



# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ SINH HÓA ĐẾN SINH TRƯỞNG VÀ HIỆU SUẤT XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA VI KHUẨN LAM S. SALINA M8

NGUYỄN THỊ PHƯƠNG DUNG<sup>1,2\*</sup>, TRẦN ĐĂNG THUẬN<sup>3</sup>, NGUYỄN THỊ THU CÚC<sup>2</sup>,  
NGUYỄN THỊ THU THẢO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

<sup>3</sup>Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

## Tóm tắt:

Công nghệ sinh học vi tảo đang được quan tâm như một giải pháp bền vững trong xử lý nước thải nhờ khả năng hấp thu, chuyển hóa hiệu quả chất ô nhiễm và tiềm năng thu hồi sinh khối cao. Mục tiêu của nghiên cứu là sử dụng chủng vi khuẩn lam quang tự dưỡng *S.salina* M8, được phân lập từ môi trường nước nông nghiệp Việt Nam, nhằm đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố sinh hóa gồm mật độ giống, pH, tỷ lệ chất dinh dưỡng C:N:P đến sinh trưởng và hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt của *S.salina* M8 trong quy mô phòng thí nghiệm. Nghiên cứu áp dụng phương pháp lấy mẫu, phân tích nước thải trong phòng thí nghiệm và phương pháp đánh giá sự sinh trưởng của *S.salina* M8. Kết quả cho thấy, *S.salina* M8 có khả năng sinh trưởng tốt, đạt được năng suất sinh khối tương đương khoảng 1,6 g/L và hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm đạt khoảng 75% đối với COD và trên 80% đối với các chất như  $N-NH_4^+$ , tổng nitrogen (T-N),  $P-PO_4^{3-}$  và tổng phosphorus (T-P) dưới điều kiện thích hợp là tỷ lệ tảo giống 20-25% (v/v), pH=7, nhiệt độ 27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ ánh sáng 4500 Lux và tỷ lệ dinh dưỡng C:N:P = 100:10:1 sau 8 ngày nuôi cấy. Nước thải sau khi xử lý đạt tiêu chuẩn chất lượng theo QCVN 14:2008/BTNMT, cột B. Vì vậy, nghiên cứu khẳng định tiềm năng ứng dụng *S.salina* M8 trong xử lý nước thải sinh hoạt nhờ khả năng hấp thu và chuyển hóa chất hữu cơ, chất dinh dưỡng, đồng thời tạo ra sinh khối có thể thu hồi sản xuất ra các sản phẩm có giá trị ứng dụng trong các ngành công nghiệp. Đây là một hướng đi mới mang tính bền vững, thân thiện với môi trường, góp phần thúc đẩy mô hình công nghệ xanh và kinh tế tuần hoàn.

Từ khóa: Nước thải sinh hoạt, quang-tạp dưỡng, sinh khối, *S.salina* M8.

Ngày nhận bài: 4/2/2025; Ngày sửa chữa: 3/3/2025; Ngày duyệt đăng: 17/3/2025.

## Research on the effects of biochemical factors on growth and pollutant removal efficiency from municipal wastewater of cyanobacterium *S.salina* M8

### Abstract:

Microalgae biotechnology is being considered as a sustainable solution in wastewater treatment due to its ability to effectively absorption and metabolism pollutants and the potential for biomass recovery. The aim of this paper is to use the photoautotrophic cyanobacteria strain *S.salina* M8, isolated from Vietnamese agricultural water environment, evaluation the effects of biochemical factors including inoculum density, pH and nutrient ratio C:N:P on the growth and domestic wastewater treatment efficiency of *S.salina* M8 in laboratory scale. Research on the application of methods for sampling and analyzing wastewater in the laboratory and methods for evaluating the growth of *S.salina* M8. The results showed that *S.salina* M8 achieved dry cell weight of 1.6 g/L with treatment efficiency reaching over 75% for COD and 85% for substances such as  $NH_4^+$ , total nitrogen (T-N),  $PO_4^{3-}$  and total phosphorus (T-P) under the preferable conditions of inoculation rate of 20-25% (v/v), pH=7, temperature 27°C, aeration (0.1 vvm) and magnetic stirring (150 rpm), light intensity 4500 Lux and nutrient ratio C:N:P = 100:10:1 after 8 days of culture. The effluent meets the quality standards according to QCVN 14:2008/BTNMT column B. This study demonstrated the potential of *S.salina* M8 in treating domestic wastewater, and providing valuable biomass, contributing to the development of a green economy and a circular economy.

Keywords: Municipal wastewater, Photo-mixotrophic, Biomass, *S.salina* M8.

JEL Classifications: P18, Q53, Q55.

## 1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, ô nhiễm môi trường nước đang là một trong những vấn đề đáng quan tâm không chỉ ở quy mô toàn cầu mà còn ở các quốc gia và từng địa phương, đặc biệt tại các đô thị lớn như Hà Nội. Sự gia tăng dân số, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng cùng với hệ thống hạ tầng kỹ thuật chưa theo kịp đã làm phát sinh một lượng lớn nước thải sinh hoạt hàng ngày. Theo thống kê, trung bình mỗi người dân Hà Nội thải ra khoảng 100–150 lít nước thải mỗi ngày, trong khi tổng lượng nước thải sinh hoạt toàn thành phố ước tính lên đến gần 1 triệu m<sup>3</sup>/ngày (Anh, T. T. D., 2022). Báo cáo của Bộ TN&MT năm 2023 cho biết, đến nay ở Việt Nam mới chỉ có khoảng 18% nước thải đô thị được thu gom và xử lý tại các nhà máy xử lý nước thải tập trung (Bộ TN&MT, 2023). Nước thải sinh hoạt thường chứa hàm lượng cao chất hữu cơ, chất dinh dưỡng như nitrogen (N), phosphorus (P), vi khuẩn gây bệnh và các vi chất độc hại. Nếu không được xử lý đúng cách, các chất dinh dưỡng này sẽ thúc đẩy hiện tượng phú dưỡng hóa nguồn nước, gây suy thoái hệ sinh thái thủy sinh, phát sinh mùi hôi, ảnh hưởng đến mỹ quan đô thị và đe dọa đến sức khỏe cộng đồng. Trong khi đó, công nghệ xử lý nước thải đô thị hiện tại chủ yếu áp dụng phương pháp sinh học, hiếu khí, kỵ khí hoặc thiếu khí. Nhược điểm của công nghệ này là tạo ra một lượng bùn rất lớn, yêu cầu phải có công đoạn xử lý bùn thải triệt để và thường không thân thiện với môi trường.

