

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ TRONG ĐIỀU KIỆN ÁNH SÁNG YẾU DÙNG VI TẢO *SCENEDESMUS* SP.

STUDY ON TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER UNDER LOW LIGHT CONDITIONS USING A BLUE-GREEN ALGAE *SCENEDESMUS* SP.

Lưu Thị Thu Hà^{1,2}, Hà Phương Long³, Nguyễn Thị Phương Dung^{1,2},
Bùi Thị Thu Uyên⁴, Ngô Thanh Sơn⁵,
Phạm Thị Mai Hương³, Trần Đăng Thuận^{4,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huih5804.2025.197>

TÓM TẮT

Vi tảo được nhiều nghiên cứu chứng minh là hiệu quả cao trong việc loại bỏ các chất COD, BOD₅, SS, TN và TP trong nước thải, tổng hợp sinh khối giàu lipid, protein, chất màu, chất có hoạt tính sinh học, đồng thời tạo ra oxy trong quá trình sinh trưởng. Các chất thứ cấp này, đặc biệt là lipid là nguyên liệu cho quá trình tổng hợp nhiên liệu. Tuy nhiên, năng suất tảo của công nghệ tảo nuôi thường là thấp trong điều kiện nhiệt độ thấp và ánh sáng yếu. Do vậy, việc nghiên cứu sử dụng các chủng vi tảo thích nghi với nhiệt độ thấp và ánh sáng yếu mà vẫn đảm bảo tăng trưởng tốt là rất quan trọng cho công nghệ xử lý nước thải đô thị dùng vi tảo. Nghiên cứu này, sử dụng vi tảo *Scenedesmus* sp. để xử lý nước thải đô thị trong điều kiện ánh sáng yếu trong phòng thí nghiệm (1100 - 2000lux), đồng thời thử nghiệm nuôi tảo trong nước thải ở ngoài trời và đánh giá sự ổn định trong sinh trưởng, phát triển và hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm. Kết quả cho thấy tăng trưởng của *Scenedesmus* sp. trong điều kiện cường độ ánh sáng 2000lux là 1,22g/L cao hơn so với 1,05g/L trong điều kiện cường độ ánh sáng 1100lux. Tảo được nuôi trong nước thải ở ngoài trời dưới điều kiện ánh sáng 2500 - 3600lux, nhiệt độ 22,5 - 26°C đều phát triển tốt và cho sinh khối đạt trên 1,25g/L với hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm COD, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻ đạt tương ứng 87,91; 99,89; 53,66 và 99,32%. Nước thải đô thị sau xử lý đạt tiêu chuẩn xả thải cột A của QCVN 14:2008 /BTNMT sau 12 ngày thí nghiệm. Hàm lượng lipid tổng của sinh khối *Scenedesmus* sp. đạt trên 22,8%, với thành phần axit béo chủ yếu được phân tích là myristic acid (C14:0) (1,27%), pentadecylic acid (C15:0) (0,42%), palmitic acid (C16:0) (34,17%), palmitoleic acid (C16:1n7) (0,73%), hexadecadienoic acid (C16:2) (1,87%), hexadecatrienoic acid (C16:3n4) (2,63%), heptadecanoic acid (C17:0) (2,84%), stearic acid (C18:0) (0,38%), oleic acid (C18:1n9) (20,33%), vaccenic acid (C18:1n7) (0,51%), linoleic acid (C18:2n6) (9,45%), α-linolenic acid (C18:3n3) (15,82%), γ-linolenic acid C18:3n6 (4,25%), paullinic acid (C20:1) (0,45%), eicosapentaenoic acid (C20:5n3) (1,74%). Độ dài chuỗi cacbon của axit béo chiếm ưu thế là C14-C20, rất lý tưởng cho tổng hợp nhiên liệu sinh học hàng không bền vững tạo ra hydrocacbon có mạch dài C8-C16.

Từ khóa: Ánh sáng yếu, nước thải đô thị, lipid, *Scenedesmus* sp., sinh khối, tảo nuôi.

ABSTRACT

Microalgae have been proven by many studies to be highly effective in removing COD, BOD₅, SS, TN and TP in wastewater under their mixotrophic growth, synthesizing biomass rich in lipids, proteins, pigments, bioactive substances, and producing oxygen during their growth. These secondary substances, especially lipids, are raw materials for fuel synthesis. However, the algal productivity of mixotrophic cultivation is often low under low temperature and low light conditions. Therefore, the study of using microalgae strains that adapt to low temperature and low light while still ensuring good growth is very important for municipal wastewater treatment using microalgae. This study used a *Scenedesmus* sp. to treat municipal wastewater under low light intensities of 1100 - 2000lux in the laboratory and variable light conditions under outdoor conditions. The results showed that biomass production of *Scenedesmus* sp. under light intensity of 2000lux was 1.22g/L, higher than 1.05g/L measured for light intensity of 1100lux. The *Scenedesmus* sp. grown in wastewater under outdoor conditions of 2500 - 3600lux, temperature of 22.5 - 26°C achieved dry biomass of over 1.25g/L with the treatment efficiency of COD, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻ pollutants reaching 87.91, 99.89, 53.66, and 99.32% respectively. The wastewater effluent from *Scenedesmus* sp.-based treatment met the discharge standards of column A of QCVN 14:2008 /BTNMT after 12 days of experiment. The total lipid content of *Scenedesmus* sp. biomass reached over 22.8%, with the main fatty acid components analyzed being myristic acid (C14:0) (1.27%), pentadecylic acid (C15:0) (0.42%), palmitic acid (C16:0) (34.17%), palmitoleic acid (C16:1n7) (0.73%), hexadecadienoic acid (C16:2) (1.87%), hexadecatrienoic acid (C16:3n4) (2.63%), heptadecanoic acid (C17:0) (2.84%), stearic acid (C18:0) (0.38%), oleic acid (C18:1n9) (20.33%), vaccenic acid (C18:1n7) (0.51%), linoleic acid (C18:2n6) (9.45%), α-linolenic acid (C18:3n3) (15.82%), γ-linolenic acid C18:3n6 (4.25%), paullinic acid (C20:1) (0.45%),

eicosapentaenoic acid (C20:5n3) (1.74%). The carbon chain length of the predominant fatty acids is C14-C20, which is ideal for the synthesis of sustainable aviation biofuels which is mainly contained long-chain hydrocarbons of C8-C16.

Keywords: Low-light, municipal wastewater, lipid, *Scenedesmus* sp., biomass, mixotrophic.

¹Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

³Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁴Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

⁵Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Thủ đô Hà Nội

*Email: tdangthuan@ich.vast.vn

Ngày nhận bài: 26/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. MỞ ĐẦU

Việt Nam đang phải đối mặt với ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu toàn cầu. Theo Ngân hàng thế giới tại Việt Nam, nếu không có các biện pháp thích ứng và giảm thiểu thích hợp, ước tính biến đổi khí hậu sẽ khiến Việt Nam thiệt hại khoảng 12% đến 14,5% GDP/năm vào năm 2050 và có thể khiến một triệu người rơi vào cảnh nghèo cùng cực vào năm 2030 [1]. Về vấn đề môi trường quốc gia, Việt Nam thải ra hơn 7,5 triệu m³ nước thải mỗi ngày, nhưng toàn hệ thống xử lý quốc gia mới chỉ đạt 13 - 15% tổng lượng thải. Nước thải sinh hoạt chứa các chất chủ yếu gồm cacbon hữu cơ (200 - 1500mg/L), nitơ (20 - 70mg/L), photpho (4 - 12mg/L). Trong khi đó, Việt Nam chủ yếu áp dụng công nghệ bùn hoạt tính để xử lý, dẫn tới tạo ra một lượng bùn khổng lồ là sản phẩm thứ cấp làm tăng thêm diện tích chứa và ô nhiễm thứ cấp, trong đó chỉ có 4% tổng bùn thải được xử lý an toàn.

