Castro, L. (2020). Moving bed biofilm reactor (MBBR) for dairy wastewater treatment. *Energy Reports*, 6, 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.158>, 15/03/2025
12. Li, M., Liu, Y., Zhou, X., Wang, N., & Yuan, B. (2023). A Study on The Carriers Compound Multi-Stage MBBR Biological Treatment Process for Domestic Sewage Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su15107922>, 15/03/2025
13. Suhaim, N., Kasim, N., Mahmoudi, E., Shamsudin, I., Mohammad, A., Zuki, F., & Jamari, N. (2022). Rejection Mechanism of Ionic Solute Removal by

Nanofiltration Membranes: An Overview. *Nanomaterials*, 12. <https://doi.org/10.3390/nano12030437>, 15/03/2025

14. Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N., Darwish, N., & Hilal, N. (2019). Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2019.02.008>.]

15. Elazhar, F., Elazhar, M., El-Ghizel, S., Tahaikt, M., Zait, M., Dhiba, D., Elmidaoui, A., & Taky, M. (2021). Nanofiltration-reverse osmosis hybrid process for hardness removal in brackish water with higher recovery rate and minimization of brine discharges. *Process Safety and Environmental Protection*, 153, 376-383. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2021.06.025>.]

16. Gururani, P., Bhatnagar, P., Bisht, B., Kumar, V., Joshi, N., Tomar, M., & Pathak, B. (2021). Cold plasma technology: advanced and sustainable approach for wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research International*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16741-x>.

17. Nguyen, D., Ho, N., Hoang, K., Le, T., & Le, V. (2020). An investigation on treatment of groundwater with cold plasma for domestic water supply. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100309. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100309>.

18. Gupta, V., Ratha, S. K., Sood, A., Chaudhary, V., & Prasanna, R. (2013). New insights into the biodiversity and applications of cyanobacteria (blue-green algae)—Prospects and challenges. *Algal Research*, 2(2), 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2013.01.006>

19. Cepoi, L., Donțu, N., Șalaru, V., & Șalaru, V. (2016). Removal of Organic Pollutants from Wastewater by Cyanobacteria. , 27-43. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26751-7_4.

20. Meixner, K., et al. (2018). "Cyanobacteria Biorefinery - Production of poly(3-hydroxybutyrate) with *Synechocystis salina* and utilisation of residual biomass." *J Biotechnol* 265: 46-53.

21. Wagner, J., et al. (2016). "Co-production of bio-oil and propylene through the hydrothermal liquefaction of polyhydroxybutyrate producing cyanobacteria." *Bioresour Technol* 207: 166-174.

22. Almomani, F. et al. (2020). Bioremediation of saline wastewater using *Synechocystis salina*. *Journal of Environmental Management*, 276, 111332.

23. Zhang, Y. et al. (2021). Lipid production in *Synechocystis salina*. *Bioresource Technology*, 319, 124234

24. Cepoi, L., Donțu, N., Șalaru, V., & Șalaru, V. (2016). Removal of Organic Pollutants from Wastewater by Cyanobacteria. , 27-43. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26751-7_4.
25. Trentin, G., Bertucco, A., & Sforza, E. (2019). Mixotrophy in Synechocystis sp. for the treatment of wastewater with high nutrient content: effect of CO₂ and light. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02162-1>.
26. Assunção, J., Amaro, H., Tavares, T., Malcata, F., & Guedes, A. (2023). Effects of Temperature, pH, and NaCl Concentration on Biomass and Bioactive Compound Production by *Synechocystis salina*. *Life*, 13. <https://doi.org/10.3390/life13010187>
27. A. Vonshak, A. Abeliovich, S. Boussiba, S. Arad, A. Richmond (1982), Production of *Spirulina* biomass: affects of environmental factors and population density, *Biomass*, 2(3), pp.175-185