

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ PHA LOÃNG NƯỚC THẢI LÊN KHẢ NĂNG SINH TRƯỞNG VÀ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA VI TẢO *CHLORELLA VULGARIS*

Trần Nguyệt Anh¹, Đoàn Thị Oanh^{1,*}, Lê Văn Dũng¹, Dương Thị Thủy²
Nguyễn Thường Đoàn¹, Nguyễn Minh Tuấn¹, Nguyễn Thành Trung¹
Vũ Thị Mai¹, Nguyễn Thị Quỳnh Thắm¹, Nguyễn Thị Bình Minh¹

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Việc ứng dụng vi tảo trong xử lý nước thải đang ngày càng phổ biến bởi những ưu điểm và tiềm năng to lớn mà nó mang lại. Ngoài những lợi ích trong xử lý nước thải, sinh khối vi tảo còn có khả năng tái tạo thành những sản phẩm thân thiện với môi trường, góp phần bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ pha loãng nước thải đến khả năng sinh trưởng và hiệu quả loại bỏ nitơ, photpho, COD trong nước thải sinh hoạt của chủng vi tảo *Chlorella vulgaris* ở quy mô phòng thí nghiệm. Thí nghiệm được bố trí với tỷ lệ pha loãng ban đầu là 0,25 v/v; 0,5 v/v; 0,75 v/v và 1,0 v/v. Thông số sinh trưởng và các thông số như $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$, T-P, $P-PO_4^{3-}$ và COD đã được thu thập trong quá trình thực nghiệm. Các thí nghiệm được thực hiện với tốc độ sục không khí 1,2 L/L/phút trong 8 h, nhiệt độ nuôi 20 - 22 °C, cường độ ánh sáng 5000 lux. Kết quả nghiên cứu cho thấy *Chlorella vulgaris* có khả năng sinh trưởng trong điều kiện 100 % nước thải sinh hoạt ứng với tỷ lệ pha loãng nước thải là 1,0 v/v. Tại điều kiện này, *Chlorella vulgaris* tăng trưởng tốt nhất với 0,134 gSKK/L và hiệu suất xử lý $N-NH_4^+$, T-P, $P-PO_4^{3-}$ và COD cũng đạt giá trị cao nhất là 85,22 %, 67,81 %, 74,10 % và 87,10 %, tương ứng.*

Từ khóa: *Chlorella vulgaris*; Nước thải sinh hoạt; Xử lý nước thải; Vi tảo.

Abstract

Evaluate the effect of the dilution ratio on the growth and domestic wastewater treatment of *Chlorella vulgaris*

*The utilization of microalgae for wastewater treatment is gaining widespread recognition due to its numerous advantages and immense potential. Apart from wastewater treatment benefits, microalgal biomass can be valorized into environmentally friendly products, contributing to environmental protection and sustainable development. This study assessed the effect of the dilution ratio of domestic wastewater on the growth and the effectiveness of removing nitrogen, phosphorus, and COD in the wastewater of the *Chlorella vulgaris* microalgae strain on a laboratory scale. The experiment was arranged with the initial dilution ratio of 0.25 v/v; 0.5 v/v; 0.75 v/v, and 1.0 v/v. Growth parameters and factors such as $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$, T-P, $P-PO_4^{3-}$ and COD have been collected during the experimental process. The experiments were conducted at an airflow rate of 1.2 L/L/min for 8 hours, with a rearing temperature of 20 - 22 °C, and a light intensity of 5000 lux. Research results have shown that *Chlorella vulgaris* can*

Nghiên cứu

grow in conditions of 100 % domestic wastewater at a ratio dilution of 1.0 v/v. Under these conditions, *Chlorella vulgaris* showed the best growth at 0.134 gSKK/L, with the highest removal efficiencies for $N-NH_4^+$, T-P, $P-PO_4^{3-}$ and COD reaching 85.22 %; 67,81 %, 74,10 % and 87,10 %, respectively.

Keywords: *Chlorella vulgaris*; Domestic wastewater; Microalgae; Wastewater treatment.