Trước thực trạng đó, việc tìm kiếm các giải pháp xử lý nước thải hiệu quả, thân thiện với môi trường, chi phí thấp và có khả năng tận dụng tài nguyên đang là định hướng quan trọng. Một trong những hướng tiếp cận đang được quan tâm hiện nay là ứng dụng công nghệ sinh học dựa trên vi sinh vật quang tự dưỡng, đặc biệt là vi tảo. Vi tảo có khả năng hấp thụ và chuyển hóa các chất dinh dưỡng trong nước thải để tổng hợp sinh khối thông qua quá trình quang hợp, đồng thời làm giảm nồng độ các chất ô nhiễm như COD, N, P trong nước. Ngoài ra, sinh khối vi tảo có thể được thu hồi để sử dụng làm nguyên liệu sản xuất phân bón hữu cơ, thức ăn chăn nuôi hoặc nhiên liệu sinh học, từ đó tạo ra chu trình tái sử dụng tài nguyên, hướng tới phát triển bền vững. Chẳng hạn, chủng *Chlorella variabilis* TH03 đạt năng suất sinh khối cao trong các hệ thống nuôi cấy khác nhau và có khả năng loại bỏ 74.8–89.8% COD, 93.8–96.1% tổng nitrogen và 97.1–99.9% tổng phosphorus chỉ sau 14–17 ngày nuôi cấy (Dang Thuan Tran et al., 2021). Bên cạnh đó, theo nghiên cứu của Nattawut Krasaesueb và cộng sự (2019), chủng *Synechocystis* sp. được nuôi trong nước thải giàu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> đã cho hiệu suất loại bỏ chất dinh dưỡng là 96,99% đối với phosphate, 80,10% đối với nitrate, 67,90% đối với nitrite và 98,07%

đối với amoni (Krasaesueb et al., 2019). Vì vậy, ứng dụng vi tảo trong xử lý nước thải không chỉ giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường mà còn tạo ra các hợp chất sinh học có giá trị (như lipid, protein, cacbohydrat) từ sinh khối của vi tảo.

Phần lớn các nghiên cứu trước đây tập trung vào nuôi cấy vi tảo theo chế độ dị dưỡng, tận dụng hàm lượng các-bon hữu cơ cao trong nước thải sinh hoạt (Santos, C. A et al., 2020). Trong chế độ dị dưỡng, vi tảo phát triển dựa trên nguồn các-bon hữu cơ và không cần ánh sáng, cho phép loại bỏ hiệu quả các hợp chất hữu cơ, nitrogen và phosphorus khỏi nước thải so với nuôi cấy quang dưỡng thông thường (Santos, C. A bet al., 2020). Ngược lại, vi tảo quang - tạp dưỡng hiện đang thu hút sự quan tâm nghiên cứu gần đây nhờ khả năng sử dụng đồng thời các-bon hữu cơ và vô cơ cùng các dưỡng chất nitrogen và phosphorus trong nước thải, giúp làm giảm nồng độ các chất ô nhiễm này (Voulvoulis, N et al., 2020).

Mặc dù điều này đã được ghi nhận ở một số loài vi tảo như *A. platensis* (M. I. B. Pereira et al., 2019), tuy nhiên việc ứng dụng khả năng quang tạp dưỡng của chủng *S.salina* M8 trong xử lý nước thải sinh hoạt tại Việt Nam vẫn còn mới và chưa có nhiều nghiên cứu để đánh giá một cách hệ thống. *S.salina* M8 được biết đến là vi khuẩn lam quang tạp dưỡng, có thể sinh trưởng trong cả môi trường nước mặn và ngọt. Tế bào có hình cầu hoặc oval (0,7–8 μm), không cố định đạm, có hoặc không có lớp chất nhầy trong suốt. Hệ sắc tố gồm phycocyanin (tạo màu xanh lam) và chlorophyll-a giúp hấp thụ ánh sáng hiệu quả cho quang hợp (Allaf, M et al., 2022). Nhờ khả năng quang hợp, chúng tạo ra năng lượng từ ánh sáng mặt trời và sản sinh oxy, glucose phục vụ sinh trưởng (Meixner, K et al., 2018). *S.salina* M8 có khả năng loại bỏ amoni, nitrat, nitrit và photphat từ nước thải trong khoảng từ 6-10 ngày sau khi nuôi cấy, cho thấy khả năng tích lũy các chất này trong sinh khối của chúng (Cepoi, L et al., 2016). Ngoài ra, loài này cũng đã được chứng minh là có khả năng loại bỏ các chất dinh dưỡng như phosphorus và nitrogen từ nước thải, với hiệu suất loại bỏ lên đến 96% phosphorus và 66% nitrogen (Trentin, G et al., 2019). Đồng thời *S.salina* M8 phát triển mạnh trong môi trường giàu chất hữu cơ và có thể tích lũy lượng lớn các hợp chất có giá trị cao như protein, polysaccharide và polyhydroxybutyrate (PHB) – một loại polymer sinh học. Mục tiêu của nghiên cứu là sử dụng chủng vi khuẩn lam quang tự dưỡng *S.salina* M8, được phân lập từ môi trường nước nông nghiệp Việt Nam, nhằm đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố sinh hóa gồm mật độ giống, pH và tỷ lệ chất dinh dưỡng C:N:P đến sinh trưởng và hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt của *S.salina* M8 trong quy mô phòng thí nghiệm.



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

STT	Tên hóa chất	Công thức phân tử	Đơn vị (g/l)
1	Sodium nitrate	NaNO <sub>3</sub>	1,5
2	Dipotassium phosphate	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,04
3	Aluminum sulfate	Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,04
4	Magnesium sulfate heptahydrate	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,075
5	Calcium chloride dihydrate	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,036
6	Citric acid	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	0,006
7	Ferric ammonium citrate	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	0,006
8	Disodium ethylenediaminetetraacetate dihydrate	Na <sub>2</sub> EDTA·2H <sub>2</sub> O	0,001
9	Sodium carbonate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,02
10	Hỗn hợp vi lượng - kim loại (mix A5): H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> : 2,86g/L; MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O: 1,81 g/L; ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O: 0,222g/L; Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O: 0,39g/L; CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O: 0,079g/L; Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O: 0,049 g/L.		1 mL/L

Nguồn: (Synechocystis sp. (n.d.). Ccap.ac.uk, 2025)



Hình 1. Hình thái VKL *S.salina* M8



Hình 2. Nhân giống tảo *S.salina* M8 trong bình 250 mL

Kết quả nghiên cứu khẳng định tiềm năng ứng dụng *S.salina* M8 trong xử lý nước thải sinh hoạt, đồng thời tạo ra sinh khối có thể thu hồi sản xuất ra các sản phẩm có giá trị ứng dụng trong các ngành công nghiệp như nhựa sinh học PHA, phân bón sinh học, nguyên liệu biofuel, hoặc phycocyanin. Đây là một hướng đi mới mang tính bền vững, thân thiện với môi trường, góp phần thúc đẩy mô hình công nghệ xanh và kinh tế tuần hoàn.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu và dụng cụ thí nghiệm

#### 2.1.1. Nguồn tảo giống

Chủng vi khuẩn lam *S.salina* M8 từ bộ sưu tập giống được lưu giữ và nuôi cấy tại Phòng Công nghệ Hóa sinh, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội. *S.salina* M8 được tiên nuôi cấy trong môi trường BG-11 (Bảng 1).

Sử dụng các bình tam giác 250 mL với thể tích làm việc 100 mL. Điều kiện nuôi cấy được duy trì tại nhiệt độ khoảng 25 – 27°C, nguồn sáng là 2 bóng đèn huỳnh quang với cường độ ánh sáng 4.500 Lux, chu kỳ chiếu sáng là 24 giờ sáng, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút).