Gần đây vì tảo nhận được sự quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu trên thế giới vì hiệu quả cao trong việc loại bỏ cacbon hữu cơ (COD), N, P, kim loại nặng từ các nguồn nước thải đô thị, nông nghiệp, công nghiệp. Mặt khác, vì tảo quang dưỡng có thể tiêu thụ COD một cách hiệu quả, với lượng 1,8 tấn để tổng hợp 1 tấn sinh khối. Một số vi tảo tạp dưỡng sử dụng chất hữu cơ COD, N, P làm dinh dưỡng để phát triển sinh khối, chứa các chất như chất béo (lipid), carbohydrates, proteins, pigments, trong đó chất béo được chiết tách và dùng làm nguyên liệu cho quá trình sản xuất biodiesel, hoặc biojet fuels (nhiên liệu sinh học). Vì vậy, sử dụng nước thải để sản xuất sinh khối sẽ giảm được chi phí về nước và hóa chất, giảm giá thành sản xuất sinh khối, đồng thời xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải, và phù hợp với xu hướng nghiên cứu các công nghệ bền vững cho sản xuất nhiên liệu sinh học.

Scenedesmus sp. là một họ thuộc tảo lục, cũng được nghiên cứu rộng rãi trong xử lý nước thải. Tốc độ loại bỏ chất ô nhiễm của *Scenedesmus* sp. được công bố là khá cao [2] nhưng yêu cầu tỷ lệ N/P cao đến 30:1 để sinh trưởng và loại bỏ chất ô nhiễm mà không bị giới hạn một trong hai dinh dưỡng [3-5]. Các chủng tảo đã được dùng rộng rãi trong nghiên cứu loại bỏ N, P, bao gồm tảo lục *Scenedesmus* sp. [6-8], *Scenedesmus* sp. strain SD07 [9], *Scenedesmus* sp. LX1 [10] đều đạt được hiệu suất xử lý COD, NH₄⁺, TN and TP là 88 - 96%. Trong quá trình phát triển *Scenedesmus* sp. strain SD07 tích lũy tới 33% lipid so với trọng lượng khô của sinh khối [9].

Tuy nhiên đa số các nghiên cứu đều công bố nuôi *Scenedesmus* sp. trong nước thải dưới điều kiện ánh sáng và nhiệt độ tương đối gần với ngưỡng giá trị tối ưu của vi tảo. Ít có nghiên cứu *Scenedesmus* sp. dưới điều kiện ánh sáng yếu và nhiệt độ thấp. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là khảo sát tăng trưởng và hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm bởi một chủng *Scenedesmus* sp. phân lập từ nước thải dưới điều kiện ánh sáng yếu 1100 - 2000lux và nhiệt độ thấp 23 - 25°C Sinh khối *Scenedesmus* sp. sẽ được thu hoạch và đánh giá hàm lượng lipid tổng và thành phần axit béo nhằm đánh giá tiềm năng làm nguyên liệu cho tổng hợp hydrocarbon sử dụng trong nhiên liệu hàng không bền vững.

2. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguồn tảo giống

Tảo giống chủng *Scenedesmus* sp. được phân lập và tinh sạch từ đất ruộng bởi Phòng Công nghệ Hóa sinh, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, được nuôi duy trì trong môi trường BG-11 dưới điều kiện ánh sáng 4500lux, nhiệt độ 25°C trong bình tam giác 100mL.

2.2. Nguồn nước thải sinh hoạt

Nguồn nước thải sinh hoạt dùng cho nghiên cứu được lấy trực tiếp từ cống thải tại cầu Yên Hòa, nằm trên nhánh sông Tô Lịch đi qua phường Nghĩa Tân, Cầu Giấy, TP. Hà Nội. Nước thải được lấy và đựng trong can 20L và vận chuyển về phòng thí nghiệm, sau đó tiến hành tiền xử lý bằng vải lọc để loại bỏ rác, hạt lơ lửng trước khi tiến hành các thí nghiệm.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Quy trình nuôi tảo giống *Scenedesmus* sp.

Hút 20mL tảo *Scenedesmus* sp. giống từ bình tam giác 100mL giống cấy sang bình tam giác 250ml chứa 100ml môi trường BG-11, sau đó lắc trên máy lắc (140 vòng/phút) và nuôi trong vòng 1 tuần, chiếu sáng liên tục 24 giờ/ngày, dưới nhiệt độ 25°C. Giống *Scenedesmus* sp. được nuôi nâng cấp lên thể tích 1000mL, 4000mL đạt $3,5 \times 10^5$ TB/mL (tương đương 1g/L) để nuôi trong các hệ với dung tích nước thải tương ứng 5L và 50L.

2.3.2. Quy trình nuôi tảo *Scenedesmus* sp. trong nước thải

a) Nghiên cứu ảnh hưởng của nước thải tiết trùng và không tiết trùng đối với sự sinh trưởng và phát triển của tảo *Scenedesmus* sp. và hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm

• Nuôi *Scenedesmus* sp. trong nước thải tiết trùng

Nước thải sau lọc được đóng 3L vào chai thủy tinh 5L và tiết trùng ở 121°C trong 120 phút và để nguội xuống nhiệt độ phòng. Cấy 1000mL tảo giống cấy tiết trùng trong buồng cấy vi sinh vào trong bình thủy tinh chứa nước thải tiết trùng. Sau đó lắp các đầu ống silicon sạch khí, đầu hút mẫu và đầu thoát khí vào bình và đưa vào khoang nuôi có trang thiết bị ánh sáng từ 2 đèn LED, tạo cường độ ánh sáng 1100lux. Nhiệt độ thí nghiệm dao động trong khoảng 23 - 26°C. Khí được sục từ máy thổi khí với tốc độ được điều chỉnh qua van là 400mL/phút (0,1vvm).

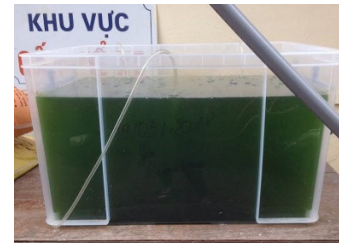
• Nuôi *Scenedesmus* sp. trong nước thải không tiết trùng



A



B



C



D



E

Hình 1. Bình phản ứng nuôi *Scenedesmus* sp. trong nước thải sinh hoạt thô (không tiết trùng) (A), đã được tiết trùng (B) và nuôi dưới điều kiện ngoài trời (C), tảo được thu hoạch với PACI (D-E)

Đối với nước thải không tiết trùng, sau khi lọc thì đóng 3L nước thải đưa vào bình nhựa plastic 5L của Việt Nhật, rồi cấy vào 1000mL tảo giống. Sau đó lắp các đầu sục khí silicon và trang bị đèn LED tương tự như nuôi *Scenedesmus* sp. trong nước thải tiết trùng.

b) Ảnh hưởng của cường độ ánh sáng đến sự sinh trưởng và phát triển của tảo *Scenedesmus* sp. và hiệu suất loại bỏ các chất ô nhiễm

Trong nghiên cứu này, nước thải được sử dụng là nước thải không tiết trùng, được lọc qua giấy lọc để loại bỏ những chất rắn lơ lửng. Các thông số tăng trưởng của tảo, thông số hóa lý của nước và chất lượng nước được đo và phân tích như đã trình bày ở mục a, phần 2.3.2. Tảo được nuôi ở điều kiện ánh sáng như trong bảng 1.