Nhận bài: 03/6/2024; Phản biện xong: 10/6/2024; Duyệt đăng: 26/9/2024

***Tác giả liên hệ, Email:** dtoanh@hunre.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2024.597>

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh hiện nay, Việt Nam đang trong đà phát triển kinh tế - xã hội dẫn tới nhu cầu năng lượng, tài nguyên, thực phẩm ngày càng tăng. Điều này kéo theo một loạt các hệ lụy về ô nhiễm môi trường, đặc biệt là ô nhiễm môi trường nước do phát thải nước thải sinh hoạt. Lượng nước thải lớn có thể gây thiệt hại nghiêm trọng đến môi trường xung quanh và sức khỏe con người. Tuy nhiên, theo một góc độ khác, nước thải sinh hoạt chứa các chất hữu cơ và chất dinh dưỡng cũng có thể được coi là một nguồn dinh dưỡng tuyệt vời. Cho đến nay, việc tái sử dụng nước thải đã thu hút sự quan tâm rộng rãi của nhiều học giả. Theo ước tính của Nguyễn Văn Quân và cộng sự (2021), đến năm 2050, tại Hà Nội, mỗi ngày môi trường nước sẽ phải tiếp nhận hơn hai triệu m³ nước thải sinh hoạt [1]. Trong nước thải sinh hoạt, lượng chất ô nhiễm thải ra từ các nguồn ô nhiễm trong nước, chẳng hạn như nhu cầu oxy hóa học (COD), nitơ (N) và phốt pho (P), chiếm tỷ trọng khá lớn. Việc xả thải các nguồn nước thải trên nếu không được xử lý hợp lý sẽ dẫn đến một lượng lớn phốt pho và nitơ đi vào môi trường, kéo theo hiện tượng phú dưỡng và một loạt các vấn đề liên quan ô nhiễm liên quan khác [2, 3]. Hiện nay, có một số

phương pháp xử lý nước thải sinh hoạt, chẳng hạn như các phương pháp hoá học (keo tụ, đông tụ, tuyển nổi), hay một số phương pháp sinh học sử dụng bùn hoạt tính (như aerotank, SBR, AAO, AO và mương oxy hóa). Tuy nhiên, các phương pháp này thường có chi phí đầu tư, chi phí vận hành, mức tiêu thụ năng lượng và chi phí quản lý bùn cao. So với các quy trình xử lý thông thường, phương pháp sinh học ứng dụng vi tảo trong xử lý nước thải sinh hoạt có nhiều ưu điểm, chẳng hạn như chi phí thấp hơn, mức độ loại bỏ chất ô nhiễm cao hơn [4, 5, 6, 7]. Do nhu cầu cần phốt pho và nitơ để phát triển, nên vi tảo cũng có thể xử lý nước thải nhanh chóng. Ngoài ra, vi tảo có thể mang lại các sản phẩm có giá trị cao từ sinh khối của chúng sau quá trình xử lý [8]. Một số loài vi tảo *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Botryococcus* đã được chứng minh là có hiệu quả trong việc hấp thu các chất dinh dưỡng, chất gây ô nhiễm mới nổi và mầm bệnh từ nước thải [8]. Chúng được coi là các giải pháp xử lý sinh học đa năng giúp chuyển đổi các thành phần vô cơ và hữu cơ không mong muốn thành sinh khối có giá trị [9]. Một số nghiên cứu cho thấy nhóm vi tảo có tiềm năng loại bỏ chất dinh dưỡng khỏi nước thải sinh hoạt với hiệu suất lớn hơn 78 %. Mặc dù, một số nghiên

cứu cho thấy hiệu quả của vi tảo trong xử lý nước thải sinh hoạt. Tuy nhiên, đối với mỗi một chủng vi tảo khác nhau sẽ vẫn phải đối mặt với những thách thức khác nhau, bao gồm sự thay đổi của thành phần nước thải, nhu cầu dinh dưỡng, các yếu tố ngoại cảnh,... Trong nghiên cứu này, vi tảo *Chlorella vulgaris* đã được nuôi trong nước thải sinh hoạt ở các tỷ lệ pha loãng khác nhau. Mục đích của nghiên cứu này là mong muốn lựa chọn được tỷ lệ pha loãng nước thải sinh hoạt thích hợp cho sinh trưởng và xử lý nước thải sinh hoạt của vi tảo *Chlorella vulgaris*.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