#### 2.1.2. Nước thải sinh hoạt

Nước thải sinh hoạt được lấy tại 2 cống xả nước thải của khu dân cư phố Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội. Vị trí điểm lấy mẫu tại cống thoát nước thải ngõ 66 Triều Khúc, tọa độ: X1 = 2.321.350, Y1 = 594.921 và ngõ 48 phố Triều Khúc, tọa độ: X2 = 2.345.350, Y1 = 594.823.

#### 2.1.3. Dụng cụ thí nghiệm (Bảng 2)

### 2.2. Bố trí thí nghiệm

2.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của mật độ giống ban đầu lên khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8

**Bảng 2. Dụng cụ, thí nghiệm**

STT	Tên thiết bị	Model/Thông số kĩ 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	Đèn LED		Rạng Đông, Việt Nam
9	Máy sục khí	HP-400	Atman, Trung Quốc
10	Van điều chỉnh lưu lượng khí		Việt Nam
11	Đầu lọc khí	0,22 $\mu\text{m}$	Trung Quốc
12	Ống dây Silicon		Trung Quốc
13	Bình thủy tinh dùng để nuôi cấy	1 L; 2 L; 3,5 L; 5 L	SIMAX, Germany
14	Ống đong	25 mL, 50 mL, 100 mL, 1000 mL	Đức
15	Bình định mức Duran	1000 mL	Đức
16	Bình nón tam giác	50 mL, 250mL	Đức


**Hình 3. Thí nghiệm nuôi S.salina M8 trong nước thải sinh hoạt**

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  $\text{OD}_{680} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$  tương ứng 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

nhệt độ 25-27°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 3 lần.

*2.2.2. 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  $\text{OD}_{680} = 0,3$  (tương ứng với tỷ lệ giống 20% v/v). Các điều kiện thí nghiệm như sau: nhiệt độ 25-27°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 3 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:  $\text{N-NH}_4^+$ , T-N, T-P,  $\text{PO}_4^{3-}$ , COD.

*2.2.3. 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 các-bon ( $\text{CO}_2$  hoặc acetate), nitrogen ( $\text{NaNO}_3$ ) và phosphorus ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Các điều kiện thí nghiệm như sau: nhiệt độ 25-27°C, sục khí (0,1 vvm) và khuấy từ (150 vòng/phút), cường độ chiếu sáng 4.500 Lux, chu kỳ sáng là 24h, mật độ tảo giống  $\text{OD}_{680} = 0,3$  và pH = 7. Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại 3 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:  $\text{N-NH}_4^+$ , T-N, T-P,  $\text{PO}_4^{3-}$ , COD.



**2.3. Phương pháp nghiên cứu**

**2.3.1. Phương pháp lấy mẫu và phân tích nước thải trong phòng thí nghiệm**

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. Nước thải đựng vào can 5-10 L và đưa về phòng thí nghiệm Công nghệ Hóa sinh, Viện Hóa học. 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. Các thông số đầu vào như COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, TN, TP được đo ngay sau khi mẫu được đưa về phòng thí nghiệm; các thông số đầu ra của thí nghiệm được tiến hành phân tích sau 8 ngày nuôi cấy; phương pháp phân tích NH<sub>4</sub><sup>+</sup> theo TCVN 6179-1:1996; phân tích NO<sub>3</sub><sup>-</sup> theo TCVN 6180:1996 ISO 7890-3:1998 (E); phân tích phosphorus theo TCVN 6202:2008 - phương pháp đo phổ dùng amoni moliphat; phân tích COD theo TCVN 6491:1996. Kết quả phân tích chất lượng nước thải đầu vào sau khi xử lý sơ bộ qua lọc: pH = 7,3 ± 0,2; COD = 325,6 ± 0,3 mg/L; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 3,2 ± 0,1 mg/L; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 32,12 ± 0,42mg/L; TN = 36,12 ± 0,52 mg/L; P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = 4,24 ± 0,15 mg/L; TP = 5,2 ± 0,2 mg/L, TSS = 1,4 ± 0,2mg/L. 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 (OD<sub>680</sub>). Mỗi thí nghiệm lặp lại 3 lần để đảm bảo độ tin cậy thống 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-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, T- N, P- PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> và T-P được xác định theo công thức:

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

Trong đó H<sub>i</sub> là hiệu suất xử lý; C<sub>0i</sub> là giá trị nồng độ các thông số của nước

thải đầu vào (mg/L); và C<sub>i</sub> là giá trị nồng độ các thông số của nước thải sau xử lý (mg/L).

**2.3.2. 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 (OD<sub>680</sub>) bằng máy quang phổ UV-Vis. Giá trị OD<sub>680</sub> 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 3 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 OD<sub>680</sub> của mẫu. Xây dựng đường chuẩn OD<sub>680</sub> theo thời gian để theo dõi sự sinh trưởng của S. salina M8.

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Khảo sát mẫu nước thải sinh hoạt tại khu vực nghiên cứu**

Các số liệu phân tích nước thải được thể hiện trên bảng 3 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 ± 0,3 mg/L. Nước thải giàu nitrogen trong đó hàm lượng amoni (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) cao với nồng độ trong khoảng 32,12 ± 0,42 mg/L và N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> có hàm lượng thấp 3,2 ± 0,1 mg/L. Hàm lượng photphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) là dạng hợp chất phosphorus chủ yếu được tìm thấy trong nước thải sinh hoạt với nồng độ dao động 4,24 ± 0,15mg/L. Tổng nitrogen T-N và tổng phosphorus T-P ghi nhận trong nghiên cứu này nằm tương ứng trong khoảng 36,12± 0,52 mg/L và 5,2 ± 0,2 mg/L. Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) sau lọc khoảng 1,4± 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.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, nước thải sinh hoạt được sử dụng trong thí nghiệm này chứa các chất dinh dưỡng thiết yếu như các-

**Bảng 3. Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt sau khi xử lý sơ bộ và trước khi nuôi S.salina M8 (n=3)**

STT	Thông số	Đơn vị	Hàm lượng	QCVN 14:2008/ BTNMT (Cột B)
1	pH	-	7,3 ± 0,2	5-9
2	Nhiệt độ	°C	25,67± 0,21	-
3	TSS	mg/L	1,4± 0,2	100
4	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	3,2 ± 0,1	50
5	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	32,12 ± 0,42	10
6	Tổng N	mg/L	36,12± 0,52	-
7	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	4,24 ± 0,15	10
8	Tổng P	mg/L	5,2 ± 0,2	-
9	COD	mg/L	325,6 ± 0,3	-

bon, nitrogen, các hợp chất phosphorus cần thiết cho sự phát triển của tảo. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả Dang Thuan Tran và cộng sự, 2021 (D.T. Tran et al., 2021). Do đó, trong các nghiên cứu tiếp theo nước thải sinh hoạt được sử dụng để làm môi trường nuôi cấy cho *S.salina* M8.

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

Mật độ cấy giống ban đầu có vai trò quan trọng và ảnh hưởng đến sinh trưởng của *S.salina* M8 trong môi trường dinh dưỡng. Trong nghiên cứu này mật độ giống ban đầu được khảo sát với các giá trị OD<sub>680</sub> lần lượt là 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 (tương ứng với tỷ lệ *S.salina* M8 giống 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 4).