Bảng 1. Điều kiện ánh sáng nuôi tảo *Scenedesmus* sp.

STT	Cường độ ánh sáng (lux)	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (ngày)	Số đèn LED (6W)
1	1100	23 - 25	21	2
2	2000	23 - 25	21	4

c) Nuôi tảo ngoài trời

Thí nghiệm nuôi tảo ngoài trời nhằm mục đích đánh giá mức độ ổn định về sự sinh trưởng, phát triển và khả năng loại bỏ chất ô nhiễm của vi tảo *Scenedesmus* sp. trong điều kiện nhiệt độ, ánh sáng thay đổi theo thời tiết. Thí nghiệm được thực hiện trong bể nhựa Plastics Việt Nhật, có dung tích 50L (L×W×H = 68,2×52×36,8cm) (No.

5373, Viet Nhat Plastics Co., Ltd, Vietnam). Nước thải lấy về được lọc qua vải lọc và tiến hành sục khí với 4 đầu sục khí tại 4 góc của bể. Tảo giống được cấy 5L nuôi từ bình nhựa 5L. Thí nghiệm được thực hiện trong giai đoạn từ ngày 19/3/2025 đến ngày 02/4/2025. Các thông số hóa lý của nước, sự sinh trưởng phát triển của tảo và chất lượng xử lý nước thải được đo và phân tích giống như các thí nghiệm trên.

2.3.3. Quy trình thu hoạch tảo

Sau quá trình nuôi, sinh khối tảo *Scenedesmus* sp. sẽ được thu hoạch bằng poly aluminium chloride (PACl) ở nồng độ 0,1g/L bằng phương pháp keo tụ. Sinh khối tảo *Scenedesmus* sp. lắng dưới đây được thu và lọc qua vải lọc, sấy lạnh đến khối lượng không đổi. Sinh khối khô được nghiền thành bột và bảo quản trong chai nhựa ở dưới 4°C để phục vụ nghiên cứu.

2.3.4. Phân tích sự tăng trưởng của tảo

Phân tích sự tăng trưởng của tảo thông qua đo độ hấp thụ quang của tảo/nước ở bước sóng 680nm ta sẽ thu được mật độ quang OD khác nhau. Mật độ quang tỷ lệ với nồng độ sinh khối. Do đó, quan hệ tuyến tính giữa mật độ quang và nồng độ sinh khối tảo sẽ được xây dựng. Sau đó, thông qua đo mật độ quang, nồng độ sinh khối tảo sẽ được tính chính xác.

2.3.5. Phân tích các chỉ tiêu nước thải

- Xác định amoni (NH_4^+) bằng phương pháp Nessler
- Xác định Nitrit (NO_2^-) theo tiêu chuẩn Việt Nam 6178:1996 - Chất lượng nước - Xác định nitrit - Phương pháp trắc phổ phân tử
- Xác định Nitrat theo TCVN 6180:1996 - Chất lượng nước - Xác định Nitrat - Phương pháp trắc phổ dùng axit sunfosalixylic
- Xác định phosphate bằng axit Ascorbic
- Xác định nhu cầu oxy hóa học (COD) bằng phương pháp Kalidicromat
- Xác định BOD_5 bằng phương pháp pha loãng và cấy có bổ sung allylthiourea.

2.3.6. Đánh giá hiệu suất xử lý nước thải bằng tảo *Scenedesmus* sp.

Hiệu suất xử lý nước thải được tính theo công thức sau:

$$H(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Trong đó:

C_0 : Nồng độ chỉ tiêu nước thải ban đầu (mg/L)

C_t : Nồng độ chỉ tiêu nước thải đo tại thời điểm t (mg/L)

Hiệu suất thu hoạch tảo được tính theo công thức:

$$E_{\text{Thu hoạch}} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\%$$

Trong đó:

A_0 : Nồng độ sinh khối tảo trong hỗn hợp tảo nước trước khi thu hoạch (mg/L)

A_t : Nồng độ sinh khối tảo trong hỗn hợp tảo nước sau khi thu hoạch (mg/L)

Vì nồng độ sinh khối tảo tỷ lệ với độ hấp thụ quang nên công thức trên được tính theo công thức tương đương sau:

$$E_{\text{Thu hoạch}} = \frac{OD_0 - OD_t}{OD_0} \times 100\%$$

Trong đó:

OD_0 : Mật độ quang đo của hỗn hợp tảo nước trước khi thu hoạch

OD_t : Mật độ quang đo của hỗn hợp tảo nước sau khi tảo lắng

2.3.7. Phương pháp xác định hàm lượng lipid và thành phần lipid trong sinh khối tảo

Tổng lipids của *Scenedesmus* sp. được chiết bằng hỗn hợp dung môi methanol:dimethyl sulfoxide (DMSO) (9:1, v/v) một lần và tiếp theo hỗn hợp dung môi hexane:ethyl ether (1:1, v/v) hai lần sau đó sấy khô bằng N_2 và xác định bằng phương pháp trọng lượng. Tổng lipids dẫn xuất fatty acid methyl esters (FAME) của *Scenedesmus* sp. được tạo ra bằng phương pháp chuyển vị trực tiếp dùng hỗn hợp chất xúc tác HCl/methanol (5% v/v) là xúc tác đồng thể, phản ứng ở 85°C trong thời gian 1 giờ [11].

Thành phần các acid béo của lipids dẫn xuất FAME của *Scenedesmus* sp. được xác định trên máy sắc ký khí kết hợp khối phổ (Agilent 7890B+5977A GC/MS, Agilent, California, USA) và trang bị cột sắc ký khí HP-88 (60m × 0,25mm × 0,2 μm). Nhiệt độ ban đầu của lò là 50°C và duy trì trong 2 phút, lò được tăng nhiệt ở tốc độ 25°/phút đến 175°C và duy trì trong 5 phút, sau đó tăng nhiệt lần hai với tốc độ 7°C/phút đến 210°C và duy trì cho 2 phút, và cuối cùng là tăng nhiệt lên 230°C với tốc độ 2°C. Nhiệt độ đầu bơm mẫu được giữ ở 250°C ở chế độ Split (20:1) cho một lượng mẫu 1 μL. Nhiệt độ aux là 250°C, EI là 230°C, MS Quard là 150°C. Pha động dùng là khí Heli với tốc độ mL/phút.