2.1.1. *Chlorella vulgaris*

Chủng vi tảo *Chlorella vulgaris* được cung cấp từ Bộ sưu tập vi tảo của Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Trước khi tiến hành thí nghiệm, vi tảo được bảo quản và nuôi trong môi trường BG11 (Blue-Green Medium) bao gồm: (1) NaNO_3 1,5 g/L; (2) 10 mL trên một lít môi trường nuôi cấy với các hóa chất sau: $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (4 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (7,5 g/L), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3,6 g/L), $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,6 g/L), $\text{Fe}(\text{NH}_4)_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$ (0,6 g/L), EDTA. Na_2 (0,1 g/L), Na_2CO_3 (2 g/L) và (3) 1 mL trên một lít môi trường nuôi cấy với các hóa chất sau: $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,39 g/L), H_3BO_3 (2,86 g/L), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,08 g/L), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1,81 g/L), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,22 g/L). Độ pH ban đầu của môi trường được duy trì ở giá trị 7. Vi tảo được nuôi cấy trong bình tam giác thủy tinh 2 L chứa 1,5 L môi trường, sục

khí bằng khí nén với nhiệt độ xung quanh khoảng 20 - 22 °C và chiếu sáng liên tục bằng đèn huỳnh quang ánh sáng trắng.

2.1.2. Nước thải sinh hoạt

Nước thải sinh hoạt được lấy tại toà nhà chung cư phường Xuân Đình, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Bố trí thí nghiệm

Các mẫu nước thải thu thập được để lắng trong yên tĩnh 30 phút. Sau đó, phần nước thải trong các mẫu nước thải được lọc bằng bộ lọc GF/C có kích thước lỗ lọc 1,2 mm. Thao tác lọc mẫu giúp loại bỏ chất rắn lơ lửng và hạn chế ảnh hưởng đến sự phát triển của vi tảo. Sau đó, dịch lọc được bảo quản và đem đi phân tích để xác định các thông số N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-NO_2^- , tổng P, P-PO_4^{3-} và COD. Tỷ lệ pha loãng được xác định là thể tích của nước thải sinh hoạt (đã khử trùng) so với tổng thể tích làm việc 2L (v/v). Trong nghiên cứu này, nước máy đã được sử dụng để pha loãng nước thải sinh hoạt. Trong đó, tổng thể tích làm việc được tính bằng thể tích nước thải sinh hoạt và thể tích nước máy. Bốn tỷ lệ pha loãng nước thải sinh hoạt khác nhau đã được nghiên cứu, bao gồm 0,25 v/v; 0,5 v/v; 0,75 v/v và 1,0 v/v. Độ pH của môi trường nuôi cấy là 7. Sau đó, các bình nuôi cấy được sục khí liên tục bằng khí nén và chiếu sáng bằng đèn huỳnh quang trắng trong 8 h.

2.2.2. Phân tích mẫu nước thải sinh hoạt

Các thông số được phân tích bao gồm pH, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , T-P, P-PO_4^{3-} và COD. Trong đó, pH được phân tích bằng thiết bị đo nhanh, thông số NH_4^+ được

Nghiên cứu

phân tích theo 4500 NH₃-F, SMEWW, 1995; thông số NO₂⁻ được phân tích theo TCVN 6178:1996; thông số NO₃⁻ được phân tích theo phương pháp trắc quang dùng thuốc thử axit sunfosalixylic theo TCVN 6180-1996, thông số T-P và P-PO₄³⁻ được phân tích theo TCVN 6202:2008 và phương pháp phân tích COD theo TCVN 6491:1999.

Hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt của vi tảo được tính bằng công thức:

$$H = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100 \quad (1)$$

trong đó: H - Hiệu suất xử lý (%); C₀ - Nồng độ các thông số của nước thải đầu vào (mg/L); C - Nồng độ các thông số của nước thải sau xử lý (mg/L).

2.2.3. Phương pháp đánh giá sinh trưởng của *Chlorella vulgaris*

Sinh trưởng của các mẫu vi tảo *Chlorella vulgaris* được đánh giá thông qua các thông số sinh khối khô (SKK), đơn vị g/L ở các thời điểm nuôi cấy khác nhau. Sinh khối khô vi tảo được xác định theo phương pháp sấy khô mẫu ở 105 °C [10].