Số liệu khảo sát cho thấy, mật độ tảo giống ban đầu có ảnh hưởng rõ rệt đến tốc độ sinh trưởng của *S.salina* M8. Ở các tỷ lệ 10% và 15%, tốc độ sinh trưởng chậm hơn, với giá trị OD<sub>680</sub> lần lượt đạt 1,203±

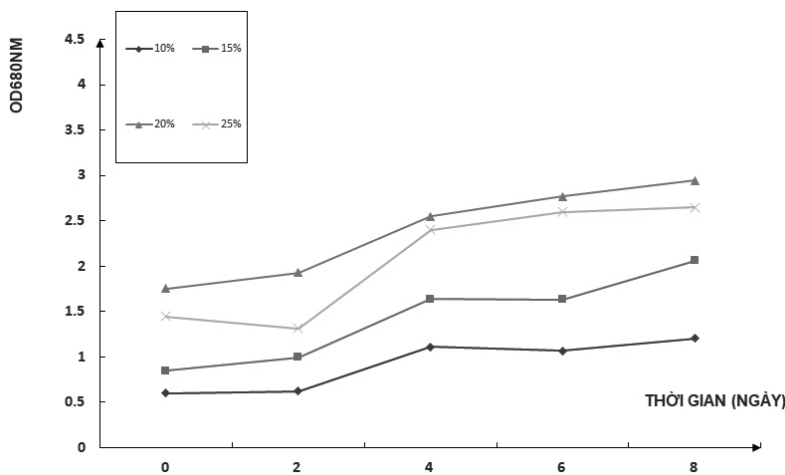
0,026 và 2,058± 0,009 sau 8 ngày. Điều này có thể được giải thích khi lượng giống cấy ban đầu thấp sinh khối đạt được không cao dẫn đến mật độ sinh khối thấp. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, khẳng định rằng mật độ giống nuôi ban đầu ảnh hưởng lớn đến hiệu suất quang hợp và tốc độ tăng trưởng của sinh khối (A. Vonshak et al., 1982). Trong khi ở tỷ lệ các 20% và 25%, tốc độ sinh trưởng nhanh hơn, đạt giá trị OD<sub>680</sub> lần lượt là 2,941 ± 0,05 và 2,648 ± 0,04. Tại tỷ lệ tảo giống 25% thấp hơn so với tỷ lệ 20% có thể lý giải nguyên nhân là do mật độ tảo lớn dẫn đến sự cạnh tranh về chất dinh dưỡng và cường độ ánh sáng bị giảm cho các tế bào ở lớp phía dưới. Vì vậy, tỷ lệ *S.salina* M8 giống ban đầu là 20% (v/v) cho kết quả sinh trưởng tốt nhất với giá trị OD<sub>680</sub> = 2,941 ± 0,05 được lựa chọn để thực hiện 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. Ảnh hưởng của pH lên khả năng sinh trưởng của *S.salina* M8

pH là một yếu tố chỉ thị quan trọng, phản ánh tình trạng dinh dưỡng của môi trường nuôi cấy, đặc biệt liên quan đến nguồn cung cấp bicarbonat và khí CO<sub>2</sub> hòa tan là các thành phần cần thiết cho quá trình quang hợp của tảo. Trong môi trường nuôi *S.salina* M8 thì pH đóng vai trò then chốt, vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng hấp thu dinh dưỡng và tốc độ sinh trưởng của tảo. Do đó, pH được xem là một trong những nhân tố môi trường có tác động đáng kể đến hiệu quả nuôi cấy chủng tảo này. Thí nghiệm tiến hành trong các bình Duran 1L tại các giá trị pH: 5, 6, 7, 8, 9 với tỷ lệ 20% (v/v) tảo giống *S.salina* M8 được thêm vào mỗi bình thí nghiệm.

Kết quả cho thấy, *S.salina* M8 sinh trưởng và phát triển tốt ở pH = 7 và 8 tương ứng với OD<sub>680</sub> = 2,925± 0,002 và 2,315± 0,005 so với pH = 5, 6 và 9 trong cùng một điều kiện nuôi. Theo



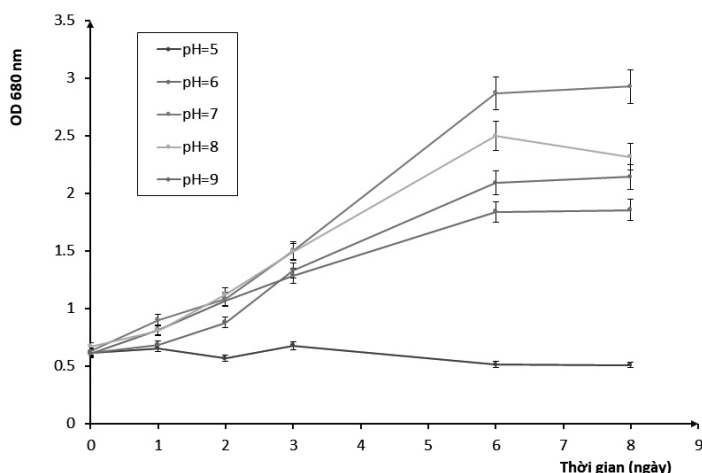
Hình 4. Sinh trưởng của *S.salina* M8 theo mật độ giống khác nhau sau 8 ngày nuôi



Hình 5. Thí nghiệm nuôi *S.salina* M8 trong nước thải sinh hoạt tại các giá trị pH khác nhau

**Bảng 4. Ảnh hưởng của pH lên sự sinh trưởng của S.salina M8**

Mật độ quang (OD680)	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=9
T0 (7/1/2025)	0,609 ± 0,064	0,603± 0,057	0,627± 0,02	0,669± 0,008	0,615± 0,025
T2 (9/1/2025)	0,564± 0,015	1,070± 0,03	1,082± 0,012	1,124± 0,011	0,878± 0,004
T4 (11/1/2025)	0,675± 0,124	1,284± 0,061	1,5± 0,032	1,491± 0,006	1,329± 0,002
T6 (13/1/2025)	0,512± 0,01	1,836± 0,051	2,868± 0,041	2,496± 0,013	2,088± 0,013
T8 (15/1/2025)	0,508± 0,003	1,852± 0,016	2,925± 0,002	2,315± 0,005	2,14± 0,009


**Hình 6. Sinh trưởng của S.salina M8 ở các pH khác nhau, mật độ tảo giống 20%**

ngiên cứu của Coutteau (1996) cũng cho kết quả pH thích hợp đối với sự phát triển của tảo từ 7 - 9 (Coutteau, P et al., 1996). Như vậy, trong nghiên cứu này pH = 7 là giá trị tối ưu cho sự sinh trưởng của S.salina M8 và tương ứng với OD<sub>680</sub> = 2,925± 0,002 sau 8 ngày nuôi.

Bên cạnh đó, giá trị pH của môi trường nuôi S.salina M8 có xu hướng tăng lên theo thời gian trong tất cả các thí nghiệm. Điều này được giải thích là do quá trình tạo ra ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> thông qua quá trình quang hợp của tảo, CO<sub>2</sub> từ khí quyển được tan vào trong môi trường theo phản ứng CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + H<sup>+</sup>.

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

Kết quả phân tích nồng độ và hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm của S.salina M8 tại pH = 7 trong nước thải sinh hoạt được thể hiện trong Bảng 5 và Hình 7.