Để định lượng FAME, máy sắc ký khí Agilent 7890b được trang bị cột HP-5 column (30,0m × 0,32mm × 0,25 μm) và detector FID được dùng. Nhiệt độ detector đặt là 280°C với tốc độ pha động Heli là 2,1mL/phút. Lượng

mẫu bơm là 1 μL . Nhiệt độ lò bắt đầu với 50°C và tăng lên 175°C ở tốc độ 25°C/phút, sau đó tăng lên 240°C ở tốc độ 4 °C/phút và giữ tại nhiệt độ đó 15 phút. Mẫu được pha loãng đến hệ số pha loãng thích hợp và thêm vào 5 μL tridecanoic acid methyl ester (C13:0) (200ppm) làm chất nội chuẩn để định lượng các acid còn lại trong FAME. Hàm lượng FAME trong sinh khối tảo được tính bằng lượng FAME xác định trên máy GC-FID trên một đơn vị khối lượng sinh khối.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

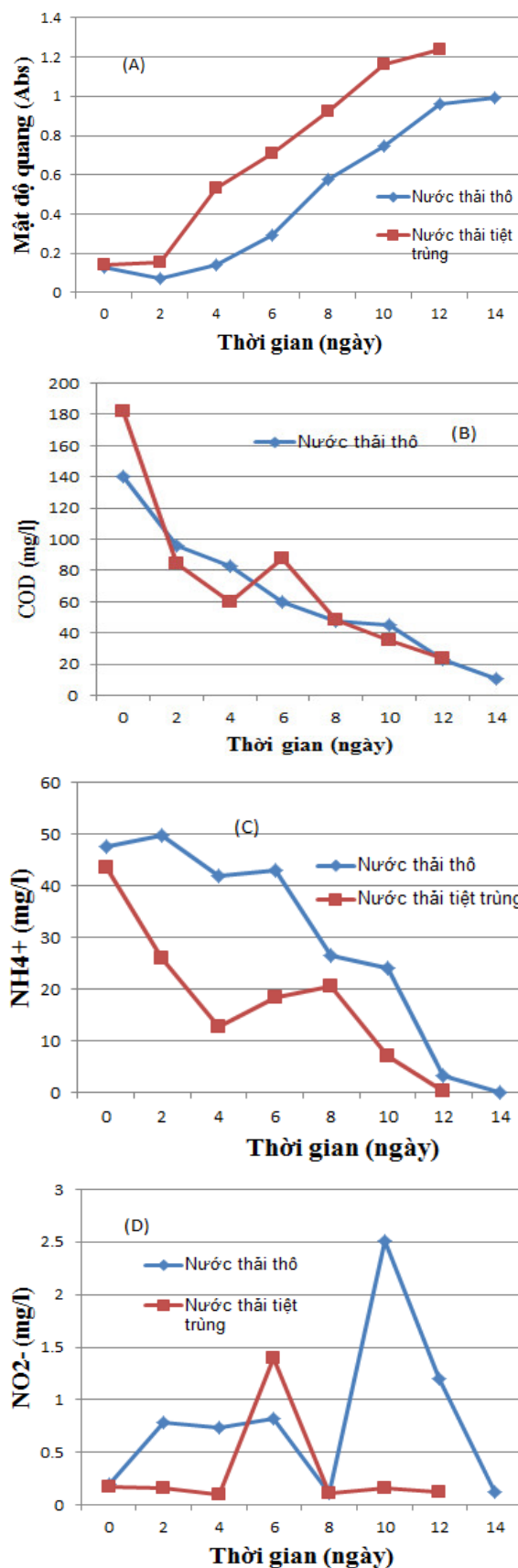
3.1. Ảnh hưởng của nước thải tiết trùng và nước thải không tiết trùng đối với sự sinh trưởng, phát triển và hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm của tảo *Scenedesmus* sp.

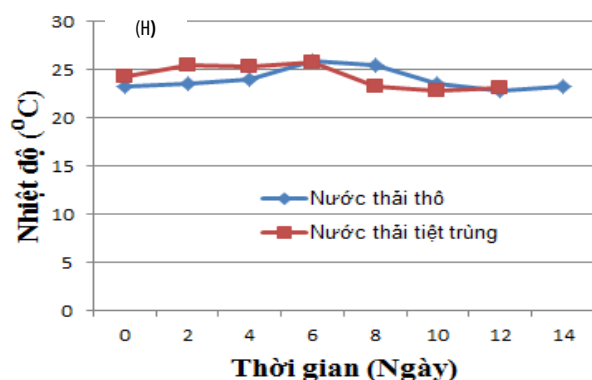
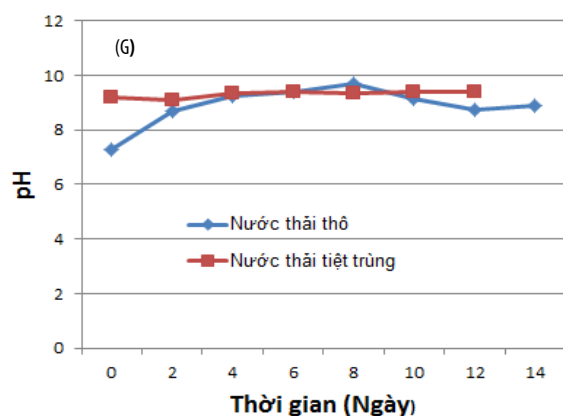
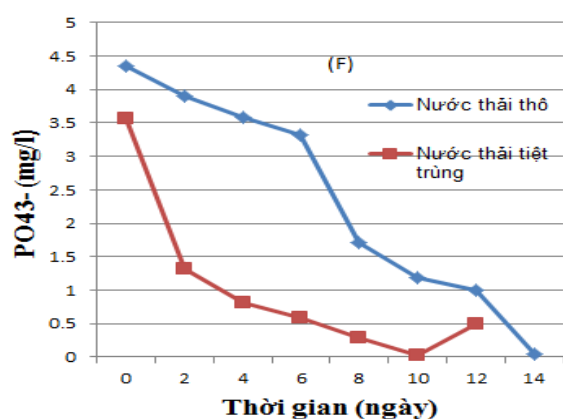
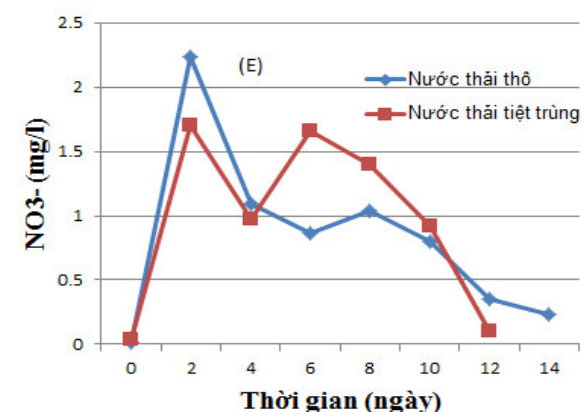
Số liệu trên hình 2A cho thấy tảo *Scenedesmus* sp. có sinh trưởng và phát triển tốt trong nước thải. Mật độ tảo nuôi trong nước thải tiết trùng đạt 1,2 cao hơn nuôi trong nước thải thô, đạt 1,0 sau 12 ngày nuôi cấy. Nguyên nhân là do nước thải tiết trùng không còn vi sinh vật cạnh tranh thức ăn với tảo *Scenedesmus* sp. nên nguồn dinh dưỡng cung cấp cho tảo trong nước thải tiết trùng cao hơn ở trong nước thải thô, vì vậy tảo trong nước thải tiết trùng sẽ sinh trưởng và phát triển mạnh mẽ hơn.