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Thành phần nước thải sinh hoạt đầu vào

Các dữ liệu phân tích nước thải sinh hoạt đầu vào (sau quá trình lắng và lọc) được thể hiện trên Bảng 1. Nước thải sinh hoạt trong nghiên cứu này có độ pH trung bình khoảng 7,5 ± 0,5. Bên cạnh đó, nước thải sinh hoạt có đặc điểm giàu nitơ và phốt pho. Điều này thể hiện ở hàm lượng N-NH₄⁺ khoảng 50,56 ± 3,12 mg/L. N-NO₃⁻ và N-NO₂⁻ cũng được tìm thấy với nồng độ khá thấp, nhỏ hơn 0,1 mg/L. Hàm lượng phốt pho P-PO₄³⁻ là dạng hợp chất phốt pho chủ yếu được tìm thấy trong nước thải sinh hoạt với nồng độ dao động trong khoảng 8,0 ± 0,7 mg/L. Tổng phốt pho T-P trong nước thải sinh hoạt nằm trong khoảng 10 ± 1,3 mg/L. Nhu cầu oxy hóa học (COD) của nước thải sinh hoạt đầu vào lên tới 306,3 ± 7,8 mg/L. Mặt khác, so sánh với QCVN 14:2008/BTNMT cho thấy giá trị pH, N-NO₃⁻ và P-PO₄³⁻ nằm trong khoảng cho phép đồng thời tạo điều kiện môi trường phù hợp cho sự sinh trưởng và phát triển của vi tảo trong nước thải sinh hoạt. Bên cạnh đó, hàm lượng N-NH₄⁺ cao hơn 5 lần so với nồng độ quy định ở cột B trong QCVN 14:2008/BTNMT.

Bảng 1. Đặc điểm nước thải sinh hoạt (sau quá trình lắng và lọc) trước khi nuôi vi tảo (n = 3)

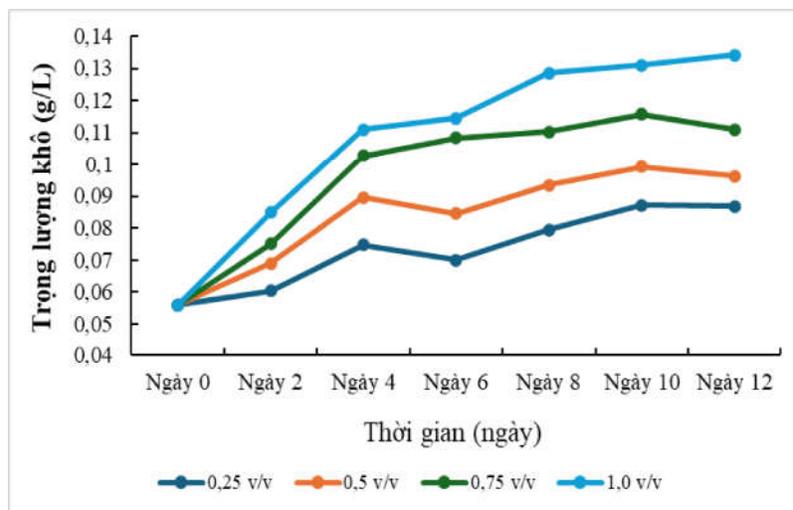
Thông số	Đơn vị	Kết quả	QCVN 14:2008/BTNMT (Cột B)
pH	-	7,5 ± 0,5	5 - 9
N-NH ₄ ⁺	mg/L	50,56 ± 3,12	10
N-NO ₂ ⁻	mg/L	0,08 ± 0,01	-
N-NO ₃ ⁻	mg/L	0,048 ± 0,013	50
Tổng P	mg/L	10 ± 1,3	-
P-PO ₄ ³⁻	mg/L	8,0 ± 0,7	10
COD	mg/L	306,3 ± 7,8	-

Nhìn chung, kết quả phân tích cho thấy nước thải sinh hoạt có chứa các nguyên tố thiết yếu bao gồm cacbon, nito và các hợp chất photpho đây là các thành phần cần thiết cho sự phát triển của vi tảo.

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ pha loãng nước thải đến khả năng sinh trưởng của vi tảo *Chlorella vulgaris*

Sự hấp thụ chất dinh dưỡng của vi tảo thường bị ảnh hưởng bởi thành phần của chất dinh dưỡng có trong môi trường nuôi cấy. Về vấn đề này, nguồn nito (N),

photpho (P) và nguồn cacbon (C) thường được yêu cầu trong môi trường nuôi cấy để hỗ trợ sự phát triển của sinh khối vi tảo [11]. Tuy nhiên, có một số hạn chế cần được giải quyết khi sử dụng nước thải làm nguồn dinh dưỡng trong nuôi cấy vi tảo, chẳng hạn như tỷ lệ pha loãng nước thải [12]. Chính vì vậy, trong nghiên cứu hiện tại, các lượng nước thải đã được khử trùng khác nhau đã được đổ vào các bình nuôi cấy 2 L để nghiên cứu tác động của tỷ lệ pha loãng nước thải đối với sự phát triển của *Chlorella vulgaris*.