Kết quả cho thấy, sau 8 ngày nuôi cấy tại pH = 7, nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt giảm rõ rệt. Hiệu

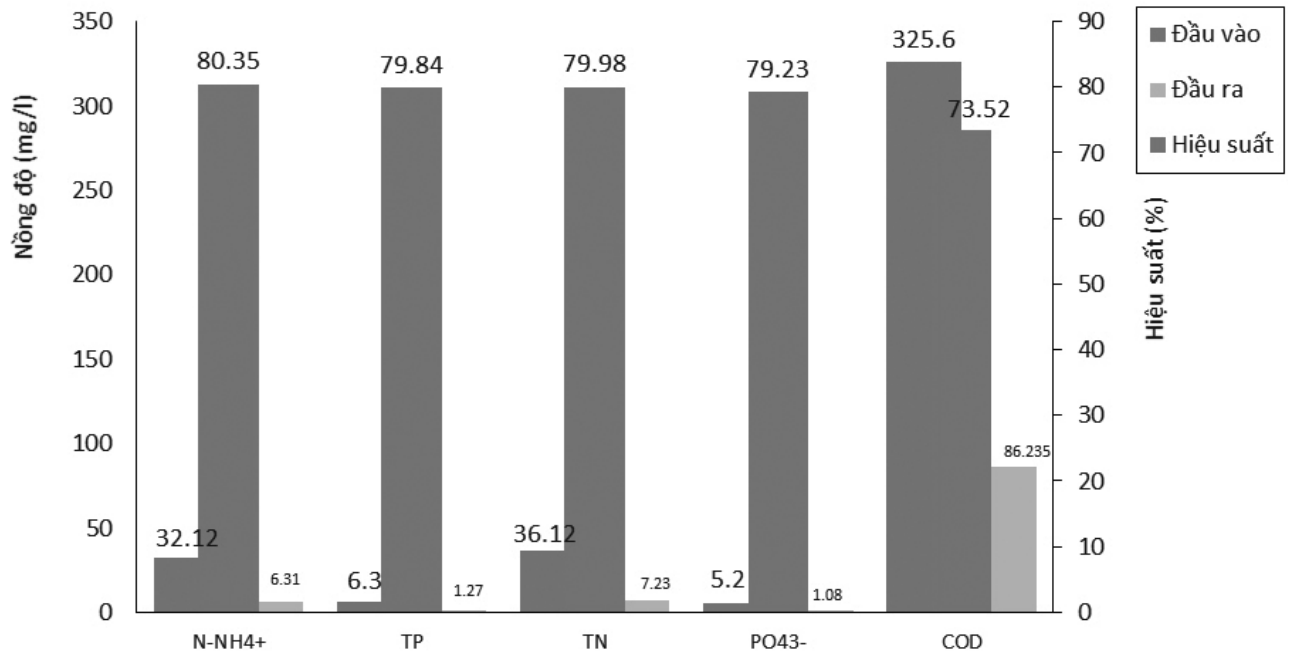
suất xử lý cao nhất ghi nhận đối với N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, đạt 80,35±0,33% (từ 32,12 ± 0,42 mg/L xuống 6,31 ± 0,22 mg/L), chứng tỏ khả năng loại bỏ amoni hiệu quả của S.salina M8. Tổng nitrogen (TN) đạt 79,98±0,41% (từ 36,12± 0,52 mg/L còn 7,23±0,25 mg/L), phản ánh khả năng hấp thụ dinh dưỡng tốt. Tương tự, P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> và TP lần lượt đạt hiệu suất 79,23±0,51% và 79,84±0,28% cho thấy khả năng loại bỏ phosphorus cũng rất đáng kể. COD giảm từ 325,6 ± 0,3 mg/L xuống 86,3± 0,5 mg/L, đạt hiệu suất 73,52±0,12%. Mặc dù hiệu suất xử lý COD thấp hơn so với các chất dinh dưỡng, song vẫn đáp ứng được yêu cầu, khẳng định tiềm năng của S.salina M8 trong xử lý đồng thời các hợp chất nitrogen, phosphorus và chất hữu cơ trong nước thải. Các số liệu trong nghiên cứu này là đồng nhất với các kết quả trong nghiên cứu của nhóm tác giả Đoàn Thị Oanh và cộng sự (2020), chủng Chlorella vulgaris CNK có tốc độ sinh trưởng tối ưu tại pH = 7 và đạt OD<sub>420</sub> = 0,068 ở ngày thứ 12 đồng thời hiệu suất xử lý N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> đạt 54% (Đoàn Thị Oanh và cộng sự, 2020).

### 3.4. Ảnh hưởng của tỷ lệ C:N:P đến sinh trưởng và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt bởi S.salina M8

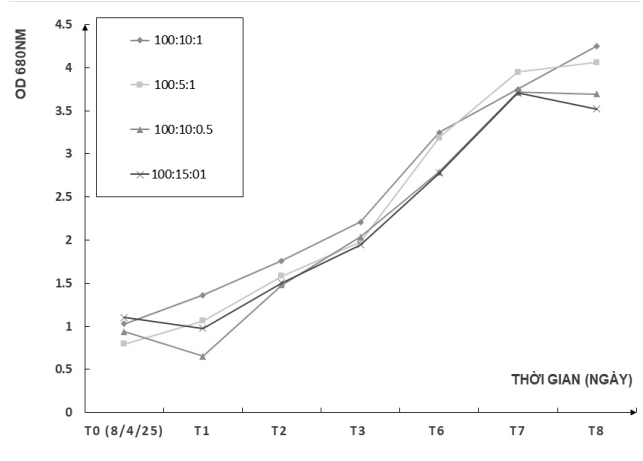
Kết quả thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ các chất dinh dưỡng C:N:P đến sinh trưởng và hiệu quả xử lý chất ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt bởi S.salina M8 sau 8 ngày, mật độ tảo giống 20% (v/v), pH = 7 được thể hiện trong Bảng 6 và Hình 9.

**Bảng 5. Nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH khi xử lý bằng nuôi S.salina M8 tại pH = 7**

pH = 7.0	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	TN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TP	COD
Trước xử lý (mg/L)	32,12 ± 0,42	36,12± 0,52	4,24 ± 0,15	5,2 ± 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	73,52± 0,12



Hình 7. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý tại pH =7, mật độ tảo giống 20%



Hình 8. Thí nghiệm S.salina M8 tại các tỉ lệ C:N:P khác nhau Hình 9. Sinh trưởng của S.salina M8 ở tỉ lệ C:N:P khác nhau

Bảng 6. Ảnh hưởng của tỉ lệ C:N:P đến sinh trưởng của tảo S.salina M8

Tỷ lệ C:N:P	100:10:1	100:5:1	100:10:0.5	100:15:1
Mật độ quang OD <sub>680</sub>				
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