Hàm lượng COD trong nước thải nuôi tảo đều giảm mạnh, nước thải thô từ 140,17mg/L xuống còn 10,64mg/L, nước thải tiết trùng từ 182,1mg/l xuống còn 24,2mg/L (hình 2B). Hàm lượng NH_4^+ trong nước thải thô và nước thải tiết trùng giảm xuống còn tương ứng là 0,05 mg/L và 1,24mg/L (hình 2C). Hàm lượng NO_2^- và NO_3^- sau một thời gian nuôi có hiện tượng tăng nhẹ, sự biến động này là do sự phân hủy nguồn nito hữu cơ bởi vi sinh vật trả lại nitrat cho môi trường, sau đó khi nồng độ tảo trong môi trường tăng thì hàm lượng lại giảm xuống do *Scenedesmus* sp. tiêu thụ (hình 2D-E). Hàm lượng PO_4^{3-} giảm xuống, trong nước thải thô còn 0,041mgP/L, nước thải tiết trùng còn 0,41mgP/L (hình 2F). Số liệu biểu thị ở hình 2G cho thấy pH ban đầu của nước thải có tính kiềm, rất phù hợp cho tảo phát triển. Trong quá trình nuôi tảo, pH có sự thay đổi nhẹ. Ở nước thải đã tiết trùng thì sự thay đổi không mấy đáng kể, pH có tăng nhẹ rồi giảm xuống. Ở nước thải thô, pH có sự tăng giảm rõ rệt hơn. Trong quá trình sục khí, CO_2 trong khí quyển sẽ hòa tan trong môi trường nuôi tảo theo phản ứng ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$) nên pH có sự dao động nhẹ.

Hiệu suất loại bỏ COD, NH_4^+ và PO_4^{3-} bởi *Scenedesmus* sp. đều rất cao trên 86%. Tuy nhiên trong nước thải thô thì hiệu suất loại bỏ các chất ô nhiễm cao hơn trong nước thải tiết trùng với trên 92% (bảng 2). Kết quả này cho thấy,

dùng hỗn hợp tảo - vi sinh vật sẽ cho hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải cao hơn so với chỉ dùng vi tảo.



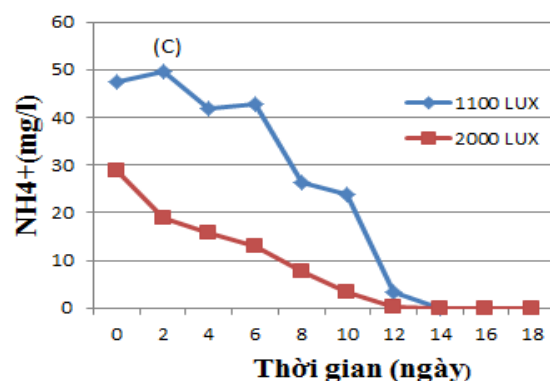
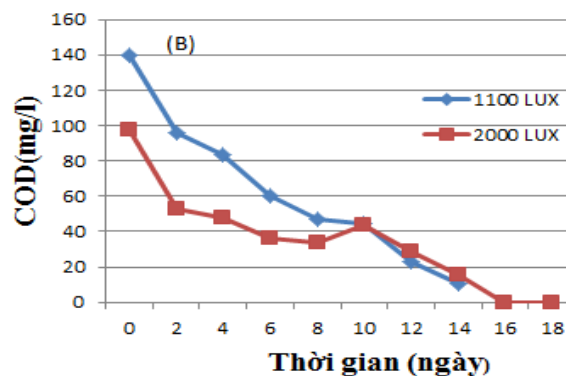
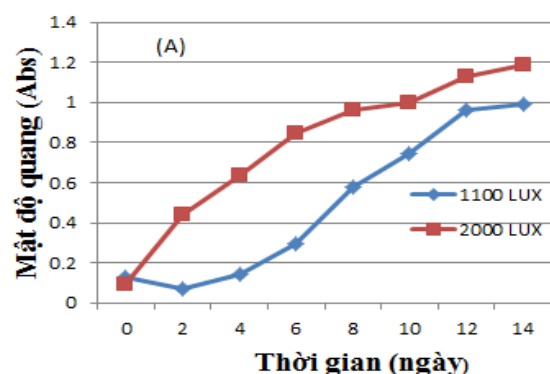


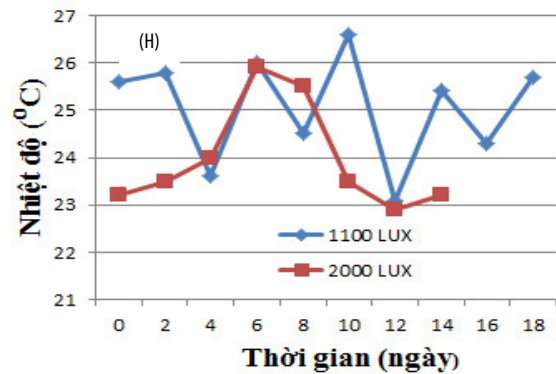
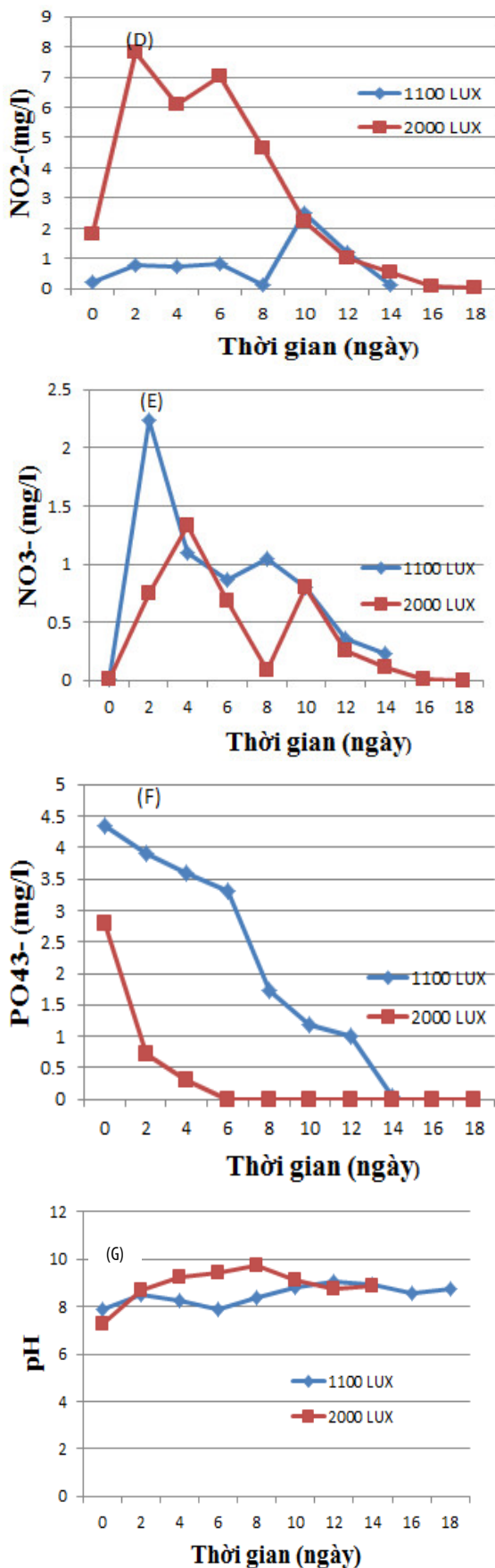
Hình 2. Sự biến đổi các thông số chất lượng nước trong quá trình nuôi tảo *Scenedesmus* sp. (A) Mật độ quang (OD), (B) COD, (C) NH₄⁺, (D) NO₂⁻, (E) NO₃⁻, (F) PO₄³⁻, (G) pH, (H) Nhiệt độ