Hình 1: Sự sinh trưởng của vi tảo *Chlorella vulgaris* ở các tỷ lệ pha loãng nước thải sinh hoạt khác nhau

Theo Hình 1, *Chlorella vulgaris* được phát hiện có trọng lượng khô cao hơn khi được cung cấp lượng nước thải với tỷ lệ pha loãng 1,0 v/v so với các công thức có tỷ lệ pha loãng nước thải 0,25 - 0,75 v/v. Quan sát này khá tương đồng với hầu hết các báo cáo đã công bố trước đây cho thấy lượng nước thải cao có xu hướng đẩy nhanh sự phát triển của vi tảo do lượng chất dinh dưỡng có sẵn rất lớn trong môi trường nuôi cấy [13, 14].

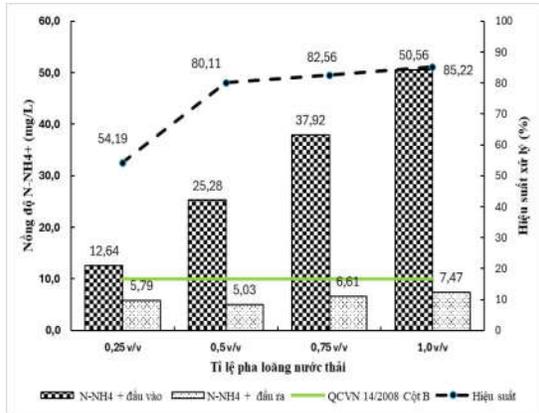
3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ pha loãng nước thải đến khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của vi tảo *Chlorella vulgaris*

Sự hiện diện của nồng độ chất dinh dưỡng cao (ví dụ như nito và photpho) trong nước thải có thể gây ra phú dưỡng nếu nước thải này được xả trực tiếp vào các nguồn nước. Nito có thể có trong nước thải sinh hoạt dưới dạng amoni ($N-NH_4^+$, nito liên kết hữu cơ hoặc thậm chí là $N-NO_2^-$ và $N-NO_3^-$; trong khi photpho thường xuất hiện dưới dạng ion phosphat $P-PO_4^{3-}$ [12]. Do đó, các chất dinh dưỡng có sẵn trong nước thải có thể được sử dụng để vi tảo phát triển. *Chlorella* sp. đã được sử dụng trong nhiều nghiên cứu do hiệu quả của nó trong việc loại

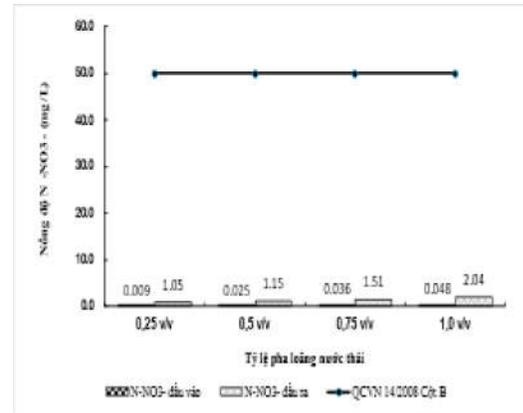
Nghiên cứu

bỏ các nguồn nitơ và photpho khỏi các dòng nước thải khác nhau [15]. Ngoài ra, nuôi cấy vi tảo có thể được đưa vào làm phương pháp xử lý bậc ba trong một nhà máy xử lý nước thải thông thường để loại