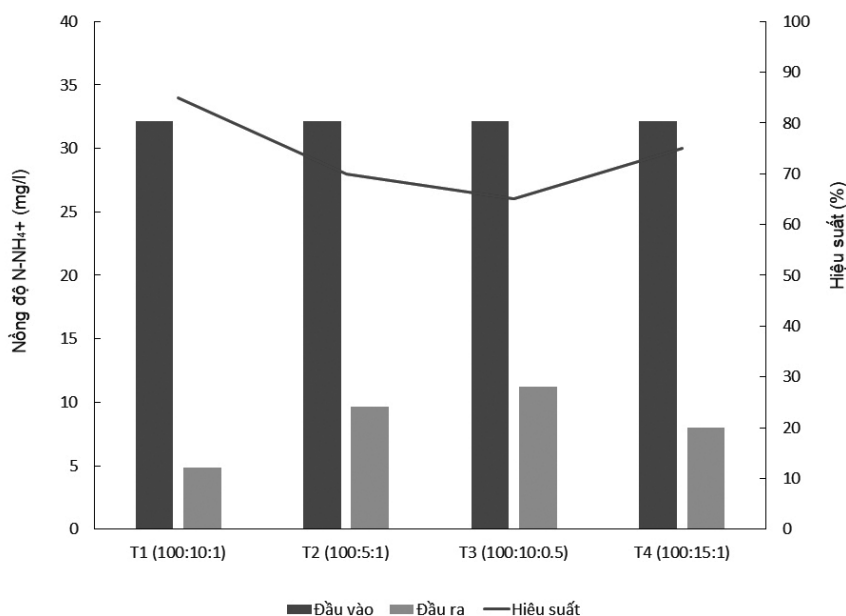


Kết quả cho thấy, ở tất cả các nghiệm thức đều thể hiện xu hướng tăng trưởng rõ rệt của *S.salina* M8 theo thời gian. Trong đó, tỷ lệ C:N:P = 100:10:1 cho kết quả tối ưu với OD<sub>680</sub> đạt cao nhất từ T1 trở đi và đạt giá trị lớn nhất 4,25±0,015 tại T8. Tỷ lệ 100:5:1 tuy có hàm lượng nitrogen thấp nhưng vẫn đạt OD<sub>680</sub> = 4,06±0,012 vào T8, nitrogen ở mức trung bình vẫn đáp ứng cho sinh trưởng khi phosphorus được cung cấp đầy đủ. Ngược lại, tỷ lệ 100:10:0.5 bị hạn chế sinh trưởng ban đầu do thiếu phosphorus, nhưng sau đó tăng dần và đạt OD<sub>680</sub> =

3,695±0,002 tại T8. Trong khi đó, tỷ lệ 100:15:1 có OD<sub>680</sub> cao nhất tại T1 nhưng tăng trưởng chậm ở các giai đoạn sau, OD<sub>680</sub> chỉ đạt 3,52±0,001 tại ngày thứ 8 và thấp nhất trong các nghiệm thức, cho thấy dư thừa nitrogen gây mất cân bằng dinh dưỡng. Vì vậy, tỷ lệ C:N:P = 100:10:1 tương ứng với OD<sub>680</sub> = 4,25±0,015 là tối ưu cho sinh trưởng của *S.salina* M8 trong nước thải sinh hoạt. Phosphorus đóng vai trò then chốt trong giai đoạn tăng trưởng mạnh, trong khi dư thừa nitrogen không cải thiện hiệu quả mà còn làm giảm tốc độ phát triển của tảo.

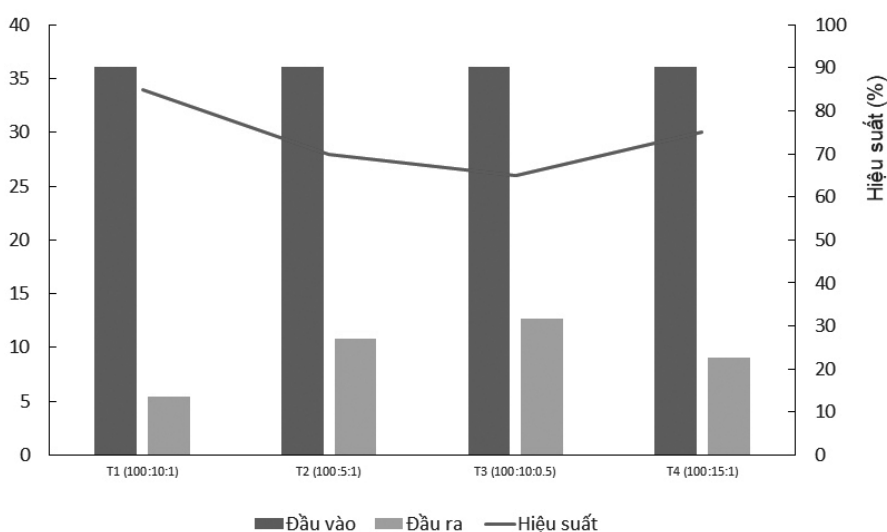
**Bảng 7. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH sau xử lý bằng *S.salina* M8 tại các tỷ lệ C:N:P**

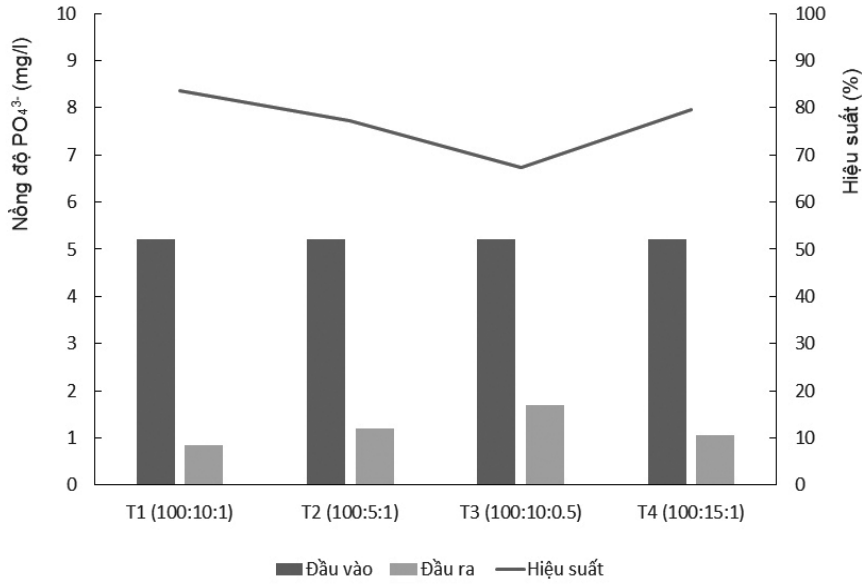
Tỷ lệ C:N:P	NH <sub>4</sub> (mg/L)	Tổng N (mg/L)	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Tổng P (mg/L)	COD (mg/L)
T1 (100:10:1)	4,82± 0,11	5,42± 0,14	0,85± 0,10	1,14± 0,56	81,15± 0,16
T2 (100:5:1)	9,64± 0,21	10,84± 0,43	1,19± 0,20	1,66± 0,47	97,38± 0,23
T3 (100:10:0.5)	11,24± 0,24	12,64± 0,16	1,70± 0,16	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