Bảng 2. Hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm bởi tảo *Scenedesmus* sp. trong nước thải thô và nước thải tiết trùng

Chỉ tiêu	Nước thải tiết trùng			Nước thải thô		
	Giá trị ban đầu	Giá trị lúc thu hoạch tảo	Hiệu suất loại bỏ (%)	Giá trị ban đầu	Giá trị lúc thu hoạch tảo	Hiệu suất loại bỏ (%)
COD (mg/L)	182,1	24,2	86,71	140,17	10,64	92,4
NH ₄ ⁺ (mg N/L)	43,52	0,235	99,46	47,6	0,05	99,89
NO ₃ ⁻ (mg N/L)	-	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻ (mg N/L)	-	-	-	-	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg P/L)	3,57	0,49	86,27	4,35	0,041	99,05

3.2. Ảnh hưởng của ánh sáng đối với sự sinh trưởng, phát triển và hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm của tảo *Scenedesmus* sp.





Hình 3. Sự biến đổi các thông số chất lượng nước trong quá trình nuôi tảo *Scenedesmus* sp. trong hai điều kiện cường độ ánh sáng khác nhau. (A) Mật độ quang, (B) COD, (C) NH_4^+ , (D) NO_2^- , (E) NO_3^- , (F) PO_4^{3-} , (G) pH, (H) nhiệt độ

Thí nghiệm tiến hành trong hai điều kiện ánh sáng khác nhau là sử dụng ánh sáng của 2 đèn chiếu và 4 đèn chiếu (đèn LED). Trong hai điều kiện ánh sáng khác nhau, khả năng sinh trưởng, phát triển và hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm của tảo cũng sẽ khác nhau.

Số liệu trên hình 3A cho thấy được tốc độ tăng trưởng của tảo *Scenedesmus* sp. trong hai điều kiện ánh sáng là khác nhau. Tốc độ tăng trưởng của tảo *Scenedesmus* sp. trong điều kiện ánh sáng 4 đèn LED (2000lux) cao hơn so với trong điều kiện ánh sáng 2 đèn (1100lux). Ở điều kiện cường độ ánh sáng 1100lux, mật độ tảo tăng từ 0,127 lên 0,993. Ở điều kiện cường độ ánh sáng là 2000lux, mật độ tảo tăng từ 0,091 lên 1,19Abs. Hàm lượng COD trong điều kiện ánh sáng 1100lux giảm nhiều hơn so với trong điều kiện ánh sáng 2000lux (hình 3B). Trong các đồ thị tiếp theo của Hình 3C-F ta thấy được khả năng làm giảm hàm lượng của các chất ô nhiễm của tảo nuôi trong cường độ ánh sáng 2000lux tốt hơn so với tảo nuôi trong cường độ ánh sáng 1100lux. Tuy vậy, do nuôi tảo ở nước thải ở hai lần lấy khác nhau, hàm lượng các chất dinh dưỡng trong nước thải ở hai lần nuôi cũng khác nhau, nên kết luận về khả năng loại bỏ chất ô nhiễm ở hai điều kiện ánh sáng trên vẫn chưa đủ sức thuyết phục, cần thêm nhiều thí nghiệm khác nữa để có kết luận chính xác hơn.

Số liệu hình 3G cho ta thấy sự biến đổi pH trong nước thải nuôi ở 2 đèn và 4 đèn đều khá ổn định, pH dao động từ 8 - 9,7. Đây là môi trường kiềm khá thuận lợi cho vi tảo sinh trưởng và phát triển. Nhiệt độ nuôi tảo dao động từ 23 - 26,6 °C (hình 3H), đây cũng là nhiệt độ thích hợp cho sự sinh trưởng và phát triển của tảo.

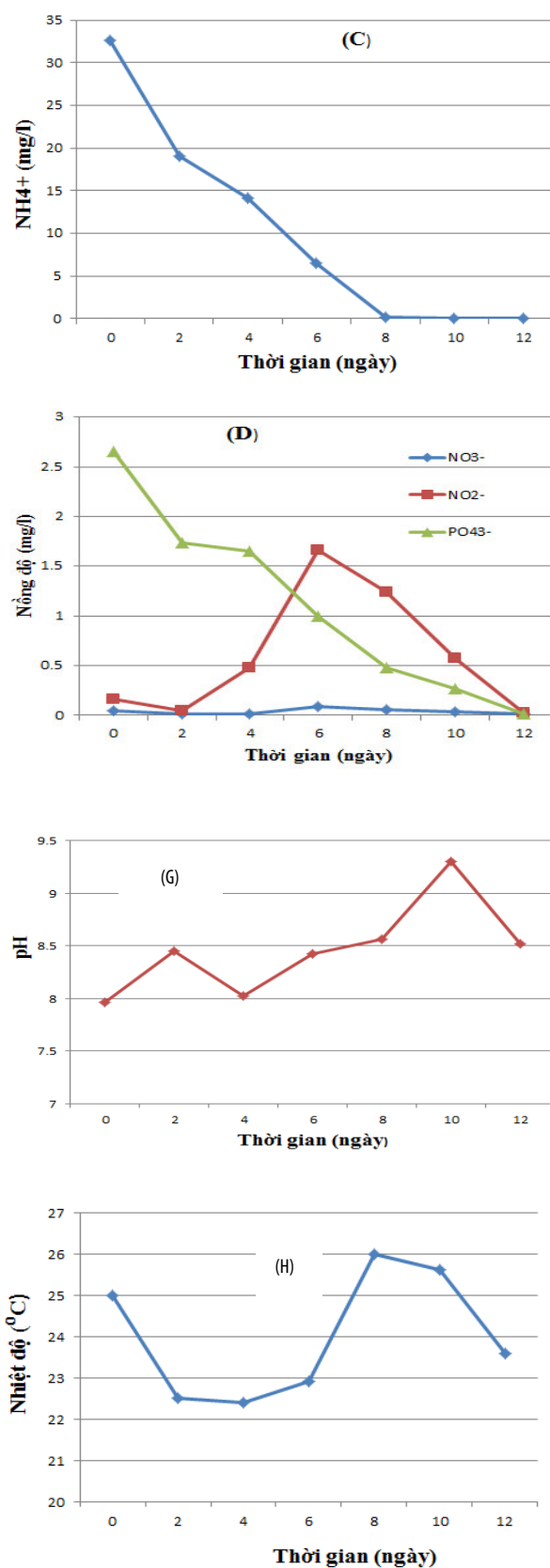
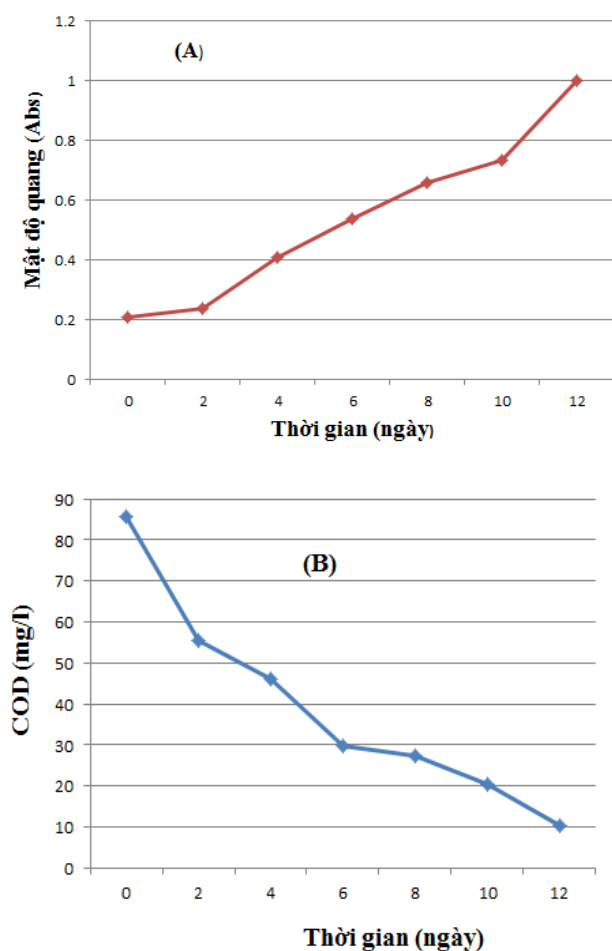
Hiệu suất xử lý COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} của tảo trong hai điều kiện ánh sáng đều khá cao (trên 80%). Hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm của tảo *Scenedesmus* sp. trong điều kiện cường độ ánh sáng 2000lux hầu như là cao hơn so với