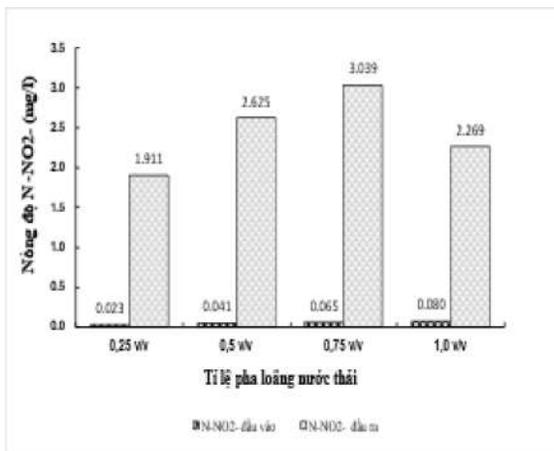
bỏ thêm NO_3^- còn lại sau quá trình khử nitrat sau [16]. Hình 2 mô tả kết quả về hiệu quả loại bỏ các nguồn nitơ và photpho trong các mẫu nước thải sinh hoạt bằng vi tảo *Chlorella vulgaris*.



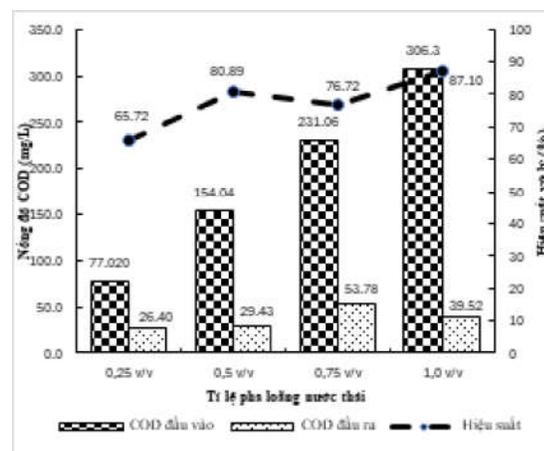
(a)



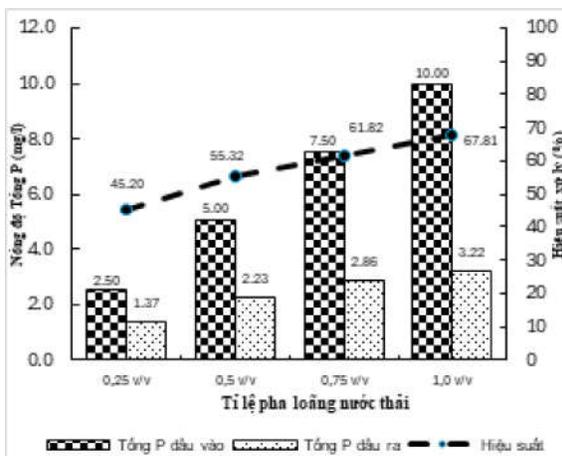
(b)



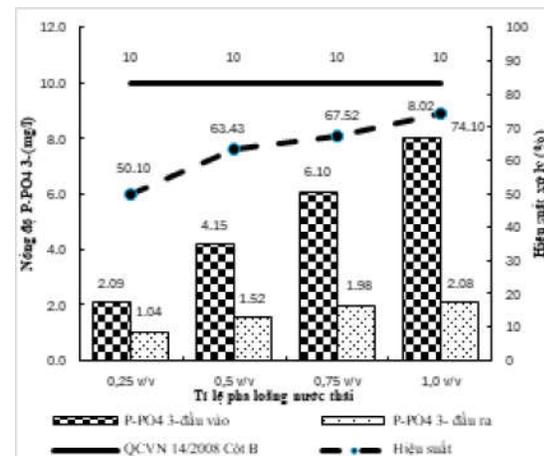
(c)



(d)



(e)



(f)