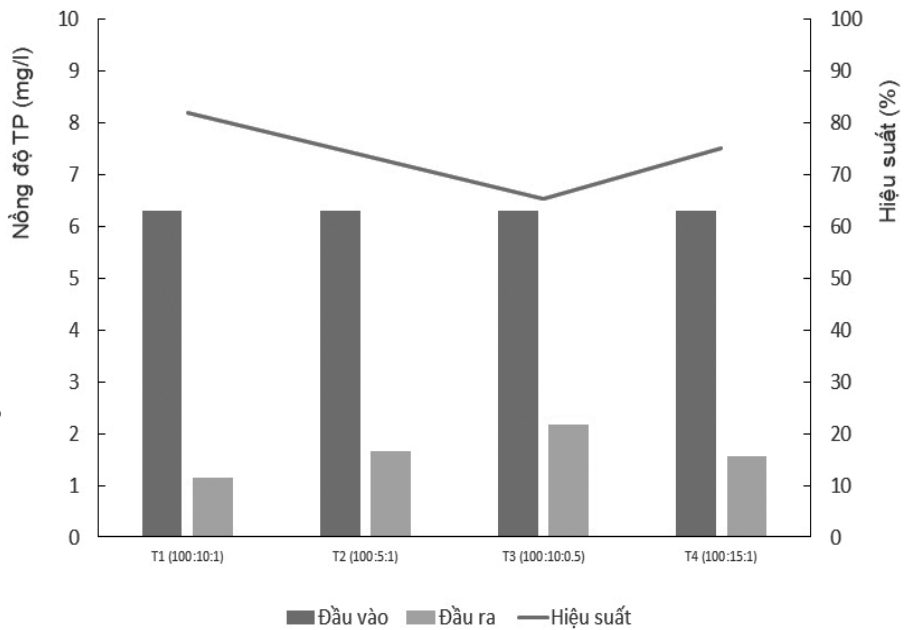
Hình 10. Hàm lượng N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> trong nước thải trước và sau khi xử lý tại các tỷ lệ C:N:P

Hình 11. Hàm lượng T-N trong nước thải trước và sau khi xử lý tại các tỷ lệ C:N:P

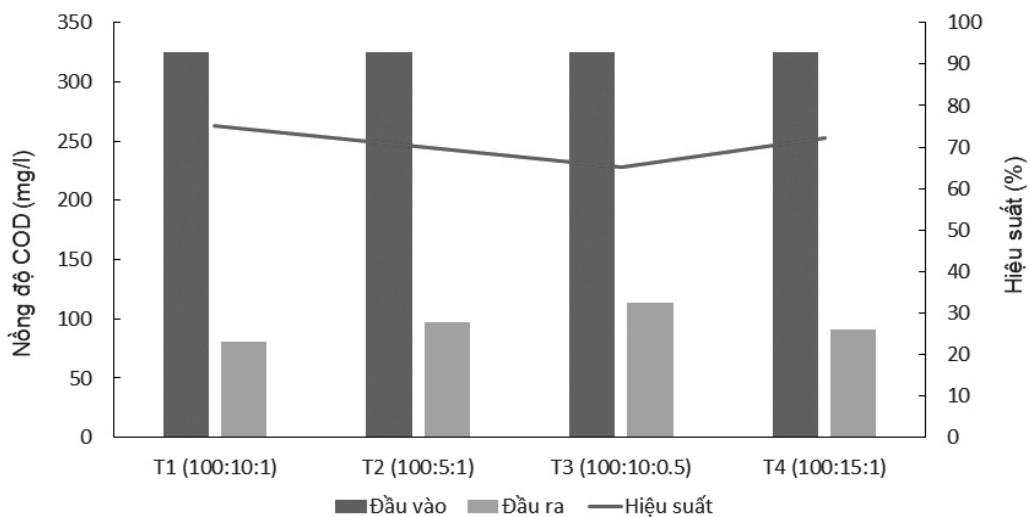




Hình 12. Hàm lượng  $PO_4^{3-}$  trong nước thải trước và sau khi xử lý tại các tỷ lệ C:N:P



Hình 13. Hàm lượng T-P trong nước thải trước và sau khi xử lý tại các tỷ lệ C:N:P

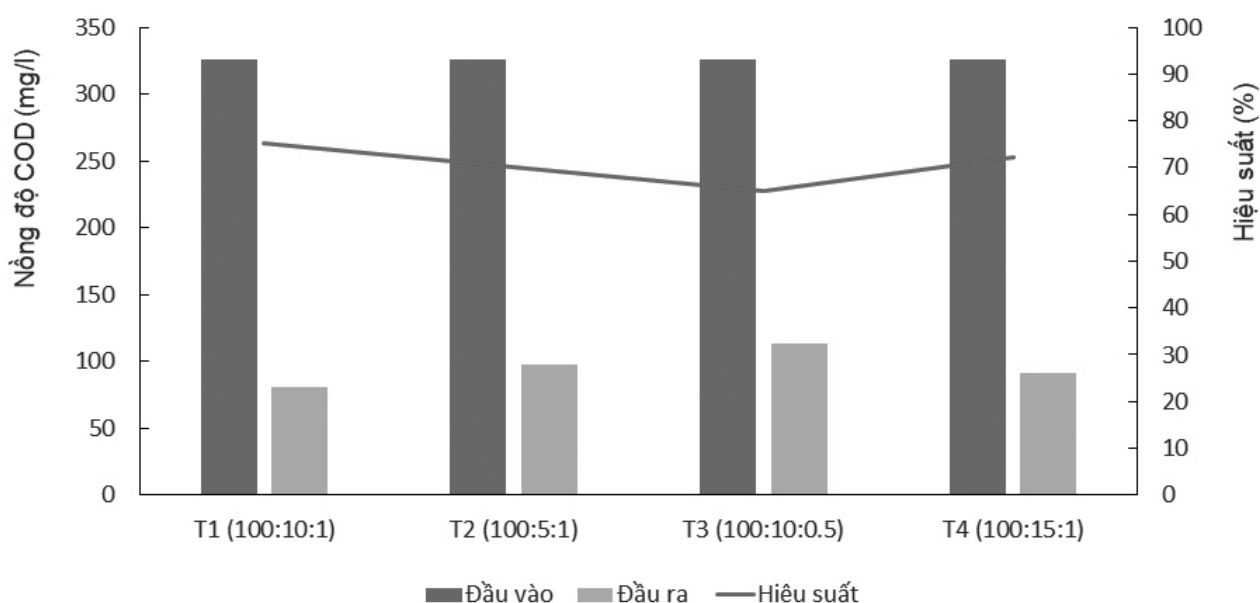


Hình 14. Hàm lượng COD trong nước thải trước và sau khi xử lý tại các tỷ lệ C:N:P



**Bảng 8. 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 <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T-N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	T-P	COD
Trước xử lý (mg/L)	32,12 ± 0,42	36,12 ± 0,52	4,24 ± 0,15	5,2 ± 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 15. Nồng độ các chất ô nhiễm trong NTSH trước và sau khi xử lý tại tỷ lệ C:N:P = 100:10:1*