trong điều kiện cường độ ánh sáng 1100lux. Ta có thể bước đầu kết luận là ở điều kiện cường độ ánh sáng 2000lux thì tảo *Scenedesmus* sp. cho hiệu quả xử lý nước thải cao hơn so với ở điều kiện ở cường độ ánh sáng 1100lux (bảng 3).

Bảng 3. Hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm của tảo *Scenedesmus* sp. trong nước thải ở điều kiện ánh sáng khác nhau

Chỉ tiêu	2000lux			1100lux		
	Giá trị ban đầu	Giá trị lúc thu hoạch tảo	Hiệu suất loại bỏ (%)	Giá trị ban đầu	Giá trị lúc thu hoạch tảo	Hiệu suất loại bỏ (%)
COD (mg/L)	97,2	10,8	84,15	140,17	10,64	92,4
NH ₄ ⁺ (mg N/L)	28,7	0,009	99,97	47,6	0,05	99,89
NO ₃ ⁻ (mg N/L)	-	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻ (mg N/L)	-	-	-	-	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg P/L)	2,79	0,001	99,96	4,35	0,041	99,05

3.3. Xử lý nước thải ngoài trời



Hình 4. Sự biến đổi các thông số chất lượng nước trong quá trình nuôi tảo *Scenedesmus* sp. (A) Mật độ quang, (B) COD, (C) NH₄⁺, (D) NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻; (E) pH, (F) Nhiệt độ

Hình 4A cho thấy tốc độ sinh trưởng và phát triển của tảo *Scenedesmus* sp. ở điều kiện ngoài trời tương đối ổn định. Tốc độ trong hai ngày đầu còn chậm do tảo chưa thích ứng được điều kiện môi trường. Từ ngày thứ hai sau khi đã thích ứng được thì tốc độ sinh trưởng của tảo nhanh hơn. Mật độ quang đo được của tảo trước và sau khi nuôi là 0,209 và 1,003. Hàm lượng COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} trong nước thải nuôi tảo đều giảm liên tục và giảm khá nhanh (hình 4B, C, D). Hàm lượng nitrat và nitrit đều có sự tăng nhẹ ở mấy ngày nuôi sau, nhưng rồi cũng đều giảm xuống còn khá thấp (hình 4D). Như vậy, ta thấy rằng, tuy ở điều kiện ngoài trời không kiểm soát được các yếu tố ảnh hưởng như nhiệt độ, cường độ ánh sáng nhưng vi tảo *Scenedesmus* sp. bước đầu có khả năng phát triển tốt và cho hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm cao. Điều này rất khả quan để ứng dụng vào xử lý nước thải với quy mô lớn hơn.

Hình 4G biểu diễn sự thay đổi pH của nước thải nuôi tảo ngoài trời. pH ban đầu của nước thải có tính kiềm, rất phù hợp cho tảo phát triển. Trong quá trình nuôi tảo, pH có sự tăng nhẹ lên gần 9,5. Ta thấy nước thải nuôi ngoài trời có sự thay đổi pH khá giống với nước thải nuôi trong phòng thí nghiệm.

Bảng 4. Hiệu suất xử lý của vi tảo *Scenedesmus* sp. ở điều kiện ngoài trời 2500 - 3600lux, nhiệt độ 22,5 - 26°C.

Chỉ tiêu	Nước thải vào	Nước thải ra	Hiệu suất loại bỏ (%)	QCVN		Đạt
				Cột A	Cột B	
BOD (mg/L)	85,6	10,35	87,91	30	50	✓
NH_4^+ (mg N/L)	32,6	0,036	99,89	5	10	✓
NO_3^- (mg N/L)	0,041	0,019	-	30	50	✓
PO_4^{3-} (mg P/L)	2,65	0,018	99,32	6	10	✓
pH	7,96	8,52	-	5-9	5-9	✓

Áp dụng QCVN 14:2008 /BTNMT để kiểm tra chất lượng nước thải sau xử lý với chỉ tiêu trên, ta thấy rằng khi ứng dụng tảo *Scenedesmus* sp. để xử lý nước thải sinh hoạt cho hiệu quả xử lý cao đối với các chất ô nhiễm. Cụ thể hiệu quả xử lý amoni là 99,89%, đối với BOD là 87,91% còn đối với photphat là 99,32%. Như vậy ta thấy tảo nuôi trong nước thải ở ngoài môi trường cho khả năng xử lý các chất ô nhiễm cao. Theo bảng 4, nước thải sau khi xử lý bằng vi tảo *Scenedesmus* sp. đạt tiêu chuẩn xả thải ở cột A đối với BOD, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} . Như vậy bước đầu của nghiên cứu đã thành công với mô hình thể tích 50L ở điều kiện ngoài trời, tạo tiền đề đưa mô hình vào trong thực tế với quy mô lớn hơn

3.4. Hàm lượng lipid và thành phần axit béo của sinh khối vi tảo *Scenedesmus* sp.

Số liệu phân tích trong bảng 5 cho thấy, hàm lượng lipid tổng thô và dạng FAME của sinh khối *Scenedesmus* sp. đạt 31,24 và 22,8%, với thành phần axit béo chủ yếu được phân tích là myristic acid (C14:0) (1,27%), pentadecylic acid (C15:0) (0,42%), palmitic acid (C16:0) (34,17%), palmitoleic acid (C16:1n7) (0,73%), hexadecadienoic acid (C16:2) (1,87%), hexadecatrienoic acid (C16:3n4) (2,63%), heptadecanoic acid (C17:0) (2,84%), stearic acid (C18:0) (0,38%), oleic acid (C18:1n9) (20,33%), vaccenic acid (C18:1n7) (0,51%), linoleic acid (C18:2n6) (9,45%), α -linolenic acid (C18:3n3) (15,82%), γ -linolenic acid C18:3n6 (4,25%), paullinic acid (C20:1) (0,45%), eicosapentaenoic acid (C20:5n3) (1,74%). Độ dài chuỗi cacbon của axit béo chiếm ưu thế là C14-C20, rất lý tưởng cho tổng hợp nhiên liệu sinh học hàng không bền vững tạo ra hydrocacbon có mạch dài C8-C16.