Hình 2: Khả năng xử lý nước thải sinh hoạt của vi tảo *Chlorella vulgaris*

Hình 2. a-f thể hiện sự thay đổi về nồng độ của N-NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , COD, Tổng P và P-PO_4^{3-} trong thời gian nghiên cứu 12 ngày. Nhìn chung, ở cả 4 thí nghiệm với 4 tỷ lệ pha loãng nước thải sinh hoạt khác nhau, vi tảo *Chlorella vulgaris* đều có khả năng sinh trưởng và xử lý nước thải sinh hoạt. Mặc dù vậy, có sự khác nhau đáng kể về hiệu suất xử lý nước ở các thí nghiệm. Đối với các thí nghiệm với tỷ lệ pha loãng nước thải thấp hơn dẫn đến hàm lượng dinh dưỡng cung cấp cho vi tảo giảm, đồng thời dẫn đến khả năng sinh trưởng của vi tảo *Chlorella vulgaris* kém. Tương ứng với đó là khả năng xử lý nước thải cũng giảm dần. Cụ thể: Ở thí nghiệm có tỷ lệ pha loãng thấp nhất (0,25 v/v), hiệu suất xử lý N-NH_4^+ , COD và Tổng P chỉ đạt 54,19 %; 65,72 % và 65,33 %, tương ứng. Khi tăng tỷ lệ pha loãng nước thải lên 0,5 v/v và 0,75 v/v, hiệu suất xử lý nước thải của *Chlorella vulgaris* cũng tăng dần. Ở thí nghiệm có nồng độ pha loãng cao nhất (1,0 v/v), hiệu suất xử lý nước thải đạt giá trị cao nhất. Nồng độ N-NH_4^+ giảm từ 50,56 (mg/L) xuống còn 7,47 (mg/L), hiệu suất xử lý đạt 85,22 %. Nồng độ Tổng P và COD trong nước thải tại thí nghiệm này giảm từ 10 (mg/L) xuống còn 3,22 (mg/L), hiệu suất đạt 67,81 % và 306,3 (mg/L) xuống còn 39,52 (mg/l), hiệu suất đạt 87,10 %, tương ứng. Hiệu suất loại bỏ các nguồn nitơ và photpho trong nghiên cứu này cũng cao hơn so với các phát hiện trước đây, trong đó *Chlorella vulgaris* ghi nhận hiệu suất loại bỏ trung bình của nitơ và photpho lần lượt là 72 % và 28 % từ mẫu nước thải [17]. Ngoài ra, kết quả cũng cho thấy rằng sản lượng sinh khối vi tảo tương đối thấp thu được, có thể là do nồng độ nitơ ban đầu thấp trong nước thải. Tác giả

Zhou et al., (2014) đã đề cập đến việc loại bỏ 76,7 - 92,3 % tổng nitơ và 67,5 - 82,2 % tổng photpho bởi *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlamydomonas reinhardtii* và *Scenedesmus obliquus*, trong quá trình xử lý nước thải [18]. Nhìn chung, kết quả cho thấy vi tảo *Chlorella vulgaris* có tiềm năng loại bỏ chất dinh dưỡng khỏi nước thải sinh hoạt. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thêm các điều kiện tối ưu khác nhau để thu được sinh khối vi tảo tối ưu cũng như hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt cao nhất. Các kết quả của nghiên cứu này cho thấy tiềm năng của việc sử dụng trực tiếp nước thải sinh hoạt trong nuôi cấy vi tảo mà không cần đến các biện pháp pha loãng.

4. Kết luận

Nước thải sinh hoạt chứa nhiều chất hữu cơ và vô cơ, nếu thải ra mà không qua xử lý, có thể gây ra những tác động nghiêm trọng đến môi trường. Các phương pháp xử lý thông thường thường đắt đỏ, tốn nhiều năng lượng và không thể giải quyết được mọi vấn đề do nước thải tạo ra. Vi tảo *Chlorella vulgaris* là ứng cử viên tiềm năng cho việc xử lý nước thải sinh hoạt vì chúng có thể làm giảm nồng độ nitơ, photpho và các chất có hại khác như hợp chất hữu cơ. Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ pha loãng nước thải sinh hoạt lên khả năng sinh trưởng và xử lý nước thải sinh hoạt của vi tảo *Chlorella vulgaris*. Trong điều kiện thực nghiệm với tỷ lệ pha loãng 1,0 v/v, *Chlorella vulgaris* tăng trưởng tốt nhất với sinh khối khô đạt 0,134 g/L. Tại tỷ lệ pha loãng nước thải này, hiệu suất xử lý N-NH_4^+ , T-P, P-PO_4^{3-} và COD cũng đạt giá trị cao nhất là 85,22 %; 67,81 %; 74,10 % và 87,10 % và cho hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt cao nhất.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hoàn thành trong khuôn khổ đề tài TNMT.2023.562.05. Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Bộ Tài nguyên và Môi trường đã tài trợ kinh phí thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Văn Quân, Trần Thị Huyền Nga, Phạm Thị Thúy, Nguyễn Mạnh Khải (2021). *Xử lý nước thải sinh hoạt và tái sử dụng nước thải sau xử lý tại Việt Nam*. Tạp chí Môi trường, số 1, 31 - 36.