Kết quả cho thấy, sau 8 ngày nuôi cấy ở tỷ lệ C:N:P = 100:10:1, hàm lượng N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, TN, TP, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> và COD trong nước thải đều giảm đáng kể, cho thấy hiệu quả xử lý tổng hợp cao của S.salina M8. Trong đó, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và TN đều đạt hiệu suất xử lý 84,99 ± 0,54%, phản ánh khả năng loại bỏ hiệu quả cả nitrogen vô cơ và hữu cơ. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> và TP cũng được loại bỏ với hiệu suất lần lượt 83,65 ± 0,21% và 81,9 ± 0,2%. COD giảm từ 325,6 ± 0,3 mg/L xuống 81,15 ± 0,16 mg/L, tương đương 75,08 ± 1,20%, đáp ứng yêu cầu xả thải theo QCVN 14:2008/BTNMT (cột B). Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu của Nattawut Krasaesueb và cộng sự (2019), chủng Synechocystis sp. được nuôi trong nước thải giàu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> đã cho hiệu suất loại bỏ chất dinh dưỡng là 96,99% đối với phosphate; 80,10% đối với nitrate; 67,90% đối với nitrite và 98,07% đối với amoni (N. Krasaesueb et al., 2019). Kết quả cũng tương đồng với Li và cộng sự (2024), khi thí nghiệm với chủng Chlorella vulgaris và vi khuẩn hiếu khí được

nuôi cấy đồng thời để xử lý nước thải hỗn hợp ở tỷ lệ C:N = 15:1 đã cho hiệu suất loại bỏ COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N và TP cao nhất, lần lượt chiếm 60,89 ± 1,80%, 43,38 ± 1,00% và 68,55 ± 0,59% (Li, R et al., 2024). Như vậy, kết quả tỷ lệ dinh dưỡng cân đối giữa C:N:P = (100:10:1) kết hợp với điều kiện tỷ lệ tảo giống 20% (v/v), cường độ ánh sáng 4.500 Lux, pH = 7 và nhiệt độ 27°C đã tạo môi trường tối ưu cho S.salina M8 sinh trưởng tốt và xử lý hiệu quả các chất ô nhiễm đồng thời tăng cường tích lũy sinh khối.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã hoàn thành việc khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố hóa sinh đến sinh trưởng và hiệu suất của quá trình xử lý nước thải bằng vi khuẩn lam S.salina M8. Kết quả nghiên cứu cho thấy S.salina M8 có hiệu quả cao trong việc xử lý nước thải sinh hoạt dưới điều kiện tối ưu được xác định gồm tỷ lệ giống 20-25% (v/v), pH=7 và tỷ lệ dinh dưỡng C:N:P là 100:10:1. Sau 8 ngày nuôi cấy trong

môi trường nước thải sinh hoạt, *S.salina* M8 đã đạt nồng độ sinh khối  $OD_{680}$  trên 4,0 Abs, tương đương sinh khối khô 1,6 g/L. Hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm như sau: N- $NH_4^+$  (85%), tổng nitrogen (85%), P-  $PO_4^{3-}$  (83,65%), tổng phosphorus (81,9%) và COD (75,08%). Nước thải sau khi xử lý đạt tiêu chuẩn xả thải theo QCVN 14:2008/BTNMT cột B. Mặc dù kết quả nghiên cứu mới chỉ thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm, cần tiếp tục nghiên cứu và triển khai mô hình sử dụng *S.salina* M8 trong thực tế vào các hệ thống xử lý nước thải quy mô nhỏ như hộ gia đình, khu dân cư, hoặc trường học, cơ quan. Hơn nữa, nghiên cứu cần tập trung vào việc giảm chi phí vận hành, thu hồi và tái sử dụng sinh khối từ *S.salina* M8 bao gồm việc chiết tách và tinh chế các sản phẩm có giá trị như nhựa sinh học PHA, phân bón sinh học, nguyên liệu biofuel, hoặc phycocyanin, từ đó đóng góp vào mục tiêu phát triển nền kinh tế xanh và tuần hoàn bền vững.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anh, T. T.D. (2022, July 28). *Hiện trạng ô nhiễm môi trường của Việt Nam*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/9hwca>.
2. *Cấp bách giải bài toán môi trường ở Hà Nội*. (n.d.). Nhandan.Vn. Retrieved April 17, 2025, from <http://specical.nhandan.vn/cap-bach-giai-bai-toan-moi-truong-o-Ha-Noi>.
3. Dang Thuan Tran, Thi Cam Van Do, Quang Trung Nguyen, Truong Giang Le. *Simultaneous removal of pollutants and high value biomaterials production by *Chlorella variabilis* TH03 from domestic wastewater*. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <http://dio.org/10/1007/s10098-020-01810-5>.
4. N. Krasaesueb, A. Incharoensakdi, W. Khetkorn, *Utilization of shrimp wastewater for poly-β-hydroxybutyrate production by *Synechocystis* sp. PCC 6803 strain ΔSphU cultivated in photobioreactor*, *Biotechnology Reports*, 23 (2019) e00345.
5. Santos, C. A., & Costa, J. A. V. (2020). *Cultivation of microalgae in the Brazilian scenario: A review*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(6), 1325–1338. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01810-5>.
6. Voulvoulis, N., Arpon, K. D., & Giakoumis, T. (2017). *The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation*. *Science of the Total Environment*, 575, 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228>.
7. M. I. B. Pereira et al., "Mixotrophic cultivation of *Spirulina platensis* in dairy wastewater: Effects on the production of biomass, biochemical composition and antioxidant capacity," *PLOS ONE*, vol. 14, no. 10, p. e0224110, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0224110.
8. Allaf, M., & Peerhossaini, H. (2022). *Cyanobacteria: Model Microorganisms and Beyond*. *Microorganisms*, <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040696>.
9. Meixner, K., Kovalcik, A., Sykacek, E., Gruber-Brunhumer, M., Zeilinger, W., Markl, K., Haas, C., Fritz, I., Mundigler, N., Stelzer, F., Neureiter, M., Fuchs, W., & Drosig, B. (2018). *Cyanobacteria Biorefinery - Production of poly(3-hydroxybutyrate) with *Synechocystis salina* and utilisation of residual biomass*. *Journal of biotechnology*, 265, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.10.020>.
10. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26751-7_4).
11. 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>.
12. *Synechocystis* sp. (n.d.). Ccap.ac.uk. Retrieved April 17, 2025, from <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-1480-4>.
13. D.T. Tran, T.C. Van Do, Q.T. Nguyen, T.G. Le, *Simultaneous removal of pollutants and high value biomaterials production by *Chlorella variabilis* TH03 from domestic wastewater*, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23 (2021) 3-17
14. 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.
15. Coutteau, P., (1996). *Micro-algae*. In: Patrick Laven and Patrick Sorgeloos (Eds). *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. Published by Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 361 pages.
16. Đoàn Thị Oanh, Dương Thị Thuý, Nguyễn Thành Trung (2020), *Đánh giá ảnh hưởng của pH ban đầu đến khả năng sinh trưởng và xử lý các hợp chất nitrogen trong nước thải sinh hoạt của vi tảo *Chlorella vulgaris* CNK*.
17. N. Krasaesueb, A. Incharoensakdi, W. Khetkorn, *Utilization of shrimp wastewater for poly-β-hydroxybutyrate production by *Synechocystis* sp. PCC 6803 strain ΔSphU cultivated in photobioreactor*, *Biotechnology Reports*, 23 (2019) e00345.
18. Li, R., Guo, D., Li, T., Zhao, J., & Pan, J. (2025). *Effect of C:N ratio on treatment of mixed industrial-domestic wastewater by microalgae-bacteria consortium*. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 10829–10837. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05871-0>.