Bảng 5. Hàm lượng lipid tổng và thành phần axit béo trong lipid của *Scenedesmus* sp. nuôi trong nước thải trong điều kiện ánh sáng 2500 - 3600lux, nhiệt độ 22,5 - 26°C

Chỉ tiêu	%
Lipids thô	31,24±0,57
Lipids (FAME)	22,8±0,34
Thành phần axit béo	Capric acid (C10:0)
	ND
	Myristic acid (C14:0)
	1,27±0,04
	Pentadecylic acid (C15:0)
	0,42±0,02
	Palmitic acid (C16:0)
	34,17±0,73
	Palmitoleic acid (C16:1n7)
	0,73±0,02
	Hexadecadienoic acid (C16:2)
	1,87±0,03
	Hexadecatrienoic acid (C16:3n4)
	2,63±0,12
	Heptadecanoic acid (C17:0)
	2,84±0,11
	Stearic acid (C18:0)
	0,38±0,07
	Oleic acid (C18:1n9)
	20,33±1,32
	Vaccenic acid (C18:1n7)
	0,51±0,03
	Linoleic acid (C18:2n6)
	9,45±0,12
	α -Linolenic acid (C18:3n3)
	15,82±0,27
	γ -Linolenic acid C18:3n6
	4,25±0,12
	Paullinic acid (C20:1)
	0,45±0,02
	Arachidonic acid (C20:4n6)
	ND
	Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)
	1,74±0,06
	Khác
	3,59±0,17

4. KẾT LUẬN

Quá trình nghiên cứu về xử lý nước thải bằng vi tảo *Scenedesmus* sp. đã bước đầu cho ra kết quả khả quan. Tảo được nuôi trong nước thải ở trong phòng thí nghiệm hay ở ngoài trời đều phát triển tốt và cho hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm (BOD, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) khá cao, đều trên 80%. Nước thải sau khi nuôi và thu hoạch tảo trong phòng thí nghiệm hoặc ngoài trời đều đạt tiêu chuẩn xả thải cột A. Sinh khối tảo *Scenedesmus* sp. thu được chiếm 22,8% lipid dạng FAME, với thành phần axit béo với độ dài chuỗi cacbon trong khoảng C14-C20 rất phù hợp để chuyển hóa sang hydrocacbon có độ dài C8-C16 sử dụng trong nhiên liệu hàng không. Tuy nhiên, năng suất sinh khối còn thấp do điều kiện ánh sáng yếu và nhiệt độ thấp. Những nghiên cứu tiếp theo sẽ phải quan tâm đến tối ưu hóa quá trình sản xuất sinh khối và lipid trong nước thải, đồng thời nâng cấp quy mô sản xuất nhiên liệu hàng không bằng vi tảo *Scenedesmus* sp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Schwarz, J. Walther, D. Geib, M. Witthohn, D. Strieth, R. Ulber, K. Muffler, "Influence of heterotrophic and mixotrophic cultivation on growth behaviour of terrestrial cyanobacteria," *Algal Research*, 52, 102125, 2020.
- [2]. A. Ruiz-Marin, L.G. Mendoza-Espinosa, T. Stephenson, "Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater," *Bioresource Technology*, 101, 58-64, 2010.
- [3]. V. Shashirekha, M. Sivakumar, S. Seshadri, "Effective C–N–P ratio for growth and nutrient removal efficiency of *Scenedesmus obliquus* in sugar mill effluent," *Energy, Ecology and Environment*, 1, 283-295, 2016.
- [4]. L. Gao, W. Ding, J. Xi, S. Gao, X. Zhou, Y. Chen, K. Song, X. Mao, R. Tu, G. Jiang, "Effects of different nitrogen/phosphorus ratios on the growth and metabolism of microalgae *Scenedesmus obliquus* cultured in the mixed wastewater from primary settling tank and sludge thickener," *Process Safety and Environmental Protection*, 170, 824-833, 2023.
- [5]. L. Xin, H. Hong-ying, G. Ke, S. Ying-xue, "Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp.," *Bioresource Technology*, 101, 5494-5500, 2010.
- [6]. T. Cai, S.Y. Park, Y. Li, "Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects," *Renew Sust Energ Rev*, 19, 360-369, 2013.
- [7]. J. Msanne, J. Polle, S. Starkenburg, "An assessment of heterotrophy and mixotrophy in *Scenedesmus* and its utilization in wastewater treatment," *Algal Research*, 48, 101911, 2020.

[8]. M.A.M. Condori, M.M. Condori, M.E.V. Gutierrez, F.J. Choix, F. García-Camacho, "Bioremediation potential of the *Chlorella* and *Scenedesmus* microalgae in explosives production effluents," *Science of The Total Environment*, 920, 171004, 2024.

[9]. S. Silambarasan, P. Logeswari, R. Sivaramakrishnan, A. Incharoensakdi, B. Kamaraj, P. Cornejo, "Scenedesmus sp. strain SD07 cultivation in municipal wastewater for pollutant removal and production of lipid and exopolysaccharides," *Environmental Research*, 218, 115051, 2023.

[10]. Q. Wang, X. Wang, Y. Hong, X. Liu, G. Zhao, H. Zhang, Q. Zhai, "Microalgae cultivation in domestic wastewater for wastewater treatment and high value-added production: Species selection and comparison," *Biochemical Engineering Journal*, 185, 108493, 2022.

[11]. L.M. Laurens, T.A. Dempster, H.D. Jones, E.J. Wolfrum, S. Van Wycken, J.S. McAllister, M. Rencenberger, K.J. Parchert, L.M. Gloe, "Algal biomass constituent analysis: method uncertainties and investigation of the underlying measuring chemistries," *Anal Chem*, 84, 1879-1887, 2012.

AUTHORS INFORMATION

Luu Thi Thu Ha^{1,2}, Ha Phuong Long³, Nguyen Thi Phuong Dung^{1,2},
Bui Thi Thu Uyen⁴, Ngo Thanh Son⁵,
Pham Thi Mai Huong³, Tran Dang Thuan⁴

¹Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

²Faculty of Applied Sciences, University of Transport Technology, Vietnam

³Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

⁴Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

⁵Faculty of Environmental Engineering, Hanoi Metropolitan University, Vietnam