[2]. Chen, M., Chang, L., Zhang, J., Guo, F., Vymazal, J., He, Q., Chen, Y., (2020). *Global Nitrogen input on Wetland ecosystem: The driving mechanism of soil labile carbon and Nitrogen on Greenhouse Gas Emissions*. Environ. Sci. Ecotechnology, 4, 100063.

[3]. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., Wang, H., (2022). *Biochar - based slow - release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review*. Environ. Sci. Ecotechnology, 10, 100167.

[4]. Yusuf, A., Sodiq, A., Giwa, A., Eke, J., Pikuda, O., de Luca, G., di Salvo, J. L., Chakraborty, S., (2020). *A review of emerging trends in membrane science and technology for sustainable water treatment*. J. Clean. Prod, 266, 121867.

[5]. Daud, N.M. , Abdullah, S.R.S. , Hasan, H.A. , Ismail, N.I. , Dhokhikah, Y., (2022). *Integrated physical - biological treatment system for Batik industry wastewater: A review on process selection*. Sci. Total Environ. 819, 152931.

[6]. Dalvi, V., Naaz, F., Nigam, H., Jain, R., Samuchiwal, S., Kalia, S., Kumar, R., Mathur, M., Bano, F., Malik, A., et al., (2021). *Removal of pollutants from wastewater via biological methods and shifts in Microbial community profile during treatment process*. In *Wastewater Treatment Reactors: Microbial Community Structure*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 19 - 38.

[7]. Quijano, G., Arcila, J.S., Buitrón, G., (2017). *Microalgal - Bacterial aggregates: Applications and perspectives for wastewater treatment*. Biotechnol. Adv. 35, 772 - 781.

[8]. Alazaiza, M.Y.D., Albahnasawi, A., Al Maskari, T., Abujazar, M.S.S., Bashir, M.J.K., Nassani, D.E., Abu Amr, S.S., (2023). *Biofuel production using cultivated*

algae: Technologies, Economics and Its environmental impacts. Energies 16, 1316.

[9]. Mastropetros, S.G., Pispas, K., Zagklis, D., Ali, S.S., Kornaros, M., (2022). *Biopolymers production from Microalgae and Cyanobacteria cultivated in wastewater: Recent advances*. Biotechnol. Adv. 60, 107999.

[10]. Trần Văn Tựa, Đặng Đình Kim, Dương Thị Thủy, Bùi Thị Kim Anh, Vũ Thị Nguyệt, Nguyễn Hồng Yển (2018). *Công nghệ sản xuất và ứng dụng vi tảo*. Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 351.

[11]. Xin L., Hu H.Y., Ke G., Sun Y.X., (2010). *Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake and lipid accumulation of a freshwater microalga Scenedesmus sp.* Bioresour. Technol. 101 5494 - 5500.

[12]. Chiu S.Y., Kao C.Y., Chen T. Y., Chang Y. B., Kuo C. M., Lin C. S., (2015). *Cultivation of microalgal Chlorella for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource*. Bioresour. Technol. 184 (2015) 179 - 189.

[13]. Kuo C.M., Chen T.Y., Lin T.H., Kao C.Y., Lai J.T., Chang J.S., Lin C.S., (2015). *Cultivation of Chlorella sp. GD using piggery wastewater for biomass and lipid production*. Bioresour. Technol. 194 (2015) 326 - 333.

[14]. Holbrook G.P., Davidson Z., Tataru R.A., Ziemer N.L., Rosentrater K.A., Scott Grayburn W., (2014). *Use of the microalga Monoraphidium sp. grown in wastewater as a feedstock for biodiesel: Cultivation and fuel characteristics*. Appl. Energy 131, 386 - 393.

[15]. Cai T., Park S.Y., Li Y., (2013). *Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects*. Renew. Sustain. Energy Rev. 19, 360 - 369.

[16]. Filippino K.C., Mulholland M.R., Bott C.B., (2015). *Phycoremediation strategies for rapid tertiary nutrient removal in a waste stream*. Algal Res. 11, 125-133.

[17]. Aslan S., Kapdan I.K., (2006). *Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae*. Ecol. Eng. 28, 64 - 70.

[18]. Zhou G.J., Ying G.G., Li S., Zhou L.J., Chen Z.F., Peng F.Q., (2014). *Simultaneous removal of inorganic and organic compounds in wastewater by freshwater green microalgae*.